

ЕНТРОПІЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Гнатів А. В.¹, Аргун Щ. В.¹, Тарасов К. С.¹, Тарасова В. В.², Суханов А. С.², Чуйко П. В.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації

***Анотація.** У статті розглянуто деякі питання класифікації систем автоматичного управління та можливість використання для оцінки їх працездатності поняття ентропія. Розглянуті основні вимоги, які необхідно виконати для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму. Розгляд ентропії дозволяє встановити деякі загальні умови організації управління процесами, зокрема режимами роботи енергетичних та складних електричних систем.*

***Ключові слова:** система автоматичного управління; електричний двигун; параметри; ентропія; класифікація; енергосистема; надійність; економічність; електропривод.*

Вступ

Системи автоматичного управління (САУ), що застосовуються в сучасній техніці є досить різноманітними. Швидке розширення функціонального призначення автоматичних систем, що стало можливим, зокрема, завдяки впровадженню електронних керуючих машин, збільшує число реалізованих класів систем [1, 2].

Кожна САУ включає: джерело живлення, електричний двигун і пристрої керування джерелом живлення. В теперішній час існує велика кількість електричних двигунів різних типів, але найбільш поширеним є асинхронний двигун. Саме тому він, в першу чергу, розглядається як об'єкт автоматичного керування [3-5]. Динаміка електропривода та формування закону управління вимагають обліку параметрів статичних і динамічних характеристик регульованого об'єкта.

Таким чином, систематизація властивостей типових структур та їх елементів для управління електроприводами в роботі, є метою досліджень багатьох авторів.

При аналізі систем управління частіше всього використовують основні поняття та визначення, а саме: передавальні функції, закони регулювання, частотні характеристики і деякі інші. Однак, для аналізу і опису складних САУ цього може бути недостатньо, оскільки необхідним становиться використання ймовірнісних методів, які використовують більш загальні визначення і поняття. До таких понять належить, наприклад, ентропія розподілу ймовірностей керуваного процесу.

Ентропія – це міра невизначеності ситуації (або випадкової величини) з кінцевою кількістю результатів. Вона є лише загальною характеристикою стану системи, але дозволяє зробити висновки про стійкість систем (або процесів) в цілому. Тому ентропія є актуальним поняттям в САУ і її можна використовувати в цих системах для оцінки загальної організації процесу управління.

Аналіз публікацій

Існує достатня кількість публікацій, які присвячені системам автоматичного управління [3-12].

Так, в роботі [3] представлено порівняльний аналіз властивостей асинхронного двигуна (АД), як об'єкта управління, а також виконано розрахунок параметра критичного ковзання за спрощеною методикою, що враховується системою під час автоматичного управління.

Автори статті [4] представили метод розрахунку механічної характеристики АД при наявності в ній ділянки з явно вираженим мінімальним моментом. Такий підхід дає більш точні параметри для САУ під час виконання операції керування асинхронним двигуном.

В роботі [5] проведено розрахунок основних характеристик тягового АД для електроприводу електробуса міського призначення. Керуючись отриманими даними можна задати початкові умови для САУ асинхронним двигуном, що використовується в електричних автотранспортних засобах.

В роботі [6] для підвищення стабільності і точності управління електричним індукційним двигуном без датчика швидкості пропонується новий метод векторного управління для еталонної моделі адаптивної ідентифікації швидкості двигуна. Авторами статті створено математичну модель електродвигуна і розроблено його векторний контролер. Результат моделювання демонструє, що АД може точно відстежувати команду керування швидкістю без застосування спеціального датчика швидкості.

У статті [7] представлено конструктивний підхід енергозберігаючих законів управління автоматизованими системами асинхронного електроприводу. Цей підхід заснований на нелінійних математичних моделях, аналітичних умовах енергозберігаючого управління і сучасних методах проектування автоматичних регуляторів. Представлені результати комп'ютерного моделювання розроблених регуляторів і оцінки його ефективності.

Автори роботи [8] представили структуру трифазного перетворювача зі зворотним зв'язком та описали його принцип роботи. На підставі цього побудована трирівнева система управління двигуном змінного (з подвійною просторовою векторною імпульсною модуляцією) та постійного струму. В зазначеній системі досягається автоматичне керування потоком енергії в чотирьох квадрантах. Отже, може бути здійснене автоматичне управління двигуном, що працює в станах прискорення і уповільнення.

В роботах [9-12] автори вибрали АД, для тягового електроприводу електричного автобуса, який отримує живлення від блоку суперконденсаторів. Проведено модулювання роботи зазначеної тягової електроустановки з визначенням основних показників спожитої та генерованої енергії при роботі електробуса в міських умовах експлуатації.

Проведений огляд та аналіз публікацій показує, що оцінка працездатності систем автоматичного регулювання (управління) електротехнічних систем та електроприводами в їх складі є досить актуальним завданням. При цьому виникає необхідність у визначенні та оцінюванні координат управління процесами, що протікають. Рішення зазначеного завдання дозволить більш ефективно та якісно здійснювати САУ складних електротехнічних систем, що використовуються в різноманітних галузях народного господарства, транспорту та промисловості.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є розглядання можливостей використання поняття ентропія в САУ взагалі та її використання в цих системах для оцінювання координат управління процесами, що в них протікають.

Для досягнення заданої мети необхідно виконати наступні задачі:

- провести аналіз процесів в САУ складних електричних систем;
- розглянути класифікацію систем автоматичного управління та можливість використання для оцінки їх працездатності поняття ентропія;
- розглянути основні вимоги, які необхідно виконати для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму;
- встановити загальні умови організації управління процесами.

Аналіз процесів в САУ складних електричних систем

Для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму необхідно виконання ряду вимог:

- повне використання пропускну здатності окремих ланок;
- можливість прийому споживачами потужності, виробленої електростанціями;
- запобігання випадків порушення стійкості паралельної роботи електричних машин;
- запобігання випадків хаотичних відключень і пошкодження обладнання;
- створення умов для якнайшвидшого припинення аварійного режиму.

Виконання цих та деяких інших вимог здійснюють група пристроїв системної автоматики. Тим часом, крім наростаючої різноманітності можливих видів автоматичних пристроїв, в сучасній техніці чітко виражена тенденція комплексного використання цих пристроїв – об'єднання автоматичних пристроїв в єдині системи.

Поняття САУ охоплює як найпростіші автоматичні пристрої, так і складні комплекси автоматичних систем. Такі системи комплексної автоматизації, як системи управління технологічними процесами цілих підприємств і груп підприємств, різноманітних електронних та силових систем на сучасному транспорті і т.п., можуть включати безліч джерел інформації, систем регулювання, обчислювальних і керуючих машин, каналів передачі інфо-

рмації та інших пристроїв. Тобто існують системи автоматичного регулювання (управління) різного призначення. Залежно від типу

САУ до неї можуть бути застосовані різні вимоги, а сама система може характеризуватися різними параметрами. Одна з можливих класифікацій САУ наведена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація систем автоматичного управління

Для якісного опису і дослідження процесів в комплексних автоматичних системах необхідні відповідні визначення та поняття.

Основні визначення і поняття, що використовуються при аналізі систем управління, а саме: передавальні функції, закони регулювання, частотні характеристики і т.д., недостатні для аналізу і опису складних САУ. Необхідні більш загальні визначення і поняття. До таких понять належить, наприклад, ентропія розподілу ймовірностей керованого процесу. Нехай є певний процес, управління яким підлягає автоматизації. Стан процесу в кожен даний момент часу характеризується сукупністю величин x_1, x_2, \dots, x_n , які будемо називати координатами процесу.

Координати процесу завжди мають розкид щодо бажаних значень, тобто містять випадкові складові. Одним з основних призначень автоматизації управління процесом є зменшення невизначеності протікання процесу, зменшення відхилень процесу від бажаного його перебігу. При цьому вимога збільшення точності управління часто поєднується з вимогою збільшення швидкості протікання процесу.

Для ілюстрації тези про розкид координат процесу, що підлягає автоматизації, наведемо прості приклади. При роботі генератора без регулятора напруги мають місце великі коливання напруги, викликані випадковими змінами навантаження і швидкості обертання.

Призначення регулятора полягає в зменшенні цих коливань до допустимих меж.

Вичерпної характеристикою координат процесу в кожен заданий момент часу є розподіл ймовірностей цих величин.

Для безперервних координат, які беруть довільні значення в деяких інтервалах, щільність ймовірностей висловлює ймовірність одночасного перебування координат в інтервалах:

$$\rho(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Функція (1) може бути виражена інакше:

$$\rho(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n; \\ x_i \leq x_i \leq x_i + dx_i; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Якщо розподіл дискретний, тобто координати можуть мати лише дискретні значення, то функція щільності ймовірності перетворюється в суму δ -функцій.

Відзначимо, що координати процесу, що протікає в часі, є випадковими функціями часу і вираз (1) слід розглядати як щільність ймовірності перетину випадкових функцій при заданому значенні часу t .

Розподіл ймовірностей вимагає при емпіричному визначенні великого числа експериментів. У теорії інформації була введена інте-

гральна характеристика невизначеності, названа ентропією. Ця характеристика має близьку спорідненість з поняттям ентропії в статистичній фізиці і термодинаміці.

У теорії ймовірностей і теорії інформації поняття ентропії було поширене на розподілу ймовірностей будь-яких змінних. Ентропією безперервного розподілу ймовірностей змінних x_1, x_2, \dots, x_n називається величина.

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x_1, x_2, \dots, x_n) \times \log \rho(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n. \quad (3)$$

Ентропія залежить тільки від розподілу ймовірностей – однозначно визначається щільністю ймовірності $\rho(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Однак, для того щоб вказати величини, до розподілу яких відноситься ентропія, часто позначають $H = H(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Теорія інформації розглядає ентропію розподілу ймовірностей в системах отримання і передачі інформації. При цьому вважається, що після отримання інформації про будь-якої величиною розподіл ймовірності цієї величини і, отже, ентропія можуть істотно змінитися. Тим самим ентропії в теорії інформації приписується сенс суб'єктивної або відносної характеристики. Подібну ентропію називають інформаційною ентропією там, де це необхідно в інтересах ясності викладу.

Інформаційна ентропія для даного спостерігача змінюється щоразу, коли цей спостерігач отримує інформацію про розглянутих величинах. Інформаційною ентропією в найбільшій мірі відповідає формулювання Больцмана, відповідно до якої ентропія є міра, якої бракує інформації.

Крім інформаційної ентропії, в теорії автоматичного управління доцільно використовувати інше поняття ентропії, яке є як би застосуванням поняття фізичної ентропії до керованих процесів, що характеризуються обмеженим числом різних величин - координат.

Цей вид ентропії називають ентропією розподілу ймовірностей координат керованого процесу (об'єкта) чи просто ентропією процесу. Зазначені поняття ентропії мають однакові математичні вирази. Ентропія розподілу ймовірностей координат керованої процесу виражається формулою (3), так само як і інформаційна ентропія. Різниця ж має місце в істоті зазначених понять і полягає в наступному. Інформаційна ентропія, як вище зазначалося, істотно залежить від інформації, одержуваної даними наглядом, і є внаслідок

цього відносної суб'єктивної характеристики. Ентропія процесу і розподілу ймовірностей координат цього процесу - об'єктивні характеристики, які не залежать від інформації, отриманої окремим спостерігачем.

Іншими словами, вважається, що ентропію розподілу ймовірностей координат будь-якого процесу не можна змінити, лише вимірявши з тією або іншою точністю ці координати. Для зміни ентропії процесу необхідне втручання в цей процес, тобто управління або природне вплив. Таким чином, є два загальних поняття ентропії, що мають однакове математичне вираз: ентропія процесу і інформаційна ентропія.

Основні властивості ентропії

Розглянемо деякі властивості ентропії. Оскільки математичні визначення інформаційної ентропії і ентропії процесу однакові, всі співвідношення в рівній мірі справедливі для обох видів ентропії і в формулюваннях вид ентропії можна не вказувати.

Якщо координати x_1, x_2, \dots, x_n незалежні, то щільність розподілу ймовірностей можна записати у вигляді:

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = p(x_1)p(x_2)\dots p(x_n) \quad (4)$$

або інакше:

$$\log p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \log p(x_i), \quad (5)$$

де $p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)$ – щільності розподілу ймовірностей x_1, x_2, \dots, x_n

Доказано [13], що для незалежних величин справедлива рівність:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i, \quad (6)$$

де H_i – ентропія i -ї з незалежних величин.

Таким чином, ентропія незалежних координат процесу дорівнює сумі ентропій кожної координати.

Якщо процес характеризується лише однією координатою x , то ентропія визначиться в виді:

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log p(x) dx. \quad (7)$$

Якщо координата x може приймати лише дискретні значення, вірогідності яких дорівнюють P_1, P_2, \dots, P_m , то ентропія такої координати виражається формулою:

$$H = \sum_{j=1}^n P_j \log P_j. \quad (8)$$

Необхідно відзначити, що ця формула не може бути отримана простим граничним переходом з виразу (7).

Якщо дискретна величина не має розкиду, тобто значення її строго фіксоване, то все ймовірності P_j , крім однієї, дорівнюють нулю, а ця єдина ймовірність дорівнює одиниці. Таким чином, ентропія дискретної величини при відсутності розкиду дорівнює нулю. Ентропія дискретної величини завжди позитивна або дорівнює нулю. Це безпосередньо впливає з виразу (8), де $0 \leq P_j \leq 1$.

Ентропія величини, здатної приймати m значень, максимальна в тому випадку, коли всі ці значення рівно ймовірні, $P_j = 1/m$.

Ентропія безперервної величини, заданої абсолютно точно, дорівнює негативною нескінченності. Звернення в нескінченність $H(x)$ при точному завданні безперервної величини x не можна вважати недоліком поняття ентропії як характеристики невизначеності. Зазначене положення вказує лише на безплідність використання поняття ентропії в тих випадках, коли застосовується ідеалізація (модель) процесу з точним завданням безперервних величин. У реальних процесах фізичні величини ніколи не можуть бути вимірянні і задані абсолютно точно, і ентропія ніколи не звертається в нескінченність.

Ентропія безперервної величини, що має заданий середній квадрат, максимальна при нормальному законі розподілу ймовірностей.

Легко перевірити, що розподіл при заданих умовах відповідає саме максимуму ентропії і цей максимум дорівнює:

$$H = \log(\sigma\sqrt{2\pi e}) = \log(4,13\sigma). \quad (9)$$

Таким чином, при заданому середньому квадраті нормальний розподіл відповідає найбільшою невизначеності величини x з усіх можливих розподілів.

Тут необхідно вказати на важливе положення: практичне значення має не абсолютна величина ентропії, а її приріст. Воно знімає утруднення, пов'язане з розмірністю величин.

Дійсно, якщо x – розмірна фізична величина, то щільність ймовірностей має розмірність, обернену розмірності x . Таким чином, під знаком логарифма з'являється розмірна величина. Однак в вираженні різниці ентропії завжди фігурує логарифм відносини і фізичні розмірності скорочуються. Це наочно демонструє формула (9).

Одним з основних призначень автоматизації управління процесом є зменшення невизначеності протікання процесу та зменшення відхилень процесу. При цьому дуже часто вимога збільшення точності управління поєднується з вимогою збільшення швидкості протікання процесу. Це питання стає особливо актуальним в сучасній автотранспортній техніці, де швидкість протікання електричних, електронних та механічних процесів в основних складових елементах та вузлах автотранспорту постійно зростає. Відповідно, це вимагає більш швидких реакцій систем управління для відпрацювання потрібних керуючих сигналів та команд.

Використання ймовірнісного поняття ентропії, зрозуміло, не замінює детального вивчення керованого процесу, так само як використання поняття загальної енергії системи не замінює визначення кожної з координат системи.

Однак розгляд ентропії дозволяє:

- встановити деякі загальні умови організації управління процесами, зокрема режимами роботи енергетичних та складних електричних систем, наприклад, систем автоматичного управління тягового електроприводу електромобіля на базі трифазної машини змінного струму;

- отримати ймовірності значення для оцінювання координат управління процесами, що протікають, наприклад, в системі автоматичного управління роботою силового блоку перетворення енергії в електротранспорті.

Висновки

У статті розглянуто класифікацію систем автоматичного управління та можливість використання для оцінки їх працездатності поняття ентропія.

Розглянуті основні вимоги, які необхідно виконати для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму.

Розгляд ентропії дозволяє встановити деякі загальні умови організації управління процесами, зокрема режимами роботи енергетичних та складних електричних систем.

Література

1. Попович М. Г., Ковальчук О. В., Пересада С. М., Приймак Б. І. Теорія автоматичного керування. Київ, 2012. 655 с.
2. Савеленко І. В. Синтез системи автоматичного керування електроприводом на базі синхронного двигуна з постійними магнітами. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2015. № 28. С. 309–316.
3. Тарасова В. В., Суховій С. А., Гнатів А. В., Аргун Ш. В. Використання асинхронного двигуна, як об'єкта автоматичного керування. *Автомобіль і електроніка. Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. 2017. № 12. С. 166–174.
4. Бакуменко В. Б., Тарасова В. В., Ручка О. О., Гнатів А. В., Аргун Ш. В., Тарасов К. С. Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна при наявності в неї мінімального моменту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2019. № 15. С. 17–27.
5. Аргун Ш. В. Розрахунок основних характеристик тягового асинхронного двигуна для електричної трансмісії міського електробуса. *Автомобільний транспорт*. 2018. № 43. С. 36.
6. Xu J., Hu Z., Tian G. Model reference adaptive vector control of asynchronous motor without speed sensor. *2016 35th Chinese Control Conference (CCC 2016)*. (Chengdu, 27–29 July 2016). Chengdu, 2016. P. 3195–3199.
7. Popov A. N. Energy-saving Regulators for Asynchronous Electric Drive Vector Control Systems: Design Procedure and Adaptive Control. *2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED)*. (Moscow, 30 January – 2 February 2019). Moscow, 2019. P. 1–4.
8. Wan H., Kang J., Fan Q. Research on asynchronous motor control characteristics based on dual SVPWM back to back three level converter. *2012 Power Engineering and Automation Conference*. (Wuhan, 18–20 September 2012). Wuhan, 2012. P. 1–4.
9. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S., Ulyanets O. Ultracapacitors electrobus for urban transport. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018)*. (Kyiv, 24–26 April, 2018). Kyiv, 2018. P. 539–543.
10. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2017. №14(4). P. 4649–4664.
11. Гнатів А. В., Пидгора А. В. Автобусный транспорт, назначение и классификация. Электробус на суперконденсаторах. *Автомобиль и электроника: Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. 2017. № 11. С. 5–12.
12. Patłins A., Hnatov A., Arhun S., Tarasov K., Hnatova H., Mygal V. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. In: *USB PROCEEDINGS of 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. (Riga, 7–9 October, 2019). Riga, 2019. pp. 051-1–051-6.
13. Руденко Ю. Н., Ушаков И. А. Надёжность систем энергетики. Новосибирск, 1986. 328с.

Reference

1. Popovych M. G., Kovalchuk O. V., Peresada S. M., Pryjmak B. I. (2012) Teoriya avtomatychnogo keruvannya. [Automatic control theory.]. [in Ukrainian].
2. Savelenko I. V. Syntez systemy avtomatychnogo keruvannya elektropry vodom na bazi synronnogo dvy guna z postijny my magnitamy [Synthesis of a system of automatic control of electric drive based on a synchronous motor with permanent magnets]. *Zbirnyk naukovy x prac z Kirovograds kogo nacional nogo texnichnogo univerty tetu. Texnika v sil s kogospodars komu vy robny cztvi, galuzeve masy nobuduvannya, avtomaty zaciya*. 28. 309–316. [in Ukrainian].
3. Tarasova V.V., Suxovij S.A., Gnatov A.V., Arhun Shch. (2017) Vy kory stannya asynronnogo dvy guna, yak ob'yekta avtomatychnogo keruvannya [Using an induction motor as an automatic control object]. *Avtomobil i elektronika. Sovremennyye tehnologii: elek-tronnoe nauchnoe spetsializiro-vannoe izdanie*. 12. 166–174. [in Ukrainian].
4. Bakumenko V. B., Tarasova V. V., Ruchka O. O., Gnatov A. V., Arhun Shch., Tarasov K. S. (2019) Rozraxunok mexanichnoyi xaraktery sty ky asynronnogo dvy guna pry nayavnosti v neyi minimal nogo momentu [Calculation of mechanical characteristics of an induction motor with minimum torque]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tehnologiyi*. 15. 17–27. [in Ukrainian].
5. Arhun Shch. (2018) Rozraxunok osnovny x xaraktery sty k tyagovogo asynronnogo dvy guna dlya elektry chnoyi transmissiyi mis kogo elektrobusa [Calculation of main characteristics of traction induction motor for electric transmission of city bus]. *Avtomobil ny j transport*. 43. 36. [in Ukrainian].
6. Xu J., Hu Z., Tian G. (2016) Model reference adaptive vector control of asynchronous motor without speed sensor. *2016 35th Chinese Control Conference (CCC 2016)*. (Chengdu, 27–29 July 2016). 3195–3199.
7. Popov A. N. (2019) Energy-saving Regulators for Asynchronous Electric Drive Vector Control Systems: Design Procedure and Adaptive Control.

- 2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED). (Moscow, 30 January - 2 February 2019). 1–4.
8. Wan H., Kang J., Fan Q. (2012) Research on asynchronous motor control characteristics based on dual SVPWM back to back three level converter. *2012 Power Engineering and Automation Conference*. (Wuhan, 18-20 September 2012). 1–4.
 9. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S., Ulyanets O. (2018) Ultracapacitors electrobus for urban transport. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018)*. (Kyiv, 24–26 April, 2018). 539–543.
 10. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. (2017) Energy saving technologies for urban bus transport *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. №14(4). 4649-4664.
 11. Hnatov A., Pydhora A. (2017) Avtobusnyi transport, naznachenie i klassifikatsiya. Elektrobus na superkondensatorah. [Bus transport, purpose and classification. Electric bus on supercapacitors.] *Avtomobil i elektronika: Sovremennyye tehnologii: elektronnoe nauchnoe spetsializirovannoe izdanie*. № 11. 5-12.
 12. Patłins A., Hnatov A., Arhun S., Tarasov K., Hnatova H., Mygal V. (2019) Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. In: *USB PROCEEDINGS of 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. (Riga, 7-9 October, 2019). P. 051-1-051-6.
 13. Rudenko Yu.N., Ushakov I.A. (1986) NadYozhnost sistem energetiki [Reliability of power systems]. Novosibirsk. 328. [in Russian].

Гнатів Андрій Вікторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-743-0887, e-mail: kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валіковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com,

Тарасов Кирило Сергійович¹, аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0933435082, e-mail: niakros@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодівна², к.т.н., доц. тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Суханов Артем Сергійович², студент, тел. +38 050-673-52-93, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com

Чуйко Павло Вячеславович², студент, тел. +38 066-565-39-23, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

Entropy in automatic control systems of complex electrical systems

Abstract. Problem. In the analysis of control systems the basic concepts and definitions are mostly used, namely: transfer functions, laws of regulation, frequency characteristics and some others. However, this may not be sufficient to analyze and describe complex automatic control systems, since it is necessary to use probabilistic methods that use more general definitions and concepts. Such concepts include, for example, entropy of the probability distribution of a controlled process. **Goal.** The purpose of this paper is to consider the possibility of using the concept of entropy in automatic control systems in general and its use in these systems to evaluate the coordinates of the control of the processes in them. **Methodology.** Classic methods of probability theory and methods of control of complex technical systems are used. **Results.** The article deals with some issues of classification of automatic control systems and the possibility of using the concept of entropy to evaluate their efficiency. The basic requirements that must be met to ensure the reliable and economical operation of modern AC power systems are considered. **Originality.** It is established that one of the main purposes of process control automation is to reduce process uncertainty and process deviations. However, very often the requirement to increase control accuracy is combined with the requirement to increase the speed of the process. This demands faster responses from control systems to work out the required control signals and commands. **Practical value.** Consideration of entropy enables to: set some general conditions for controlling the operation itself, including the modes of operation of power and complex electrical systems, for example, systems of automatic control of electric traction electric drive based on three-phase AC machine; estimate the coordinates of process control, for example, in the system of automatic control of the operation of the of energy conversion power unit in electric transport.

Keywords: automatic control system; electric motor; parameters; entropy; classification; power system; reliability; economy; electric drive.

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, e-mail: kalifus76@gmail.com,

Shchasiana Arhun¹, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Tarasov Kyrylo¹, postgraduate, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0933435082, e-mail: niakros@gmail.com,

Tarasova Valentyna², Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 066-828-47-31, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com,

Sukhanov Artem², student, tel. +38 050-673-52-93, val.vs.tarasova@gmail.com

Chuiko Pavlo², student, tel. +38 066-565-39-23, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

Энтропия в системах автоматического управления сложных электрических систем

***Аннотация.** В статье рассмотрены некоторые вопросы классификации систем автоматического управления и возможность использования понятие энтропия для оценки их работоспособности. Рассмотрены основные требования, которые необходимо выполнить для обеспечения надежной и экономичной работы современных энергосистем переменного тока. Рассмотрение энтропии позволяет установить некоторые общие условия организации управления процессами, в частности режимами работы энергетических и сложных электрических систем.*

***Ключевые слова:** система автоматического управления; электрический двигатель; параметры; энтропия; классификация;*

энергосистема; надежность; экономичность; электропривод.

Гнатюк Андрей Викторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 066-743-0887, kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валиковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com,

Тарасов Кирилл Сергеевич¹, аспирант кафедры автомобильной электроники, тел. +38 0933435082, niakros@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодовна², к.т.н., доц. тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Суханов Артем Сергеевич², студент, тел. +38 050-673-52-93, val.vs.tarasova@gmail.com

Чуйко Павел Вячеславович², студент, тел. +38 066-565-39-23, val.vs.tarasova@gmail.com

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.