

(one or more simultaneously) and, thus, exhibits its complex of properties. The task of the researcher is to plan the experimental studies so that the object in the course of its research maximally manifested its entire complex of properties, regardless of the internal structure of the investigated object, as well as the influence of these or other factors. Thus, the maximum reliability of the results of experimental studies in the conditions of random "noise" interference is ensured. Subsequently, multicriteria analysis of the basic plans and local transformations of each of them are carried out in order to select the most suitable for implementation at the request of the researcher. This is the second aspect of the methodology.

The third, and very important, aspect of research methodology is the development of adequate mathematical models [4], on the basis of which a favorable field is created for modeling and finding optimal conditions with the use of computer technologies. At this stage, taking into account the complexity of technological systems for the production of semi-finished products, paper and cardboard, a number of adequate mathematical models, suitable for modeling purposes, have been created.

Further stages of research work are the use of created mathematical models for modeling purposes. The task is to predict the levels of pollution of water flows of complex technological systems of paper and cardboard production with water-soluble organic, as well as mineral components under conditions of reduction of fresh water consumption from $40 \text{ m}^3 \setminus t$ to $10 \text{ m}^3 \setminus t$. This will give you an opportunity to determine the initial semi-finished products, a complex of auxiliary chemicals, as well as with the scheme of return water use.

Key words: methodology, mathematical models, model adequacy, modeling, paper and cardboard production, organic water-soluble substances.

References:

1. Kikot V.S., Ploskonos V.G. (1986) Identification of characteristics of complex design systems using self-organization and topological method of analysis, *Automatics*, №3, pp. 34-42.
2. Ivakhnenko A.G. Long-term forecasting and control of complex systems (1976), K.: "Tehnika", 311 p.
3. Ploskonos V.G. (2018) The use of computer technologies in the development of plans for experimental research of complex technological systems for the production of paper and cardboard // *International scientific journal "Internauka"*, № 21 (61), vol.3, pp. 50-54. DOI: 10.25313 / 2520-2057-2018-21-4428.
4. Ploskonos V.G. Synthesis of mathematical models using computer technologies to predict the levels of pollution of water flows of technological systems of paper and cardboard production (2019), *International scientific journal "Internauka"*, No. 12 (74), pp.34-38, DOI: 10.25313 / 2520-2057-2019-12-5186.

УДК 681.5+004.8

**САЗОНОВ А. Ю., к.т.н., доц. ¹; СЛІПЧЕНКО В. О., магістрант ¹; ПРИВАЛА С. М., магістрант ¹;
ЧЕРЕПАНСЬКА І. Ю., д.т.н., проф. ²**

**¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

²Поліський національний університет

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКТІВ ЗІ СКЛА

Рішень в галузі виробництва скляних об'єктів, з функцією впливу на технологічний процес з метою підвищення продуктивності виробництва наразі немає, тому автоматизація керування якістю готової продукції шляхом розроблення та використання експертної системи є актуальним завданням.

Досягнення мети запропоновано шляхом розробки та впровадження експертної системи автоматизованого керування якістю продуктів за скла. Для реалізації даної експертної системи розроблено програмне забезпечення; при формуванні експертної бази знань обрано метод оцінки факторів шляхом ранжування; також використано метод розрахунку «ваги» думок експертів; запропоновано підхід до визначення «адекватності» експертів, що полягає у застосуванні методу Романовського; використовується оцінка узгодженості ранжування факторів експертами за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла.

Використання досвіду багатьох експертів для аналізу причин виникнення дефектів у скляній продукції, підвищує точність та достовірність отриманих даних, у порівнянні з використанням засобів з одним джерелом. Розроблене програмне забезпечення з інтегрованою експертною системою не потребує інсталяції і реалізоване у вигляді виконуваного файлу, що дозволяє використання розробку на більшості сучасних та застарілих комп'ютерів на виробництвах, навіть за умови відсутності Інтернету. Програма визначає оптимальну кількість експертів шляхом аналізу опитувань, проведених з невеликою базовою вибіркою експертів. Взаємодія програмного забезпечення з експертами відбувається шляхом заповнення ними таблиць опитувань у форматі Excel, що є засобом, доступним на більшості комп'ютерів, чим підвищує універсальність розробки. Після завантаження заповнених таблиць в програму, виконується їх обробка. Для цього застосовується комбінація з різних статистичних методів обробки інформації, що дозволяє врахувати всі особливості поставленої мети та надати результати в оптимальній формі. Після обробки опитувань програмою, виконується формування продукційних правил. Отримання інформації про кожен конкретний досліджуваний об'єкт виконується шляхом завантаження в програму технічного файлу, отриманого від системи детектування дефектів. Програма зчитує з файлу дані про параметри, тип та кількість дефектів, на основі чого, використовуючи продукційні правила, виносить вердикт про належність конкретного об'єкту до браку, та формує рекомендації щодо коригування технологічного процесу, для підвищення рівня якості продукції. Згенерована інформація виводиться на екран у вигляді сповіщення оператору, а також може бути збережена у текстовий файл. Далі, оператор, на основі отриманих даних приймає рішення щодо утилізації браку та внесення змін у технологічний процес.

Застосування розробленого програмного забезпечення дозволяє реалізувати можливість ефективного використання даних, що отримуються під час детектування дефектів.

Ключові слова: експертна система, автоматизація керування якістю, продукція зі скла, адекватність експертів, визначення кількості експертів.

DOI: 10.20535/2617-9741.1.2020.207971

© Сазонов А. Ю., Сліпченко В. О., Привала С. М., Черепанська І. Ю., 2020.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного суспільства характеризується підвищенням вимог до якості будь-якої продукції, при цьому виробники зі скла не виняток. І це, в свою чергу, змушує виробників вдаватися до постійного вдосконалення технологій та технологічного обладнання. Так, використання технологічного обладнання для контролю якості використовується в багатьох галузях проте таке обладнання не реалізує керування технологічним процесом за показниками якості. Забезпечення керування якістю обумовлено вимогами стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 [1]. На сьогодні, виявлення дефектів готового продукту автоматизованими системами використовується для уникнення потрапляння бракованої продукції у роздрібну мережу до споживача, проте отримана інформація про наявність, розміри та кількість дефектів у більшості випадків ніяк не використовується для коригування технологічного процесу.

Аналіз попередніх досліджень. Невирішеною частиною наукової проблеми є відсутність будь-яких розробок систем, з функцією впливу на технологічний процес в галузі виробництва скляних об'єктів з метою коригування технологічного процесу. Задля реалізації такої системи, проведено аналіз існуючих досліджень в галузі розробки експертних систем, зокрема [2-8]. Більшість методів розв'язання задач з налаштування, математичного і статистичного опису експертних систем, що представлені в [4,5,7], неможливо використовувати під час досягнення поставленої мети, оскільки специфіка галузі виробництва продуктів зі скла, накладає певні обмеження і умови, що не враховуються повною мірою в наведених джерелах. Однак, комбінація деяких місцевих рішень, які запропоновані авторами [2-3] та [5-7] дозволили сформулювати мету роботи.

Метою роботи є автоматизація керування якістю готової продукції шляхом розроблення та використання експертної системи для підвищення продуктивності виробництва.

Виклад основного матеріалу. Експертна система (ЕС) – це складний програмний комплекс, який реалізує функції експерта для розв'язування задач у певній предметній галузі і тиражує цей емпіричний досвід для консультацій менш кваліфікованих користувачів. В ролі експертів виступають компетентні особи, що мають досвід роботи та ґрунтовні знання про взаємозв'язки різних виробничих параметрів.

Розроблена ЕС має відповідати за побудову продукційних правил, на основі яких буде відбуватися формування висновків щодо належності конкретної одиниці готової продукції до браку та генерування

рекомендацій оператора технологічному персоналу, щодо необхідних коригувань технологічного процесу задля підвищення рівня якості продукції. Наразі існують різні методики побудови продукційних правил, зокрема нечітка логіка, нейромережеві підходи, ЕС тощо. В даному випадку використання ЕС для генерації продукційних правил обумовлено тим, що при керуванні якістю виробів зі скла необхідним є врахування думок експертів у даній галузі. На рис. 1 зображено структурну схему розробленої ЕС. Експертні системи повинні задовольняти ряд вимог, що до них висуваються, так зокрема їх інтерфейс повинен бути мінімалістичним та інтуїтивно зрозумілим для більшості компетентних інженерно-технологічних працівників. Це важливо для того, щоб підприємство не було зобов'язане виконувати специфічну підготовку персоналу для роботи з ЕС. Таким чином, працівники які володіють відповідними знаннями щодо технологічного процесу цілком, та мають доступ до впливу на певні технологічні процеси, вже потенційно можуть використовуватися в якості оператора ЕС, за умови наявності базових знань та вмінь з використання комп'ютерної техніки [2].

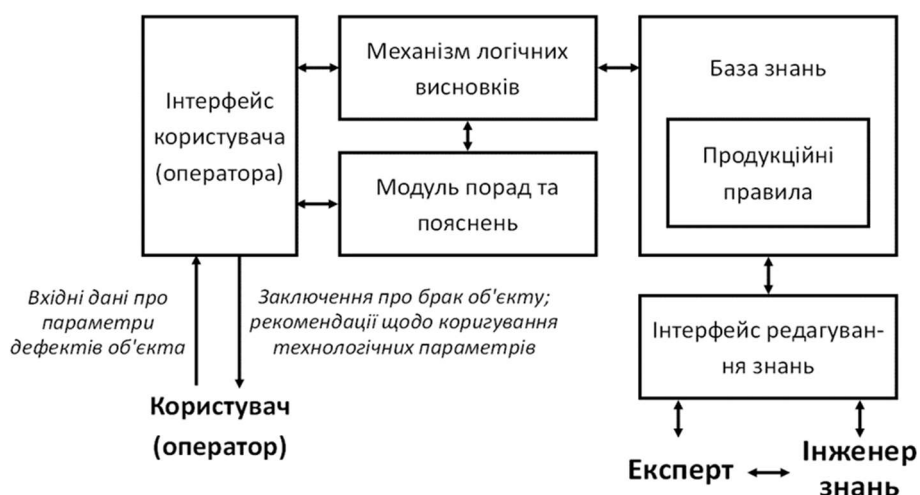


Рис. 1 – Структурна схема розробленої ЕС

Також важливою складовою для реалізації ЕС – є її універсальність в контексті можливості використання на комп'ютерах з різними характеристиками. Відсутність з'єднання з мережею Інтернет на багатьох виробництвах, також накладає вимоги щодо максимальної автономності роботи розробленого ПЗ.

Враховуючи наведені умови, в якості програмного рішення обрано реалізацію ЕС мовою C# на базі .NET Framework. Такий підхід дозволяє створити ПЗ що не потребує інсталяції. За умови засилля використання операційної системи (ОС) Windows, в тому числі її застарілих версій, на сучасних українських підприємствах, а також відсутність Інтернету – подібна реалізація ЕС набуває ще більшої актуальності, оскільки ПЗ розроблене на базі .NET Framework є в першу чергу Windows-орієнтованим ПЗ, незалежним від Інтернет-з'єднання.

ПЗ з інтегрованою ЕС представляє собою виконуваний .exe файл, що може бути розташовано на робочому персональному комп'ютері (ПК) в будь-якому місці. Файл займає не більше 10 Мб постійної пам'яті. Під час роботи ПЗ навантаження на оперативну пам'ять комп'ютера є незначним, у порівнянні з більшістю сучасних програмних засобів: в активному режимі, процеси розробленого ПЗ потребують, як правило, не більше 50 Мб оперативної пам'яті.

Основною складовою побудови БЗ в ЕС є визначення компетентності та збір знань експертів. Як оптимальний варіант, що надає зручність та автономність реалізації цієї задачі, зберігаючи рівень якості визначення компетентності експертів та збору їх знань, було обрано метод анкетування. Експерти для подальшого анкетування визначаються за допомогою особистої співбесіди та консультацій з їх колегами. У разі, якщо компетентність «потенційного експерта», в результаті цих дій вважається такою, що може задовольнити потреби ЕС – цю людину відносять до категорії «експерт».

Як вказувалося вище, однією з важливих складових ефективної роботи системи є універсальність її використання. Саме тому, анкети експертів розроблено за допомогою засобу Microsoft Office Excel, що

дозволяє представляти їх у вигляді .xls або .xlsx файлів (файлів книг Excel), що можуть бути відкриті і заповнені на більшості сучасних та застарілих комп'ютерів, навіть без доступу до мережі Інтернет.

Пусту анкету експерта передають кожному з заздалегідь визначених експертів за допомогою мережі Інтернет або фізичного носія. Після отримання анкети експерта, він має заповнити її. Анкета, представлена у вигляді книги Excel, що містить 4 листи. Перший лист називається «*Особисті дані*» і відповідно розрахований на заповнення експертом особистих даних. Поля для заповнення з цього листа мають містити наступну інформацію: прізвище, ім'я, по-батькові, стать, дата народження, місце роботи, посада, контактний телефон та контактний e-mail. Надалі ці дані можуть бути використані для зв'язку з експертом у разі необхідності.

Наступний лист називається «*Опитування 1*» і його заповнення має на меті визначити рівень компетентності. Експерт має заповнити лист, обираючи для кожного пункту одну з запропонованих зі списку відповідь. Кожен пункт у тій чи іншій мірі є критерієм компетентності експерта, які було обрано, виходячи зі специфіки галузі. Пункти та варіанти відповідей для них наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

Питання	Варіанти відповідей
Рівень освіти	Магістр; спеціаліст; бакалавр; середня освіта
Стаж роботи в галузі виробництва скляних об'єктів	Відсутній; до 2 років; 2-5 років; 6-10 років; більше 10 років
Найвища керівна посада при роботі в галузі	Вища керівна; проміжна керівна; відсутня керівна посада
Найвища інженерно-технічна посада при роботі в галузі	Вища інженерно-технічна; проміжна інженерно-технічна; початкова інженерно-технічна; обслуговуюча
Досвід участі в подібних експертизах	Брав участь; не брав участь
Досвід роботи в даній галузі за кордоном (ЄС, Японія, США, Канада, Китай, ОАЕ) або на іноземних підприємствах в Україні	Відсутній; до 1 року; 1 рік і більше; досвід в інших країнах
Досвід проведення наукових досліджень в даній галузі	Наявний; відсутній
Наявність діючих патентів та розробок експерта, що наразі використовуються на виробництвах в даній галузі	Використовуються в Україні; використовуються за кордоном (ЄС, Японія, США, Канада, Китай, ОАЕ); використовуються за кордоном (інші країни); використовуються в кількох країнах відсутні
Наявність Українських винагород в даній галузі	Наявні; відсутні
Наявність Міжнародних винагород в даній галузі	Наявні; відсутні

Лист «*Опитування 2*», що знаходиться далі, розроблено для визначення думки експертів щодо впливу технологічних параметрів на утворення дефектів у виробках зі скла. Враховуються такі технологічні параметри, як якість та кількість сировини різного типу, її однорідність; основні температурні та часові параметри процесу виробництва. Принцип заповнення таблиці, що знаходиться на цьому листі, засновано на одночасному горизонтальному ранжуванні.

Правила, за якими експерт має заповнювати цю таблицю, подаються наступним чином:

- Для кожного технологічного параметру, експерт встановлює силу його впливу на появу певного дефекту в продукті, за допомогою одночасного горизонтального ранжування.
- Розглядається вплив параметрів лише на кількість та розміри дефектів.
- Вважається, що сила впливу параметра – прямо пропорційна збільшенню кількості/розмірів дефектів.
- Чим сильніший вплив параметру на кількість/розмір дефекту – тим нижчий ранг.
- Горизонтальне ранжування розпочинається з рангу «1», і далі в порядку зростання рангу (тобто в порядку спадання впливу параметру).
- Якщо, на думку експерта, вплив однаковий на кілька характеристик – допускається повторення рангів (наприклад «2» та «2», відповідно наступний ранг буде «3»).
- Якщо, на думку експерта, деякі технологічні параметри взагалі не впливають на певні характеристики дефекту – для них встановлюється найвищий з послідовності експерта ранг (допускається повторення рангів).

Четвертий лист «Опитування 3» за структурою ідентичний попередньому із відмінністю яка полягає в тому, що він призначений для визначення думки експертів щодо залежності кожної з характеристик дефектів від всіх технологічних параметрів у виробі зі скла. Принцип заповнення таблиці, що знаходиться на цьому листі, засновано на одночасному вертикальному ранжуванні.

Правила, за якими експерт має заповнювати цю таблицю, подаються наступним чином:

- Для кожної характеристики дефектів, експерт встановлює силу їх залежності від технологічних параметрів, за допомогою одночасного вертикального ранжування.
- Розглядається лише залежність кількості та розмірів дефектів від технологічних параметрів.
- Вважається, що сила залежності характеристик дефектів від технологічних параметрів – прямо пропорційна збільшенню кількості/розмірів дефектів.
- Чим сильніша залежність на кількості/розміру дефекту від технологічного параметру – тим нижчий ранг.
- Вертикальне ранжування розпочинається з рангу «1», і далі в порядку зростання рангу (тобто в порядку спадання залежності характеристик дефектів від технологічних параметрів).
- Якщо, на думку експерта, залежність однакова для кількох характеристик – допускається повторення рангів (наприклад «2» та «2», відповідно наступний ранг буде «3»).
- Якщо, на думку експерта, деякі характеристики дефектів взагалі не залежать від певних технологічних параметрів – встановлюйте для них найвищий з Вашої послідовності ранг (допускається повторення рангів).

Після заповнення анкети, експерт має передати її за допомогою мережі Інтернет або фізичного носія на ПК, на якому присутнє розроблене ПЗ з інтегрованою ЕС, і який використовується оператором системи як робочий.

Робочий простір ПЗ з інтегрованою ЕС поділене на кілька частин, кожна з яких відповідає за певні налаштування або інформування оператора, за визначеною в заголовку частини тематикою.

Частина, що відповідає за формування бази знань (БЗ) ЕС, містить в собі інформацію про кількість експертів, що приймають участь в формуванні цієї БЗ, а також про кількість з них, що є адекватними. При натисканні на кнопку «Додати/Змінити» - відкривається вікно «Анкети експертів». В цьому вікні оператору надається можливість додати або видалити з робочого списку заповнені анкети експертів. Після завершення додавання всіх необхідних анкет, оператор має натиснути кнопку «Застосувати». В результаті чого виконується обробка отриманих даних.

Під час обробки анкет, буде встановлено відповідність кожній відповіді експерта на листі анкети «Опитування 1» у вигляді балів. Ранжування експертів виконується в залежності від сумарної кількості балів, що набрав експерт під час опитування. Чим вища сума балів експерта – тим вища його компетентність, і тим нижчий ранг експерта.

На основі результатів ранжування експертів виконується розрахунок «ваг» їх думок для подальшої можливості використання цього параметра у вигляді коефіцієнта δ до кожної відповіді експерта з технічної частини анкети. Найдосвідченішим експертом вважається той, у якого сума балів в результаті проходження «Опитування 1» буде найбільшою. Його думці надається «вага» $\delta_{max} = 2$. Думка найменш досвідченого експерта має «вагу» $\delta_{min} = 1$. «Ваги» думок (δ_j) інших експертів розраховуються за наступною формулою [3]:

$$\delta_j = a + cY_j, \quad (1)$$

де Y_j – сумарна кількість балів j -го експерта, $j = \overline{1, E}$, E – загальна кількість експертів, a, c – розрахункові коефіцієнти.

Знаючи суми балів експертів з найвищою (Y_{max}) і найменшою (Y_{min}) сумою балів, та маючи наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \delta_{max} = a + cY_{max} \\ \delta_{min} = a + cY_{min} \end{cases}, \quad (2)$$

можна розрахувати значення a та c і визначити «ваги» думок інших експертів, підставивши значення δ_{max} та δ_{min} та розв'язавши (2):

$$\begin{cases} 2 = a + cY_{max} \\ 1 = a + cY_{min} \end{cases},$$

Далі, враховуючи «вагу» думок експертів, виконується аналіз листів «Опитування 2» та «Опитування 3», результатом чого є розрахунок значення факторів, що являють собою коефіцієнти значущості взаємозв'язку кожного технологічного параметру та характеристики дефекту.

Також, у випадку, коли думка одного з експертів значною мірою відрізняється від усереднених оцінок інших – приймається гіпотеза H_0 про те що такий експерт вважається «неадекватним». Надалі, розрахункові дані, отримані з анкети, що відносяться до «неадекватних» експертів, не будуть брати участь в роботі програми, а в списку анкет експертів з'явиться відповідне позначення навпроти такої анкети.

Наведені в [4] методики неможливо застосовувати для підтвердження, або спростування гіпотези H_0 , оскільки в цьому джерелі не враховуються особливості поточної задачі, а їх інтегрування в представлені методики не є можливим. Вирішення цієї проблеми описується в [5], де використовується розрахунок на основі методу Романовського. Для кожного з i досліджуваних факторів j -м експертом, перевіряється наступна нерівність:

$$|x_{ij} - M_i| \geq t_{\text{табл}} S_i, \quad (3)$$

де x_{ij} – ранг, що був наданий i -му фактору j -м експертом, $i = \overline{1, N}$, N – загальна кількість факторів, M_i – математичне сподівання значення i -го фактору в сукупності оцінок всіх експертів, що розраховується за формулою (4), $t_{\text{табл}}$ – табличне значення критерію Стьюдента, що визначається за рівнем значущості $\alpha = 0,05$ та кількістю ступенів вільності k , що розраховується за формулою (5), S_i – середнє квадратичне відхилення оцінок i -го фактору, що обчислюється за виразом (6):

$$M_i = \frac{\sum_{j=1}^E x_{ij}}{E}, \quad (4)$$

$$k = E - 1, \quad (5)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^E (x_{ij} - M_i)^2}{E(E - 1)}}, \quad (6)$$

де x_{ij} – це ранг, що був наданий i -му фактору j -м експертом.

Якщо нерівність (3) виконується, то вважається, що експерт надав неадекватну оцінку i -му фактору. Якщо серед наданих експертом i оцінок, виявиться неадекватними більше 5% оцінок – гіпотеза H_0 підтверджується. В іншому випадку гіпотеза H_0 відкидається, і приймається гіпотеза H_1 про те що експерт «адекватний».

У випадку, коли великим розкидом думок характеризується не кілька експертів, а значна їх частина – можуть виникати серйозні похибки в сукупному формуванні БЗ. Саме тому, використовується оцінка узгодженості ранжування факторів за допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла [6]:

$$W = \frac{12S}{E^2(N^3 - N)}. \quad (7)$$

де S – це середнє квадратичне відхилення оцінки факторів, що обчислюється за виразом (4), E – загальна кількість експертів, N – загальна кількість факторів,

$$S = \sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^E x_{ij} - \frac{1}{2} E(N + 1) \right]^2, \quad (8)$$

x_{ij} – ранг, що був наданий i -му фактору j -м експертом з урахуванням його компетентності.

Коефіцієнт конкордації W змінюється в інтервалі від 0 до 1. Якщо $W = 1$, то це означає, що всі експерти присвоїли об'єктам однакові ранги. Чим ближче значення коефіцієнта W до нуля, тим менш узгодженими є оцінки експертів. Для даного дослідження було взято мінімальне значення $W_{\text{min}} = 0,95$. Якщо в результаті розрахунку (7) виконується умова $W \geq W_{\text{min}}$, то можна казати про узгодженість думок експертів. В іншому випадку, необхідно виконати узгодження думок, наприклад шляхом зібрання консиліуму, збільшення кількості експертів або взагалі заміни існуючого експертного складу.

Для проведення експертів основною проблемою є *визначення кількості експертів*, що мають бути залучені. В даному випадку виникає дві проблеми: перша – недостатня кількість експертів для прийняття обгрунтованого рішення за підсумками експертних оцінок; друга – залучається надто велика кількість експертів, що призводить до подорожчання самої процедури і збільшення часу на її проведення. Тому перед дослідниками стоїть питання про визначення мінімальної кількості експертів, при якому прийняте рішення

буде надійним. Необхідно чітко розуміти, що від визначеної кількості експертів буде залежати процедура проведення опитування і обсяг часу, витрачений на прийняття рішення [7].

В [2,4,5] це питання найчастіше зводиться до одного висновку: чим більше експертів, тим більш точне визначення майбутнього результату. Окрім того у [8] рекомендується обирати кількість експертів виходячи із деяких емпіричних залежностей. Проте основною думкою вважається, що «натовп», тобто велика кількість людей спрогнозують результати більш точно, ніж будь-який одиночний експерт. Отже задачею є визначення мінімальної кількості експертів, при якому результати експертиз можна визнати надійними.

Для розв'язання цієї задачі, виділимо з формули (7) кількість експертів E :

$$E = \sqrt{\frac{12S}{W(N^3 - N)}} \quad (9)$$

Згідно з дослідженнями [7], було виявлено, що цей вираз і описує мінімально необхідну кількість експертів E_{min} , що приймають участь в експертизі. Тобто, значення E_{min} можна визначити маючи розрахункове значення дисперсії $S_{розр.}$ і коефіцієнта конкордації $W_{min.}$:

$$E_{min} = \sqrt{\frac{12S_{розр.}}{W_{min}(N^3 - N)}} \quad (10)$$

Для отримання розрахункового значення $S_{розр.}$ необхідно виконати попередню експертизу, із залученням відносно невеликої базової кількості експертів $E_{баз.}$. Згідно із дослідженням [7], для подібної експертизи прийнятно використовувати $E_{баз.} = 10$. В результаті, через формулу (8) буде отримано $S_{розр.}$, значення якого буде прийнято як таке, що може описувати вибірку з різної кількості експертів в конкретній ситуації.

Якщо після підстановки $S_{розр.}$ в (10), отримане значення $E_{min} > E_{баз.}$, то до групи $E_{баз.}$ добираються додаткові експерти $E_{дод.}$ до виконання умови $E_{баз.} + E_{дод.} \geq E_{min}$ і тоді вважається, що $E_{баз.} + E_{дод.} = E$. В іншому випадку приймається, що $E_{баз.} = E$.

У випадку, коли в результаті обробки анкет, після натискання кнопки «Застосувати», в списку залишається менше E_{min} анкет адекватних експертів – оператору надходить сповіщення та подальша робота ПЗ блокується до виконання умов про мінімально допустиму кількість адекватних експертів.

У розробленому ПЗ також присутня частина, що відповідає за формування продукційних правил. При натисканні на кнопку «Змінити» в цій зоні, відкривається нове вікно, в якому сформовано продукційні правила на основі даних, отриманих з зони аналізу анкет експертів. Продукційні правила представляються у вигляді логічних пар «якщо – то», де в ролі умови виступають характеристики дефектів, а в ролі висновку – дію, яку рекомендовано виконати. В даному випадку діями є зміни технологічних параметрів процесу виготовлення скляних об'єктів. У разі необхідності, оператор може редагувати, додавати нові або видаляти продукційні правила.

Третьою частиною головного розробленого ПЗ, є аналітична зона, що відповідає за аналіз отриманих даних про дефекти у конкретному об'єкті. Дані про дефекти об'єкта подаються у вигляді технічного файлу, отриманого від системи детектування дефектів за допомогою Інтернету або фізичного носія. Для обробки цього файлу, оператор має натиснути кнопку «Додати дані про об'єкт». Після цього, ПЗ виконає зчитування даних з цього файлу; визначить належність продукту до браку і відповідно проінформує оператора; додасть основні дані про об'єкт в лог дослідження об'єктів. Однак, основною задачею цього блоку – є формування рекомендацій щодо необхідних змін в технологічному процесі, для підвищення рівня якості продукції. Цю задачу ПЗ реалізує за допомогою двох панелей рекомендацій: в одній відображаються рекомендації, засновані на аналізі одного об'єкта, а в іншій – на основі апроксимованого аналізу всіх досліджених об'єктів в поточній сесії. Також ці висновки та лог дослідження, за необхідністю, можна записати в текстовий файл, через натискання кнопки «Зберегти результати».

Висновки. Використання розробленого ПЗ з інтегрованою ЕС на підприємстві допоможе підвищити рівень продуктивності виробництва за рахунок автоматизації керування якістю готової продукції. Також, реалізоване ПЗ в автоматичному режимі дозволить визначати належність кожної одиниці до браку, що в свою чергу дозволить більш ефективно використовувати задіяні наразі значні людські ресурси, що спрямовані на контроль виробничого браку вручну.

Перспективи подальших досліджень. Розроблене ПЗ забезпечує вирішення проблем в галузі виробництва скляних об'єктів з певним рівнем точності. Отже перспективним буде доопрацювання ПЗ для

підвищення рівня точності надання рекомендацій щодо підвищення продуктивності виробництва, а також розробка та впровадження подібних ПЗ в інших виробничих галузях, що потребують розв'язання аналогічних задач.

Список використаної літератури

1. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 21 с.
2. Новосад В. П., Селіверстов Р. Г. Методологія експертного оцінювання: конспект лекцій. Київ: НАДУ, 2008. 48 с.
3. Ярошук Л. Д. Інтелектуальні системи управління: Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 136 с.
4. Потапов А. Н., Абу-Абед Ф. Н., Мартынов Д. В., Угловский Е. П. Реализация субъективных методов вероятностной оценки адекватности тренажеров на основе комплекса программ с привлечением экспертов и анкетированием обучаемых // Программные продукты и системы. 2016. № 3 (29). С.121.
5. Третьяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 171 с.
6. Черепанська І. Ю., Кирилович В. А., Сазонов А. Ю., Самотокін Б. Б. Планування, моделювання та верифікація процесів в гнучких виробничих системах: практикум. Навчально-методичний посібник до виконання практичних, лабораторних і самостійних занять студентів спеціальності 7.05020201, 8.05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами» всіх форм навчання / під. заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир: ЖДТУ, 2015. 274 с.
7. Рупосов В. Л. Методы определения количества экспертов // Вестник ИрГТУ. 2015. № 3 (98). С. 286.
8. Анфилов В.С., Емельянов А. А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: Учеб. Пособие / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.

Надійшла до редакції 27.04.2020

Sazonov A. Yu., Slipchenko V. O., Pryvala S. M., Cherepanska I. Yu.

THE EXPERT SYSTEM FOR AUTOMATED QUALITY CONTROL OF GLASS PRODUCTS

Glass production is one of the most important industrial field in Ukraine. There are no solutions in the glass manufacturing industry that affect production productivity improving. Therefore, automation of product's quality management by developing and use of expert system is the urgent task nowadays.

The goal achievement is proposed by the development and implementation of the Expert System of Glass Products Automated Quality Management. The Software has been developed for the implementation of the expert system; the method of estimating factors by their ranking was chosen in forming the expert knowledge base as well as the method for calculating "weight" of experts' opinions was also used; an approach is proposed to determine the "adequacy" of experts, which is based on the Romanovsky method; the estimation of the consistency of the ranking factors by experts at the basis of Kendall concordance coefficient is used.

Use the experience of experts to analyze the causes of defects in glass products, improves the accuracy and reliability of the data obtained, comparing to the single source use. The developed software with integrated expert system does not require installation and is implemented as an executable file, which allows use of development on most modern and outdated computers in the production facilities, even in the absence of the Internet. The program determines the optimal number of experts by analyzing surveys conducted with a small basic sample of experts. Software interacts with experts by filling in Excel spreadsheets, which is available for majority of computers, as well as increases development versatility. The tables are filled by the experts and uploading into the software, after that all uploaded data are processed. For this purpose a combination of different statistical methods of information processing which allows to take into account all the peculiarities of the set goal and to present the results in the optimal form are used. Production rules are formed after processing the polls by the software. Obtaining information about each specific object under study is performed by loading into the program a technical file obtained from the defect detection system. The program gets information about parameters from the file, which are e.g. type and number of defects which are the basis of production rules, makes a prediction on the identity of a particular object to the defect, and makes recommendations for adjusting the process, to improve the quality of products. The information generated is displayed

as a notification to the operator and can also be saved to a text file. Further, the operator, on the basis of the received data, makes a decision to recycle the defect and make changes in the technological process.

Application of the developed software makes it possible to realize the possibility of efficient use of the data obtained during defect detection.

Keywords: expert system, automation of quality management, glass products, adequacy of experts, determination of the number of experts.

References

1. DSTU ISO 9001:2015 (2016), “Quality management systems. Requirements.”, Kyiv, Ukraine.
2. Novosad V. P. and Seliverstov R. H. (2008), Metodolohiia ekspertnoho otsiniuvannia: konspekt leksii [Expert assessment methodology: lecture notes], Kyiv, Ukraine.
3. Yaroshchuk L. D. (2019), Intelktualni systemy upravlinnia: Ekspertni systemy – osnovy proektuvannia ta zastosuvannia v systemakh avtomatyzatsii : navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 “Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii” [Intelligent control systems: Expert systems – basics of design and application in automation systems: textbook tool for students specialty 151 “Automation and computer integrated technologies”], Kyiv, Ukraine.
4. Potapov A. N., Abu-Abed F. N., Martynov D. V. and Uglovskij E. P. (2016), “Implementation of subjective methods for the probabilistic assessment of the adequacy of simulators based on a set of programs involving experts and questioning of students”, Software & Systems, no 3 (29), pp. 121-128.
5. Tret'jak L. N. (2004), Obrabotka rezul'tatov nabljudenij: uchebnoe posobie [Processing observational results: tutorial], Orenburg, Russia.
6. Cherepanska I. Yu., Kyrylovych V. A., Sazonov A. Yu. and Samotokin B. B. (2015), Planuvannia, modeliuvannia ta veryfikatsiia protsesiv v hnuchkykh vyrobnychych systemakh: praktykum. Navchalno-metodychnyi posibnyk do vykonannia praktychnykh, laboratornykh i samostiinykh zaniat studentiv spetsialnosti 7.05020201, 8.05020201 «Avtomatyzovane upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy» vsikh form navchannia [Process planning, modeling and verification in flexible manufacturing systems: a workshop. Educational-methodical manual for the implementation of practical, laboratory and independent classes of students of specialty 7.05020201, 8.05020201 “Automated control of technological processes” of all forms of education], Zhytomyr, Ukraine.
7. Ruposov V. L. (2015), “Methods to determine a number of experts”, Vestnik IrGTU, no 3 (98), pp. 286-292.
8. Anfilatov B. C., Emel'janov A. A. and Kukushkin A. A. (2002), Sistemnyj analiz v upravlennii: Uchebnoe posobie [System analysis in management: training manual], Moscow, Russia.