

УДК 519.254

О. Назаревич

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИДІЛЕННЯ РІЧНОГО ТРЕНДУ ЯК АДТИВНОЇ СКЛАДОВОЇ ЧАСОВОГО РЯДУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ

Резюме. Обґрунтовано типову топологію формування процесу газоспоживання та метод попередньої обробки на прикладі часового ряду газоспоживання. Проведено аналіз отриманих результатів виділення річного тренду та квазігармонічних складових як адитивної складової часового ряду газоспоживання міста.

Ключові слова: газоспоживання, метод «Гусениця»-SSA, аналіз часових рядів, випадкові процеси, річний тренд, динаміка газоспоживання міста.

O. Nazarevych

EXTRACTING YEAR TREND AS ADDITIVE COMPONENTS OF TIME SERIES FOR GAZ CONSUMPTION

The summary. Grounded typical topology formation process of gas consumption and method of the previous statistical analysis time series of gas consumption. The analysis of the results of the annual allocation of trend and quasi-harmonic components as additive component time series of gas consumption of city.

Key words: gaz consumption, “Caterpillar”-SSA, time series analyses, random processes, year trend and quasi-harmonic components, dynamics of gas consumption.

Вступ. Ряд інформаційних процесів, а саме, процеси енергоспоживання: газо-, електро-, теплоспоживання та водопостачання формуються значною кількістю факторів, які належать до випадкових. Як правило, повною мірою не вдається зафіксувати або виміряти характеристики факторів, що впливають на процес газоспоживання міста. Тому інформаційний сигнал формується впливом факторів, які відносяться до випадкових. Виникає завдання дослідити характеристики інформаційних сигналів, яке полягає у тому, що без попередньої обробки реальних даних часового ряду виникають труднощі у створенні математичної моделі такого сигналу, який в загальному випадку (на інтервалі більше року) є нестационарним випадковим процесом. На даному етапі для розв’язання цієї задачі використовують ряд методів для попередньої обробки даних часового ряду з метою зменшення апріорної невизначеності. Використовуючи методи аналізу часових рядів, наприклад «Гусениця»-SSA [1] та адаптивний метод Empirical Mode Decomposition (EMD) побудований на перетворенні Гільберта-Хуанга (Hilbert-Huang Transform) [2] проводимо попередню обробку часового ряду з метою отримати адитивні складові простішого вигляду. Це дасть змогу підбирати для окремих складових вже відомі математичні моделі. У даній статті зупинимося на використанні методу «Гусениця»-SSA для аналізу річного часового ряду газоспоживання міста, а саме, виділення річного тренду та сезонних квазігармонічних складових. Це надалі слугуватиме аналітичним матеріалом для уточнення математичної моделі окремих адитивних складових, що, в свою чергу, дасть можливість будувати оперативний та довготривалий прогноз газоспоживання міста.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв’язку із впливом широкого кола випадкових факторів процес газоспоживання належить до нестационарних випадкових процесів, математичну модель на річному інтервалі в явному вигляді не отримано. Більшість опублікованих робіт, де висвітлено тему газоспоживання, використовують

спрощені стаціонарні або квазістаціонарні моделі, а також періодично корельований випадковий процес чи періодичний випадковий процес [3–8]. Їх використання можливо на коротких стаціонарних ділянках часового ряду газоспоживання.

Постановка задачі. Для заданого часового ряду дослідження фізичного процесу, який розглядається як реалізація випадкового процесу, отриманого шляхом вимірювань реального процесу газоспоживання витратомірним комплексом «Флоутек». Ставимо задачу провести попередню обробку часового ряду з метою зменшення апіорної невизначеності впливу багатьох факторів для подальшої побудови математичної моделі окремих адитивних компонент. Для розв'язання цієї задачі необхідно обґрунтувати той чи інший метод попередньої обробки.

Пропонуємо таке розв'язання за допомогою методу «Гусениця»-SSA. Для цього необхідно зареєструвати або виміряти часовий ряд досліджуваного фізичного процесу, визначити адитивні компоненти цього часового ряду, для яких можна отримати математичні моделі. Такий метод має просту ідейну методологію, який має аналогію з відомим методом розкладу сигналів в ортогональні ряди. Операції методу «Гусениця»-SSA дають можливість виявити адитивні компоненти розкладу складного часового ряду на компоненти, наприклад: тренду, періодичних компонентів і стохастичної компоненти як залишок, отриманий у результаті вилучення із первинного складного часового ряду тренду і періодичних компонентів. Таким чином, маємо комбінацію детермінованих компонент і реалізації випадкового процесу як залишків часового ряду, тим самим використання методу «Гусениця»-SSA формує часові ряди у вигляді адитивних компонент, для яких необхідно побудувати математичні моделі. Від дослідника, який використовує даний метод, необхідно мати певний досвід, для того щоб вибрати параметр L (довжину «Гусениці»).

Використання методу, по суті, є оберненою задачею: на основі аналізу часового ряду необхідно створити математичні моделі цього, оскільки вони апіорно не задаються.

Необхідно виділити позитивні сторони даного методу, а також його обмеження у використанні. А саме, цей метод дозволяє розбивати складний динамічний часовий ряд на трендові складові, різного виду коливні (сезонні) та періодичні компоненти і шумову складову [1].

Необхідно, щоб дослідник мав апіорні відомості про досліджуваний процес, його характерні властивості в загальному плані, а метод «Гусениця»-SSA дає можливість розкласти на адитивні складові часовий ряд і в подальшому побудувати для окремих складових ту чи іншу модель [5–9].

Розв'язання задачі. Виділимо наступні етапи розв'язання поставленої задачі:

- обґрунтуємо типову топологію формування процесу газоспоживання;
- обґрунтуємо вибір методу попередньої статистичної обробки;
- для заданого конкретного часового ряду газоспоживання проведемо попередню статистичну обробку й отримаємо результати цієї обробки у вигляді річного тренду, квазігармонічних компонент і залишку;
- проаналізуємо отримані результати;
- зробимо висновок про можливість застосування даного методу для аналізу часових рядів газоспоживання міста.

Перейдемо до опису етапів виконання поставленої задачі.

1.1. Загальна схема газоспоживання зображена на рисунку 1, де споживачами газу є житлові та промислові будинки та газові котельні центральної опалювальної системи. У цьому випадку такими факторами є основні споживачі газу: побутові газові прилади

та індивідуальне опалення в будинках населення (житлові будинки), промислове газове обладнання (промислові будинки), а в опалювальний період – споживання газових котелень центрального опалення.

Другий фактор (центральне опалення міста) має сильний кореляційний зв'язок із метеофакторами, найбільшим з котрих є температура зовнішнього середовища міста. Також необхідно враховувати коливання ціни на газ, певні кризові явища в газоспоживанні країни та загальні річні тенденції державної політики економії природних ресурсів. Усі ці фактори називатимемо *топологією функціонування споживачів*. Окрім того, добове обертання Землі буде спричиняти певну повторюваність щодоби, а вплив екзогенних факторів формувати річний тренд. Тенденція ж підвищення ціни на газ формуватиме монотонно спадний тренд газоспоживання.



Рисунок 1. Загальна схема газоспоживання міста

На сьогодні розроблено ряд математичних моделей газоспоживання з використанням статистичних підходів. Найвідоміші теорії, на яких побудовані дані моделі: лінійний випадковий процес, лінійний та умовний лінійний періодичний та періодично корельований випадковий процеси [1–4]. Дані моделі добре зарекомендували себе для аналізу часових рядів енергоспоживання в цілому, але при аналізі обмеженого інтервалу спостереження, наприклад, на інтервалі 1–3 місяці за літній період, коли не має сильного впливу екзогенних факторів. Актуальним залишається питання аналізу статистики газоспоживання за період у кілька років.

1.2. Для кількісного оцінювання характеристик даного випадкового процесу запропоновано використати метод «Гусениця», який відомий в іноземній літературі як сингулярно-спектральний аналіз (SSA). Надалі будемо вживати назву методу «Гусениця»-SSA. Це – сучасний метод аналізу та прогнозу часових рядів, що швидко розвивається, і дозволяє працювати з широким спектром нестационарних випадкових процесів, аналізувати та прогнозувати як трендові, так і циклічні (сезонні) компоненти.

Можливе використання даного методу в задачах інтерполювання (“відновлення”) частини втрачених даних статистики [1].

Також зауважимо, що метод «Гусениця»-SSA є “безмодельним” і регулюється лише одним параметром L – довжиною “гусениці”. У результаті використання методу відбувається розкладання реалізації сигналу (часового ряду) на адитивні складові: річний тренд, квазігармонійні коливання (у загальному 8, 12, 24, 168 год) та стохастичний залишок. До недоліків можна віднести інтерактивність методу, що потребує втручання фахівця з досвідом роботи даним методом на етапі групування окремих адитивних складових, а також неоднозначність вибору параметра L (довжини «гусениці»). В роботі застосуємо даний метод для аналізу часових рядів газоспоживання, особливо він ефективний при виділенні річного тренду.

Нашим завданням є виділення адитивних складових часового ряду газоспоживання, а саме трендової та квазігармонічних складових. Розглянемо статистику погодинного споживання газу для міста впродовж одного року $N=8784$ год (366 днів, 2008 рік).

Для подальшого аналізу пропонується адитивна модель газоспоживання

$$v(\omega, t) = A_0(t) + \sum_T B_T(t) + \xi(\omega, t), \quad (1)$$

де $A_0(t)$ – складова, що характеризує сезонність і має сильну кореляцію з метеофакторами (температура зовнішнього середовища); $\sum_T B_T(t)$ – сума квазігармонічних коливань, спричинених добовим обертанням Землі, де індекс $T=8, 12, 24, 168$ год; $\xi(\omega, t)$ – залишок, стохастична складова часового ряду газоспоживання як результат, що відображає вплив великої кількості факторів, в реалізації будемо позначати як $X(t)$.

1.3. На рисунку 2 зображено графік газоспоживання міста з визначеним методом «Гусениця»-SSA сезонним трендом $A_0(t)$ у розрізі одного року.

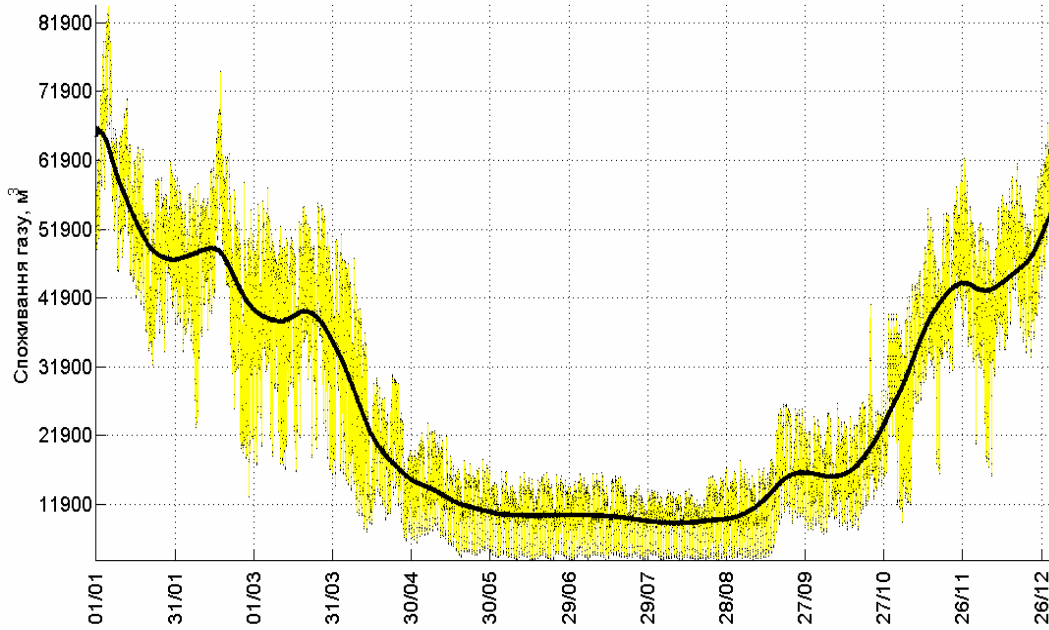


Рисунок 2. Графік газоспоживання та виділена сезонна складова $A_0(t)$

Наступним етапом є виявлення квазігармонічних складових $\sum_T B_T(t)$, спричинених впливом екзогенних факторів та характерною поведінкою споживачів газу. Для цього проведемо сингулярний розклад часового ряду методом «Гусениця»-SSA на головні компоненти і дослідимо за допомогою періодограми, які періоди є визначальними у нашому випадку. Після виділення характерних періодів: 12, 24, 8 год проводимо групування головних компонент. Результати розкладу та групування на складові зображено на рисунку 3.

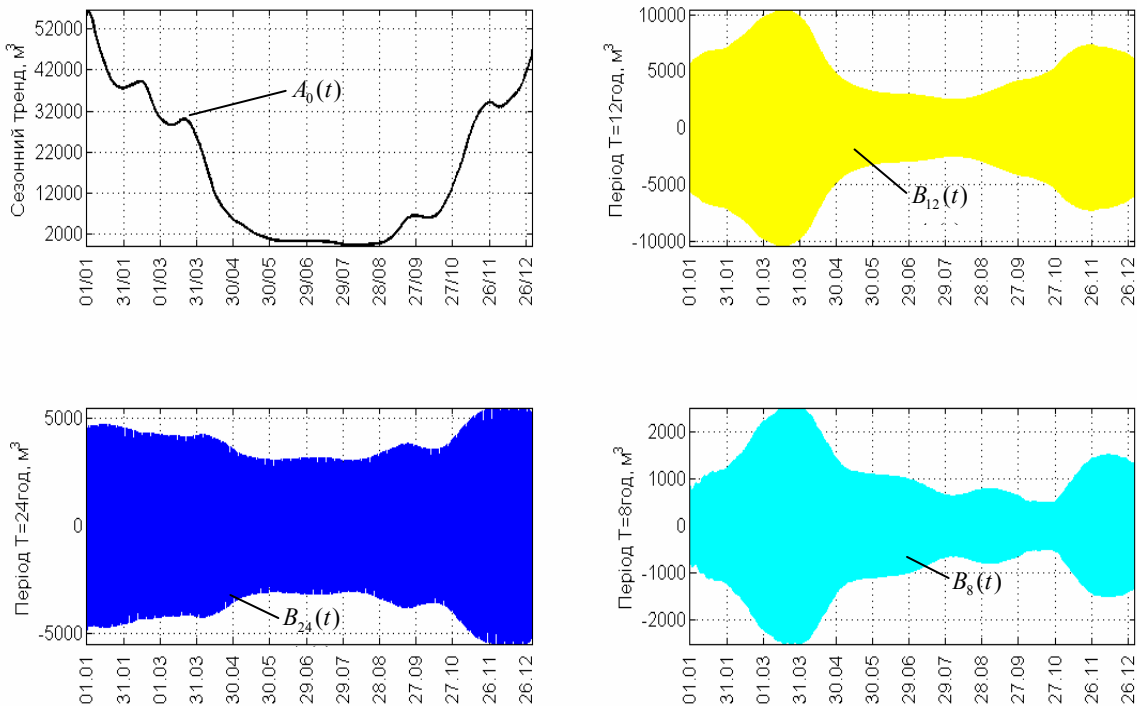


Рисунок 3. Складові річного тренду газоспоживання $A_0(t)$, $B_{12}(t)$, $B_{24}(t)$, $B_8(t)$

Компоненти 1,2 відображають річний тренд $A_0(t)$. Сума компонент 3 та 4; 5 та 6; 11 і 12 – відповідно $B_{12}(t)$, $B_{24}(t)$, $B_8(t)$ квазігармонічну складову з періодами 12, 24 та 8 год. Тижневий період (168 год) чітко виявити не вдалося, він увійшов до складу залишку – $X(t)$. Залишок зображено на рисунку 4.

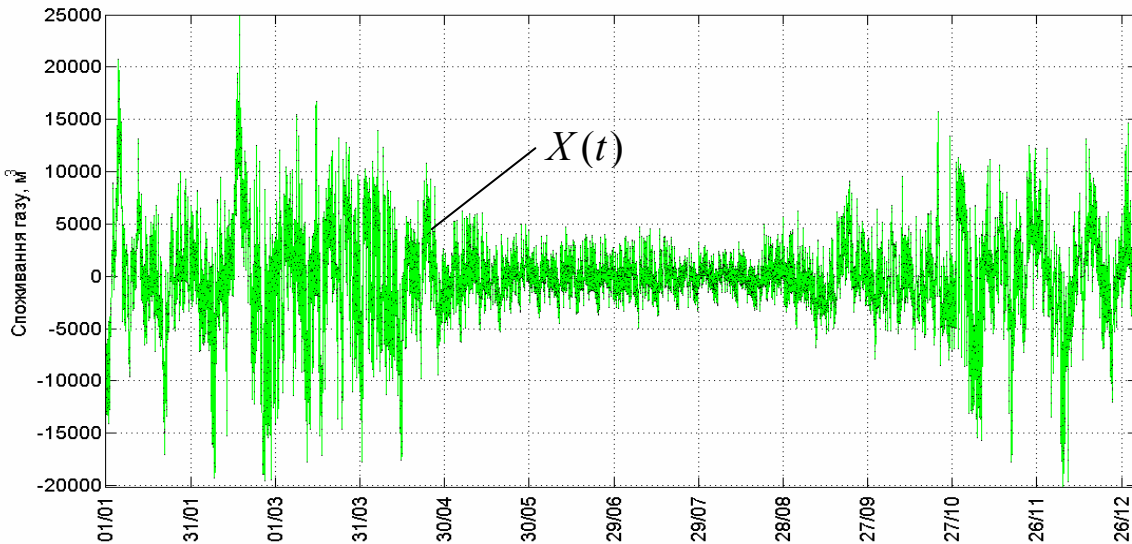


Рисунок 4. Стохастична складова (залишок) $X(t)$ після виділення річного тренду

Для наочного візуального оцінювання побудуємо суміщені графіки квазігармонічних компонент $B_{12}(t)$, $B_{24}(t)$, $B_8(t)$, що відображають циклічні коливання з періодом 12, 24, 8 год відповідно, що зображено на рисунку 5.

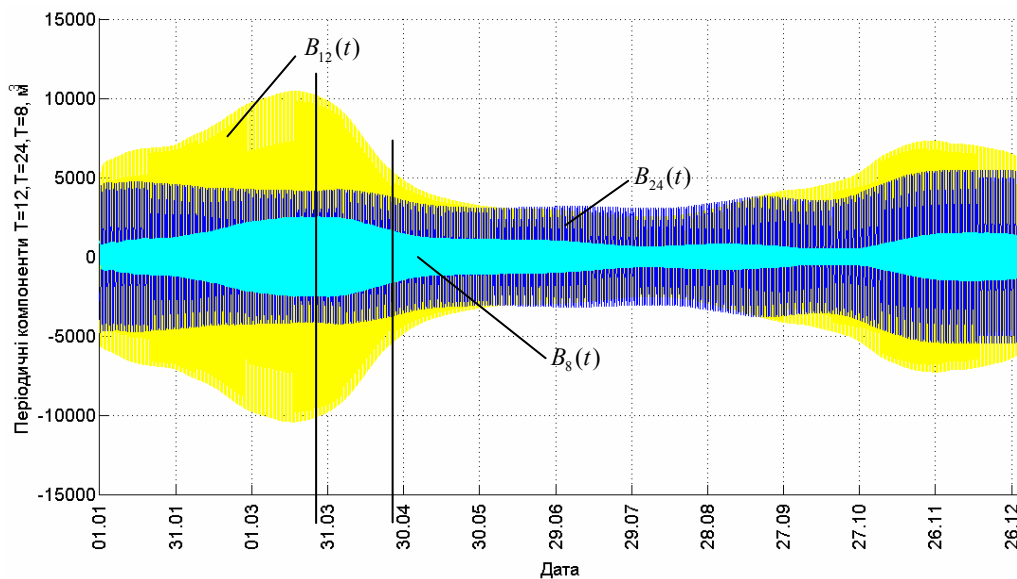


Рисунок 5. Вклад квазігармонічних компонент $B_{12}(t)$, $B_{24}(t)$, $B_8(t)$ у процес газоспоживання

Щоб оцінити вклад та побачити динаміку зміни адитивних компонент річного тренду, побудовано графік у розрізі 5-ти тижнів (меншому масштабі) для весняного періоду (рисунок 6).

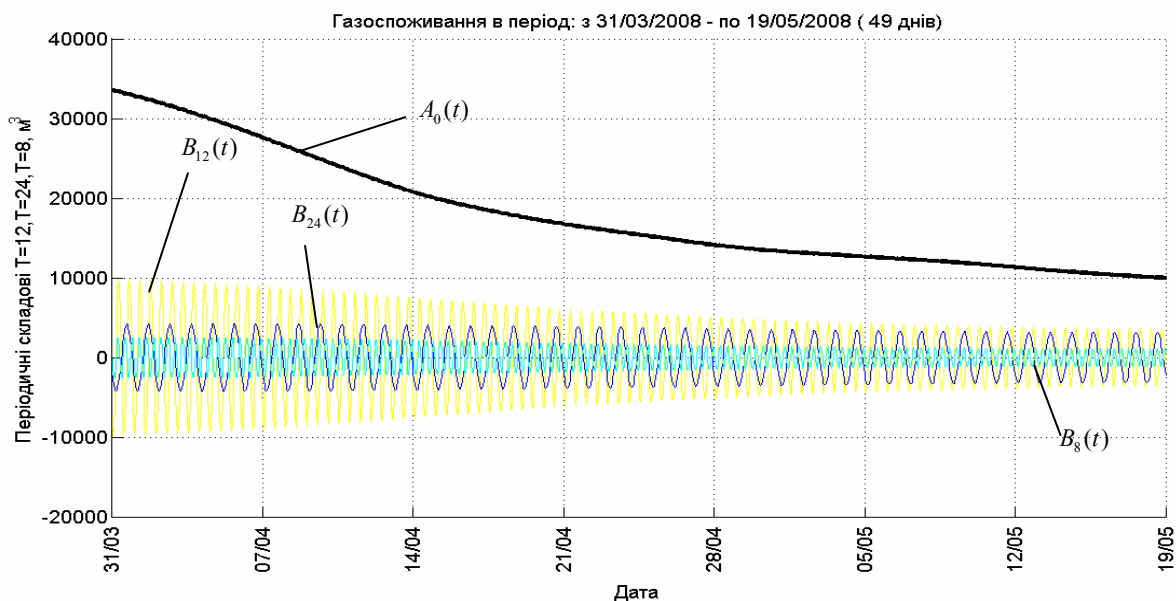


Рисунок 6. Динаміка зміни адитивних компонент $A_0(t)$, $B_{12}(t)$, $B_{24}(t)$, $B_8(t)$ за 5 тижнів у весняний період

1.4. Можемо зробити узагальнення та запропонувати адитивну математичну модель у вигляді загального та часткового випадків: модель 1 та модель 2. На рисунках 7 та 8 наочно продемонстровано дані моделі та відображено адитивні складові на прикладі газоспоживання в розрізі одного тижня. Причому модель 1 є частковим випадком більш загальної моделі 2.

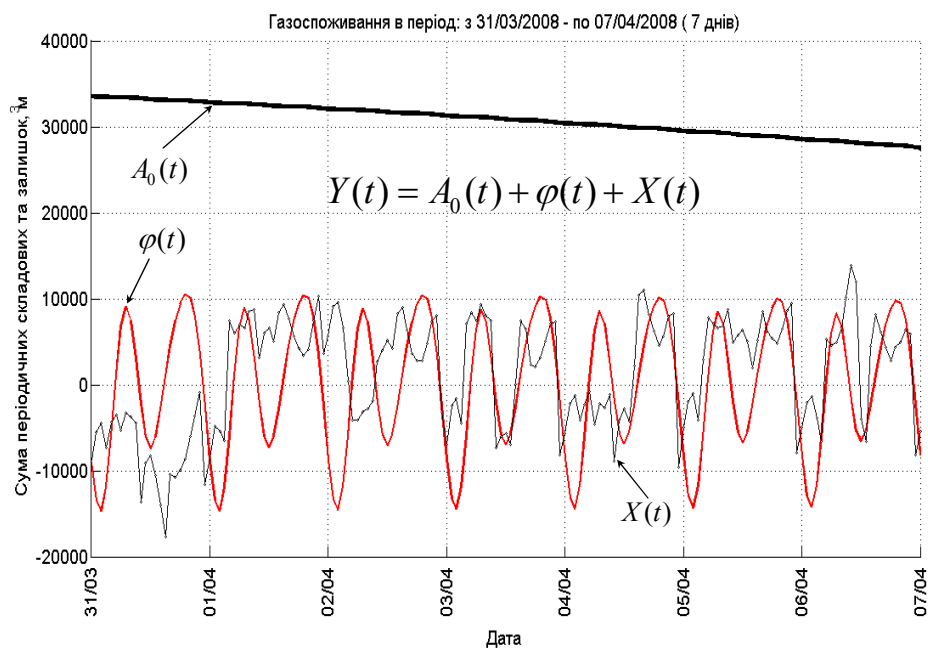


Рисунок 7. Модель 1, квазігармонічна складова $\varphi(t)$ є просумованою

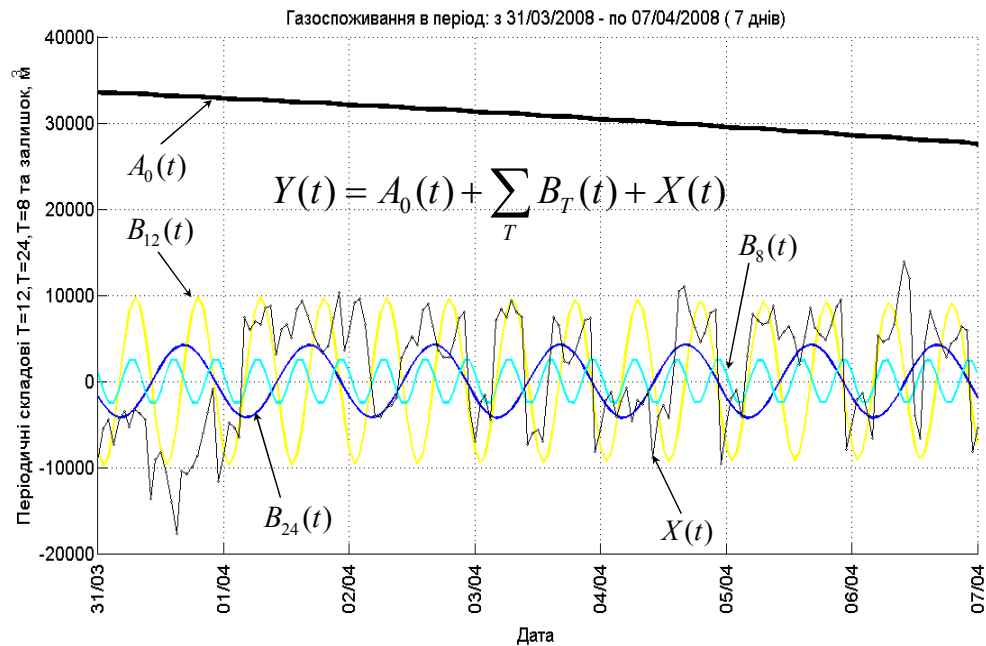


Рисунок 8. Модель 2, періоди 12, 24, 8 годин виділено як суму $\sum_T B_T(t)$

Із початком опалювального сезону і зміною топології споживачів газу, введення в дію центрального опалення чітко спостерігаємо появу сезонного тренду газоспоживання, що обернено пропорційно температурі зовнішнього середовища в місті.

Висновки. Проведено аналіз газоспоживання на статистиці 1 рік з кроком 1 година для газоспоживання міста методом «Гусениця»-SSA. Виявлено та обґрунтовано «розбиття» сигналу на річний тренд, квазігармонічні складові та стохастичний залишок.

Після такого адитивного розбиття можна стверджувати, що виділений тренд описує динаміку газоспоживання залежно від пори року і метеофакторів, квазігармонічні складові, пов'язані з добовою ритмічністю та характером функціонування споживачів газу. Також у залишок виділені інші флуктуації газоспоживання в межах кожної доби, що потребують додаткового дослідження.

Література

1. Golyandina, N.E. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / Golyandina N.E., Nekrutkin V.V., and Zhigljavsky A.A. – Boca Raton: Chapman&Hall/CRC, 2000. – 305 p.
2. Huang, N.E. Hilbert–Huang transform and Its Applications / Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. – Singapore: World Scientific Publishing, 2005. – 311 p.
3. Марченко, Б.Г. Аналіз навантажень енергосистем на основі моделі їх стохастичної періодичності [Текст] / Б.Г. Марченко, М.В. Мислович, М.В. Приймак // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 4. – С. 61–65.
4. Приймак, М.В. Моделі газонавантажень з урахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу [Текст] / М.В. Приймак, О.В. Мацюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал. – 2003. – № 2(7).
5. Мулик, Н.В. Математична модель та метод прогнозу газоспоживання з урахуванням циклічності: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 01.05.02 «Математичне моделювання та обчислювальні методи» [Текст] / Н.В. Мулик. – Тернопіль, 2006. – 19 с.
6. Приймак, М.В. Дослідження особливостей енергоспоживання в умовах ритміки методом гістограмного аналізу [Текст] / М.В. Приймак, О.В. Мацюк, О.Б. Назаревич та ін. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – № 2. – С. 182–185.
7. Тищик, С.М. Підвищення ефективності розподілу природного газу в умовах обмежених постачань: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.03 «Вентиляція, освітлення та теплогазоспоживання» [Текст] / С.М. Тищик. – Макіївка, 2003. – 17 с.

8. Тевяшева, О.А. Оперативне планування режимів роботи автоматизованої газотранспортної системи в умовах невизначеності газоспоживання: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.07 "Автоматизація технологічних процесів" [Текст] / О.А. Тевяшева. –Харків, 2004. — 20 с.
9. Байков, П.Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья [Текст] / Байков П.Р., Смородов Е.А., Ахмадуллин К.Р. – М.: ООО "Недра-Бизнес центр", 2003. – 275 с.

Отримано 25.08.2011