

РОЗДІЛ 5

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ З ТЯГОВИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ НА БАЗІ ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

5.1. Початкові положення

Ключова роль електрифікованих залізниць у виконанні перевезень потребує удосконалення як електротягових систем, так і технологій їх експлуатації у напрямку ресурсу і енерго збереження [169–190]. У розділі розглянуті теоретичні і практичні питання розвитку технологій обслуговування і ремонту ТП і контактної мережі (КМ) по стану та забезпечення енергобезпеки процесу перевезень. Узагальнені основоположні критерії стану КМ та якості струмозняття [191–195].

Одним з найбільш перспективних методів зниження експлуатаційних витрат є перехід до науково обґрунтованих термінів ремонту і планування робіт на основі фактичного стану ТП та КМ. Це можливо за наявності комплексної системи моніторингу і діагностики параметрів електротягових мереж і критеріїв їх оцінки [196–210]. Досвід показує, що найбільш ефективна діагностика стану пристроїв ТП та КМ поєднує оцінку стану пристроїв на математичних, імітаційних моделях та вимірювань параметрів з використанням постійно діючої діагностики електротехнічного обладнання ТП, ВВКМ та систем реєстрації небезпечних режимів дугового струмозняття і методологічних основ їх використання [211–233].

Сучасні системи автоматики, телемеханіки та цифрового релейного захисту пристроїв електропостачання ТП дозволяють проводити постійну діагностику електротехнічного обладнання. Суттєвим недоліком є те, що лінії зв'язку АСУЕ не забезпечують передачу діагностичної інформації в аналітичні центри в режимі реального часу. КМ електрифікованої ділянки залізниці – це унікальний об'єкт, який хоча і складається з типових вузлів і деталей, що серійно випускаються промисловістю, але вимагає прив'язки їх в

процесі проектування до місцевих умов: особливості траси, плану й профілю колії, земляного полотна, типу рухомого складу, швидкості руху, кліматичних впливів [209, 228].

Унікальність КМ висуває підвищені вимоги як до конструкції її пристроїв, так і способів її технічної експлуатації. Тому існує наукова проблема забезпечення високої ймовірності реалізації проектного рішення з заданими показниками якості струмозняття.

Разом з тим автоматизований контроль стану КМ проводиться тільки при планових об'їздах ділянок ВВКМ з періодичністю два об'їзди в квартал. При цьому ВВКМ не має надійних апаратних засобів реєстрації дефектів КМ, що породжують дугове струмозняття. Тому відсутні чіткі рекомендації для працівників дистанції електропостачання по усуненню дефектів з стійким дуговим струмозняттям.

Автоматизовані системи, що дозволяють своєчасно розпізнати начальну стадію ожеледиці на КМ, або знайти на лінії струмоприймачі з дефектами, що породжують дугове струмозняття, в теперішній час відсутні. Саме тому необхідно розвивати технічну діагностику КМ не тільки в напрямку створення автоматизованих систем для ВВКМ, які розпізнають скриті дефекти КМ, але і в новому напрямі побудови стаціонарних територіально розподілених систем діагностики КМ та струмоприймачів при несприятливих зовнішніх діях, що породжують режими дугового струмозняття. Така задача ставиться вперше в нашій країні [232, 233].

Таким чином, в цьому розділі виникає наукова проблема дослідження, яка полягає у розробці рейтингової оцінки енергобезпеки процесу перевезень і механізму реалізації потенціалу енергозбереження залізниць та розвитку діючої інформаційної системи діагностики стану КМ на основі безконтактних методів реєстрації дугового струмозняття. Рішення проблеми дозволить підвищити якість оцінки стану КМ і знизити можливість відмов та забезпечити енерго і ресурсо збереження в процесі перевезень.

Необхідність електрифікації залізниць та модернізації пристроїв

електропостачання (ПЕ) в умовах ресурсозбереження потребує нових технологій проектування, будівництва і експлуатації об'єктів інфраструктури залізниць. Такі технології з урахуванням наукових результатів дисертації реалізовані підприємством «ДАК-Енергетика» при виготовленні сучасного електротехнічного обладнання ТП залізниць [51, 165, 234, 235].

5.2. Забезпечення енергобезпеки процесу перевезень в умовах розвитку паливно-енергетичного комплексу країни

Інноваційні сценарії і прогнози соціально-економічного розвитку України на період до 2020–2030 рр. орієнтовано на реформування паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), включаючи довгострокові інвестиційні програми його модернізації і розвитку, забезпечення зростаючого попиту на електроенергію, збільшення видобутку газу до 40–45 млрд. куб. м на рік, збільшення економічно ефективного видобутку енергетичного вугілля обсягом до 75 млн. тонн на рік, а також на лібералізацію ринків енергетичних ресурсів та підвищення енергоефективності зі зниженням питомого споживання енергоресурсів в економіці на 30–35% до 2030 року, що істотно зменшить навантаження на економіку, підвищить енергонезалежність держави та конкурентність її ВВП [13, 181, 182].

За базовий прийнято сценарій, за якого середнє зростання ВВП починаючи з 2020 р. складе 5% на рік до 2030 р. У базовому сценарії співвідношення ВВП сфери послуг до ВВП промисловості до 2030 р. наблизиться до рівня розвинених країн (сфера послуг та транспорт складе 70% ВВП, промисловість близько 21%, решту 9% складе сільське господарство). Темпи зростання ВВП наступні: промислового сектору (5,2% щорічно), сектору послуг та транспорту (6,9% щорічно) і сільського господарства (7,1%).

Положення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року покладені в основу Енергетичної стратегії ПАТ «Укрзалізниця» в частині перспективності розвитку технічних засобів і технологій, які орієнтовані на

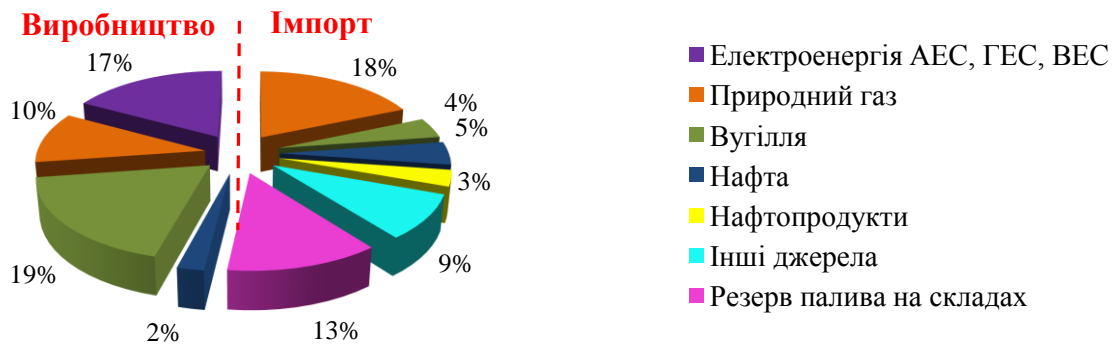
відповідні види ПЕР. Енергетика та транспорт є одними із стійко працюючих виробничих секторів української економіки. При цьому залізничний транспорт – стабільний споживач широкої номенклатури енергоресурсів, що виробляються ПЕК (табл. 5.1) і повністю залежить від стану і перспектив його розвитку. Роль залізничного транспорту в енергетичному балансі споживання ПЕР по основних секторах економіки представлена на рис. 5.1.

Таблиця 5.1 – Споживання ПЕР на внутрішньому ринку України

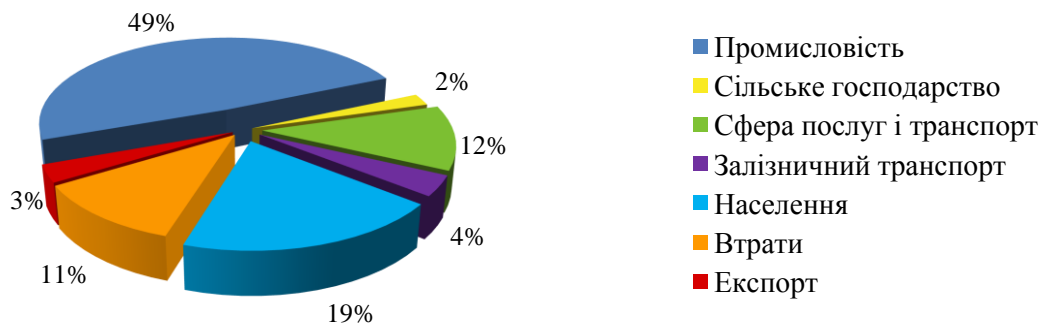
Стаття балансу	Споживання енергоресурсів на внутрішньому ринку			Доля споживання енергоресурсів залізницями
	факт	прогноз (базовий сценарій)		факт
	2010 р.	2020 р.	2030 р.	2012 р.
Електроенергія, млрд. кВт-год	162,9	208,5	253,5	6,23
Дизельне паливо, млн. тонн	5,3	7,6	10,1	0,4
Вугілля, млн. тонн	59,6	66,6	76,0	0,09
Мазут, млн. тонн	0,8	0,7	0,5	0,005
Природний газ, млрд. куб. м	52,0	47,8	46,6	0,15
Бензин, млн. тонн	4,6	5,2	6,3	0,01
Всього ПЕР, млн. туп	179,6	199,5	225,7	2,87

З найбільш значущих видів ПЕР є електрична енергія, дизельне паливо, вугілля, природний газ і мазут. В сукупності вони складають більше 99% загального енергобалансу ПАТ «Укрзалізниця» і 99,0% фінансових витрат на придбання енергоресурсів усіх видів. При цьому доля ПАТ «Укрзалізниця» в загальному балансі споживання ПЕР на внутрішньому ринку України не перевищує 2,0% і має щорічну тенденцію до зниження при активному зростанні обсягів перевезень.

Баланс річного споживання ПЕР (231,8 млн. тун) 2010 р.



Баланс річного споживання електроенергії (189,9 млрд. кВт·год) 2010 р.



Баланс річного споживання ПЕР ПАТ «Укрзалізниця» 2012 р.

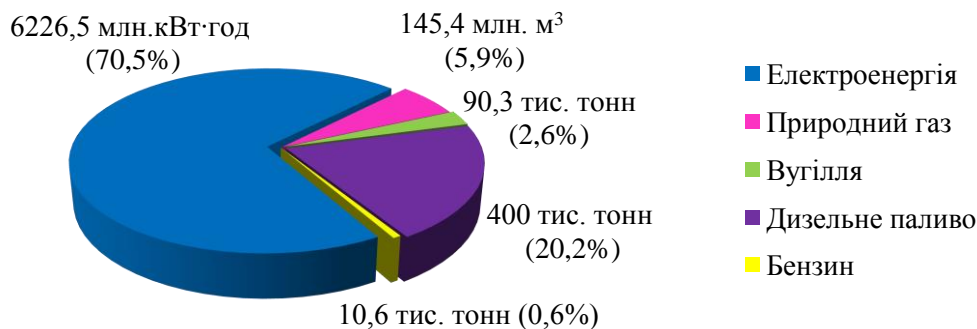


Рисунок 5.1 – Позичування енергетичного балансу ПАТ «Укрзалізниця» в балансі споживання ПЕР України

У табл. 5.1, 5.2 та додатку А15 наведено основні показники Енергетичної стратегії прогнозні рівні структури енергобалансу України. З найбільш значущих для енергозабезпечення ПАТ «Укрзалізниця» енергоресурсами є наступні орієнтири, які прогнозуються на 2030 рік:

– зростання виробництва ПЕР для внутрішнього споживання на 12–39%, у тому числі зростання виробництва електроенергії в 1,3–1,7 раз, виробництва дизельного палива на 43–126%, бензину на 37%, видобутку газу в 1,5–2,3 рази, вугілля на 70% (із зростанням обсягів збагачення в 1,8 раз);

– зростання вірогідності безвідмовної роботи енергосистем з 0,996 до 0,997 та зниження питомої витрати ПЕР при виробництві тепла до 30%;

– зростання ККД електростанцій: вугільних з 34,0% до 41,0%, газових з 38,0% до 53,0%, атомних з 32,0% до 36,0% та зниження втрат в електричних мережах – з 13,0% до 9,0%.

Зазначені тенденції зростання виробництва основних видів енергоресурсів (за винятком мазуту), при зниженні долі ПАТ «Укрзалізниця» в загальному балансі споживання ПЕР в країні, свідчать про сприятливий прогноз стійкого енергозабезпечення процесу перевезень залізниць на віддалену перспективу. Позитивним фактором є прогнозоване аж до 2030 року зростання виробництва дизельного палива.

Основою електроенергетики України є ОЕС, яка здійснює централізоване забезпечення електроенергією внутрішніх споживачів, взаємодіє з енергосистемами суміжних країн, забезпечує експорт, імпорт і транзит електроенергії. Оперативно-технологічне керування ОЕС і керування режимами енергосистеми здійснюється централізовано державним підприємством НЕК «Укренерго».

На протязі останніх 5 років частка АЕС складала 47–48% від загального обсягу виробництва електроенергії в Україні, середній коефіцієнт використання встановленої потужності енергоблоків АЕС за результатами 2010 року становив 73,6%. Протягом періоду до 2030 року планується збереження частки генерації електроенергії АЕС на досягнутому рівні – близько половини загального обсягу вітчизняного виробництва.

На виробництво електричної енергії ТЕС 2010 р. використано 32,2 млн. т вугілля, 50,3 тис. т мазуту та 0,8 млрд. м³ газу; питома витрата умовного палива на відпуск електроенергії склала 396 г у.п./кВт·год. За рахунок модернізації наявних ТЕС і будівництва нових, більш ефективних блоків із використанням сучасних технологій з умовними витратами палива 290–320 г у.п./кВт·год), питома витрата палива на відпуск електроенергії до 2030 р. знизиться до 340–350 г у.п./кВт·год.

Таблиця 5.2 – Прогнозні орієнтири структури енергобалансу України

Вид ПЕР	Розмірність	Вид діяльності, показник	Значення показника		±% 2030 р. до 2010 р
			2020 р.	2030 р.	
Нафта	млн. тонн	видобуток	2,1–2,4	2,2–7,1	-47,6 ÷ +97,0%
		імпорт	1,3–11,0	0,9–9,3	-88 ÷ +24%
Продукти переробки нафти	млн. тонн	споживання гасу	0,6–0,7	0,8–1,5	зростання в 2,0÷3,75 раз
		споживання бензину	4,9–5,5	4,7–7,3	+(2,2÷58,7)%
		споживання дизельного палива	6,5–7,6	7,6–12,0	+(43,4÷126,4)%
Альтернативне моторне паливо	млн. тонн	виробництво пропан-бутану, біо-етанолу і т. д.	2,0–3,1	3,3–6,7	зростання в 3 ÷ 6 раз
Газ	млрд. куб. м	видобуток	23,7	30,2–46,7	зростання в 1,5÷2,3 раз
		імпорт	27,7–29,2	16,9–6,2	зниження в 2,2÷5,9 раз
Вугілля	млн. тонн	видобуток	71,5	93,2	+70%
		імпорт	6,9–8,2	5,3–7,9	зниження в 2,3÷1,5 раз
		експорт	17,7–4,5	27,4–6,4	зростання в 4,4÷1,0 раз
Електроенергія	млрд. кВт·год	видобуток	220–243	244–315	зростання в 1,3÷1,7 раз
	млн. кВт·год	експорт	5,5	5,5	-8,3%
	млн. кВт·год	встановлена потужність електростанцій	53,1–55,7	56,0–73,7	зростання в 1,2÷1,5 раз
	млрд. кВт·год	виробництво електроенергії без витрат органічного палива	140	152–176	зростання в 1,5÷1,7 раз
Теплова енергія	млн. Гкал.	споживання	247	271	зростання на 16,8%

Таким чином, помітне зростання ККД електростанцій і зниження втрат в електромережах повинні позначитися на стабілізації тарифів на електроенергію, що посилить мотивацію перевodu вантажонапружених ділянок залізниць з дизельної тяги на електричну.

Забезпечення енергобезпеки процесу перевезень. При сприятливих показниках розвитку виробництва електроенергії в цілому по країні в електроенергетиці є цілий ряд проблем, що носять регіональний характер. На сьогодні більша частина генеруючих активів та електромереж зношена та неефективна; для підтримки надійності енергосистеми потрібна повномасштабна програма модернізації цих активів:

- станом на кінець 2010 р. 84 % блоків теплових електростанцій перевищили межу фізичного зношення у 200 тис. год напрацювання й потребують модернізації або заміни. Зношеність устаткування призводить до перевитрат палива та погіршення екологічних показників;

- атомні блоки наближаються до закінчення строку проектної експлуатації: понад 70 % атомних блоків потребуватимуть подовження терміну експлуатації у найближчі 10 років;

- баланс потужності енергосистеми України характеризується дефіцитом як маневрених, так і регулюючих потужностей; частка гідроелектростанцій, які забезпечують основний обсяг маневрених потужностей, у загальному балансі потужностей не перевищує 9 % за оптимального рівня у 15 %. У результаті вугільні блоки ТЕС, спроектовані для роботи в базовому режимі, використовуються для підтримки змінної частини графіка навантаження енергосистеми;

- наявність надлишків потужності у ряді енергосистем за відсутності або недостатній пропускній здатності їх електричних зв'язків з іншими енергосистемами призводить до наявності так званої «замкненої» потужності, яка в 2012–2020 рр. прогнозується в енергосистемах ОЕС. Позитивним є використання для регулювання нових вугільних та атомних блоків;

– на сьогодні 35 % ПЛ напругою 220–330 кВ експлуатуються понад 40 років, 55 % основного устаткування трансформаторних підстанцій відпрацювали свій розрахунковий технічний ресурс;

– значні проблеми виникають у зв'язку з недостатністю пропускної здатності ліній електропередач для видачі потужності АЕС (Рівненська, Хмельницька, Запорізька) і передачі надлишкової енергії Західного регіону до центру й на схід країни; з недостатнім рівнем надійності енергопостачання Одеської та Київської областей; з некомпенсованістю електромережі ОЕС України реактивної потужності і важкістю забезпечення необхідного рівня напруги (Центральна, Південна енергосистеми, східна і південна частини Донбаської енергосистеми);

– у розподільних мережах значна кількість об'єктів також відпрацювала свій ресурс: 31 % електричних мереж і 32 % трансформаторних підстанцій потребують реконструкції або заміни. Недостатнє оснащення низьковольтних мереж компенсаторами реактивної потужності призводить до істотних відхилень напруги від нормативних значень.

Без реалізації програм модернізації наявних і будівництва нових потужностей дефіцит пікової потужності спостерігатиметься вже в 2017–2020 рр. Інвестиції в модернізацію та будівництво генеруючих потужностей і об'єктів електромереж за 2011–2030 рр. за базового сценарію розвитку попиту становитимуть більше 1 трлн грн. Загальний обсяг необхідних капітальних вкладень для поетапної реалізації програми розвитку магістральних електричних мереж до 2030 р. складе 53 млрд грн. У розвиток розподільних мереж до 2030 р. необхідно інвестувати 134 млрд грн.

Система рейтингових оцінок стану енергобезпеки процесу перевезень. У зв'язку з наведеними вище даними при аналізуванні ризиків і загроз енергозабезпечення процесу перевезень залізниць з боку зовнішнього електропостачання вперше запропоновано використовувати систему рейтингових оцінок стану енергетичної безпеки за сукупністю таких індикаторів:

- відношення сумарної потужності електростанцій до максимального електричного навантаження споживачів у регіоні;
- відношення суми потужності електростанцій і пропускної здатності міжсистемних зв'язків до максимального електричного навантаження споживачів на території регіону;
- можливості задоволення потреб у котельно-пічному паливі з власних джерел регіону;
- частка домінуючого ресурсу в загальному споживанні котельно-пічного палива в регіоні;
- частка найбільш великої електростанції у встановленій електричній потужності регіону;
- рівень потенційної забезпеченості попиту на паливо в умовах різкого похолодання на території регіону;
- надійність системи енергопостачання з урахуванням високої міри зносу основних виробничих фондів енергетичного господарства регіону;
- відношення середньорічного введення встановленої потужності і реконструкції електростанцій регіону за попередній 5-річний період до встановленої потужності регіону.

На основі системного аналізу СЗЕ встановлено, що за кількістю індикаторів рівень ризиків і загроз районів нової електрифікації з боку систем зовнішнього електропостачання великий (3–4) та середній (1–2) для різних напрямів на період 2013–2020 рр.

Можна позначити, що ці ризики і загрози поширюються на енергосистеми найбільшою мірою в період 2010–2020 рр. У міру подальшої реалізації Енергетичної стратегії України (період 2020–2030 рр.) їх кількість повинна помітно скоротитися. З урахуванням цього на залізницях має бути забезпечена готовність вжити заходів:

- 1) будівництво за узгодженням з НЕК «Укренерго» об'єктів тягової енергетики (ТП із заходами ПЛ електропередач регіональних енергосистем);

2) збільшення кількості ТП, які мають джерело живлення від підстанцій (220–330 кВ) НЕК «Укренерго». Прикладом є спорудження пересувної ТП 154/27,5/10 кВ «Кременчук тяг.», яка має джерело живлення: ПС 330 кВ «Кременчук» Північної ЕС НЕК «Укренерго». Це значно збільшує енергетичну безпеку залізниць, надійність живлення ТП та дозволяє знизити втрати електроенергії при її передачі;

3) укладення договорів з регіональними блок-станціями на видачу потужності в інтересах залізниць переважно у піковому режимі, наприклад, при збоях енергопостачання від централізованих мереж, а також спорудження при необхідності ПЛ, які зв'язують блок-станції із залізничними споживачами і ТП;

4) створення за участю підприємств залізниць як гарантованих споживачів, енергоцентрів на основі використання місцевих первинних (торф, горючі сланці та ін.) і вторинних енергоресурсів;

5) участь залізниць у розробці перспективних регіональних енергетичних балансів суб'єктів в сфері дії залізничного транспорту та будівництва нових електрифікованих ліній залізниць;

б) співпраця з енергосистемами України в створенні інтелектуальних електричних мереж (smart grids), а також з впровадження статичних напівпровідникових перетворювачів, що підтримують задане значення коефіцієнта потужності споживачів відносно живильної мережі.

Крім того, в цілях забезпечення енергобезпеки процесу перевезень і функціонування інфраструктури залізниць повинен здійснюватися такий комплекс заходів:

- резервування або дублювання енергетичних мереж і систем;
- застосування в контактній мережі сучасних систем проти ожеледі;
- розширене використання в ПЛ автоблокування і електропостачання нетягових споживачів самонесучих ізольованих проводів;
- створення пересувних модульних (переважно на залізничному ході) джерел енергозабезпечення (нових ТП, електростанцій на дизельному або

газовому паливі, джерел освітлення та ін.);

- резервування тягових засобів (наприклад, тимчасове заміщення електрорухомого складу засобами автономної тяги);

- створення власних залізничних транспортних систем енергозабезпечення, незалежних від зовнішніх енергосистем;

- впровадження програмних і апаратних засобів обміну інформацією між залізницями і організаціями з управління надійністю і режимами електропостачання НЕК «Укренерго».

5.3. Система управління паливно-енергетичними ресурсами та механізми реалізації потенціалу енергозбереження залізниць

Реформування залізничного транспорту пов'язане із створенням вертикально-інтегрованих структур по бізнес-процесах, які здійснюють самостійну фінансово-економічну діяльність [51].

Проте специфіка функціонування залізничного транспорту, як єдиного виробничо-технологічного комплексу, не дозволяє у ряді випадків забезпечити запуск ринкових механізмів регулювання. Це стосується, в першу чергу, питань формування економічно обґрунтованої вартості послуг, що надаються відповідними структурами по бізнес-процесах, і питань віднесення загальних витрат на їх діяльність.

Одною з основних статей витрат для забезпечення процесу перевезень є витрати на оплату вартості ПЕР. Коректне визначення цих витрат в структурі вартості послуг кожної з причетних структур до перевезень (тяги, інфраструктури і т. д.), а також визначення зон відповідальності за нераціональне споживання ПЕР, коли центри виникнення додаткових витрат такого споживання можуть не співпадати з центрами їх фінансового покриття і є областю, де ринкові механізми регулювання не лише не стимулюють зниження витрат, але можуть призводити до зворотного результату.

В результаті, при державному регулюванні тарифів на перевезення, комерційні інтереси вказаних вище структур, спрямовані на збільшення

власної прибутковості, можуть вступати в протиріччя з підвищенням сукупної прибутковості ПАТ «Укрзалізниця».

Для врегулювання вказаних протиріч потрібне використання механізмів контролю і управління ПЕР, які дозволяють досягти баланс економічних інтересів усіх бізнес-процесів ПАТ «Укрзалізниця», виходячи з політики енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності залізниць (рис. 5.2). Ці функції покладаються на існуючу інтегровану структуру управління ПЕР – оперативний штаб для забезпечення енергозбереження ПАТ «Укрзалізниця», який виконує консолідує роль контролю за плануванням і витратами ПЕР.

Структура управління ПЕР передбачає також, що на всіх залізницях існують підрозділи, у функції яких входять планування і аналіз використання ПЕР, а також контроль за раціональною їх витратою.

Сучасна законодавча база в області енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності української економіки покладає на систему управління ПЕР наступні додаткові задачі:

- організація обов'язкового енергетичного обстеження об'єктів залізниць та підрозділів ПАТ «Укрзалізниця»;
- створення механізмів і правових основ енергетичного обстеження в ПАТ «Укрзалізниця» організаціями, які саморегулюються;
- формування і ведення енергетичного балансу ПАТ «Укрзалізниця», що є систематизованим зведенням документованої інформації про рівень споживання ПЕР і ефективності їх використання по всіх структурних підрозділах залізниць;
- створення механізму, що забезпечує впровадження в ПАТ «Укрзалізниця» переважно інноваційних, найбільш енергоефективних техніки і технологій;
- використання різних форм державної підтримки діяльності по енергозбереженню і підвищенню енергетичної ефективності;

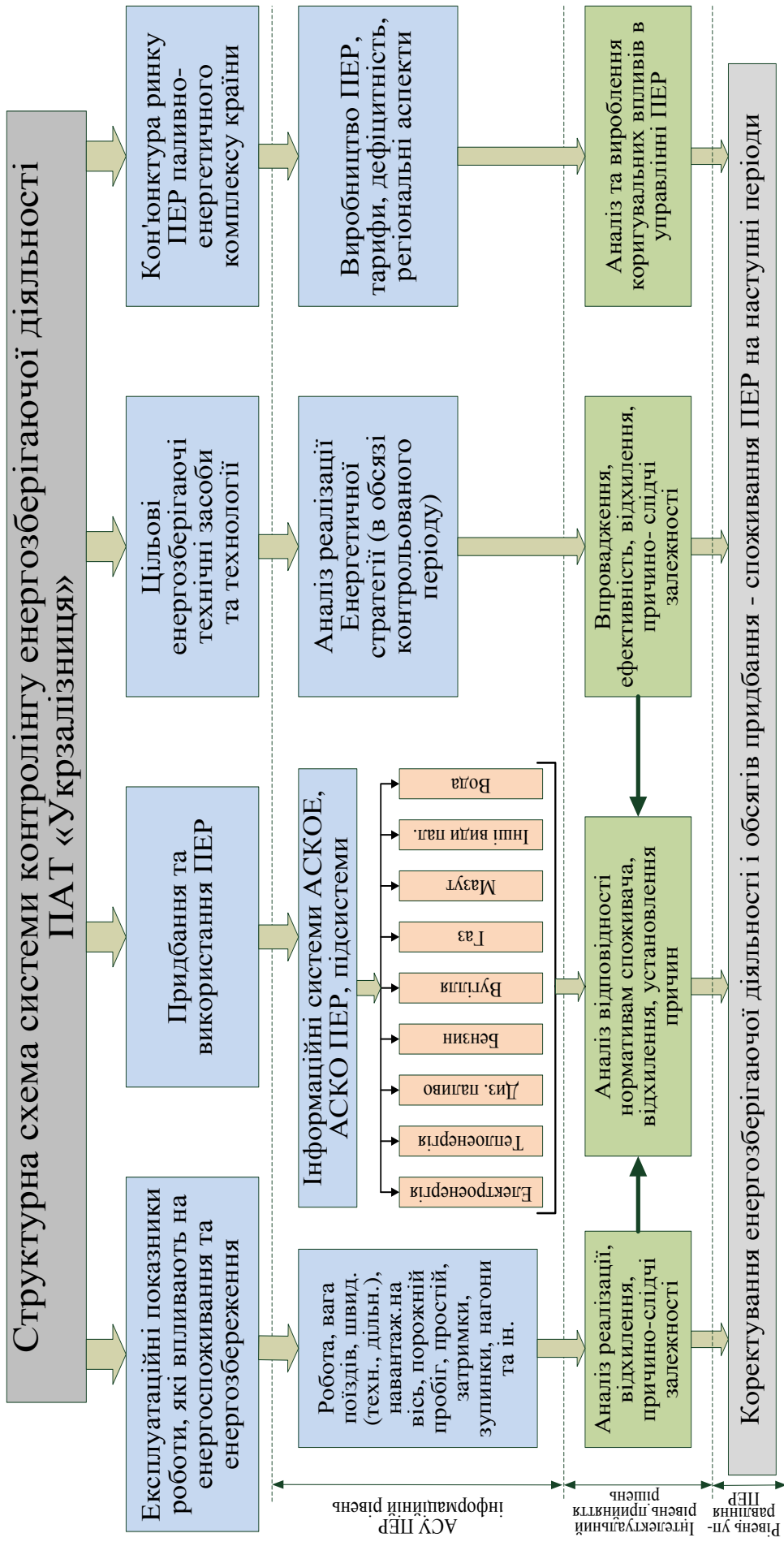


Рисунок 5.2 – Перспективна система управління паливно-енергетичними ресурсами

- створення економічних стимулів, що забезпечує підвищення енергетичної ефективності систем енергопостачання структурних підрозділів;

- створення економічних стимулів, що забезпечують підвищення використання технологій енергозбереження в процесах виробництва і передачі електричної і теплової енергії.

Першочерговою з перерахованих задач є створення системи обов'язкових енергетичних обстежень як початкової бази для розгортання цілеспрямованої енергозберігаючої діяльності. Основними цілями енергетичного обстеження усіх об'єктів енергоспоживання є:

- отримання об'єктивних даних про обсяг використовуваних енергетичних ресурсів;

- визначення показників енергетичної ефективності;

- визначення потенціалу енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності;

- розробка переліку типових заходів по енергозбереженню та підвищенню енергетичної ефективності і їх вартісна оцінка.

Для якісного проведення енергетичного обстеження у встановлені терміни необхідно розробити і прийняти відповідні нормативні і методичні документи, що враховують особливості споживання ПЕР в структурних підрозділах і визначають порядок проведення енергетичного обстеження, формування і прийняття програм заходів по енергозбереженню.

По кожному виду ПЕР має бути визначений потенціал енергозбереження, включаючи використання вторинних і поновлюваних джерел енергії. Для цих цілей мають бути розроблені керівні технічні документи і методичні вказівки за розрахунком потенціалу енергозбереження стосовно технологічних процесів і продукції структурних підрозділів, що входять до складу ПАТ «Укрзалізниця».

5.4. Комплексна система технічного обслуговування і ремонту за станом пристроїв електричних систем з тяговими навантаженнями

5.4.1. Концепція технічного обслуговування пристроїв електропостачання за станом на базі їх діагностики і моніторингу

Технічне обслуговування ПЕ по стану це такий вид обслуговування, коли експертним шляхом або за допомогою засобів діагностики, розміщених на пристроях, проводиться оцінка їх станів і на підставі цієї оцінки робиться прогноз, коли ці пристрої слід виводити в ремонт. Обслуговування і ремонт по стану підвищує ресурс і надійність і скорочує експлуатаційні витрати та дозволяє визначити момент, коли потрібно ремонтувати устаткування. Метою концепції є створення середовища для автоматизації і управління процесами технічного обслуговування ПЕ за станом на основі їх комплексної діагностики. Управління станом пристроїв повинно будуватися на підставі процесного підходу до управління: планування, виконання, перевірка, керуюча дія (КД). Основні бізнес-процеси управління станом ПЕ наступні:

- організація своєчасного виявлення передвідмовних станів ПЕ;
- аналіз передвідмовних станів і планування робіт по своєчасному їх усуненню та виконання технічного обслуговування і ремонту пристроїв;
- організація своєчасного усунення виявлених передвідмовних станів і виконання робіт по технічному обслуговуванню і ремонту;
- контроль виконання робіт по усуненню передвідмовних станів і робіт по технічному обслуговуванню і ремонту;
- підвищення надійності роботи пристроїв і розвиток засобів і технологій їх діагностики і моніторингу.

Діагностика і моніторинг стану ПЕ проводиться як працівниками дистанцій електропостачання, так і працівниками дорожніх аналітичних центрів діагностики. Діагностика і моніторинг стану ПЕ здійснюється як з використанням різних діагностичних систем, так і шляхом візуального огляду при обходах і об'їздах.

Діагностика пристроїв підрозділяється на періодичну і постійну. Періодична діагностика проводиться, як правило, з використанням мобільних або переносних технічних засобів діагностики, постійна діагностика проводиться стаціонарно встановленими технічними засобами в режимі on-line.

Інформація, отримана від технічних засобів постійного діагностування в режимі реального часу передається в електронному вигляді усім причетним працівникам. Усі технічні засоби мобільних комплексів повинні мати ЕОМ для первинного збору, обробки даних та їх передачі в дистанцію електропостачання і дорожній аналітичний центр діагностики. Переносні технічні засоби діагностики повинні мати можливість збору і зберігання вимірних даних з наступною передачею в ЕОМ для обробки і передачі в дистанцію електропостачання і дорожній аналітичний центр діагностики.

Джерелом інформації для виявлення передвідмовних станів ПЕ служать дані, отримані за результатами діагностики, моніторингу, аналізу і моделювання. Засоби діагностики ПЕ мають наступні групи:

Контактна мережа. Для отримання як найповнішої і достовірнішої інформації про стан пристроїв КМ використовується технологія верхової діагностики пристроїв КМ, ліній подовжнього електропостачання і високовольтних ліній на опорах КМ, що живлять пристрої СЦБ.

Передача інформації, отриманої при проведенні верхової діагностики пристроїв КМ, а також при обходах і об'їздах повинна здійснюватися в електронному вигляді з використанням кишенькових переносних комп'ютерів (КПК) або ЕОМ того ж дня, коли проводилася робота, в дистанцію електропостачання. Крім цього інформація про виявлені передвідмовні стани пристроїв одночасно повинна передаватися в аналітичний центр управління станом пристроїв інфраструктури. Контроль за своєчасною передачею інформації покладається на енергодиспетчера дистанції електропостачання.

Комплексні системи автоматизованого виміру геометричних і фізичних параметрів КМ здійснюються з ВВКМ і включають системи тепловізійної і

ультрафіолетової діагностики вузлів КМ і системи дефектировки тарілчастих фарфорових ізоляторів КМ.

Дані про виявлені в результаті об'їзду зауваження передаються в дистанції електропостачання і в аналітичний центр управління станом пристроїв інфраструктури в електронному вигляді з ЕОМ ВВКМ з використанням мережі системи передачі даних або безпроводної системи передачі інформації негайно після закінчення кожної поїздки. Усунення виявлених ВВКМ зауважень, за винятком згаданих нижче, повинне проводитися не пізніше за один тиждень з моменту виявлення.

Дані по виявлених в результаті об'їзду і оцінених в 200 балів "небезпечних місцях", місцях нагріву і дефектних ізоляторах передаються в дистанції електропостачання і в центр управління станом пристроїв інфраструктури в електронному вигляді з ЕОМ ВВКМ з використанням мережі системи передачі даних або безпроводною системами для негайного, не пізніше за одну добу, усунення. Контроль за усуненням покладається на енергодиспетчера та заступника начальника дистанції електропостачання по контактній мережі.

Струмоприймачі. Для комплексної оперативної діагностики струмоприймачів необхідно використовувати автоматизовані системи діагностики струмоприймачів (АСДС) важкого і легкого типів ЕРС в процесі їх руху по спеціально обладнаній ділянці КМ головних або тракційних колій станцій, при випуску ЕРС на лінію або при заході в депо на техобслуговування. АСДС виконує комплексне діагностування струмоприймачів і контроль їх стану автоматичними пристроями, які забезпечують натурне відображення процесу зміни натиснення на діагностичній КМ, тобто імітацію реальних процесів взаємодії КМ і струмоприймачів при нормальних і аварійних режимах тягової мережі електрифікованих ліній. АСДС забезпечує при заході ЕРС на станції збір і систематизацію даних про стан елементів і вузлів струмоприймачів для аналізу і вдосконалення конструкцій і коригування термінів технічного

обслуговування по пробігу, а при виході ЕРС на лінію - відповідність струмоприймачів технічним умовам їх експлуатації.

Нові можливості діагностики взаємодії КМ із струмоприймачами відкриває розширення функцій використання ВВКМ і АСДС в області виміру і оцінки основних критеріїв якості струмозняття - натиснення струмоприймача і коефіцієнтів ненадійності і економічності. Таке використання ВВКМ і АСДС дозволить вибрати раціональні параметри КМ і струмоприймачів за критерієм ресурсозбереження і надійності струмозняття.

Комплексна діагностика КМ і струмоприймачів дозволяє отримати достатню інформацію для аналізу їх стану з використанням ЕС в аналітичних центрах управління пристроїв інфраструктури.

Тягові і трансформаторні підстанції. На сучасному рівні технічного розвитку господарства електрифікації та електропостачання застосовуються пристрої: система діагностики ТП змінного струму, система діагностики ТП постійного струму, інтелектуальні термінали приєднання, пристрій телеконтролю параметрів тягового навантаження, діагностика ТП у складі системи телемеханіки. Уся інформація про стан устаткування повинна виводитися в електронному вигляді на ЕОМ в дистанцію електропостачання. Інформація про передаварійні стани устаткування повинна передаватися диспетчерові дистанції електропостачання і в аналітичний центр управління станом пристроїв інфраструктури в режимі on-line.

Мобільний діагностичний комплекс на основі вагона-електротехнічної лабораторії (ВЕТЛ) дозволяє здійснювати комплексну діагностику устаткування тягових і трансформаторних підстанцій. Дані про виявлені зауваження за результатами тепловізійного обстеження, діагностики маслонаповненого устаткування, вібродіагностики, виміру електричних параметрів, діагностики релейного захисту, високовольтних випробувань, з ЕОМ комплексу в електронному вигляді передаються в дистанцію електропостачання. При виявленні передвідмовних станів дані про них негайно з ЕОМ комплексу в електронному вигляді передаються в дистанцію

електропостачання (енергодиспетчерові) і в центр управління станом пристроїв інфраструктури.

Для ТП однією з найбільш ефективних являється безперервна (у режимі on-line) діагностика часто пошкодженого і дорогого комутаційного і випрямного устаткування, трансформаторів на базі засобів постійного технічного діагностування. Діагностика і моніторинг стану силових трансформаторів проводиться з використанням хроматографічного аналізу трансформаторного масла, контролю вмісту вологи в трансформаторному маслі, контролю стану обмоток трансформатора. Уся інформація про виявлені передвідмовні стани трансформаторів (потрібно вивід з роботи, особливий контроль) в електронному вигляді передається в дистанцію електропостачання і в центр управління станом пристроїв інфраструктури в день виявлення. Контроль покладається на енергодиспетчера та заступника начальника дистанції електропостачання по тяговим підстанціям.

Мобільні засоби діагностики. До мобільних засобів діагностики в господарстві електрифікації та електропостачання відносяться згадані вище вагони ВВКМ і ВЕТЛ, а також пристрої стеження за параметрами контактної підвіски з автомотрис (УСП КП), автомобільні лабораторії для діагностики (вимір основних параметрів, високовольні і інші випробування, визначення місця пошкодження) кабелів типу ЛК, автомобільні лабораторії для діагностики (випробувань) трансформаторів типу ЛДТ. Отримані результати обробляються на ЕОМ, що входять в склад лабораторії або діагностичного комплексу. Дані про виявлені зауваження за результатами діагностики в електронному вигляді передаються в дистанцію електропостачання. При виявленні передвідмовних станів дані про них негайно (після закінчення робіт) в електронному вигляді передаються в дистанцію електропостачання (енергодиспетчерові) і в центр управління станом пристроїв інфраструктури.

Знімні і переносні засоби діагностики. Знімні і переносні засоби діагностики господарства електрифікації та електропостачання: пристрої дистанційного виміру параметрів контактної мережі "УСП КП", системи

дефектировки тарілчастих фарфорових ізоляторів КМ (із застосуванням сканера ультрафіолетового діапазону випромінювань), пристрої тепловізійного контролю електроустановок, прилади для діагностики пристроїв релейного захисту і автоматики типу РЕТОМ, апарат випробування ізоляції типу АІД, вимірники вlahовмісткий в трансформаторному маслі, вимірники опору обмоток трансформаторів, прилад для оцінки міцності бетону УК-1401М, прилад для перевірки іскрових проміжків, діодних заземлювачів, опору опор типу ПК-2, прилад для діагностики анкерних болтів типу А-1220 та інші технічні засоби мають можливість передачі даних з електронної пам'яті приладу в ЕОМ (за винятком АІД і ПК-2) для аналізу. Дані про виявлені зауваження за результатами діагностики в електронному вигляді передаються в дистанцію електропостачання. При виявленні передвідмовних станів, нагрітих вузлів і дефектних ізоляторів інформація про них негайно (після закінчення робіт) в електронному вигляді передаються в дистанцію електропостачання (енергодиспетчерові) і в аналітичний центр управління станом пристроїв інфраструктури. За відсутності технічної можливості передачі даних безпосередньо з вимірювального приладу в ЕОМ, інформація передається в текстовому виді, у тому числі з використанням КПК.

Планування, організація і контроль виконання робіт в підрозділах.

Дистанція електропостачання за результатами даних, отриманих від систем постійного технічного діагностування, мобільних і знімних засобів діагностики, даних, отриманих за результатами верхової діагностики пристроїв КМ, обходів і об'їздів пристроїв планує роботу по усуненню передвідмовних станів і роботу по технічному обслуговуванню і ремонту пристроїв. Спеціально виділеним працівником щодня готується довідка для керівництва дистанції електропостачання про проведені за добу роботи після діагностики, виявлених передаварійних станів пристроїв і планів робіт по усуненню передаварійних станів пристроїв на наступну добу. У довідці враховуються отримані дані усіх видів діагностики (виявлені дефекти).

Дистанцією електропостачання проводиться робота по веденню електронного паспорта дистанції електропостачання з фіксацією усіх проведених видів ремонтів для кожного пристрою, контролюється його повнота і актуальність даних. Здійснює контроль виконання робіт, контроль якості виконаних робіт, термінів виконання робіт. Енергодиспетчер дистанції електропостачання здійснює обмін інформацією про усі виявлені аварійні ситуації (що вимагають негайного втручання) з центром управління станом пристроїв інфраструктури.

Аналітичний центр управління станом пристроїв інфраструктури проводить постійний аналіз даних, отриманих від діагностичних мобільних комплексів (ВВКМ, ВЕТЛ і тому подібне), даних хроматографічного аналізу трансформаторного масла, даних про усіх виявлених працівниками дистанцій електропостачання аварійних ситуаціях, даних від АСДС.

На основі проведеного аналізу готуються завдання для формування планів робіт з вказівкою граничних термінів їх виконання. По виявлених аварійних ситуаціях, що вимагають негайного втручання, у взаємодії з енергодиспетчерами дистанцій електропостачання приймаються необхідні управлінські і оперативні рішення, що запобігають аварійним ситуаціям (виведення устаткування з роботи, обмеження в русі поїздів, інші заходи). Здійснюється контроль виконання робіт, контроль якості виконаних робіт, термінів виконання робіт.

Вибір і реалізація ресурсозберігаючих технологій експлуатації електрифікованих ліній з мінімізацією витрат життєвого циклу реалізується з використанням ЕС з базами ретроспективних знань. Ці бази є початковими даними для роботи механізму синтезу евристик, який і здійснює їх перетворення у форму продукції, що зберігаються в базі ЕС у вигляді сукупності. Такий процес аналізу і вибору КД буде ефективним в аналітичних центрах управління станом пристроїв інфраструктури.

Щодня готується довідка для керівництва служби електропостачання про виявлені передаварійні стани пристроїв, плани робіт по усуненню

передаварійних станів пристроїв, плануванні робіт по діагностиці (об'їзди ВВКМ і тому подібне). У цій же довідці відбиваються дані про відмови технічних засобів.

Проводиться постійний аналіз випадків аварійних ситуацій, відмов в роботі ПЕ. На основі аналізу проводиться підготовка КД – технічних і організаційних заходів, спрямованих на виключення виникнення аварійних ситуацій, відмов пристроїв, розвиток і вдосконалення технічних засобів діагностики ПЕ.

Передача і обробка інформації. Отримання усієї необхідної інформації про стан пристроїв на усіх рівнях повинне здійснюватися з використанням засобів автоматизації по провідних і безпроводних каналах передачі інформації. З цією метою усі технічні засоби діагностування повинні мати можливість накопичення інформації в електронному вигляді і передачі цієї інформації. Передача інформації, отриманої при проведенні верхової діагностики пристроїв КМ, а також при обходах і оглядах повинна здійснюватися з використанням КПК.

Для цілей передачі інформації повинні використовуватися технічні засоби АСУЕ. Уся обробка інформації в аналітичних центрах управління станом пристроїв інфраструктури має бути автоматизована (отримання інформації, планування робіт, видача завдань, контроль виконання). Отримання завдань та контроль їх виконання безпосередньо виконавцем робіт повинні здійснюватися автоматизовано з використанням КПК.

Сервісні центри обслуговування систем діагностики і пристроїв електропостачання. Особливу роль при реалізації технічного обслуговування по стану грає фірмове сервісне обслуговування в першу чергу усіх існуючих засобів діагностики так і ПЕ нових і модернізованих ліній із складним електричним устаткуванням.

5.4.2. Аналіз результатів моделювання параметрів, показників стану та критеріїв струмозняття пристроїв електропостачання

Технологія експлуатації ПЕ за станом на звичайних, швидкісних і високошвидкісних магістралях вимагає високої якості оцінки їх параметрів і критеріїв. Таку оцінку можна виконати з використанням двох джерел інформації: діагностики в експлуатації і моделювання.

Моделювання електротехнічних параметрів і показників стану пристроїв ТП проведено у розділі 3 та 4. Поєднання результатів моделювання стану пристроїв та постійно діючої діагностики ТП дозволяє своєчасно виявляти відмову ПЕ. Для діагностики КМ такої можливості немає. ВВКМ діагностує стан контактної підвіски тільки в точці контакту вимірювального струмоприймача і КП на швидкості, для якої ведуться вимірювання, тобто дати прогноз поведінки контактної підвіски в умовах, що відрізняються від існуючих при об'їзді проблематично. Необхідно збільшувати частоту об'їздів.

Проведення обчислювальних експериментів дозволяє спостерігати картину взаємодії струмоприймачів з КМ на всій анкерній ділянці і отримувати необхідні параметри і критерії для оцінки стану підвісок при різних швидкостях руху та інших факторів, що впливають на струмозняття.

Як показують розрахунки вартість наповнення баз знань ЕС для оцінки стану підвісок КМ в аналітичних центрах на базі сучасних моделей практично в 5 разів нижче в порівнянні з ВВКМ. Вимірювання параметрів для оцінки стану 100 км КМ з використанням ВВКМ оцінюється в 36–45 тис. грн. Використовуючи моделювання можна розрахувати точні, прицільні регулювання КМ для поліпшення якості струмозняття і зменшення зносу КП. Таким чином, ресурсозберігаюча технологія експлуатації КМ вимагає синтезу двох джерел інформації для оцінки стану КМ: діагностики і моделей динамічної взаємодії КМ і струмоприймачів.

Характеристика моделей взаємодії КМ і струмоприймачів та перспектива їх використання. Взаємодія контактної підвіски з

струмоприймачами являє собою складний коливальний процес, в якому беруть участь різноманітні коливальні системи – дві з них з розподіленими параметрами (залізнична колія і КМ) і кілька систем з умовно зосередженими параметрами (локомотиви з струмоприймачами) (рис. 5.3). На коливальну систему також впливають випадкові фактори, такі як вплив вітрових навантажень, розрегулювання КМ та ін. У загальному випадку більш 15 параметрів впливають на поведінку пантографа і більш 35 – на КМ [170–175].

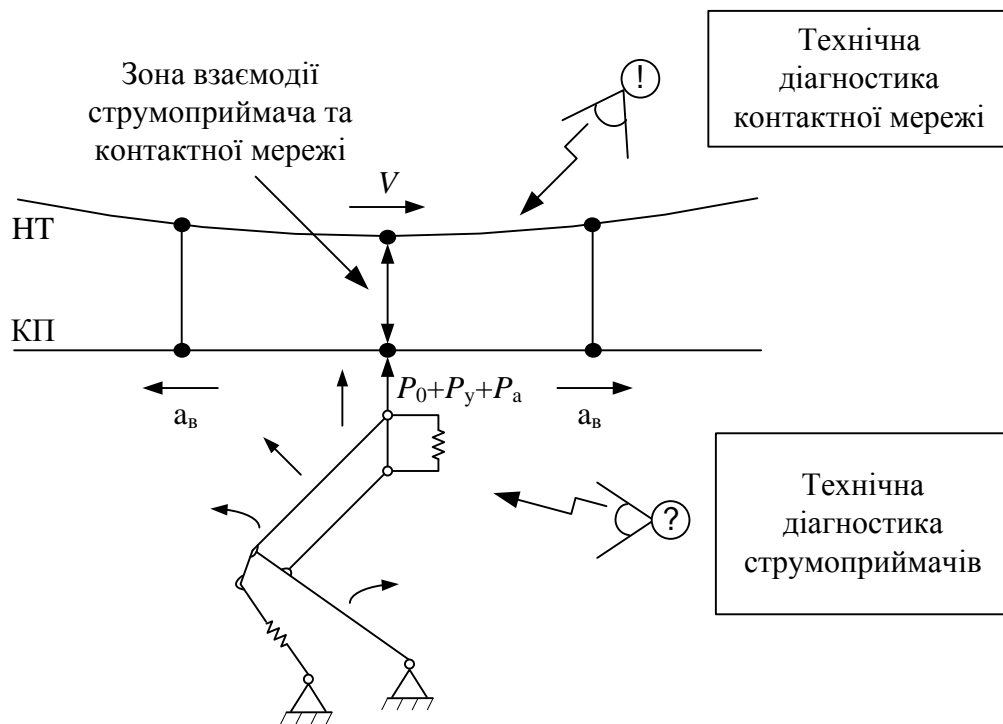


Рисунок 5.3 – Схема взаємодії контактної мережі з струмоприймачем

Моделі струмозняття удосконалювалися завдяки врахуванню все більшого числа факторів, зняття все більшого числа допусків. Найменше число допусків було досягнуто в кінцево-елементних моделях [211–213]. У моделі динаміки КМС-УрГУШС, розробленої під керівництвом О. В. Єфімова [216], на анкерний ділянку доводиться близько 6000 кінцевих елементів. Гібридність моделі є її відмінною рисою і обумовлена введенням кінцевих елементів двох типів: з зосередженими параметрами і континуальних. Найбільшу практичну цінність мають імітаційні моделі динамічної взаємодії струмоприймачів з КМ фірми Siemens, які враховують такі процеси як переміщення точок підвішування КП, відрив

струмоприймача від КП та наявність другого паралельного КП [174]. На основі принципу розділення моделі на дискретні і континуальні елементи О. Г. Галкіним запропонована гібридна квазі-динамічна модель [217, 218], в якій дискретні точкові кінцеві елементи, з'єднані між собою континуальними елементами, перебувають тільки в місцях вузлів структурної моделі топології КМ. Для оцінки стану КМ електрифікованих залізниць України найбільше підходить імітаційна модель КМС-УрГУШС. Ця модель найбільш точно описує реальний процес і використовується в даний час для проектування, налаштування і експлуатації КМ електрифікованих залізниць Росії.

Моделювання взаємодії струмоприймача і контактних підвісок із застосуванням частотно-залежних кінцевих елементів найбільш ефективно при оцінці її стану в процесі експлуатації [174, 219]. Система переміщень проводів в частотних межах описана в [220, 230].

Структурування та взаємозв'язок механічного та електричного розрахунку контактної підвіски. Для оцінки залишкового ресурсу контактного проводу необхідно урахування спільного впливу різних факторів: натягу, натиснення, струму, що протікає по КП та другим елементам КМ. Питомий електричний знос КП спостерігається при великій щільності струму ($5\text{--}10 \text{ А/мм}^2$), в місцях відриву струмоприймача від КП, зниження контактного тиску струмоприймача [174–177, 231]. На змінному струмі навантаження менше, чим на постійному, однак на одиницю площини розтину КП приходить приблизно однакова щільність струму. Чим вище щільність робочих струмів, тим інтенсивніше тепловий знос КП. Все вище сказане говорить про необхідність спільного механічного та електричного розрахунку і моделювання КМ, яка описується двома групами моделей: механічними і електричними, які топологічно співпадають одна з другою.

Прольот контактної підвіски може бути представлений мультиграфом просторової структури, вузлами якого є місця з'єднання окремих елементів між собою і точками підвісу (рис. 5.4). Зв'язок елементів прольоту описується мультиграфом $CT_n(Y, B) = [(Y_1, Y_2), (Y_2, Y_3), (Y_3, Y_4) \dots, (Y_{n-1}, Y_n)]$.

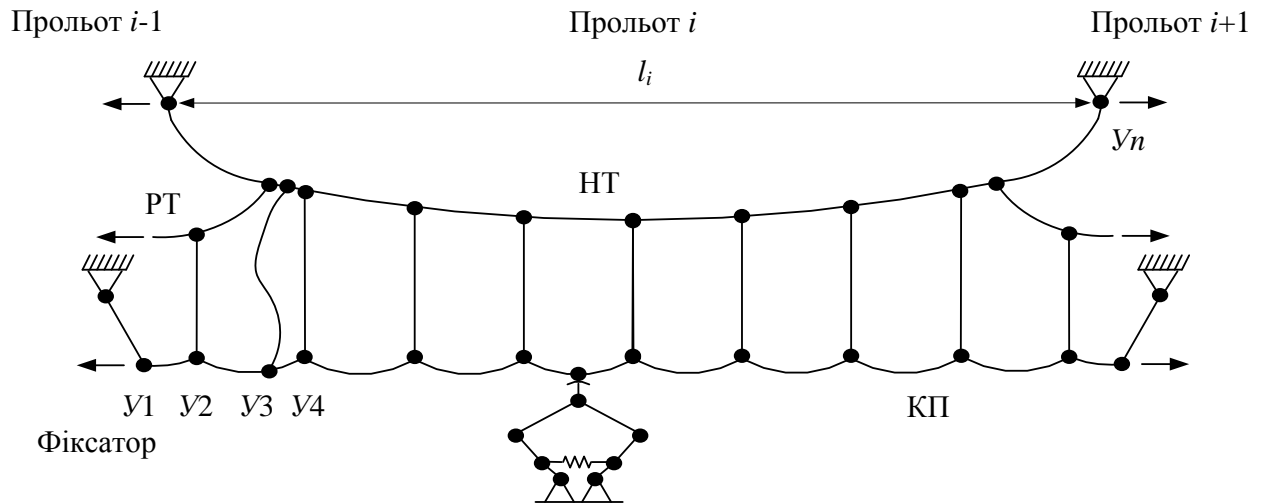


Рисунок 5.4 – Мультиграф механічної взаємодії підвіски і струмоприймачів в прольоті анкерної ділянки

Направлений мультиграф електричної схеми прольоту (рис. 3.10) дозволяє по відомим матричним виразам, які приведені в розділі 3, визначити струми в вітках схеми I_b , втрати потужності ΔS та енергії ΔW і оцінити тепловий нагрів кожного елементу анкерної ділянки.

Моделювання зносу контактних проводів. Механічна взаємодія контактної пари є тим процесом, від умов протікання якого багато в чому залежать надійність і економічність електричної тяги на залізницях. Термін служби КП залежить від наступних факторів: матеріалу контактних елементів струмоприймачів, його фрикційних характеристик по відношенню до проводу, струму, що протікає через ковзний контакт, числа проходів струмоприймачів, швидкості руху, значень і характеру зміни натиснень в контакті і ін. Більшість з зазначених факторів визначає головним чином середній знос КП. Лише характер зміни натиснення в контакті істотно впливає на нерівномірність зносу контактних елементів полоза і КП і терміну їх служби. Розрахунок натиснення (або експериментальний вимір) для різних точок (в просторі і часі) є кінцевою метою дослідження процесу взаємодії КМ і струмоприймачів.

У перехідних режимах незадовільне струмозняття веде не тільки до

перепалу проводів, а й до поломок елементів струмоприймачів і контактних підвісок. Шлях забезпечення надійного струмозняття в перехідних режимах це удосконалення елементів струмоприймачів.

У сталому режимі незадовільне струмозняття може привести до катастрофічного зносу контактуючих елементів і до пошкоджень з затримкою поїздів [170–177]. Таким чином, в сталому режимі вирішальним фактором стає економічне і надійне струмозняття, а шлях його забезпечення це безперервна діагностика і поліпшення характеристик контактних підвісок і струмоприймачів.

До основних критеріїв процесу струмозняття відносяться: величини зносу контактної пари, відриви струмоприймачів від проводів, розмах коливань полоза і контактного натиснення, коефіцієнти ненадійності роботи контакту і економічності струмозняття, а також мінімум річних експлуатаційних витрат. Величина зносу контактних динамічних пар в експлуатації є найбільш об'єктивним критерієм оцінки їх роботи. Знос може використовуватися як порівняльний показник для матеріалів контактної пари і величини струму. Найважливішими для експлуатації є статистичні дані по середньому питомому зносу проводів і контактних пластин, співвіднесені до пробігу ЕРС. Досвід показує, що найбільш ефективна діагностика стану пристроїв КМ поєднує оцінку стану пристроїв на математичних, імітаційних моделях та вимірювань з використанням ВВКМ.

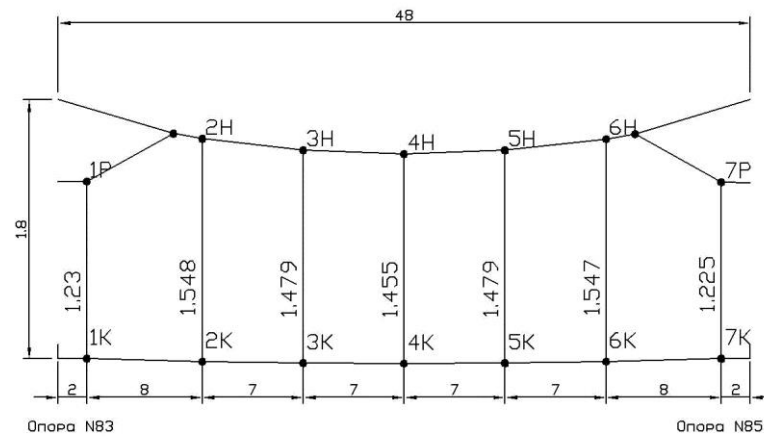
Результати моделювання параметрів струмозняття для формування баз даних аналітичних центрів залізниць. Технологія переходу до обслуговування за станом електричних систем з тяговими навантаженнями передбачає імітаційне моделювання статичних та динамічних показників якості струмозняття для усіх ділянок головних колій ПАТ «Укрзалізниця» при створенні баз даних аналітичних центрів регіональних філій залізниць. На імітаційній моделі взаємодії КМ та струмоприймачів для експериментальної ділянки проведені багатоваріантні статичні та динамічні розрахунки, які дозволяють визначити технічні

критерії стану КМ і критерії якості струмозняття, що визначають ресурсозбереження при обслуговуванні за станом електричних систем з тяговими навантаженнями. Порядок розрахунку критеріїв стану КМ та якості струмозняття викладені в [175, 191–195, 205, 210]. По аналогії такі розрахунки необхідно буде отримати в процесі накопичення баз даних аналітичних центрів для усіх ділянок регіональних філій залізниць.

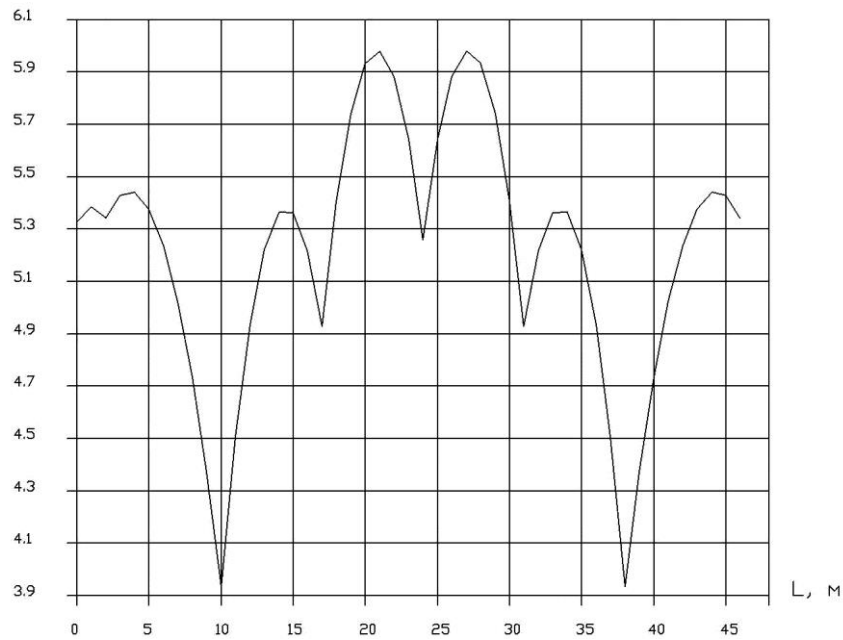
Кожний варіант розрахунку виконується при швидкостях руху 80, 100, 120, 140, 160 км/год та різних значеннях натягу КП 12; 11; 10; 9; 8 кН і зносу 7,5; 15; 22,5; 30 % з регулюванням і без регулювання струн. Маючи в своєму розпорядженні промодельовані криві контактного натиснення уздовж прольоту контактної підвіски P_x та криві віджимання КП Δh_x можна визначити критерії. Оцінка впливу на контактне натиснення зміни натягу проводів виконується як для підвіски, що знаходиться в експлуатації М95+МФ100, так і для підвісок з використанням КП з підвищеним натягом, які забезпечують ресурсозбереження.

Результати моделювання статичних параметрів. Першорядне значення для попередження утворення місцевих зносів КП має такий стан КМ, який забезпечує рівномірну еластичність в прольотах анкерних ділянок. Для прикладу на рис. 5.5, 5.6 і 5.7 та додатках А.16 показано зміну еластичності в найменшому, найбільшому, розрахунковому і перехідному прольотах та прольоті середнього анкерування анкерної ділянки. Основний вплив на розподіл еластичності в прольоті мають наступні фактори: довжина прольоту, натяг КП, ресорного і несучого тросів (РТ і НТ), довжина РТ і відстань від опори до першої вертикальної струни та знос КП.

Аналіз результатів показує, що при збільшенні швидкості руху на форму кривої еластичності в прольоті сильно впливає наявність жорстких точок (поперечні з'єднувачі, секційні ізолятори, повітряні стрілки та ін.). Для оцінки зміни еластичності в прольоті крім коефіцієнтів нерівномірності пропонується використовувати її середньоквадратичне відхилення, що в сукупності дозволяє підвищити точність оцінки якості струмозняття.

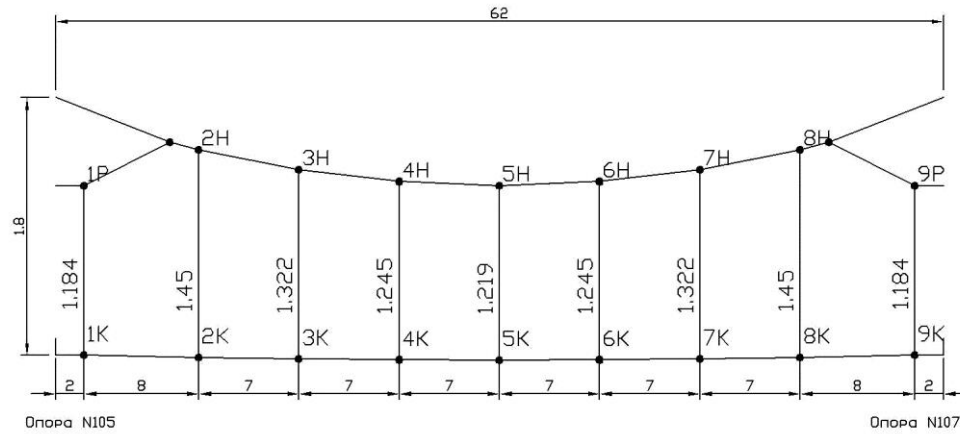


Эласт. м/Н №Е-4

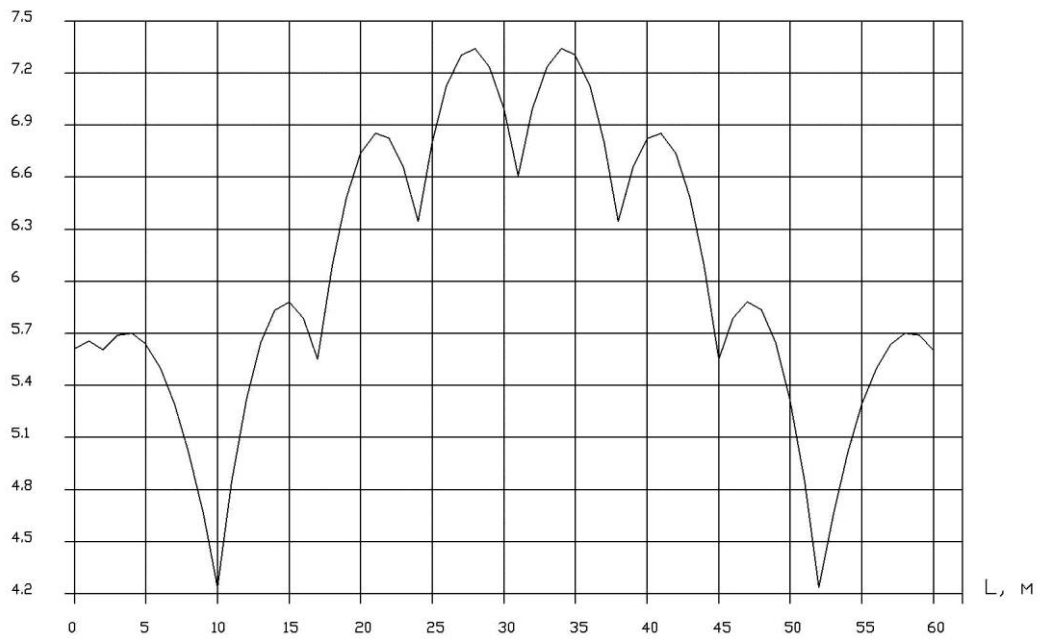


Параметр	Значение
Провода подвески	М-95 + МФ-100
Натяжение НТ, Н	14500
Натяжение КП, Н	12000
Стрела провеса НТ, м	0.38
Стрела провеса КП, м	0.035
Струны	ВСМ2-4,0
Рессорный трос	ВСМ2-4,0
Натяжение рессорного троса, Н	1500
Длина рессорного троса, м	16
Минимальная эластичность, м/Н №Е-4	3.934
Максимальная эластичность, м/Н №Е-4	5.979
Коэф. неравномерн. эластичности	1.52
Коэфф. неравн. эластич. EN 50119:2001	21 %
Нажатие токоприемника, Н	60
Режим	Беспривес. полож. КП

Рисунок 5.5 – Статичні параметри найменшого прольоту анкерної ділянки

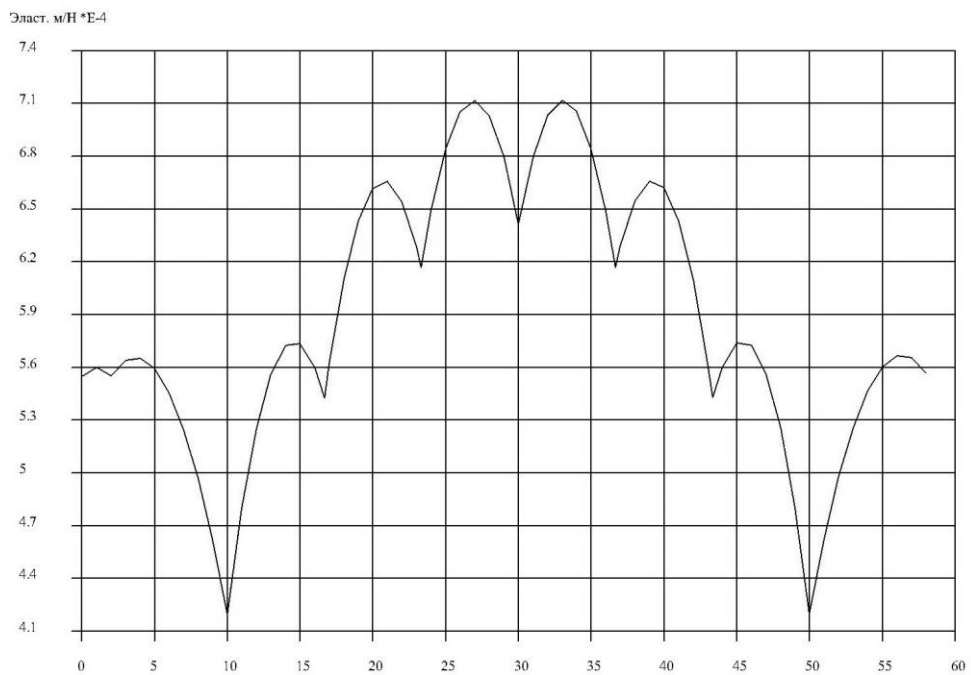
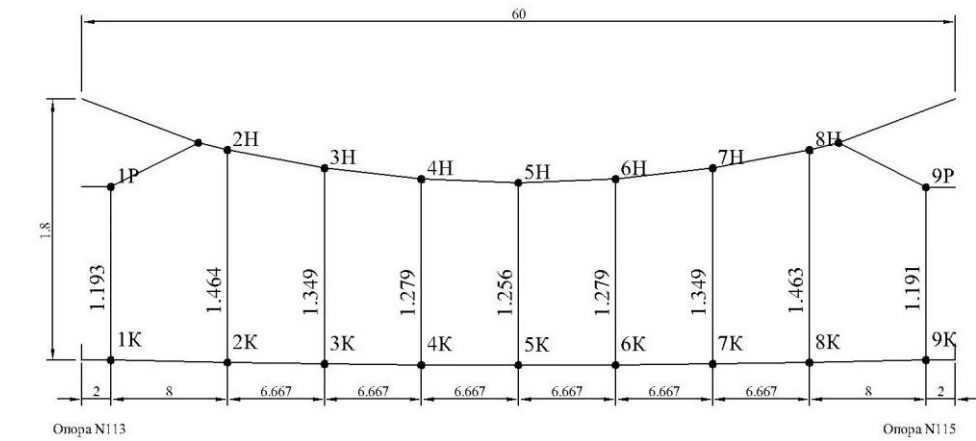


Эласт. м/Н №Е-4



Параметр	Значение
Провода подвески	М-95 + МФ-100
Натяжение НТ, Н	14500
Натяжение КП, Н	12000
Стрела провеса НТ, м	0.616
Стрела провеса КП, м	0.035
Струны	БСМ2-4,0
Рессорный трос	БСМ2-4,0
Натяжение рессорного троса, Н	1500
Длина рессорного троса, м	16
Минимальная эластичность, м/Н №Е-4	4.236
Максимальная эластичность, м/Н №Е-4	7.342
Кэфф. неравномерн. эластичности	1.733
Кэфф. неравн. эластич. EN 50119:2001	27 %
Нажатие токоприемника, Н	60
Режим	Беспровес. полож. КП

Рисунок 5.6 – Статичні параметри найбільшого прольоту анкерної ділянки



Параметр	Значение
Провода подвески	М-95 + МФ-100
Натяжение НТ, Н	14500
Натяжение КП, Н	12000
Стрела провеса НТ, м	0.579
Стрела провеса КП, м	0.035
Струлы	БСМ2-4,0
Рессорный трос	БСМ2-4,0
Натяжение рессорного троса, Н	1500
Длина рессорного троса, м	16
Минимальная эластичность, м/Н *Е-4	4.194
Максимальная эластичность, м/Н *Е-4	7.116
Коэфф. неравномерн. эластичности	1.697
Коэфф. неравн. эластич. EN 50119:2001	26 %
Нажатие токоприемника, Н	60
Режим	Беспровес. полож. КП

Рисунок 5.7 – Статичні параметри розрахункового прольоту анкерної ділянки

Статичні параметри підвіски М-95 + МФ-100 при зміні зносу і натягу КП (натяг НТ постійний і становить 14,5 кН) для розрахункового прольоту 60 м анкерної ділянки приведені в табл. 5.3. за умови незмінності довжин струн в прольотах анкерної ділянки. На рис. 5.7 показані відстані між струнами і їх довжини для розрахункового прольоту. При незмінності довжин струн і зниженні натягу КП при його зносі з'являються негативні стріли провисання КП (табл. 5.3). Зміна довжини струн в процесі зниження натягу КП виключають це явище. Порівнюючи статистичні параметри визначені в процесі моделювання з рекомендованими параметрами (додаток А.17) можна вибрати раціональні керуючі дії при технічному обслуговуванні.

Таблиця 5.3 – Статичні параметри

Натяг КП, Н	Знос КП, %	Стріла провисання НТ, м	Стріла провисання КП, м	Мінімальна еластичність, $\text{м/Н} \cdot \text{Е}^{-4}$	Максимальна еластичність, $\text{м/Н} \cdot \text{Е}^{-4}$	Коефіцієнт нерівномірн. еластичності
12	0	0,58	0,036	4,194	7,118	1,697 (26%)
11	7,5	0,568	0,017	4,29	7,416	1,729 (27%)
10	15	0,555	-0,185	4,391	7,753	1,766 (28%)
9	22,5	0,539	-0,166	4,499	8,137	1,809 (29%)
8	30	0,522	-0,147	4,614	8,583	1,86 (30%)

Результати моделювання динамічних параметрів. Найбільш об'єктивною функцією для об'єднання різних показників оцінки якості струмозняття є контактне натиснення. Чим стабільніше контактне натиснення, тим менше зношуються КП і контактні пластини струмоприймачів, підвищується якість струмозняття і забезпечується ресурсозбереження при експлуатації електротягових мереж.

При аналізі КМ з умови динаміки з параметрами, що задовольняють умовам статички, повинні аналізуватися криві контактного натиснення в прольотах анкерної ділянки. Середнє значення контактного натиснення

повинно бути близьким до оптимального відповідної кривої зносу. Коливання натиснення не повинні викликати підйоми фіксаторів до 200 мм та перепали відповідно при максимальних та мінімальних значень.

Одним з основних показників якості струмозняття є максимальна змінна складова контактного натиснення. Чим більше нерівномірність еластичності контактної підвіски по довжині прольоту, тим більше значення приймає змінна складова контактного натиснення. Зміна натягу проводів контактної підвіски впливає на обидва наведених параметра. При збільшенні натягу проводів нерівномірність еластичності контактної підвіски по довжині прольоту зменшується, що призводить до зменшення змінної складової контактного натиснення і поліпшенню якості струмозняття.

На рис. 5.8 показані реалізації контактного натиснення при русі одного струмоприймача ТЛ-13Л на анкерній ділянці зі швидкістю 80 і 160 км/год з регулюванням і без регулювання струн при натягу КП 8 кН і 30% зносі. В додатках А.18 наведені реалізації контактного натиснення на цій же анкерній ділянці при других зазначених вище факторах впливу.

Порівнюючи між собою реалізації, показані на рис. 5.8 та додатку А.18 можна помітити їх схожість. Хвилеподібну характеристику натиснення з ознаками симетрії щодо середини прольоту можна пояснити циклічною неоднорідністю динамічних властивостей підвіски уздовж прольоту.

Безпосередньо під опорою через вплив РТ підвіска має збільшену динамічну еластичність. В середині прольоту також є ділянка з підвищеною динамічною еластичністю. Змінюючи довжину і натяг РТ, число, довжину і місце кріплення струн можна вирівняти статичну еластичність підвіски і домогтися більшої динамічної однорідності.

Аналіз отриманих реалізацій контактного натиснення показує, що зі збільшенням швидкості руху середнє значення натиснення практично не змінюється і становить при швидкості 80 км/год – 60,0 Н, при 120 км / год – 59,5 Н, при 160 км / год – 59,0 Н, а дисперсія має сплеск в районі швидкості 140 км/год, що відповідає швидкості резонансу.

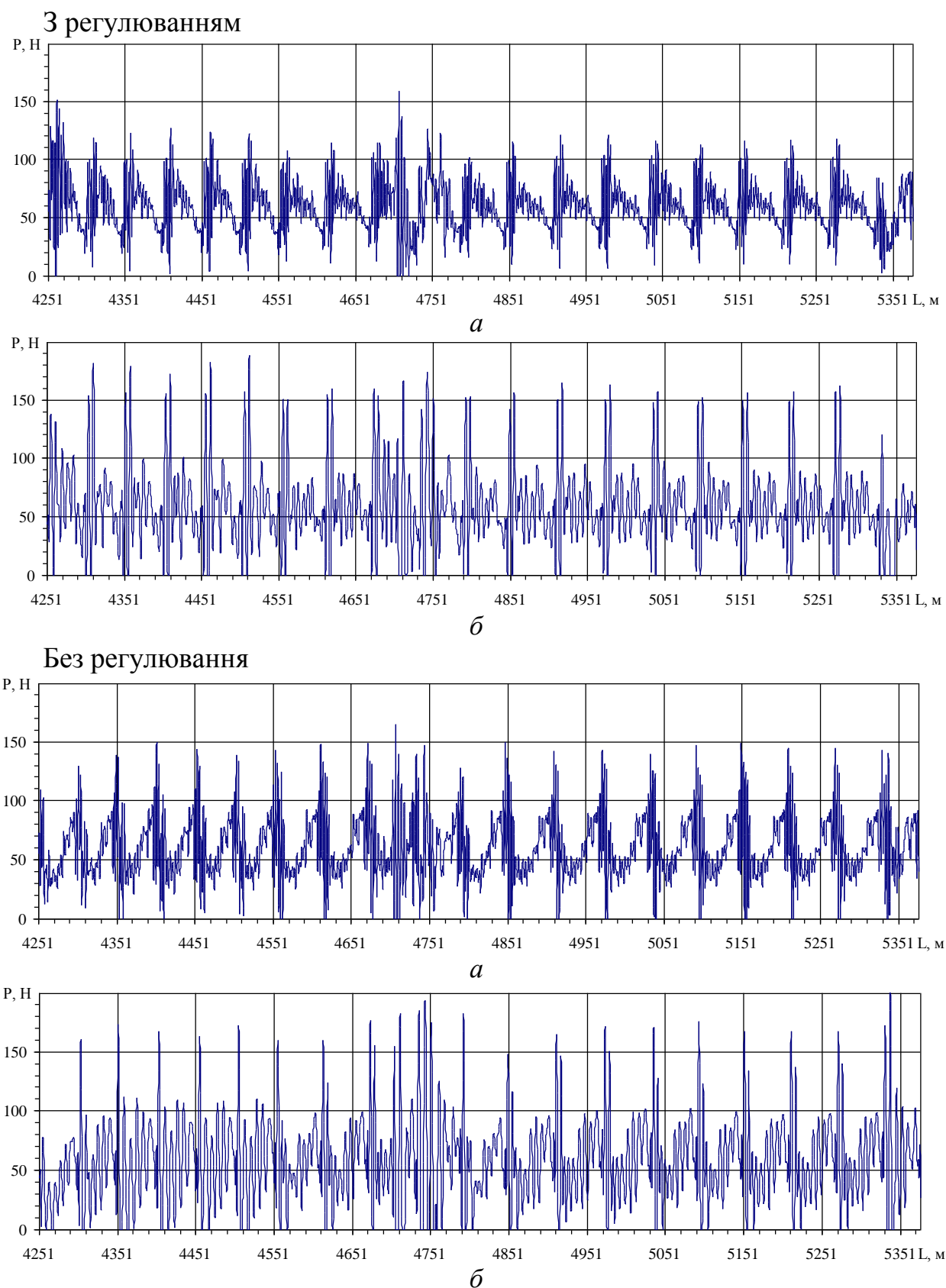


Рисунок 5.8 – Контактне натиснення струмоприймача ТЛ-13Л при русі зі швидкістю 80 км/год (*a*) і 160 км/год (*б*) на контактну підвіску М95 + МФ-100 на анкерній ділянці, з натягом КП 8 кН і 30% зносом з регулюванням і без регулювання струн

До цієї швидкості, а також після неї розподіли одноmodalні. Найбільш помітні зміни (збільшення дисперсії) спостерігаються тільки при швидкостях близьких до швидкості резонансу. Максимальні значення натиснень при швидкостях 80, 120, 160 км/год відповідно рівні 154, 183, 175 Н.

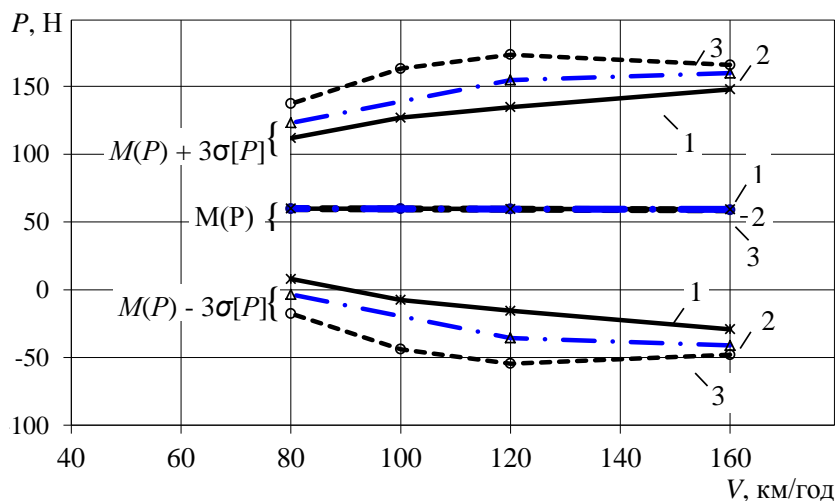
Можна зробити висновок, що для наведених вихідних даних при поздовжній швидкості руху струмоприймача 140 км/год, не виявлено помітного поліпшення якості струмознімання зі збільшенням натягу КП. Розповзання гістограм натиснення характеризує розмах вертикальних коливань струмоприймача зі збільшенням швидкості і як наслідок зростання відривів його від КП (додаток А.18).

Всі попередні реалізації були отримані при русі по контактній підвісці одного струмоприймача. В реальних умовах струмоприймачів може бути декілька, і як вже було показано раніше, струмозняття на кожному наступному струмоприймачі буде погіршуватися. В додатку А.18 показані криві контактного натиснення $P = f(l)$ і віджимання КП $\Delta h = f(l)$ при проході руху різних типів струмоприймача: ТЛ-13Л і 2SLS-1 зі швидкістю 160 км/год. Аналогічні криві $P = f(l)$ і $\Delta h = f(l)$ отримані і для інших швидкостей руху. Аналіз показує, що при переході струмоприймачів від однієї анкерної ділянки до іншої (підкети 4251 – 4311) і в прольоті середнього анкерування (підкети 4651 – 4751) спостерігаються максимальні значення натиснення струмоприймачів і величини віджимання КП (175 і 197 Н та 60 і 64 мм) відповідно для ТЛ-13Л і 2SLS-1.

Порівнюючи реалізації натиснення, отримані для різних струмоприймачів, можна відзначити, що вони дають подібну картину проходження струмоприймача під опорою. При цьому в районі першої простої струни спостерігається позитивний викид натиснення величиною близько 140 Н. Середнє натиснення для струмоприймача ТЛ-13Л становить 59,3 Н, а струмоприймача 2SLS-1 - 64,7 Н, середньоквадратичне відхилення 29,5 Н і 31,8 Н відповідно. Віджимання КП, розраховані за допомогою двох розглянутих струмоприймачів, також добре збігаються як за розташуванням

екстремумів, так і по загальному вигляду. Проведені порівняння показують, що імітаційна модель дозволяє отримати результати вельми близькі до реального процесу.

При практично стабільному середньому значенні контактного натиснення в розрахунковій анкерній ділянці в діапазоні зміни швидкостей руху від 80 до 160 км/год (рис. 5.9) спостерігається зростання статичного максимуму $\mu+3\sigma$ і мінімуму $\mu-3\sigma$ з максимальним значенням при резонансній швидкості руху 120–140 км/год. Зменшення натиснення може викликати відриви полоза струмоприймача від КП. У свою чергу відрив струмоприймача від КП може супроводжуватися виникненням іскріння або навіть електричної дуги. Це призводить до пошкодження поверхні контактних вставок струмоприймача, а іноді і обриву КП. Коефіцієнт відносного відриву струмоприймача від КП часто використовується при експериментальних дослідженнях і дозволяє давати ефективну оцінку якості струмозняття, стану контактної підвіски і можливості її використання при високих швидкостях руху.



Показник	Значення
P_{\max} Н	154,0
P_{\min} Н	21,0
$M[P]$ Н	60,0
$\sigma[P]$	18,5
$M[P]-3\sigma[P]$	3,5
$M[P]+3\sigma[P]$	115,9

Рисунок 5.9 – Залежності контактної сили:

1 – натяг 12 кН з 0% зносом КП; 2 – натяг 8 кН з 30% зносом з регулюванням струн; 3 – натяг 8 кН з 30% зносом без регулювання струн

На імітаційній моделі отримані залежності K_b від різних факторів:

ступеня зносу КП і його натягу, швидкості руху, типу струмоприймачів і якості регулювання підвіски. Аналіз залежностей $K_v = f(S\%)$ показує, що при швидкостях руху 160 км/год спостерігається значне зростання числа відривів струмоприймача від КП. Практично в 3 рази більше, ніж при незношених КП. Зміна довжин струн в прольоті в процесі регулювання контактної підвіски знижує значення K_v , але при зносі КП більше 15% його значення високе, а значить існуюча контактна підвіска не дозволяє реалізувати високі швидкості руху з достатньою якістю струмозняття.

Різність типів струмоприймачів мало впливають на функцію $K_v = f(V)$ крім швидкості резонансу, однак для оцінки якості струмозняття такі дослідження на моделі необхідні. Зміна коефіцієнтів відривів при збільшенні натягу КП підтверджує зарубіжні дослідження про зникнення відривів при натягу КП близько 22 кН.

Встановлено, що висока точність вертикального регулювання КП ($\Delta f \leq 0,02$ м) навіть при коефіцієнті нерівномірності еластичності $k_c=2$ дає практично ті ж результати, що і рівноеластична підвіска $k_c=1$ при $\Delta f = 0,04$ м. Це пояснює причину того, що на високошвидкісних магістралях Франції використовується контактна підвіска з рознесеними щодо опори простими струнами.

У відповідності з світовим досвідом моделі взаємодії КМ та струмоприймачів є основним інструментом при розробці і вдосконаленню КМ для швидкісного руху. На рис. 5.10 показані результати моделювання типового європейського швидкісного струмоприймача і контактної підвіски КМ-200-25 при швидкості руху 230 км/год. Практично усі параметри, які характеризують якість струмозняття, навіть при такій швидкості відповідають нормам міжнародних стандартів.

Впровадження сучасних методів моделювання в процесі розробки та експлуатації КМ для швидкісного руху дозволяє виконувати необхідні інженерні розрахунки на високому рівні. Це забезпечує надійність роботи, якість струмозняття та ресурсозбереження при експлуатації КМ.

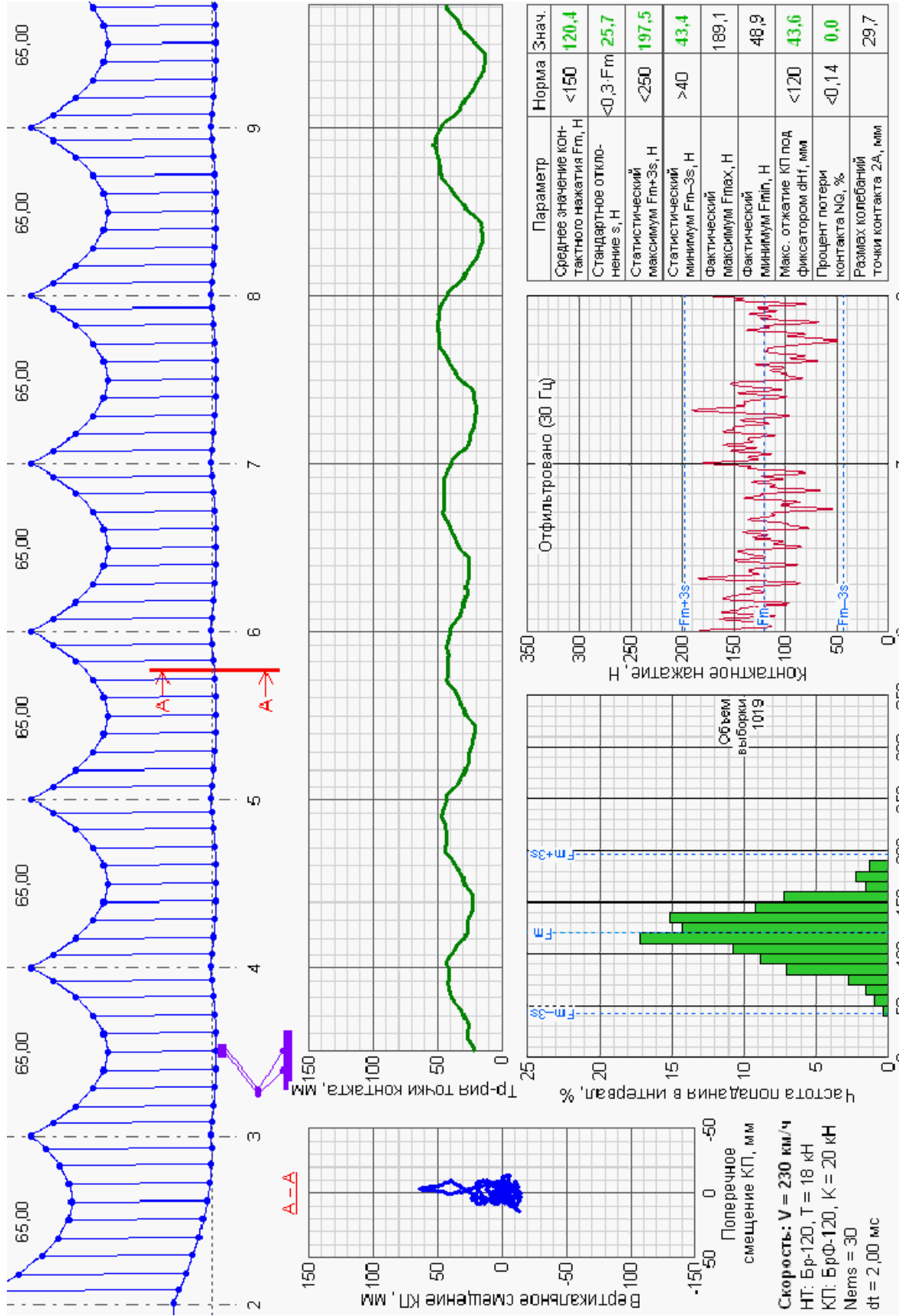


Рисунок 5.10 – Результати динамічного моделювання взаємодії КМ та струмоприймача

Підвищення натягу проводів і тросів не тільки забезпечує поліпшення якості струмозняття, але і дає можливість удосконалювати конструкцію контактної мережі в цілому: будівельна висота підвіски може бути зменшена до 1,4 м при довжині прольотів в межах 70 м. Це дозволяє здійснити ресурсозбереження за рахунок зменшення висоти опор контактної мережі і витрати матеріалів на виготовлення струн, а також полегшує розміщення контактних підвісок в штучних спорудах.

5.4.3. Комплексна автоматизована система діагностики контактної мережі та струмоприймачів

Одними з лімітуючих елементів електрифікованої залізниці, які безпосередньо пов'язані із забезпеченням безпеки процесу перевезень є струмознімальні пристрої: КМ і ЕРС. Вимоги до них наступні: забезпечення надійного, економічного і екологічного струмозняття [170–175].

Пошкодження КМ і струмоприймачів приводять як до значних витрат на ремонтні роботи так і до збитків, які пов'язані з перервами в русі поїздів [206–208]. Статистика відмов контактної підвіски і струмоприймачів і пов'язані з цим затримки поїздів за останніх 5 років (табл. 5.4, табл. 5.5) вимагають негайних рішень по підвищенню ефективності діагностики і використанні нових технологій експлуатації. В середньому за рік затримуються 725 поїздів на 744 години, а 63% з них за рахунок відмов контактної підвіски і струмоприймачів.

Таблиця 5.4 – Співвідношення пошкоджень і затримок поїздів

Параметри за останніх 5 років	Кількість пошкоджень на залізницях				% від загальної кількості затримок поїздів
	Контактна мережа			Струмоприймачі	
	Всього	З вини «Е»	Несправність струмоприймача	Не справність КМ	
Середнє	188,6	126,8	11,4	45,2	63,1
Ср. квадратичне відхилення	14,5	13,4	4,0	12,6	3,1

Таблиця 5.5 – Співвідношення кількості затримок і їх часу по видах поїздів

Параметри за останніх 5 років	Затримано поїздів по залізницям							
	Всього		Пасажирські		Приміські		Вантажні	
	Кількість, шт.	Час, год	Кількість, шт.	Час, год	Кількість, шт.	Час, год	Кількість, шт.	Час, год
Середнє	725,0	744,5	258,0	223,3	171,6	153,1	295,4	367,8
Ср. квадратичне відхилення	123,8	81,2	57,8	58,6	32,5	53,2	69,0	54,2

Ризик відмов КМ і струмоприймачів в грошовому виразі настільки великий, що вимагає кардинальних рішень в області інвестицій як у діагностику так і в нові технології їх експлуатації. Комплексна діагностика параметрів дозволяє оцінити стан елементів КМ та струмоприймачів за показниками надійності, безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і проводити вибіркочну заміну екстремально навантажених елементів до настання термінів їх відмови [208–210].

На протязі останніх років питання діагностики КМ та струмоприймачів – це основа безпечної роботи транспорту, енерго- і ресурссбереження на залізницях Росії, Західної Європи та Японії [186, 187, 197, 198, 225]. На залізницях багатьох європейських країн завдання діагностики КМ вирішене. Планово-запобіжна діагностика контактних підвісок і струмоприймачів на електрифікованих лініях Євросоюзу з використанням спеціальних стаціонарних і пересувних пристроїв і нові методи експлуатації контактних підвісок дозволяють істотно в 3–4 рази понизити пошкоджуваність КМ [197, 208]. Проте питання технічної діагностики струмоприймачів ЕРС при взаємодії з КМ вивчене недостатньо [174, 175, 197]. В загальному випадку більш 15 параметрів впливають на поведінку струмоприймача та 35 на контактну підвіску (рис 5.3), але практично, як показує досвід, технічний стан струмоприймачів може бути описаний за допомогою декількох характеристик [197, 198, 225]. Найбільш важливими є так звані статична та динамічна характеристики натиснення струмоприймача.

Впровадження на залізницях автоматизованої системи діагностики контактних підвісок і струмоприймачів підвищить безпеку і надійність вантажних і пасажирських перевезень і приведе до ресурсозбереження за рахунок значного зниження збитків від затримок поїздів. В даний час за доцільне вважається контролювати наступні параметри системи контактна мережа – струмоприймач: знос КП; нагрів проводів і струмопровідних затискачів; висоту КП над рівнем головки рейок; зигзаги і виноси КП; відриви струмоприймачів, підбої (удари); кути нахилу фіксаторів (висота основних стержнів фіксаторів); різницю у висотах проводів на спряженнях і стрілках; статичне і динамічне натиснення полоза струмоприймача; наявність місцевого перепалу КП; стан ізоляторів; стан іскрових проміжків і діодних заземлень. Частина вказаних параметрів контролюється ВВКМ, а інша частина пристроями діагностики струмоприймачів.

Для діагностики струмоприймачів використовуються автоматичні пристрої, що встановлюються на КМ головних колій станцій і контролюють характеристики і параметри струмоприймачів на швидкості 80 ± 10 км/год та на малій швидкості 4–6 км/год на тракційних коліях при заході і виході з депо, а також стаціонарні пристрої які призначені для установки в депо. Можна вважати перспективними розробки вбудованих пристроїв автоматичної діагностики характеристик струмоприймачів і пристроїв, що встановлюються на КМ для вимірювання з встановленою швидкістю. Ці пристрої по радіоканалу повинні сигналізувати черговому по станції і машиністові у разі виникнення несправності струмоприймача в процесі руху по перегону.

Для КМ розроблена концепція системи діагностики, що включає конкретний перелік діагностичних параметрів. Виділені найбільш інформативні параметри, оцінені за принципом “витрати – ефект”. Всі технічні засоби визначені як зовнішні, які встановлені на вагонах ВВКМ, дрезинах УСП КП, або перевозяться на автомашині і вбудовані в КМ. Доцільно розвивати вбудовані пристрої діагностики КМ. У ВВКМ

знаходиться велике число діагностичних комплексів, що дозволяють виконувати комплексну діагностику КМ: контроль геометричних параметрів контактної підвіски, контроль взаємодії контактної підвіски із струмоприймачем, виявлення місць підвищеного зносу КП, виявлення місць перегріву елементів КМ та дефектних ізоляторів (рис. 5.11).



Рисунок 5.11 – ВВКМ: зовнішній вигляд (а); датчик зносу контактного проводу (б); камери: відеоспостереження та ультрафіолетова DayCorII (в); дефектні ізолятори КМ виявлені за допомогою камери DayCorII (г)

Комплексне діагностування КМ і струмоприймачів дозволить отримати достатню інформацію для аналізу їх стану з використанням ЕС. Враховуючи

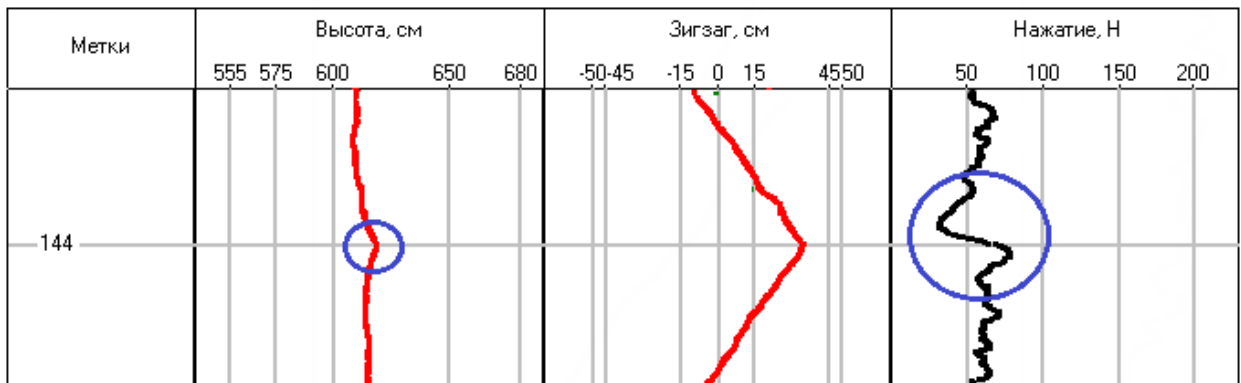
випадковий характер пошкоджень КМ, слід забезпечити її діагностування з максимальною частотою, а для аналізу численної діагностичної інформації створити аналітичні центри. Це найважливіша умова реалізації ресурсозберігаючих технологій експлуатації КМ і струмоприймачів. ЕС ресурсозберігаючих технологій експлуатації і ремонту КМ з урахуванням стану статичних і динамічних параметрів струмоприймачів можна реалізувати після модернізації АСУЕ.

Автоматизована діагностика КМ. Нові можливості дослідження взаємодії КМ із струмоприймачами відкриває розширення функцій використання ВВКМ в області вимірювання і оцінки основних критеріїв якості струмозняття – натиснення струмоприймача і коефіцієнтів ненадійності і економічності (рис. 5.11). Таке застосування ВВКМ дозволить вибрати раціональні параметри КМ і струмоприймачів по критерію ресурсозбереження і надійності струмозняття [191–195].

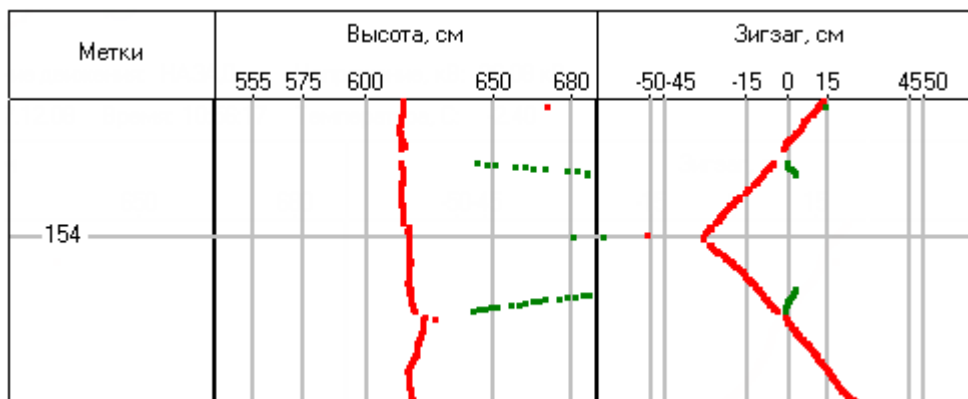
З використанням ВВКМ проведені широкомасштабні експериментальні дослідження взаємодії КМ і струмоприймачів. Вимірювання висоти, положення КП в плані і контактного натиснення виконані для численних ділянок КМ із задовільним і незадовільним регулюваннями контактних підвісок. Наприклад, при швидкості руху 75 км/год зафіксована різка зміна натиснення на опорі № 144 (рис. 5.12, *а*). На рис. 5.12, *б* показано неякісне регулювання середньої анкеровки на опорі № 154. На рис. 5.12, *в* показано неякісне регулювання повітряної стрілки на опорі № 22.

Спільний розгляд залежності висоти контактної підвіски на анкерній ділянці і контактного натиснення дозволяє ефективно виявляти жорсткі точки і виробляти необхідні КД для їх усунення. Висота КП підвіски М-95+МФ-100 перегону Кочубеївка – Божкове (рис. 5.13, *а*), виміряна при температурі навколишнього середовища + 1°С для анкерної ділянки від 77 до 127 опори, при натисненні КП 11 кН і зносі 2%. В цей же час на тій же ділянці синхронно (рис. 5.13, *б*) виміряно контактне натиснення одного струмоприймача ТЛ-13Л при швидкості 80 км/год.

а) різка зміна натиснення на ділянці



б) середня анкеровка на перегоні



в) фрагмент повітряної стрілки на станції

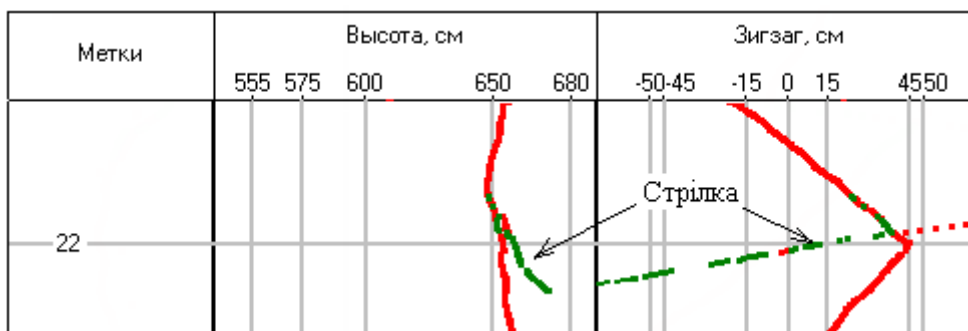


Рисунок 5.12 – Графіки висоти, зигзага, натиснення на ділянках залізниць:
 а – Баришівка – Березань; б – Бориспіль-Баришівка (компенсована підвіска М-95+МФ100, натяг 10 кН, швидкість 100 км/год, температура навколишнього середовища + 26 °С); в – ст. Заворичі, швидкість 105 км/ год, температура навколишнього середовища +25 °С

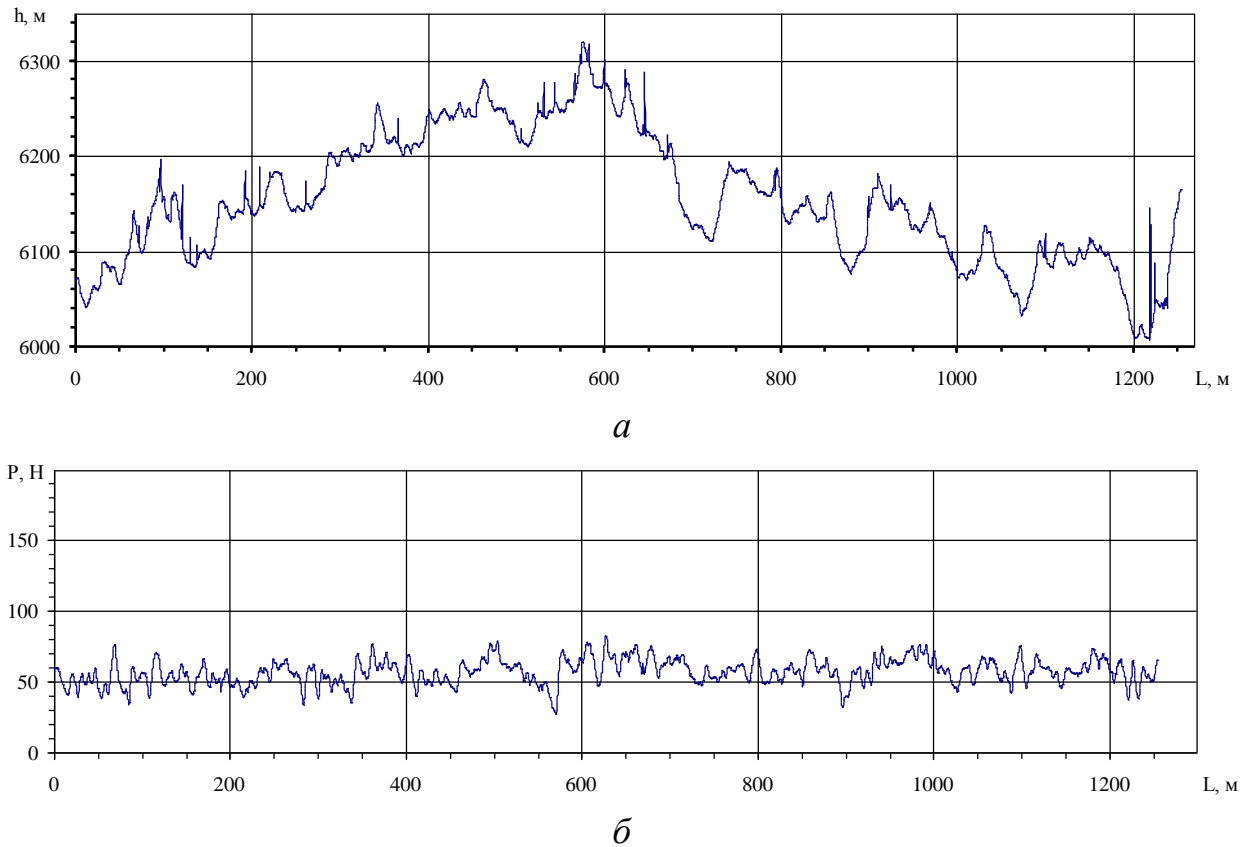


Рисунок 5.13 – Експериментальні дослідження на анкерній ділянці перегону Кочубеївка – Божкове: *а* – висота КП; *б* – контактне натиснення

Просте поєднання експериментальних і модельованих залежностей контактного натиснення в прольоті анкерної ділянки і на всій анкерній ділянці показує їх деякі розбіжності. В той же час різниця математичних очікувань контактного натиснення на анкерній ділянці при моделюванні і експерименті складає 5%. У табл. 5.6 приведені статистичні дані залежностей контактного натиснення в процесі струмозняття на експериментальній анкерній ділянці.

Таблиця 5.6 – Статистичні параметри контактного натиснення

Показник		P_{\max}, H	P_{\min}, H	$M[P], \text{H}$	$\sigma[P], \text{H}$	$K_{\text{в}}, \%$	n
Значення	експеримент	83,0	27,0	57,1	8,9	0,1	0,45
	імітаційне моделювання	154,0	21,0	60,0	18,5	0,3	1,55

Найточнішим показником якості струмозняття при статичній обробці кривих контактного натиснення є дотримання умови $M[P] - 3\sigma[P] \geq P_{\min \text{ доп}}$, де $P_{\min \text{ доп}}$ – мінімальне допустиме значення контактного натиснення. Як показує досвід для оцінки якості динаміки струмозняття досить користуватися абсолютним значенням максимальної змінної складової контактного натиснення $|P_v|_{\max}$. Тоді коефіцієнт відносної зміни натиснення можна представити виразом $n = |P_v|_{\max} / M[P]$. Характеризуючи експлуатаційний стан КМ по параметру контактного натиснення має сенс розглядати всі показники n , $\sigma[P]$, $|P_v|_{\max}$. Розроблена методика оцінки якості струмозняття і експлуатаційного стану КМ на основі статистичної обробки баз даних кривих контактного натиснення і показано, що за рахунок раціонального натягу КП, можна забезпечити необхідну якість струмозняття і понизити знос контактуючих елементів [191, 194].

Величина зносу контактних пар в експлуатації є найбільш об'єктивним критерієм оцінки їх роботи. Відриви струмоприймачів від проводів є критерієм, який можна використовувати під час інспекційних і експериментальних поїздок, що дає миттєву оцінку надійності струмозняття, хоча і не враховує можливість підйому проводів під тиском струмоприймача. Коефіцієнт відривів K_v визначається як процентне відношення суми часу відривів до періоду спостереження $K_v = \sum t_v / T \cdot 100 \%$. На імітаційній моделі отримані залежності коефіцієнтів відриву K_v від різних факторів.

Автоматизована система діагностики струмоприймачів. За наслідками досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених для достатньо повного аналізу стану в АСДС необхідно включити наступні пристрої діагностики: пристрій реєстрації інформації про електровоз: його ідентифікований номер, тип ЕРС, тип струмоприймача (ПРІ); реєстратор зовнішнього стану струмоприймача (РЗС); пристрій контролю положення полоза струмоприймача (ППП); реєстратор стану струмозійомних накладок

(РСН); реєстратор натиснення струмоприймача (РНС); реєстратор інерційності струмоприймача (РІС).

Діагностика виконується на станційних або тракційних коліях з рухом ЕРС під робочою напругою КМ. АСДС це цифрова телевізійна система з комп'ютерною обробкою зображень. У системі знімається і обробляється зображення струмоприймача і його елементів декількома телевізійними растровими камерами. Отримані в різних ракурсах зображення обстежуваного струмоприймача порівнюються з відповідними характеристиками еталонного струмоприймача даного типу. Результати порівняння архівуються.

Діагностика всіх струмоприймачів ЕРС в процесі руху по спеціальній ділянці головних колій, на вході або виході з депо з автоматичним аналізом і рекомендаціями поліпшення характеристик струмоприймачів істотно зменшать кількість їх відмов і як наслідок пошкодження контактних підвісок і затримок поїздів. При заході ЕРС на станції в депо на ТО необхідно автоматизувати: аналіз стану елементів струмоприймачів, підготовку дефектної відомості, збір і систематизацію даних про стан елементів та вузлів і за результатами аналізу проводити вдосконалення конструкції елементів і вузлів і корегування термінів ТО по пробігу. При виході на лінію необхідно проводити: контроль струмоприймачів на відповідність технічним умовам.

На основі розробленого та затвердженого технічного завдання та технічного проекту на АСДС (додаток В) запропоновано реалізовувати систему АСДС для двох варіантів: комплекс обладнання діагностики розміщується на головних коліях з фіксацією натиснення струмоприймачів ЕРС полу ромбом натиснення та відеокамерами; комплекс обладнання діагностики розміщується на тракційних коліях при заході чи виході ЕРС з пункту технічного обслуговування. АСДС забезпечує:

– роботу в темний і світлий час доби в двох напрямках руху ЕРС по кожній колії при швидкості 80 ± 10 км/год на головних коліях і 4–6 км/год на тракційних коліях;

- реєстрацію фронтальних зображень струмоприймачів при проході контрольного пункту;
- визначення основних геометричних параметрів полоза і рам струмоприймача;
- вимірювання сили натиснення струмоприймача на КП;
- оперативне сповіщення оператора при виявленні несправного струмоприймача;
- збереження відеозаписів проходів струмоприймачів в архіві з можливістю подальшого перегляду.

Час контролю струмоприймача визначається швидкістю руху локомотива від 4 км/год до 6 км/год на тракційних коліях і 80 ± 10 км/год на головних коліях і довжиною ділянки КМ з вимірювальними пристроями 60÷100 м. Технічні вимоги до всіх пристроїв АСДС наступні:

- датчики вмонтовуються на робочий КП і функціонують під його потенціалом (3,3 кВ або 27,5 кВ);
- контрольно-вимірювальна апаратура у вигляді інформаційно-обчислювального комплексу (ІОК) розміщена у виробничих опалювальних приміщеннях;
- у конструкціях і схемах застосовані типові рішення і стандартні деталі; забезпечена простота монтажу, експлуатації і мінімальна вартість; оптимальна швидкість перевірки (з найменшою похибкою) від 4 км/год до 8 км/год;
- контроль виконується на всіх висотах робочого діапазону положень КП від 5500 мм до 6800 мм від РГР;
- здійснюється автоматичний запис результатів перевірки; локомотивна бригада і оперативний персонал інформується про відхилення параметрів, що визначаються, від встановлених норм;
- пристрої мають достатню електричну і механічну міцність;
- похибки від змін температури середовища, швидкості вітру і інших атмосферних факторів незначні;

– пристрої контролюють будь-який тип струмоприймача без втручання в його конструкцію і конструкцію ЕРС і кожне з них здатне працювати автономно.

Пристрій ПРІ реалізується на базі відомого на залізничному транспорті пристрою САИД "Пальма" (Росія) або Українському аналогу. Реєстратор РЗС, пристрій ППП і реєстратор стану РСН об'єднані в єдину систему. Це цифрова телевізійна система з комп'ютерною обробкою зображень. У системі знімається і обробляється зображення струмоприймача і його елементів в трьох проекціях декількома телевізійними растровими камерами. Отримані візуальні характеристики обстежуваного струмоприймача порівнюються з відповідними характеристиками еталонного струмоприймача даного типу. Результати порівняння архівуються.

Реєстратор РНС реалізує зняття характеристики статичного натиснення полоза струмоприймача на КП у всьому робочому діапазоні його висот від РГР (5500...6800 мм) за рахунок дії на струмоприймач імітатора контактного проводу, виконаного у вигляді ромба у вертикальній площині (жорстка програма зміни висоти). Контроль натиснення проводиться за допомогою датчиків натиснення, закріплених стаціонарно на КП. Вплив переміщення струмоприймача у вертикальній площині на результати вимірювання статичної сили натиснення враховується програмно. Статична характеристика натиснення струмоприймача є об'єктивним показником його експлуатаційного стану і впливає на надійність роботи струмоз'ємних пристроїв і КМ. Невідповідність його встановленим нормам служить причиною пошкоджень КМ і поломок струмоприймачів, підвищеному зносу контактуючих елементів полоза.

Реєстратор РІС реалізує зняття характеристики динамічного натиснення полоза струмоприймача на КП при нормальній його середній висоті від РГР (6000 мм). Одночасно реєструються відриви полоза струмоприймача від КП електричним способом. Швидкі переміщення струмоприймача у вертикальному напрямі в необхідному діапазоні ± 40 мм

при русі локомотива створюються імітатором КП, виконаним у вигляді синусоїди (жорстка програма зміни висоти). Надійна робота ковзаючого електричного контакту між пластинами полоза струмоприймача і проводом можлива тільки при їх стійкому механічному контакті. Періодичні порушення контакту визначаються динамічними властивостями струмоприймача, які оцінюються його частотною характеристикою. Відриви полоза струмоприймача в жорстких точках КМ є причиною посиленого електричного зносу пластин і проводу і не ефективних режимів роботи тягового устаткування ЕРС. Так відриви полоза струмоприймача тривалістю 0,01–0,10 с, що виникають в результаті окремих поштовхів при вигині проводу, в жорстких точках і т. п., є причиною посиленого електричного зносу пластин і проводу, а порушення контакту тривалістю більше 0,10 с не тільки підсилюють знос, але і є причиною ненормальної роботи тягового устаткування ЕРС.

АСДС (рис. 5.14) включає в себе: ПУА – приміщення для установки апаратури; сигнали з ділянок РЗС, ППП, РСН, РНС, РІС передаються у цифровому вигляді по кабелю оптоволоконного зв'язку в приміщення для ПУА, аналізуються в ПУА і видається сигнал на зовнішній показник.

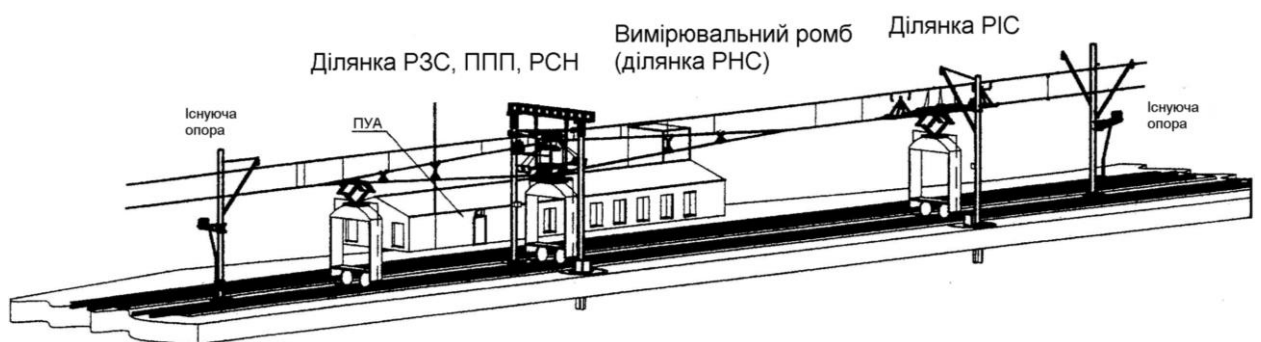


Рисунок 5.14 – Загальний вигляд АСДС

Пристрій ПРІ повинен надавати інформацію про ідентифікований номер локомотива, його тип і тип вживаних на ньому струмоприймачів. Завдання ідентифікації типу струмоприймачів, встановлених на локомотиві,

за допомогою даної системи реалізується таким чином: в комп'ютері системи ІОК, що входить в АСДС, реалізується база даних про локомотиви, що обслуговуються даною системою АСДС, з якої ІВК АСДТ по ідентифікаційному номеру локомотива, визначає інформацію про струмоприймачі. Згодом можливо буде модернізувати систему і дану інформацію отримувати із загальної бази даних АСК ВП УЗ.

Реєстратор РЗС пропонується реалізувати на базі двох спеціалізованих телевізійних підсистем РЗС1 і РЗС2, кожна з яких складається з декількох матричних телевізійних камер високої роздільної здатності. Для захисту телевізійних камер від дії несприятливих факторів навколишнього середовища їх необхідно розмістити в герметичні корпуси з ілюмінаторами з антивідблиском, що самопідігріваються. Окрім телевізійних камер в корпусах необхідно розташувати систему живлення камери і управління обігрівом, блок обробки відеосигналу, модулятор оптоволоконної лінії зв'язку. Дві телевізійні системи використовуються для того, щоб контролювати зовнішній вигляд струмоприймача зверху і положення його полоза збоку. Для забезпечення нормальної роботи РЗС необхідно розміщувати їх в спеціальному ангарі, що захищає від прямих сонячних променів, випромінювання сторонніх освітлювачів і атмосферних опадів.

Реєстратор РНС пропонується реалізувати на базі імітатора КП, виконаного у вигляді програмуючого ромба у вертикальній площині (жорстка програма зміни висоти) і датчиків натиснення, які необхідно закріпити стаціонарно на КП. Вплив переміщення струмоприймача у вертикальній площині на результати вимірювання статичної сили натиснення треба врахувати програмно. Вимірювана величина контактного натиснення P_{kt} при малій швидкості руху полоза пантографа по вимірювальному ромбу дорівнює $P_{kt} = P_{ct} \pm P_{tr}$, де P_{ct} – сила статичного натиснення, P_{tr} – сила тертя в шарнірах пантографа. Причому знак "+" присутній при русі лижі вниз по програмуючому ромбу і "-" – при русі вгору. Таким чином, після проїзду по обох плечах програмуючого ромба можна оцінити і силу статичного

натиснення і силу тертя в шарнірних з'єднаннях пантографа. В систему РНС необхідно включити 6 вимірників натиснення, в кожен з яких входить ізолюючий перетворювач живлення, блок перетворення сигналу натиснення і вимірювальний елемент. Блок перетворення сигналу натиснення приймає аналоговий сигнал від вимірювального елемента, нормалізує його і перетворює в цифровий код, який по волоконно-оптичній лінії зв'язку поступає в блок зв'язку з об'єктами (БЗО). У БЗО відбувається мультиплексування сигналів від всіх датчиків натиснення і передача по волоконно-оптичній лінії зв'язку в ІОК АСДС. Застосування оптичних методів передачі інформації дозволяє забезпечити високу перешкодостійкість ліній передачі даних, розташованих в зоні інтенсивних електромагнітних полів, що являються джерелами широкосмугових імпульсних перешкод.

В реєстратор РІС необхідно включити програмуючий пристрій, який буде задавати траєкторію руху струмоприймача у вертикальній площині при русі локомотива, систему вимірювання натиснення, яка подібна системі РНС і реєстратор відривів. Проведений аналіз розроблених раніше установок для динамічних випробувань струмоприймача, а також основних положень ГОСТ12036 дозволив сформулювати принцип перевірки інерційності струмоприймача безпосередньо на шляхах без зупинки локомотива. Суть його полягає наступному: змусити струмоприймач здійснювати синусоїдальні коливання у вертикальній площині з амплітудою 0,04 м і частотою 1,0 (0,8) Гц при русі ЕРС із заданою швидкістю; безперервно вимірювати поточне натиснення струмоприймача і фіксувати наявність відривів. Далі в ІОК АСДС, аналізуючи отриману інформацію, можна оцінити динамічний стан струмоприймача і його реальну інерційність. Структура системи РІС подібна до структури РНС. Окрім тих, що входять в РНС датчиків в РІС необхідно включити ще датчик напруги для реєстрації відривів полоза струмоприймача.

Конструктивно програмуючий пристрій і датчик відривів необхідно

зробити з підстав до яких жорстко підвішені два синусоїдальні профілі з алюмінієвого, плакитованого неіржавіючою сталлю Т-подібного прокату з параметрами (амплітуда і період), відповідними ГОСТ 12068-72. Довжина профілю, на якій полоз здійснює одне коливання за час $t = 1$ с при заданій швидкості перевірки $L = v \cdot t$. Між підставами, які розташовані на відстані, рівній довжині полоза між каретками необхідно встановити жорсткі ізоляційні розпірки. До несучого троса конструкція кріпиться ізольованими ковзаючими струнами і жорсткими розпірками. КП розташований над віссю шляху. Весь програмний пристрій з датчиком необхідно змонтувати на робочій опорі без втручання в існуючу конструкцію КМ. Програмний пристрій необхідно виконати з трьох зон: центральної вимірювальної синусоїди, що складається з двох періодів, і крайніх перехідних, кожна з яких включає один період. Для підвищення жорсткості синусоїдальних профілів підстави необхідно їх виготовити із сталевого кутка несучої конструкції до якої кріпиться контактний провід. Весь датчик збирається з модулів. Модуль складається з синусоїдальних профілів, які сполучені трубами. Синусоїдальні профілі вимірювальної зони кріпляться до підстав через вимірювальні елементи системи вимірювання натиснення, подібно до системи РНС.

Реєстратор відривів реалізований у вигляді логічного реєстратора імпульсів, який працює наступним чином. Електровоз з піднятим струмоприймачем, під'їжджаючи до програмного датчика-перетворювача, полозом наїжджає на коливальний пристрій (програмний датчик). При цьому він перемикає нормально ізольовані один від одного синусоїдальні профілі. Це приводить до протікання вимірювального струму через реєстратор відривів, який формує імпульси, що передаються в ІОК. При неробочому струмоприймачі або перевищенні швидкості перевірки в лінію зв'язку поступатимуть імпульси, які фіксуються в ІОК.

Економічні розрахунки експертів показують, що перехід на обслуговування КМ та струмоприймачів по стану з використанням технологій ресурсозбереження дозволять знизити експлуатаційні витрати на

обслуговування 100 км розгорнутої довжини контактної мережі на 300–400 тис. грн. в рік.

5.4.4. Технологія обслуговування за станом електричних систем з тяговими навантаженнями

Технологія технічного обслуговування по стану є алгоритм призначення заходів з підтримки заданого технічного стану обладнання ТП та КМ в процесі їх експлуатації. Процес технічного обслуговування і час проведення КД можна оптимізувати. Критеріями оптимізації можуть бути показники готовності пристроїв або мінімізація витрат часу і матеріальних засобів на обслуговування КМ. Відповідно до ГОСТ 18322-78 затверджені наступні показники системи технічного обслуговування і ремонту: середні і питомі тривалості, трудомісткість, вартість, коефіцієнти готовності і технічного використання.

Аналіз пошкоджень пристроїв електропостачання (табл. 5.7) показує, що переважна кількість пошкоджень припадає на КМ і особливо на ділянках з терміном експлуатації понад 40 років. Значно менше пошкоджень відбувається на ТП. Розподіл пошкоджень з вини департаменту електропостачання за видами пристроїв наступні: КМ – 156 випадків, 49,7%; ТП – 18 випадків, 5,4%; електропостачання СЦБ – 140 випадків, 44,6%; самохідний рухомий склад – 1 випадок, 0,3%. Рівень експлуатаційної надійності електротехнічного обладнання ТП і особливо нового покоління на базі комплектно-модульного принципу достатньо високий. Так математичне очікування проценту відмов ТП за останні десять років не перевищує 5%.

КМ є відновлювана складна система зі змішаним з'єднанням елементів, оскільки вона продовжує функціонувати після усунення ремонтом наслідків несправності, обслуговується наявними персоналом і в залежності від елемента, що відмовив може перебувати в двох або більше робочих станах. Іншими словами, можливі відмови, при яких КМ в цілому продовжує виконувати свої функції, але зі зниженою ефективністю. КМ окремої ділянки

представляє систему з наступними елементами: анкерні ділянки; ізольовані і неізольовані сполучення; нейтральні вставки; повітряні стрілки; секційні ізолятори; живильні та обхідні лінії. Така диференціація елементів КМ має дуже відносний характер, оскільки кожен з них може бути прийнятий за самостійну підсистему, складену з нових елементів.

Таблиця 5.7 – Розподіл пошкоджень по видах пристроїв

Види пристроїв	Рік	Всього		З вини «Е»		Затримано поїздів	% від загальної кількості затримок поїздів
		Кількість	% від загальної кількості	Кількість	% від загальної кількості		
Контактна мережа	2014	463	36,6	156	49,7	558	66,3
	2013	252	24,4	160	37,0	494	61,5
Тягові підстанції	2014	101	7,9	18	5,4	80	9,5
	2013	69	6,7	23	5,3	52	6,5
Електропостачання пристроїв СЦБ	2014	696	55,2	140	44,6	198	23,5
	2013	705	68,4	244	56,5	253	31,5
Спеціальний рухомий склад	2014	4	0,3	1	0,3	6	0,7
	2013	5	0,5	5	1,2	4	0,5

Статистичний облік відмов пристроїв КМ за тривалий період експлуатації на залізницях змінного і постійного струму [192, 208], дав можливість провести аналіз середнього розподілу відмов технічних засобів по основних групах пристроїв. Співвідношення математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень пошкоджень КМ і струмоприймачів та затримок поїздів в процентах від загальної кількості затримок за останні 10 років такі: 194,5 і 15,5 та 64,3 % і 3,4 %. Найбільшу пошкоджуваність мають елементи контактної підвіски (47,4% на змінному струмі і близько 60% на постійному). Аналіз динаміки змін фізичного та морального старіння ПЕ показує, що швидкими темпами збільшується кількість обладнання, яке відпрацювало свій технічний ресурс [191–192]. Як наслідок збільшується кількість відмов пристроїв ТП і КМ. Зняття гостроти, а в перспективі - повне

вирішення зазначеної проблеми базується на вирішенні питання значного збільшення обсягу щорічного поновлення ПЕ, в першу чергу ділянок з високим потоком вантажного і пасажирського руху.

Говорячи про пристрої, які пов'язані з КМ, доцільно виділити: низьколеговані мідні КП; нові модифікації КМ на основі проектів КМ-160 і в перспективі КМ-200 для різних умов експлуатації; демонтажно-розгортальні комплекси; засоби і технології для демонтажу та утилізації опор. Стосовно до ТП слід зазначити: сухі трансформатори; комплектні розподільні пристрої з елегазовою ізоляцією; регульовані пристрої компенсації реактивної потужності; випрямні і випрямно-інверторні агрегати нового покоління.

Не менш важливе значення мають і технологічні інновації і в першу чергу комплекс технологій під загальним найменуванням технічне діагностування. На сьогодні в розвитку технічного діагностування виділяються основні напрямки: вимірювальні комплекси ВВКМ; системи реєстрації небезпечних режимів дугового струмозняття; діагностування ізоляторів сканером ультрафіолетового діапазону; системи постійного технічного діагностування електротехнічного обладнання тягових і трансформаторних підстанцій, силових трансформаторів, перетворювачів, вимикачів та ін. Для всіх систем діагностування можна виділити задачі:

- автоматизація процесів збору, передачі та аналізу результатів;
- підвищення контролю за технічним станом ПЕ, своєчасністю і якістю проведення їх ремонту та поліпшення технічного обслуговування ПЕ.

Інформаційні технології становлять невід'ємну основу всіх процесів технічного діагностування, які вже згадувалися вище. Поряд з технічним діагностуванням в число інновацій технологічного характеру доцільно включити технології спорудження об'єктів, перш за все ТП, на базі мобільних будівель, які в наш час завдяки багатьом факторам стали практично безальтернативними.

Технічне переобладнання і модернізація вимагають значних інвестицій, а стратегію технічного обслуговування і ремонту необхідно вдосконалювати

шляхом впровадження нових прогресивних форм її організації і управління. Однією з них є система технічного обслуговування і ремонту за прогнозним технічним станом обладнання. Обслуговування та ремонт за станом підвищує ресурс і надійність і скорочує експлуатаційні витрати [191–195]. Для впровадження нових принципів експлуатації, необхідно переходити до нових форм технічного обслуговування [206, 209, 210].

На першому етапі необхідно вирішити завдання стратегічного рівня, пов'язані з оцінкою стану і прогнозуванням залишкового ресурсу обладнання, яке експлуатується чимало часу. Стратегія технічного обслуговування і ремонту за прогнозним станом електрообладнання на основі діагностики є найбільш раціональною і економічно обґрунтованою і призводить до ресурсозбереження. Досвід експлуатації ПЕ показує, що 80% дефектів, які обумовлюють вихід з ладу приладів та обладнання КМ, тягових і трансформаторних підстанцій та ліній електропередачі, може бути своєчасно виявлено сучасними методами і апаратурою для діагностування і моніторингу. На рис. 5.15 дано порівняння необхідної і фактичної схем контролю надійності, в яких передбачені спільні заходи щодо забезпечення надійності ПЕ, реалізовані виробником, персоналом дистанцій електропостачання і сервісною службою технічного обслуговування.

Знання фактичної ситуації базується на зворотному зв'язку, що надає інформацію про технічну розробку, монтаж та введення в експлуатацію ПЕ ділянки службі управління надійністю підприємства-виготовлювача. У той же час для підвищення надійності нових ПЕ виробнику необхідні відомості про ПЕ, які вже перебувають в експлуатації (опори, елементи підвісок, роз'єднувачі, вимикачі та ін.). Після закінчення гарантійного терміну виробник вже не отримує такої інформації, однак вона повинна фіксуватися відділом управління надійності сервісного підприємства, яке бере участь в технічному обслуговуванні ПЕ. Таким чином необхідна схема передбачає спільне управління надійністю виробником, експлуатаційним персоналом і сервісною службою технічного обслуговування.

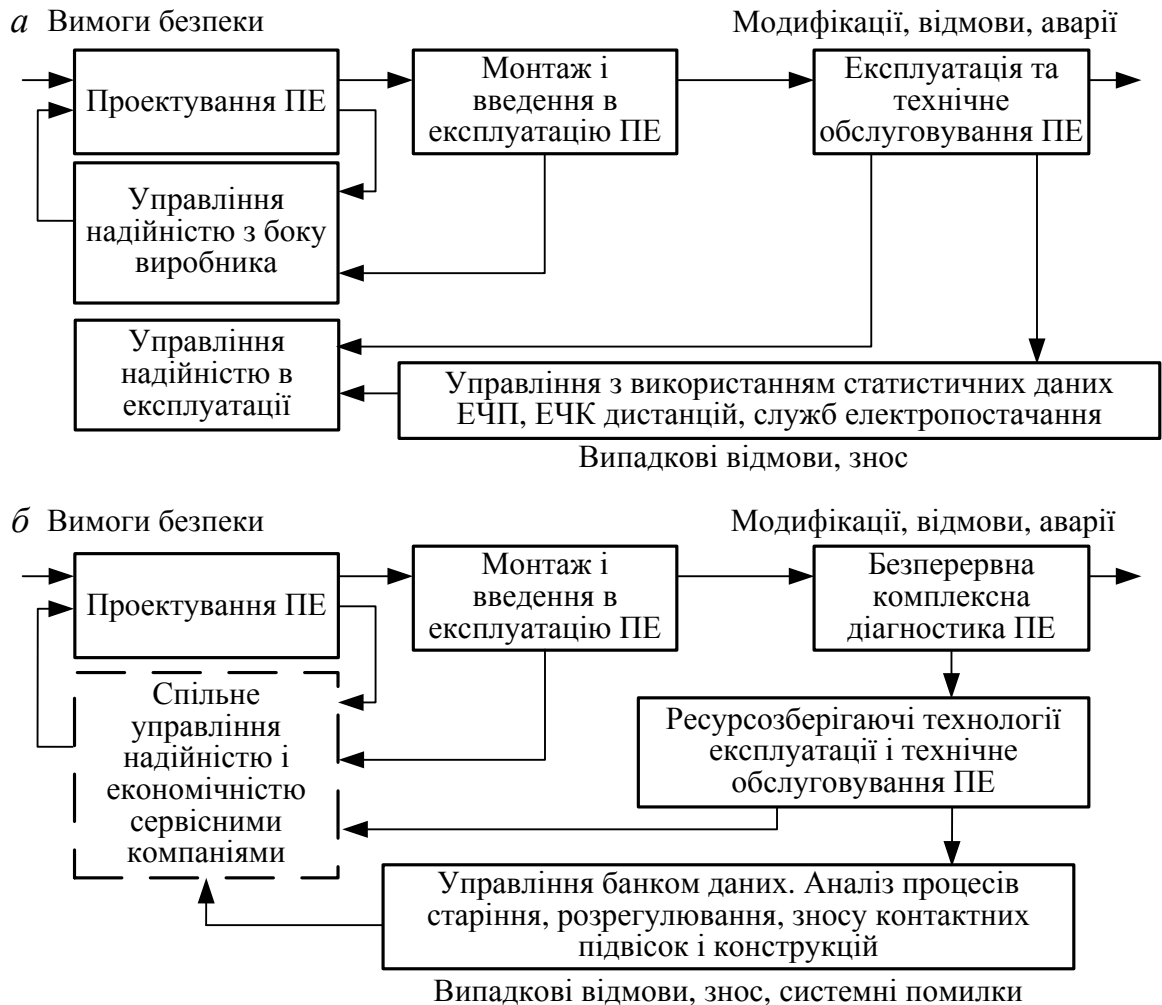


Рисунок 5.15 – Схеми процесу управління надійністю і економічністю ПЕ:

а – фактичне; *б* – необхідне

Впровадження концепції PLM (Product Lifecycle Management – управління життєвим циклом (ЖЦ)) дозволяє забезпечити наскрізну керованість і контрольованість процесів створення ПЕ, а також здійснити системну інформаційну підтримку подальшої їх експлуатації. Цілями управління ЖЦ є: з одного боку забезпечення високої якості виробів ПЕ, а з іншого боку – зниження часу створення і сумарних витрат на розробку, проектування, будівництво та експлуатацію.

Реалізація концепції управління ЖЦ обладнання КМ і ТП вимагає створення єдиного інформаційного середовища (ЄІС). Основна функція ЄІС полягає в інформаційній інтеграції та спільному використанні інформації всіма суб'єктами ЖЦ. На основі ЄІС реалізуються технології управління

даними про обладнання ПЕ (включаючи проекти, креслення, технологічні карти, моделі, розрахунки, дані з випробувань і т. д.) і базові управлінські технології: управління проектами, процесами експлуатації та ресурсами. Об'єктами управління є всі процеси ЖЦ: НДДКР; розробка проектно-кошторисної документації; виробництво і постачання вузлів і виробів ПЕ; будівництво та монтаж ПЕ; експлуатація об'єктів ПЕ. ЄІС дозволяє позбутися від типових проблем, пов'язаних з історично сформованим документообігом; прискорити пошук актуальної документації; диференціювати права доступу до інформації; зв'язати виробництво ПЕ з історією їх створення і, відповідно, мати можливість відстежувати процеси на всіх стадіях ЖЦ. Такий підхід виключає наявність на підприємстві окремих баз даних, дублювання введення інформації на різних стадіях проектування, виробництва і експлуатації і має на увазі комплексне рішення, а не автоматизацію вибіркового процесів.

В якості оболонки, що об'єднує всю множину використовуваних прикладних комп'ютерних систем виступає PDM-система (product data management – управління інженерними даними), яка включає в себе: CAD (computer-aided design – автоматизована підтримка проектування), CAM (computer-aided manufacturing – автоматизоване підтримка виробництва), CAPP (computer-aided process planning – автоматизована система технологічної підготовки виробництва і монтажу), CAE (computer-aided engineering – підтримка інженерних розрахунків), SCAT (special computer-aided tools – спеціалізовані програмні засоби).

Основні функції, які здійснюються PDM-системою:

- зберігання даних і управління даними про обладнання ПЕ. При цьому дані доступні всім учасникам ЖЦ відповідно до прав доступу. Система дозволяє здійснювати пошук виробів і документів відповідно до різних характеристик з метою їх повторного використання;

- управління процесами. Всі бізнес-процеси описані на програмному рівні в системі. Це забезпечує фактичне, а не номінальне впровадження

принципів управління (формалізація процесів, документування записів, зміна і поліпшення та ін.);

– інтеграція даних про обладнання ПЕ і технологічних процесах його експлуатації.

На початковому етапі впровадження PDM-системи необхідна систематизація та впорядкування великого обсягу конструкторської документації вузлів і деталей, що входять до складу різних типів КМ, пристроїв тягових і трансформаторних підстанцій та ліній електропередач. На другому етапі необхідно описати бізнес-процеси експлуатації ПЕ. Для життєвого циклу КМ схема інформаційних систем має вигляд (рис. 5.16).

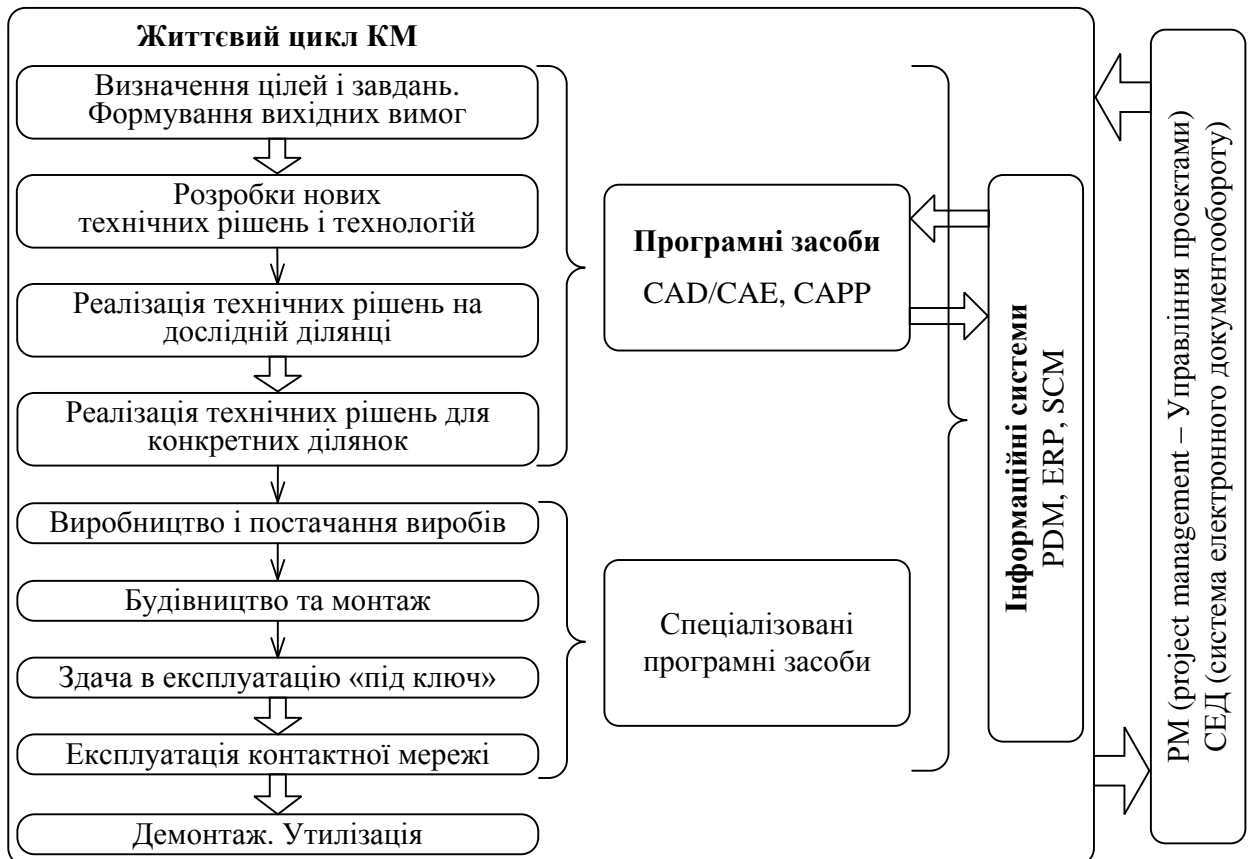


Рисунок 5.16 – Застосування інформаційних систем на різних стадіях ЖЦКМ

Засоби інформаційного супроводу ЖЦК контактної мережі включають як стандартні рішення на основі систем автоматизованого проектування, інженерного аналізу і підтримки виробництва (CAD, CAE, CAPP, CAM), так і

спеціалізовані програмні засоби. Вибір тих чи інших CAD / CAE систем – питання переваги, принципова їх інтеграція з PDM-системою і затвердження єдиного формату виконання для користувачів.

На третьому етапі відповідно до розробленої структури даних і знову затвердженими бізнес-процесами необхідна установка і конфігурація системи. Така архітектурна організація дозволяє використовувати в технологічному модулі частину необхідної технологічної функціональності PDM, а також організувати єдиний інформаційно-довідковий простір для технологів і конструкторів. При цьому розроблені в TechCard технологічні процеси можуть бути використані як на стадії виробництва, так і в процесі монтажу і експлуатації.

Варто відзначити, що впровадження ЄІС - тривалий і складний процес, що вимагає консолідованих зусиль від усіх учасників процесів ЖЦ. Найбільш суттєві проблеми при впровадженні пов'язані з недоліком технічних засобів автоматизованого збору інформації, складнощами психологічного характеру при переході співробітників до нових принципів взаємовідносин і діловодства, а також низьким рівнем державної нормативної бази на електронне діловодство.

Разом з тим ЄІС повинна виступати основою необхідної часом реалізації об'єктів інфраструктури «під ключ» з обов'язковим включенням в загальний інформаційний простір будівельно-монтажних і експлуатуючих організацій.

Для забезпечення комплексної оптимізації процесів розробки з урахуванням витрат ЖЦ ПЕ необхідно новий розподіл ролей між виробниками і експлуатуючими сервісними компаніями. При цьому головною метою є довірча спільна робота при проектуванні, виробництві, здачі в експлуатацію, технічному обслуговуванні ПЕ під час гарантійного терміну і в наступний період. Ця співпраця повинна реалізуватися у формі інтегрованого аналізу даних, вільного доступу до інформації про характеристики і параметри взаємодії ПЕ, оптимізації технічного

обслуговування та ремонту за станом. Після кількісної оцінки оптимізованих в експлуатації витрат ЖЦ ПЕ їх можна зіставити з розміром отриманої економії. Вибір і реалізацію ресурсозберігаючих технологій експлуатації електрифікованих ліній з мінімізацією витрат ЖЦ ПЕ можна реалізувати, використовуючи ЕС. Наприклад, при експлуатації КМ, кожен успішний випадок мінімізації витрат на відновлення певних її компонентів оператором оформляється у вигляді прикладу і вводиться в базу ретроспективних знань. Узагальнена схема ЕС для реалізації ресурсозберігаючих технологій експлуатації та ремонту ПЕ показана на рис. 5.17. Запропоновані алгоритми створення баз даних ЕС можна реалізувати після модернізації систем управління ПЕ на базі інтегрованих систем «Граніт-ж.д.-Мікро» або їх аналогів. Такі ЕС будуть необхідним інструментом аналітичних центрів.

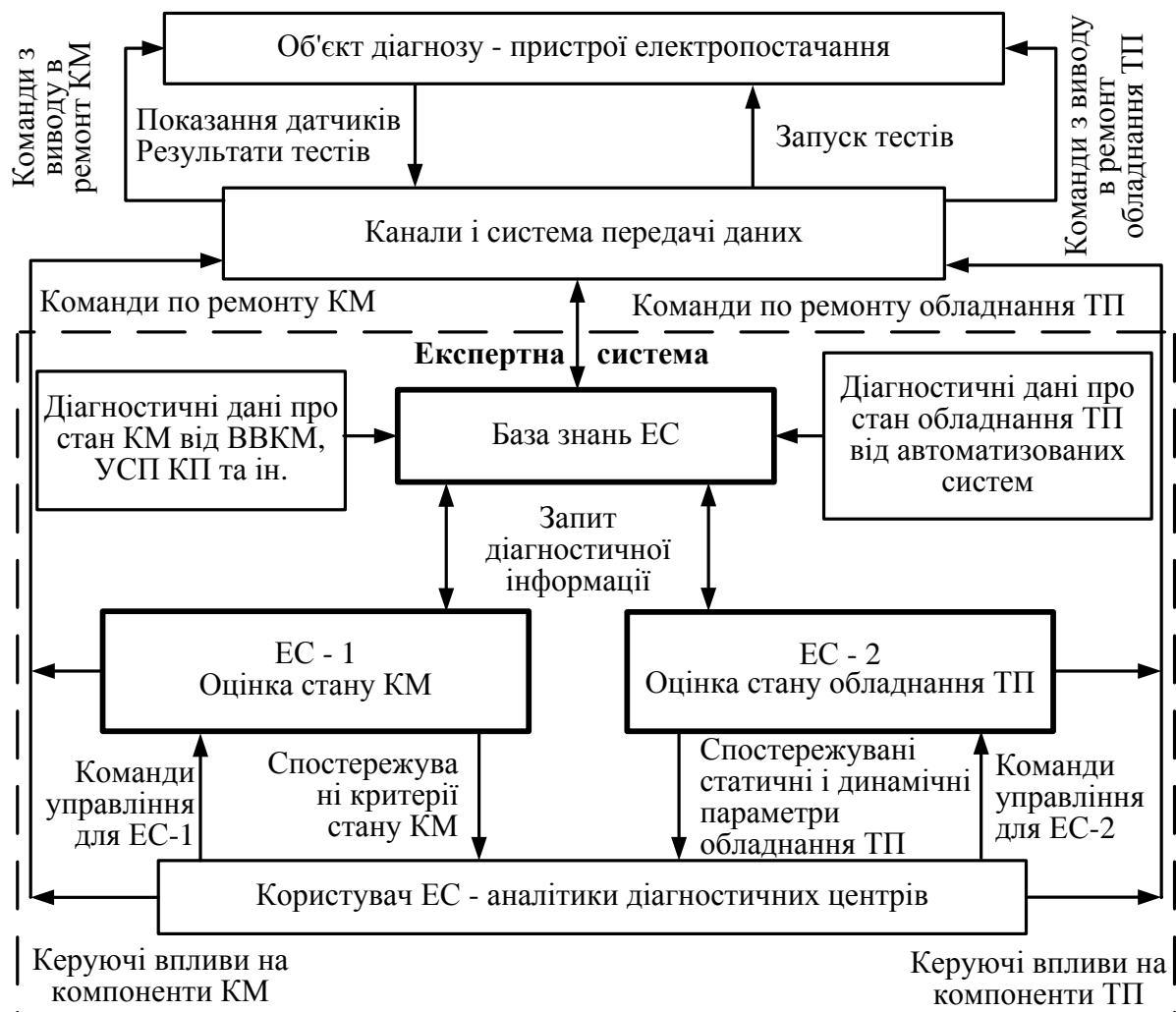


Рисунок 5.17 – Узагальнена схема експертної системи центрів діагностики

Для координації діяльності, вирішення методологічних, методичних і метрологічних питань і організації роботи на залізницях в області діагностики і моніторингу стану КМ, електротехнічного обладнання підстанцій і ліній електропередач запропонована структура аналітичного центру діагностики в Департаменті електрифікації та електропостачання ПАТ «Укрзалізниця» (рис. 5.18).

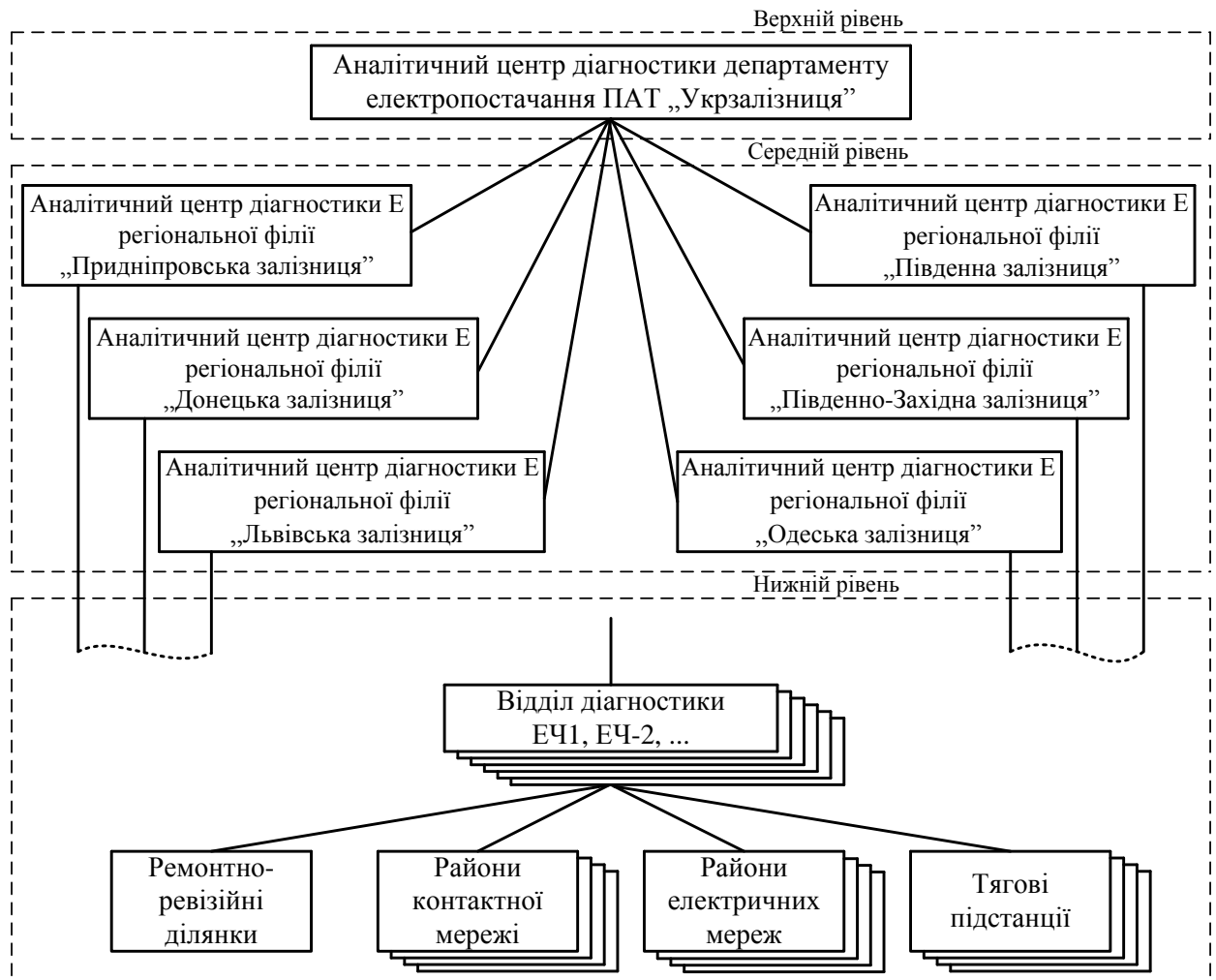


Рисунок 5.18 – Ієрархічні рівні системи діагностики пристроїв електропостачання залізниць

Проведення комплексної та складної діагностики ПЕ покладається на діагностичні центри залізниць, структура яких показана на рис. 5.19, а дистанції електропостачання забезпечують діагностику першого рівня.

На першому рівні виконується діагностика обладнання з ознаками наявності дефектів із застосуванням як традиційних методів (високовольтні

випробування, вимірювання опору ізоляції та тангенса кута діелектричних втрат, випробування масла, корозійні обстеження пристроїв тощо), так і сучасних методів і приладів діагностики (вологівміст в маслі, тангенс кута діелектричних втрат масла тощо). У міру насичення дистанцій електропостачання сучасними засобами діагностики завдання первинної діагностики будуть розширюватися.

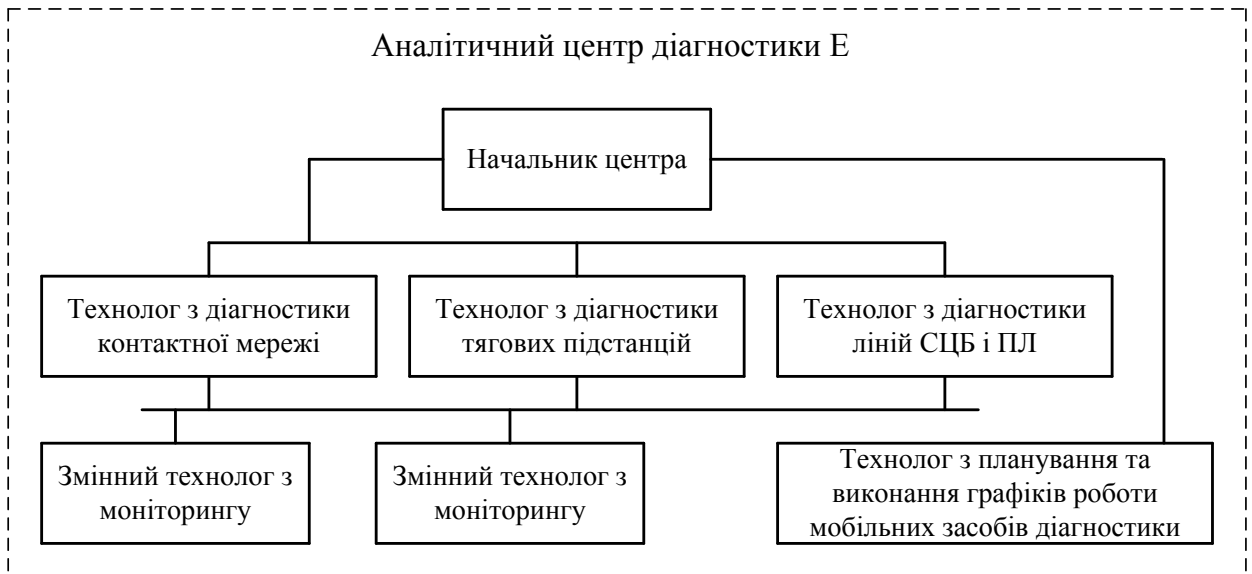


Рисунок 5.19 – Структура аналітичного центру діагностики

На другому рівні дорожній діагностичний центр проводить узагальнення і аналіз результатів діагностики, виконаної на першому рівні, комплексну і складну діагностику ПЕ з застосуванням сучасних методів і приладів діагностики, в першу чергу того обладнання, яке було виявлено при первинній діагностиці. Спеціально виділена група співробітників проводить безпосередній аналіз роботи ПЕ, використовуючи при цьому різні програми та інформацію, зібрану вручну. За результатами аналізу визначаються коригувальні заходи впливу щодо усунення передвідмовних ситуацій, дані передаються в дистанції електропостачання (рис. 5.20). За результатами комплексного діагностичного обстеження робиться експертний висновок про обладнання: необхідність і обсяг ремонту або заміни, терміни проведення наступних випробувань, продовження терміну служби і так далі.

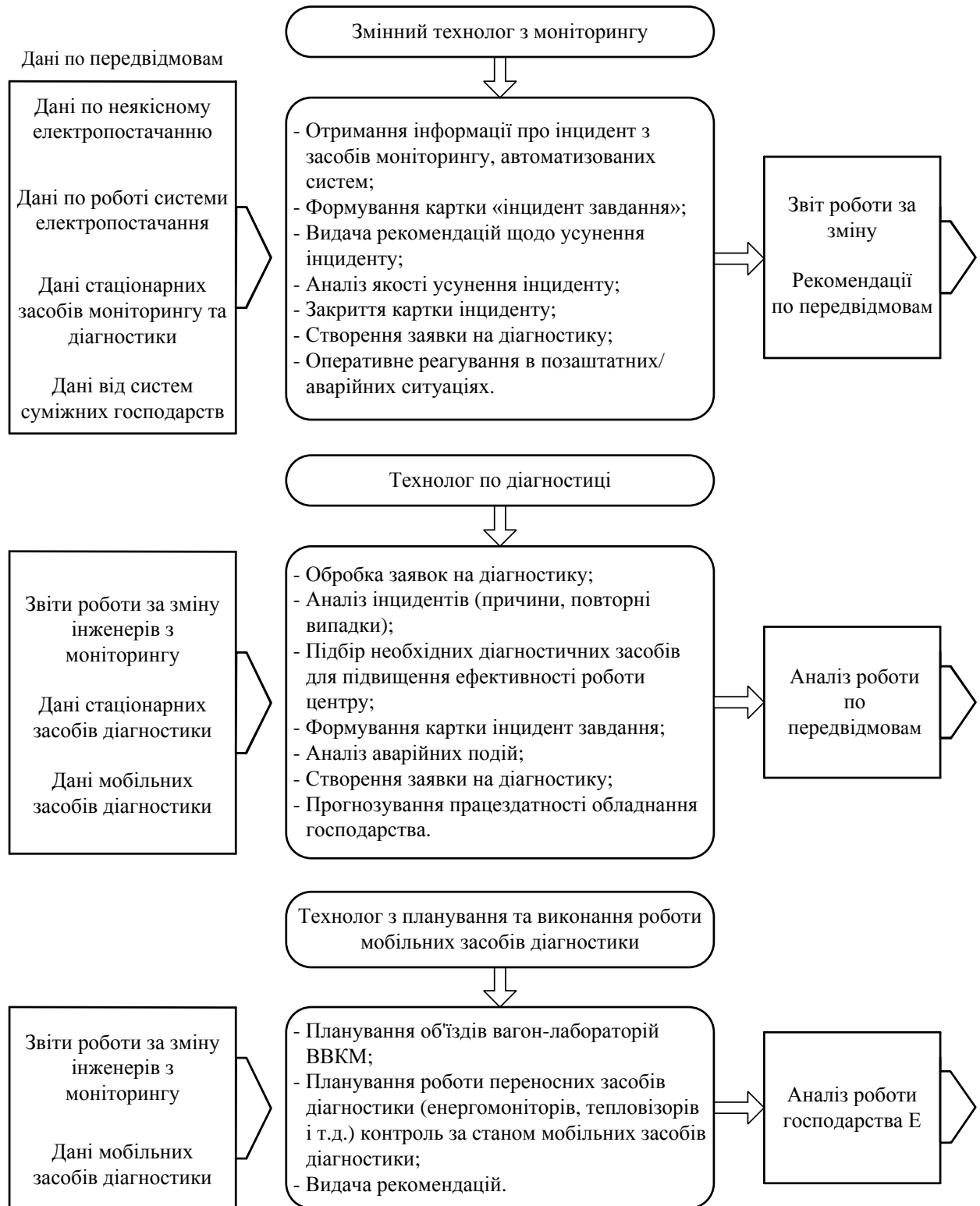


Рисунок 5.20 – Організація роботи інженерів з моніторингу в дорожньому аналітичному центрі діагностики

Основні складові діагностики ПЕ, що характеризують розвиток системи виявлення передвідмов, включають в себе виконання міжремонтних випробувань силового обладнання ТП відповідно [164, 169], обходи з оглядом ПЛ і ділянок КМ, огляди устаткування тягових і трансформаторних підстанцій, верхову діагностику КМ з використанням комплексних пересувних систем діагностики: ВВКМ, КЕНТАВР та інших спеціальних пристроїв діагностування ПЕ.

5.5. Техніко-економічна ефективність реалізації технології експлуатації електричних систем

На всіх етапах реалізації енергетичної стратегії має бути передбачений моніторинг результативності вжитих заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності електричних систем з тяговими навантаженнями, з подальшим корегуванням (у разі необхідності) ключових показників енергозбереження [1, 13].

Техніко-економічна ефективність від реалізації енергозберігаючих заходів інтегрально визначається їх впливом на зниження енерговитрат на тягу поїздів і на не тягові потреби.

Економічний ефект оцінюється через вартість зекономлених ПЕР в цінах на той період часу, коли ця економія досягається. Через те, що прогноз цін на енергоресурси на перспективу в даний час вельми ускладнений і неоднозначний, найбільш доцільно визначати цей ефект через фактичні вартісні показники енергоресурсів базового 2012 року. У подальшому фактична економічна ефективність реалізації енергетичної стратегії визначається через перекладні коефіцієнти до рівня цін на ПЕР 2012 року з урахуванням реальних цін на ПЕР.

На рис. 5.21 представлена динаміка зниження енергоємності виробничої діяльності ПАТ «Укрзалізниця» як інтегральний результат реалізації всього комплексу заходів та технологій з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, структурної перебудови

енергобалансу і поліпшення управління придбанням і споживанням ПЕР.

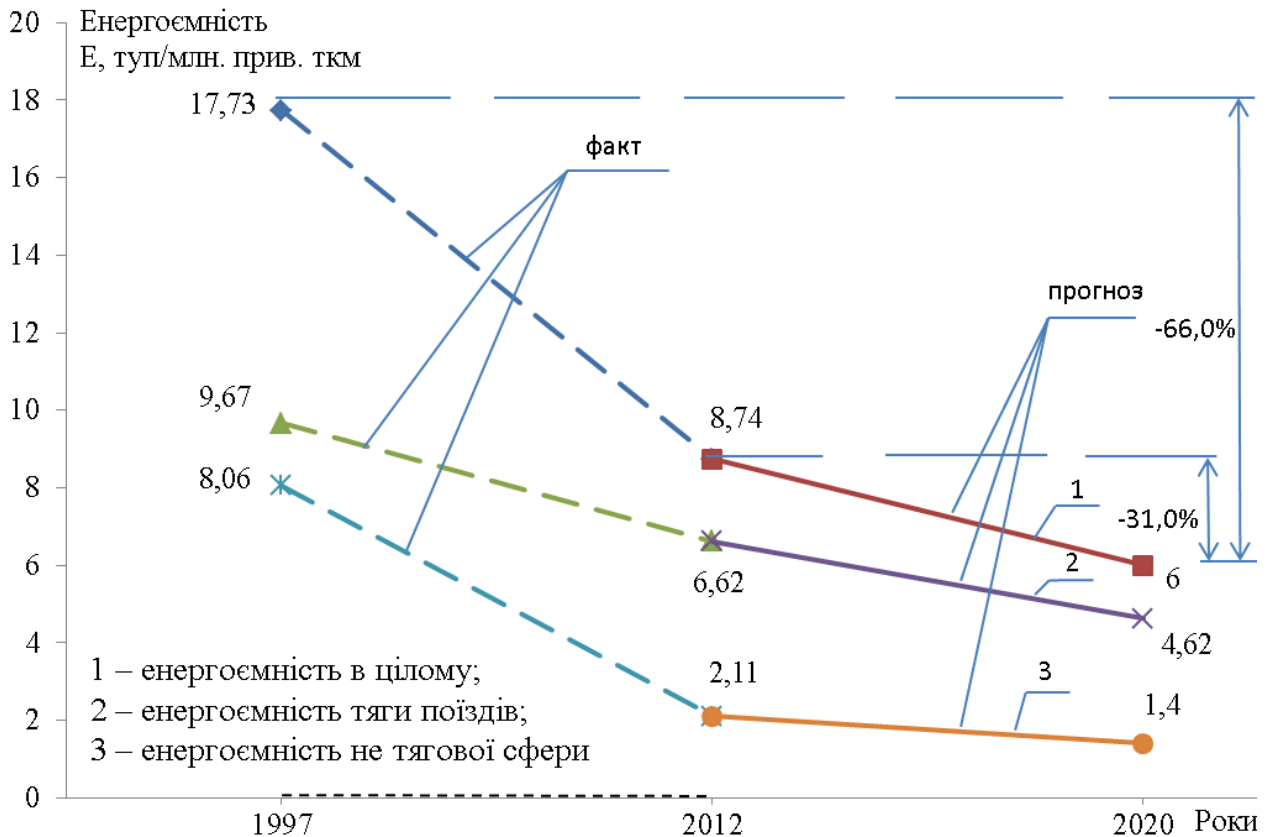


Рисунок 5.21 – Динаміка зниження енергоємності виробничої діяльності ПАТ «Укрзалізниця»

Основні очікувані результати реалізації енергетичної стратегії до 2020 року характеризуються такими (щодо базового 2012 року) показниками:

- при зростанні обсягу перевізної роботи за період 2012–2020 рр. на 15,2% збільшення обсягів споживання ПЕР в цілому не відбудеться при успішній реалізації передбаченого стратегією комплексу енергозберігаючих заходів, як у сфері тяги поїздів, так і в стаціонарній енергетиці (рис. 5.22);

- питомі енерговитрати на тягу поїздів знизяться до 2020 р. відносно 2012 р. на 6,9% в електротязі і на 3,3% в теплотязі. В цілому за весь період спостережень (1997–2020 рр.) буде досягнуто зниження питомих витрат ПЕР в електротязі на 22,0% і в теплотязі на 12,6%;

- структура енергетичного балансу (рис. 5.23) продовжує розвиватися в напрямку переважного застосування електроенергетики в усіх сферах

виробництва (тяга + стаціонар);

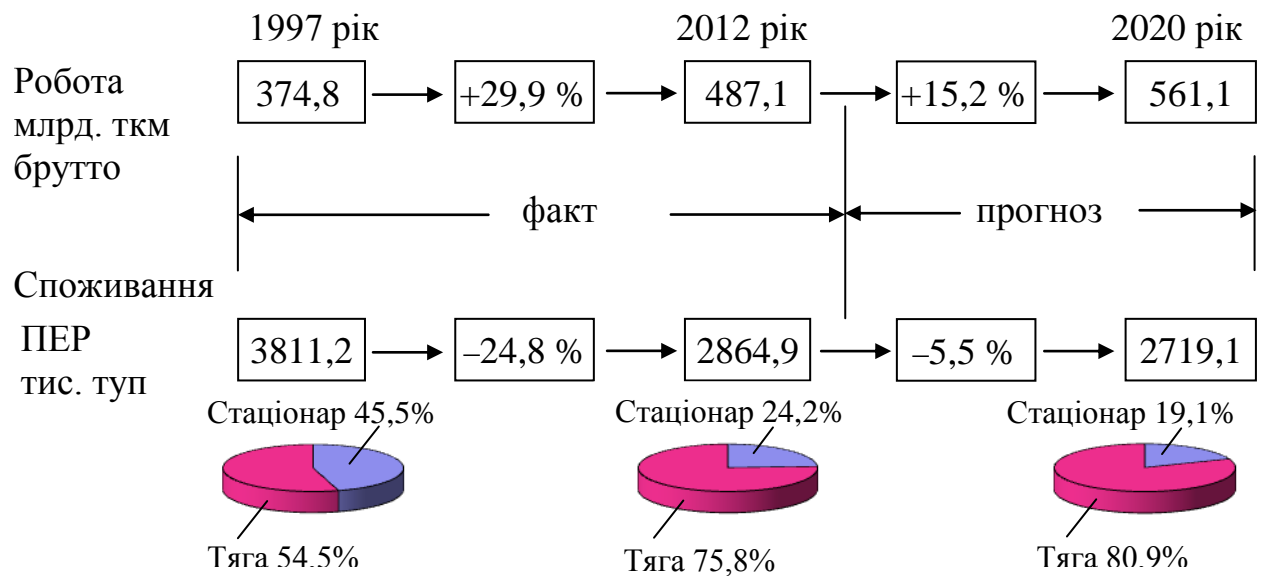


Рисунок 5.22 – Динаміка зміни структури споживання ПЕР за умови переведення тяги з тепловозної на електричну

– намічуваний перехід на електричну тягу найбільш завантаженої частини полігону тепловозної тяги в період 2012–2020 рр. (порядку 2,0 тис. км) дозволить вийти до 2020 р. на від’ємний приріст (економія) загального енергобалансу мінус 5,5% по відношенню до енергобалансу 2012 року при тому ж зростанні обсягу перевезень в цей період. При цьому, до 2020 року приріст річного споживання електроенергії 336 тис. кВт·год буде скомпенсований економією 172,2 тис. тонн дизельного палива, що рівнозначно економії ПЕР на тягу поїздів в енергобалансі – 133,2 туп;

– економія річного споживання ПЕР в 2020 році до рівня базового 2012 року за рахунок реалізації заходів стратегії при зростанні обсягу перевезень на 15,2% становитиме: електроенергія – 608,2 млн. кВт·год, дизельне паливо – 36,8 тис. тонн, вугілля – 38,3 тис. тонн, природний газ – 55,8 млн. куб. м, бензин – 3,9 тис. тонн;

– економія ПЕР за весь контрольований стратегією період (2012–2020 рр.) наростаючим підсумком в цілому складе близько 1600 тис. туп, що

еквівалентно роботі на заощаджувальному паливі всього виробничого комплексу ПАТ «Укрзалізниця» (перевезення + стаціонар) протягом шести місяців або в грошовому вираженні 4,1 млрд. грн. Річна економія ПЕР в 2020 році складе 356 тис. туп, вартістю 0,9 млрд. грн. в цінах 2012 року або 10,2% витрат на ПЕР в 2020 році.

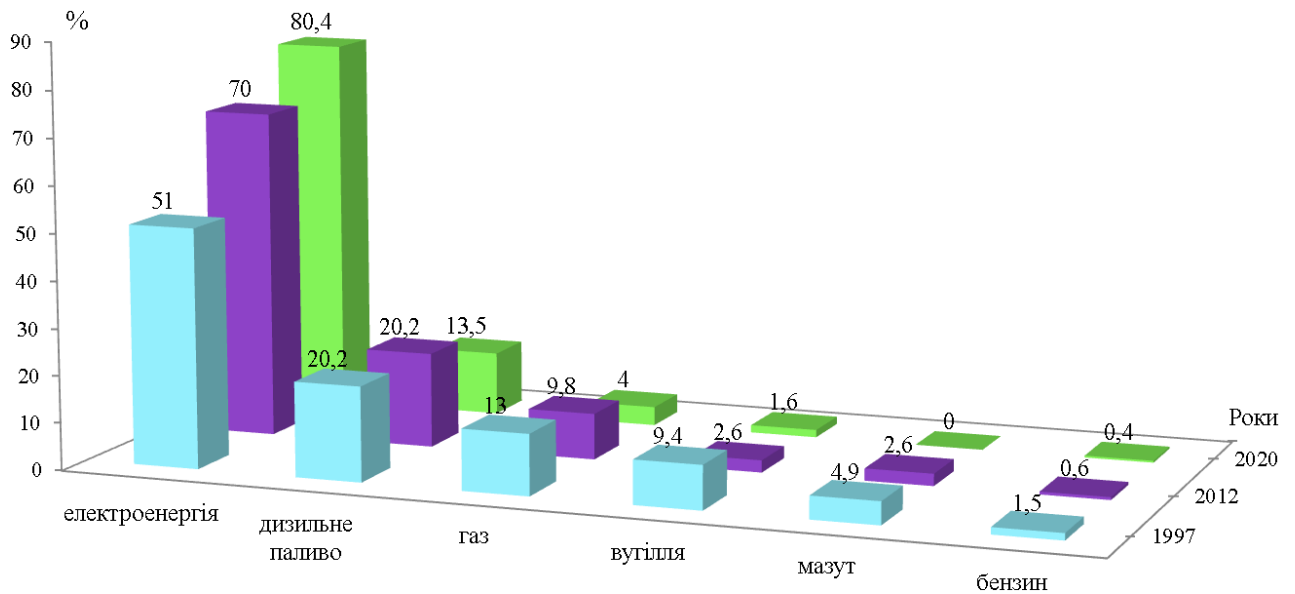


Рисунок 5.23 – Динаміка зміни структури енергетичного балансу ПАТ «Укрзалізниця»

Прогноз потреби ПАТ «Укрзалізниця» в ПЕР на період до 2020 р. та техніко-економічна ефективність реалізації енергетичної стратегії базуються на діючих законах і перспективах розвитку української економіки за базовим сценарієм із середньорічним темпом зростання ВВП. Це враховано в оновленій енергетичній стратегії України, а енергетична стратегія ПАТ «Укрзалізниця» є її складова. В випадках зміни темпів приросту ВВП необхідно оновлення енергетичної стратегії ПАТ «Укрзалізниця». Коректування потреби ПАТ «Укрзалізниця» в ПЕР можливе при розробці програм і заходів енергозбереження залізниць на основі затвердженої енергетичної стратегії ПАТ «Укрзалізниця».

5.6. Висновки

1. Проведено системний аналіз перспектив розвитку паливно-енергетичного комплексу держави та регіональних мереж енергосистем, які живлять ТП електрифікованих залізниць та підстанції перспективних напрямів електрифікації. Встановлено, що при сприятливих показниках розвитку виробництва електроенергії в цілому по країні в електроенергетиці є ряд проблем регіонального характеру: 84 % блоків теплових електростанцій перевищили межу фізичного зношення у 200 тис. год напрацювання; понад 70 % атомних блоків потребуватимуть подовження терміну експлуатації у найближчі 10 років; обсяг маневрених потужностей у загальному балансі не перевищує 9 % за оптимального рівня у 15 %; наявність так званої «замкненої» потужності, яка в 2012–2020 рр. прогнозується в енергосистемах ОЕС; 35 % ПЛ напругою 220–330 кВ експлуатуються понад 40 років; у розвиток розподільних мереж до 2030 р. необхідно інвестувати 134 млрд грн.

Вперше розроблено систему рейтингових оцінок стану енергетичної безпеки процесу перевезень залізниць за сукупністю восьми індикаторів. Найбільш важливі з них: надійність системи енергопостачання з урахуванням високої міри зносу основних виробничих фондів енергетичного господарства регіону; відношення суми потужності електростанцій і пропускної здатності міжсистемних зв'язків до максимального електричного навантаження споживачів на території регіону. На основі системного аналізу СЗЕ встановлено, що за кількістю індикаторів рівень ризиків і загроз районів нової електрифікації з боку систем зовнішнього електропостачання великий (3–4) та середній (1–2) для різних напрямів на період 2013–2020 рр.

2. Розроблено науково обґрунтовані принципи розвитку технології експлуатації електричних систем з тяговими навантаженнями за станом і мінімальними витратами в процесі їх життєвого циклу, зокрема концепція технічного обслуговування ПЕ за станом на базі їх діагностики і моніторингу, комплексна автоматизована система діагностики КМ та

струмоприймачів, аналіз результатів моделювання показників і критеріїв струмозняття та підвищення якості регулювання пристроїв для зменшення зносу КП, що в сукупності вирішує проблему ресурсозбереження та дозволяє понизити експлуатаційні витрати в 1,5-2 раз.

3. Запропоновано інформаційні технології оцінки стану пристроїв електропостачання в процесі їх експлуатації на базі синтезу двох джерел інформації: діагностики в режимі реального часу і імітаційного моделювання. Розроблено узагальнену схему експертної системи для аналізу стану пристроїв електропостачання та вироблення керуючих впливів в аналітичних центрах систем управління.

4. Для поліпшення якості струмозняття запропоновано підвищення натягу проводів і тросів КМ. Це дає можливість удосконалювати конструкцію КМ в цілому і полегшує розміщення контактних підвісок в штучних спорудах (будівельна висота підвіски може бути зменшена до 1,4 м при довжині прольотів в межах 70 м) та дозволяє здійснити ресурсозбереження за рахунок зменшення висоти опор КМ і витрати матеріалів на виготовлення струн.

5. На основі проведених комплексних досліджень запропоновано перевести до 2012–2020 рр. на електричну тягу найбільш завантаженої частину полігону тепловозної тяги (порядку 2,0 тис. км). Це дозволить вийти до 2020 р. на від'ємний приріст (економію) загального енергобалансу мінус 5,5% по відношенню до енергобалансу 2012 року при тому ж зростанні обсягу перевезень в цей період. Економія ПЕР за період 2012–2020 рр. наростаючим підсумком в цілому складе близько 1600 тис. туп, що еквівалентно роботі на заощаджувальному паливі всього виробничого комплексу ПАТ «Укрзалізниця» протягом шести місяців. Техніко-економічні розрахунки показують, що річна економія ПЕР в 2020 році складе 356 тис. туп або 10,2% витрат на ПЕР в 2020 році.

Матеріали розділу опубліковані в [13, 51, 181, 182, 191–195, 206–210, 229–231, 234, 235].