

УДК 62—83:629.4

Б. І. Мокін, д. т. н., проф.;

С. О. Жуков, асп.

СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СТАНУ КОЛЕКТОРА ТЯГОВОГО ДВИГУНА ТРАМВАЯ

Розроблено математичну модель, на основі якої синтезовано структурну схему системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая.

Вступ

Складні специфічні умови роботи електрообладнання рухомого складу міського електротранспорту потребують підвищеної їх надійності та високої якості технічного обслуговування [1].

У роботі тягових двигунів трамваїв процес комутації відіграє досить важливу роль. Під час обертання якоря щітки роблять безперервне переключення колекторних пластин та пов'язаних з ними секцій. Якщо щільність струму, тобто струм, що приходиться на одиницю поверхні зіткнення щітки з колектором, у якому-небудь місці цієї поверхні стає занадто великим, матеріал щітки розжарюється до світіння, з'являються маленькі дугові розряди, що ми спостерігаємо у вигляді іскріння під щіткою. Іскріння поступово руйнує щітки та поверхню колектора. Найнадійніші в експлуатації машини, що мають безіскрову комутацію, тобто комутацію без помітного іскріння або з дуже слабким, допустимим іскрінням.

Для безіскрової роботи колектора необхідно забезпечити рівномірне допустиме навантаження струмом робочої поверхні щітки [2].

Оцінювати стан колектора будемо за значенням струму в контакті між щіткою та колекторними пластинами.

Метою даної роботи є синтез системи діагностування стану колектора тягового двигуна трамвая, яка дозволяла б здійснювати його діагностування як при стендових випробуваннях, так і під час роботи трамвая на маршруті.

Розробка математичної моделі для оцінки стану колектора

Якщо зняти характеристику струму, що тече в контакті між щіткою та колекторними пластинами, вона матиме вигляд як на рис. 1.

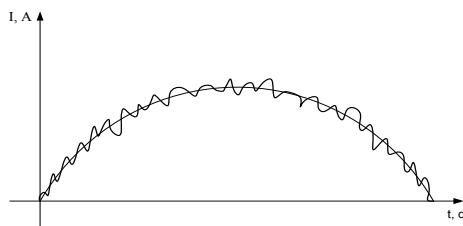


Рис. 1. Характеристика струму, що тече в контакті між щіткою та колекторними пластинами

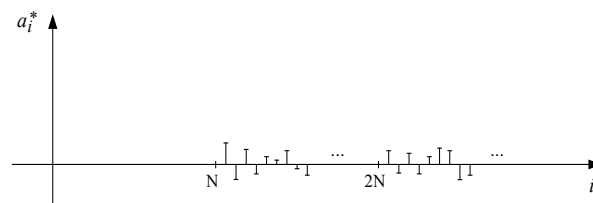


Рис. 2. Дискретизована та відцентрована характеристика струму, що тече в контакті між щіткою та колекторними пластинами

Оскільки ця характеристика є нестационарним випадковим процесом, для подальших досліджень ми її дискретизуємо та відцентруємо (рис. 2). Дискретизацію будемо здійснювати по пластинам колектора, отримуючи таким чином на одному оберті колектора 145 значень струмів. Центрування будемо здійснювати, починаючи з другого оберту колектора, віднімаючи від кожного значення струму, що тече в контакті між щіткою та i -ю колекторною пластиною, середнє значення останніх 146 значень

струмів.

На рисунку $N = 145$ — кількість колекторних пластин. Якщо дослідити таким чином характеристику струму, що тече в контакті між щіткою та колекторними пластинами, протягом 11 обертів колектора (інформативними будуть лише 10 обертів, перший оберт завжди буде використовуватися лише для центрування характеристики струму) та розрахувати середні арифметичні значення відповідних значень струмів (їх кількість буде дорівнювати 145), отримаємо графік (рис. 3).

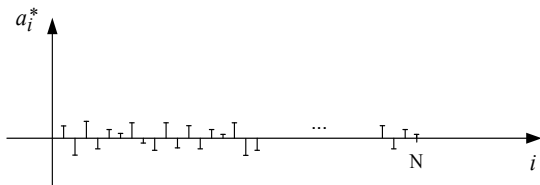


Рис. 3. Графік середніх арифметичних відповідних значень струмів

У справному стані колектора значення кожного такого середнього повинне наближатися до нуля. Введемо поріг δ , що обмежуватиме допустимі значення a_{Σ}^* , з якими можлива нормальна робота двигуна. За таких умов математичну модель функціонування пристрою можна представити у вигляді

$$a_{\Sigma}^* = \left| \sum_{k=0}^T a_{i+kN}^* \right| \leq \delta, \quad (1)$$

де $N = 145$ — кількість пластин колектора; $T = 10$ — кількість повних обертів колектора; $i = 1, 2, \dots, 145$; a_j^* — відцентроване значення струму, що тече в контакті між щіткою та j -ю пластиною колектора, яке знаходиться за формулою

$$a_j^* = a_j - \frac{1}{N+1} \sum_{k=0}^N a_{j-k}, \quad (2)$$

де $j = N + 1, N + 2, \dots, 11N$; a_j — значення струму, що тече в контакті між щіткою та j -ю пластиною колектора.

Синтез структури системи оцінки стану колектора

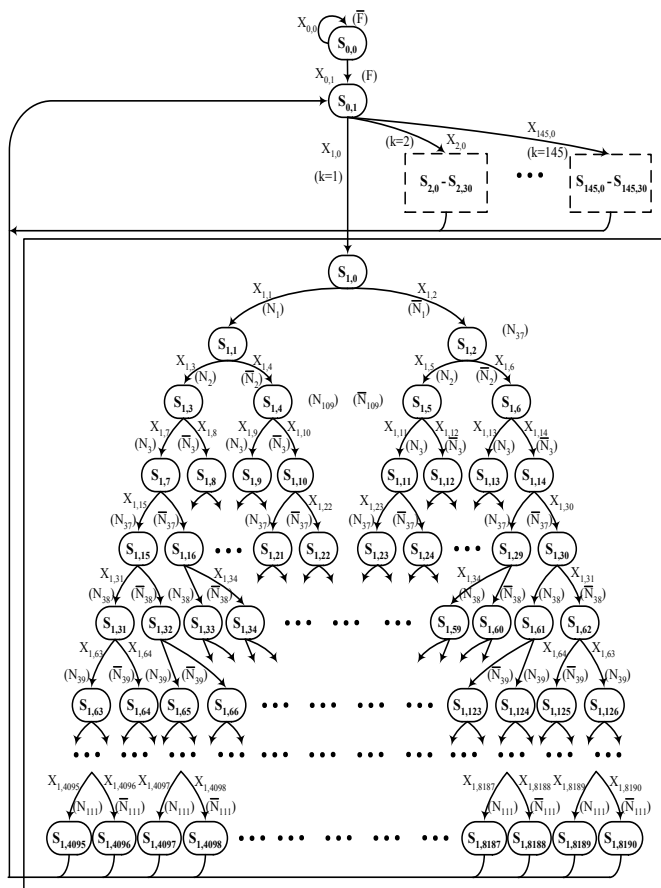


Рис. 4. Граф процесу функціонування системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая

Введемо позначення: N_k — значення струму в контакті між щіткою та k -ю пластиною колектора, знаходиться в допустимих межах; \bar{N}_k — значення струму в контакті між щіткою та k -ю пластиною колектора, знаходиться поза допустимих меж; S_i — стани системи, кількість яких, згідно [3], дорівнює $j = 145 \cdot (2^{13} - 1)$; символом X_i — узагальнена вхідна змінна, з якою система переходить в стан S_i ; F — сигнал, яким система запускається в роботу. Вихідні сигнали мають такі позначення: $y_k^{(N)}$ — вихідний сигнал, який відповідає недопустимому значенню струму, який тече в контакті між щіткою та k -ю пластиною колектора; \bar{y} — вихідний сигнал, який характеризує справний стан колектора тягового двигуна трамвая. Враховуючи те, що двигун має дві пари робочих щіток, граф функціонування системи оцінки стану колектора двигуна матиме вигляд, показаний на рис. 4 [4].

Символ «*» над прийнятими позначеннями буде означати, що даний параметр ще не ідентифіковано системою. Таким чином аналітично цей процес може бути відображений такою системою логічних рівнянь:

$$\begin{aligned}
 X_{0,0} &= N_i k \bar{F}; \\
 X_{0,1} &= N_i k F; \\
 X_{1,0} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} N_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,1} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} N_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,2} &= \bar{N}_1 N_2 N_3 N_{37} N_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,3} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} N_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,4} &= N_1 \bar{N}_2 N_3 N_{37} N_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 &\dots \\
 X_{1,63} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} N_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,64} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} N_{38} \bar{N}_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,65} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} \bar{N}_{38} N_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,66} &= N_1 N_2 N_3 N_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{39} N_{73} N_{74} N_{75} N_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 &\dots \\
 X_{1,8187} &= \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_3 \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{39} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{75} \bar{N}_{109} N_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,8188} &= \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_3 \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{39} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{75} \bar{N}_{109} N_{110} \bar{N}_{111} k_1; \\
 X_{1,8189} &= \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_3 \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{39} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{75} \bar{N}_{109} \bar{N}_{110} N_{111} k_1; \\
 X_{1,8190} &= \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_3 \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{39} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{75} \bar{N}_{109} \bar{N}_{110} \bar{N}_{111} k_1; \\
 &\dots \\
 X_{145,8187} &= \bar{N}_{145} \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_{36} \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{72} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{108} N_{109} N_{110} k_{145}; \\
 X_{145,8188} &= \bar{N}_{145} \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_{36} \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{72} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{108} N_{109} \bar{N}_{110} k_{145}; \\
 X_{145,8189} &= \bar{N}_{145} \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_{36} \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{72} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{108} \bar{N}_{109} N_{110} k_{145}; \\
 X_{145,8190} &= \bar{N}_{145} \bar{N}_1 \bar{N}_2 \bar{N}_{36} \bar{N}_{37} \bar{N}_{38} \bar{N}_{72} \bar{N}_{73} \bar{N}_{74} \bar{N}_{108} \bar{N}_{109} \bar{N}_{110} k_{145}; \\
 &\dots \\
 \text{i } S_{0,0} &= S_{0,1} = S_{1,0} = Y_k(N); \\
 S_{1,1} &= \bar{Y} Y_2(N) Y_3(N) Y_{37}(N) Y_{38}(N) Y_{39}(N) Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N); \\
 S_{1,2} &= Y_1(N) Y_2(N) Y_3(N) Y_{37}(N) Y_{38}(N) Y_{39}(N) Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N); \\
 S_{1,3} &= \bar{Y} Y_3(N) Y_{37}(N) Y_{38}(N) Y_{39}(N) Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N); \\
 S_{1,4} &= Y_2(N) Y_3(N) Y_{37}(N) Y_{38}(N) Y_{39}(N) Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N); \\
 &\dots \\
 S_{1,63} &= \bar{Y} Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N); \\
 S_{1,64} &= Y_{39}(N) Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N); \\
 S_{1,65} &= Y_{38}(N) Y_{73}(N) Y_{74}(N) Y_{75}(N) Y_{109}(N) Y_{110}(N) Y_{111}(N);
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 S_{1,66} &= Y_{38(N)} Y_{39(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{75(N)} Y_{109(N)} Y_{110(N)} Y_{111(N)}; \\
 \dots & \\
 S_{1,4095} &= \bar{Y}; \\
 S_{1,4096} &= Y_{111(N)}; \\
 S_{1,4097} &= Y_{110(N)}; \\
 S_{1,4098} &= Y_{110(N)} Y_{111(N)}; \\
 \dots & \\
 S_{1,8187} &= Y_1(N) Y_2(N) Y_3(N) Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{39(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{75(N)} Y_{109(N)}; \\
 S_{1,8188} &= Y_1(N) Y_2(N) Y_3(N) Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{39(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{75(N)} Y_{109(N)} Y_{111(N)}; \\
 S_{1,8189} &= Y_1(N) Y_2(N) Y_3(N) Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{39(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{75(N)} Y_{109(N)} Y_{110(N)}; \\
 S_{1,8190} &= Y_1(N) Y_2(N) Y_3(N) Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{39(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{75(N)} Y_{109(N)} Y_{110(N)} Y_{111(N)}; \\
 \dots & \\
 S_{145,8187} &= Y_{145(N)} Y_1(N) Y_2(N) Y_{36(N)} Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{72(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{108(N)}; \\
 S_{145,8188} &= Y_{145(N)} Y_1(N) Y_2(N) Y_{36(N)} Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{72(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{108(N)} Y_{110(N)}; \\
 S_{145,8189} &= Y_{145(N)} Y_1(N) Y_2(N) Y_{36(N)} Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{72(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{108(N)} Y_{109(N)}; \\
 S_{145,8190} &= Y_{145(N)} Y_1(N) Y_2(N) Y_{36(N)} Y_{37(N)} Y_{38(N)} Y_{72(N)} Y_{73(N)} Y_{74(N)} Y_{108(N)} Y_{109(N)} Y_{110(N)};
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Структурна схема системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая, яка розроблена у відповідності з графом, показаним на рис. 4, та системами логічних рівнянь (3) та (4), зображена на рис. 5.

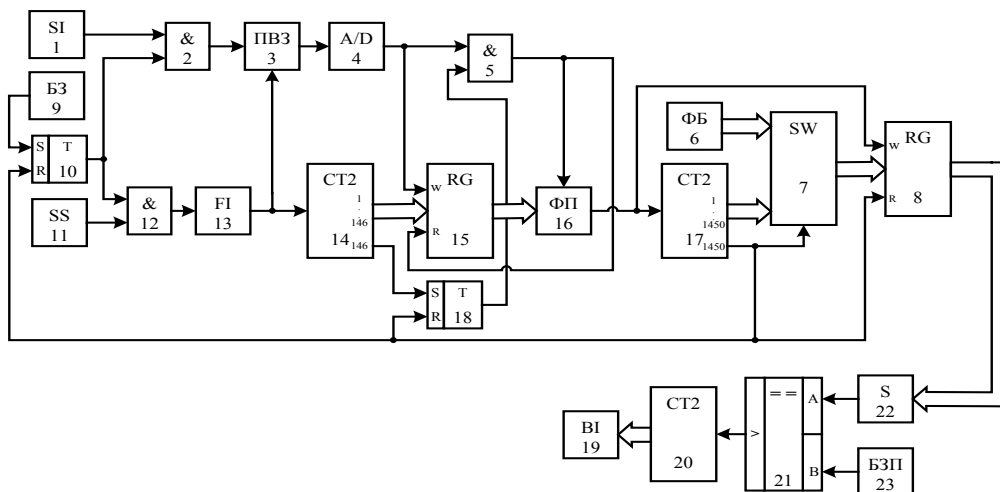


Рис. 5. Структурна схема системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая:

1 — сенсор SI струму, який тече в контакті між робочою щіткою та пластинами колектора; 2, 5, 12 — логічні елементи І; 3 — пристрій вибірки та зберігання ПБЗ; 4 — АЦП А/D; 6 — функціональний блок ФБ; 7 — комутатор SW; 8, 15 — регістри RG; 9 — блок запуску БЗ; 10, 18 — R-S тригери Т; 11 — сенсор синхронізації по пластинам колектора; 13 — формувач імпульсів FI; 14, 17, 20 — двійкові лічильники CT2; 16 — функціональний перетворювач ФП; 19 — блок індикації; 21 — компаратор; 22 — суматор S; 23 — блок задання порогового значення БЗП

Блок запуску 9 встановлює тригер 10, який відкриває логічні елементи 2 та 12. Через логічний елемент 2 на пристрій вибірки та зберігання 3 надходить сигнал з сенсора струму 1. Через логічний елемент 12 на формувач імпульсів надходить сигнал з сенсора синхронізації по пластинам колектора 11. Сенсором синхронізації по пластинам колектора є фотодіод на який відбивається світло (світло генерується світлодіодом) від міток, розташованих на пластинах колектора. Фотодіод відкривається і на формувач імпульсів певний час подається постійна напруга +5 В. Таким чином кількість імпульсів на виході формувача імпульсів 13 за один оберт колектора буде дорівнювати кількості колекторних пластин.

Сигнали з формувача імпульсів 13 надходять на лічильник 14 з циклом запису від 1 до 146 та при-

стрій вибірки і зберігання 3. На виході пристрою вибірки та зберігання формується дискретизований сигнал, величина якого пропорційна струму, що тече в контакт між робочою щіткою та пластинами колектора. З виходу пристрою вибірки та зберігання цей сигнал потрапляє на вхід АЦП 4, вихід якого під'єднаний до входу для запису регістра 15. Одночасно на другий вхід регістра 15 надходить сигнал з лічильника 14. Таким чином в регістр 15 запишеться 146 значень струмів. Коли лічильник нарахує 146 імпульсів струму, він встановить в одиничний стан тригер 18, який відкриє логічний елемент 5 і імпульси, починаючи з 146-го почнуть надходити на функціональний перетворювач 16 та на вхід R (зчитування) регістра 15. Таким чином на один вхід функціонального перетворювача 16 з виходу регістра 15 будуть надходити останні 146 значень імпульсів, які в ньому записані, а на другий вхід — значення останнього імпульсу струму. На виході функціонального перетворювача 16 будуть формуватися відцентровані значення імпульсів струму, згідно з (2). Ці відцентровані значення імпульсів струму надходять на вхід лічильника 17 та на вхід, що записує, регістра 8. З виходу лічильника 17, який має цикл запису 1450 (це 10 обертів колектора), сигнал надходить через комутатор 7 на управляючий вхід регістра 8. Коли цикл запису закінчиться сигнал з лічильника 17 встановить в нульовий стан тригери 10 і 18, перемкне комутатор на функціональний блок 6 та, надійшовши на вхід R регістра 8, дозволить зчитати з нього дані. Функціональний блок 6 через комутатор 7 на управляючий вхід регістра 8 буде 145 разів подавати необхідні сигнали, що дозволить зчитувати з регістра 8 по черзі значення тих імпульсів, які потрібні згідно з (1). Спочатку це будуть 1, 146, 291, ..., 1306, потім 2, 147, 292, ..., 1307 і т. д. Вихід регістра 8, під'єднаний до входу суматора 22, що буде визначати абсолютну суму значень тих імпульсів, які будуть надходити з регістра. З виходу суматора сигнал надходить на перший вхід компаратора 21, на другий вхід якого надходить сигнал з блоку задання порогового значення 23, який задає значення δ , згідно з (1). Результат порівняння (1/0) надходить на вхід лічильника 20, вихід якого з'єднаний з входом блока індикації 19. В результаті блок індикації 19 відобразить кількість аномалій (від 0 до 145), за якою можна буде судити про стан колектора.

З параметрами електронних елементів системи можна ознайомитись, наприклад, в [5].

Неважко побачити, що структура системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая виявилась досить простою. Її реалізація є необтяжливою і в економічному плані, особливо враховуючи ті наслідки, які можуть виникнути в разі невчасного виявлення несправності колектора.

Висновок

1. Обґрунтовано необхідність створення мобільної системи оцінки стану колекторів тягових двигунів трамвая.
2. Розроблено математичну модель для оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая.
3. Розроблено граф процесу функціонування системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая, а також логічні співвідношення, адекватні графу.
4. Синтезовано структурну схему системи оцінки стану колектора тягового двигуна трамвая.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. С. К. Андриевский, М. Н. Шапиро. Ремонт электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры. — К.: Гостехиздат УССР, 1959. — 278 с.
2. Е. М. Коварский. Ремонт электрических машин. — М.: Госэнергоиздат, 1963. — 288 с.
3. Гульден Я., Джексон Д. Перечислительная комбинаторика / Пер. с англ. Ю. В. Болотникова, А. Е. Жукова; Под ред. В. Е. Тараканова. — М.: Наука, 1990. — 503 с.
4. Зыков А. А. Основы теории графов. — М.: Наука, 1987. — 381 с.
5. Силовые полупроводниковые приборы / Пер. с англ. Под ред. В. В. Токарева. — Изд. 2-е. — Воронеж, 1995. — 660с.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем

Надійшла до редакції 17.05.07
Рекомендована до друку 4.10.07

Мокін Борис Іванович — професор кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, **Жуков Сергій Олександрович** — аспірант кафедри моделювання та моніторингу складних систем.

Вінницький національний технічний університет