

УДК 681.511.4:661.333(075)

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТАТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ НАСИЧЕННЯ ОЧИЩЕНОГО РОЗСОЛУ ГАЗАМИ ВИРОБНИЦТВА СОДИ

А. М. ПЕРЕВЕРЗЄВА*, А. О. БОБУХ

¹кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА

*email: pereverzieva_alya@ukr.net

АНОТАЦІЯ У статті розглянуті основні принципи розробки математичної моделі статичної технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди і алгоритм методів парної кореляції та множинної регресії. Цей алгоритм використаний для розрахунків за результатами пасивного експерименту, серед інших показників: коефіцієнтів парної кореляції поміж чотирма параметрами, які характеризують ступінь лінійного зв'язку поміж ними; невідомі коефіцієнти, які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії; визначення множинної регресії (математичної моделі статичної) та коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції поміж параметрами. Отримана математична модель статичної технології може бути використана для розробки вказаної комп'ютерно-інтегрованої технології на базі мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню та підвищенню енергозбереження в цілому виробництва кальцинованої соди.

Ключові слова: математична модель статичної; методи парної кореляції та множинної регресії; пасивний експеримент; комп'ютерно-інтегрована технологія.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF STATICS OF THE TECHNOLOGY SATURATION OF THE PURIFIED BRINE GAS PRODUCTION SODA

A. PEREVERZIEVA, A. BOBUKH

¹ department of automation of the technological systems and ecological monitoring. The National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT In the article the basic principles of the mathematical model of the statics of the saturation technology of the purified brine by the soda production gases and the algorithm of the pair correlation and multiple regression methods are considered. This algorithm is used for calculations based on the results of a passive experiment, among other indicators: the coefficients of pair correlation between four parameters that characterize the degree of linear connection between them; unknown coefficients that determine the values of multiple regression coefficients; the definition of multiple regression (mathematical model of statics) and the coefficient of multiple correlation through the coefficients of pair correlation between parameters. The resulting mathematical model of statics can be used to develop this computer-integrated technology based on microprocessor controllers, will contribute to the efficient functioning and increase of energy saving in the whole production of soda ash.

Keywords: mathematical model of statics; methods of pair correlation and multiple regression; passive experiment; computer-integrated technology.

Вступ

Для сучасних технологій хімічних виробництв характерними являються: багатофакторність, наявність на їх входах неконтрольованих параметрів, змінювання характеристик основних збуджуючих впливів у широкому діапазоні, складні залежності поміж параметрами, відсутність теоретичної математичної моделі, значні запізновання за основними каналами керування, розподіленість параметрів тощо. Все це ускладнює процес керування такими технологіями, визначення математичної моделі та її адекватність реальній технології [1–4]. На практиці все більше використовують системи із комбінованим принципом керування, структурна схема яких має не менше двох каналів керування. Один із них працює за принципом керування за збудженням та має розімкнений контур відносно

параметру, яким керують, а другий – за принципом керування за відхиленням цього параметру від заданого значення та має замкнений контур. Основною перевагою комбінованого принципу керування є можливість отримати високу точність параметру, яким керують. А тому важливим постає питання дослідження поведінки комбінованих систем в стані рівноваги, тобто в статичі, при цьому треба досліджувати питання статичної точності – відхилення параметру, яким керують, від заданого значення при закінченні перехідного процесу [5–10].

Сучасний розвиток науково-технічного прогресу дозволяє розглядати основні принципи підвищення ефективності окремих технологій виробництва кальцинованої соди за рахунок визначення надійних математичних моделей статичної.

Мета роботи

Розглянути теоретичні підстави та розробити математичну модель статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва кальцинованої соди за аміачним способом (ВКС), які повинні бути економічними з точки зору необхідної для їх реалізації кількості операцій, сприяти підвищенню енергозбереження і покращанню ефективності комп'ютерно-інтегрованої технології ВКС в цілому.

Виклад основного матеріалу

Математична модель статистики реальної технології зводиться до математичної задачі пошуку екстремуму функціонала заданого виду, залежно від якого екстремум знаходиться математичним шляхом, або за допомогою деяких обчислювальних процедур. Проблема математичного опису технологій зводиться до проблеми отримання інформації про стан керованих технологій, оцінювання їх параметрів, а також характеристик. Існує декілька підходів до вирішення проблеми математичного опису реальних технологій. При цьому підходи настільки різні, що виникає необхідність в зіставленні та аналізі принципів та існуючих методів математичного опису цих технологій, при цьому виділяють два підходи вирішення цієї задачі [5–10]:

а) фізико-математичний аналіз явищ, які обумовлюють динаміку процесів реальних технологій, але ці методи часто виявляються малоефективними;

б) експериментальні методи, при яких основну інформацію про реальну технологію отримують шляхом безпосереднього контролю відповідних параметрів, зважаючи на складність і різноманітність технологій.

За способами накопичення експериментальних даних методи математичного опису поділяють на активні та пасивні. Найбільш прийнятими у реальних виробничих умовах через неможливість впроваджувати штучні збурення є експериментальні пасивні методи, які не виключають можливості використання апріорної ("до досвіду") інформації про властивість досліджуваної технології.

Основним призначенням технології насичення очищеного розсолу газами (ТНОРГ), одержаних регенерацією розчинів ВКС [11], є отримання регламентної кількості та якості амонізованого розсолу та формування неперервного матеріального потоку цього розсолу. Особливе значення цієї технології має температура амонізованого розсолу, який спрямовується на технологію насичення його вуглекислим газом. ТНОРГ комплектується апаратами: промивач повітря вакуум-фільтрів (ППВФ), другий промивач газу карбонізаційних колон (ПГКЛ-2), промивач газу абсорбції (ПГАБ), абсорбер (АБ), які представляють собою абсорбційну

колону, та пластинчатий холодильник (ПХ). Разом ці апарати називають елементом ТНОРГ, а типова технологія ВКС складається із чотирьох таких елементів ($i = \overline{1,4}$).

Аналіз процесів ТНОРГ ВКС в статистично краще всього виконувати за допомогою математичних моделей статистики з урахуванням основних допущень та обмежень. Для їх визначення необхідно використовувати експериментальні аналітичні методи, серед яких найбільше вживані методи парної кореляції та множинної регресії [6–10, 12–15].

Для ТНОРГ ВКС кожний елемент ($i = \overline{1,4}$) має контрольовані залежні (керовані) параметри (Y_{si}) $s = \overline{1,m}$; але найважливішим є температура амонізованого розсолу після кожного елементу, а тому $s = 1$; а незалежних (керуючі та корегуючі) параметрів (X_{ji}) $j = \overline{1,n}$; серед яких нам необхідні тільки три ($j = \overline{1,3}$). Пасивний експеримент був проведений для першого елементу ($i = 1$), тому виконаємо спрощення запису умовних позначень для усіх нижче наведених параметрів та формул (тобто зменшимо кількість індексів):

залежний (керований) параметр (функція):

Y_1 – температура амонізованого розсолу після елементу, °C;

незалежний (керуючий) параметр:

X_1 – витрати очищеного розсолу в ПГКЛ-2, м³/год;

незалежні (корегуючі) параметри :

X_2 – температура амонізованого розсолу із АБ в ПХ, °C;

X_3 – температура пара-газової суміші із технології регенерації газів із розчинів ВКС в нижню частину АБ, °C;

Для функції Y_1 від трьох параметрів, коли:

$$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3), \quad (1)$$

розглянемо алгоритм методів парної кореляції та множинної регресії [6–10]:

1) розрахунок простих середніх арифметичних значень за умови, якщо вага та частота кожного значення контрольованих параметрів однакові із числом вимірювань ($k = \overline{1,N}$), наприклад, для першого незалежного параметру $\overline{X_1}$, за формулою:

$$\overline{X_1} = \frac{\sum_{k=1}^N X_{1k}}{N}; \quad (2)$$

2) розрахунок відхилення усіх контрольованих параметрів від їх простих середніх арифметичних значень за формулами:

$$\begin{aligned} y &= Y_{1k} - \bar{Y}_1; x_1 = X_{1k} - \bar{X}_1; \\ x_2 &= X_{2k} - \bar{X}_2; x_3 = X_{3k} - \bar{X}_3; \end{aligned} \quad (3)$$

3) розрахунок середніх квадратичних відхилень тих же параметрів за формулами:

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sqrt{\sum_{k=1}^N y_k^2 / N}; \quad \sigma_{x_1} = \sqrt{\sum_{k=1}^N x_1^2 / N}; \\ \sigma_{x_2} &= \sqrt{\sum_{k=1}^N x_2^2 / N}; \quad \sigma_{x_3} = \sqrt{\sum_{k=1}^N x_3^2 / N}; \end{aligned} \quad (4)$$

4) розрахунок коефіцієнтів парної кореляції поміж параметрами, які характеризують ступінь лінійного зв'язку поміж ними за формулами:

$$\begin{aligned} r_{yx_1} &= \sum_{k=1}^N y_k x_1 / N \sigma_y \sigma_{x_1}; \quad r_{yx_2} = \sum_{k=1}^N y_k x_2 / N \sigma_y \sigma_{x_2}; \\ r_{yx_3} &= \sum_{k=1}^N y_k x_3 / N \sigma_y \sigma_{x_3}; \quad r_{x_1 x_2} = \sum_{k=1}^N x_1 x_2 / N \sigma_{x_1} \sigma_{x_2}; \\ r_{x_1 x_3} &= \sum_{k=1}^N x_1 x_3 / N \sigma_{x_1} \sigma_{x_3}; \quad r_{x_2 x_3} = \sum_{k=1}^N x_2 x_3 / N \sigma_{x_2} \sigma_{x_3} \end{aligned} \quad (5)$$

5) розрахунок значення множинної регресії за формулою (математичної моделі статистики):

$$Y_{1k} - \bar{Y}_1 = a_1(X_{1k} - \bar{X}_1) + a_2(X_{2k} - \bar{X}_2) + a_3(X_{3k} - \bar{X}_3) \quad (6)$$

при цьому коефіцієнти a_1, a_2, a_3 визначаються із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} a_1 \sum_{k=1}^N x_1^2 + a_2 \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + a_3 \sum_{k=1}^N x_1 x_3 &= \sum_{k=1}^N x_1 y; \\ a_1 \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + a_2 \sum_{k=1}^N x_2^2 + a_3 \sum_{k=1}^N x_2 x_3 &= \sum_{k=1}^N x_2 y; \\ a_1 \sum_{k=1}^N x_1 x_3 + a_2 \sum_{k=1}^N x_2 x_3 + a_3 \sum_{k=1}^N x_3^2 &= \sum_{k=1}^N x_3 y. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для визначення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3

системи рівнянь (7) застосуємо найбільш зручний метод, запропонований Фішером [10], для розв'язання симетричних систем лінійних рівнянь. Тому складемо наступні три системи лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} b_{11} \sum_{k=1}^N x_1^2 + b_{12} \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + b_{13} \sum_{k=1}^N x_1 x_3 &= 0; \\ b_{11} \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + b_{12} \sum_{k=1}^N x_2^2 + b_{13} \sum_{k=1}^N x_2 x_3 &= 1; \\ b_{11} \sum_{k=1}^N x_1 x_3 + b_{12} \sum_{k=1}^N x_2 x_3 + b_{13} \sum_{k=1}^N x_3^2 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{21} \sum_{k=1}^N x_1^2 + b_{22} \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + b_{23} \sum_{k=1}^N x_1 x_3 &= 0; \\ b_{21} \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + b_{22} \sum_{k=1}^N x_2^2 + b_{23} \sum_{k=1}^N x_2 x_3 &= 1; \\ b_{21} \sum_{k=1}^N x_1 x_3 + b_{22} \sum_{k=1}^N x_2 x_3 + b_{23} \sum_{k=1}^N x_3^2 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{31} \sum_{k=1}^N x_1^2 + b_{32} \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + b_{33} \sum_{k=1}^N x_1 x_3 &= 0; \\ b_{31} \sum_{k=1}^N x_1 x_2 + b_{32} \sum_{k=1}^N x_2^2 + b_{33} \sum_{k=1}^N x_2 x_3 &= 0; \\ b_{31} \sum_{k=1}^N x_1 x_3 + b_{32} \sum_{k=1}^N x_2 x_3 + b_{33} \sum_{k=1}^N x_3^2 &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (8.3)$$

Ліві частини систем лінійних рівнянь (8.1), (8.2), (8.3) такі ж як відповідні частини системи рівнянь (7). Після визначення чисел b_{kj} , стають відомими невідомі a_1, a_2, a_3 , які задовольняють систему рівнянь (7) за допомогою наступних формул:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= b_{11} \sum_{k=1}^N y x_1 + b_{12} \sum_{k=1}^N y x_2 + b_{13} \sum_{k=1}^N y x_3 \\ a_2 &= b_{21} \sum_{k=1}^N y x_1 + b_{22} \sum_{k=1}^N y x_2 + b_{23} \sum_{k=1}^N y x_3 \\ a_3 &= b_{31} \sum_{k=1}^N y x_1 + b_{32} \sum_{k=1}^N y x_2 + b_{33} \sum_{k=1}^N y x_3 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

6) розрахунок коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції поміж параметрами за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{r_{yx_1}^2 + r_{yx_2}^2 + r_{yx_3}^2 - 2r_{yx_1}r_{yx_2}r_{yx_3} - r_{x_1x_2}r_{x_1x_3}r_{x_2x_3}}{1 - r_{x_1x_2}^2 - r_{x_1x_3}^2 - r_{x_2x_3}^2}} \quad (10)$$

Коефіцієнт множинної кореляції (R) показує оцінку близькості зв'язку між параметрами $Y_{1k}, X_{1k}, X_{2k}, X_{3k}$ і являється своєрідним критерієм адекватності математичної моделі статистики та реальної ТНОРГ ВКС.

Обговорення результатів

Для перевірки вищенаведеного алгоритму (фор. 1–10) розглянемо результати розрахунків, які виконані за результатами проведення пасивного експерименту для першого елемента ($i=1$) ТНОРГ ВКС із числом (N) вимірювань, отримано $N=150$ значень контрольованих параметрів, для яких розраховані за формулою (2) та приведені (табл. 1) умовні позначення та прості середні арифметичні значення ($\bar{Y}_1, \bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$) відповідних параметрів.

Таблиця 1 – Умовні позначення та прості середні арифметичні значення контрольованих параметрів

\bar{Y}	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3
30,45	85,52	64,54	59,87

Окрім того, за формулами (2) – (5) розраховані: середні квадратичні відхилення параметрів (σ):

$$\sigma_y = 3,23; \sigma_{x_1} = 7,91; \sigma_{x_2} = 8,05; \sigma_{x_3} = 4,78; \quad (11)$$

та коефіцієнти парної кореляції (r) між ними:

$$\begin{aligned} r_{yx_1} &= 0,419; r_{yx_2} = 0,398; r_{yx_3} = 0,544; \\ r_{x_1x_2} &= 0,441; r_{x_1x_3} = 0,392; r_{x_2x_3} = 0,482. \end{aligned} \quad (12)$$

За формулами (7), (8.1), (8.2), (8.3) та (9) розраховані невідомі коефіцієнти a_1, a_2, a_3 , які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії:

$$a_1 = -2,0959; a_2 = 0,7716; a_3 = -2,3482 \quad (13)$$

Отримані значення коефіцієнтів, а також прості середні арифметичні значення (табл. 1) підставляємо в формулу (6) та визначаємо рівняння множинної регресії (математичної моделі статистики):

$$Y = 30,45 - 2,0959(X_1 - 85,52) + 0,7716(X_2 - 64,34) - 2,3482(X_3 - 59,87) \quad (14)$$

Значення коефіцієнту множинної кореляції за формулою (10) для математичної моделі статистики (14) розраховано за коефіцієнтами парної кореляції між параметрами (12) визначено:

$$R = 0,771. \quad (15)$$

Порівняння розрахованої математичної моделі статистики ТНОРГ ВКС за значеннями коефіцієнтів множинної регресії (15) $R=0,771$ та парної кореляції (12) $r_{yx_1}=0,419; r_{yx_2}=0,398; r_{yx_3}=0,544; r_{x_1x_2}=0,441; r_{x_1x_3}=0,392; r_{x_2x_3}=0,482$ між параметрами говорить про те, що отримана математична модель статистики ТНОРГ ВКС адекватна реальній ТНОРГ ВКС.

При цьому треба пам'ятати, що коефіцієнти (13) $a_1; a_2; a_3$ та прості середні арифметичні значення параметрів (табл. 1) необхідно уточнювати в процесі функціонування реальної технології (один раз за робочу зміну).

Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки комп'ютерно-інтегрованої технології насичення очищеного розсолу газами ВКС на базі сучасних мікропроцесорних контролерів.

Модель економічна з точки зору необхідної для її реалізації кількості операцій, сприяє підвищенню енергозбереження і покращанню ефективності комп'ютерно-інтегрованої технології ВКС в цілому.

Висновок

Розглянуті основні принципи розробки математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди і алгоритм методів парної кореляції та множинної регресії. Цей алгоритм використаний для розрахунків за результатами пасивного експерименту, серед інших показників: коефіцієнтів парної кореляції між чотирма параметрами, які характеризують ступінь лінійного зв'язку між ними; невідомі коефіцієнти, які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії; визначення множинної регресії (математичної моделі статистики) та коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції між параметрами. Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки вказаної комп'ютерно-інтегрованої технології на базі мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню та підвищенню енергозбереження в цілому виробництва кальцинованої соди за аміачним способом.

Список літератури

1. **Charlie, C.** Recent technology in design and manufacturing automation / **C. Charlie, L. Wang** // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2013. – 26. – doi: 10.1080/0951192X.2012.731615.
2. **Frederic, D.** Systems modeling: analysis and operations research / **D. Frederic** // *Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online*. – 2010. – 6. – 147–180. – doi: 10.1002/9780470590621.ch6.
3. **Советов, Б. Я.** Математическое моделирование / **Б. Я. Советов., С. А. Яковлев**. – М.: Высшая школа. – 2001. – 343 с.
4. **Степашко, В. С.** Методы и критерии решения задач структурной идентификации / **В. С. Степашко, Ю. Л. Кочерга** // *Автоматика*. – 1985. № 5. – С. 28–37.
5. **Елисеєва, І. І.** Статистика / **І. І. Елисеєва**. – М.: ТК Велби. – 2005. – 448 с.
6. **Ефимова, М. Р.** Общая теория статистики / **М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев**. – М.: ИНФРА-М. – 2007. – 416 с.
7. **Кобзарь, А. И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / **А. И. Кобзарь**. – М.: ФИЗМАЛИТ. – 2006. – 816 с.
8. **Chang, Y.-H. O.** Fuzzy regression methods—a comparative assessment / **Y.-H. O. Chang, B. M. Ayyub** // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2001. – 119 (2). – 187–203. doi:10.1016/s0165-0114(99)00091-3.
9. **Seraya, O. V.** Linear Regression Analysis of a Small Sample of Fuzzy Input Data / **O. V. Seraya, D. A. Demin** // *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2012. – 44. – 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40.
10. **Крушель, Е. Г.** Обработка экспериментальной информации. Лабораторный практикум: учеб. пособие / **Е. Г. Крушель, А. Э. Панфилов, И. В. Степанченко**. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2014. – 55 с.
11. **Зайцев, И. Д.** Производство соды / **И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев**. – М.: Химия. – 1984. – 312 с.
12. **Betts, J. T.** Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming: These of reports / **J. T. Betts** // *SIAM, second edition*. – 2010. – 23-25. – doi: 10.1137/1.9780898718577.
13. **Lipovetsky, S.** Multiple Regression in Pair Correlation Solution / **S. Lipovetsky** // *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. – 8. – 122-131. – doi: 10.22237/jmasm/1241136600.
14. **Бобух, А. А.** Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография / **А. А. Бобух, Д. А. Ковалев**; под ред. А. А. Бобуха. – Х.: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова. – 2013. – 226 с.
15. **Бобух, А. А.** Выбор и оптимизация критерия управления объектом абсорбции-десорбции производства кальцинированной соды / **А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, М. А. Подустов, А. Н. Переверзева** // *Щоквартальний науково-практичний журнал*

«Інтегровані технології та енергозбереження». Видавничий центр НТУ «ХПІ». – 2015. № 4. – С. 72–81.

Bibliographi (transliterated)

1. **Charlie, C., Wang, L.** Recent technology in design and manufacturing automation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2013, **26**, doi: 10.1080/0951192X.2012.731615.
2. **Frederic, D.** Systems modeling: analysis and operations research. *Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online*, 2010, **6**, 147–180, doi: 10.1002/9780470590621.ch6.
3. **Sovetov, B. Ya., Yakovlev, S. A.** Matematicheskoe modelirovanie. M.: Vysshaya shkola, 2001, 343.
4. **Stepashko, V. S., Kocherga, Yu. V.** Metody i kriterii resheniya zadach strukturnoy identifikatsii. *Avtomatika*, 1985, **5**, 29–37.
5. **Yeliseyeva I.I.** Statistika / **I. I. Yeliseyeva**. M.: TK Velby, 2005, 448.
6. **Yefimova, M. R., Petrova, E. V., Rumyantsev, V. N.** Obschaya teoriya statistiki. – M.: INFRA-M, 2007, 416.
7. **Kobzar, A. I.** Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. M.: FIZMALIT, 2006, 816.
8. **Chang, Y.-H. O., Ayyub, B. M.** Fuzzy regression methods—a comparative assessment. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, **119** (2), 187–203. doi:10.1016/s0165-0114(99)00091-3.
9. **Seraya, O. V., Demin, D. A.** Linear Regression Analysis of a Small Sample of Fuzzy Input Data. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2012, **44**, 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40.
10. **Krushel, E. G., Panfilov, A. E., Stepanchenko, I. V.** Obrabotka eksperimentalnoy informatsii. Laboratorniy praktikum : ucheb. posobie. Volgograd : IUNL VolgGTU, 2014, 55.
11. **Zaytsev, I. D., Tkach, G. A., Stoev, N. D.** Proizvodstvo sodyi. – M.: Khimiya, 1984, 312.
12. **Betts, J. T.** Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming : These of reports. *SIAM, second edition*, 2010, 23-25, doi: 10.1137/1.9780898718577.
13. **Lipovetsky, S.** Multiple Regression in Pair Correlation Solution. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, **8**, 122-131, doi: 10.22237/jmasm/1241136600.
14. **Bobukh, A. A., Kovalev, D. A.** Kompyuterno-integrirovannaya sistema avtomatizatsii tehnologicheskikh ob'ektov upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem: monografiya; pod red. A. A. Bobukha. – Kharkiv.: HNUGH im. A. N. Beketova, 2013, 226.
15. **Bobukh, A. A., Dzevochko, A. M., Podustov, M. A., Pereverzeva, A. N.** Vyibor i optimizatsiya kriteriya upravleniya ob'ektom absorbtzii-desorbtzii proizvodstva kaltsinirovannoy sodyi. *Schokvartalniy naukovopraktichniy zhurnal «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya»*. Vidavnichiy tsentr NTU «HPI». 2015, **4**, 72-81.

Відомості про авторів (About the Authors)

Переверзева Алевтина Миколаївна – аспірантка кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; e-mail: pereverzieva_alya@ukr.net.

Pereverzieva Alevtyna Mykolaivna – post-graduate student of Department of automation of the technological systems and ecological monitoring; National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; e-mail: pereverzieva_alya@ukr.net.

Бобух Анатолій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; e-mail: aabobukh@ukr.net.

Bobukh Anatoliy Alekseevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate professor of Department of automation of the technological systems and ecological monitoring; e-mail: aabobukh@ukr.net.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Переверзєва, А. М. Розробка математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди / **А. М. Переверзєва, А. О. Бобух** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 68-73. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11.

Pleas cite this article as:

Peveverzieva, A., Bobukh, A. Development of a mathematical model of statics of the technology saturation of the purified brine gas production soda. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 32 (1254), 68-73, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Переверзева, А. Н. Разработка математической модели статистики технологии насыщение очищенного рассола газами производства соды / **А. Н. Переверзева, А. А. Бобух** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 68-73. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.11.

АННОТАЦІЯ В статті розглянуті основні принципи розробки математичної моделі статистики технології насичення очищеного рассола газами виробництва соды і алгоритм методів парної кореляції і множинної регресії. Цей алгоритм використано для розрахунків по результатам пасивного експерименту, серед інших показувачів: коефіцієнтів парної кореляції між двома параметрами, які характеризують ступінь лінійної зв'язу між ними; невідомі коефіцієнти, які визначають значення коефіцієнтів множинної регресії; визначення множинної регресії (математичної моделі статистики) і коефіцієнта множинної кореляції через коефіцієнти парної кореляції між параметрами. Отримана математична модель статистики може бути використана для розробки вказаної комп'ютерно-інтегрованої технології на базі мікропроцесорних контролерів, буде сприяти ефективному функціонуванню і підвищенню енергозбереження в цілому виробництва кальцинованої соды.

Ключові слова: математична модель статистики; методи парної кореляції і множинної регресії; пасивний експеримент; комп'ютерно-інтегрована технологія.

Поступила (received) 10.09.2017