

Сізова Н.Д.¹, Костарєв Д.Б.²

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків 61002, Україна, e-mail: sizova@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0103-1939>)

²ТОВ «Флексис»,
(вул. Клочківська, 111а, м. Харків 61145, Україна, e-mail: dmytro.kostaryev@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0002-9928-8571>)

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ У ВИКОРИСТАННІ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА

Розглядаються питання створення і функціонування інформаційної системи моніторингу «Екофлекс», яка призначена для збору, аналізу, прогнозування та інформування про відхилення витрат енергоресурсів, контролю вологості, температури, виробничих параметрів та мотогодин напрацювання обладнання у промисловості. Приведено опис архітектури системи і її базову програмну реалізацію. В рамках реалізації системи розроблено загальну цифрову мережу для централізованого збору і обробки інформації. Дані користувач отримує за допомогою хмарного веб інтерфейсу та/або мобільного додатку.

Система має в своєму складі модуль прогнозування витрат енергоресурсів, що враховує декілька зовнішніх факторів (екзогенні змінні) і структурну специфіку виробництва продукції. Програмна реалізація цього модулю базується на математичній моделі, що наведена в даній статті. В статті також наведено приклад прогнозування витрат газу на одному з підприємств, яке підключено до системи «Екофлекс» і на якому проводиться автоматизований збір початкових даних за допомогою програмно-апаратного комплексу. Чисельні результати моделювання процесу витрати одержані на основі моделей Холта, Брауна, аддитивної, авторегресії, регресійної, приведено порівняння одержаних результатів з результатами проведених раніше вимірів. Система «Екофлекс» з даним модулем прогнозування може бути використана на багатьох підприємствах для оцінки й прогнозування витрат енергоресурсів, і, як наслідок, стає одним з важливих інструментів у комплексі енергоефективності підприємства.

Ключові слова: інформаційна система, прогнозування, моделювання, збір і обробка даних, програмно-апаратний комплекс.

Вступ. Питання економії енергетичних ресурсів стояли перед суспільством за всіх часів. З підвищенням рівня розвитку цивілізації ця актуальна проблема усе більше загострюється, що може переростаючи в кризу всієї економіки.

Відмінна риса сучасної економіки – її надзвичайно висока енергоємність. Економія енергії сьогодні розглядається багатьма розвиненими країнами як найважливіша національна екологічна й економічна проблема. У середньому у нас на виробництво одиниці продукції витрачається в декілька разів більше енергії, ніж у країнах Європи. Наприклад, наприкінці двадцятого сторіччя витрати енергоресурсів на будівництво й експлуатацію будинків і споруджень (без обліку виробничих витрат) досягали 40-60% від загальних енерговитрат. і донині рівень споживання енергії в будівельному секторі як і раніше досить високий.

Енергоресурси, які необхідні для випуску продукції, є важною складовою її собівартості. Створення керованого і контрольованого ринку енергоресурсів, необхідність значного зменшення долі енергетичних затрат потребують ретельного контролю і моніторингу спожитих енергоресурсів. Вирішення цієї задачі можливо створення автоматизованої системи контролю і моніторингу енергетичних ресурсів. Створення інформаційної платформи дозволить

– створити прозору систему обліку енергоресурсів, розрахунок балансів для промислових об'єктів і видам енергоресурсів;

– підвищити ефективність використання енергоресурсів, знизити затрати на споживання, оптимізувати розподіл енергоресурсів;

- підвищити точність планування споживання енергетичних ресурсів на основі результатів аналізу інформації про фактичні норми споживання за попередні періоди;
- створити платформу для реалізації задач довгострокового і перспективного прогнозування споживання енергоресурсів.

Тому актуальними постають питання планування і прогнозування енерговитрат на підприємствах, в тому числі у будівельній галузі. Правильність результатів прогнозування енерговитрат значно впливає на показник роботи всього підприємства, на вибір параметрів і розрахунків сталої роботи, дозволяє знизити і оптимізувати енерговитрати. Крім того, жорсткі вимоги до об'ємів енергоресурсів впливають на фінансове планування підприємства.

Проблема прогнозування енерговитрат полягає в тому, що необхідно враховувати велику кількість факторів, які впливають на енергоспоживання.

На даний час існує багато досліджень і створена велика кількість моделей для прогнозування процесів зменшення енерговитрат, моделі ускладнюються і удосконалюються, враховуються все більше вхідних факторів, використовуються нові методи і підходи, розробляються нові алгоритми [1–3].

Головна вимога до методик прогнозування енергоносіїв полягає у розрахунках об'ємів споживання в різні інтервали часу. І, якщо раніше можна було використовувати методи лінійної регресії, то зараз стоїть задача врахування нелінійних явищ і впливів зовнішніх факторів, тобто мова йде про нові і обґрунтовані методи дослідження процесу енергозбереження.

Таким чином, актуальною задачею, яка має велике практичне значення, є розробка моделі прогнозування споживання енергоносіїв на основі вивчення їх системних властивостей і зв'язків і розробка моделей обробки даних.

Ефективність функціонування промислового підприємства прямо залежить від наявних у нього ресурсів, насамперед, енергоносіїв – газу, води, електроенергії, хімічних речовин і ін. Перехід до ринків енергоресурсів і залежність результуючої вартості енергоресурсів не тільки від об'ємів їхнього споживання, але й від різниці між заявленими (планованими/ прогнозованими) і фактичними об'ємами їхнього споживання на визначеному інтервалі часу привели до того, що задача моніторингу (контролю, обліку, аналізу й прогнозування) витрат енергоресурсів підприємства стає надзвичайно актуальною.

Системний розв'язок цієї проблеми шляхом створення інформаційно-аналітичної системи моніторингу енергоресурсів підприємства (ІАСМЕП) дозволяє не тільки скорочувати прямі витрати на енергоресурси, але й контролювати такі параметри як працездатність устаткування, його амортизаційні характеристики, частоту його відновлення й модернізації, екологічні й гігієнічні показники, якість продукції й ін.

Мета роботи – створення інформаційно – аналітичної системи моніторингу енергоресурсів підприємства (ІАСМЕП) яка здатна збирати, зберігати та аналізувати дані про споживання енергоресурсів та робити прогнозування на наступні періоди.

Для досягнення мети визначено наступні **завдання дослідження**:

- аналіз задачі моніторингу витрати енергоресурсів;
- розробка архітектури і основних елементів інформаційно – аналітичної системи моніторингу енергоресурсів підприємства (ІАСМЕП) і тестування її роботи;
- аналіз моделей прогнозування процесів контролю й обліку енергоресурсів підприємства;
- вибір і обґрунтування методу чисельної реалізації алгоритму задачі прогнозування;
- розробка програмного модуля для вирішення задач прогнозування;
- автоматизована обробка аналітичної інформації;
- проведення обчислювального експерименту і прийняття рішення в задачі прогнозування процесів контролю й обліку енергоресурсів підприємства.

Постановка задачі. Проблеми контролю й обліку енергоресурсів підприємства вирішується технічними засобами контролю й обліку енергоресурсів, у той час як аналіз поточних і прогнозування майбутніх об'ємів споживання енергоресурсів можливий тільки на основі методів математичної статистики й математичних моделей взаємозалежних нестационарних випадкових процесів. Відомо [4–6], що процеси споживання енергоресурсів є випадковими процесами, що мають складну кореляційну структуру, яка залежить від типу підприємства й трьох основних груп факторів:

- хронологічних (пора року, місяць, день тижня, години доби);
- метеорологічних (температура навколишнього середовища, швидкість і напрям вітру, вологість повітря й ін.);
- організаційних (планові включення/відключення технологічного устаткування й т.п.).

Комплексний вплив цих факторів на процеси споживання енергоресурсів і випадковий характер ряду цих факторів привів до того, що такі процеси є, як правило, неоднорідними нестационарними випадковими процесами.

Вплив хронологічних факторів на процеси споживання енергоресурсів приводить до появи в них полігармонійних трендів, природа яких визначається циклічністю технологічних процесів.

Вплив температури навколишнього середовища, а також швидкості й напрямки вітру, привели до появи в процесах споживання енергоресурсів поліноміальних трендів, викликаних змінами метеоумов. Зміни об'ємів споживання, наприклад, природного газу щодо зміни метеоумов, завжди відбувається з деякою затримкою за часом за рахунок інерційності процесів теплообміну опалювальних будинків і споруджень підприємства з навколишнім середовищем.

Вплив організаційних факторів на процеси споживання енергоресурсів приводить до порушення однорідності цих процесів і різкій зміні динамічних властивостей цих процесів.

Комплексний вплив неспостережувальних і неконтрольованих факторів на процеси споживання енергоресурсів приводить до появи в них стохастичних трендів.

Створення програмно-апаратного комплексу інформаційно - аналітичної системи моніторингу енергоресурсів підприємства дозволяє не тільки скорочувати прямі витрати на енергоресурси, але й контролювати такі параметри як працездатність устаткування, його амортизаційні характеристики, частоту його відновлення й модернізації, екологічні й гігієнічні показники, якість продукції тощо [4–6].

Аналіз літературних джерел. Проблема прогнозування витрат ресурсу полягає в тому, що необхідно врахувати величезну кількість факторів, які мають вплив на процес енергоспоживання.

Загальні методи прогнозування можна розділити на чотири великі групи [7–12]:

- методи експертних оцінок;
- методи екстраполяції;
- методи регресійного аналізу;
- методи нейронних мереж.

Статистичні методи прогнозування є найпоширенішими й ефективними. Основою для складання прогнозової моделі є ретроспективні дані навантаження, накопичені за кілька попередніх періодів і які мають певний тренд. Прогноз – проведення екстраполяції всіх залежностей на наступний період.

Практика показує, що не існує досконалого методу, який би враховував всі особливості прогнозування і фактори, які впливають на визначення і зміну об'ємів енергоспоживання.

Одним з найпростіших методів прогнозування є експонентне згладжування. У загальному своєму виді такі методи не підходять для цілей дослідження витрат, тому що вони найчастіше не враховують існування трендів у даних.

Однак існує кілька розширень стандартного експонентного згладжування [9]. До таких методів відноситься метод Хольта (іноді називається подвійним експонентним згладжуванням).

Оскільки існує така велика кількість моделей, за допомогою яких можна прогнозувати ризики й невизначеність, то встає питання про вибір найкращого методу, тут є певні труднощі. По-перше, якщо вибирати прогнозний метод, керуючись підходами, заснованими на статистичному тестуванні гіпотез, то необов'язково обрана модель буде давати кращі прогнозні значення й краще прогнозувати ризик. Крім того, при невеликій або помірній кількості спостережень, близькі друг до друга моделі важко розрізнити й критерії, на яких ґрунтується звичайно вибір методу прогнозування, у такому випадку будуть також дуже близькі. Найменша зміна в даних може привести до вибору зовсім іншої моделі, і як наслідок, прогноз буде недостовірним. Щоб позбутися подібного, було запропоновано використовувати комбінацію декількох методів прогнозування. При використанні даної процедури звичайно виходять більше точні прогнози, чим при оцінюванні кожної моделі окремо [14-16].

Відносно основних принципів комбінування прогнозів існують такі рекомендації:

- використання різних методів прогнозування або даних з різних джерел (або всі разом);
- використання прогнозів з п'яти методів, коли це можливо;
- використання формальних процедур комбінування;
- у випадку високої невизначеності використання рівних ваг;
- використання порядкових середніх (trimmed mean);

Ваги повинні бути засновані на доказах заданої точності. Якщо є строгі докази, що одна з моделей поводить краще іншої, то їй треба призначати більші ваги при комбінуванні. Комбінування найбільше ефективно, коли неясно якої з методів прогнозування найкраще вибрати, коли незрозуміла сама прогнозована ситуація й коли ціна помилки досить велика.

Основним способом комбінування є призначення ваг прогнозам різних моделей. Проблема полягає у виборі цих самих ваг. Так, крім усього іншого, розрізняють декілька основних методів механічного розподілу ваг, а саме: рівні ваги, порівнянні ваги (peer weights), власні ваги (self weights), групові ваги й середні ваги (засновані на власних й групових).

Методика вирішення задачі моніторингу. Інструментальні засоби в задачі прогнозування:

Розроблена ІАСМЕП «Екофлекс» вирішує задачі моніторингу витрати енергоресурсів, здійснює автоматизований збір, облік, зберігання й надає аналітичну інформацію по споживанню ресурсів як для всього підприємства, так і окремих його підрозділів [13].

ІАСМЕП «Екофлекс» представляє розподілену багаторівневу автоматизовану систему. Для зберігання вхідної інформації, а також даних споживання енергоресурсів використовується хмарний сервер. ІАСМЕП «Екофлекс» має модульну структуру, що дозволяє забезпечити її наступну модернізацію і розширення без зміни програмних продуктів і змін загальної структури системи.



Рис. 1. Основні пристрої системи ІАСМЕП

ІАСМЕП забезпечує об'єднання всіх лічильників ресурсів підприємства в загальну цифрову мережу для централізованого збору й обробки даних. За допомогою хмарного веб-інтерфейсу й мобільного інтерфейсу забезпечується можливість контролювати енерговитрати підприємства з будь-якого пристрою в будь-якій точці світу – досить мати підключення до Інтернету й бути зареєстрованим користувачем у системі з відповідним правом доступу до архіву даних про витрати ресурсів на підприємстві з різним ступенем деталізації.

Дані із всіх витратомірів збираються в єдиному сховищі – у базі даних, що встановлена на сервері. Система цілодобово збирає й обробляє дані. Середні й поточні показники доступні користувачам для перегляду через мережу Інтернет у будь-який час доби. Сервер виконує функцію оповіщення при перевищенні миттєвої витрати того або іншого ресурсу над установленим порогом. У таких ситуаціях зазначені в системі користувачі одержать електронне повідомлення. При нормальній роботі не потрібно ручних дій з боку обслуговуючого персоналу.

Можливе додавання додаткових пристроїв збору даних, що працюють із різними параметрами. Система дозволяє робити генерування звітів відповідно до тих або інших заданих критеріїв і можливості автоматичного відсилання відповідальним особам.

ІАСМЕП володіє геоінформаційною прив'язкою з можливістю перегляду плану підприємства з нанесеним устаткуванням і лічильниками в місцях установки, що подає додаткову інформацію для різних служб підприємства про точки обліку, комунікаціях і дозволяє більш ефективно визначати енергетичний баланс для цехів, ділянок, одиниць устаткування, які відображаються на карті. Також можна здійснювати оперативний пошук об'єктів на карті, вирішуючи пряму й зворотну задачу ГІС-СИСТЕМ. Крім того, ІАСМЕП надає можливість оперативного контролю й подальшого аналізу витрат ресурсів на ті або інші виробничі операції (як регулярні так і нерегулярні), можливість одержання різного типу звітів, що дозволяють проводити аналіз і виявляти найбільш ресурсомісткі ділянки виробництва й\або технологічні операції з метою проведення подальшої оптимізації.

Для збору даних використовуються спеціальні пристрої підрахунку імпульсів. До одного такого пристрою збору може бути підключене до 8 витратомірів, а вилучені пристрої збору будуть з'єднані послідовною шиною RS-485.

Пристрої збору даних зв'язані із сервером по цій же послідовній лінії. На сервері постійно працює спеціально розроблена програма, що постійно опитує всі пристрої збору й зберігає дані в сховищі. Пристрій збору сам не зберігає дані, а передає їх на сервер для обробки.

Контролер являє собою схему на базі мікропроцесора, що виконує дві основні функції – підрахунок імпульсів від лічильників і зв'язок по цифровій лінії [13].

ІАСМЕП «Екофлекс» дозволяє:

- формувати в реальному режимі часу баланс енергоресурсів підприємства;
- аналізувати питомі витрати енергоресурсів на одиницю продукції по окремих структурних підрозділах підприємства (цехам, ділянкам, одиницям устаткування й ін.);
- підтримувати постійні дані певних ресурсів на критичних ділянках виробництва (наприклад, по вологості й температурі в холодильних камерах);
- аналізувати амортизацію устаткування (наприклад, мотогодини) і інформувати про необхідність його модернізації й заміни;
- створення й інтегрування локальних систем контролю в єдиний «хмарний» інформаційний простір з метою обліку споживання й розподілу ресурсів (наприклад, електроенергії, пари, газу, температури вологості, напрацювання устаткування й ін.);
- забезпечити оперативний доступ до інформації про витрати енергоресурсів різним категоріям користувачів і миттєво інформувати про відхилення від установлених лімітів споживання ресурсів і значень температури, вологості, а також про необхідність проведення обслуговування того або іншого устаткування, підключеного до системи.

Математична модель процесу прогнозування.

Для прогнозування процесу енергоресурсу створено програмний модуль, що враховує ціль прогнозу, інтервал і точність прогнозування, адаптивність розробленої моделі.

Однієї з основних задач, розв'язуваних програмним модулем ІАСМЕП «Екофлекс», є задача прогнозування об'ємів споживання всіх типів енергоресурсів підприємства на підставі даних, зібраних за попередні періоди, і прогнозованих даних про зміну зовнішніх факторів (виробничих параметрів, температури й вологості в приміщеннях підприємства, у зовнішній середовищі та ін.).

Результати системного аналізу сучасних методів прогнозування енергоресурсів, дослідження фізичних особливостей і характеру зв'язків їх із зовнішніми факторами показали, що найбільш адекватні моделі процесів споживання енергоресурсів можна одержати в класі лінійних дискретних стохастичних моделей виду:

$$Y_t = \sum_{i \in M} V_i(B)F_{it} + V_{m+1}(B)a_t, \quad (1)$$

де Y_t значення процесу споживання аналізованого типу енергоресурсу в момент часу t ($t = 1, 2, \dots$); $V_i(B)$, $i \in M$ – оператор лінійної дискретної передатної функції, що зв'язує процес споживання енергоресурсу Y_t з i -тим метеорологічним або організаційним фактором F_{it} ; $M = (1, 2, \dots, m)$ – множина метеорологічних і організаційних факторів F_{it} , що впливають на процес Y_t ; $V_{m+1}(B)$ – оператор лінійної дискретної передатної функції, що зв'язує процес Y_t із хронологічними факторами; a_t – залишкова помилка моделі.

Для обліку зв'язку енергоресурсів з метеорологічними й організаційними факторами найбільше доцільно використовувати клас лінійних дискретних передатних функцій з раціональною структурою виду:

$$y_{it} = V_i(B)F_{it} = \delta_i^{-1}(B)\omega_i(B)B^{b_i}F_{it}, i \in M, \quad (2)$$

де Y_t – складова процесу Y_t , пов'язана з i -тим метеорологічним або організаційним фактором, $\omega_i(B) = (\omega_{0i} - \omega_{1i}B - \dots - \omega_{c_i}B^{c_i})$, $\delta_i(B) = (1 - \delta_{1i}B - \dots - \delta_{r_i}B^{r_i})$ – поліноми від B ступенів r_i , c_i ; B – оператор зсуву назад $B^{b_i}F_{it} = F_{it} - b_i$; b_i – величина затримки y_{it} й F_{it} , що може приймати значення $0, 1, 2, \dots$

Якщо вплив всіх метеорологічних і організаційних факторів на процес Y_t усунуто, то процес, обумовлений рівнянням

$$y_{m+1,t} = Y_t = \sum_{i \in M} \delta_i^{-1}(B) \omega_i(B) B^{b_i} F_{it}, \quad (3)$$

зв'язаний тільки із хронологічними факторами.

Характер впливу хронологічних факторів на об'єми споживання енергоресурсів значно складніше. Вплив цих факторів приводить до появи в розглянутих процесах періодичних компонентів з випадковими параметрами, а також детермінованих або стохастичних трендів, що представляють загальну тенденцію збільшення (зменшення) споживання природного газу.

Адекватний опис такої структури процесу $y_{m+1,t}$ можливо в класі мультиплікативних моделей авторегресії – проінтегрованого ковзного середнього (АРПСС) наступного виду

$$\begin{aligned} & \Phi_{p_1}^1(B^{S_1}) \Phi_{p_2}^2(B^{S_2}) \dots \Phi_{p_j}^j(B^{S_j}) \dots \Phi_{p_n}^n(B^{S_n}) \nabla_{S_1}^{D_1} \nabla_{S_2}^{D_2} \dots \nabla_{S_j}^{D_j} \dots \nabla_{S_n}^{D_n} y_{m+1,t} = \\ & = \theta_0 + \theta_{q_1}^1(B^{S_1}) \theta_{q_2}^2(B^{S_2}) \dots \theta_{q_j}^j(B^{S_j}) \dots \theta_{q_n}^n(B^{S_n}) a_t, \end{aligned} \quad (4)$$

де $j \in N$, $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множина періодичних компонентів процесу $y_{m+1,t}$; S_j – період j -того періодичного компонента, причому $S_1 = 1$; ∇_{S_j} – спрощуючий оператор, визначає мий як $\nabla_{S_j}^{D_j} = (1 - B^{S_j})^{D_j}$; D_j – порядок визначення j -тої різниці;

$$\Phi_{p_j}^j(B^{S_j}) = (1 - \Phi_1^j B^{S_j} - \Phi_2^j B^{2S_j} - \dots - \Phi_{p_j}^j B^{p_j S_j}) \quad (5)$$

– поліноми B^{S_j} ступенів p_j , що визначають авторегресійну складову S_j періодичної компоненти;

$$\theta_{q_j}^j(B^{S_j}) = (1 - \theta_1^j B^{S_j} - \theta_2^j B^{2S_j} - \dots - \theta_{q_j}^j B^{q_j S_j}) \quad (6)$$

– поліноми B^{S_j} ступенів q_j , які відповідають складовій ковзного середнього S_j періодичної компоненти; a_t – залишкова помилка моделі; θ_0 – загальна константа.

Якщо $\forall j \in N$, $D_j = 0$, то модель (4) описує клас лінійних стаціонарних процесів. Якщо $\exists k \in N$ такі, що $D_k \neq 0$, модель (4) дозволяє одержати адекватний опис однорідних нестаціонарних процесів, для яких визначення всіх $D_k \neq 0$ різниць перетворить їх у стаціонарний обернений процес. Якщо $D_1 > 0$, то модель (4) описує нестаціонарний процес, що містить поліноміальний тренд ступеня $D_1 - 1$. Якщо $\theta_0 = 0$, то модель (4) дозволяє описувати випадкові процеси зі стохастичними трендами, тобто з випадковим рівнем або нахилом. Якщо $\theta_0 \neq 0$, то модель (4) відповідає процесам, що мають детерміновані тренди.

Математичну модель (1), що адекватно описує реальні процеси споживання різних типів енергоресурсів підприємства, одержують шляхом розв'язання задач структурної ідентифікації, грубої й точної оцінки параметрів моделі з наступною перевіркою величини кореляції залишкових помилок моделі a_t . Для адекватної моделі значення залишкових помилок моделі практично не корельовано між собою й значеннями F_{it} , $i \in M$.

Модель (1) дозволяє обчислювати прогноз майбутніх об'ємів споживання енергоресурсів із заданим упередженням у вигляді умовного математичного очікування. Крім того, для кожного значення прогнозу обчислюються його верхні й нижня довірчі границі прогнозу, у яких із заданою ймовірністю, буде знаходитися фактичне значення об'єму споживання прогнозованого типу енергоресурсу. Використання моделі (1) дозволяє адекватно описати практично всі типи енергоресурсів підприємства, а дисперсія помилок прогнозів

наближається до практично досяжного мінімуму в рамках кореляційної теорії випадкових процесів.

Результати. У даній роботі як приклад розглядається процес прогнозування витрат газу на одному з підприємств, що підключено до системи «Екофлекс», що автоматизує збір первинних даних з допомогою даного програмно-апаратного комплексу. Тобто необхідно прогнозувати для виробничого процесу покупку й витрату газу на всіх етапах виробництва продукції. Специфікою даної галузі є її структура, вона багаторівнева (циклограма) і циклічно повторюваної.

Завдання полягає в тому, щоб скласти прогноз використання газу на підрозділах фабрики на наступні дні, якщо відомі дані за попередні дні, тобто побудувати автоматичну модель прогнозування споживання газу в закритих приміщеннях на наступні періоди.

На відміну від інформаційно-аналітичної системи прогнозування процесів споживання природного газу [4 – 6], модуль прогнозування споживання (витрати) газу може враховувати кілька зовнішніх факторів (екзогенні змінні) і структурну специфіку виробництва продукції.

Зовнішніми факторами, що впливають на споживання газу, є

– зовнішня температура повітря (середньодобова, температура вдень, температура вночі);

– вологість середовища, хмарність, атмосферний тиск, тривалість світлового дня;

– температура приміщення, у якому йде процес нарощування м'яса птаха й ін.

Крім того, враховуються параметри приміщення, для якого поставляється газ (температура, вологість, вентиляція), а також технологічні параметри для обслуговування приміщення.

Кожна з наведених величин або визначена приблизно або за певними спостереженнями, які отримані через рівномірні інтервали (хвилини, години, дні).

Для одержання чисельних результатів використані дані погодинної добової витрати споживання газу. За цим даними зроблено прогноз наступного дня, можна також робити короткострокові прогнози й на наступні дні.

У табл. 1 представлені результати моделювання процесу витрати споживання газу на основі моделей Холта, Брауна, аддитивної, авторегресії, регресійної і проведено порівняння отриманих результатів з раніше замінюваними даними (рис.2).

Оцінка результатів прогнозування виконана порівнянням з результатами вимірів (вибірки) за попередній день (табл. 1).

Порівняння отриманих чисельних результатів для розглянутої вибірки дозволяє зробити наступні висновки:

– мінімальні середні помилки апроксимації в моделі Холта й регресійного прогнозу;

– величина стандартного відхилення мінімальна в регресійної й авторегресійній моделі;

– величина витрати для аддитивної моделі й моделі Холта близька до максимального по вибірці;

– на графіках для моделей аддитивної, Холта й авторегресії є якісний збіг значень витрати енергоносія для вибірки;

– графік регресійної моделі дає можливість визначити як оптимістичний, так і песимістичний прогноз, і, відповідно довірчий інтервал для витрати в початкових значеннях інтервалу вибірки;

– графік моделі Брауна показує тенденцію розвитку процесу прогнозування.

На основі аналізу результатів можна побудувати узагальнений підхід до прогнозування витрати енергоносія з урахуванням екзогенних параметрів з використанням поправочних чисельних коефіцієнтів.

Таблиця 1 – Результати моделювання процесу прогнозування споживання газу

Інтервал	Вимір	Модель аддитивна	Модель Холта	Модель Брауна	Регресія			Авторегресія
					прогноз	оптим.	песем.	
1	210.468	259.79	209.80	215.969	212.97	219.54	204.70	215.28
2	222.634	270.27	221.97	210.548	203.97	216.13	191.81	235.23
3	233.963	279.26	234.05	205.127	190.58	202.74	178.42	241.32
4	270.690	317.58	249.23	199.706	186.09	198.25	173.93	246.98
5	290.428	334.82	265.88	194.284	179.42	191.58	167.26	265.35
6	303.871	344.12	282.63	188.863	173.52	185.68	161.36	275.21
7	315.876	351.28	298.85	183.442	173.51	185.67	161.35	281.94
8	315.921	344.89	311.30	178.021	180.88	193.04	168.72	287.94
9	242.383	259.67	298.93	172.599	226.09	238.25	213.93	287.96
10	185.143	194.57	267.82	167.178	196.46	208.62	184.30	251.19
11	147.522	152.03	226.66	161.757	200.10	212.26	187.94	222.57
12	135.063	136.44	186.78	156.336	223.23	235.39	211.07	203.76
13	148.392	146.88	159.49	150.914	237.75	249.91	225.59	197.53
14	137.463	133.26	133.12	145.493	195.64	207.80	183.48	204.20
15	142.681	135.41	115.60	140.072	182.77	194.93	170.61	198.73
16	201.760	187.37	133.20	134.651	178.44	190.60	166.28	201.34
17	121.516	110.37	105.29	129.229	172.01	184.17	159.85	230.88
18	117.207	104.07	82.81	123.808	166.33	178.49	154.17	190.76
19	155.502	134.91	90.70	118.387	166.30	178.46	154.13	188.60
20	187.920	159.20	119.69	112.966	173.36	185.52	161.20	207.75
21	173.717	143.63	134.38	107.544	216.66	228.82	204.50	223.96
22	204.940	165.27	168.85	102.123	188.23	200.39	176.07	216.86
23	234.700	184.48	217.60	96.702	191.69	203.85	179.53	232.47
24	221.391	169.51	244.25	89.966	213.82	225.98	201.66	247.35
Сумма	4921.15	5019.42	4759.69	3995.68	4417.34	4697.81	4137.76	5339.66
Середня помилка		9.88	3.22	20.68	3.39	9.62	3.85	18.91
Стандартне відхилення		83.32	71.94	38.42	21.52	20.64	22.64	31.38

Прогноз на майбутній період одержано декількома підходами. Кожен з цих підходів має відмінні показники. Тому постає питання узагальнення прогнозних значень. Використання кількох моделей дає можливість мати більш точний і більш повний прогнозування динаміки процесу.

На основі отриманих результатів можна визначити коректуючі коефіцієнти для кожної моделі й мати аналітичний вираз для прогнозування параметрів витрати ресурсів на наступні періоди.

У роботі пропонується стратифікований [14] підхід до формування комбінованого або об'єднаного прогнозу.

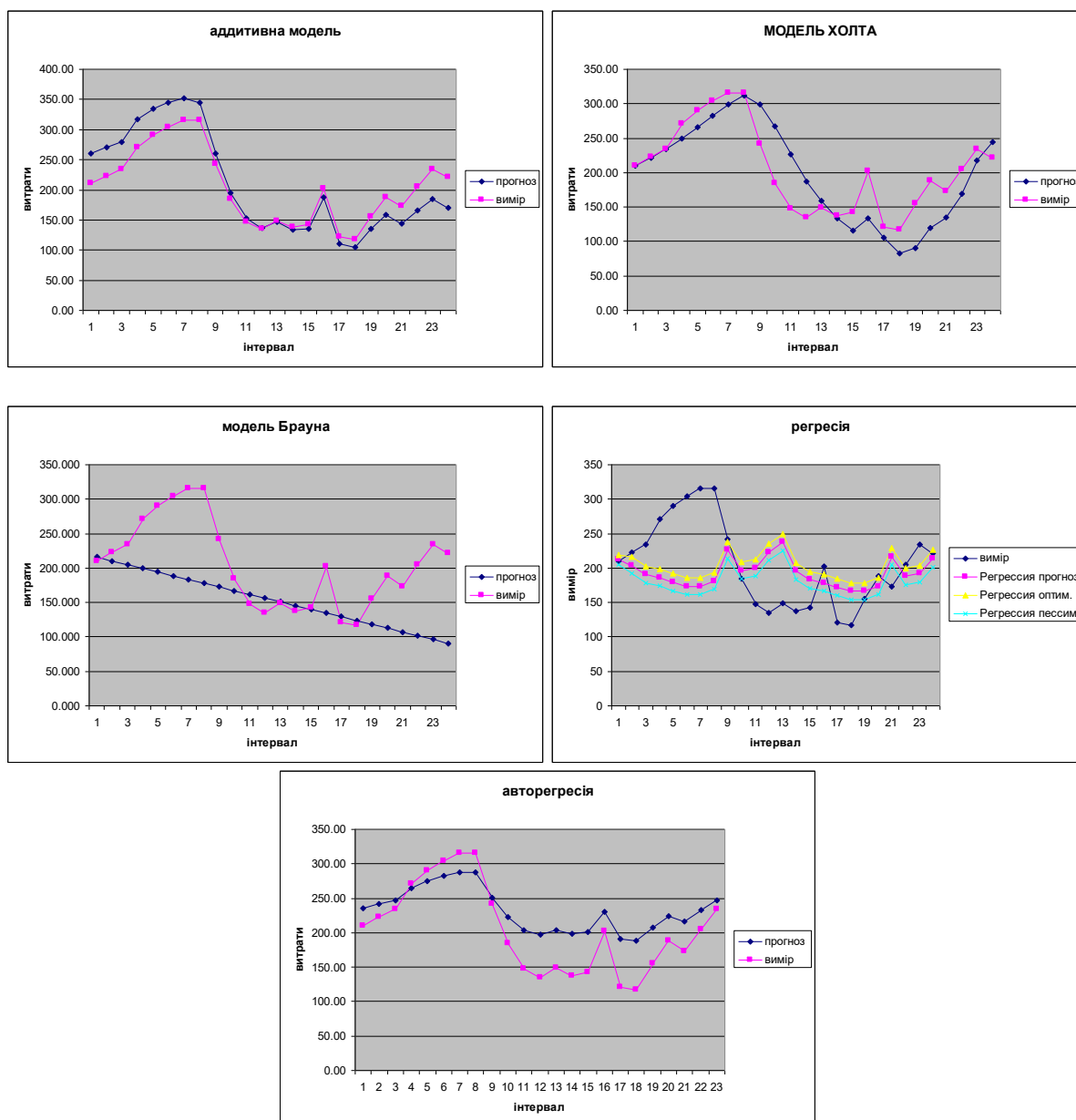


Рис. 2. Графіки прогнозування споживання газу

Спосіб об'єднання окремих прогнозів, як правило, полягає в тому, що комбінований прогноз представляється у вигляді зваженої суми окремих прогнозів [15–16]

$$y_t = \sum_{i=1}^M k_i y_{n_i}$$

де y_{n_i} – i – й окремий прогноз, одержаний для моменту години t ; M – кількість об'єднаних прогнозів; k_i – вагові коефіцієнти прогнозів, $0 \leq k_i \leq 1$.

Вагові коефіцієнти k_i визначають якість об'єданого прогнозу. Як правило, більша вага надається набору прогнозів з меншою величиною середньоквадратичної похибки [17–18].

Крім статистичних і експертних методів визначення ваг можна використовувати алгоритми, які задіяні у різні пакети обробки даних, що дозволяє автоматизувати їх визначення. Наприклад, одним з простіших підходів є використання ПАКЕТУ РІШЕНЬ у MS EXCEL при заданні визначних обмежень. Як обмеження можна розглядати наступне:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, 0 \leq w_i \leq 1 \text{ для } \forall i \in (1, n), \text{ або } w_j = 1, j \neq i, \text{ всі інші } w_i = 0.$$

Для критерію, який використовується в підборі ваг, можна використовувати принцип мінімізації квадратів залишків:

$$\sum_{i=1}^n \left(Y_i - \hat{Y}_i^* \right)^2 \rightarrow 0,$$

тоді ваги визначаються як

$$\hat{Y}_i^* = \sum_{i=1}^n w_i \hat{y}_i,$$

де \hat{y}_i – прогнози, отримані за допомогою різних методів прогнозування, які можуть бути використані при комбінуванні, w_i – ваги, що призначені цим прогнозам, \hat{Y}_i^* – прогнозні значення комбінованої моделі, Y_i – власні значення ряду даних.

У порівнянні з іншими методами комбінування, даний спосіб інтуїтивно зрозумілий, легко застосовується на практиці, і для нього не потрібно якихось додаткових розрахунків.

При комбінуванні прогнозів використано найбільш простий метод, а саме **критерій мінімізації суми відхилень**, можна призначати ваги по двох способах мінімізації квадратів залишків.

Висновки. Розроблена ІАСМЕП «Екофлекс» дозволяє здійснювати централізований збір даних у хмарній архітектурі, робити автоматичну обробку даних і надавати результати як прямого збору даних (у цифровому, табличному й графічному виді), так і дані прогнозування - з можливістю подальшого експорту даних в інші зовнішні системи (MS Excel, XML, 1С).

ІАСМЕП «Екофлекс» з даним модулем прогнозування може бути використана на багатьох підприємствах для оцінки й прогнозування витрат енергоресурсів, і, як наслідок, бути одним з важливих інструментів у комплексі енергоефективності підприємства.

Розроблена модель прогнозування може бути застосована для побудови прогнозів споживання ресурсів майбутніх періодів з обліком раніше зібраних даних про споживання, температуру, вологість і інші параметри, а також з обліком можливих виробничих даних.

Інформаційна система моніторингу «Екофлекс» з даним модулем прогнозування може бути використана на підприємствах для оцінки й прогнозування витрат ресурсів, і, як наслідок, бути одним з важливих інструментів у комплексі енергоефективності підприємства.

Побудований на базі даного підходу модуль програмного комплексу «Екофлекс» дозволяє здійснювати централізований збір даних у хмарній архітектурі, робити автоматичну обробку даних і надавати результати як прямого збору даних (у цифровому, табличному й графічному виді), так і дані прогнозування – з можливістю подальшого експорту даних в інші зовнішні системи (MS Excel, XML, 1С).

Впровадження. На сьогоднішній день ІАСМЕП «Екофлекс» впроваджено на багатьох промислових підприємствах України, переважно харчової промисловості. Ось перелік деяких з них. В даний час проводяться роботи з інтеграції системи для фірми Nerkon (Чехія) з метою підключення обладнання до системи контролю ресурсів.

Автори вдячні проф. А.Д. Тевяшеву (ХНУРЕ) і проф. В.Ф. Ткаченку (ХНУРЕ) за постійну увагу і консультації по даній роботі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Черемісін М.М. Автоматизація обліку та управління електроспоживання. Харків: Факт, 2005. 192 с.
2. Трегубов А.М., Ковалев С.П. Особенности проектирования систем мониторинга и управления энергосбережением. Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2012. Т.10, вып.3. С. 81–91.
3. Доманов В.И., Билалова А.И. Прогнозирование объемов энергопотребления в зависимости от исходной информации. Вестник ЮрУрГУ. Серия «Энергетика». 2016. Т.16, №2. С. 59-65.
4. Тевяшев А. Д. Об одной стратегии оптимизации режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. А. Тевяшева, В. С. Смирнова, В. А. Фролов. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 4, № 3 (46). С. 48–52. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2948/2751>
5. Тевяшев А. Д. Информационно-аналитическая система прогнозирования процессов потребления природного газа в газотранспортной системе Украины [Текст] / А. Д. Тевяшев, Е. Н. Выходцев, В. Н. Щелкалин, Ю. В. Игнатова. Радиоэлектроника и информатика. 2011. № 3 (54). С. 92–98.
6. Чекурін В.Ф., Химко О.М. Моделювання функцій програмного комплексу для автоматизації управління газотранспортними системами. Вчені записки ТНУ імені В.І.Вернадського. Серія: технічні науки. 2018. т. 29(68). № 2. С.192–197.
7. Артеменко М.В., Бабков А.С. Классификация методов прогнозирования поведения систем. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11527>.
8. Кувайскова Ю.Е. Статистические методы прогнозирования. Ульяновск: Улиту, 2019. 197 с.
9. Будаев П.В. Практическое применение количественных методов прогнозирования. System Research & Information Technologies. 2009. № 2. С. 92–108.
10. Сізова Н.Д., Колодочка С.О. Автоматизована інформаційна система спеціалізованої електронної бібліотеки. Науковий вісник будівництва. 2018. Вип. 2. С. 279-284.
11. Сизова Н.Д., Гречко Н.В., Донева И.В. Компьютерное моделирование динамических процессов. Науковий вісник будівництва. 2011. Вип. 66. С. 432-435.
12. Сизова Н.Д., Неежмаков П.И., Костарев Д.Б. Построение модели и синтез интеллектуальных измерительных систем. Украинский метрологический журнал. 2004. № 12. С. 81-89.

REFERENCES:

1. Cheremisin M.M. Avtomatizaciya obliku ta upravlinnya elektrospozhyvannya. Harkiv: Fakt, 2005. 192 s.
2. Tregubov A.M., Kovalev S.P. Osobennosti proektirovaniya sistem monitoringa i upravleniya energosberezheniem. Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii. 2012. T.10, vyp. 3. S. 81–91.
3. Domanov V.I., Bilalova A.I. Prognozirovanie ob'emov energopotrebleniya v zavisimosti ot iskhodnoj informacii. Vestnik YurUrGU. Seriya «Energetika». 2016. T.16, №2. S. 59-65.
4. Tevyashev A. D. Ob odnoj strategii optimizacii rezhimov raboty gazotransportnyh sistem [Tekst] / A. D. Tevyashev, O. A. Tevyasheva, V. S. Smirnova, V. A. Frolov. Vo-stochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. 2010. T. 4, № 3 (46). S. 48–52. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2948/2751>
5. Tevyashev A. D. Informacionno-analiticheskaya sistema prognozirovaniya processov potrebleniya prirodnogo gaza v gazotransportnoj sisteme Ukrainy [Tekst] / A. D. Tevyashev, E. N. Vyhodcev, V. N. Shchelkalin, Yu. V. Ignatova. Radioelektronika i informatika. 2011. № 3 (54). S. 92–98.
6. Chekurin V.F., Himko O.M. Modelyuvannya funkciy programnogo kompleksu dlya avtomatizacii upravlinnya gazotransportnimi sistemami. Vcheni zapiski TNU imeni V.I.Vernads'kogo. Seriya: tekhnichni nauki. 2018. t. 29(68). № 2. S.192–197.
7. Artemenko M.V., Babkov A.S. Klassifikaciya metodov prognozirovaniya povedeniya sistem. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11527>.
8. Kuvajskova Yu.E. Statisticheskie metody prognozirovaniya. Ul'yanovsk: Ulitu, 2019. 197 s.
9. Budaev P.V. Prakticheskoe primenenie kolichestvennyh metodov prognozirovaniya. System Research & Information Technologies. 2009. № 2. С. 92–108.
10. Sizova N.D., Kolodochka S.O. Avtomatizovana informacijna sistema specializovanoi elektronnoi biblioteki. Naukovij visnik budivnictva. 2018. Vip. 2. S. 279-284.
11. Sizova N.D., Grechko N.V., Doneva I.V. Komp'yuternoe modelirovanie dinamicheskikh processov. Naukovij visnik budivnictva. 2011. Vip. 66. S. 432-435.
12. Sizova N.D., Neezhmakov P.I., Kostarev D.B. Postroenie modeli i sintez intellektual'nyh izmeritel'nyh sistem. Ukrainskij metrologicheskij zhurnal. 2004. № 12. S. 81-89.
13. Sistema monitoringa raskhoda resursov EcoFlex. URL: <https://flexsys.com.ua/o-nas/>

13. Система мониторинга расхода ресурсов EcoFlex. URL: <https://flexsys.com.ua/o-nas/>
14. Светуных И.С. Самообучающаяся модель краткосрочного прогнозирования социально-экономической динамики. Модели оценки, анализа и прогнозирования социально-экономических систем. Харьков: Харьков ИД «ИН-ЖЕК», 2010. С. 11-32.
15. Тевяшев А.Д., Ткаченко В.П., Сізова Н.Д., Костарев Д.Б. Інформаційна система для прогнозування витрат енергоресурсів поліграфічних підприємств. Зб. праць VI Міжнародної науково-технічної конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» 18-22 травня 2021 року м. Харків, Україна С. 102–106.
16. Teviashev A.D., Tkachenko V.F., Sizova N.D., Kostarev D.B. Information and analytical system for monitoring the energy resources of the enterprise. Збірник праць 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції ICT-2020, присвяченої 90-річчю Харківського національного університету радіоелектроніки. 2020. С.78–82.
17. Kalekar P.S. Time series forecasting using Holt-Winters exponential smoothing. URL: http://www.it.iitb.ac.in/~praj/acads/seminar/04329008_ExponentialSmoothing.pdf
18. Gardner S.E, Jr Exponential Smoothing: The state of the Art. Journal of Forecasting. 1985. Vol. 4. P. 1-28.
14. Svetun'kov I.S. Samoobuchayushchayasya model' kratkosrochnogo prognozirovaniya social'-no-ekonomicheskoy dinamiki. Modeli ocenki, analiza i prognozirovaniya social'-no-ekonomicheskikh sistem. Har'kov: Har'kov ID «INZhEK», 2010. S. 11-32.
15. Tevyashev A.D., Tkachenko V.P., Sizova N.D., Kostarev D.B. Informacijna sistema dlya prognozuvannya vitrat energoresursiv poligrafichnih pidpriemstv. Zb. prac' VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferencii «Poligrafichni, mul'timedijni ta web-tehnologii» 18-22 travnya 2021 roku m. Harkiv, Ukraina S. 102–106.
16. Teviashev A.D., Tkachenko V.F., Sizova N.D., Kostarev D.B. Information and analytical system for monitoring the energy resources of the enterprise. Zbirnik prac' 9-i Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferencii IST-2020, prisvyache-noi 90-richchyu Harkivskogo nacional'nogo universitetu radioelektroniki. 2020. S.78–82.
17. Kalekar P.S. Time series forecasting using Holt-Winters exponential smoothing. URL: http://www.it.iitb.ac.in/~praj/acads/seminar/04329008_ExponentialSmoothing.pdf
18. Gardner S.E, Jr Exponential Smoothing: The state of the Art. Journal of Forecasting. 1985. Vol. 4. P. 1-28.

Sizova N.D., Kostaryev D.B. INFORMATIONAL SYSTEM OF MONITORING AND FORECASTING OF CONSUMPTION OF ENERGY RESOURCES FOR THE PRODUCTION. The issues of creation and functioning of the information monitoring system "Ecoflex", which is designed to collect, analyze, predict and inform about the deviation of energy consumption, control of humidity, temperature, production parameters and operating hours of equipment in industry, are considered in this paper. The description of the system architecture and its basic software implementation are given. As part of the implementation of the system, a common digital network has been developed for centralized collection and processing of information. The user receives data using a cloud web interface and / or a mobile application.

The system includes a module for forecasting energy costs, taking into account several external factors (exogenous variables) and the structural specifics of production. The software implementation of this module based on the mathematical model presented in this article. The article also provides an example of forecasting gas consumption at one of the plants, which connected to the Ecoflex system and where the automated collection of initial data carried out using a software and hardware complex. The numerical results of modeling the process costs obtained on the basis of the Holt, Brown, additive, autoregressive, regression models; the comparison of the results obtained with the results of the previously obtained measurements is given. The Ecoflex system with this forecasting module can be used at many production plants to assess and predict the costs of energy resources and, as a result, becomes one of the important tools in the complex of energy efficiency of the plant.

Key words: information system, forecasting, modeling, data collection and processing, software and hardware complex.