

С. А. Разгонов, к. т. н., доц.; О. В. Шаповалов, к. т. н., доц.

## ПРО УТОЧНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРУ РОБС-1У ПІД ЧАС РОЗРОБКИ РЕГУЛЮВАЛЬНОЇ ТАБЛИЦІ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

**Метою цієї роботи** є уточнення параметрів реактору типу РОБС-1У при розробці регулювальної таблиці тональних рейкових кіл (ТРК). Тональні рейкові кола отримують живлення від колійного трансформатора ПОБС-2А. В якості обмежувача використовується реактор РОБС-1У. Проведено аналіз причин, які суттєво впливають на електромагнітні параметри реактору нового зразку українського виробництва, проведено стендові виміри та перераховані параметри реактору, а також здійснені розрахунки тональних рейкових кіл з використанням уточнених параметрів реактору.

**Методика.** Виконано заміри параметрів за допомогою тесламетра. Здійснено огляд ринку холоднокатаної трансформаторної сталі ГО.

**Результати.** Виконано розрахунки значень вхідних опорів по кінцям рейкової лінії та перераховано комплексне значення реактивного опору коливального контуру РОБС-1У та конденсатору Сх схеми живлення тональних рейкових кіл, які були використані при коригованні розрахунків регулювальної таблиці ТРК систем залізничної автоматики. Уточнено, що неправильне функціонування пристроїв залізничної автоматики систем сигналізації, централізації і блокування (СЦБ) може виникати внаслідок впливу тягового струму на рейкові кола, які використовують РОБС-1У вітчизняного виробництва.

**Наукова новизна.** Наукова новизна полягає в удосконаленні та коригуванні коефіцієнтів формул розрахунку параметрів ТРК, що дозволило більш точно визначити значення в регулювальній таблиці перегону та удосконалити роботу ТРК на використаній ділянці. Відносні похибки розрахунків порівняно із сезонними вимірами параметрів, які застосовуються на використаній ділянці, не перевищили для струмів та напруги 3 – 4%.

**Практична значимість.** Розроблено рекомендації щодо впровадження уточнених коефіцієнтів в розрахунках ТРК, де використовують схемні рішення з реакторами типу РОБС-1У.

**Ключові слова:** транспортні технології; залізнична автоматика, тональні рейкові кола, регулювальна таблиця, РОБС-1У.

**Огляд ситуації.** Попередній огляд наявних відмов дав змогу виявити таку особливість, що при зменшенні загальної кількості відмов кількість відмов, що спричинили затримку поїздів, майже не змінилася. Не змінилася і відсоткова пропорційність як відносно пристроїв залізничної автоматики (ЗА), що мали відмови, так і причин відмов. Такий стан речей вказує на не досить задовільні процеси в заміні та реконструкції засобів ЗА в рамках усіх дільниць АТ «Укрзалізниця», обладнаних тональними рейковими колами (ТРК).

Також розглянемо виникнення транспортних подій та їх наслідків. Отже з точки зору надійності та технічного обслуговування (ТО) пристроїв ЗА можливі як небезпечні відмови, так і захисні. Враховуючи вищевикладене аналіз усього масиву відмов, що мають вплив на експлуатаційні показники, є актуальним.

В основу аналізу покладені матеріали звітів [1] з експлуатаційної роботи галузі автоматики та телекомунікації АТ «Укрзалізниця». На їх основі побудована узагальнююча табл. 1.

Таблиця 1

## Статистичні дані з відмов пристроїв залізничної автоматики

Рік	Кількість відмов	Відмови пристроїв ЗА, що віднесені за службою Ш						
		Кількість	%	з експлуатаційних причин		які спричинили затримку поїздів		пристроїв ЗА
				кількість	%	кількість	%	
2010	6016	1432	23,8	1262	88,13	324	22,63	905
2011	4837	1515	31,3	1337	88,25	298	19,67	863
2012	4963	1552	31,3	1322	85,18	397	25,58	902
2013	4144	1467	35,4	1197	81,6	409	27,88	884
2014	4890	1196	24,5	968	80,94	302	25,25	720
2015	4832	1299	26,9	1011	77,83	431	33,18	1038
2016	4296	1241	28,9	969	78,08	472	38,03	1123
2017	5310	1330	25,1	1135	85,34	674	50,68	1656
2018	4954	1261	25,5	1065	84,46	664	62,34	1584

Аналіз узагальнюючої таблиці вказує на те, що спостерігається зниження кількості відмов, але залишаються на одному рівні причини їх виникнення та зв'язок їх кількості з наслідками щодо затримки поїздів. Причому при зниженні загальної кількості відмов пристроїв ЗА і відповідно їхніх відмов, що віднесені за службою сигналізації та зв'язку (Ш), цей відсоток відмов зростає. Гіпотетично це можна пояснити різними темпами впровадження організаційно-технічних заходів зі зниження кількості відмов пристроїв ЗА у різних службах, що мають стосунок до їхньої роботи.

Останнім часом суттєвий вплив має і недостатня кількість обслуговуючого персоналу. Помилки, які припускає персонал, найчастіше є наслідком порушення технології виконання робіт. Тобто недотримання вказівок нормативної та експлуатаційно-технічної документації [2, 3]. Відсоток таких відмов міститься в межах від 46,3 до 59,5 % (табл. 2).

Таблиця 2

## Причини відмов пристроїв залізничної автоматики

Причина відмови		Рік								Середнє значення
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Невиконання робіт	Кількість	1	0	0	0	1	0	0	2	0,5
	%	0,07	0	0	0	0,08	0	0	0,27	0,04
Порушення технології виконання робіт	Кількість	825	901	829	742	584	601	321	365	646
	%	57,6	59,5	53,4	50,6	48,8	46,3	47,7	49,7	52,38
Порушення термінів заміни	Кількість	1	0	1	3	0	1	2	0	1
	%	0,07	0	0,06	0,2	0	0,08	0,3	0	0,08
Помилки РТД	Кількість	46	49	73	80	57	50	30	20	50,6
	%	3,21	3,2	4,7	5,45	4,77	3,85	4,46	2,72	4,11
Фізичне старіння приладів	Кількість	278	277	285	274	242	263	170	209	249,8
	%	19,4	18,5	18,4	18,7	20,2	20,3	25,3	28,5	20,25
Схемний недолік	Кількість	6	5	22	16	13	4	2	5	9,125
	%	0,4	0,3	1,42	1,09	1,09	0,31	0,3	0,68	0,74
Невідомі експлуатаційні причини	Кількість	105	105	112	83	71	92	36	62	83,25
	%	7,3	6,93	7,22	5,66	5,94	7,08	5,35	8,45	6,75
Інші причини	Кількість	170	178	230	269	228	288	112	69	193
	%	11,8	11,8	14,8	18,3	19,1	22,2	16,6	9,40	15,65

Зі усього різноманіття офіційних причин відмов, наведених у табл. 2 найбільш актуальними є: схемний недолік, невідомі експлуатаційні причини та інші причини. Аналізуючи на нашу думку, одна з причин базується на використанні оновленого приладу залізничної автоматики РОБС-1У вітчизняного виробництва.

**Розглянемо особливості реактора.** Реактори РОБС-1У призначені для роботи в двониткових рейкових ланцюгах змінного струму, як обмежуючих опорів і слугує для обмеження струму при шунтованому рейковому ланцюгу. Магнітопроводи реакторів є набірні, штамповані, зібрані із пластин електротехнічної сталі. Пакети пластин стягнуті гвинтами. Магнітопроводи реакторів мають немагнітний проміжок 0,6 мм. Обмотка реакторів шарова, виконана з мідного дроту обмотувального круглого перерізу. Зміна опорів реакторів допускається  $\pm 5\%$ . Охолодження трансформатора – природне повітряне. Реактори призначені для роботи за температури навколишнього повітря від  $-40$  до  $+65$  °С, вид кліматичного виконання У, категорія розміщення 2 згідно ГОСТ 15150. Ступінь захисту відповідно з ГОСТ 14254-96 IP20. Виробник ТОВ «Укрзалізпром» згідно ТУ У 31-1.33413181-001:2008. Технічні характеристики наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Технічні характеристики РОБС-1У

Тип виконання	Повний опір реостату, Ом, за частоти струму, Гц		Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А, за частоти струму, Гц		Втрати в міді, Вт	Маса, кг
	50	25		50	25		
РОБС-1У УТС 419.00.00.00	0,74	–	10	13,5	–	11	2,6 – 3,2
РОБС-1УГ (герметизований) УТС 419.00.00.00-01							

**Виробники трансформаторної сталі – лідери продаж в Україні.** В Індії та Китаї зростання економіки забезпечує значні державні інвестиції у розвиток інфраструктури, зокрема – енергетичної. Проте попит на електротехнічну сталь у цих країнах швидко зростає. Застосовуються три категорії матеріалу сталі: текстурована кремніста електросталь (GO), не текстурована кремніста електросталь (NGO) та сталь із неорієнтованого металу без кремнію (NO). В останні роки швидко розширюється ринок NGO у секторі побутових електроприладів та в автомобільній промисловості. Попит на сталь з матеріалу GO найбільш високий у країнах, що розвиваються, яким необхідно розширювати або модернізувати свою електроенергетику. Цю категорію електросталі використовують для виробництва сердечників статичних електроприладів, а саме трансформаторів будь-якого типу. Тому цей матеріал часто називають "трансформаторною сталлю". Листовому матеріалу GO властива анізотропія електромагнітних показників: магнітні домени спрямовані у бік прокатки. Цей матеріал відрізняється великими кристалами. Тому його магнітна проникність більша, але має незначну коерцитивну силу, якщо порівняти з матеріалами з дрібними кристалами. Розмір зерен залежить від механічної або термічної обробки.

Сьогодні у виробництві сердечників трансформаторів використовують як холоднокатану, так і гарячекатану сталь GO. Проте у трансформаторах із сердечниками з гарячекатаного матеріалу дуже великі втрати енергії. Тому в Україні для потреб електроенергетики замовляють лише здешевлену холоднокатану сталь GO [4].

**Визначимо особливості сучасного виробництва реакторів.** Проте вітчизняні

виробники приладів ЗА взагалі та конкретно РОБС-1У масово закуповують в Китаї штамповані сердечники з холоднокатаної сталі типу GO. Електричні характеристики реактору РОБС-1У практично не відрізняються від електричних характеристик реактору РОБС, який виготовляли для систем ЗА в роки СРСР. Але магнітні характеристики сталі типу GO відрізняються від характеристики сталі, яку колись використали. Також при зниженні вартості виробу був замінений мідний дріт у обмотці реактору на сучасний обміднений дріт китайського виробництва. Обміднений дріт має металевий залізний сердечник з нанесеним мідним шаром у декілька мікрон. Зрозуміло, що такий дріт має відмінні магнітні характеристики від мідного дроту з технічної міді минулого. Таким чином, заміни комплектуючих елементів нанесли суттєвий вплив на експлуатаційні параметри реактору РОБС-1У що негативно позначилося на роботі ТРК.

**Галузь застосування РОБС в ТРК.** ТРК отримує живлення від колійного трансформатору ПОБС-2А. В якості обмежувача використовується реактор РОБС-1У. Реакторі однофазні броневі сухі призначені для роботи в двониткових рейкових колах змінного струму в якості додаткового опору для обмеження струму при шунті рейкових кіл. Встановлені на живильному та релейному кінцях конденсатори типу К73-П-2-400В (загальною ємністю 60/50/30/25/20 мкФ, відповідне) призначені для зменшення споживаної потужності та захисту від впливу інших сигнальних частот.

Реактор РОБС-1У та конденсатор, що встановлений послідовно, утворюють коливальний контур. При резонансі коливального контуру теоретично має бути отриманий нульовий реактивний опір на відповідній тональній частоті 420 – 780 Гц. Однак, величині реактивних опорів РОБС-1У та конденсаторів не відповідають резонансним значенням. Встановлено, що у РОБС-1У і конденсаторів є 10% відхилення в конструктивних значеннях величин. Тому на кожній з тональних частот отримуємо різні комплексні значення опорів, що суттєво впливає на якість роботи ТРК. Це стало однією з причин проведення вимірювань параметрів реакторів, що масово випускаються вітчизняною промисловістю.

Значення вхідних опорів по кінцям рейкової лінії, які були використані при розрахунках регулювальної таблиці, обчислені за формулою [5]:

$$Z_{\text{вхо}} = R'_n + R_z + |\dot{x}| + R_k,$$

де:  $R'_n$  – приведений опір навантаження релейного або живильного кінця;  $R_z$  – захисний опір схем, 0.3 Ом;  $|\dot{x}| = |x_L + x_c|$  – комплексне значення реактивного опору коливального контуру РОБС-1У та конденсатору;  $R_k$  – реальний опір кабельної лінії, який виникає за питомого опору 59 Ом\*км).

Для кожної тональної частоти застосовується конденсатор відповідної величини, з низки промислових. Відповідність тональної частоти та ємності конденсатора наведені в табл. 4.

Таблиця 4

**Відповідності значень тональних частот та ємністю конденсаторів**

Несуча тональна частота, Гц	420	480	580	720	780
Ємністю конденсаторів, мкФ	60	50	30	25	20

**Схема проведення вимірів РОБС.** Згідно запиту Дніпровського відділення філії «Проектно-вишукувального інституту залізничного транспорту» ПАТ «Українська залізниця» були проведені виміри РОБС-1У за схемою наведеною на рис. 1.

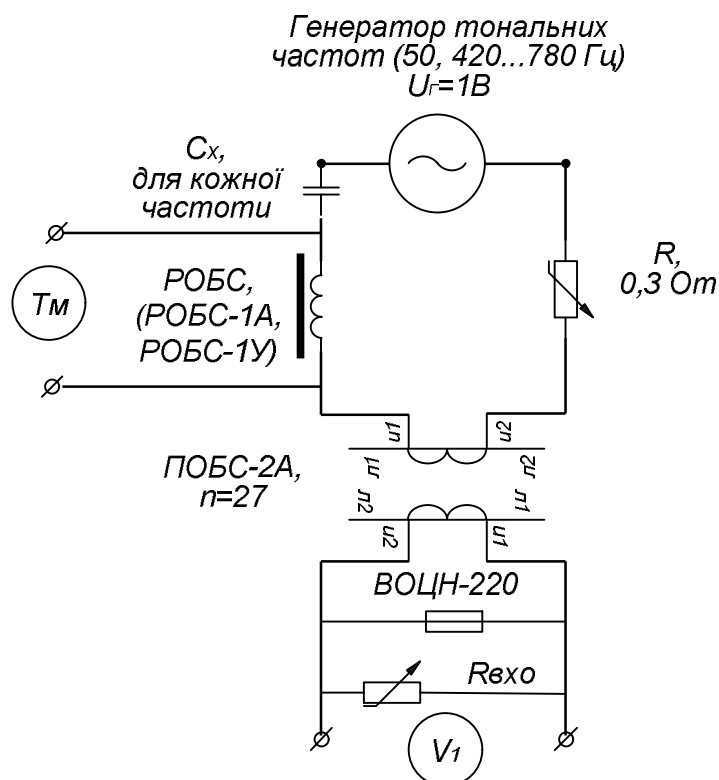


Рис. 1. Схема проведення вимірів

Пояснення до схеми. Виміри проводилися за напруги генератора тональних частот 1 В на наступних частотах: 420 Гц, 480 Гц, 580 Гц, 720 Гц, 780 Гц. Для кожної частоти встановлювався конденсатор  $C_x$  типу К73-П-2-400В відповідної ємності: 60/50/30/25/20 мкФ.  $T_m$  – тесламетр для виміру магнітної індукції РОБС-1У. ПОБС-2А – коїльний трансформатор з коефіцієнтом трансформації  $n=27$ . ВОЦН-220 – автоматичний вирівнювач.  $V_1$  – вольтметр. РОБС (РОБС-1А, РОБС-1У) – реактори, що виготовлені у різний період часу: РОБС – у 1950-х роках; РОБС-1А у 2010-х роках; РОБС-1У у 2020-х роках.  $R_{vxo}$  – еквівалентне значення вхідних опорів по кінцях ТРЦ.

**Отримані результати.** За підсумками вимірів отримані наступні результати: перераховані значення вхідних опорів по кінцях ТРК на конкретній ділянці перегону Придніпровської залізниці (табл. 5); скориговані значення повного комплексного опору  $Z$  коливального контуру РОБС-1У –  $C_x$  для відповідних тональних частот (табл. 6).

Таблиця 5

Розрахункові значення вхідних опорів по кінцях ТРК

№ п/п	Несуча тональна частота, Гц	Комплексне значення $Z_{vxo}$ , Ом			
		релейний кінець (РК)		живильний кінець (ЖК)	
		Величина	аргумент (кут $\varphi$ ), град	величина	аргумент (кут $\varphi$ ), град
1	420	0,6	+6	0,92	+0
2	480	0,85	+45	1,1	+38
3	580	0,75	-56	1,1	-30
4	720	2,1	+73	2,2	+75
5	780	1,7	+69	1,9	+60

## Скориговані значення

№ п/п	Частота, Гц	Повний комплексний опір Z, Ом
1	25	$0,37 e^{j-88^\circ}$
2	50	$0,74 e^{j-88^\circ}$
3	420	$6,216 e^{j-89^\circ}$
4	480	$7,104 e^{j-89^\circ}$
5	580	$8,584 e^{j-89^\circ}$
6	720	$10,656 e^{j-89^\circ}$
7	780	$11,544 e^{j-89^\circ}$

Отримані перераховані значення дозволили скоригувати коефіцієнти формул розрахунків параметрів ТРК, що дозволило більш точно визначити значення в регулювальній таблиці перегону та удосконалити роботу ТРК на використаній ділянці. Відносні похибки розрахунків порівняно із сезонними вимірами параметрів, які застосовуються на використаній ділянці, не перевищили для струмів та напруги 3 – 4%. Розроблено рекомендації щодо впровадження уточнених коефіцієнтів в розрахунках ТРК, де використовуються схемні рішення з реакторами типу РОБС-1У.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз експлуатаційної роботи галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2010-2018 рр.// Звіт департаменту. Київ: Департамент автоматики та телекомунікацій АТ «Укрзалізняця». 2019. – 119 с.
2. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). – Київ : НВП Поліграфсервіс, 2009. – 111 с.
3. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. – Київ: САМ, 2006. – 461 с.
4. Електронне періодичне видання «Русмет» (Rusmet) // зареєстровано у Федеральній службі з нагляду у сфері зв'язку, інформаційних технологій та масових комунікацій 17 грудня 2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://rusmet.ru/elektrotehnicheskij\\_bum\\_chast/](https://rusmet.ru/elektrotehnicheskij_bum_chast/).
5. Марквард К. Г. Электроснабжение электрофицированных железных дорог / К. Г. Маквард. – М. : Транспорт, 1982. – 528 с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2022.

Стаття пройшла рецензування 25.03.2022.

**Разгонов Сергій Адамович** – к. т. н., доц., кафедра транспортних технологій та міжнародної логістики.

**Шановалов Олексій Вікторович** – к. т. н., доц., кафедра транспортних технологій та міжнародної логістики.

Університет митної справи та фінансів.