

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 681.3.06

Н. С. АЩЕПКОВА, В. О. БОГДАНОВ

ПОСЛІДОВНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Представлено результати експериментального дослідження системи керування якістю продукції зі спіненого полістиролу. Визначено статистичні параметри вибірки для прийняття рішення про відповідність партії виробів стандартам якості. Представлено результати чисельного рішення задачі послідовного аналізу якості продукції з використанням Mathcad. Застосування розробленого програмного забезпечення дозволяє по початкових даних здійснити перевірку гіпотез, визначити мінімальний обсяг партії перевіряємих виробів, визначити сумарну кількість дефектних виробів, оперативну характеристику $L(p)$ та функцію середнього числа спостережень за критерієм $E(p)$.

Ключові слова: вибірка, гіпотеза, імовірність, ухвалення рішення, критична область, допустимий ризик, метод послідовного аналізу.

Представлены результаты экспериментального исследования системы управления качеством продукции из вспененного полистирола. Определены статистические параметры выборки для принятия решения о соответствии партии изделий стандартам качества. Представлены результаты численного решения задачи последовательного анализа качества продукции с использованием Mathcad. Применение разработанного программного обеспечения позволяет по начальным данным провести проверку гипотез, установить минимальный объем партии проверяемых изделий, определить суммарное число дефектных изделий, оперативную характеристику $L(p)$ и функцию среднего числа наблюдений по критерию $E(p)$.

Ключевые слова: выборка, гипотеза, вероятность, принятие решения, критическая область, допустимый риск, метод последовательного анализа.

This article discusses the development of quality control system for foamed polystyrene products. An important factor is the significant quality dependence of the finished product on careful implementation of all requirements of the technology, because even the slightest dryness of polystyrene foam can cause rejection of the entire batch of products. The aim of the article is the use of statistical methods for quality control. Statistical sampling parameters to decision-making for compliance of batch of products to quality standards are determined using tabular and graphical method of sequential analysis. To ensure product quality manufacturing process includes the quality control of raw materials; control of multicomponent system parameters "temperature-pressure" in the foam maker; time exposure control in silos and quality control of the finished product. Technical controls of product quality use selective ultrasound diagnosis and photography of end surfaces of the products. The results of the experimental research of quality control system of foam polystyrene are shown. Statistical sampling parameters to decision-making for compliance of batch of products to quality standards are defined. The results of the numerical solution of the problem of consistent product quality analysis are shown using Mathcad. Applications of developed software allows for the original data to verify the hypotheses, determine the minimum amount audited batch of products party, determine the total number of defective products, operational characteristics $L(p)$ and function of the average number of observations by criterion $E(p)$.

Keywords: sampling, hypothesis, probability, decision-making, critical region, allowable risk, method of sequential analysis.

Вступ. Пріоритетним напрямком у розвитку виробництва є механізація й автоматизація, впровадження нової техніки й сучасних методів контролю якості продукції. Комплекс цих заходів допоможе знизити витрати, підвищити продуктивність праці й, відповідно, прибуток підприємства. Розглянуто виробництво оздоблювальних матеріалів з пенополістиролу (рис. 1). Пенополістирол (пінопласт) - екологічно чистий матеріал, застосовуваний у будівництві вже

більше 40 років. Він має високу теплоізоляційну здатність, незалежно від кліматичних умов. Основними характеристиками пенополістиролу є:

екологічність,
температурна витривалість,
абсолютна вологостійкість,
довговічність,
простота в монтажі.

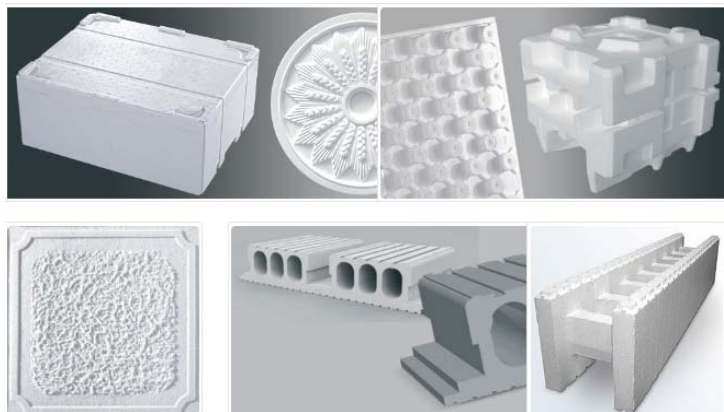


Рис. 1 – Вироби виготовлені з пенополістиролу

© Н. С. Ащепкова, В. О. Богданов. 2016

Спінений полістирол (ВПС) – це спеціальним способом спінений пластик, що містить дрібні пухирці повітря. Технологія виробництва пінопласту досить невибаглива, і може бути реалізована за наявності таких ресурсів:

кошти,
 трудові ресурси,
 сировина,
 пар,
 електричний струм,
 вода.

Важливим фактором є суттєва залежність якості кінцевої продукції від ретельного виконання всіх вимог технології, оскільки навіть найменше пересушування пінопласту може стати причиною відбракування всієї партії продукції. Тому розробка системи контролю якості продукції для даного виробництва є актуальною задачею.

Об'єкт дослідження. Для забезпечення якості виробів технологічний процес містить вхідний контроль якості сировини; керування параметрами багатозв'язної системи «температура-тиск» у вспінювачі; керування часом витримки у силосах і контроль якості готової продукції. Технічні засоби контролю якості готової продукції застосовують вибірку ультразвукової діагностики та фотографування торців виробів. Однак, постає задача визначити статистичні параметри вибірки для прийняття рішення про відповідність партії виробів стандартам якості.

Метод дослідження статистичних параметрів вибірки для прийняття рішення про відповідність партії виробів стандартам якості. Якість продукції будемо вважати достатньою [1, 2], якщо ймовірність відповідності якості буде становити $W \geq 0,8$. Однак з ймовірністю $\alpha < 0,02$ припустимо ухвалення рішення про те, що продукція відповідає нормам, хоча ймовірність відповідності якості $W < 0,7$. Ймовірність α - це ймовірність влучення вибірки в критичну область W обчисленої при гіпотезі H_0 . З іншого боку, з ймовірністю $\beta \leq 0,03$ також припустимо ухвалення рішення про те, що продукція не відповідає необхідній якості, хоча $W > 0,9$. Ймовірність β - це ймовірність невлучення вибірки в область W , обчисленої при гіпотезі H_1 . Таким чином, потрібно перевірити якість продукції при:

$p_0 = 1 - 0,9 = 0,1$ - верхня границя області прийняття й відхилення перевіряємої гіпотези;

$p_1 = 1 - 0,7 = 0,3$ - нижня границя області прийняття й відхилення перевіряємої гіпотези.

Потрібно побудувати оперативну характеристику $L(p)$ і функцію середнього числа випробувань $E(p)$.

Оперативна характеристика критерію $L(p)$ визначає ймовірність того, що процес закінчиться прийняттям перевіряємої гіпотези H_0 . Вона є функцією невідомого параметра розподілу випадкової величини p . Оперативна характеристика показує, наскільки правило перевірки відповідає ухваленню правильного рішення.

Функція середнього числа спостережень за критерієм $E(n)$ характеризує середнє число спостережень

п для заданого критерію й залежить тільки від параметру p .

Скористаємось методом послідовного аналізу, який є одним з методів статистичного дослідження при перевірці гіпотез [1, 4, 6, 9]. Після кожної перевірки здійснюється аналіз всіх попередніх значень контрольованого параметру виробу й приймається одне із трьох можливих рішень. Визначимо три парно-непересічні області R_{m0} , R_{m1} і R_m безлічі всіх імовірних вибірок (x_1, \dots, x_m) обсягом m , таких, що якщо вибірка, починаючи з $m = 1$, потрапила в область R_{m0} , то приймається гіпотеза H_0 ; якщо в область R_m - то експеримент триває й проводиться чергове випробування ($m + 1$).

Область R_{m1} називається критичною областю W і однозначно визначається помилками двох видів. Помилка першого виду: якщо відхиляється гіпотеза H_0 , у той час як вона істинна. Помилка другого роду: якщо гіпотеза H_0 приймається, у той час як істинна конкуруюча гіпотеза H_1 .

Ймовірність помилки першого роду дорівнює α - ймовірності влучення вибірки в критичну область W при гіпотезі H_0 , а ймовірність помилки другого роду дорівнює β - ймовірності невлучення вибірки в область W при гіпотезі H_1 .

Ймовірності α і β допускають практичну інтерпретацію: при великій кількості вибірок частка помилкових значень дорівнює α , якщо вірна гіпотеза H_0 ; і дорівнює β , якщо вірна гіпотеза H_1 .

Процес послідовної перевірки характеризується [2, 3]:

допустимим ризиком, пов'язаним із прийняттям невірних рішень;

оперативною характеристикою послідовного критерію $L(p)$;

функцією середнього числа спостережень за критерієм $E(p)$;

конкретним послідовним критерієм перевірки статистичних гіпотез.

Допустимий ризик визначається вибором чотирьох характеристик [6, 9]:

помилки першого роду - α ;

помилки другого роду - β ;

верхньої границі області прийняття й відхилення перевіряємої гіпотези - p_0 ;

нижньої границі області прийняття й відхилення перевіряємої гіпотези - p_1 .

Помилки α і β , значення p_0 і p_1 вибираються на основі оцінки наслідків, до яких приводить неправильне рішення: ймовірність забракувати партію виробів має не перевищувати величини α , коли істинне значення невідомого параметра $p \leq p_0$; і ймовірність прийняти партію не перевищувала β , коли $p \geq p_1$.

Математичне формулювання даного завдання: нехай x - випадкова величина, що може приймати тільки два значення - 0 і 1; і p - невідома ймовірність того, що x приймає значення 1. Потрібно перевірити гіпотезу H_0 про те, що p не перевищує деякої заданої величини p' . Величина p означає відносне число дефектних виробів у партії. При $p \leq p'$ партія приймається, при $p > p'$ - партія не приймається.

Допустимий ризик, визначається з наступних вимог: імовірність забракувати партію не перевищує заданої величини α , коли $p \leq p_0$; і ймовірність прийняти партію не перевищує β , коли $p \geq p_1$.

Помилка в прийнятті рішення означає що партія виробів вважається якісною при $p \geq p_1$, або партія виробів забракована при $p \leq p_0$. Якщо $p_0 \leq p \leq p_1$, то може бути прийняте будь-яке рішення. Допустимий ризик, характеризується числами p_0, p_1, α і β .

У середньому метод послідовного аналізу вимагає у два рази менше випробувань, ніж класичні методи перевірки гіпотез [5, 7, 8].

Аналіз якості продукції. Для розв'язання задачі перевірки якості виробів скористаємось табличним і графічним методом з використанням Mathcad [10].

Для рішення табличним методом [1, 3]:

1. Визначаємо значення приймального $a(m)$ і бракувального $r(m)$ чисел по формулах:

$$a(m) = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \cdot \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

$$r(m) = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}} + m \cdot \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}$$

2. Визначаємо сумарне число дефектних виробів $d(m)$ за формулою:

$$d(m) = \sum_{i=1}^m x_i$$

3. Визначаємо якість виробу, перевіряючи виконання нерівності

$$a(m) < d(m) < r(m):$$

- якщо $a(m) < d(m) < r(m)$ – випробування тривають;
- якщо $d(m) \geq r(m)$ – партія бракується;
- якщо $d(m) \leq a(m)$ – партія приймається.

Початкові умови: m - обсяг вибірки; $d(m) = f^x$ – фактична кількість бракованих виробів з вибірки обсягом m ; α - це ймовірність влучення вибірки в критичну область W обчисленої при гіпотезі H_0 ; β - це ймовірність невлучення вибірки в область W , обчисленої при гіпотезі H_1 . У табл. 1 наведено результати відповідних розрахунків.

Таблиця 1 – Розрахункові значення приймального $a(m)$ і бракувального $r(m)$ чисел

m	$\alpha(m)$	$d(m)$	$r(m)$	m	$\alpha(m)$	$d(m)$	$r(m)$	m	$\alpha(m)$	$d(m)$	$r(m)$
1	-2,396	0	3,062	11	-0,535	2	4,923	21	1,327	5	6,785
2	-2,21	0	3,248	12	-0,349	3	5,109	22	1,513	5	6,971
3	-2,024	1	3,434	13	-0,162	3	5,296	23	1,699	6	7,157
4	-1,838	1	3,62	14	0,024	3	5,482	24	1,885	6	7,343
5	-1,652	1	3,806	15	0,21	3	5,668	25	2,072	7	7,53
6	-1,466	1	3,992	16	0,396	3	5,854	26	2,258	7	7,716
7	-1,279	1	4,179	17	0,582	4	6,04	27	2,444	8	7,902
8	-1,093	2	4,365	18	0,768	4	6,226	28	2,63	8	8,088
9	-0,907	2	4,551	19	0,955	4	6,413	29	2,816	9	8,274
10	-0,721	2	4,737	20	1,141	5	6,599	30	3,002	10	8,46

При аналізі даних таблиці видно, що на двадцять сьомому випробуванні $d(m) \geq r(m)$, отже, партія бракується.

На рис. 2 представлені вихідні дані, розрахункові формули для визначення значень приймальних $a(m)$ і

бракувальних $r(m)$ чисел і результати визначення кількості дефектних виробів $d(m)$ після кожного випробування у табличному виді.

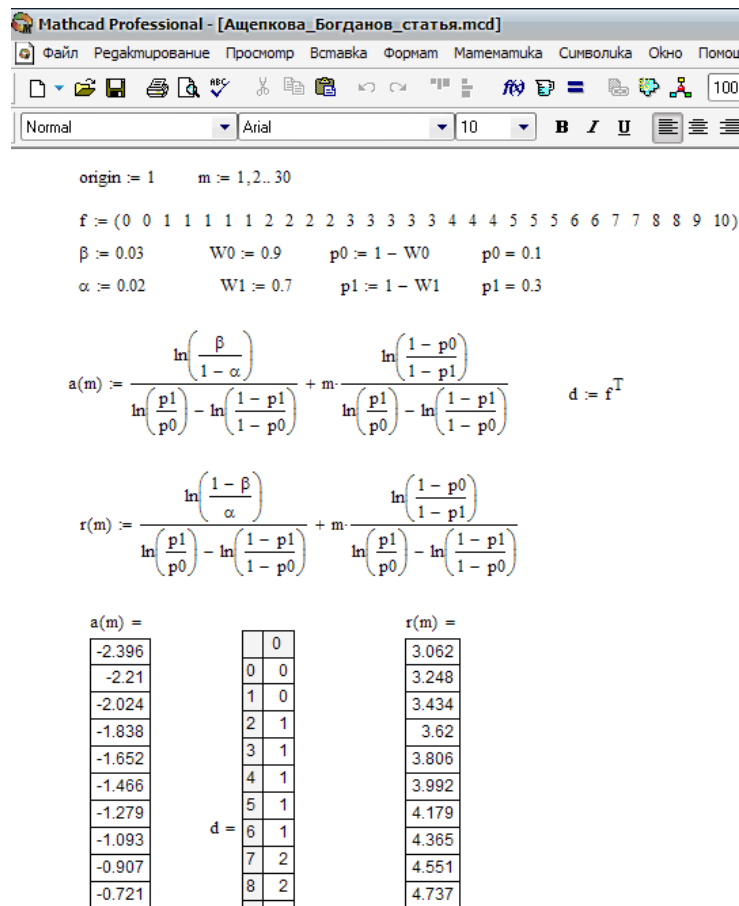


Рис. 2 – Результати рішення завдання послідовного аналізу якості виробів табличним методом за допомогою Mathcad.

Графічний метод передбачає зображення трьох областей [1, 3] у яких:

- партія бракується;
- випробування тривають;
- партія приймається.

Границями області є паралельні лінії $L0(m)$ і $L1(m)$, які називають лініями рішення (рис. 3).

Графічний метод містить наступні етапи:

1. Визначаємо кутовий коефіцієнт ліній рішення S по формулі:

$$S = \frac{\ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) - \ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)},$$

S=0,186;

2. Визначаємо вільні члени ліній рішення $h0$ і $h1$ по формулах:

$$h0 = \frac{\ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) - \ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)},$$

h0=-2,583;

$$h1 = \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) - \ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)},$$

h1=2,875;

3. Визначаємо рівняння ліній рішення $L0(m)$ і $L1(m)$:

$$L0(m) = h0 + S \cdot m = -2,583 + 0,186 \cdot m;$$

$$L1(m) = h1 + S \cdot m = 2,875 + 0,186 \cdot m.$$

і зображуємо їх на графіку (рис. 3).

4. Визначаємо сумарну кількість дефектних виробів $d(m)$ за формулою:

$$d(m) = \sum_{i=1}^m x_i$$

і зображуємо їх на графіку (рис. 3).

5. Перевіряємо якість виробів після кожного випробування. Точка перетинання графіків $L0(m)$ і $L1(m)$ визначає сумарну кількість дефектних виробів.

На рис. 3 представлені результати рішення завдання графічним методом за допомогою Mathcad. Аналіз рис. 3 показує, що існує крапка перетинання ліній, яка описує сумарну кількість *дефектних* виробів, з верхньою лінією рішення. На 27-ому випробуванні $d(m) \geq L0(m)$, отже, партія бракується.

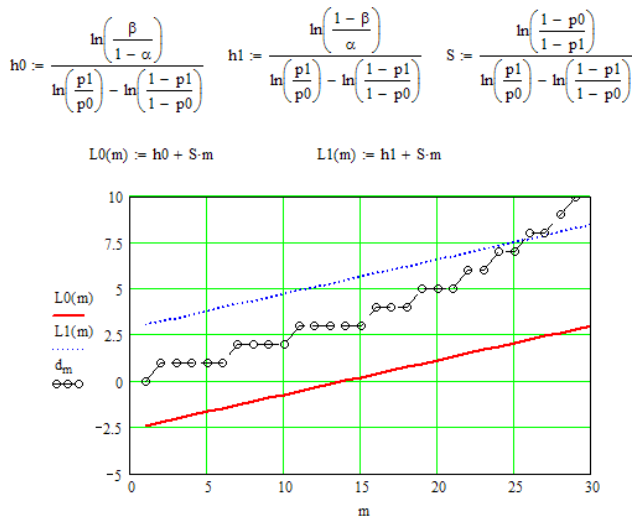


Рис. 3 – Результати рішення завдання послідовного аналізу якості виробів графічним методом за допомогою Mathcad.

Побудуємо оперативну характеристику критерію $L(p)$ по п'яти значеннях p . Згідно з умовою ці значення будуть відповідно рівні:

- для $p = 0$ $L(p) = 1$;
- для $p = p_0$ $L(p) = 1 - \alpha = 1 - 0,02 = 0,98$;
- для $p = S$ $L(p) = h_1 / (h_1 + |h_0|) = 2,875 / (2,875 + |-2,58|) = 0,527$;
- для $p = p_1$ $L(p) = \beta = 0,03$;
- для $p = 1$ $L(p) = 0$.

$$E_1 := \frac{\ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)} \quad E_2 := \frac{(1-\alpha) \cdot \ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) + \alpha \cdot \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{p_0 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + (1-p_0) \cdot \ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)} \quad E_3 := \frac{-\ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) \cdot \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) \cdot \ln\left(\frac{1-p_0}{1-p_1}\right)}$$

$$E_4 := \frac{\beta \cdot \ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) + (1-\beta) \cdot \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{p_1 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + (1-p_1) \cdot \ln\left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)} \quad E_5 := \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right)} \quad E := \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \end{pmatrix}$$

$$E^T = (13.872 \quad 28.705 \quad 49.014 \quad 23.822 \quad 3.533)$$

$$p^T = (0 \quad 0.1 \quad 0.186 \quad 0.3 \quad 1)$$

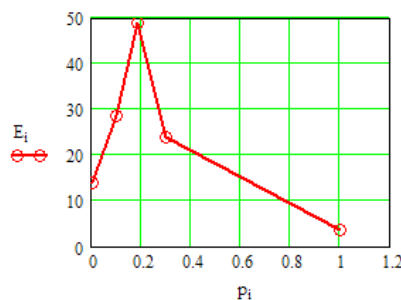


Рис. 5 – Графік функції середнього числа спостережень за критерієм $E(p)$ по п'яти значеннях p .

Висновки

Застосування розробленого програмного забезпечення дозволяє здійснити перевірку гіпотез, визначити мінімальний обсяг партії перевіряємих виробів. Застосування Mathcad дозволяє по початкових даних майже миттєво здійснити послідовний аналіз якості виробів: визначити сумарну кількість дефектних ви-

робів, оперативну характеристику $L(p)$ та функцію середнього числа спостережень за критерієм $E(p)$.

$$LL_1 := 1 \quad LL_2 := 1 - \alpha \quad LL_3 := \frac{h_1}{(h_1 + |h_0|)} \quad LL_4 := \beta \quad LL_5 := 0$$

$$p := \begin{pmatrix} 0 \\ p_0 \\ S \\ p_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad LL := \begin{pmatrix} LL_1 \\ LL_2 \\ LL_3 \\ LL_4 \\ LL_5 \end{pmatrix} \quad i := 0, 1, \dots, 4$$

$$p^T = (0 \quad 0.1 \quad 0.186 \quad 0.3 \quad 1) \quad LL^T = (1 \quad 0.98 \quad 0.527 \quad 0.03 \quad 0)$$

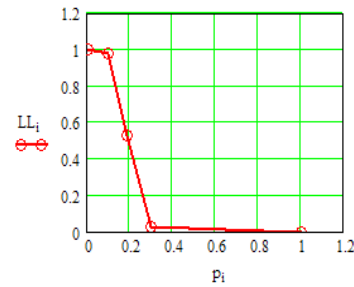


Рис. 4 – Графік оперативної характеристики $L(p)$

На рис. 5 зображений графік функції середнього числа спостережень за критерієм $E(p)$ по п'яти значеннях p .

робів, оперативну характеристику $L(p)$ та функцію середнього числа спостережень за критерієм $E(p)$.

Список літератури:

1. Абрамов, В. А. Сертификация продукции и услуг. Практическое пособие [Текст] / В. А. Абрамов. – М.: Ось – 89, 2001. – 288 с.
2. Бабаевский, Л. Е. Управление качеством: Учебник [Текст] / Л. Е. Бабаевский, В. Б. Протасев. – М.: Инфра-М, 2001. – 212 с.

3. *Варакута, С. А.* Управление качеством продукции [Текст] / С. А. Варакута. – М.: Инфра-М, 2001. – 207 с.
 4. *Огвоздин, В. Ю.* Управление качеством. Основы теории и практики. Учебное пособие [Текст] / В. Ю. Огвоздин. – М.: Дело и сервис, 2002. – 160 с.
 5. *Окрепшилов, В. В.* Всеобщее управление качеством [Текст] / В. В. Окрепшилов. – СПб.: Изд-во СПб УЭФ, 1996. – 454 с.
 6. *Ноулер, Л.* Статистические методы контроля качества продукции [Текст] / Л. Ноулер. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 111 с.
 7. Управление качеством: Учебник для вузов [Текст] / Под ред. С. Д. Ильенковой. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 111 с.
 8. Управление качеством продукции: Учеб. пособие [Текст] / Под ред. В. И. Гиссина. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 256 с.
 9. Статистические методы повышения качества. Пер. с англ. [Текст] / Под ред. Хитоси Куме. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 304 с.
 10. *Кудрявцев, Е. М.* Mathcad 2000 Pro [Текст] / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс. – 2001. – С. 555–564.
1. Abramov, V. (2001). Sertyfykatsiya produktsyy u usluh. Prakticheskoe posobyе. Moscow: Os – 89, 288.
 2. Babaevskiy, L.; Protasev, V. (2001) Upravlenye kachestvom: Uchebnyk Moscow: Ynfra–M, 212.
 3. Varakuta, S. (2001). Upravlenye kachestvom produktsyy. Moscow: Ynfra-M, 207.
 4. Ohvozdy, V. (2002). Upravlenye kachestvom. Osnovu teoryy u praktyky. Uchebnoe posobyе. Moscow: Delo y servys, 160.
 5. Okrepylov, V. (1996). Vseobshchee upravlenye kachestvom. SPb.: Yzd-vo SPb UEF, 454.
 6. Nouler, L. (1989). Statysticheskiye metody kontrolia kachestva produktsyy. Moscow: Yzd-vo standartov, 111.
 7. Ylenkova, S. (1998). Upravlenye kachestvom: Uchebnyk dlia vuzov. Moscow: Banky y byrzhzy, YuNYTY, 111.
 8. Hyssyn, V. (2000). Upravlenye kachestvom produktsyy: Ucheb. Posobyе. Rostov-na-Donu: Fenyks, 256.
 9. Kume, K. (2000). Statysticheskiye metodu povusheniya kachestva. Translation from English. Moscow: Fynansu y statystyka, 304.
 10. Kudriavtsev, E. (2001). Mathcad 2000 Pro. M.: DMK Press, 555–564.

Надійшла (received) 23. 03.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Послідовний аналіз якості продукції/ Н. С. Ащепкова, В. О. Богданов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 17(1189). – С.122–127. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Последовательный анализ качества продукции/ Н. С. Ащепкова, В. О. Богданов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 17(1189). – С.122–127. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

The consecutive analysis of production quality/ N. Ashhepkova, V. Bogdanov //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 17 (1189).– P.122–127. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ащепкова Наталья Сергеевна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра механотроніки, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Дніпропетровськ, Україна, 49010; e-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Ащепкова Наталья – кандидат технічних наук, доцент, кафедра мехатроніки, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,

пр. Гагарина, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; електронна пошта: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Ashhepkova Natalja – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of mechatronics, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University,

Gagarin av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, e-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Богданов Вячеслав Александрович – студент, кафедра механотроніки, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагарина, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

Богданов Вячеслав Олександрович – студент, кафедра мехатроніки, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагарина, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

Bogdanov Vyacheslav – student, Department of mechatronics, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010