

Моїсєєв Віктор Федорович, к.т.н, професор, тел. +38(067)6958514, vmoiseev1209@gmail.com

Манойло Юрій Олександрович, к.т.н, доцент, тел. +38(098)2386486, fassto@gmail.com

М'яло Максим Анатолійович, магістрант, +38(095)8093672, ivijaskas@gmail.com

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ МАКАРОННОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ ОЩАДЛИВОГО ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ SCADA ТЕХНОЛОГІЙ

**Анотація.** У статті представлені результати аналізу бізнес-процесів макаронного виробництва. Відповідно до концепції оцщадливого виробництва виявлені види втрат при виробництві макаронних виробів. Серед причин виникнення втрат відзначаються висока частка нерегламентованих перерв, випадки незавершеного виробництва в змїну, наявність простоїв у зв'язку з відмовами технологічного обладнання, трудомісткість ручних операцій. Беручи до уваги високу значущість оптимізації виробничих бізнес-процесів, зроблений акцент на доцільності застосування інструментів оцщадливого виробництва для усунення втрат. Для розробки автоматичної системи управління технологічним процесом використовувалася стандартна SCADA система – TRACE MODE з попередньо розробленими функціональними схемами переробки зерна в борошно в системі Ramus з використанням CASE-технологій. Наведено опис розробленої автоматичної системи управління технологічним процесом знезараження борошна з використанням енергії електромагнітних випромінювань надвисокої частоти. Запропонована автоматична система управління технологічним процесом з використанням знезараження дозволить прискорити, а відповідно здешевити процес виробництва продукції. На підставі проведених досліджень технології виробництва макаронних виробів обрана раціональна конструкція прес-гранулятора з круговою матрицею; запропоновано перспективний спосіб сушіння - з інфрачервоним енергопідведенням, що забезпечує отримання кінцевого продукту з високими якісними характеристиками, зниження енерговитрат і скорочення тривалості процесу сушіння. Застосування безіонних нагрівальних елементів знизить рівень шуму на підприємстві. Модернізація технологічного обладнання дозволить забезпечити: можливість виробництва макаронних виробів більш високої якості; ущільнення структури напівфабрикату і зменшення його ламкості, при одночасному підвищенні межі міцності готових виробів на 20-25 %; поліпшення споживчих властивостей, а також санітарно-гігієнічних показників макаронної продукції за рахунок її пастеризації; зниження вологопоглинання і втрат поживної цінності при зберіганні.

**Ключові слова:** автоматична система управління технологічним процесом, борошно, знезараження, електромагнітне поле надвисокої частоти, бізнес-процеси; аналіз; втрати; інструменти оцщадливого виробництва, макаронне тісто, технологічне обладнання, ультразвук, інфрачервоне випромінювання, сушіння

Moiseev Viktor Fedorovich, Ph.D., professor, tel. +38(067)6958514, vmoiseev1209@gmail.com

Manoilov Yuriy Oleksandrovich, Ph.D., docent, tel. +38(098)2386486, fassto@gmail.com

Myalo Maksym Anatoliyovich, master's student, +38(095)8093672, ivijaskas@gmail.com

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", str. Kirpichova, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002.

## RESEARCH AND ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES OF PASTA PRODUCTION BASED ON THE CONCEPT OF LEAN PRODUCTION AND THE USE OF SCADA TECHNOLOGIES

**Abstract.** The article presents the results of the analysis of business processes of pasta production. According to the concept of lean production, types of losses during the production of pasta products were identified. Among the causes of losses are a high proportion of unregulated interruptions, cases of incomplete production in a shift, the presence of downtime due to technological equipment failures, and the laboriousness of manual operations. Taking into account the high importance of optimization of production business processes, emphasis is placed on the expediency of using lean production tools to eliminate losses. The standard SCADA system – TRACE MODE with pre-developed functional schemes for processing grain into flour in the cross-platform Ramus system using CASE technologies was used to develop an automatic process control system. The description of the developed automatic control system for the technological process of flour disinfection using the energy of ultra-high frequency electromagnetic radiation is given. The proposed automatic technological process control system using a disinfectant will speed up and, accordingly, reduce the cost of production. a promising method of drying is proposed

- with an infrared energy supply, which ensures obtaining a final product with high quality characteristics, reducing energy consumption and shortening the duration of the drying process. The use of silent heating elements will reduce the noise level at the enterprise; Modernization of technological equipment made it possible to ensure: the possibility of producing pasta products of higher quality; compaction of the structure of the semi-finished product and reduction of its fragility, while simultaneously increasing the strength limit of finished products by 20-25%; improvement of consumer properties, as well as sanitary and hygienic indicators of pasta products due to its pasteurization; decrease in moisture absorption and loss of nutritional value during storage.

**Keywords:** automatic technological process control system, disinfection, ultra-high frequency electromagnetic field, business processes; analysis; lean production tools, pasta, technological equipment, ultrasound, infrared radiation, drying

**Моисеев Виктор Федорович**, к.т.н., профессор, тел. +38(067)6958514, vmoiseev1209@gmail.com

**Манойло Юрий Александрович**, к.т.н, доцент, тел. +38(098)2386486, fassto@gmail.com

**Мяло Максим Анатольевич**, магистрант, +38(095)8093672, ivijaskas@gmail.com

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Курпичева, 2, Харьков, Украина, 61002.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ МАКАРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ БЕРЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SCADA ТЕХНОЛОГИЙ

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа бизнес-процессов макаронного производства. Согласно концепции бережливого производства приведены виды потерь при производстве макаронных изделий. Среди причин потерь отмечаются высокая доля нерегламентированных перерывов, случаи незавершенного производства в смену, наличие простоев в связи с отказами технологического оборудования, трудоемкость ручных операций. Учитывая высокую значимость оптимизации производственных бизнес-процессов, сделан акцент на целесообразности применения инструментов бережливого производства для устранения потерь. Для разработки автоматической системы управления технологическим процессом использовалась стандартная SCADA система – TRACE MODE с предварительно разработанными функциональными схемами переработки зерна в муку в системе кроссплатформенной Ratus с использованием CASE-технологий. Представлено описание разработанной автоматической системы управления технологическим процессом обеззараживания муки с использованием энергии электромагнитных излучений сверхвысокой частоты. Предложенная автоматическая система управления технологическим процессом с использованием обеззараживателя позволит ускорить, а соответственно удешевить процесс производства продукции. На основании проведенных исследований технологии производства макаронных изделий выбрана рациональная конструкция пресс-гранулятора с круговой матрицей; предложен перспективный способ сушки - с инфракрасным энергоподводом, обеспечивающим получение конечного продукта с высокими качественными характеристиками, снижение энергозатрат и сокращение продолжительности процесса сушки. Применение бесшумных нагревательных элементов снизит уровень шума на предприятии; Модернизация технологического оборудования позволит обеспечить возможность производства макаронных изделий более высокого качества; уплотнение структуры полуфабриката и уменьшение его ломкости, при одновременном повышении предела прочности готовых изделий на 20-25%; улучшение потребительских свойств, а также санитарно-гигиенических показателей макаронной продукции за счет пастеризации; снижение влагопоглощаемости и потерь питательной ценности при хранении

**Ключевые слова:** автоматическая система управления технологическим процессом, мука, обеззараживание, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, бизнес-процессы; анализ; потери; инструменты бережливого производства, макаронное тесто, технологическое оборудование, ультразвук, инфракрасное излучение, сушка

**Актуальність теми дослідження.** Макаронні вироби мають велике значення у культурі харчування людини, оскільки є одним з продуктів першої необхідності і користуються стійким попитом. Їх склад дуже простий, проте як ніякий інший продукт макаронні вироби поєднують у собі такі важливі характеристики: поживна цінність, засвоюваність, тривалість зберігання, безпека у використанні, різноманітність способів приготування і

економічність. Головною особливістю макаронних виробів, що вплинула на їх повсюдне поширення в усьому світі, є здатність входити в раціон і поєднуватися з кулінарними традиціями різних народів, що підтверджує унікальні якості цього продукту. Бізнес з виробництва макаронів вважається досить прибутковим, тому конкурентне середовище дуже насичене. Це обумовлено тим, що технологія виготовлення таких виробів досить проста, а термін окупності невеликий при високій рентабельності.

В історії багатьох народів можна виявити страви у вигляді шматочків прісного тіста, зварених у воді. Ось чому конкуренція на цьому ринку постійно зростає. Макаронні вироби за своєю суттю – це просто висушене прісне тісто, приготоване з борошна та води. Вони можуть бути у вигляді стрічок, трубочок, ниток, дитячих іграшок та інших незвичайних форм. Найбільш підходящою сировиною для виробництва макаронів вважається борошно твердих сортів пшениці, борошно зі склоподібної м'якої пшениці, а також борошно пшеничне вищого гатунку. Крім борошна та води для виготовлення макаронів використовують курячі яйця, яєчний порошок, молочні продукти (сухе коров'яче молоко), овочеві продукти (пасти, томатні соки, натуральні соки буряків або моркви). До того ж часто до макарон додають барвники для надання приємного кольору. Цінові трансформації на ринку молочної та курячої продукції (ціна на курячі яйця тільки за останні місяці підвищилася більше ніж у три рази) помітно вплинули на вартість сировини при виробництві макарон. У склавшихся умовах для всіх підприємств зростає актуальність поліпшення організації бізнесу, підвищується значущість використання сучасних інноваційних технологій, заснованих на принципах ощадливості і здатних зберегти конкурентні переваги на ринку. Використання інструментів ощадливого виробництва спрямовано на запобігання зайвих витрат та удосконалення системи організації виробничих процесів, спрямованої на створення всіх етапів виробництва в безперервний потік створення доданої вартості для виробників та цінності для споживачів [1]. Для цього необхідно забезпечити закупку та зберігання сировини, яка має обмежені терміни використання, виготовити продукцію з дотриманням усіх необхідних технологічних вимог, забезпечити зберігання виготовленої продукції з мінімальними втратами та витратами. Тому важливого значення набуває концепція ощадливого виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концепція ощадливого виробництва дуже популярна на провідних підприємствах Японії, Китаю, ЄС, США. Вона викладена у працях Джеффри Лайнера, Даніела Джонсона, Майкла Вейдера, Джима Вумека, Майкла Л. Джорджа, Масаакі Імаї, О.С. Віханського, К.А. Гордєєвої та інших науковців. Теоретичним та практичним питанням теорії ощадливого виробництва приділили увагу такі дослідники, як James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos Таїті Оно, Лисицин В. Д., Лисенко О. І., Вовк Ю. С. та інші.

Питаннями впровадження інноваційних технологій у макаронному виробництві займалися такі дослідники, як Сперкач М. О., Желдак Т. А., Панфілов, Г. М. Романчиков, В. А. Медведєв, С. А. Белов, Г. В. Осіпова, Г. А. Верболоз та інші.

Застосуванням відповідних евристичних та еволюційних методів для вирішення багатокритеріальних оптимізаційних задач займалися Dorigo M., Лагунова А. Д., Mirjalili S., Lewis A., Сагун А. В., Хайдуров В. В., Stutzle Th., Hoos Н. Н., Khan L., Ullah I., Saeed T., Filho B., Neto L., Holland J. H., Кажаров А. А., Курейчик В. М., Karaboga D., Yang X. S., Wang G., Guo L. та інші. Більшість авторів у своїх роботах зазначає переваги і порівняльну ефективність застосування евристичних і еволюційних методів для розв'язання багатокритеріальних задач. Опубліковані результати в цій сфері у своїй більшості носять загальний характер і не прив'язані до оптимізації процесів прийняття рішень, пов'язаних з особливостями управління об'єктами харчової промисловості. У той же час галузева проблема підвищення ефективності управління харчовими підприємствами взагалі, та підприємствами макаронної промисловості вимагає комплексного рішення, що в сукупності має включати проблемно-орієнтовані моделі, методи і алгоритми, управлінські технології і відповідне інформаційно-програмне забезпечення.

**Мета і завдання дослідження.** Метою статті є поглиблення теоретичних положень та розробка практичних рекомендацій щодо реінжинірингу бізнес-процесів макаронного виробництва відповідно до концепції ощадливого виробництва та автоматизації системи керування та системи управління технологічним процесом при виготовленні макаронних виробів.

**Викладення основного матеріалу.** У наукових публікаціях дослідники підкреслюють, що повністю уникнути втрат у виробничому і управлінському процесі не вдається навіть найуспішнішим компаніям світу. Але існує безліч прикладів, які доводять, що можна звести рівень втрат до мінімуму та забезпечити підприємствам практично безвідхідне виробництво із найменшими витратами ресурсів та часу. Однією з них є методика ощадливого виробництва. Ощадливе виробництво (англ. lean production або lean manufacturing) – це концепція, яка ґрунтується на прагненні підприємства ліквідувати всі види втрат за допомогою залучення у процес управління кожного працівника та максимальної орієнтації на споживача, що передбачає виробляти стільки продукції, скільки вимагає ринок. Концепцію ощадливого виробництва розробив Таїті Оно (Taiichi Ohno) ще у 1950-ті роки на японському підприємстві Тойота (Toyota Motor Corporation) [2]. Теорія ощадливого виробництва стала всесвітньо визнаною теорією після виходу книги Womack & Jones “The Machine That Changed The World” (“Машина, яка змінила світ”) [5]. Теорія ощадливого виробництва дає змогу на практиці покращити діяльність підприємств, оскільки останні зосереджують свої

зусилля на усуненні деяких або і всіх надмірних витрат.

Сьогодні перед макаронної промисловістю постають наступні завдання: підвищення продуктивності, розширення асортименту продукції та підвищення її біологічної цінності. Структурна перебудова макаронної промисловості призвела до того, що невеликі фабрики з кустарним обладнанням, що випускають продукцію низької якості, витісняються середніми і великими виробниками. Крім великих підприємств продовжують існувати і малі, які дотримуються старих традицій і завдяки спеціалізованій продукції займають своє, особливе становище на ринках. У зв'язку з цим дана робота спрямована на вдосконалення обладнання та бізнес-процесів середніх підприємств з виробництва макаронів. Відомо, що сучасне харчове підприємство як система складається із взаємопов'язаних підсистем, між якими існують відносини співвідпорядкованості з трьома основними ступенями якості: системою організації виробництва, технологічною системою, фізико-хімічною системою.

Будь-який технологічний потік можна оцінити низкою показників, таких як ефективність, стійкість, керованість, точність і надійність [1]. Дослідження технологічної лінії як системи процесів починається з кінцевого продукту, оскільки продукт є вихідним і ключовим елементом системи. Саме заради руху від вихідної сировини до кінцевого продукту формується, зберігається, вдосконалюється і розвивається технологічний потік.

Оцінка узагальненого показника якості макаронів дозволила зробити висновок, що існуюча традиційна технологія виробництва макаронних виробів не дає задовільних результатів, отже, необхідно знайти шляхи покращення якості продукції. Такими шляхами є модернізація існуючого обладнання, можливість застосування нових конструкцій і принципів обробки у виробничій лінії, розширення асортименту та підвищення біологічної цінності макаронних виробів.

В існуючому технологічному процесі виділені підсистеми, що впливають на якість готових виробів: приймання сировини, приготування (заміс) макаронного тіста, формування спресованого тіста, сушіння напівфабрикату.

Поставлена мета зумовила необхідність вирішення наступних завдань:

- обробка сировини, яка зберігається
- вибір і удосконалення конструкції преса;
- вибір перспективного способу сушіння виробів і модернізація конструкції сушильної установки;
- аналіз та поліпшення бізнес-процесів підприємства.

Особлива роль серед вказаних технологічних рішень належить такими технологіями:

1. Технологія магніострикційного очищення борошна, підготовки комплексної борошняної суміші підвищеної харчової цінності, пресування макаронного тіста і акустичної сушіння [2];

2. Технологія інтенсифікації виробництва макаронних виробів з використанням ультразвукового впливу і інфрачервоного випромінювання;

3. Технологія інактивування і припинення мікробіологічних та аеробних процесів в продуктах харчування;

Об'єкт дослідження технологія та бізнес-процеси отримання макаронних виробів типу короткої вермішелі. Макаронне тісто приготоване за традиційною технологічною схемою [3], у якій на етапі замісу тісто вносяться різні харчові добавки. Запропонована ідея підвищення біологічної цінності макаронних виробів з допомогою харчових добавок [4].

Рішення задачі стабільного забезпечення населення продуктами переробки зерна можливе за рахунок збільшення кількості вироблюваної продукції і зниження втрат сировини на стадіях переробки, а також шляхом удосконалення процесів переробки самої сировини, що передбачає збільшення виходу готової продукції, підвищення біологічної цінності продуктів, скорочення тривалості технологічних процесів. Також величезну роль у якійсній переробки сировини грають технологічне і транспортне обладнання а також система управління.

Для вирішення поставлених завдань пропонується використовувати в існуючій технології виробництва на початковому етапі новий спосіб знезараження борошна, що дозволяє впровадити енергозберігаючі заходи. В технологію буде додатково включена технологічна операція знезараження борошна електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти і його аерація. Що дозволить: підвищити завантаження виробничих потужностей і поліпшити економічні показники, знизити питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів і трудовитрат при випуску продукції; розширити виробництво і асортимент продукції за рахунок збільшення виробництва нових продуктів харчування з підвищеною засвоюваністю та харчовою цінністю.

Пропонується автоматизація системи керування технологічного процесу знезараження борошна, що включає в себе використання надвисокочастотних ентолейтора і стерилізатора борошна. Використання зазначеного обладнання дозволить збільшити використання виробничої потужності (за рахунок модернізації на інноваційній основі), підвищити ефективність управління, а отже, в результаті зросте і конкурентоспроможність підприємства.

Для успішної діяльності підприємства в сучасних умовах необхідна установка АСУТП. Пропоновані для модернізації технічні засоби, вимагають удосконалення існуючої автоматичної системи управління технологічним процесом.

Запропонована АСУ допоможе знизити витрати і собівартість продукції, підвищити її якість. Рекомендовані технічні засоби призначені для максимального зниження втрат сировини, працюють з невисокими енерговитратами, дозволяють випускати продукцію високої якості з

мінімальною собівартістю.

Для розробки АСУТП використовувалася стандартна SCADA система – TRACE MODE, попередньо були розглянуті функціональні схеми переробки сировини в кросплатформенній системі Ramus з використанням CASE-технологій [5].

На початковому технологічному етапі технологічні операції стадії «Знезараження борошна» включають наступні функціональні блоки: «Знезараження ЕМП НВЧ», «Аерація». Далі борошно надходить на безтарне зберігання у силоси, де при тривалому зберіганні комкується, набуває нетоварний вигляд і перестає відповідати вимогам стандартів по кольору, зараженості та забрудненості шкідниками, токсичності, вмісту мікотоксинів, кислотності, тобто з безпеки і харчової цінності.

Для виробництва якісного кінцевого продукту необхідно застосовувати новий спосіб забезпечення безпеки і харчової цінності при збереженні борошна, шляхом включення в загальну технологію операцій, зазначених раніше: знезараження та аерації.

Робочий процес відбувається наступним чином. Борошно по аспіраційному продуктопроводу через затвор надходить у робочу камеру знезаражування, де грудки борошна за рахунок обертання ротора з резонаторними камерами дробляться і борошно набуває пухку структуру [6, 7]. Під впливом ЕМП НВЧ відбувається знезараження борошна. Подрібнене борошно за рахунок обертання ротора зсипається у зовнішній простір корпусу знезаражувача, звідки самопливом по конічному днищу через затвор спрямовується в аспіраційний продуктопровід.

Застосування електромагнітних випромінювань надвисокочастотного діапазону дозволяє знищувати багато видів шкідливих бактерій, спори цвілі і різних грибків.

Камера апарату являє собою зварну вертикальну циліндричну посудину. У кришці і днищі зроблені горловини для установки завантажувального і розвантажувального затворів. Верхня горловина також може служити для монтажу внутрішніх частин і ремонту. В середині резонаторної камери розташований ротор. Генератори електромагнітних випромінювань розташовані зверху кришки корпусу і розміщені в діелектричному екранному корпусі.

Розглянута ділянка технологічної лінії передбачає включення нових технологічних операцій шляхом заміни існуючого обладнання (ентолейтору для борошна) на запропоновані технічні засоби (знезаражувач борошна). Знезараження борошна дозволяє проводити три технологічні операції одночасно: роздрібнення грудок борошна, знезараження ЕМП НВЧ і аерацію замість однієї операції виконуваної раніше ентолейтором для борошна (роздрібнення грудок).

Працездатність системи перевірена в SCADA системі TRACE MODE. Використання даної програми для створення мнемосхеми знезаражувача

дозволяє виводити на екран основні параметри, що заміряються, такі як: маса завантаження борошном, час обробки, напруженість поля в резонаторній камері, частота обертання ротора. Програмне забезпечення комп'ютера виконано на мові G з використанням графічної системи LabView і працює під управлінням операційної системи реального часу WindowsXP. Завантаження програмного забезпечення з жорсткого диска разом з використанням сторожового таймера забезпечує безперебійну роботу системи протягом тривалого часу.

Важливим етапом у виробництві макаронних виробів є процес пресування тіста. На даному етапі закладається ряд основних показників якості, таких як щільність, пружність, однорідність які визначають у результаті якість готової продукції. Метою процесу пресування є ущільнення замішаного тіста, перетворення його в однорідну пов'язану пластичну масу, а потім надання їй певної форми.

Для формування виробів в макаронній промисловості широке застосування отримали шнекові преси, проте на основі аналізу патентної літератури і системного аналізу прийнято рішення, що раціональним буде використання конструкції вальцьового прес-гранулятора з круговою матрицею. Матриця є основним робочим органом макаронного преса. Вона обумовлює продуктивність пресу, вид виробів (форма і розмір поперечного перерізу), що значною мірою впливає на якість продукту (ступінь шорсткості поверхні, міцність склеювання макаронних виробів) [8]. У розглянутій конструкції передбачається забезпечити швидко зміну матриці, а також використання матриць з фігурними каналами для розширення асортименту продукції. В кільцевої матриці преса формування виробу відбувається в наступній послідовності: пересування певного шару пресованого матеріалу вальцем, який тут працює як транспортуючий механізм, що переміщає в'язкий продукт; стиснення шару між зовнішньою поверхнею вальця і внутрішньою поверхнею матриці; вдавнення стиснутого шару в канали матриці і зіштовхування в них тіста, що знаходиться на перемичках між каналами; проштовхування спресованого тіста через канали. Повітря, що ущільнює пори і проміжки між частинками тіста, витісняється убік завантажувального отвору камери. Вид напівфабрикату визначений формою отворів матриці. При цьому відбувається вплив на пресований напівфабрикат полями ультразвуку, вплив якого здійснюється в зоні макаронної матриці з частотою  $22 \pm 0,5$  кГц, інтенсивністю  $1,5-2,0$  Вт/см<sup>2</sup>, амплітудою 20 мкм. Після пресування напівфабрикати обдуваються повітрям із температурою 22-25 °С і нарізуються.

Іншим важливим етапом у виробництві є сушіння макаронних виробів. Існуючі в даний час режими сушіння макаронних виробів та способи їх інтенсифікації припускають конвективний метод підведення енергії для випаровування вологи з матеріалу. Як показав аналіз способів сушіння, для макаронних виробів доцільніше всього використовувати сушарку з



інфрачервоним підведенням тепла, яка дозволяє отримати кінцевий продукт з високими якісними характеристиками, мінімізувати енерговитрати і інтенсифікувати процес зневоднення.

Оптимізація процесів сушіння дозволяє розробити конструктивні рішення сушильного обладнання для отримання високоякісного продукту при мінімальних енерговитратах та обґрунтувати основні елементи сушильної установки з інфрачервоним підведенням енергії. В якості робочого органу необхідно використовувати стрічковий конвеєр, тоді сушарка буде мати п'ять ярусів, встановлених у каркасі паралельно один над одним. Сусідні конвеєри виконуються з можливістю обертання стрічки в протилежних напрямках; непарні конвеєри зміщені по довжині в бік розкладника на величину, достатню для перекантівки напівпродуктів з конвеєра на конвеєр. Установка ІЧ-випромінювачів над верхньою робочою гілкою стрічки і відбивачів, які підтримують нижню стрічку, забезпечить об'ємне підведення тепла до об'єкту сушки.

Таким чином сутність модернізації технології полягає в реалізації наступних технологічних процесів.

1. Підготовка інгредієнтів: підготовка пшеничного борошна: зважування на вагах, розпушування і насичення борошна киснем (аерація борошна), відділення від борошна сторонніх включень, магніострикційне очищення (механічне пошкодження поверхні мікроорганізмів (деформація структури грибків, цвілі, бактерій)).

2. Приготування макаронного тіста. У відповідності з рецептурою проводиться дозування інгредієнтів в необхідному співвідношенні. Змішування інгредієнтів здійснюється протягом 15-18 хв при подачі води для замісу температурою 22-25 °С. Тісто доводиться до вологості 34-36 % [9, 10].

3. Пресування макаронного тіста. На даному етапі макаронне тісто пресується при тиску до 10 МПа у вигляді трубчастих виробів у полі ультразвуку, вплив якого здійснюється в зоні макаронної матриці з частотою  $22 \pm 0,5$  кГц, інтенсивністю 1,5-2,0 Вт/см<sup>2</sup>, амплітудою 20 мкм. Після пресування напівфабрикати обдуваються повітрям температурою 22-25 °С і нарізуються [11, 12].

4. Процес сушіння включає в себе два етапи. Перший етап - надвисокотемпературний. Здійснюється протягом 2 хв при температурі повітря +95 °С, вологості 95 %, рівні звукового тиску 140 дБ, інтенсивності інфрачервоного випромінювання 3,6 мкм. Другий етап - високотемпературний. Він здійснюється протягом 53 хв при температурі +60 °С, вологості 70 %, рівні звукового тиску 140 дБ, інтенсивності інфрачервоного випромінювання 3,6 мкм. До вологості готових виробів 11 % [13].

Сушка макаронних виробів у запропонованій технології ефективніше існує за рахунок комплексного впливу інфрачервоного та ультразвукового випромінювання на технологічний напівфабрикат. Інтенсифікується

процес пароутворення і рухливості частинок тіста ультразвуком та інфрачервоним випромінюванням у всьому обсязі. При цьому вдається домогтися структурної видозміни макаронних виробів, більш ущільненого укладання довго полімерних молекул тіста і зниження кількості мікротріщин [14,15].

Комплексний вплив ультразвуку та інфрачервоного випромінювання не тільки значно скорочує весь виробничий цикл, але і підвищує якість виробів: міцність, знижуються вологопоглинання і втрати поживної цінності при зберіганні; готові вироби не злипаються при варінні; зберігають правильну форму.

Під час сушіння акустичні коливання проникають в пори і тріщини макаронних виробів і створюють у них швидко змінювані зони підвищеного і розрідженого тиску, які грають роль насоса вологи з глибинних шарів. Крім того, ультразвук збільшує інтенсивність теплообміну в 2-2,5 рази за рахунок завихрень і створення внаслідок цього витонченого шару пароповітряної суміші на поверхні виробів. Основними діючими факторами прискорення сушіння є підвищений коефіцієнт тепловіддачі і зниження в'язкості рідини від ультразвуку, що прискорює переміщення вологи по капілярах з глибини тесту на поверхню.

При інтенсивності ультразвуку 140 дБ через пульсації тиску відбувається сильна турбулізація приповерхневого шару зволоженого повітря і відрив його від виробу, відбувається активне видалення вологи в об'ємі камери. Також вібраційний ультразвуковий вплив веде до формування більш монолітної структури виробу.

Слід зазначити, що швидка сушка без ультразвуку приводить до деформації і руйнуванню виробів, а більш повільна сушка веде до мікробіологічного псування.

5. Стабілізація макаронних виробів відрізняється від відомих технологій тим, що процес здійснюється протягом 150 хвилин під впливом ультразвуку (рівень звукового тиску 140 дБ), безпосередньо в пристрої для прискореного сушіння макаронних виробів при швидкості повітря 1 м/с і температурі всередині сушильної камери 25-30 °С. Охолодження макаронних виробів відбувається протягом 1 години за рахунок подачі в сушильну камеру повітря з температурою навколишнього середовища при впливі ультразвуку. Це значно прискорює процес стабілізації напруги між зовнішніми і внутрішніми шарами і дозволяє значно знизити інтенсивність біологічних процесів.

Дослідження фінансово-економічного стану підприємства з виробництва макаронів дозволило виявити зниження ефективності діяльності, що поставило завдання з аналізу його основних бізнес-процесів з метою виявлення вузьких місць і недоліків у виробничій системі.

В основних бізнес-процесах виробництва макаронної продукції задіяні трудові ресурси, основні засоби, матеріальні засоби, інформаційні ресурси.

Бізнес-процес «Виробництво макаронної продукції» виконується у формі потокового виробництва і включає низку послідовних етапів (рис. 1).

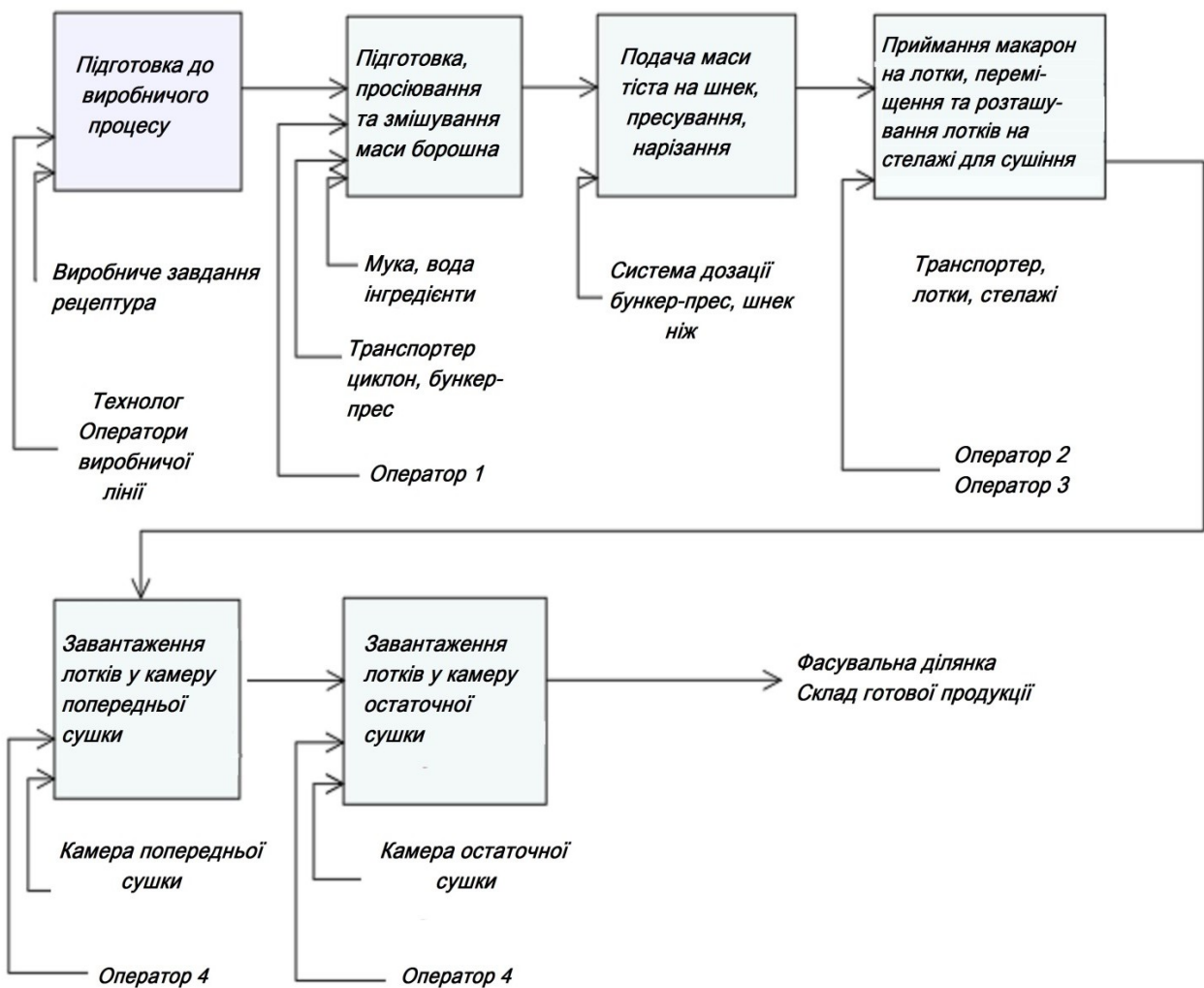


Рис. 1. Бізнес-процес «Виробництво макаронної продукції»

В ході дослідження результатів функціонування виробничих бізнес-процесів підприємства був проведений аналіз виконання норм виробітку за допомогою фотографії робочого дня. Складений за результатами дослідження фактичний баланс робочого часу виробництва макаронних виробів у зміну (табл. 1) який показав, що частка корисного фонду робочого часу становить 78 %. Втрати робочого часу через нерегламентовані перерви рівні 4,9 %. Негативної оцінки заслуговує те, що через нерегламентовані перерви за зміну вийшла переробка за часом на 12 хвилин, а також недопрацювання по виконанню технологічних операцій. Зокрема, не закінчені роботи з пересування стелажів з лотками в камеру остаточної сушки з камер попереднього сушіння, а це значить, що навантаження з цієї технологічної операції припадає на другу зміну.

Таблиця 1

Баланс робочого часу виробництва макаронних виробів у зміну

Індекс операцій	Фактичний баланс	
	хвилин	%
Підготовчо-заключний час	29	5,3
Оперативний час	434	78,6
Регламентовані перерви	60	10,9
Простої	-	-
Нерегламентовані перерви	27	4,9
Час обслуговування виробничої лінії	2	0,4
Загальний час	552	100
Загальний час нормативний	540	
Коефіцієнт використання змінного часу	0,78	

Порівняльна оцінка ефективності використання робочого часу у бізнес-процесах виробництва макаронних виробів була проведена з використанням інформації про норми виробітку та норми витрат праці (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна оцінка ефективності використання робочого часу у бізнес-процесах виробництва макаронних виробів в зміну

Процеси	Виробництво, тон				Час, чол./год			
	Норма	Факт	Відхилення		Норма	Факт	Відхилення	
			тон	%			Чол/год	%
Виробництво макаронних виробів	1,223	0,882	-0,342	-27,9	1,871	1,921	0,050	2,7
Трудомісткість виробництва макаронних виробів	-	-	-	-	1,53	2,179	0,649	4,4

За даними табл. 2 для розглянутих бізнес-процесів характерні відхилення, пов'язані зі зниженням фактичного вироблення продукції щодо встановленої норми за зміну (при двозмінному графіку роботи), а також збільшенням фактичних витрат праці щодо нормативів. При реалізації бізнес-процесу «Виробництво макаронних виробів» дані аналізу свідчать, що фактичний виробіток за зміну нижче норми на 0,341

тонни, або на 27,9 %, фактичні витрати праці вище норми на 0,050 людино-години, або на 2,7 %. Трудомісткість виробництва макаронних виробів вище планової на 42,4 %. Ситуація погіршена тим, що протягом зміни виробниче завдання виконане не повністю, при цьому фактично відпрацьований час у зміну перевищує нормативний, що відбувається безпосередньо з вини працівників.

На підставі отриманих результатів щодо ефективності використання робочого часу можна зробити висновок про те, що бізнес-процеси виробництва макаронних виробів не є достатньо ефективними, так як збільшуються витрати праці у зміну, мають місце втрати по виробленню продукції і втрати від браку. До того ж встановлені норми часу не дотримуються, а також присутні значні перевищення фактичних значень трудових витрат над нормативними.

Узагальнення отриманих результатів аналізу виробничих бізнес-процесів об'єкта дослідження дозволило сформулювати відповідно до концепції ощадливого виробництва основні види втрат, їх причини та запропонувати можливі інструменти щодо усунення виявлених втрат (табл. 3).

Таблиця 3

Втрати в бізнес-процесах при виробництві макаронних виробів відповідно до концепції ощадливого виробництва (ОВ)

<b>Вид втрат</b>	<b>Причини</b>	<b>Можливий інструмент ОВ усунення втрат</b>
Переміщення	При виробництві макаронних виробів ручної засипки мішків з борошном в змішувач є трудомісткою (16 % в структурі оперативного часу). Незавершене виробництво наприкінці зміни	Картування потоку створення цінності
Затримки	Висока частка нерегламентованих перерв у структурі робочого часу, пов'язана з низьким рівнем залучення працівників у робочий процес, відсутністю націленості на зростання продуктивності праці	Стандартизація часу на відпочинок і особисті потреби у виробничих цехах

Виявлені у виробничій системі втрати підвищують значущість оптимізації виробничих бізнес-процесів з використанням інструментів ощадливого виробництва.

В цілях усунення втрат, пов'язаних із зайвими пересуваннями та

рухами працівників, які зменшують оперативний час роботи, необхідно використання інструменту картування потоку створення цінності в бізнес-процесі «Виробництво макаронних виробів». картування технологічного потоку створення цінності являє собою сукупність дій, спрямованих на поліпшення показників бізнес-процесу через створення додаткової цінності. Для графічного представлення результатів змін та оптимізації бізнес-процесу між поточним і майбутнім станом використовуються карти потоку створення цінності. Мета складання карти потоку створення цінності полягає в усуненні елементів у бізнес-процесі, які не несуть ніякої цінності, зокрема різних видів втрат.

Зниження трудомісткості виконання операції бізнес-процесу «Підготовка, просіювання та змішування борошняної маси» рекомендується шляхом заміни ручної праці при завантаженні борошна в тістомісильну машину на автоматичний з використанням пристрою підймання та перекидання мішків МПО-50-1800. Це дозволить збільшити оперативний час виконання бізнес-процесу «Виробництво макаронних виробів» щодо поточного стану на 5,7 %.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Підводячи підсумки, відзначимо моменти, важливі для впровадження цього підходу в нашій країні. Перехід на систему ощадливого виробництва – справа далеко не проста. Toyota Motor Corporation знадобилося близько 20 років, щоб пройти цей шлях першою [16,17]. Нині це можна зробити набагато швидше. Найважливішим фактором успіху цього проекту є виявлення основних важелів підвищення ефективності для конкретного підприємства і подальша концентрація зусиль саме в цих напрямках. Основним джерелом зростання ефективності при реалізації проекту має стати вироблення великої кількості пропозицій, оцінка їх економічної ефективності та вибір для впровадження пропозицій, які забезпечують максимальний економічний ефект за мінімальних витрат на впровадження. Успішна реалізація такого проекту створить основу для подальшого покращення на підприємстві. На питання, в якому напрямі розвиватиметься концепція ощадливого виробництва, немає однозначної відповіді, адже реальність дуже часто перевершує найсміливіші прогнози і очікування, хоча одна з подальших можливостей вже виразно вимальовується на горизонті. Останнім часом в спеціалізованих журналах з'явилося досить багато публікацій про так зване “активне виробництво”, основною відмінністю якого є його здатність працювати в абсолютно непередбачуваних умовах. Воно прийде на зміну системі ощадливого виробництва.

З метою виключення втрат робочого часу, пов'язаних з нерегламентованими перервами, пропонується на основі нормативів часу стандартизувати час на відпочинок і особисті потреби. Об'єктом стандартизації часу на відпочинок і особисті потреби є оператори

виробничих ліній у цеху виробництва макаронних виробів. Перевага стандарту очевидна, так як діапазон часу регламентованих перерв одного працівника знаходиться в межах 13-21 хвилин (за винятком обідньої перерви), тоді як фактичний час нерегламентованих перерв на одного працівника досягає 27 хвилин, що забезпечить додатковий приріст виробітку продукції за рахунок вивільненого часу. Крім того, даний стандарт справедливий по відношенню до працівників, що надає додатковий мотивуючий ефект. Такі оптимальні умови як для працівників, так і для підприємства. Роботодавець підтримує оптимальну структуру робочого часу та продуктивність праці, працівник точно знає, скільки йому належить часу на перерву і в який час він може ним скористатися. Застосування рекомендованих інструментів ощадливого виробництва дозволить вирішити серйозне завдання щодо забезпечення зростання продуктивності праці, зниження трудомісткості і збільшення обсягів виробництва на підприємстві.

Таким чином, буде забезпечена стійкість бізнес-процесів підприємства харчової промисловості, а значить, покращиться організація бізнесу, необхідна в умовах постійно зростаючої конкуренції і глобалізації економіки.

#### Список використаної літератури:

1. Панфилов В. А. Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока). – М.: Колос, 1993.
2. Романчиков С. А. Инновационная технология макаронных изделий повышенной пищевой ценности с использованием ультразвуковой магнитострикционной обработки муки / С. А. Романчиков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – Т. 362-363, № 2-3. – С. 56-61
3. Медведев Г. М. Технология и оборудование макаронного производства. – М.: Колос, 1984.
4. Черногорцев А. П., Разумовская Р. Г. Технология получения новых белковых продуктов: Учеб. пособие. – Мурманск: МГАРФ, 1990.
5. Офіційний сайт проекту RAMUS. URL: <http://ramussoftware.com>.
6. Белов А. А., Коробков А. Н., Михайлова О. В., Осокин В. Л., Новикова Г. В. Установка для обеззараживания зерна и зернопродуктов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 2. – С. 7–10.
7. Михайлова О. В., Белов А. А., Белова М. В., Новикова Г. В. Установка для обеззараживания и шелушения зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 4 (47).
8. Назаров Н. И. Технология макаронных изделий. – М.: Пищ. пром-сть, 1978.
9. Осипова Г. А. Способы повышения биологической ценности макаронных изделий: монография / Г. А. Осипова, С. Я. Корячкина, А. Н. Волчков // Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева. – Орёл, 2010. – 159 с.
10. Реологические свойства макаронного теста с белковыми добавками / В. П. Корячкин, С. Я. Корячкина, Г. А. Осипова [и др.] // Хлебопродукты. – 2009. – № 4. – С. 44–45.
11. Кобыда Е. В. Макароны пресс с излучателем ультразвука / Е. В. Кобыда, Е. И. Верболоз, В. Т. Антуфьев // Хлебопродукты. – 2014. – № 4. – С. 44–45.
12. Поглощение ультразвука макаронным тестом при прессовании / Е. И. Верболоз, Е. В. Кобыда, Б. А. Вороненко [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – Т. 19, № 1. – С. 80-87.

- 13.Верболюз Е. И. Применение ультразвука при сушке макаронных изделий с белковыми добавками / Е. И. Верболюз, О. И. Николук // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79, № 1. – С. 50-54. doi: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-50-54>.
- 14.Верболюз Е. И. Инновационная технология и оборудование для производства макаронных изделий с высокобелковой добавкой / Е. И. Верболюз, В. Т. Антуфьев, О. И. Николук // Хлебопродукты. – 2016. – № 11. – С. 44–47.
- 15.Николук О. И. Влияние ультразвукового способа сушки на качество макаронных изделий с печеню / О. И. Николук // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – Т. 69, № 3. – С. 189-194. doi: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-189-194>.
- 16.Майкл Л. Джордж. Бережливое производство + шесть сигм в сфере услуг. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 402 с.
- 17.James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos. The Machine that changed the World: The Story of Lean Production. Harper Collins, New York, 1990.

#### References:

- 1.Panfilov V. A. Tekhnologicheskiye linii pishchevykh proizvodstv (teoriya tekhnologicheskogo potoka). M. Kolos, 1993.
- 2.Romanchikov S. A. Innovatsionnaya tekhnologiya makaronnykh izdeliy povyshennoy pishchevoy tsennosti s ispol'zovaniyem ul'trazvukovoy magnitostriksionnoy obrabotki muki. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishcheyaya tekhnologiya. 2018. V. 362-363, № 2-3. P. 56-61.
- 3.Medvedev G. M. Tekhnologiya i oborudovaniye makaronnogo proizvodstva. M. Kolos, 1984.
- 4.Chernogortsev A. P., Razumovskaya R. G. Tekhnologiya polucheniya novykh belkovykh produktov: Ucheb. posobiye. Murmansk. MGARF, 1990.
- 5.Ofitsiyiny sayt proyektu RAMUS. Available at: <http://ramussoftware.com>.
- 6.Belov A. A., Korobkov A. N., Mikhaylova O. V., Osokin V. L., Novikova G. V. Ustanovka dlya obezzarazhivaniya zerna i zernoproduktov. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2015. № 2. P. 7–10.
- 7.Mikhaylova O. V., Belov A. A., Belova M. V., Novikova G. V. Ustanovka dlya obezzarazhivaniya i shelusheniya zerna v elektromagnitnom pole sverkhvysokoy chastoty. Vestnik NGIEI. 2015. № 4 (47).
- 8.Nazarov N. I. Tekhnologiya makaronnykh izdeliy. M. Pishch. prom-st', 1978.
- 9.Osipova G. A., Koryachkina S. Ya., Volchikov A. N. Sposoby povysheniya biologicheskoy tsennosti makaronnykh izdeliy: monografiya. Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I. S. Turgeneva. Orol, 2010. 159 s.
- 10.Koryachkin V. P., Koryachkina S. Ya., Osipova G. A. [i dr.] Reologicheskiye svoystva makaronnogo testa s belkovymi dobavkami. Khleboprodukt. 2009. № 4. P. 44–45.
- 11.Kobyda Ye. V., Verboloz Ye. I., Antufyev V. T. Makaronnyy press s izluchatelem ul'trazvuka. Khleboprodukt. 2014. № 4. С. 44–45.
- 12.Verboloz Ye. I., Kobyda Ye. V., Voronenko B. A. [i dr.] Pogloshcheniye ul'trazvuka makaronnym testom pri pressovanii. Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2014. V. 19, № 1. P. 80-87.
- 13.Verboloz Ye. I., Nikolyuk O. I. Primeneniye ul'trazvuka pri sushke makaronnykh izdeliy s belkovymi dobavkami. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy. 2017. V. 79, № 1. P. 50-54. doi: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-50-54>.
- 14.Verboloz Ye. I., Antufyev V. T., Nikolyuk O. I. Innovatsionnaya tekhnologiya i oborudovaniye dlya proizvodstva makaronnykh izdeliy s vysokobelkovoy dobavkoy. Khleboprodukt. 2016. № 11. P. 44–47.
- 15.Nikolyuk O. I. Vliyaniye ul'trazvukovogo sposoba sushki na kachestvo makaronnykh izdeliy s pechen'yu. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy. 2016. V. 69, № 3. P. 189-194. doi: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-3-189-194>.
- 16.James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos. The Machine that changed the World: The Story of Lean Production. Harper Collins, New York, 1990.
- 17.Lysytsyn V. D., Lysenko O. I., Vovk Yu. S. Rol' "oshchadlyvoho vyrobnytstva" v diyal'nosti pidpryyemstva, 2009. Available at: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/PSPE/2009\\_1/Lisenko\\_109.html](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/PSPE/2009_1/Lisenko_109.html).

Надійшла до редакції 06.05.2022р.