

РЕГУЛЯРИЗАЦІЯ КОНТЕКСТНИХ ДАНИХ ПРИ КЕРУВАННІ АВТОНОМНИМИ СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

А. Г. КИСЕЛЬОВА*, Г. Д. КИСЕЛЬОВ

Кафедра системного проектування, ННК «Інститут прикладного системного аналізу», НТУУ «КПІ» Київ, УКРАЇНА
*email: a.g.kyselova@gmail.com

АНОТАЦІЯ Для покращення якості прийняття рішень з керування автономними системами електроживленням створено і протестовано алгоритм регуляризації контекстних даних, що дозволило зменшити помилку прогнозу контекстних часових рядів з (5-6) % до (1,5-2) % та зменшити обсяг операцій при формуванні правил керування напівпровідниковими перетворювачами електроенергії в мережі. Контекстні дані формуються з часових рядів (ЧР), значення яких фіксуються давачами через задані проміжки часу.

Ключові слова: регуляризація, контекст, часові ряди, система електроживлення, помилка прогнозу.

REGULARIZATION OF CONTEXT DATA OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

A. KYSELOVA*, G. KYSELOV

The department of System Design, Educational Scientific Complex "LASA", National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT In this work we present a regularization of context data of autonomous power supply systems. The autonomous power supply systems is a context awareness framework that aims to provide a comprehensive solution to reason about the context from the level of sensor data to the high-level situation awareness (actuator or devices). The paper describes these challenges and presents data management solutions as a module of context data analysis for the energy control system. These solutions include sensor data acquisition and time series forecasting, ontology model and context prediction model for analytical query processing past and future context data. Context prediction requires the consideration of the preliminary time series processing consists in the detection of the series values anomalous values and series smoothing. The randomness of the commutation, though, leads to the disturbances in power consumption characteristics. Keeping a record of time points and the value of the disturbances complicates the forecasting process and can lead to erroneous results. Filtration or smoothing of context time series is the necessary preliminary prediction stage for obtaining trends. Thus, the first step of the module of context data analysis is the filtration and the second step is the prediction. There are three distinct groups of smoothing: Averaging Methods – moving average, weighted moving average; Exponential Smoothing Methods – simple, weighted, exponential, double; Kalman filter. And three group of prediction: Interpolation – linear, polynomial, spline; Extrapolation – linear, polynomial, French curve, conic; Linear prediction. If the prediction value falls outside the confidence range of prediction errors, the task of regularizing sample n of the prediction method is performed. By sample regularizing we understand sample value alteration up to the value which provides the transition of prediction value to the area of confidence range. The proposed approach of regularization (adaptation) of time series for forecasting method allows reducing forecasting error from 6-5% to 2-1.5%, as the test results showed.

Keywords: regularization, context, times series, power supply system, root-mean-square error.

Вступ

Забезпечення необхідного рівня якості електроживлення та ефективності транспортування електроенергії в мережах централізованого електропостачання здійснюється пристроями, що виконують функції моніторингу, керування та захисту мережі. На енергетичному рівні зазначені функції можливо розглядати як відносно незалежні, що спрощує проектування та експлуатацію систем електроживлення шляхом декомпозиції задач і децентралізації процесу керування мережею. В енергомережі з децентралізованим керуванням електротехнічне обладнання функціонує відносно незалежно, що знижує економічність роботи мережі в цілому. На певному етапі розвитку такий підхід був

виправданий, внаслідок великої вартості і малої ефективності системо утворюючого устаткування, яке дозволяє інтегрувати різні пристрої на інформаційному і силовому рівнях.

В зв'язку з необхідністю економії електроенергії не відновлюваних джерел, запаси яких поступово вичерпуються, все частіше використовуються відновлювані джерела енергії (ВДЕ), технічний потенціал яких в перспективі дозволяє мінімізувати використання електростанцій на викопному паливі [1, 2]. Однак їх практичне використання має ряд особливостей, пов'язаних з нестабільним обсягом генерованої енергії і низькою питомою потужністю ВДВ, що вимагає модернізації інфраструктури існуючих мереж, спрямовану на забезпечення узгодженої роботи необмеженої

кількості різнотипних джерел енергії, які представляють собою розосереджену систему електроживлення, на спільне навантаження. Доречно об'єднати електротехнічне обладнання мережі електроживлення в єдину систему, що здійснюється на силовому рівні за допомогою перетворювачів електричної енергії і на інформаційному рівні - обробкою різнотипної даних, які використовуються для керування електроживленням і представляється у вигляді контексту.

Інтеграція різнотипних джерел електроенергії в єдину систему здійснюється на основі концепції активно-адаптивного керування SmartGrid [3].

На відміну від традиційних мереж електроживлення, в яких для керування перетворювачами електроенергії використовуються моногенні дані, такі як струм або напруга, процес керування електроживленням в SmartGrid ґрунтується на вимірюванні і обробці гетерогенних даних навколишнього середовища, наприклад, потужності сонячного випромінювання, швидкості вітру, температури, вологості, параметрів роботи електротехнічного устаткування. До останніх відносяться: просторовий розподіл джерел електроенергії та їх вихідну потужність, ємність засобів акумуляції, рівень втрат у системі електроживлення, потужність споживання навантажень. Для обробки великого обсягу гетерогенних даних створюється спільний контекст.

Ціль роботи

Покращити якість прийняття рішень з керування гетерогенними інфраструктурами автономних систем електроживлення за допомогою регуляризації контекстних даних.

Викладення основного матеріалу

Контекстні дані дозволяють описати можливі стани мережі електроживлення і окремих її пристроїв з використанням апарату дескриптивної логіки [4] у формі триплетів «параметр-атрибут-значення», наприклад «Приміщення: температура = комфортна», «Генератори: потужність = достатня», «Навантаження: характер = індуктивно-активний». Основні типи та види контексту, які використовуються в інтелектуальних системах керування, описані в роботах [5, 6].

Використання контексту і дескриптивної логіки, підвищує якість керування системою електроживлення та дозволяє використовувати знання експертів для керування системою електроживлення у вигляді логічних правил [7]. Використання правил зменшує кількість параметрів, які використовуються для формування задавальних впливів для пристроїв системи електроживлення, і обсяг даних, які циркулюють в системі. Інтеграція в контекст даних, що надходить від різнотипних ВДЕ та навантажень,

дозволяє отримати модель поточного стану реальної системи електропостачання, на підставі якої системою керування може бути згенеровано раціональне керуюче рішення перетворювачами мережі електроживлення (рис. 1).

Контекст формується з часових рядів (ЧР) вимірних даних, значення яких фіксуються давачами через задані проміжки часу [8].

Контекст формується з часових рядів (ЧР) вимірних даних, значення яких фіксуються давачами через задані проміжки часу. За функціональним призначенням давачі можливо поділити на такі групи:

1) давачі, що асоційовані з людиною-користувачем і призначені для реєстрації подій, пов'язаних з місцезнаходженням (локацією) людини та її переміщенням, активною зоною електромережі, пріоритетами у використанні навантажень. До цієї групи відносяться давачі руху та положення людини, давачі, які фіксують час включення, частоту і інтервали часу роботи пристроїв;

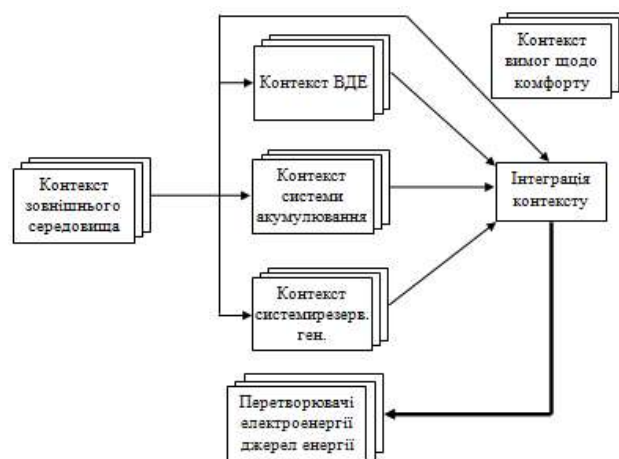


Рис. 1 – Види контексту для керування перетворювачами електроенергії

2) давачі енергоспоживання, що фіксують рівні споживання всієї системи електропостачання та окремих пристроїв в її складі;

3) давачі, які фіксують параметри навколишнього середовища, наприклад давачі температури, тиску, інтенсивності світла та шуму;

4) давачі безпеки, призначені для попередження надзвичайних ситуацій: давачі розбиття скла, давачі пожежі, давачі охоронної сигналізації;

5) давачі біомедичного стану, які контролюють фізіологічний стан людини за пульсом, тиском, рівнем цукру в крові, рівнем холестерину тощо.

До режимів роботи давачів системи електропостачання можна віднести наступні:

1) безперервний режим - постійна реєстрація подій із заданою фіксованою або змінною частотою;

2) режим ввімкнення за подією – реєстрація факту настання події;

3) Режим ввімкнення за запитом – формування сигналу про стан у відповідь на запит, що надходить від системи керування;

4) комбінований режим, що містить елементи трьох попередніх.

Відповідно до стандарту IEEE 1451 [9] події, реєстровані давачами, описуються у форматі повідомлень, які містять:

- 1) виміряні дані;
- 2) час події – контекст часу;
- 3) джерело контексту – тип давача (наприклад, магнітні давачі, давачі руху, димові давачі, давачі розбиття скла та ін.);
- 4) ID (Identifier) – ідентифікатор давача в системі;
- 5) ID повідомлення про факт настання події – ідентифікатор повідомлення, значення якого збільшується з появою нового повідомлення, що дає можливість перевірити, нове це повідомлення або

дублікат, а так само знаходити загублені повідомлення в системі.

Первинна форма даних, отримана від давачів різного типу, відрізняється за своїм форматом. Формування контексту з виміряних даних умовно можна розділити на задачі обробки цифрових сигналів; нормалізації даних та їх подальшої інтеграції, здійснюваних на підставі параметрів моделі обладнання системи електроживлення; формалізації інтегральних показників; приєднанням до них службової інформації: ID, час та локація, інформація для відновлення пошкоджених даних у вигляді циклічного надлишкового коду CRC.

Для уніфікації виміряних даних, яка необхідна для їх інтеграції і спільного використання в системі керування електроживленням, вони нормуються за граничними показниками. У табл. 1. наведено приклад уніфікації виміряних даних і протокол їх передавання.

Таблиця 1 – Приклад перетворення даних в контекст

Джерело контексту	Абсолютне значення, °C	Критичне мін. значення, °C	Критичне макс. значення, °C	Нормоване значення	Контекст
Давач температури	14	-30	+50	$\frac{14 + 30}{50 + 30} = 0,55$	Температура = недостатня
Протокол передавання даних					

Складність побудови прогнозової моделі виміряних даних, що надходять від гетерогенних джерел системи електроживлення, обумовлена тим, що при реєстрації інформаційних потоків, крім корисного сигналу, фіксуються і сторонні сигнали в вигляді збурень. У зв'язку з цим актуальним є видалення з корисного сигналу завад з використанням алгоритмів фільтрування виміряних даних.

Для формування контексту виміряні дані повинні пройти первинну обробку, яка складається з таких етапів: на першому етапі здійснюється відокремлення корисного сигналу від шумової компоненти та його верифікація, тобто оцінка достовірності та виявлення аномальних даних, які проявляються різкою зміною значень; на другому етапі - прогнозування контекстних даних, що зменшує інерційність контуру керування; на третьому – регуляризація контекстних даних, після чого вони використовуються для формування сигналів керування мережею електроживлення.

Для фільтрації шумової компоненти часових рядів (ЧР) досліджені наступні методи [10]: 1) просте ковзаюче середнє; 2) подвійне просте ковзаюче середнє; 3) просте експоненційне згладжування; 4) подвійне експоненційне згладжування; 5) фільтр Калмана.

Для прогнозування членів ЧР без шумової компоненти в тестовому середовищі досліджені наступні методи [10]: метод лінійного передбачення, метод лінійної екстраполяції, метод поліноміальної екстраполяції, метод сплайн екстраполяції.

Параметри алгоритмів прогнозування наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри алгоритму прогнозування

Умовні позначення параметрів	Опис умовних позначень
t_{Π}	Часовий горизонт прогнозу
t_{\max}	Інтервал, який використовується для прогнозування
n	Кількість членів вибірки
t_k	Момент часу, який відповідає члену ЧР з номером k
n_{\min}	Мінімальна кількість членів вибірки
n_{\max}	Максимальна кількість членів вибірки

Прогнозування членів ЧР виконується за наступним алгоритмом:

- 1) отримання поточного часового ряду;
- 2) визначення параметрів t_{Π} , n ;

3) зчитування значення поточного члена ЧР $Y(t_k)$. Якщо $t_k = t_{max}$, то кінець роботи алгоритму.

4) якщо $t_k < t_{max}$, то для поточного члена ЧР в момент часу t_k знаходиться прогнозоване значення $X(t_k + t_{\Pi})$ на часовому горизонті прогнозу t_{Π} (розділ 1, формула (1.2)), яке запам'ятовується в динамічному списку прогнозованих членів ЧР на часовому інтервалі до t_{max} .

5) розрахунок і збереження в лінійному списку значення середньоквадратичного відхилення СКВ $Q(t_k)$ прогнозованого члена ЧР у порівнянні з вимірним (Розділ 1, формула (1.3)).

6) Якщо значення СКВ знаходиться за межами довірчого інтервалу ($Q(t_k) > Q_{дов}$), то виконується регуляризація вибірки n . Якщо в динамічному списку прогнозованих членів ЧР немає елемента з часом t_k , то виконується перехід на п.2.

Регуляризація контекстних даних в алгоритмі прогнозування членів ЧР

Під регуляризацією мається на увазі зміна кількості членів вибірки ЧР до значення, що забезпечує зменшення СКО $Q(t_k)$ до величини, при якій значення прогнозуємих членів ЧР входять в область довірчого інтервалу.

Регуляризація вибірки виконується за алгоритмом, блок-схема якого наведена на рис. 2. В процесі регуляризації необхідно виконати наступні дії:

1) задати початкові значення $n = n_{min}, n_{max} = \max$;

2) виявити, за критерієм Ірвіна [11] аномальні члени ряду, для яких СКВ їх прогнозних значень знаходиться за межами довірчого інтервалу ($Q(t_k) > Q_{дов}$):

$$\lambda(t_k) = \frac{\|Q(t_k) - Q(t_{k-1})\|}{|Q(t_k)|},$$

де $\lambda(t_k)$ – коефіцієнт Ірвіна, $Q(t_k), Q(t_{k-1})$ – СКВ членів ЧР в моменти часу t_k і t_{k-1} ;

3) порівняти розрахований коефіцієнт Ірвіна $\lambda(t_k)$ з табличним значенням $\lambda_{таб}$. Якщо значення коефіцієнту Ірвіна перевищує табличне значення, то зменшується кількість членів вибірки n і алгоритм повторюється з першого кроку. Якщо коефіцієнт Ірвіна є меншим за табличне значення, то прогнозні значення членів ЧР вважаються достовірними на інтервалі часу до t_{max} (табличні значення $\lambda_{таб}$ наведені в [11]).

4) Якщо $n < n_{min}$, то $n = n + 1$ і перехід на п. 2.

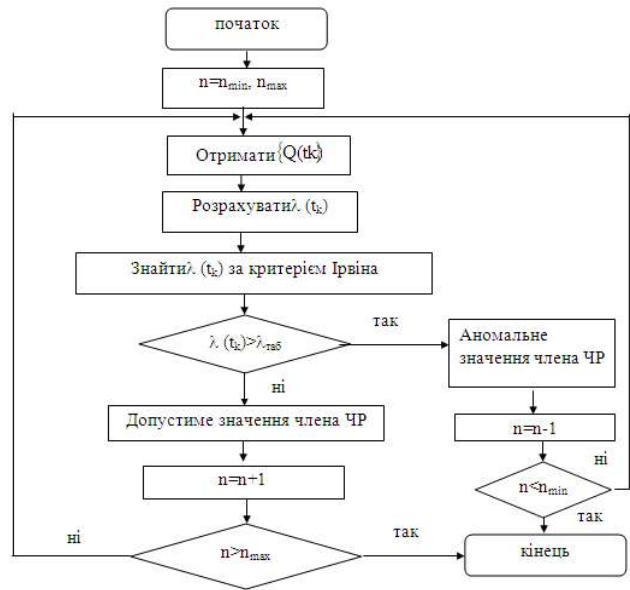


Рис. 2 – Алгоритм регуляризації вибірки контекстних даних

Обговорення результатів

На рис. 3 і 4, як приклад, наведені результати порівняння роботи методу сплайн екстраполяції (СЕ) із застосуванням алгоритму регуляризації вибірки та без нього.

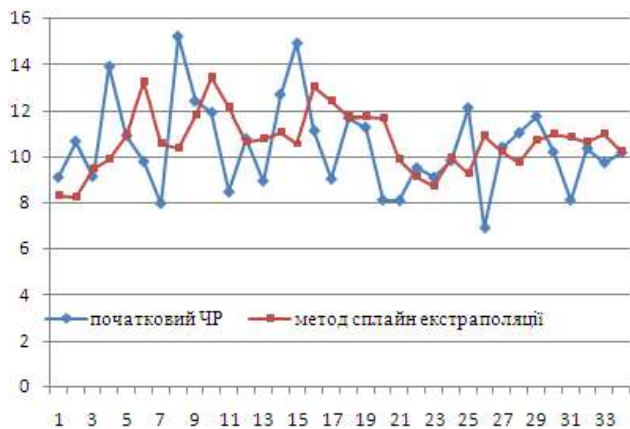


Рис. 3 – результати СЕ без використання регуляризації

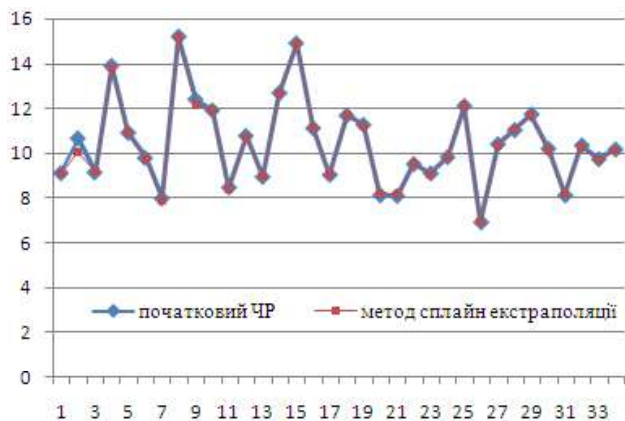


Рис. 4 – результати СЕ з використанням регуляризації

Висновки

Запропонований алгоритм регуляризації контекстних даних при прогнозуванні часових рядів дозволяє на заданому відрізку часу зменшити помилку прогнозування з 6-5% до 2-1,5%, що підтверджується моделюванням наведеного алгоритму.

Зменшення помилки прогнозування дозволяє покращити якість прийняття рішень з керування автономними системами електроживлення і підвищити енергоефективність SmartGrid.

Список літератури

1. **Kyrylenko, O. V.** Main Features of the Stability and Reliability Enhancement of Electricity GRID with DG in Ukraine Based on IEEE Standards / **O. V. Kyrylenko, R. Strzelecki, S. P. Denysiuk, D. G. Derevianko** // *Технічна електродинаміка*. – 2013. – № 6. – С. 52-57.
2. **Kirilenko, A. V.** Converters parameters in smart electricity system / **A. V. Kirilenko, U. I. Yakimenko, V. Ya. Zhuykov, S. P. Denesyuk** // *Tekhnicheskaiia elektrodinamika. Special Issue*. – Kiev. – 2010. – 17 p.
3. **Стогній, Б. С.** Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / **Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денісюк** // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – № 5. – С. 52-67.
4. **Pomerol, J. Ch.** About Some Relationships between Knowledge and Context / **J. Ch. Pomerol, P. Brezillon** // *Modeling and Using Context. Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag*. – Dundee, Scotland. – 2001. – P. 461 - 464. – doi:10.1007/3-540-44607-9_44.
5. **Kyselova, A.** Context data analysis for microgrid control system / **Kyselova A.** // *Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. – 2013. – № 58. – P. 46 - 50.
6. **Zhuikov, V.** Integration of context-aware control system in microgrid / **V. Zhuikov, A. Kyselova** // *Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE XXXIII International Scientific Conference*. – 2013. – P. 386-390. – doi:10.1109/ELNANO.2013.6552029.

7. **Zgurovsky, M. Z.** System analysis: problems, methodology, applications / **M. Z. Zgurovsky, N. D. Pankratova** // *NTUU "KPI"*. – Kyiv: *Naukova dymka*. – 2005. – 743 p.
8. **Verbitskyi, I. V.** Predictive control systems of switching converters / **I. V. Verbitskyi** // *Technical Electrodynamics*. – № 3. – 2012. – P. 123-124.
9. **Winograd, T.** Architectures for Context / **T. Winograd** // *Human-Computer Interaction*. – 2001. – Vol. 16. – P. 2-3.
10. **Boytsov, A.** Extending Context Spaces Theory by Predicting Run-Time Context / **S. Balandin, D. Moltchanov, and Y. Koucheryavy** // *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*. Eds., Springer Berlin. – Heidelberg. – 2009. – P. 8-21. – doi:10.1007/978-3-642-04190-7_2.
11. **Box, G.** Time Series Analysis: Forecasting and Control / **G. Box, G. Jenkins, G. Reinsel** // *Wiley*. – 2008. – 450 p.

Bibliography (transliterated)

1. **Kyrylenko, O. V., Strzelecki, R., Denysiuk, S. P., Derevianko, D. G.** Main Features of the Stability and Reliability Enhancement of Electricity GRID with DG in Ukraine Based on IEEE Standards. *Tekhnichna elektrodinamika [Technical electrodynamics]*, 2013, **6**, 52 - 57.
2. **Kirilenko, A. V., Yakimenko, U. I., Zhuykov, V. Ya., Denesyuk, S. P.** Converters parameters in smart electricity system. *Tekhnicheskaiia elektrodinamika. Special Issue*, Kiev, 2010, 17 p.
3. **Srogniy, B. C., Kirilenko, A. V., Prahovnik, A. V., Denesyuk, S. P.** The evolution of smart grids and their prospects in Ukraine. *Tekhnichna elektrodinamika [Technical electrodynamics]*. 2012, **5**, 52-67.
4. **Pomerol, J. Ch., Brezillon, P.** About Some Relationships between Knowledge and Context. *Modeling and Using Context, Dundee, Scotland, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag*, 2001, 461 - 464, doi:10.1007/3-540-44607-9_44.
5. **Kyselova, A.** Context data analysis for microgrid control system. *Visnik NTUU «KPI» Informatika, upravlinnya ta obchislyval'na tekhnika [Vestnik NTU "KPI" Informatics, Management and Computing]*, 2013, **58**, 46 - 50.
6. **Zhuikov, V., Kyselova, A.** Integration of context-aware control system in microgrid. *Electronics and Nanotechnology (ELNANO). IEEE XXXIII International Scientific Conference*, 2013, 386-390, doi:10.1109/ELNANO.2013.6552029.
7. **Zgurovsky, M. Z., Pankratova, N. D.** System analysis: problems, methodology, applications, *NTUU "KPI", Kyiv: Naukova dymka*, 2005, 743 p.
8. **Verbitskyi, I. V.** Predictive control systems of switching converters. *Technical Electrodynamics*, 2012, **3**, 123 - 124.
9. **Winograd, T.** Architectures for Context. *Human-Computer Interaction*, 2001, **16**, 2 - 3.
10. **Boytsov, A., Balandin, S., Moltchanov, D., Koucheryavy, Y.** Extending Context Spaces Theory by Predicting Run-Time Context. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking*, Eds., Springer Berlin, Heidelberg, 2009, 8 - 21, doi:10.1007/978-3-642-04190-7_2
11. **Box, G., Jenkins, G., Reinsel, G.** Time Series Analysis: Forecasting and Control. *Wiley*, 2008, 450 p.

Відомості про авторів (About authors)

Кисельова Анна Геннадіївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри системного проектування; м.Київ, Україна; e-mail: a.g.kyselova@gmail.com.

Anna Kyselova – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Assoc. Prof., National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 37, Prospect Peremohy, 03056, Kyiv-56, Ukraine; e-mail: a.g.kyselova@gmail.com.

Кисельов Геннадій Дмитрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри системного проектування; м.Київ, Україна; e-mail: kiselev_gd@bigmir.net.

Gennadiy Kyselov – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Ph. D., Assoc. Prof., National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 37, Prospect Peremohy, 03056, Kyiv-56, Ukraine; e-mail: kiselev_gd@bigmir.net.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кисельова, А. Г. Регуляризація контекстних даних при керуванні автономними системами електроживлення / **А. Г. Кисельова, Г. Д. Кисельов** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 125-130. doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18.

Please cite this article as:

Kyselova, A., Kyselov, G. Regularization of context data of autonomous power supply systems. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **12** (1184), 125-130, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Киселева, А. Г. Регуляризация контекстных данных при управлении автономными системами электропитания / **А. Г. Киселёва, Г. Д. Киселёв** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 125-130. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.18.

АННОТАЦИЯ Для улучшения качества принятия решения по управлению автономными системами электропитания, создан и протестирован алгоритм регуляризации контекстных данных, позволяющий уменьшить ошибку прогноза временных рядов $\pm (5-6) \%$ до $(1,5-2) \%$ для применения в информационном аспекте микрогрида, что позволит быстро и адекватно анализировать ситуацию в условиях изменяющейся, недостаточной и недостоверной информации.

Ключевые слова: регуляризация, контекст, временные ряды, система электропитания, ошибка прогноза

Поступила (received) 15.03.2016