

ВОЛОШКО АНАТОЛІЙ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-6867-2060>
e-mail: avolosko820@gmail.com

ДЖЕРЯ ТЕТЯНА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-9519-2951>
e-mail: tatyanakurus0202@gmail.com

МЕТОД ЛОКАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СЕГМЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

В роботі запропонована модель локального відновлення часових сегментів інформаційних сигналів та синтезований на її основі послідовний алгоритм дій. На основі аналізу функціональних залежностей вейвлет-коефіцієнтів за рівнями вейвлет-декомпозиції представлено модифіковану схему реконструкції та розроблено модель, на основі якої розроблено метод локального (сегментного) відновлення інформаційних сигналів за рівнями вейвлет-декомпозиції. детально синтезовано на прикладі графіка електричного навантаження.

Ключові слова: графік електричного навантаження, енергосистема, вейвлет-перетворення, локальне відновлення, вейвлет-декомпозиція.

VOLOSHKO ANATOLY, DZHERIA TETIANA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

METHOD OF LOCAL RESTORATION OF SEGMENTS OF INFORMATION SIGNALS

The use of centralized and decentralized electricity supply schemes, the introduction of feedback between the consumer of electricity and its producer led to a rapid increase in information flows at all stages of the functioning of the electricity industry of Ukraine, starting with the production of electricity and before its consumption. This necessitates the processing, storage and transmission of large data sets. On the other hand, the time constraints imposed on information processing and decision-making efficiency, as well as the limited bandwidth of communication networks require effective optimization of information flows in terms of their compression and compact storage, transmission and recovery without loss. At the same time, the determining quantitative and qualitative information parameters are electricity consumption modes and the quality of electric energy, and the main mode parameter for solving many problems of planning, management and carrying out commercial calculations is the graphs of electric load. Based on the analysis of the functional relationships of wavelet coefficients according to the levels of wavelet decomposition, the robot presents a modified reconstruction scheme and developed a model based on which a method of local (segmental) restoration of information signals according to the levels of wavelet detail is synthesized using the example of the electric load graph.

In the paper, a model of local recovery of time segments of information signals is proposed and a sequential algorithm of actions synthesized on its basis. This technique allows for effective segmentation of information signals, reduces the duration of mathematical processing, simplifies database analysis, increases the effectiveness of controlling the reliability of initial data recovery by reserving recovery paths with subsequent comparison of results.

Keywords: graph of electric load, power system, wavelet transformation, local recovery, wavelet decomposition.

Постановка проблеми

Для вирішення багатьох практичних задач (контроль проходження максимуму електроспоживання в Енергосистемі, планування режимів електроспоживання та інше) зазвичай немає необхідності проводити аналіз всієї сукупності часового ряду (у нашому випадку ГЕН) і «діставати» його із бази даних – для аналізу потрібна тільки деяка його локальна частина (сегмент).

Аналіз останніх джерел

Як відомо, звичайне вейвлет-перетворення за допомогою алгоритму Малла припускає відкидання частини високочастотної компоненти сигналу на кожному кроці вейвлет-декомпозиції. В [1] показано, що це може вносити досить суттєві похибки у випадку аналізу нестационарних часових рядів.

Особливе місце при обробці часових рядів загалом і прогнозуванні зокрема, займає вирішення проблеми обробки і відновлення пропущених значень. Частіше за все вона виникає у випадку ідентифікації залежностей, апріорна інформація про значення параметрів яких є неповною, що чинить значний вплив на результати прогнозування. Широке впровадження АСКОЕ, використання одержаних даних для цілей комерційного обліку, планування та управління електроспоживанням пред'являють високі вимоги до якості первинної інформації. Різного роду збої у працездатності АСКОЕ (вихід із ладу лічильників електричної енергії, збої в лініях зв'язку і т. ін.) призводять до виникнення пропусків даних. Питаннями відновлення пропусків даних займається широке коло спеціалістів.

Як відомо, на сьогоднішній день у математичній статистиці існує декілька шляхів вирішення проблеми неповних даних [2–4]:

-виключення некомплектних даних із вихідної вибірки; такий підхід не є цілком коректним – неповні дані містять нову інформацію, яка є необхідною для подальших досліджень, і тому потребують додаткового аналізу;

-застосування спеціально розроблених математичних методів аналізу неповних даних, таких як

метод зважування або метод максимальної правдоподібності, ЕМ – алгоритми; при цьому необхідно відмітити зростання складності подальшого аналізу [5, 6];

-відновлення пропусків даних (за середнім, використовуючи регресії і т. ін.); для більшості випадків такі підходи є ефективними [7].

Метою роботи є розробка методу локального відновлення сегментів інформаційних сигналів.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо побудову, так званого, вейвлет-перетворення Хаара із «дирками/отворами» (a trous). При цьому інформаційний сигнал, або часова серія $\{c_{0,t}\}$, визначається як скалярний добуток вхідного сигналу $f(x)$ і скейлінг-функції $\varphi(x)$, яка узгоджена із низькочастотним фільтром

$$c_{0,t} = \langle f(x), \varphi(x) \rangle. \quad (1)$$

Скейлінг-функція (функція масштабування) обирається так, щоб задовольнити рівнянню розширення

$$\frac{1}{2} \varphi\left(\frac{x}{2}\right) = \sum_k h(k) \varphi(x-k), \quad (2)$$

де $h(k)$ – дискретний фільтр низьких частот, пов'язаний із функцією масштабування. Це означає, що низькочастотна фільтрація інформаційного сигналу тісно пов'язана із іншим рівнем розкладання сигналу. Відстань між рівнями збільшується із коефіцієнтом 2 від одного масштабу до іншого. Згладжені дані $\{c_{j,t}\}$ рівня вейвлет-декомпозиції j і позиції k є скалярним добутком

$$c_{j,t} = \frac{1}{2^j} \left\langle f(x), \varphi\left(\frac{x-t}{2^j}\right) \right\rangle. \quad (3)$$

Отже в результаті згортки маємо

$$c_{j+1,t} = \sum_k h(k) c_{j,t+2^j k}. \quad (4)$$

Далі, застосовуючи в якості вейвлет-базису описуваний вейвлет Хаара, вираз (4) перевтілюється до виду

$$cA_{j+1,t} = \frac{1}{2} (cA_{j,t-2^j} + cA_{j,t}), \quad (5)$$

де $cA_{j+1,t}$ можемо назвати апроксимаційним коефіцієнтом, а різницю між двома послідовними розкладаннями

$$cD_{j+1,t} = cA_{j,t} - cA_{j+1,t}, \quad (6)$$

– деталізуючим коефіцієнтом, який також у свою чергу може бути вираженим та записаним через скалярний добуток

$$cD_{j,t} = \frac{1}{2^j} \left\langle f(x), \psi\left(\frac{x-t}{2^j}\right) \right\rangle. \quad (7)$$

При цьому вейвлет-функція визначається як

$$\frac{1}{2} \psi\left(\frac{x}{2}\right) = \varphi(x) - \frac{1}{2} \varphi\left(\frac{x}{2}\right). \quad (8)$$

У кінцевому випадку вихідний сигнал буде представлений у виді:

$$f(t) = cA_{j,t} + \sum_{j=1}^J cD_{j,t}. \quad (9)$$

Тобто вихідний сигнал буде розкладений у ортонормованому базисі (вейвлет Хаара – ортогональний) послідовністю апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів за рівнями вейвлет-декомпозиції. Проаналізуємо етап реконструкції ГЕН за допомогою вейвлет-коефіцієнтів (5) та (6). При цьому необхідно відмітити, що із (6) слідує: $cA_{j,t} = cA_{j+1,t} + cD_{j+1,t}$. Тобто, апроксимуючий коефіцієнт вищого рівня вейвлет-декомпозиції розраховується за допомогою апроксимуючого коефіцієнту нижчого рівня з урахуванням відповідного деталізуючого коефіцієнту. На рис. 1 графічно представлено структурну схему реконструкції (відновлення) вихідних даних.

На структурній схемі (рис. 1) схематично представлено вейвлет-реконструкцію значення функції $f(x)$ у проміжок часу $t = 15$ послідовно за рівнями вейвлет-декомпозиції

$$f(t_{15}) = cA_{5,0}(15) + cD_{5,1}(15) + cA_{4,0}(15) + cD_{4,1}(15) + \dots + cA_{1,0}(15) + cD_{1,1}(15).$$

Виходячи із аналізу функціональних зв'язків вейвлет-коефіцієнтів за рівнями вейвлет-декомпозиції,

модифікуємо схему реконструкції (рис. 1), розробимо модель і на її основі синтезуємо спосіб локального (посегментного) відновлення інформаційних сигналів за рівнями деталізації на прикладі графіка електричного навантаження.

Розроблювана модель описується наступним чином

$$\{P_{0,i}\}_{1 \leq i \leq N} = \{cA_{J,0}\}_{J=m} + \text{sum} \{cD_{j,i}(k)\}_{1 \leq k \leq 2^j-1, 1 \leq j \leq J}, \quad (10)$$

де i – поточне значення інформаційного сигналу, m – рівень вейвлет-декомпозиції (залежить від частоти дискретизації інформаційного сигналу і підпорядковується властивостям вейвлет-аналізу).

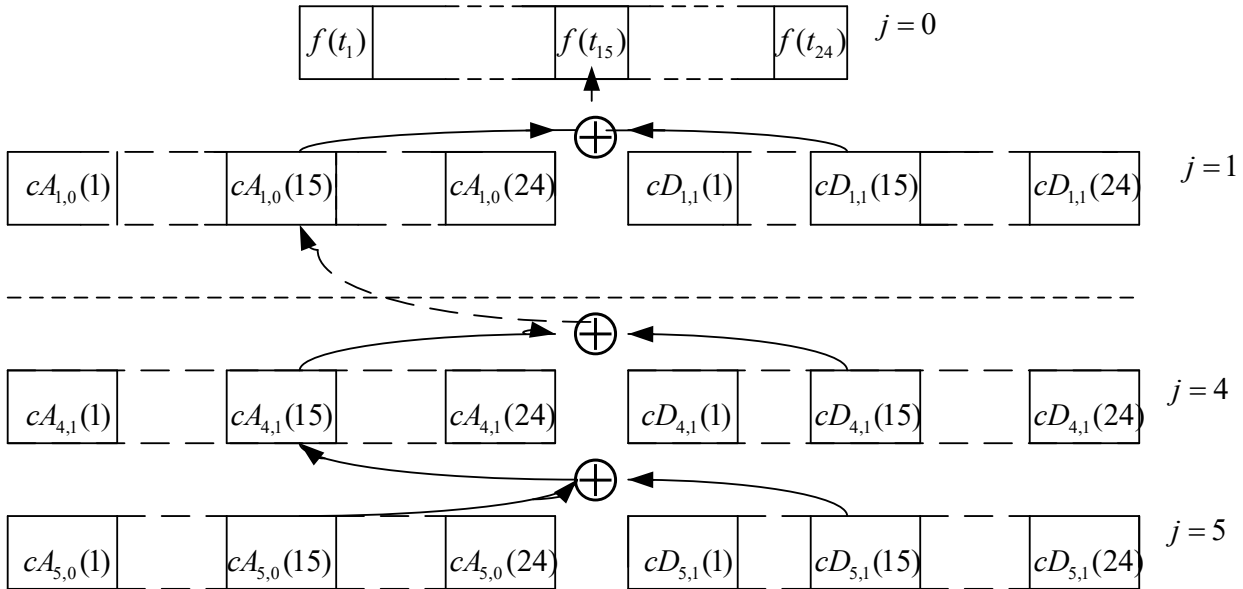


Рис. 1. Структурна схема вейвлет-реконструкції відповідно до (4.41) та (4.42)

Модель локального (посегментного) відновлення значень графіка електричного навантаження відповідно до (10) представлено на рис. 2.

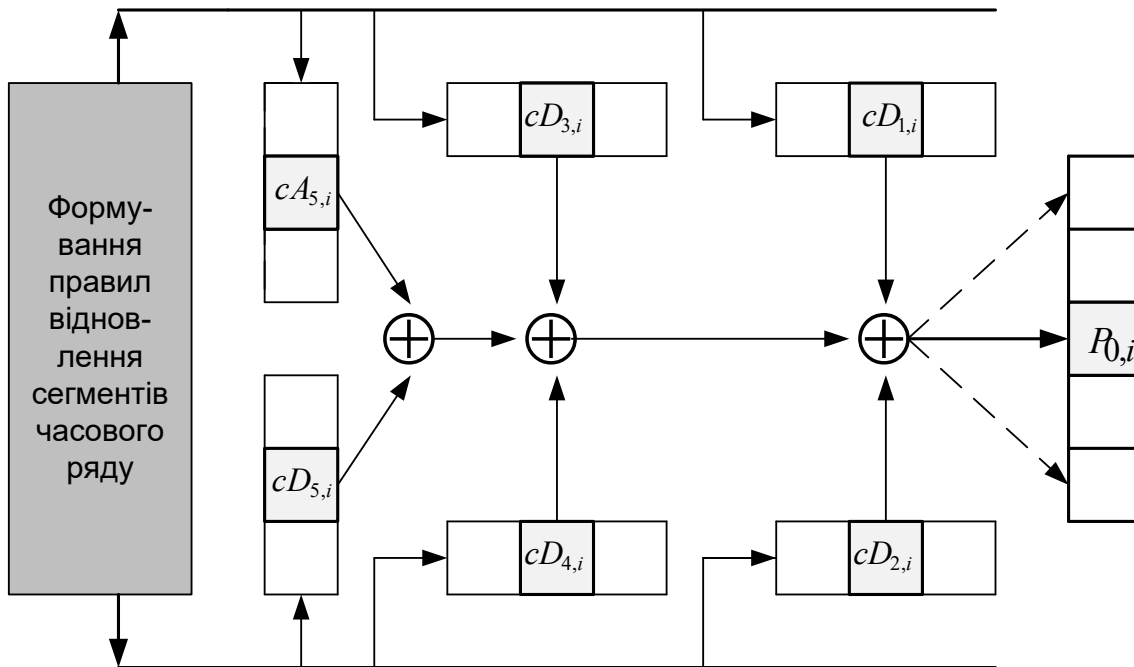


Рис. 2. Функціональна (структурно-логічна) модель посегментного відновлення значень інформаційного сигналу на основі аналізу функціональних зв'язків вейвлет-коефіцієнтів

Блок формування правил відновлення сегментів часового ряду формує послідовність та рівні відновлення, задає тривалість сегменту та шляхи перевірки результату відновлення. При цьому, шляхи перевірки правильності відновлення значень часового ряду формуються відповідно до структурної схеми

вейвлет-реконструкції на рис. 1.

Відповідно до (10) сформуємо модель посегментного відновлення значень інформаційного сигналу і опишемо її наступним чином

$$\{P_{0, \text{сегмент}}\}_{t_0}^{s \cdot \Delta t} = \left[\text{sum} \{P_{0, t_i}\}_{t_0 \leq t_i \leq (t_0 + s \cdot \Delta t)}^{1 \leq s \leq S} \right], \quad (11)$$

де t_0 – початкове (часове) значення відновлюваного сегменту, $s \cdot \Delta t$ – тривалість сегменту (для ГЕН $\Delta t = 3, 15, 30, 60$ (хвилини), S – межа сегменту).

Відповідно до розробленої моделі (рис. 2) та (11), представимо алгоритм відновлення значень часового ряду на прикладі графіка електричного навантаження (ГЕН). На рис. 3 показано відновлення значень електричного навантаження за восьмигодинні проміжки часу. Тобто, якщо необхідно проаналізувати середнє навантаження вночі – $\{P_{0, i}\}_{0 \leq i \leq 8}$, вдень – $\{P_{0, i}\}_{8 \leq i \leq 16}$ та ввечері – $\{P_{0, i}\}_{16 \leq i \leq 24}$ відновлюються тільки дані значення.

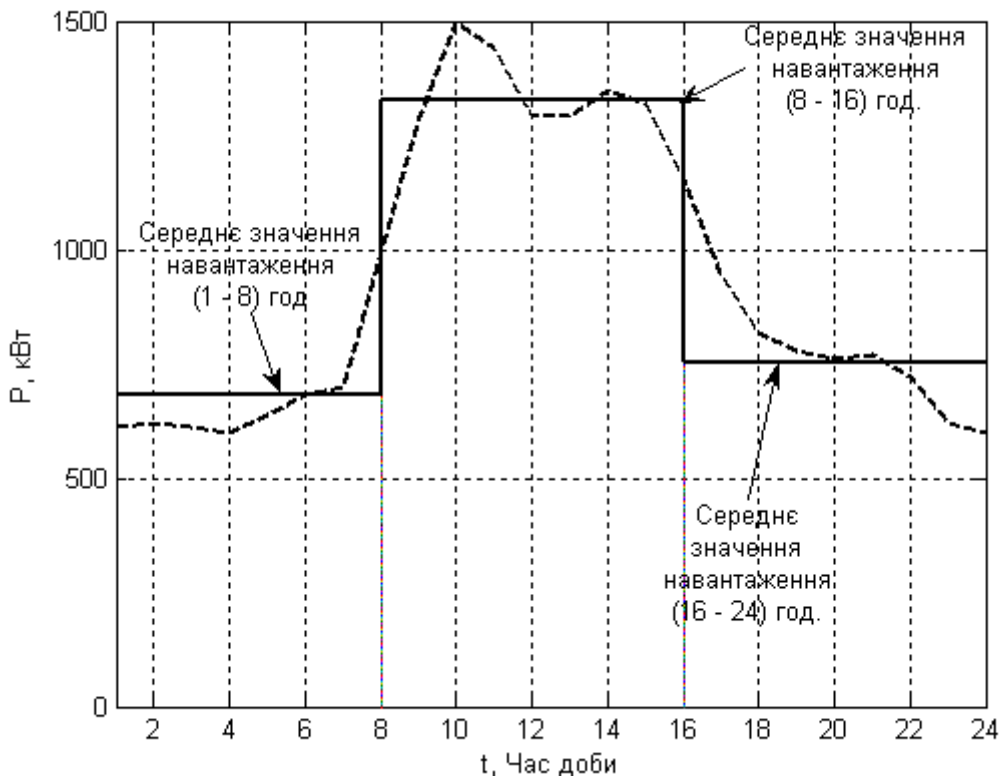


Рис. 3. Відновлення значень ГЕН (восьмигодинних сегментів)

Контроль проходження максимуму електроспоживання у ранкові $P_{\text{ранок}}^{\text{макс}}$ та вечірні $P_{\text{вечір}}^{\text{макс}}$ часи доби проводиться на основі результатів деталізованої сегментації у дані часи (від 8 до 11 годин – ранковий максимум, від 17 до 21 години – вечірній максимум). Дані години встановлюються Постановою НКРЕ України.

На рис. 4 представлено деталізацію сегменту ГЕН $\{P_{0, i}\}_{8 \leq i \leq 16}$ на сегменти $\{P_{0, i}\}_{8 \leq i \leq 12}$ та $\{P_{0, i}\}_{12 \leq i \leq 16}$. Для більш детального аналізу ГЕН сегмент $\{P_{0, i}\}_{12 \leq i \leq 16}$ у свою чергу деталізується на два сегменти $\{P_{0, i}\}_{12 \leq i \leq 14}$ та $\{P_{0, i}\}_{14 \leq i \leq 16}$ (рис. 4).

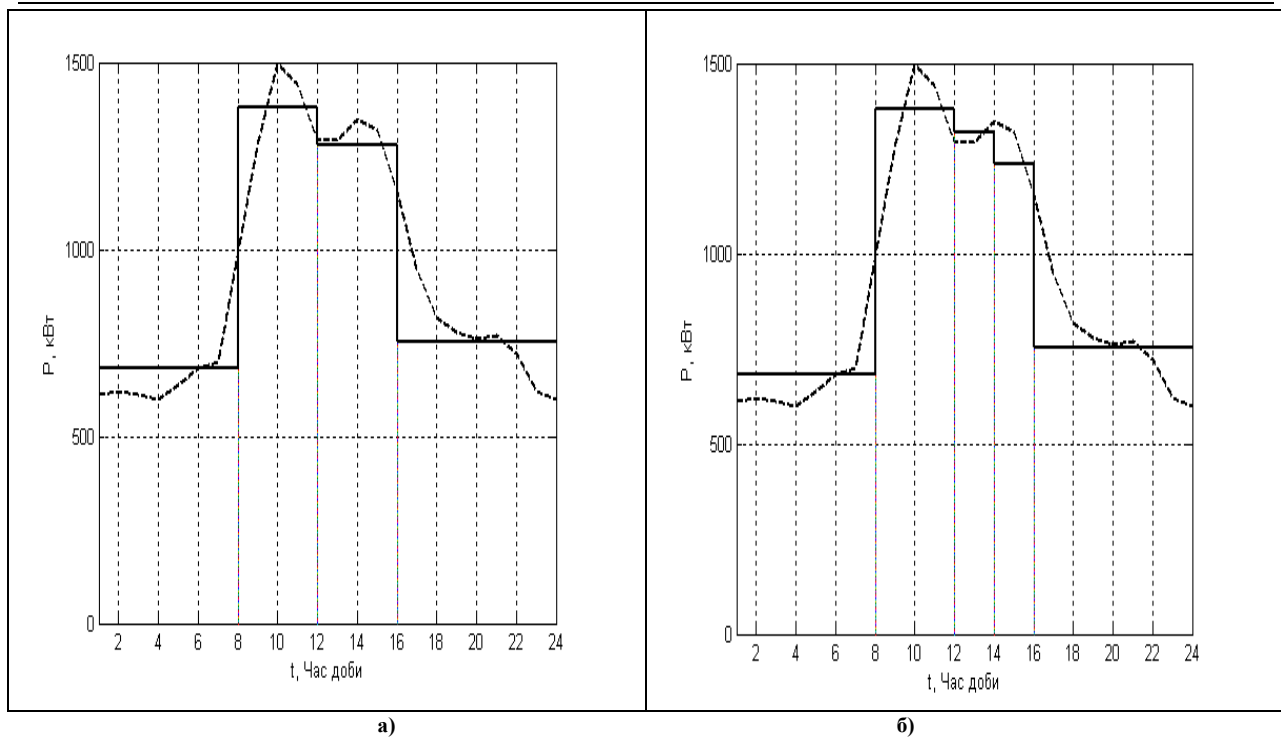


Рис. 4. Деталізація восьмигодинного сегменту ГЕН на два чотиригодинних – а) та чотиригодинного на два дводинних – б)

Відповідно до ГЕН, дана сегментація проводиться із використанням всього одного коефіцієнту апроксимації та деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів відповідних рівнів вейвлет-деталізації. Впродовж процесу отримання інформації можлива перевірка правильності посегментного відновлення за моделлю рис. 2 за (5) та (6) у відповідності з рис. 1.

Таким чином запропонована модель і синтезований на її основі алгоритм дозволяє ефективно сегментувати інформаційні сигнали, зменшує тривалість математичної обробки, спрощує аналіз баз даних, збільшує ефективність контролю достовірності відновлення початкових даних резервуванням шляхів відновлення з подальшим порівнянням результатів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблено модель та структурований алгоритм локального відновлення часових сегментів ГЕН на підставі вирішення цільової функції: вейвлет-коефіцієнти погодинна деталізація функціональна залежність вейвлет-коефіцієнтів послідовних рівнів декомпозиції, який дозволяє із використанням трьох вейвлет-коефіцієнтів п'ятого рівня декомпозиції (тобто 25 % від значень початкової вибірки ІС) із високою точністю (до 100 %) оцінити величину електроспоживання послідовно за кожні вісім годин без повного відновлення ГЕН за 24 години, а також визначити у процесі моніторингу електроенергетичної системи конкретний етап відхилення відновлених даних від реальних значень величини електроспоживання для внесення необхідних коректив у реальному масштабі часу. Застосування даної моделі дозволить проводити процес прогнозу комбінованим способом, що значно підвищить його надійність та точність.

Література

1. Арцишевский Я.Л., Цюнь Г. Исследование и разработка алгоритма сжатия аварийной информации для повышения быстродействия информационного обеспечения процесса управления в ЭЭС. Вестник МЭИ. 2009. № 1. С. 119–126.
2. Остапченко К.Б., Лисовиченко О.И. Выбор модели прогнозирования электропотребления при решении задачи оперативного суточного планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке. Адаптивные системы автоматического управления : міжвідомчий науково-технічний збірник. 2014. № 1(24). С. 17 – 21.
3. Волошко А.В. Восстановление пропусков данных об электропотреблении с помощью интерполяции. ПРОМЭЛЕКТРО. 2007. С. 18–21.
4. Злоба Е., Яцкив И. Статистические методы восстановления пропущенных данных. Computer Modelling & New Technologies, 2002, Volume 6, No. 1, P. 51–61.
5. Засядько А.А. Многокритериальная модель процесса восстановления сигналов. Электронное моделирование. 2004. т. 26. № 4. С. 13–11.
6. Верлань А.Ф., Горошко И.О., Гушель Т.П. Способ регуляризации с усечением спектра ядра интегрального оператора в задаче восстановления сигналов. Электронное моделирование. 2003. Т. 25. №3, С. 3–11.

7. Волошко А.В., Лутчин Т.М., Міщенко Д.К. Відновлення втрачених облікових даних. Вісник КрНУ ім. М. Остроградського. Вип. 2 (73). 2012. С. 40–44.

References

1. Arcishevskij Ja.L., Cjun' G. Issledovanie i razrabotka algoritma szhatija avarijnoj informacii dlja povyshenija bystrodejstvija informacionnogo obespechenija processa upravlenija v JeJeS. Vestnik MJeI. 2009. № 1. S. 119–126.
2. Ostapchenko K.B., Lisovichenko O.I. Vybor modeli prognozirovanija jelektropotreblenija pri reshenii zadachi operativnogo sutochnogo planirovanija postavok jelektroenergii na optovom rynke. Adaptivni sistemi avtomatichnogo upravlinnja : mizhvidomchij naukovotekhnichnij zbirnik. 2014. № 1(24). S. 17 – 21.
3. Voloshko A.V. Vosstanovlenie propuskov dannyh ob jelektropotreblenii s pomoshh'ju interpoljacii. PROMJeLEKTRO. 2007. S. 18–21.
4. Zloba E., Jackiv I. Statisticheskie metody vosstanovlenija propushhennyh dannyh. Computer Modelling & New Technologies, 2002, Volume 6, No. 1, P. 51–61.
5. Zasad'ko A.A. Mnogokriterial'naja model' processa vosstanovlenija signalov. Jelektronnoe modelirovanie. 2004. t. 26. № 4. S. 13–11.
6. Verlan' A.F., Goroshko I.O., Gushel' T.P. Sposob reguljarizacii s usecheniem spektra jadra integral'nogo operatora v zadache vosstanovlenija signalov. Jelektronnoe modelirovanie. 2003. T. 25. №3, S. 3–11.
7. Voloshko A.V., Lutchyn T.M., Mishchenko D.K. Vidnovlennia vtrachenykh oblikovykh danykh. Visnyk KrNU im. M. Ostrohradskoho. Vyp. 2 (73). 2012. С. 40–44.