

Zolotukhina Inna, PhD in Tech. Sc., Assoc. Prof., Department of Processes and Equipment Food and Hospitality-Restaurant Industry named after M. Belaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Золотухіна Інна Василівна, канд. техн. наук, доц., кафедра процесів та устаткування харчової і готельно-ресторанної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Perekrest Volodymyr, Assist., Donetsk National University of Economics and Trade named after M. Tugan-Baranovsky, Department of General Engineering Disciplines and Equipment. Address: Ostrowski str., 16, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005. Tel.: 0980717294; e-mail: vv-perekrest@yandex.ru.

Перекрест Володимир Вікторович, асист., кафедра загальноінженерних дисциплін і обладнання, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Адреса: вул. Островського, 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50005. Тел.: 0980717294; e-mail: vv-perekrest@yandex.ru.

Guzenko Vasilii, PhD in Tech. Sc., Senior lecturer, Department of Processes and Equipment Food and Hospitality-Restaurant Industry named after M. Belaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: kp87vasil@ukr.net.

Гузенко Василь Володимирович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., кафедра процесів та устаткування харчової і готельно-ресторанної індустрії ім. М.І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: kp87vasil@ukr.net.

DOI: 10.5281/zenodo.5036090

УДК 681.518

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПЕТ-ТАРИ

М.В. Сашньова, А.М. Загорулько

На основі інформаційної структури автоматизованої системи моніторингу якості розроблено систему аналізу інформації про якість формування ПЕТ-тари з можливістю статистичного управління технологічним процесом. Удосконалено модель автоматизованої системи

© Сашньова М.В., Загорулько А.М., 2021

моніторингу якості формоутворення ПЕТ-пляшок унаслідок поєднання функцій управління технологічним процесом формоутворення ПЕТ-тари та обробки отримуваної інформації. Запропонована модель забезпечує додаткове визначення та врахування рекомендацій стосовно способів усунення можливих дефектів для підвищення якості технологічного процесу формоутворення полімерної тари (Q_r).

Запропонована нечітка когнітивна карта для визначення запобіжно-коригувальних дій, спрямованих на усунення основних причин виникнення дефектів під час формоутворення пляшок. Ураховано взаємозв'язки чинників та їх наслідки для отримуваної якості процесу. Додаткове визначення та побудова дуг, що відповідають за причинно-наслідкові зв'язки між отримуваними чинниками, підтверджують ефективність дій, спрямованих на подолання та усунення основних можливих причин виникнення дефектів під час формоутворення.

Ключові слова: автоматизована система, інформаційна структура, алгоритм моніторингу якості, формоутворення, поліетилентерефталат.

IMPROVING AUTOMATED SYSTEMS OF MANUFACTURE PET CONTAINERS

M. Sashnova, A. Zahorulko

Based on the information structure of the automated quality monitoring system, a system for analyzing information on the quality of PET packaging with the possibility of statistical control of the technological process has been developed. An improved model of an automated system for monitoring the quality of PET bottle molding based on a combination of control functions of the technological process of PET packaging molding and processing of the received information. The proposed model provides additional definition and consideration of recommendations on ways to eliminate possible defects to improve the quality of the technological process of forming polymer containers (Q_r).

A fuzzy cognitive map is proposed to identify preventive and corrective actions aimed at eliminating the main causes of the defect in the formation of bottles, taking into account the relationship of factors and their consequences on the quality of the process. Additional definition and construction of arcs, which are responsible for the relationship of causal relationships between the resulting factors, confirm the effectiveness of actions aimed at overcoming and eliminating the main possible causes of defects in the formation.

An analysis of information about the quality of PET-packaging shape formation based on monitoring the information structure of an automated system would make it possible to ensure operative adjustment of shape forming parameters at the minimized percentage of defects by organizing selective control over the products made.

Keywords: automated system, information structure, quality monitoring algorithm, formation, polyethylene terephthalate.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Однією з основних технологічних операцій під час виробництва продуктів харчування є фасування в різноманітну тару, зокрема з поліетилентерефталату (ПЕТ) [1]. Попит на ПЕТ-тару обумовлюється потребою фасування більшості харчової продукції (напоїв, пастоподібних напівфабрикатів, порошкоподібної фракції тощо), виробленої на ресурсоефективному обладнанні [2]. Підкреслимо важливість розробки якісних пакувальних технологій із забезпеченням стабілізованих технологічних процесів виробництва на основі інформаційної структури і сучасних алгоритмів моніторингу. Саме якість ПЕТ-тари є одним із кінцевих результатів технологічного процесу та певною мірою залежить від ступеня автоматизації й дотримання стандартів геометричних форм. До основних дефектів можна віднести нерівномірну товщину стінок, зовнішнє зморщення та подовжню деформацію тощо.

Складність технологічного процесу виробництва потребує визначення обґрунтованого аналізу причин виникнення різноманітних дефектів (відхилення) із метою запобігання повторюваності за мінімальний проміжок часу. Оперативний контроль технологічного процесу виготовлення ПЕТ-тари на існуючих системах автоматизації в умовах дотримання міжнародних стандартів є актуальною проблемою. Складність дослідження зумовлюється формуванням узагальнюючої методології на основі методів моніторингу, вимірювань, аналізу та оцінки, що необхідні для забезпечення достовірності отримуваних ресурсоефективних результатів, тощо [3]. Крім того, актуальним є пошук інноваційних системних рішень, спрямованих на здійснення контролю за технологічними параметрами в умовах упровадження інформаційної структури автоматизованої системи моніторингу якості виробництва формують формувального поліетилентерефталату та отримуваної якості ПЕТ-тари. Зазначене підтверджує актуальність науково-практичних досліджень з удосконалення алгоритмів моніторингу формоутворення ПЕТ-тари на основі інноваційних методів контролю для мінімізації дефектів та забезпечення їх своєчасного усунення, а отже, формування ресурсоефективного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [4] наведено результати дослідження з формоутворення пляшок із використанням сучасного методу 3D-моделювання їх температурного розігріву, що дозволяє отримувати обґрунтовану їх поведінку під час формування. У роботі [5;6] представлено стратегію вибору технологічних параметрів, розроблену для двостадійного розтягування під тиском для мінімізації ваги використовуваних заготовок, засновану

на прогностичній моделі, розробленій за допомогою нейронних мереж. Запропоновані методи оптимізації двостадійного розтягування під тиском із використанням моделювання імітують процеси розігрівання та деформації з приблизним прогнозуванням розподілу товщини пляшки. Проте не розглядаються завдання моніторингу якості виробництва з можливістю включення їх у систему автоматизованого керування якістю, що дозволяють підвищити ефективність формоутворення ПЕТ-пляшок та ресурсозбереження. Причиною цього є складність перенесення результатів моделювання на нестійку реалістичну модель перебігу технологічного процесу формоутворення в реальному часі. Зазначене обумовлює доцільність розробки універсального моніторингового алгоритму якості.

У більшості автоматизованих систем для видування ПЕТ-пляшок відсутня можливість комплексної оцінки стану технологічного процесу, аналізу причин виникнення відхилень та впровадження коригувальних дій під час виробництва з метою запобігання їх повторній появі. Вищезазначене дозволяє стверджувати про доцільність проведення детальних досліджень, спрямованих на розробку моніторингових алгоритмів на основі коригувальних та запобіжних дій під час аналізу технологічних параметрів та їх впливу на отримувану якість.

Один зі способів усунення зазначених недоліків наведено в роботі [8] – керування якістю шляхом перенесення уваги з констатації браку на його запобігання, виявлення й аналіз причин дефектів. Вищезазначене дає підставу вважати, що автоматизація виробництва тари з поліетилентерефталату має доповнюватися системою моніторингу – аналізом інформації про якість ПЕТ-тари. Це дозволить постійно контролювати фактичні показники ефективності управління ресурсозбереженням та ресурсоємністю й на їх основі приймати обґрунтовані управлінські рішення з ресурсозбереження, визначати резерви ресурсозбереження.

Одним із способів вирішення вищезазначених проблем є розробка та впровадження алгоритмів моніторингу якості формоутворення ПЕТ-тари на основі застосування сучасних методів контролю. Таким чином підкреслюється доцільність проведення детальніших досліджень у цьому напрямі.

Метою статті є вдосконалення автоматизованої системи виробництва ПЕТ-тари на основі інформаційної структури й сучасних алгоритмів моніторингу, із забезпеченням інтенсифікації технологічного процесу виробництва з поліетилентерефталату формоутворюючого пакування різноманітних груп харчових виробів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Удосконалення автоматизованої системи виробництва ПЕТ-тари на основі інформаційної структури й сучасних алгоритмів моніторингу дозволить мінімізувати дефекти під час формоутворення ПЕТ-тари. Для зменшення тривалості виробничого циклу та підвищення ефективності виробництва запропонована інформаційно-моніторингова структура автоматизованої системи з визначення якості формоутворення ПЕТ-тари (рис. 1).

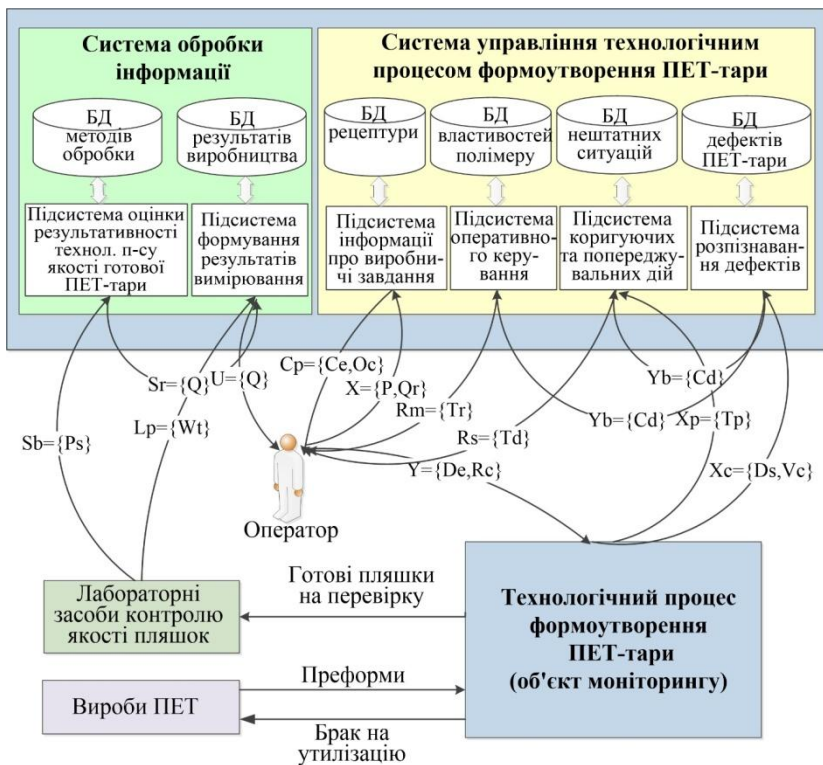


Рис. 1. Інформаційно-моніторингова структура автоматизованої системи з визначення якості формоутворення ПЕТ-тари

Інформаційно-моніторингова структура автоматизованої системи передбачає:

- обробку первинної інформації у функціональній системі «контроль – оцінювання – управління»;

– контролювання та реєстрацію поточних значень функціонально-технологічних параметрів якості (температура розігрівання преформи ПЕТ-тари та тиску її видування) та індикацію їх відхилень від нормованих значень [9; 10];

– спостереження, аналізування, оцінювання якості формоутворення ПЕТ-тари, реалізовані на базі єдиного програмно-апаратного комплексу;

– можливість ручного введення в базу даних (БД) результатів лабораторно-вимірювальних параметрів формоутворюючих складових ПЕТ-тари, які характеризуються відсутністю попередньо встановлених методів та засобів інструментального контролю;

Для спрощення інформаційно-моніторингової структури автоматизованої системи запропоновано використовувати умовні інформаційні потоки: X – вхідні параметри заданої рецептури = $\{P$ – тип полімерної заготовки, Q_r – вимоги до якості ПЕТ-заготовок за обраним рецептом}; C_p – початкова конфігурація технологічної лінії формоутворення ПЕТ-пляшок = $\{C_e$ – початкова конфігурація технологічного обладнання, O_c – початкові значення режимних параметрів}; Y – завдання для технологічного процесу = $\{D_e$ – конфігурація технологічного обладнання, R_c – рекомендовані режимні параметри}; X_p – параметри технологічного процесу формоутворення ПЕТ-тари = $\{T_p$ – значення поточних технологічних параметрів}; X_c – контроль дефектів = $\{D_s$ – дані з вимірювальних датчиків та V_c – дані візуального контролю}; Y_b – дефекти ПЕТ-пляшок = $\{C_d$ – оцінювання дефектів}; R_m – рекомендації щодо нагрівання ПЕТ-тари, отримані в умовах попереднього математичного моделювання, та щодо забезпечення необхідної початкової швидкості деформації (роздування ПЕТ-пляшок), залежно від властивостей поліетиленерефталату = $\{T_r$ – рекомендовані значення режимних параметрів}; R_s – рекомендації в нештатних ситуаціях = $\{T_d$ – рекомендації щодо усунення дефектів}; L_p – параметри лабораторних вимірювань = $\{W_t$ – результати вимірювань товщини стінки пляшки}; S_b – оцінка якості пляшки = $\{P_s$ – підготовані зразки для оцінювання якості ПЕТ-пляшки}; S_r – результати дослідження ПЕТ-пляшки = $\{Q$ – показники якості пляшки}; U – результати дослідження.

Одним з основних завдань функціонування підсистеми управління технологічним процесом формоутворення ПЕТ-тари є визначення рекомендаційних режимних параметрів (R_c) для забезпечення отримання тари потрібної якості (Q_r) в умовах дотримання допустимих обмежувальних технологічних параметрів (X_p). Ця система забезпечить

управління технологічним процесом (ТП) як у нештатних ситуаціях, так і в разі оперативного керування з використанням отриманих розрахункових даних обраної математичної моделі нагрівання ПЕТ-тари (стадія нагрівання). Це дозволить урахувати рекомендації стосовно потрібної початкової швидкості роздування пляшок залежно від властивостей поліетилентерефталату (стадія видування пляшок). Завдання системи обробки інформації про якість готової ПЕТ-тари полягає в розрахунку показників якості полімерної тари (Q) під час обробки отриманих результатів вимірювань відносно товщини стінки пляшки (W_r). Окрім цього, забезпечується визначення та врахування рекомендацій щодо усунення можливих дефектів для виконання якісних вимог виробництва полімерної тари (Q_r).

Запропонований спосіб оцінювання якості готової ПЕТ-тари з дотриманням певної товщини стінки готового виробу базується на аналізуванні та подальшому оцінюванні впливу різноманітних потенційних невідповідностей на цільові чинники під час виробництва. Представлення ступеня критичності у вигляді нечіткої когнітивної карти (НКК) дозволяє розробити запобіжно-коригувальні дії, спрямовані на усунення основних причин виникнення дефектів під час формування ПЕТ-тари. Для об'єктивного визначення причин дефектування ПЕТ-тари дослідження здійснювалися групою операторів (п'ять осіб) в умовах прогнозування та побудови дуг, що відповідають за відношення причинно-наслідкового зв'язку між чинниками. Під час дослідження враховували дестабілізуючі чинники (причини дефекту), зокрема такі: матеріал, оператор, процес, обладнання тощо. Брали до уваги керувальні чинники (запобіжно-коригувальні дії), сила зв'язків між якими задається експертним шляхом. Результати визначення чинників, що впливають на отримувану якість ПЕТ-тари, подано частково в табл. 1.

Таблиця 1

Перелік чинників, що впливають на якість ПЕТ-тари

| Опис чинника | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|---|
| Матеріал | | Невідповідність (дефект) тех. процесу | | Запобіжно-коригувальні дії | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Позначення | Основна причина | Позначення | Наслідок невідповідності | Позначення | Опис дій |
| C_1^U | Брудне повітря первинного тиску (P1) | C_1^R | Пористість (ефект апельсинової шкірки) | C_1^K | Перевірити якість повітря первинного тиску (P1) |
| C_2^U | Домішки в ПЕТФ | | | C_2^K | Перевірити якість преформи |

Продовження табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|----------------------------------|------------|---|------------|--|
| C_3^U | Пошкоджена шийка преформи | C_2^R | Білий наліт на окремих пляшках | C_3^K | Перевірити шийки преформ. Вилучити пошкоджені преформи |
| C_4^U | Неякісна преформа | | | ... | ... |
| ... | ... | C_8^R | Завантаження преформ | C_2^K | Перевірити якість преформи |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Процес | | | | | |
| C_{23}^B | Перегріте денце пляшки | C_{25}^R | Недостатня товщина пляшок в області днища | C_4^K | Збільшити або зменшити температуру профілю в необхідній зоні |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Оператори | | | | | |
| C_4^D | Неправильно встановлена преформа | C_8^R | Завантаження преформ | C_8^K | Перевірити операцію завантаження |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Обладнання | | | | | |
| C_{19}^G | Несправний циліндр витягування | C_8^R | Недостатня товщина пляшок в області днища | C_{52}^K | Відремонтувати або замінити циліндр витягування |
| C_{20}^G | Заклинювання преформ | | | C_{53}^K | Видалити преформу |
| C_{21}^G | Неправильно встановлена муфта | ... | ... | C_{54}^K | Відрегулювати або замінити муфту |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

На наступному етапі дослідження встановлено причинно-наслідкові зв'язки між чинниками із зазначенням для кожного зв'язку його характеру у вигляді конгнітивної карти (рис. 2).

Ваги дуг задано на базі експертних оцінок за допомогою термінів лінгвістичних змінних («слабко», «помірно», «сильно») на шкалі $[-1,0]$: не впливає (0,00), впливає слабо (від $-0,1$ до $-0,4$), впливає помірно (від $-0,5$ до $-0,6$), впливає сильно (від $-0,7$ до $-1,0$). Лінгвістичні змінні – «дуже слабо впливає» та «дуже сильно впливає» опускаються. Результати роботи експертів зведено у фрагмент табл. 1.

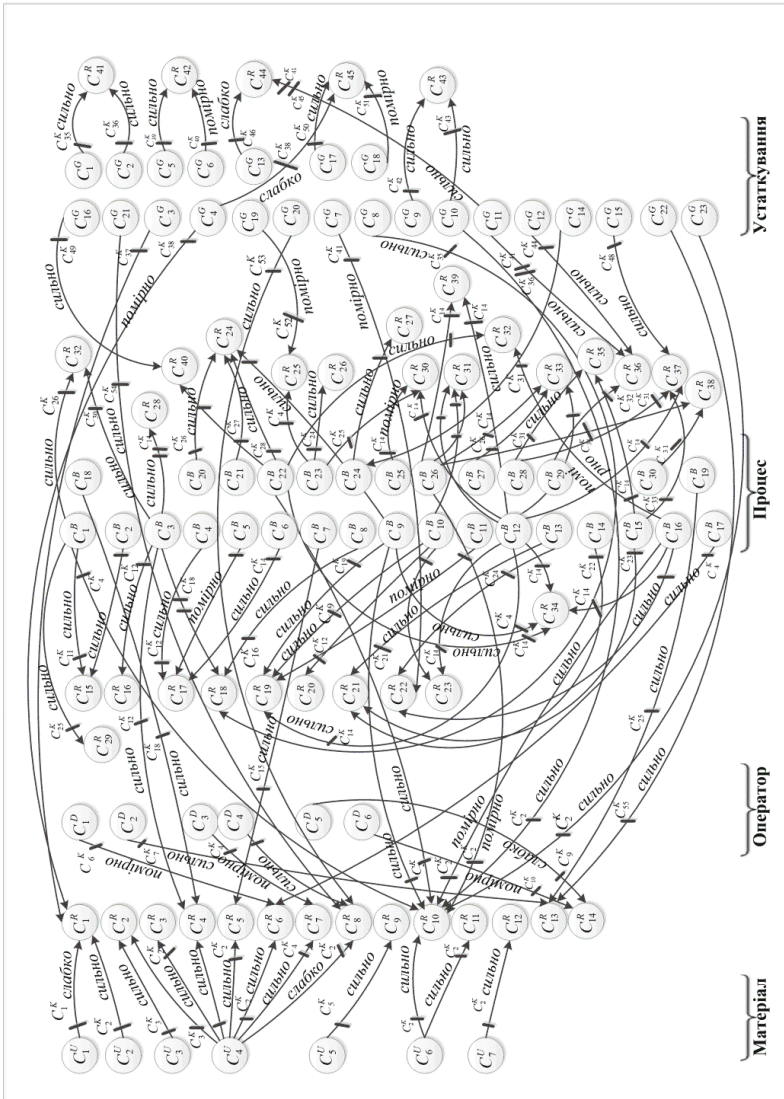


Рис. 2. Нечітка когнітивна карта для оцінювання впливу причин дефекту на цільові чинники виробництва ПЕТ-гари

Наприклад, наслідком неправильного завантаження преформ (C_R^8) є «слабкий» вплив концепту «Неякісна преформа» (C_4^U) та «сильний» вплив концептів «Неправильно встановлена преформа» (C_4^D), «Заклинювання преформ» (C_{20}^G) і «Неправильне встановлення муфти» (C_{21}^G) (табл. 1). Це дозволяє дати кількісну оцінку впливу основних причин виникнення дефекту та визначити ефективний механізм прийняття рішень для забезпечення якості формоутворення ПЕТ-тари. Використання НКК дозволяє наочно виявляти негативний вплив чинників на утворення дефектних пляшок та зазначати способи їх усунення в разі введення запобіжно-коригувальних дій (C^K) для зниження рівня дефектності. Так, якщо причиною «Недостатньої товщини пляшок в області денця» (C_{25}^R) є «Перегріте денце пляшки» (C_{23}^B) і «Несправний циліндр витягування» (C_{19}^G), то для усунення причин цих дефектів необхідно вжити коригувальні заходи зі «Збільшення або зменшення температури профілю в необхідній зоні» (C_4^K) та «Ремонту або заміни циліндра витягування» (C_{52}^K).

Аналізування наведених даних нечіткої когнітивної карти дозволяє зробити висновок щодо взаємозв'язків чинників, що впливають на якість ПЕТ-пляшки, та спрогнозувати наслідки від їх зміни.

Висновки. Отримано вдосконалену модель автоматизованої системи моніторингу якості формоутворення ПЕТ-пляшок, що поєднує в собі функції управління технологічним процесом формоутворення ПЕТ-тари та обробку отримуваної інформації. Запропонована модель забезпечує додаткове визначення та врахування рекомендацій стосовно способів усунення можливих дефектів для підвищення якості технологічного процесу формоутворення полімерної тари (Q_r).

Результати оцінювання групою експертів розробленої нечіткої когнітивної карти спрямовані на подолання та усунення основних можливих причин виникнення дефектів під час формоутворення ПЕТ-тари, зокрема отримуваної товщини стінки готового виробу. Додаткове визначення та побудова дуг, що відповідають за причинно-наслідкові зв'язки між отримуваними чинниками, підтверджують ефективність дій, спрямованих на подолання та усунення основних можливих причин виникнення дефектів під час формоутворення.

Список джерел інформації / References

1. Helén Williams, Annika Lindström, Jakob Trischler, Fredrik Wikström, Zane Rowe (2020), "Avoiding food becoming waste in households – The role of packaging in consumers' practices across different food categories", *Journal of Cleaner Production*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121775>.

2. Kiptelaya, L., Zagorulko, A., Zagorulko, A. (2015), "Improvement of equipment for manufacture of vegetable convenience foods", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 10(74), pp. 4-8. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39455>.

3. ISO 9001:2015. *Quality management systems – Requirements*.

4. Cosson, Benoit, Schmidt, Fabrice, le Maout, Yannick, Bordival, Maxime (2011), "Infrared heating stage simulation of semi-transparent media (PET) using ray tracing method", *International Journal of Material Forming*, Vol. 4. pp. 1-10. DOI: 10.1007/s12289-010-0985-8.

5. Alzanki, T., Jafar, M. (2019), "Parameter Prediction of Stretch-Blow Molding Process of PET Using Neural Networks", *Journal of Software Engineering and Applications*, Vol. 12, pp. 278-292. DOI: 10.4236/jsea.2019.127017.

6. Nixon, J., Menary, G.H., Yan, S. (2017), "Finite element simulations of stretch-blow moulding with experimental validation over a broad process window", *Int. J. Mater. Form.*, Vol. 10, pp. 793-809. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-016-1320-9>

7. Brandau, O. (2017), *Stretch Blow Molding*. Third edition. Plastics Design Library, pp. 135-222. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46177-1.00009-3>.

8. ISO 9004:2018. *Quality management – Quality of an organization – Guidance to achieve sustained success*, 68 p.

9. ISO 22514-7:2012(en). *Statistical methods in process management – Capability and performance. Part 7: Capability of measurement processes*.

10. ISO 22514-1:2014(en). *Statistical methods in process management – Capability and performance. Part 1: General principles and concepts*.

Сашнюва Мар'яна Василівна, канд. техн. наук, доц., кафедра інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет. Адреса: вул. Кіото, 19, м. Київ, Україна, 02156. E-mail: m.sashnova@gmail.com.

Sashnova Mariana, PhD in Tech. Science, Associate Professor, Department of Software Engineering and Cybersecurity, Kyiv National University of Trade and Economics. Address: Kyoto str., 19, Kyiv, Ukraine, 02156. E-mail: m.sashnova@gmail.com.

Загорулько Андрій Миколайович, канд. техн. наук, Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Ключківська, 333, м. Харків, Україна, 61051.; Тел.: 0505474173; e-mail: zagorulkoAN@hduht.edu.ua.

Zahorulko Andrii, PhD in Tech. Science, Educational and Scientific Institute of Food Technology and Business, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: 0505474173; e-mail: zagorulkoAN@hduht.edu.ua.

DOI: 10.5281/zenodo.5036096