

ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ НАПРУГИ НА СТРУМОПРИЙМАЧІ ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ В РЕЖИМІ РЕКУПЕРАЦІЇ

В статті виконано статистичний аналіз і визначені імовірнісні характеристики випадкової величини напруги на струмоприймачі електровозу у режимі рекуперації.

Ключові слова: рекуперація, імовірнісні закономірності, напруга, електровоз, статистика

Вступ

Ще з часів початку електрифікації залізниць встановлено, що одним із факторів, які суттєво впливають на ефективність рекуперативного гальмування електрорухомого складу (ЕРС) постійного струму є напруга як на струмоприймачі, так і в контактній мережі. Про це свідчать не лише відомі фундаментальні роботи з електричного гальмування Л. М. Трахтмана і В. Д. Тулубова, але й дослідження останніх років. Зокрема, автори роботи [1] вивчали рівень напруги на струмоприймачі електровазів ВЛ8 з позиції виникнення колових вогнів на колекторі тягового двигуна. В [2-4] подана інформація про коливання і факт спотворення форми напруги в контактній мережі. Докладний аналіз застосування процесу гальмування, у тому числі і на ЕРС постійного струму, подано в [5], в якій приведено інтервал напруги в контактній мережі, 2500-3700 В, можливого застосування рекуперації. Але в зазначених вище роботах відсутні імовірнісні закономірності зміни напруги на струмоприймачі. Виключення складають дослідження [6], однак і в них подано лише деякі гістограми. Тому метою цієї статті є докладний імовірнісно-статистичний аналіз напруги на струмоприймачі.

Методика і прилади експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження напруги на струмоприймачі $U(t)$ та струму $I(t)$ виконували для електровазів ВЛ8. Для цього на діючих ділянках Нижньодніпровськ вузол – Чаплино Придніпровської залізниці в процесі експлуатації ЕРС було отримано реалізації $U(t)$ та $I(t)$ для електроваза ВЛ8 за допомогою апаратно-програмного комплексу (АПК) для навчання машиністів раціональним режимам ведення поїздів, який складається з чотирьох частин:

- нормативно-довідникової бази даних;

- модуля уведення і коректування нормативно-довідкової інформації;
- модуля розрахунку;
- модуля ресстрації параметрів руху електроваза та умов проходження ділянки (або апаратної частини).

Апаратна частина, за допомогою якої виконано вимірювання $U(t)$ та $I(t)$, складається з п'яти основних блоків: вимірювального модуля, приймально-передавального модуля, модуля уведення дискретних сигналів, перетворювача інтерфейсів та обчислювальної машини.

Для вимірювання напруги використовується модуль уведення аналогових сигналів МІЗ-1М, який за допомогою датчиків LEM увімкнено в силове коло електроваза через стандартні шунти струму та напруги. В процесі роботи електроваза сигнали з цих датчиків через фотоприймачі поступають до приймально-передавального модулю МПП-1М, за рахунок чого досягається гальванічна розв'язка вимірювальної і розрахункової частин АПК. Приймально-передавальний модуль за допомогою інтерфейсу RS-485 передає сигнал на верхній рівень вимірювальної системи, де відбувається обробка і формування бази даних.

Модуль уведення дискретних сигналів МДС-1М призначений для уведення сигналів про положення контролера машиніста, сигналу з дискретного датчика швидкості і передачі за допомогою інтерфейсу RS-485 на верхній рівень системи вимірювання, він також виконує гальванічну розв'язку між вхідними колами і обчислювальною машиною. В якості датчика швидкості використовується встановлений на буксі локомотиву оптичний перетворювач швидкості обертання колісної пари.

При виконанні поїздки розроблене програмне забезпечення здійснює почергове опитування пристроїв вимірювання силових струму та напруги, швидкості, положення контролера машиніста і показань АЛСН, які увімкнені через спільну лінію зв'язку до СОМ-порту обчис-

лювального пристрою. Опитування проводиться посланням в лінію зв'язку коду виклику, в котрому міститься адреса відповідного пристрою. Пристрій, адреса якого співпадає з викликом, починає передавати дані. Інформація передається з деякою затримкою в часі, необхідною для перемикання програмно-апаратних

засобів обчислювального пристрою з режиму передачі в режим приймання. Датчики і блоки збору інформації не впливають на роботу локомотивних пристроїв і забезпечують гальванічну розв'язку між колами локомотива і АПК, а також надійне знімання інформації в умовах експлуатації електровозу.

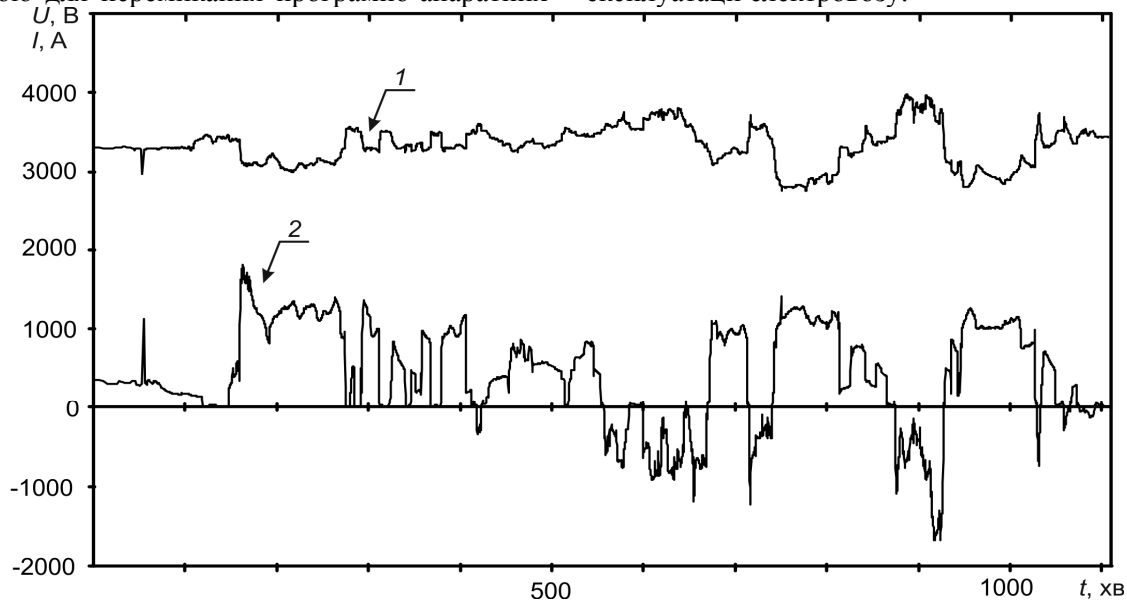


Рис. 1. Часові залежності напруги на струмоприймачі (1) та струму (2) електровоза ВЛ8

Результати експериментального і теоретичного аналізу

На рис. 1 приведені реєстрограми напруги на струмоприймачі U та струму I електровоза ВЛ8 при проходженні поїзда однієї з ділянок Придніпровської залізниці: додатні значення струму – тяговий струм, від’ємні – рекупераційний. Цим ділянкам значень струму відповідно відповідають значення напруги при тязі і рекуперації. Одночасно, на рис. 2 приведені реєстрограми напруги на струмоприймачі лише у режимі рекупераційного гальмування електровоза. Як впливає із цих рисунків, напруга у режимі рекуперації характеризується суттєвими безперервними коливаннями в часі. Аналіз показує, що U являється випадковою функцією часу, тобто, випадковим процесом $U(t)$, обробка якого можлива за теорією випадкових величин після квантування кожної реалізації, а також усіх реалізацій $U(t)$ в певні моменти часу, що й було зроблено в цій роботі.

Аналіз реалізацій (рис. 2), гістограм, отриманих дискретизацією кожної реалізації окремо (рис. 3), а також таблиці (для деяких поїздок) свідчать, що фактичні поточні значення напруги змінюються в широкому діапазоні від 3014

до 3989 В. При цьому і мінімальні U_{min} , і середні U_{cp} , і, тим більше, максимальні U_{max} значення перевищують номінальну напругу 3000 В.

Вигляд гістограм (рис. 3), а також значення коефіцієнту асиметрії As та ексцесу Ex (табл.) дозволяють зробити висновок, що законом розподілення досліджуваної напруги у ряді поїздок є закон Гауса (№№ поїздок 4, 5 і 6), а в інших випадках (поїздки 1–3) статистичне розподілення має від’ємну (правосторонню) асиметрію і також від’ємний (сплюснутий) ексцес, і тому не підкоряється нормальному закону.

Таблиця

Імовірнісні характеристики випадкової величини напруги на струмоприймачі при рекуперації

№ поїздки	U_{min} , В	U_{max} , В	m_U , В	σ_U , В	As , в.о.	Ex , в.о.
1	3014	3534	3310	126,6	-0,702	-0,544
2	3074	3671	3392	147,9	-0,031	-0,689
3	3434	3989	3688	140,3	0,02	-0,989
4	3289	3978	3667	153,9	-0,2	-0,377
5	3077	3805	3469	131,6	-0,4	-0,269
6	3426	3590	3524	42,4	-0,274	-0,881

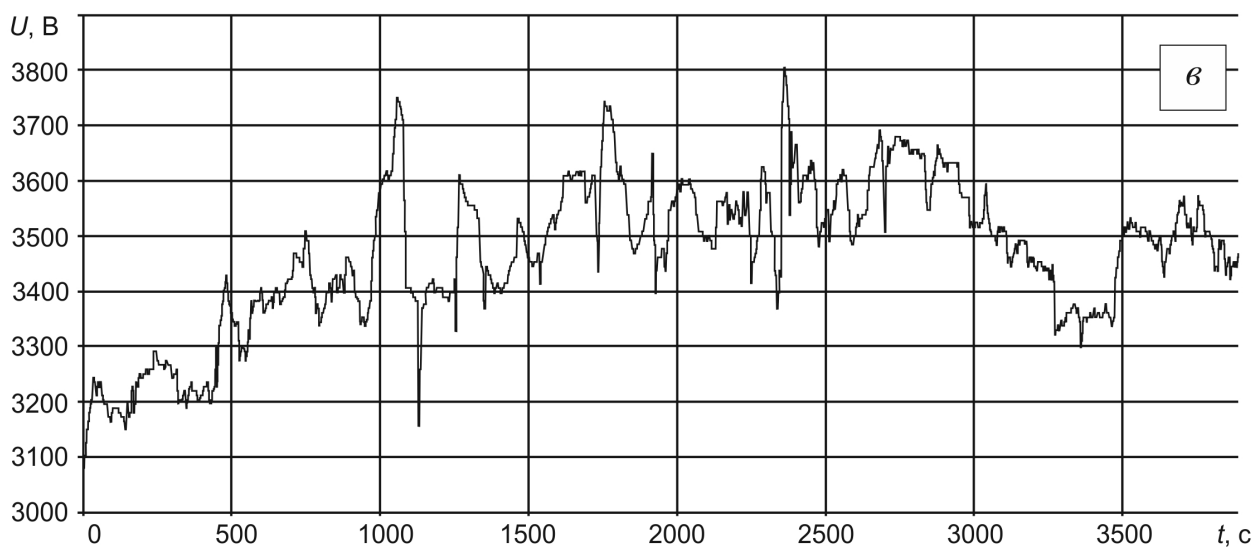
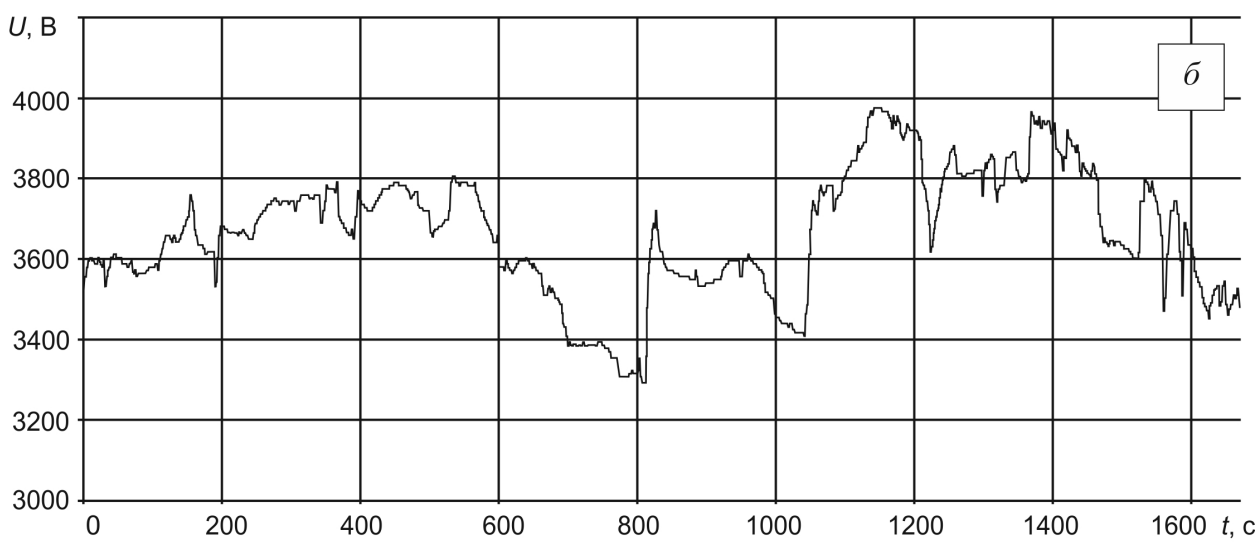
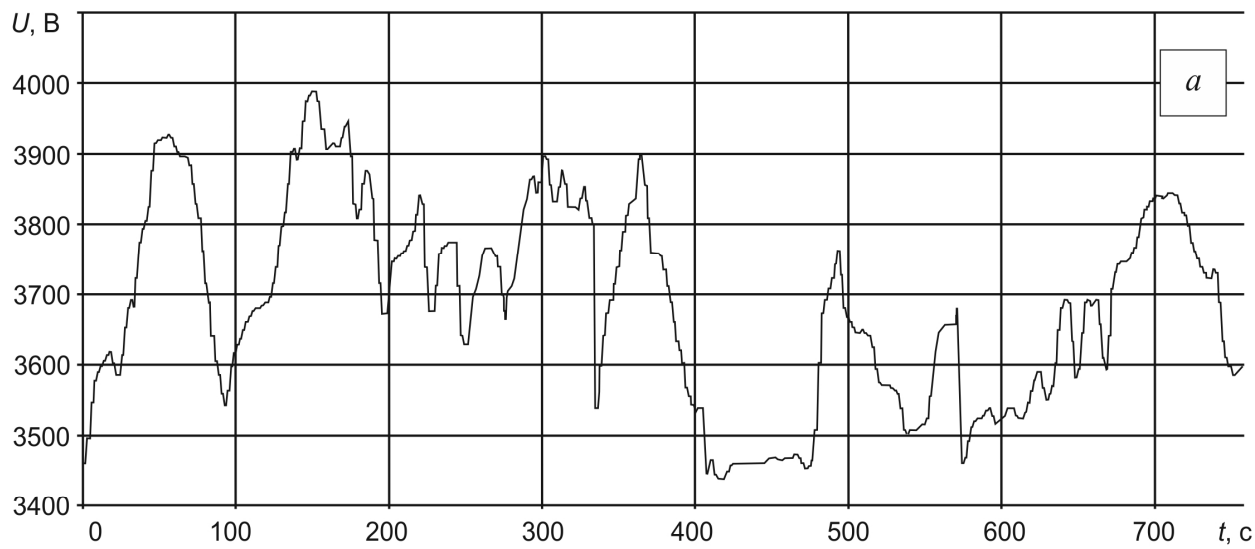


Рис. 2. Регістрограми напруги на струмоприймачі у режимі рекуперації електровозів ВЛ8
a, б, в – різні поїздки

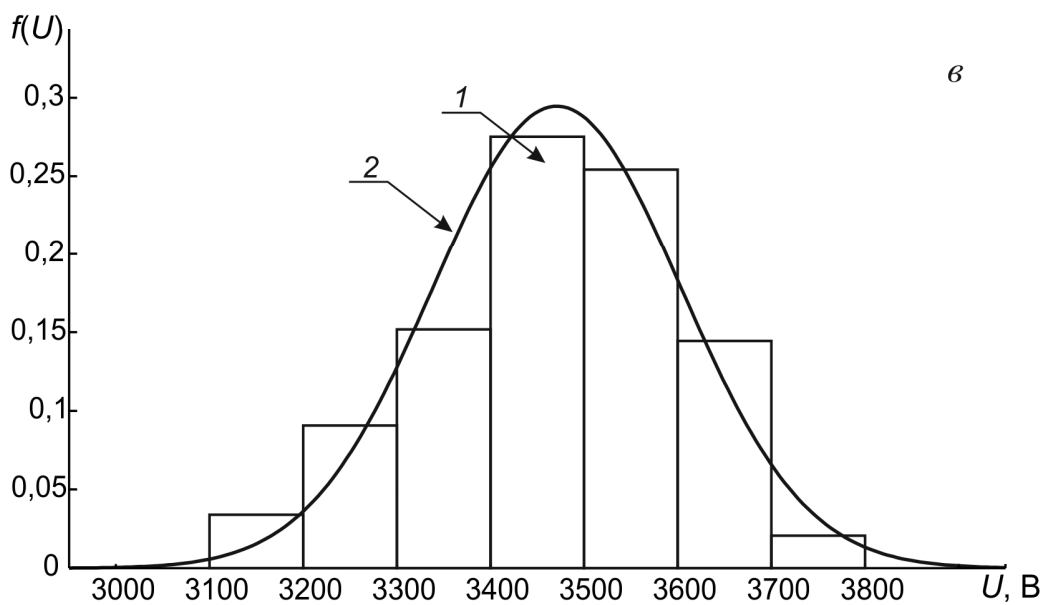
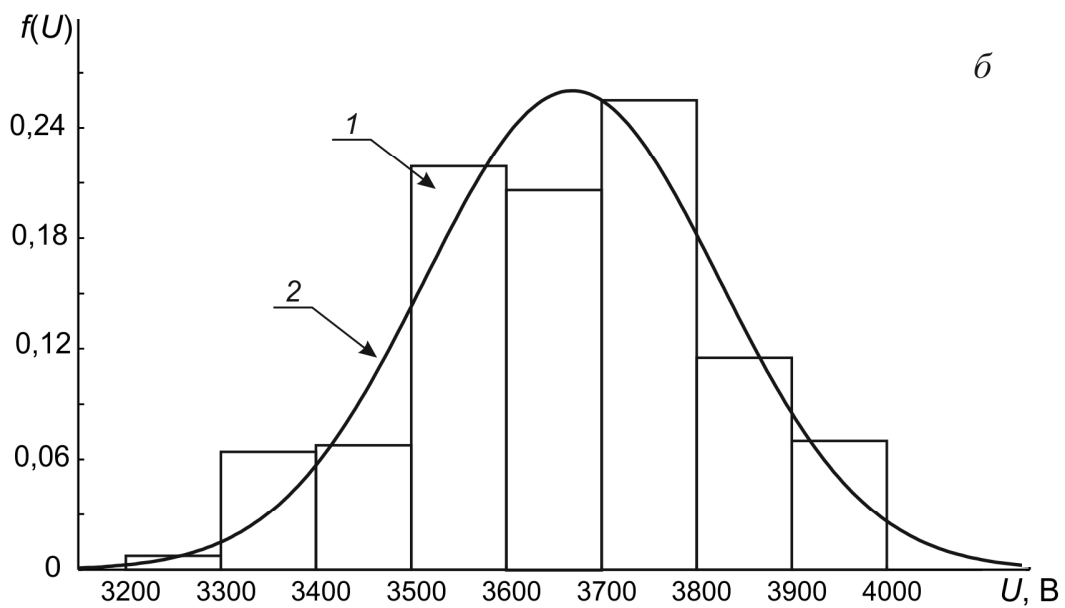
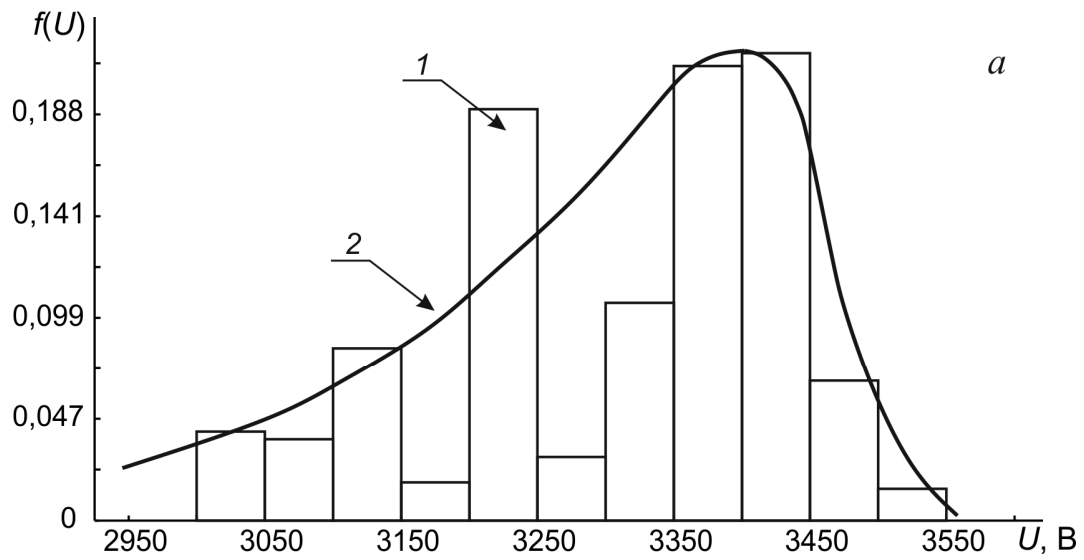


Рис. 3. Статистичні (гістограми) (1) і теоретичні (2) розподілення напруги на струмоприймачі електровоза ВЛ8 у режимі рекуперації для різних поїздок (а, б, в)

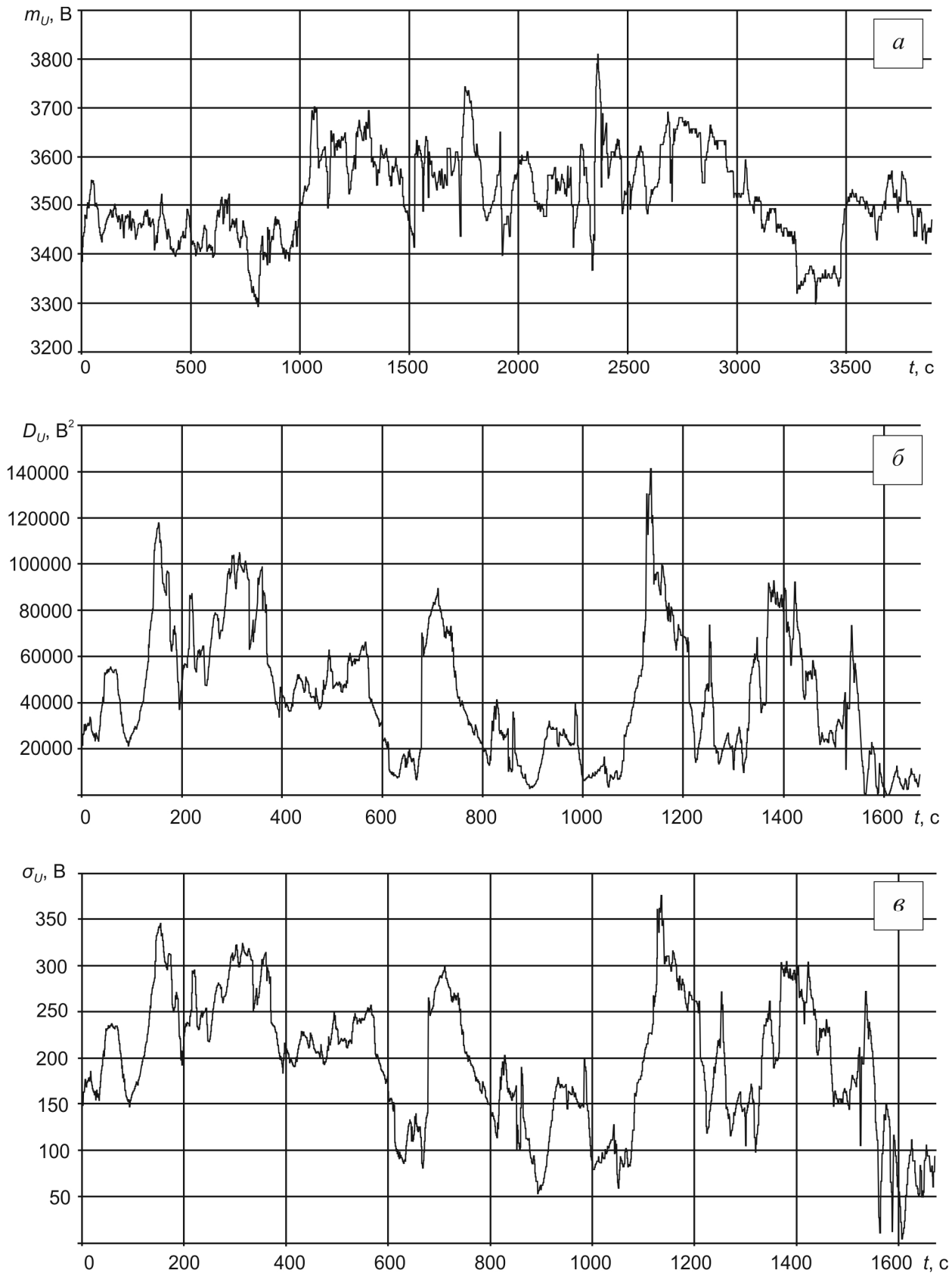


Рис. 4. Функції математичного сподівання m_U (а), дисперсії D_U (б) і середньоквадратичного відхилення σ_U (в) напруги на струмоприймачі електровоза ВЛ8 в режимі рекуперації

Згідно з рис. 4, функції математичного сподівання $m_U(t)$, дисперсії $D_U(t)$ і середньоквадратичне відхилення $\sigma_U(t)$, які отримані квантуванням багатьох реалізацій $U(t)$ для різних моментів часу, не є постійними, а коливаються відносно якогось постійного значення. Отже, випадковий процес напруги $U(t)$ не являється стаціонарним, але може бути приведений до стаціонарного, виходячи із умови [7]: обмежена кількість реалізацій $U(t)$ обумовлює наявність значного елемента випадковості в отриманих оцінках функцій математичного сподівання і дисперсії. Тому ці видимі на рис. 4 відступи від стаціонарності не носять якогось закономірного характеру і, отже, $m_U(t)$, $D_U(t)$ і $\sigma_U(t)$ можуть бути осереднені. Зазначене дозволяє вважати у першому наближенні випадковий процес напруги на струмоприймачі електровоза стаціонарним.

Висновок

Напруга на струмоприймачі, при якій електрорухомий склад постійного струму віддає рекуперовану електроенергію в тягову мережу, не є постійною, а являє собою різкозмінний випадковий процес. Зазначене її викривлення негативно впливає на показники якості енергії, що віддається і, зокрема, обумовлює некорисні втрати потужності в елементах всієї системи електричної тяги в режимі рекуперації.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Корепанов, Г. Я. Исследование эффективности рекуперативного торможения на ряде электри-

фицированных железных дорог постоянного тока [Текст] / Г. Я. Корепанов, Л. В. Петрович, Е. А. Дуранин // Вопросы усовершенствования устройств электрической тяги. Труды ДИИТа. – 1971. – Вып. 106. – С. 36–46.

2. Смирнов, С. С. К вопросу определения вклада тяговой нагрузки в ухудшение качества электрической энергии, связанного с высшими гармониками [Текст] / С. С. Смирнов, Л. И. Коверникова, Н. И. Молин // Пром. энерг. – 1997. – № 11. – С. 46–49.
3. Повышение устойчивости работы электровозов с коллекторными двигателями в режиме рекуперативного торможения [Текст] / А. В. Беляев [и др.] // Сб. науч. тр. Всерос. науч.-иссл. и проект.-конструкт. ин-т электровозостр. – 1999. – № 41. – С. 61–72.
4. Почаевец, Э. С. Эффективность рекуперации на участках равнинно-холмистого профиля [Текст] / Э. С. Почаевец // Вестник ВНИИЖТа. – 2000. – № 2. – С. 35–38.
5. Щербак, Я. В. Анализ застосування рекуперативного гальмування на залізницях України [Текст] / Я. В. Щербак, В. П. Нерубацький // Заліз. трансп. України. – 2011. – №2. – С. 30–34.
6. Сулима, С. Д. Повышение эффективности рекуперативного торможения электровозов постоянного тока [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.09 – электротранспорт / С. Д. Сулима. – Д., 2001. – 20 с.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука. – 1969. – 576 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2012.

Прийнята до друку 09.04.2012.

А. В. НИКИТЕНКО, В. М. ЛЯШУК

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТОКОПРИЕМНИКЕ ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ РЕКУПЕРАЦИИ

В статье выполнен статистический анализ и определении вероятностные характеристики случайной величины напряжения на токоприемнике электровоза в режиме рекуперации.

Ключевые слова: рекуперация, вероятностные закономерности, напряжение, электровоз, статистика

A. V. NIKITENKO, V. M. LIASHUK

STATISTICS AND PROBABILITY ANALYSIS OF THE VOLTAGE ON THE PANTOGRAPH OF DC ELECTRIC LOCOMOTIVE IN THE RECUPERATION MODE

The statistical analysis and probability characteristics of voltage random variation on the pantograph of DC electric locomotive in the recuperation mode are presented in the article.

Keywords: recuperation, probability laws, voltage, DC electric locomotive, statistics