УДК 681.511.4:661.333(075)

Бобух Анатолій Олексійович, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. *Тел. +38-096-233-47-96. E - mail:* aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)
Дзевочко Олександр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу. *Тел. +38-096-937-46-68. E - mail:* sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)
Подустов Михайло Олексійович, д-р. техн. наук, проф., завідувач кафедрою автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. *Вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail:* podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ ЇХ ТРЕНДУ

У статі розглянуті теоретичні підстави для ідентифікації технологічних об'єктів хімічних виробництв із визначенням тренду параметрів та розроблений такий алгоритм.. Використання запропонованого алгоритму при розробці та впровадженні комп'ютерно–інтегрованих виробництв буде сприяти ефективному управлінню ними та підвищенню їх енергозбереження.

Ключові слова: *ідентифікація, випадкові та невипадкові процеси, тренд, комп'ютерно–інтегроване виробництво, поліном, математична операція, середньоквадратичне відхилення.*

Бобух Анатолий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. *Тел. +38-096-233-47-96. E - mail:* aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)
Дзевочко Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга. *Тел. +38-096-937-46-68. E - mail:* sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)
Подустов Михаил Алексеевич, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. *Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002. Тел. +38-067-577-65-57. E - mail:* podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

АЛГОРИТМ ИДЕНТИВИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ ТРЕНДА

В статье рассмотрены теоретические основания для идентификации технологических объектов химических производств с определением тренда параметров и разработан такой алгоритм. Использование предложенного алгоритма при разработке и внедрению компьютерно–интегрированных производств будет способствовать эффективному управлению ими и повышению их энергосбережения.

Ключевые слова: *идентификация, случайные и неслучайные процессы, тренд, компьютерно–интегрированное производство, полином, математическая операция, среднеквадратическое отклонение.*

Bobukh Anatoliy Alekseevich, Ph.D., associate professor, professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. *Tel. +38-096-233-47-96. E - mail:* aabobukh@ukr.net (orcid.org/0000-0002-3405-386X)
Dzevochko Alexander Mikhajlovich, , Ph.D., associate professor, associate professor of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. *Tel. +38-096-937-46-68. E - mail:* sashadzevochko2@mail.ru (orcid.org/0000-0002-1297-1045)
Podustov Mikhail Alekseevich, Ph.D., Professor, head of department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring. The National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. *Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel. +38-067-577-65-57. E - mail:* podustov@kpi.kharkov.ua (orcid.org/0000-0003-2119-1961)

ALGORITHM OF IDENTIFICATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS CHEMICAL PRODUCTIONS with DEFINITION OF THE TREND

The theoretical bases for identification of technological objects of chemical productions with definition of a parameters trend are considered in article and such algorithm is developed. Using of the offered algorithm at development and deployment of the computer-integrated productions will promote their effective management and *energy saving increasing.*

Keywords: *identification, casual and nonrandom processes, a trend, the computer-integrated production, a polynom, mathematical operation, a mean square deviation.*

Вступ

Для ідентифікації технологічних об’єктів хімічних виробництв, зокрема – кальцинованої соди за аміачним способом, користуються методами математичної статистики [1–4], одним із яких є регресійний аналіз. Цей аналіз передбачає: обчислення коефіцієнтів кореляції поміж усіма факторами (вхідними параметрами) при умові, що існує математичне очікування кожного фактору або воно добре апроксимується відомою функцією часу, більш за все поліномом. Коефіцієнти цих поліномів знаходяться за методом найменших квадратів (МНК) шляхом вирішення відповідних систем нормальних рівнянь. Результати такої ідентифікації не завжди бувають задовільними. Це пояснюється наступними причинами: по-перше, дані вимірювань при експериментах розглядаються як адитивна суміш випадкових та невипадкових компонентів, а тому їх треба аналізувати окремо; по-друге, при визначенні коефіцієнтів поліномів використовують метод нормальних рівнянь, але він має недоліки; по-третє, при визначенні оптимального ступеня поліному в якості його критерію використовується середньоквадратичне відхилення [3,4]. Для покращання результатів ідентифікації з визначенням тренду проведені деякі дослідження.

Мета роботи

Розглянути теоретичні підстави для ідентифікації технологічних об’єктів хімічних виробництв із визначенням тренду параметрів та розробити алгоритм їх ідентифікації із визначенням тренду для відокремлення невипадкової компоненти, яка присутня у результатах вимірювань параметрів при промислових експериментах, від випадкової.

Основна частина

В більшості публікацій по математичній статистиці та обробці результатів промислових експериментів [1–5] докладно описані методи побудови законів розподілення випадкових величин та регресійного аналізу, але недостатньо описані питання визначення тренду, неправильне виділення якого може привести до помилки на самому початку аналізу.

Основним методом визначення тренду є МНК, при використанні якого мінімізується сума квадратів відхилення вигляду:

$$\sum_{i=1}^{n}\left[x_i - f\left(t_i, a_0, a_1, \dots, a_\rho\right)\right]^2, \tag{1}$$

де x_i – значення функції, що апроксимується; t_i – значення часу;
a_i – істинний аргумент, що вираховується; n – кількість вимірювань функції x_i;
p – порядок поліному.

Якщо $\left(f\left(t_i, a_0, a_1, \dots, a_\rho\right)\right)$ має вигляд:

$$f\left(t_i, a_0, a_1, \dots, a_\rho\right) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_\rho t^\rho, \tag{2}$$

тоді, визначивши частинну похідну від f за усіма параметрами, отримаємо систему нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum\limits_{i=1}^{n} t_i + a_2 \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^2 + \dots + a_n \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^n = \sum\limits_{i=1}^{n} x_i; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ a_0 \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^n + a_1 \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^{n+1} + a_2 \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^{n+2} + \dots + a_n \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^{2n} = \sum\limits_{i=1}^{n} t_i^n x_i. \end{cases} \tag{3}$$

Після вирішення системи, визначаються параметри $a_0, a_1, \ldots, a_n$.

Метод нормальних рівнянь має наступні основні недоліки: по-перше, розрахунки при вирішенні систем великих порядків занадто громіздкі, особливо коли члени інтерполяційного ряду отримані через нерівні проміжки вимірювання параметрів; по-друге, сама система нормальних рівнянь нестійка, що призведе до похибок при розрахунках.

Цих недоліків можна позбутися, якщо використовувати поліноми П. Л. Чебишева [6,7]. Апроксимація по П. Л. Чебишеву має усі переваги МНК, але дозволяє уникнути вирішення системи нормальних рівнянь. Вираз інтерполяційної функції отримують у вигляді знайденого П. Л. Чебишевим ряду, усі члени якого розраховуються за одним планом.

Перший член ряду представляє середньоарифметичне значення, що вирівнюється, тобто, вираз параболи нульового порядку за МНК; сума першого та другого членів ряду визначає вираз параболи першого порядку; сума $p+1$ членів ряду, розпочинаючи з першого – вираз значень, що вирівнюються у вигляді параболи порядку p. Тобто, розрахунки не треба виконувати декілька разів, вирішуючи кожного разу цілу систему рівнянь відносно кожного часткового припущення про степінь параболи. Добавляючи послідовно члени в ряду П. Л. Чебишева, можна безпосередньо бачити, як послідовно зменшується сума квадратів відхилень, а також – середньоквадратичне відхилення, з яким знайдена парабола показує значення, що вирівнялось. Таким чином, не треба перераховувати кожного разу значення, що вирівнялись, та розраховувати знову всю систему, як у методі нормальних рівнянь. Розрахункові формули мають рекурентну структуру, що значно пришвидшує розрахунки на сучасних комп'ютерах.

Вираз інтерполяційної функції, що відшукується, (початок відліку часу t беремо в середньоарифметичній точці) має вигляд:

$$f_\lambda(t) = k_0 q_0(t) + k_1 q_1(t) + \ldots + k_\lambda q_\lambda(t), \tag{4}$$

де $q_\lambda(t)$ – поліном ступеню λ, коефіцієнти якого треба визначити;

k_λ – не відомі константи.

Без втрати спільності приведемо формули тільки для визначення перших двох членів інтерполяційної функції (4):

$$k_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_1}{n}; \qquad q_0(t) = 1; \qquad \sum\nolimits_0 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}{n};$$

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i^2}; \qquad q_1(t) = t; \qquad \sum\nolimits_1 = \sum\nolimits_0 - k_1^2 \sum_{i=1}^{n} t_i^2,$$

де $\sum_0$ – сума квадратів відхилень, відповідно параболі нульового порядку;

$\sum_1$ – сума квадратів відхилень, відповідно параболі першого порядку.

Відомо [1–3], що якщо при $n = 100$ (n – кількість вимірювань функції x_i) параметри інтерполяційного поліному визначаються шляхом вирішення системи нормальних рівнянь, тоді результати виявляються допустимими до поліномів другого – третього ступеню ($p = 2 - 3$). При $p > 3$ виявляється недобра зумовленість системи нормальних рівнянь. Застосування розкладання інтерполяційної функції за поліномами П. Л. Чебишева дозволяє визначати коефіцієнти полінома більшого ступеню.

Питання розробки алгоритму визначення тренду розглянемо із вибору критерію оптимальності ступеню поліному, який апроксимує істинний тренд [5–7]. Вище вказано, що критерій мінімуму середньоквадратичного відхилення недопустимий, оскільки не націлений на відокремлення випадкової складової від невипадкової. Ідея побудови потрібного критерію полягає в наступному. Вибірка n значень одної змінної $x_1, x_2, \ldots, x_n$ із генеральної сукупності з ймовірністю розподілення $\rho\{x\}$ називається випадковою вибіркою, якщо їх спільна густина задовольняє співвідношенню:

$$\rho\{x_1, x_2, \ldots, x_n\} = \rho\{x_1\}\rho\{x_2\}\ldots\rho\{x_n\}. \tag{5}$$

Звідси постає, що якщо вибірка випадкова, тоді усі $n!$ можливих розташувань n заданих вибірних значень є ймовірними. Дійсно, як виходить із співвідношення (5), для спільної густини ймовірність $\rho\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, не залежить від перестановок x. Таким чином, співвідношення (5) визначає математичну операцію, яка визначає основу усієї статистичної теорії вибіркових розподілень. Із декількох методів, що конкретно реалізують цей висновок, розглянемо два. Нехай тренд, як функція часу, є заданий поліном, тобто – ступінь поліному та його коефіцієнти відомі.

За першим методом розраховуємо нев'язки (різниця значення функції, що апроксимується – $x(t_i)$, та поліному, що розглядається $m(t_i)$) (ε_i):

$$x(t_i) - m(t_i) = \varepsilon_i . \tag{6}$$

Для цього створюємо варіаційний рядок із нев'язок: $\varepsilon_0, \varepsilon_1, \ldots, \varepsilon_n$ (ε_0 – найменша із них). Нехай $\varepsilon_{мед}$ – медіана цього рядка. Запишемо послідовність знаків «+» та «–» – за наступним правилом: якщо $\varepsilon(t_i) > \varepsilon_{мед}$ – ставимо знак «+»; якщо $\varepsilon(t_i) < \varepsilon_{мед}$ – ставимо знак «–»; а якщо $\varepsilon(t_i) = \varepsilon_{мед}$, тоді знак не ставимо. Послідовність однойменних рядом розташованих «+» або «–» будемо називати серією, а кількість знаків в серії – довжиною серії. Кількість серій довжиною i позначимо через r_i, а кількість серій довжиною $k \geq i$ позначимо через R_k. Очевидно, що:

$$R_k = \sum_{i=k}^{n-1} r_i . \tag{7}$$

При цьому мають місце наступні співвідношення [6]:

$$M[r_i] = \frac{2}{(i+3)!}\left[n\left(i^2 + 3i + 1\right) - \left(i^3 + 3i^2 - i - 4\right)\right]; \qquad i < n - 2 \tag{8}$$

$$M[R_k] = \frac{2}{(k+2)!}\left[n(k+1) - \left(k^2 + k - 1\right)\right]; \qquad k < n - 1 . \tag{9}$$

де $M()$ – математичне очікування величини, яка стоїть в дужках. Очевидно, що:

$$M[R_1] = \frac{1}{3}(2n - 1), \tag{10}$$

$$\sigma^2(R_1) = \frac{1}{90}(16n - 29), \tag{11}$$

де $\sigma^2(R_1)$ – дисперсія величини, яка стоїть в дужках.

Якщо величина, що досліджується, випадкова, тоді кількість серій повинно бути достатньо великою, а довжина самої довгої серії – достатньо малою. Конкретні кількості залежать від рівня значимості, так для 5%-ного рівня значимості [6]:

$$k_{\max}(n) < 3{,}3\lg(n+1); \tag{12}$$

$$\gamma_n > \left[\frac{1}{2}(n+1) - 1{,}96\sqrt{n-1}\right], \tag{13}$$

де $k_{\max}$ – довжина максимальної серії;

γ_{n} – загальна кількість серій.

Другий метод відрізняється від першого тим, що послідовність знаків «+» та «–» створюємо за іншим правилом, а саме: знак «+» ставимо якщо різниця нев'язок $\varepsilon(t_{i+1}) - \varepsilon(t_i) > 0$; знак «–» ставимо, якщо $\varepsilon(t_{i+1}) - \varepsilon(t_i) < 0$; при $\varepsilon(t_{i+1}) = \varepsilon(t_i)$ ураховуємо любе, але одне із спостережень. При цьому методі для 5%-ного рівня значимості мають місце співвідношення [6]:

$$k_{\max}(n) \le k_0(n), \tag{14}$$

$$\gamma_n \ge \gamma_0 = \left[\frac{1}{3}(2n-1) - 1{,}96\sqrt{\frac{16n-29}{90}}\right]; \tag{15}$$

де $k_0(n)$ визначається наступним чином:

$$\underset{k_0(n)}{n};\ \underset{k_0=5}{n \le 26};\ \underset{k_0=6}{26 < n \le 153};\ \underset{k_0=7}{153 < n < 1170}.$$

Відповідно викладеному для ідентифікації ТОУ із визначенням тренду поступаємо наступним чином: припускаємо, що тренд зображує собою поліном нульового ступеню. Тоді за МНК він виражається із залежності:

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}. \tag{16}$$

Створюємо не'вязки $\varepsilon(t_1)$ та запишемо послідовність знаків «+» та «–» за одним із описаних методів. Визначимо довжину самої довгої серії $k_{\max}$ та кількість серій γ_n. Якщо $k_{\max}$ та γ_n задовольняють нерівностям (12) та (13) (послідовність знаків «+» и «–» записували за першим методом), або – (14) та (15) (її записували за другим методом), тоді визнаємо, що отриманий поліном нульового ступеню може бути трендом.

При не виконанні навіть однієї із зазначених нерівностей, припускаємо, що тренд зображує собою поліном першого ступеню. Визначаємо цей поліном за наведеними формулами та виконуємо решту процедур до тої пори, поки обидві нерівності – (12) та (13) або (14) та (15) не будуть виконані. Якщо ступінь поліному λ уже доволі висока (досвід показує, що недоцільно піднімати її вище значення $n/20$), але жодна із нерівностей (12) та (13) або (14) та (15) не виконуються, тоді треба відмовитися від апроксимації тренду поліномом та перейти до розгляду других класів функцій.

Виконані розрахунки на сучасних комп'ютерах показують, що нев'язки не можуть бути інтерпретовані як n значень випадкової величини. Справа в тому, що для дуже малої кількості серій (фактично однієї серії), як правило, не виконується нерівність (14) або одночасно не виконується також нерівність (12). Це може бути тому, що за проміжок часу, який відноситься до такої серії, було невипадкове протікання технологічного процесу за рахунок, наприклад, аварійної ситуації. Таким чином, процес визначення тренду не може бути повністю перекладений на сучасні комп'ютери, та раніш чим згодитися з тим, що результати виміру параметрів не можливо інтерпретувати як адитивну суміш невипадкової та випадкової компонент, треба провести конкретний аналіз ситуації та виявити причину не випадковості.

Як приклад, розглянемо результати визначення трендів за другим методом для вхідних $x_1 - x_5$ та вихідного y параметрів, отриманих за даними експериментального обстеження технологічного об'єкту абсорбції – десорбції (АД-ДС) виробництва кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС):

$$f(x_1) = 121{,}4 - 0{,}05271\,t + 0{,}00342\,t^2; \qquad f(x_2) = 35{,}7 + 0{,}02836\,t;$$
$$f(x_3) = 106{,}6 - 0{,}00734\,t; \qquad f(x_4) = 43{,}5 + 0{,}00917\,t;$$
$$f(x_5) = 472{,}3 + 0{,}01376\,t; \qquad f(y) = 61{,}74 + 0{,}0412\,t,$$

де y – температура паро газової суміші в абсорбер, $°C$;

x_1 – витрати фільтрової рідини в конденсатор–холодильник газу дистиляції, $м^3/год.$; x_2 – витрати пари в дистилер, т/год.; x_3 – витрати очищеного розсолу в промивачі газу абсорбції, $м^3/год.$; x_4 – витрати вапняної суспензії в змішувач, $м^3/год.$; x_5 – витрати охолоджуючої води в апарати АБ-ДС, $м^3/год.$.

Математична модель технологічного об'єкту АД-ДС ВКС з визначеними трендами має вигляд:

$$y - f(y) = \sum_{j=1}^{5} a_j \left(x_j - f(x_j)\right), \tag{17}$$

де значення коефіцієнтів при нев'язках вхідних параметрів та їх трендів:

$a_1 = -0{,}165$ для $x_1 - f(x_1)$; $a_2 = 0{,}072$ для $x_2 - f(x_2)$; $a_3 = -0{,}035$ для $x_3 - f(x_3)$;
$a_4 = -0{,}026$ для $x_4 - f(x_4)$; $a_5 = 0{,}3574$ для $x_5 - f(x_5)$.

Коефіцієнт множинної кореляції, $R = 0{,}75$; а критерій Фішера, $F = 5{,}73$.

Аналіз показує, що для вхідних параметрів визначені тренди другої та першої ступені, для вихідного – першої, а лінійна модель адекватна експериментальним даним, що підтвердило надійність та працездатність розробленого алгоритму ідентифікації технологічних об'єктів хімічних виробництв із визначенням тренду.

Висновок

В результаті досліджень розроблено алгоритм ідентифікації технологічних об'єктів хімічних виробництв із визначенням тренду на прикладі технологічного об'єкту АБ-ДС ВКС. Використання розробленого алгоритму при розробці та впровадженні комп'ютерно–інтегрованих виробництв буде сприяти ефективному управлінню ними та підвищенню їх енергозбереження.

Список використаної літератури:

1. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст]. В 2-х кн. Кн. 1 / Н. Дрейпер, Г. Смит, пер. с англ.: Ю. П. Адлер, В. Г. Горский. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.

2. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст]. В 2-х кн. Кн. 2 / Н. Дрейпер, Г. Смит, пер. с англ.: Ю. П. Адлер, В. Г. Горский. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 351 с.

3. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсол, пер. с англ.: В. Е. Привольский, А. И. Кочубинский. Под ред. И. Н. Коваленко. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

4. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

5. Крушель Е. Г. Обработка экспериментальной информации. Лабораторный практикум [Текст]: учеб. пособие / Е. Г. Крушель, А. Э. Панфилов, И. В. Степанченко. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2014. – 55 с.

6. Малолеткин Т. Н. Об алгоритмах выбора наилучшего подмножества признаков в регрессионном анализе [Текст] / Т. Н. Малолеткин, В. Н. Мельников, В. М. Ханин // Вопросы кибернетики, Теоретические проблемы планирования эксперимента: сб. – М.: Советское радио, 1977. – Вып. 35. – С. 110–148.

7. Бобух А. А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография [Текст] / А. А. Бобух, Д. А. Ковалев; под ред. А. А. Бобуха. – Х. : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2013. – 226 с.

References:

1. Drei`per N. (1986). Applied regression analysis [Pricladnoi` regressionny`i` analiz]. V 2-kh kn. Kn. 1 / N. Drei`per, G. Smith, per. s angl.: Iu. P. Adler, V. G. Gorskii`. – M.: Finansy` i statistika, 366 p.

2. Drei`per N. (1987). Applied regression analysis [Pricladnoi` regressionny`i` analiz]. V 2-kh kn. Kn. 2 / N. Drei`per, G. Smith, per. s angl.: Iu. P. Adler, V. G. Gorskii`. – M.: Finansy` i statistika, 351 p.

3. Bendat Dzh. (1989). Applied analysis of casual data [Pricladnoi` analiz sluchai`ny`kh danny`kh] / Dzh. Bendat, A. Pirsol, per. s angl.: V. E. Privol`skii`, A. I. Kochubinskii`. Pod red. I. N. Kovalenko. – M.: Mir, 540 p.

4. Kobzar`A. I. (2006). Applied mathematical statistics. For engineers and scientists [Pricladnaia matematicheskaia statistika. Dlia inzhenerov i nauchny`kh rabotneykov], M.: FIZMATLIT, 816 p.

5. Krushel` E. G., Panfilov, A. E`., Stepanchenko, I. V. (2014). Processing of experimental information. Laboratory practical work [Obrabotka e`ksperimental`noi` informatcii. Laboratorny`i` praktikum]: ucheb. posobie, Volgograd: IUNL VolgGTU, 55 p.

6. Maloletkin, T. N., Mel`nikov, V. N., Hanin, V. M. (1997). About algorithms of the best signs subset choice in the regression analysis [Ob algoritmakh vy`bora nailuchshego podmnozhestva priznakov v regressionnom analize] // Voprosy` kibernetiki, Teoreticheskie problemy` planirovaniia e`ksperimenta: sb. – M.: Sovetskoe radio, 1977. – Vy`p. 35. – P. 110–148.

7. Bobuh, A. A., Kovalyov, D. A. (2013). Computer-integrated system of automation of technological objects of control centralized heet-supply: monograph [Kompjuterno-integrirovannaja sistema avtomatizacii tehnologicheskih obektov upravlenija centralizovannym teplosnabzheniem: monografija], HNUGH im. A. N. Beketova, Kharkiv, 226 p.

Поступила в редакцию 02.02 2016 г.