

УДК 004.664

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.1.5>

**Олена КРИВОРУЧКО**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Державний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, Україна, індекс 02000 (ev\_kryvoruchko@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-7661-9227

**Юлія КОСТЮК**

здобувач PhD, асистент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Державний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, Україна, індекс 02000 (kostyuk.yu@ukr.net)

ORCID: 0000-0001-5423-0985

**Olena KRYVORUCHKO**

DSc (Eng.), Professor, Head of the Department of at Software Engineering and Cyber Security, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kyoto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02000 (ev\_kryvoruchko@ukr.net)

**Yuliia KOSTIUK**

Assistant at the Department of at Software Engineering and Cyber Security, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kyoto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02000 (kostyuk.yu@ukr.net)

**Бібліографічний опис статті:** Криворучко О., Костюк Ю. Структурно-функціональне моделювання технологічного процесу виробництва вершкового масла. *Інформаційні технології та суспільство*. 2022. Вип. 1 (3). С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.1.5>

**Bibliographic description of the article:** Kryvoruchko, O., Kostiuk, Yu. (2022). Strukturno-funktsionalne modeliuвання tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva vershkovoho masla [Structural and functional modeling of the technological process of butter production]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information echnology and society*, 1 (3), 38–44. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.1.5>

### СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ВЕРШКОВОГО МАСЛА

**Анотація.** Досліджується інформаційно-технологічна модель процесу виробництва вершкового масла, яке характеризується великою кількістю технологічних параметрів та вимагає постійного оперативного контролю та реагування на можливі ситуації. **Метою статті** є побудова структурно-функціональної моделі технологічного процесу виробництва вершкового масла, що дозволить наочно відобразити стан всіх процесів і етапів виробництва з точки зору інформаційних потоків, ресурсів та технологічних регламентів. Реалізація поставленої мети передбачає використання **методології IDEF0 CASE-** технології із застосуванням програмного продукту AllFusion Process Modeler 7 (BPwin), як невід'ємну складову впровадження інформаційних технологій при вдосконаленні бізнес-процесів. **Наукова новизна.** У статті побудовані контекстні діаграми процесу виробництва вершкового масла за стандартом IDEF0. Побудовано діаграму користувачів для підсистеми діагностики та прогнозування. **Висновки.** Контекстні діаграми процесу виробництва вершкового масла дозволили описати інформаційні потоки у вигляді ресурсів, стандартів, технологічного регламенту, механізмів, які задіяні та впливають на сам процес виробництва вершкового масла за стандартом IDEF0. Під час структурно-функціонального моделювання було виділено проблему стабілізації вмісту вологи у вершковому маслі в умовах змінного складу сировини по фізико-хімічним параметрам. Була розроблена діаграма користувача із використати об'єктно-орієнтованої мови моделювання UML для підсистеми діагностики та прогнозування проходження процесу збивання вершків у масло для контролю та прогнозування можливих відхилень вмісту вологи у маслі в залежності від виробничої ситуації, яка дозволить зменшити час реагування на можливі причини виникнення відхилень під час технологічного процесу.

**Ключові слова:** інформаційна система, контекстна діаграма, вершкове масло, діагностика, прогнозування.

### STRUCTURAL-FUNCTIONAL MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF CREAM OIL PRODUCTION

**Abstract.** The information-technological model of the butter production process is studied, which is characterized by a large number of technological parameters and requires constant operational control and response to possible situations. **The aim** of the article is to build a structural and functional model of the technological process of butter production, which will clearly reflect the state of all processes and stages of production in terms of information flows, resources and technological regulations. Achieving this goal involves the use of the methodology IDEF0 CASE-technology using the software product

AllFusion Process Modeler 7 (BPwin), as an integral part of the implementation of information technology in improving business processes. **Scientific novelty.** The article constructs contextual diagrams of the butter production process according to the IDEF0 standard. The diagram of users for the subsystem of diagnostics and forecasting is constructed. **Conclusions.** Context diagrams of the butter production process allowed to describe information flows in the form of resources, standards, technological regulations, mechanisms that are involved and influence the process of butter production according to the IDEF0 standard. During the structural-functional modeling the problem of stabilization of moisture content in butter in the conditions of variable composition of raw materials on physical and chemical parameters was singled out. A user diagram was developed to use the object-oriented modeling language UML for the subsystem for diagnosing and predicting the process of whipping cream into butter to control and predict possible deviations of moisture in the oil depending on the production situation, which will reduce response time to possible causes deviations during the technological process.

**Key words:** information system, context diagram, butter, diagnostics, forecasting.

**Актуальність.** Організація та управління виробничими та інформаційним процесами на підприємстві є одним із важливих напрямків для ефективного керування в цілому. Кожне підприємство характеризується великою кількістю процесів, які вимагають постійного контролю та коригування [1–2]. Саме тому, постає питання підвищення інформативності та керованості виробничими процесами за рахунок застосування різноманітних програмних продуктів CASE- технологій, котрі можуть бути використані для опису як окремих етапів виробничих процесів, так і охоплювати всі процеси в цілому. Структурно-функціональні моделі CASE-технологій дозволяють представити технологічний процес виробництва вершкового масла у форматі відображення структур та функцій системи, інформаційних потоків та матеріальних об'єктів на основі методології моделювання IDEF0.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На даний час достатньо висвітлено питання застосування CASE- технологій для моделювання різного роду виробничих та бізнес-процесів, які викладені у вигляді наукових статей, монографій, навчальних посібників та інших матеріалів [3–7]. Так, Цюцюра М.І. та Демідов П.Г. [8] описали технологію розробки баз даних ERP – системи управління промисловим підприємством, Бреус Н.М. [9] застосувала структурно-функціональне моделювання для опису технології виробництва морозива. Управління технологічним процесом включає заходи планування та забезпечення виробничої діяльності підприємства, які змінюються за рахунок впровадження вдосконалених технологій та засобів автоматизації. Тому, виникає потреба у застосуванні програмно-технічних засобів, які використовують CASE- технологію методології проектування інформаційних систем. Така технологія побудована на основі структурного та об'єктно-орієнтованого аналізу бізнес-процесів у вигляді діаграм для опису зв'язків між моделями системи.

**Метою дослідження** є побудова структурно-функціональної моделі технологічного процесу виробництва вершкового масла, що дозволить наочно відобразити стан всіх процесів і етапів виробництва з точки зору інформаційних потоків, ресурсів та технологічних регламентів.

**Виклад основного матеріалу.** У сучасному світі інформаційні системи стали необхідним інструментом, що охоплює різні сфери діяльності людини. Із розвитком інформаційних технологій та складністю об'єктів керування зростає й складність самих функціональних та інформаційних моделей таких систем.

Виділення бізнес-процесів для підприємства є досить важливим етапом структуризації технологічного процесу виробництва продукції. Це дозволяє виділити основні та додаткові процеси. Так, основні процеси описують саме виробництво продукції, а додаткові – допомагають підвищити її інформативність та якість.

Основу сучасного підходу до організації методів керування технологічного процесу складає реінжиніринг бізнес-процесів, який має на меті фундаментальне переосмислення всіх бізнес-процесів на підприємстві, що направлені на підвищення основних показників, а саме собівартості, якості та продуктивності. Реінжиніринг використовує засоби, методи та відповідні інформаційні технології, які направлені на процес стратегічного інноваційного розвитку із збільшенням автоматизації існуючих процесів.

Для створення інформаційної технологічної моделі виробництва вершкового масла використовується CASE- технологія із застосуванням програмного продукту AllFusion Process Modeler 7 (BPwin). Методологія такого моделювання дозволяє описати систему в цілому у вигляді взаємозв'язаних дій та функцій [8]. BPwin підтримує стандарти IDEF0, DFD, IDEF3, які дозволяють оптимізувати процедури в компанії на основі стандарту якості ISO9000, має вбудований генератор звітів та засоби документування моделей та проектів.

Методологія IDEF0 базується на трьох основних елементах:

- 1) функціональні блоки;
- 2) дуги взаємодій;
- 3) принципи декомпозиції розбиття складного процесу на його складові.

Побудова структурно-функціональної моделі виробництва вершкового масла (рис. 1) з урахуванням інформаційної складової, що включає методи діагностики та прогнозування ведення технологічного процесу починається із контекстної діаграми верхнього рівня.

На діаграмі технологічний процес виробництва вершкового масла представлений у вигляді функціонального блоку, який містить вхідну та вихідну інформацію (ресурси, показники якості, результати), механізми і керуючі впливи. До механізмів впливу відносяться: головний технолог, устаткування, яке бере участь у процесі та методи діагностики та прогнозування у вигляді карт Шухарта та нейронних мереж. До керуючих впливів відносяться стандарти ДСТУ та ISO, а також виробничі завдання. На виході отримуємо результати перетворення інформаційних та матеріальних потоків вхідної інформації (даних про якість початкової сировини, початкової та допоміжної сировини) у вигляді готової продукції, інформації про її якість та відходів виробництва (маслянка).

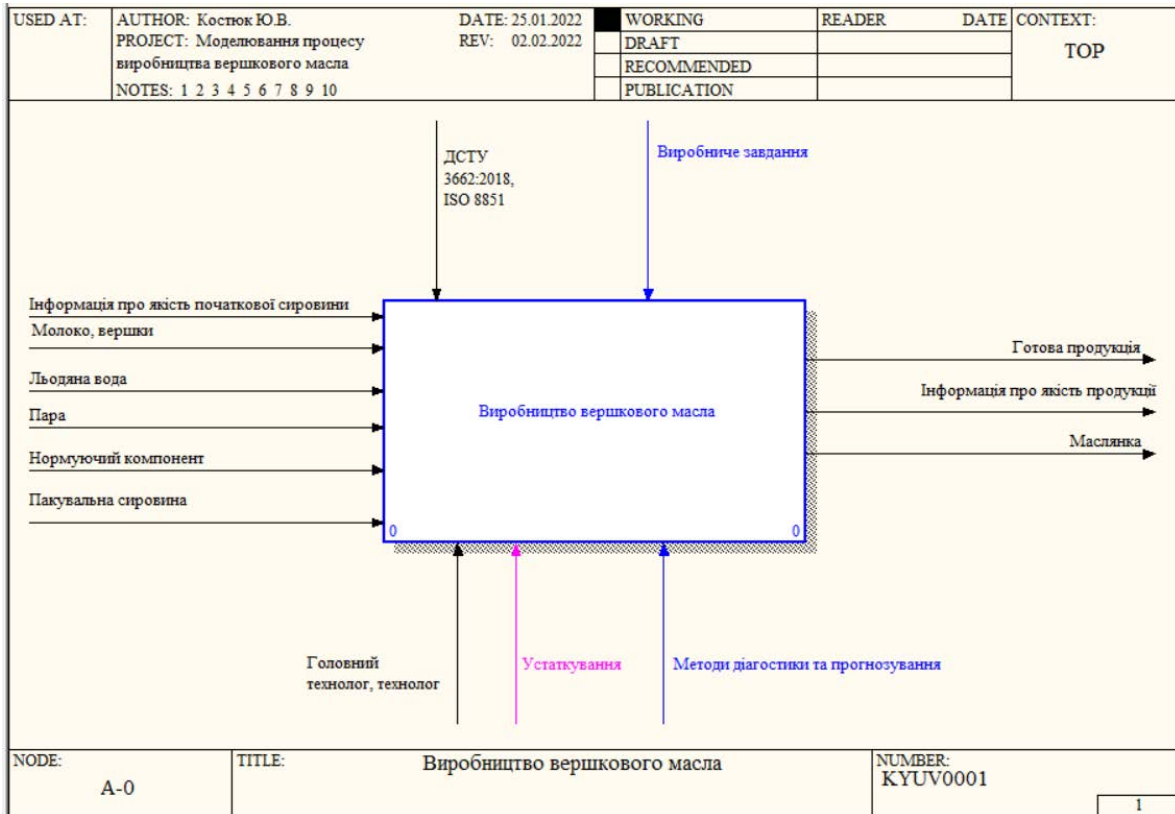


Рис. 1. Верхній рівень технологічної системи «Виробництво вершкового масла»

Для детального опису процесу виробництва вершкового масла було виконана декомпозиція верхнього рівня на наступні етапи (рис. 2): визначити рецептуру та скласти оперативну інформацію, підготувати сировину та інгредієнти, отримати вершкове масло, провести пакування продукції. На першому етапі відповідно до інформації про якість початкової сировини головним технолог керуючись ДСТУ 3662:2018 та ISO 8851 із використанням методів прогнозування складає оперативну інформацію, яка буде слугувати керуючими впливами для всіх наступних етапів виробництва вершкового масла. На другому етапі відбувається підготовка вхідної сировини, а саме вершків із залученням технологів або головного технолога та устаткування відповідно до нормативних документів та розроблених виробничих завдань.

На етапі підготовки сировини та інгредієнтів проводять контроль якості та сортування молока або вершків. Контролю піддають кожен партію молока або вершків одного сорту, що надійшло на виробництво. Далі визначають наступні показники молока або вершків згідно ДСТУ 3662:2018: органолептичні (смак, запах, колір, консистенцію), фізико-хімічні (температуру, кислотність, масову частку жиру, масову частку білка, сухих речовин, густину, механічну забрудненість) та мікробіологічні показники (загальну бакобсеменінність, кількість соматичних клітин, інгібувальні речовини, антибіотики). Сюди входить процес сепарування молока, який ведуть при температурі 35–40°C і кислотності не більше 20 од. рН. На виробництво масла направляються вершки однакової жирності, так як інакше будуть потрібні різні умови підготовки їх до збивання. Для виробництва вершкового масла використовуються вершки з масовою часткою жиру 32–50%. Для пастеризації вершків застосовують пастеризаційно-

охолоджувальні установки. Виходом даного етапу є вершки пастеризовані, які надходять на етап отримання вершкового масла.

На третьому етапі відбувається отримання вершкового масла із вершків методом безперервного збивання відповідно до ДСТУ 3662:2018 та ISO 8851, керуючись виробничим завданням та оперативною рецептурою. Механізмами даного етапу є масловиготовлювач, технолог або головний технолог та методи діагностики та прогнозування. Вихідну інформацію формують вершкове масло, яке є вхідним елементом для етапу пакування продукції, а також інформація про якість готової продукції та маслянка, яка утворюється під час збивання вершків у масло.

Четвертий етап описує процес пакування продукції із використанням пакувальних механізмів під контролем технологів виробництва. Вхідним параметром слугує власне вершкове масло та пакувальна сировина відповідно до масової частки жиру у маслі. Результатом такого етапу є готова продукція.

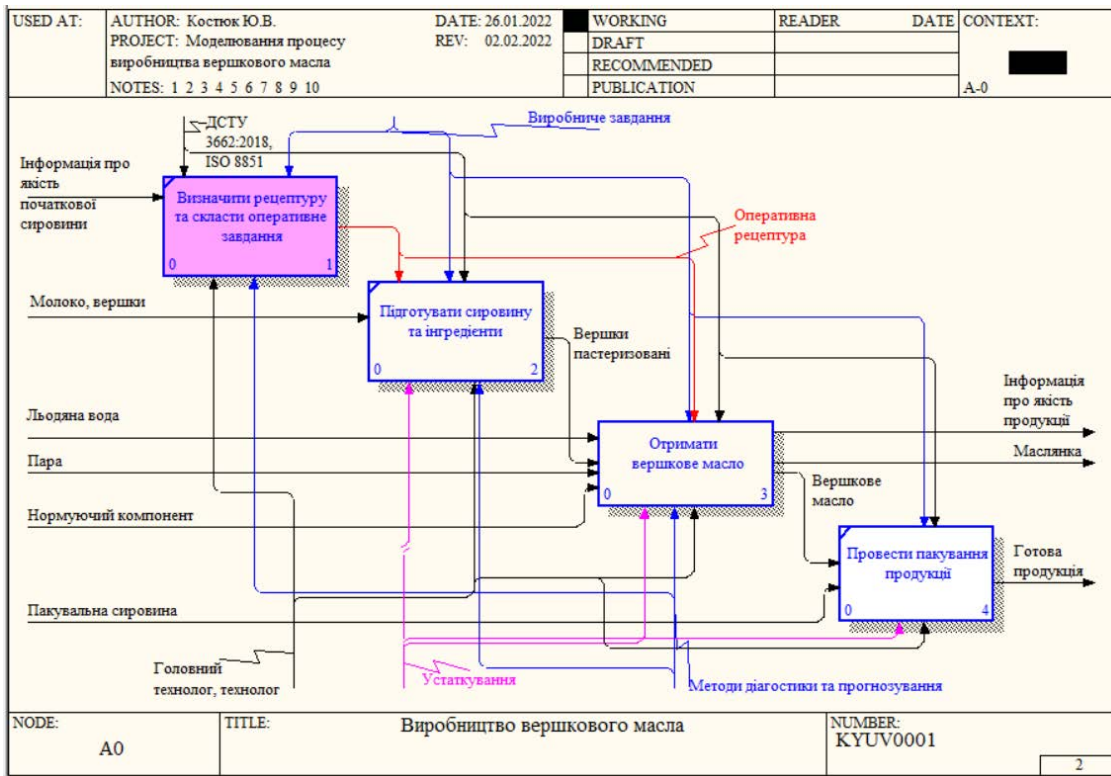


Рис. 2. Декомпозиція верхнього рівня технологічної системи «Виробництво вершкового масла»

Проведемо декомпозицію етапу отримання вершкового масла (рис. 3) на три етапи, а саме: процес дозрівання вершків, процес збивання вершків та оцінку показників якості. Даний етап є дуже важливим, оскільки він залежить від багатьох чинників, які впливають на якість готової продукції, адже вершкове масло це високожирний молочний продукт.

Процес дозрівання вершків проводиться для затвердіння молочного жиру і фізико-хімічних змін оболонки жирових кульок. Метою дозрівання є переведення рідкого жиру у твердий стан. На вміст вологи у кінцевому продукті на стадії дозрівання вершків у значній мірі впливає склад та фізико-хімічні властивості вершків, що надходять на збивання. Температуру збивання вершків встановлюють залежно від масової частки жиру у вершках, періоду року, режимів дозрівання вершків, конструкції масловиготовлювача.

Процес збивання вершків у масло - складний процес, який залежить від багатьох чинників. Основними з яких є: температура вершків, волога у маслі, частота обертання мішалки барабана збивального пристрою, температура збивання вершків, об'єм вершків, рівень маслянки у шнековій камері. Ступінь заповнення масловиготовлювача вершками впливає на тривалість збивання вершків. Оптимальною вважають ступінь заповнення 40–50%. До найважливіших технологічними параметрами, що впливає на якість готового вершкового масла відноситься температура збивання. При зниженні температурі подовжується тривалість збивання, що веде до вироблення масла з невиробленою вологою і засаленої консистенцією. Завищення температури збивання призводить до підвищення жирності і отримання

масла з м'якою консистенцією. Тривалість збивання становила 45–60 хв. Скорочення тривалості збивання призводить до погіршення якості масляного зерна і значного відходу жиру з масляною. При збільшенні тривалості збивання масляне зерно виходить занадто тверде, пружне, воно погано обробляється, а отримане масло може мати грубу консистенцію.

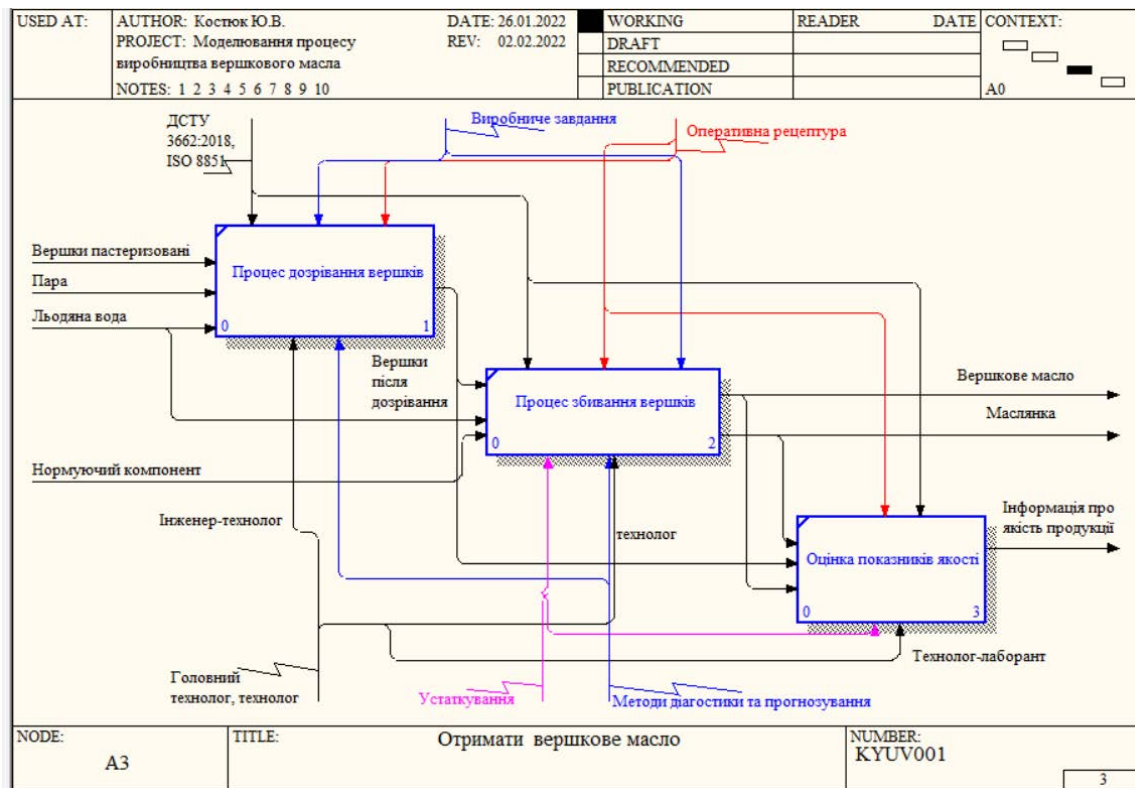


Рис. 3. Декомпозиція операції «Отримати вершкове масло»

На етапі оцінки показників якості технолог-лаборант із використанням спеціального устаткування згідно ДСТУ 3662:2018 та ISO 8851 визначає основні показники якості готового вершкового масла: органолептичні показники, температура, масова частка жиру, масова частка сухого знежиреного залишку, кислотність плазми та жирової фази масла тощо. Якісні показники масла багато в чому характеризують його зовнішній вигляд (структура, колір, оформлення). Смак і запах, колір як показники якості вершкового масла практично зумовлюються, в першу чергу, якістю вихідної сировини. Багато в чому якість і властивості масла залежить від методів переробки вершків, початкової сировини, смакових і ароматичних добавок. В технологічному процесі виробництва вершкового масла основним параметром, який визначає якість вершкового масла є його масова частка вологи у готовому продукті. Якісні показники вершкового масла, в тому числі і масова частка вологи, залежать від фізико-хімічних параметрів початкової та проміжної сировини, що ускладнюють ведення самого процесу. На складність процесу впливає також перехідний процес маслоготовлювача, який пов'язаний із послідовним підключенням резервуарів із вершками після стадії дозрівання для забезпечення неперервності технологічного процесу.

Отже, під час проведення структурно-функціонального аналізу процесу виробництва вершкового масла з використанням середовища AllFusion Process Modeler 7 (BPwin) було виділено проблему стабілізації вмісту вологи у вершковому маслі в умовах змінного складу сировини по фізико-хімічним параметрам, вимагають оперативного керування і, відповідно, забезпечення заданого вмісту вологи в допустимих відхиленнях.

Для вирішення задачі удосконалення інформаційної системи підтримки прийняття рішень щодо стабілізації вмісту вологи у маслі, необхідно розробити підсистему оперативного керування на основі методів діагностики та прогнозування можливих відхилень вмісту вологи у готовому продукті під час процесу збивання вершків у масло, яка дозволить зменшити час реагування на можливі причини виникнення відхилень під час технологічного процесу. Постійне вдосконалення систем підтримки прийняття рішень разом із причинно-наслідковими зв'язками утворюють логічну основу всієї діяльності.

Тому, варто використати об'єктно-орієнтовану мову моделювання UML [10] у вигляді діаграми функцій користувача (Use Case diagram) для підсистеми діагностики та прогнозування. Основні елементи даної діаграми представлені на рис. 4.

Сам процес прийняття рішень складний та багатограний, який містить послідовні етапи заходи. Процес прийняття рішень розпочинається з моменту отримання повноти інформації щодо проходження технологічного процесу. Вивчення та ідентифікація ситуації відбувається на основі вхідної інформації із застосуванням аналітичного мислення, аналогії, порівнянь, аналізу тощо.

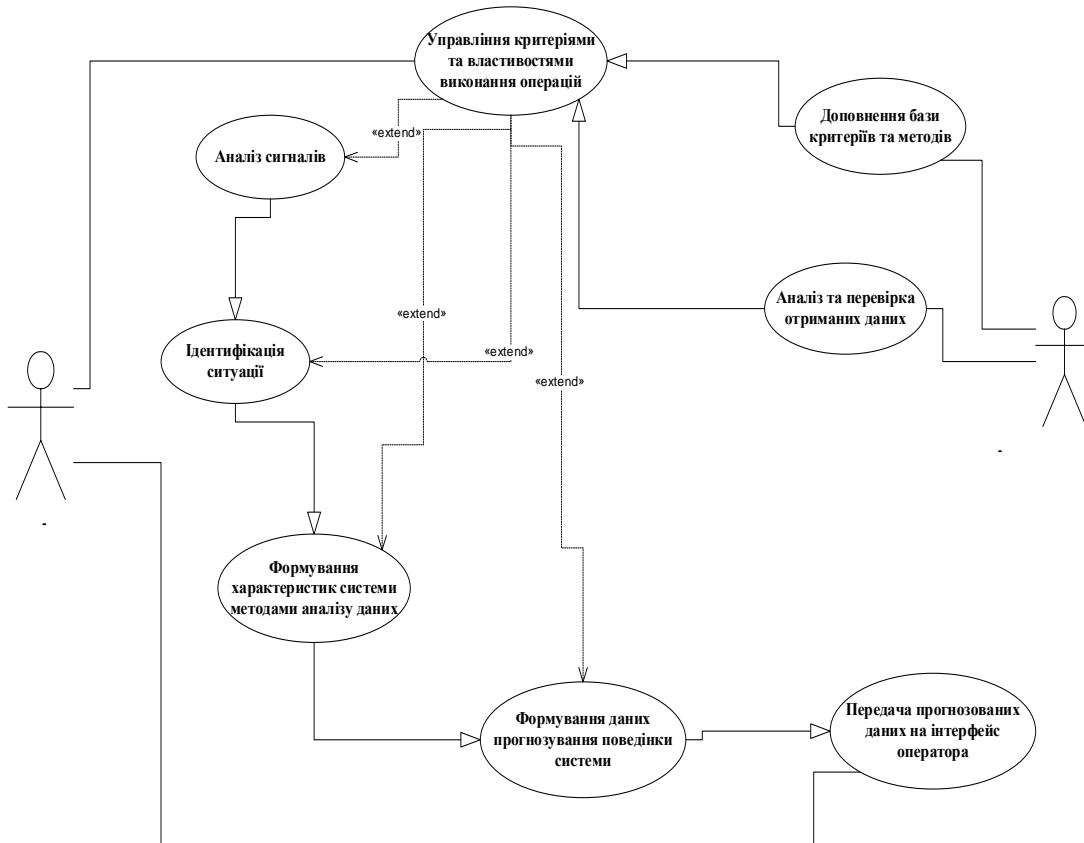


Рис. 4. Діаграми функцій користувача для підсистеми діагностики та прогнозування

Для обробки отриманої інформації застосовуються методи аналізу даних: статистичні, регресійний аналіз, логіко-математичні тощо. Результатом такого етапу виступають структуровані та проаналізовані дані, які поєднуються із об'єктивними та суб'єктивними факторами, що дозволяють оператору-технологу чітко сформулювати характеристику та ступінь важливості проблеми, яка виникла, поставити мету та цілі, яких необхідно досягти при вирішенні даної проблеми.

При формуванні альтернативних рішень оператор-технолог в певній мірі керується невизначеністю ситуації. Тому, наступним етапом є прогнозування можливих сценаріїв розвитку ситуації із використанням інтелектуальних методів, а саме нейронної мережі, яка на основі експериментальних даних навчена за певним алгоритмом та протестована.

Після проведення прогнозування існує можливість розглянути можливі варіанти, які порівнюються із критеріями для цієї конкретної проблеми. Вибір оптимального рішення для конкретних умов із забезпечення ефективного керування відбувається на основі результатів порівняння можливих варіантів розвитку подій. Таким чином, для оператора-технолога процес прийняття рішень є досить складним і містить безліч етапів, які залежать від складності проблеми, що вирішується.

Наступним важливим етапом є впровадження рішення та моніторинг за його виконанням. Ефективність такого моніторингу не можливий без чіткого опису робіт, які повинні бути виконані усіма учасниками. Тут варто враховувати кваліфікацію виконавців та їх досвід. В кінцевому випадку, результати виконання керуючих дій повинні бути узагальнені незалежно від стану реалізації та перевірені на їх ефективність для подальшого прийняття та реалізації в аналогічних ситуаціях.

**Висновки.** Для аналізу процесу та етапів виробництва вершкового масла було використано структурно-функціональне моделювання з подальшою декомпозицією технологічного процесу «AS-IS» у стандарті IDEF0. Контекстні діаграми дозволили описати інформаційні потоки у вигляді ресурсів, стандартів, технологічного регламенту, механізмів, які задіяні та впливають на сам процес виробництва вершкового масла. Під час структурно-функціонального моделювання було виділено проблему стабілізації вмісту вологи у вершковому маслі в умовах змінного складу сировини по фізико-хімічним параметрам. Тому виникає потреба у оперативному керуванні технологічним процесом для забезпечення заданого вмісту вологи в допустимих відхиленнях і, відповідно, забезпечення належної якості готового продукту. Була розроблена діаграма користувача із використати об'єктно-орієнтованої мови моделювання UML для підсистеми діагностики та прогнозування проходження процесу збивання вершків у масло для контролю та прогнозування можливих відхилень вмісту вологи у маслі в залежності від виробничої ситуації, яка дозволить зменшити час реагування на можливі причини виникнення відхилень під час технологічного процесу.

#### Список використаних джерел:

1. Криворучко О. В., Костюк Ю. В., Самойленко Ю. О. Інформаційна підсистема контролю якості продукції з використанням карт Шухарта. *Управління розвитком складних систем*. 2021. № 47. С. 190–195, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2021.47.190-195.
2. Криворучко О.В., Костюк Ю.В., Самойленко Ю.О. Формування підсистеми підтримки прийняття рішень процесом виробництва вершкового масла. *Specialized and multidisciplinary scientific researches: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Vol. 2), December 11, 2020. Amsterdam, The Netherland: European Scientific Platform*, P.p. 125–126.
3. Bruce Silver. *BPMN Method and Style: A levels-based methodology for BPM process modeling and improvement using BPMN 2.0*. Cody-Cassidy. 2009. 236 p.
4. Stephen A. White, Derek Miers. *BPMN Modeling and Reference Guide: Understanding and Using BPMN*. Future Strategies Inc., 2008. 226 p.
5. What is business process management (BPM). URL: <https://www.bizagi.com/en/blog/what-is-business-process-management-bpm> (дата звернення: 25.01.2022)
6. Маклаков С.В. BPwin и ERwin: CASE-средства для разработки информационных систем. Москва : Диалог-МИФИ, 2000. 43 с.
7. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с ALLFusion Process Modeler. Москва : Диалог-МИФИ, 2008. 240 с.
8. Демідов П.Г., М.І. Цюцюра. Технології розробки бази даних ERP-системи управління промисловим підприємством. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 30. С. 101–107.
9. Бреус Н.М. Інформаційна технологія моделювання рецептур морозива: дис. канд. техн. наук: 05.13.06. Київ, 2019. 153 с.
10. Фаулер М. UML. Основы, 3-е издание (пер. с англ.). Санкт-Петербург : Символ-Плюс, 2004. 192 с.

#### References:

1. Kryvoruchko, Olena, Kostiuk, Yuliia & Samoilenko, Yuliia. (2021). Informatsiina pidsystema kontroliu yakosti produktsii z vykorystanniam kart Shukharta [Information subsystem of product quality using Shuhart chart]. *Management of Development of Complex Systems*, 47, 190–195, dx.doi.org\10.32347/2412- 9933.2021.47.190-195. [in Ukrainian].
2. Kryvoruchko, O., Kostiuk, Yu., & Samoilenko, Yu. (2020). Formuvannia pidsystemy pidtrymky pryiniattia rishen protsesom vyrobnytstva vershkovoho masla [Formation of a decision support subsystem in the process of butter production]. *Specialized and multidisciplinary scientific researches: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Vol. 2), December 11, 2020. Amsterdam, The Netherland: European Scientific Platform*, P.p. 125-126. [in Ukrainian].
3. Bruce Silver. (2009). *BPMN Method and Style: A levels-based methodology for BPM process modeling and improvement using BPMN 2.0*. Cody-Cassidy [in English].
4. Stephen A. White, Derek Miers. (2008). *BPMN Modeling and Reference Guide: Understanding and Using BPMN*. USA, Future Strategies Inc [in English].
5. What is business process management (BPM). Retrieved from: <https://www.bizagi.com/en/blog/what-is-business-process-management-bpm> [in English].
6. Maklakov, S.V. (2000). *BPwin y ERwin: CASE-sredstva dlia razrabotky ynformatsyonnykh system [BPwin and ERwin: CASE tools for information systems development]*. Moscow: Dyaloh-MYFY. [in Russian].
7. Maklakov, S.V. (2008). *Modelyrovanye byznes-protsessov s ALLFusion Process Modeler [Business process modeling with ALLFusion Process Modeler]*. Moscow: Dyaloh-MYFY [in Russian].
8. Demidov, P.H. & Tsiutsiura, M.I. (2017). Tekhnolohii rozrobky bazy danykh ERP-systemy upravlinnia promyslovym pidpriemstvom [Technologies for developing an ERP database for industrial enterprise management systems]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. 30, 101 – 107. [in Ukrainian].
9. Breus, N.M. (2019). Informatsiina tekhnolohiia modeliuvannia retseptur morozyva [Information technology for modeling ice cream recipes]. Candidate's thesis Kyiv: NUFT [in Ukrainian].
10. Fauler M. (2004). *UML. Osnovy, 3-e izdanie (per. s angl.) [Fundamentals, 3rd edition (translated from English)]*. Spb.: Simvol-Plyus [in Russian].