

УДК 004.664

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.8>

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, старший викладач 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 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

Applicant, Senior Lecturer 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. (2022). Розробка інформаційної системи підтримки прийняття рішень на базі SysML. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 58–64. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.8>

Bibliographic description of the article: Kryvoruchko, O., Kostiuk, Yu. (2022). Rozrobka informatsiinoi systemy pidtrymky pryiniattia rishen na bazi SysML [Development of an information system for supporting decision based on SysML]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information echnology and society*, 2 (4), 58–64. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.8>

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА БАЗІ SYSML

Розглядаються процес створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень якості продукції задля полегшення прийняття рішень під час моніторингу технологічного процесу та його прогнозування в умовах багатofакторності та невизначеності. **Метою статті** є проектування інформаційної системи підтримки прийняття рішень якістю продукції, а саме виробництва вершкового масла. Реалізація поставленої мети передбачає використання **методології** SysML згідно із стандартом ISO/IEC/IEEE 42010:201, що дозволяє конкретизувати, візуалізувати та конструювати різні програмні аспекти системи. **Наукова новизна.** Проектування інформаційної системи із застосуванням мови системної інженерії SysML дозволяє показати багатокомпонентні підсистеми на ранніх етапах їх створення. У статті побудовані діаграма вимог (requirement diagram) та послідовності (sequence diagram). **Висновки.** Існує проблема щодо сучасних стандартів при проектуванні інформаційних систем підтримки прийняття рішень для технологічних процесів. Було показано доцільність використання методології системної інженерії SysML на основі стандартних діаграм. Розроблена діаграма вимог демонструє взаємозв'язки та взаємовпливи до загальних та уточнюючих вимог при проектуванні інформаційної системи підтримки прийняття рішень якістю продукції. Діаграми послідовностей використовуються головним чином для того, щоб показати взаємодію між різними об'єктами в послідовному порядку передачі інформації, в якому відбувається ця взаємодія. Розроблені діаграми дозволяють полегшити інтегрування інформаційної системи підтримки прийняття рішень в підсистему автоматизованого управління технологічним процесом для забезпечення належного функціонування в режимі реального часу, мати зв'язок із системою автоматизації нижнього рівня та системами верхнього рівня диспетчеризації, та базою даних.

Ключові слова: інформаційна система, діаграма вимог, діаграма послідовності, методологія SysML, моніторинг, прогнозування.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING DECISION BASED ON SYSML

The process of creating an information system to support product quality decision to facilitate decision-making during monitoring of the technological process and its forecasting in conditions of multifactoriality and uncertainty is considered. **The aim** of the article is to design an information system supporting decision-making by product quality, namely butter

production. The realization of the set goal involves the use of the SysML methodology in accordance with the ISO/IEC/IEEE 42010:201 standard, which allows specifying, visualizing and constructing various software aspects of the system. **Scientific novelty.** Designing an information system using the system engineering language SysML allows you to show multi-component subsystems at the early stages of their creation. The article contains both requirement and sequence diagrams. **Conclusions.** There are some issues in modern standards, specifically in the process of the creating of the decision support information systems for technological processes. There is shown the feasibility of using SysML system engineering methodology based on standard diagrams. The developed diagram of the requirements demonstrates the interrelationships and mutual influences to the general and clarifying requirements in the design of the information system to support decision-making by product quality. Sequence diagrams are used primarily to show the interaction among different objects in the sequential order in which that interaction occurs. The developed diagrams make it possible to facilitate the integration of the decision support information system into the subsystem of the automated control of the technological process to ensure proper functioning in real time, to have a connection with the lower-level automation system and upper-level dispatching systems, and the database.

Key words: information system, requirements diagram, sequence diagram, SysML methodology, monitoring, forecasting.

Актуальність. Створення сучасних інформаційних систем керування якістю продукції являється однією із актуальних задач сьогодення. Пріоритетними напрямками впровадження таких систем є процеси покращення прийняття рішень під час моніторингу технологічного процесу та його прогнозування в умовах багатофакторності та невизначеності. Традиційні методи не можуть в повній мірі забезпечити вирішення поставлених задач, тому варто застосовувати нові сучасні перспективні підходи на основі інтелектуальних технологій обробки, прогнозування та візуалізації технологічної інформації. Інформаційні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) містять апаратну, програмну та інформаційні складові. Враховуючи складності при проектуванні ІСППР та її інформаційну взаємодію із всіма складовими підприємства, виникає необхідність у застосуванні засобу системної інженерії SysML, що дозволяє конкретизувати, візуалізувати, конструювати різні програмні аспекти системи [1; 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день немає універсального стандарту при проектуванні інформаційних систем, який би описував повністю як технічну сторону, так і програмно-інформаційну. Традиційним стандартом при проектуванні автоматизованих систем є ГОСТ 34.601-90 та ГОСТ 34.201-89. При проектуванні інформаційних систем керуються стандартами IEEE Std 1076-2008, ISO/IEC/IEEE 15288:2015, ISO/IEC/IEEE 12207:2017, ISO/IEC/IEEE 16326:2019 SEI (2021), OMG (2021). Сучасні інформаційні системи на основі інтелектуального аналізу даних використовують стандарти CWM, CRISP, PMML [3]. В свою чергу, проектування систем, яке є основним із напрямків у процесі системної інженерії, розглядає багатокомпонентні підсистеми на ранніх етапах їх створення. Важливу увагу приділяють моделям системи, що проектується. Так, у дослідженні [4] авторами запропоновано підхід до автоматичного виведення моделі логіки керування в IEC-61499 FB з моделі проектування системи в SysML. У роботі [5–7] авторами було покращено життєвий цикл розробки програмного забезпечення в управлінні процесами за допомогою UML/SysML. У роботі [8; 9] авторами застосовано SysML для моделі системної інтеграції проектування та моделювання мехатронних систем. У роботі [10] авторами використано SysML для проектування систем керування.

Тож актуальним завданням є застосування інтегрованої мови моделювання SysML згідно із стандартом ISO/IEC/IEEE 42010:201 для опису різних аспектів інформаційної системи.

Метою дослідження є проектування інформаційної системи підтримки прийняття рішень якістю продукції, а саме процесу виробництва вершкового масла на основі методології SysML.

Виклад основного матеріалу. Проведена характеристика технологічного процесу виробництва вершкового масла методом збивання свідчить про наявність невизначеностей різної природи та багатофакторності ризиків. Диспетчерське управління технологічним процесом має змінний характер і його складність залежить від самого об'єкта управління та інформаційно-обчислювальних систем, що впливає на прийняття рішень. Саме тому, інформаційна система підтримки прийняття рішень повинна забезпечувати постійний моніторинг технологічного процесу в режимі реального часу з метою попередження та/або недопущення нештатних ситуацій за рахунок прогнозування їхнього розвитку впродовж визначеного режиму функціонування.

До основних задач, які ставляться перед інформаційною системою підтримки прийняття рішень можна віднести наступне:

- зменшення браку продукції при наявних ресурсах;
- прийняття рішень в умовах невизначеності;
- координація та моніторинг технологічного процесу виробництва вершкового масла методом збивання;
- зменшення простоїв виробництва.

Важливою складовою інформаційної системи підтримки прийняття рішень є база даних, яка накопичує у собі дані технологічних параметрів проходження процесу та можливих нештатних ситуацій,

що виникають на підприємстві. В режимі реального часу операторам-технологам в певних нештатних ситуаціях досить важко спрогнозувати можливий розвиток ситуації, тому інформаційна система діагностики та прогнозування з використанням штучного інтелекту стає ефективним знаряддям для забезпечення належної якості готового продукту.

Постійний розвиток систем автоматизації та інформаційно-комунікаційних технологій зумовило тенденцію до зростання складності програмного забезпечення, що використовується у системах підтримки прийняття рішень, його обсягу та інтеграції. Поступово, моделювання займає одне із основних місць у різних галузях для опису таких систем на перших етапах їх створення. SysML є діалектом UML 2 для моделювання широкого кола систем, які можуть включати апаратне та програмне забезпечення, як мова системної інженерії для аналізу, конкретизації, проектування складних систем з метою підвищення їх якості. SysML включає дев'ять діаграм (рис. 1) [1]:

- Package diagram – це статична структурна діаграма, яка показує зв'язки між елементами моделі та їх вмістом;
- Requirement diagram – використовується для опису функціональних та нефункціональних вимог всередині моделі;
- Activity diagram – використовується для опису поведінки системи та її частин;
- Sequence diagram – описує динамічну поведінку системи як взаємодії між розподіленими об'єктами за допомогою повідомлень;
- State machine diagram – описує динамічну поведінку системи, яка показує послідовність станів, через який проходить об'єкт;
- Use case diagram – описує функціональність системи та те, як користувачі взаємодіють з нею;
- Block definition diagram – визначає системні статичні структури, які будуть використовуватися для об'єктів керування, об'єктів даних та об'єктів інтерфейсу;
- Internal block diagram – це статична структурна діаграма, яка показує його інкапсульований структурний вміст: частини, властивості, роз'єми, порти та інтерфейс;
- Parametric diagram – визначає обмеження на значення властивостей і зв'язок між властивостями системи.

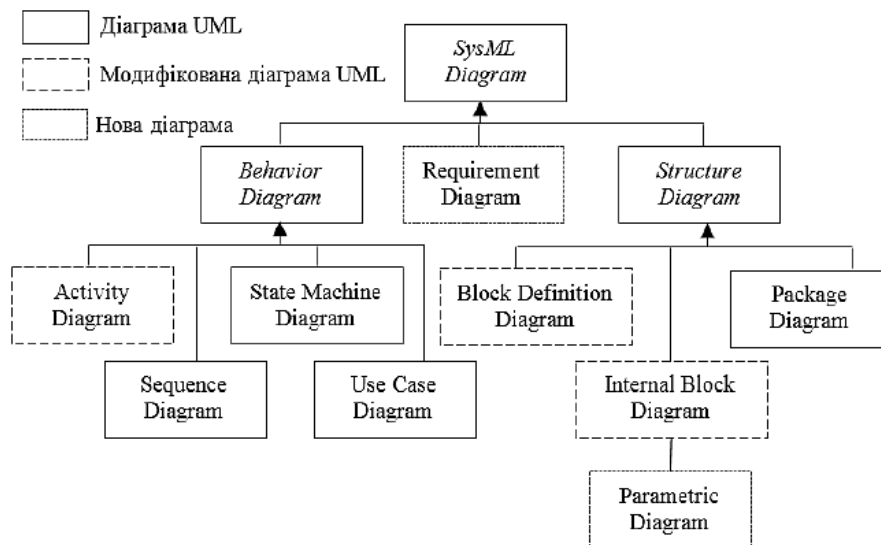


Рис. 1. SysML діаграми

Основою розробки ІСППР якості продукції є вимоги, що висувуються до майбутньої системи, яка пов'язана із моніторингом та прогнозуванням технологічного процесу. Для цього у SysML визначена діаграма вимог (requirement diagram), яка формує загальні вимоги до системи і показана на рис. 2. Основною вимогою виступає власне розробка інформаційної системи моніторингу та прогнозування процесу збивання вершків у масло, яка б забезпечувала підтримку прийняття рішень в ході технологічного процесу, попередження та уникнення критичних ситуацій, прогнозування поведінки процесу.

Основна вимога містить дві декомпозиції: це власне методи моніторингу та прогнозування технологічного процесу. Впровадження методів моніторингу поведінки технологічного процесу повинно забезпечувати моніторинг технологічних параметрів в режимі реального часу, відображення виходу параметрів за контрольні межі. Це все уточнюється за допомогою зв'язку "derive" розрахунком кон-

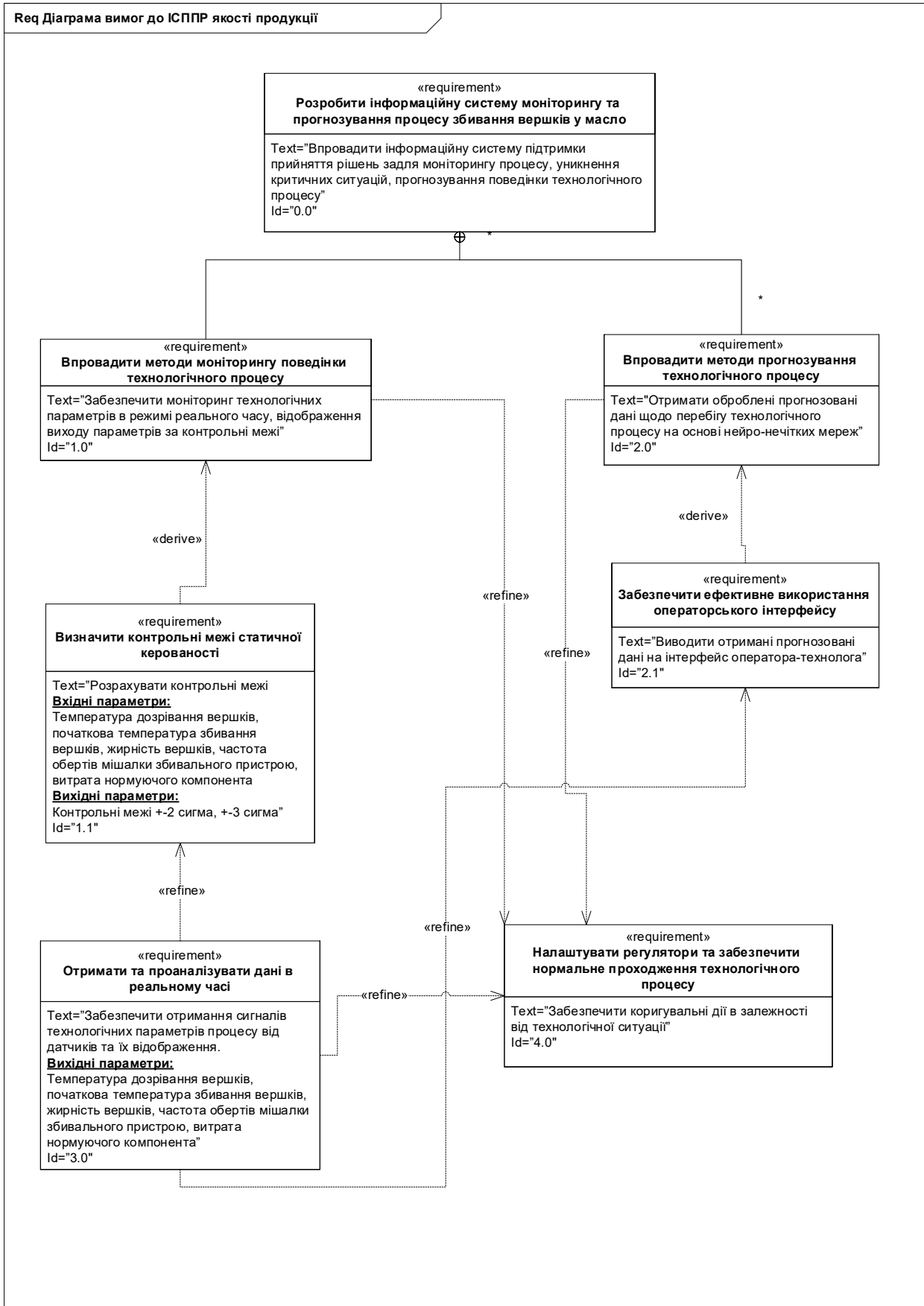


Рис. 2. Діаграма вимог до ІСППР якості продукції

трольних меж карт Шухарта на відстані $\pm 2\sigma$ та $\pm 3\sigma$ відповідних технологічних параметрів процесу збивання вершків у масло, що сповіщають оператора-технолога про можливі нештатні ситуації. Дана вимога уточнюється за допомогою зв'язку "refine" щодо забезпечення отримання сигналів технологічних параметрів процесу від датчиків та їх відображення. Впровадження методів прогнозування технологічного процесу націлено на забезпечення отримання оброблених прогнозованих даних про можливий перебіг технологічного процесу на основі нейро-нечітких мереж. Дана вимога уточнюється зв'язком "derive" забезпеченням ефективного використання операторського інтерфейсу. Крім того, вимоги мають додаткове уточнення через зв'язок "refine" щодо налаштування регуляторів та забезпечення нормального проходження технологічного процесу, внесення коригувальних дій в залежності від технологічної ситуації.

Діаграма послідовності (sequence diagram) є популярним рішенням для динамічного моделювання. Діаграма описує задіяні етапи та послідовність повідомлень, яким вони обмінюються, необхідні для їх виконання. Вона використана для відображення етапів створення та впровадження ІСППР якості продукції, що організовані у часовій послідовності та має дві осі (рис. 3): вертикальна представляє час, а горизонтальна – об'єкти *Проект ІСППР*, *Налаштування системи та регуляторів*, *Розробка ІСППР*, *Запуск ІСППР*, *Робочий цикл ІСППР*. Взаємодія між об'єктами здійснюється через повідомлення (message), які містять інформацію про виконуючу дію. Кожне повідомлення представляється у вигляді суцільної лінії зі стрілкою на кінці, яка проводиться від лінії життя одного об'єкта до лінії життя іншого.

Так надходить сигнал від етапу *Проект ІСППР* до *Розробка ІСППР* про обробку даних, які будуть задіяні в інформаційній системі. У зворотному напрямку надходить повідомлення про визначення експе-

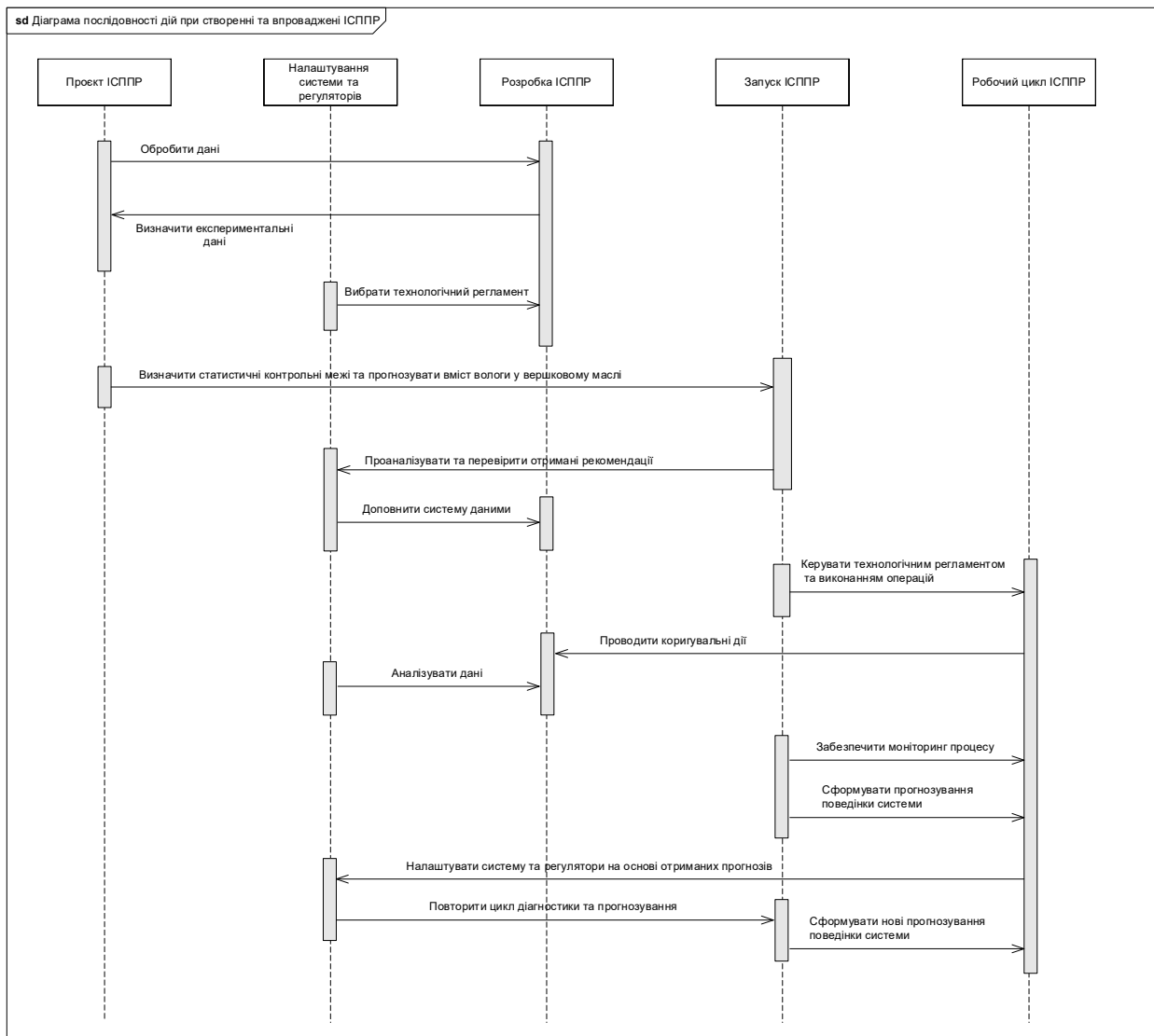


Рис. 3. Діаграма послідовності дій при створенні та впровадженні ІСППР

риментальних даних, на основі яких буде будуватися, перевірятися та тестуватися система підтримки прийняття рішень. Також, на етап *Розробка ІСППР* надходить повідомлення від етапу *Налаштування системи та регуляторів* про вибір технологічного регламенту, адже вершкове масло має різний вміст вологи і відповідний йому регламент. Аналогічно відбувається обмін повідомленнями з іншими об'єктами діаграми послідовності.

Наступним не менш важливим етапом при створенні ІСППР виробництва вершкового масла є відображення послідовності дій, які виникають між системами різних рівнів виробництва, так як сигнали керуючих дій надходять на регулюючі органи та виконавчі механізми. Для діаграми послідовності функціонування ІСППР якості продукції, яка представлена на рис. 4, об'єктами є *РО, ВМ, Датчики, ПЛК (промисловий логічний контролер), Оператор-технолог, ІСППР*. Вся інформація про хід технологічного процесу, власне процесу збивання вершків у масло, отримується за допомогою *Датчиків*, які передають інформацію до *ПЛК*. У свою чергу від об'єкта *ПЛК* до *Оператора-технолога* надходить повідомлення про обробку та передачу інформації. Надалі об'єкт *ІСППР* отримує повідомлення про передачу та візуалізацію інформації від *Оператора-технолога*.

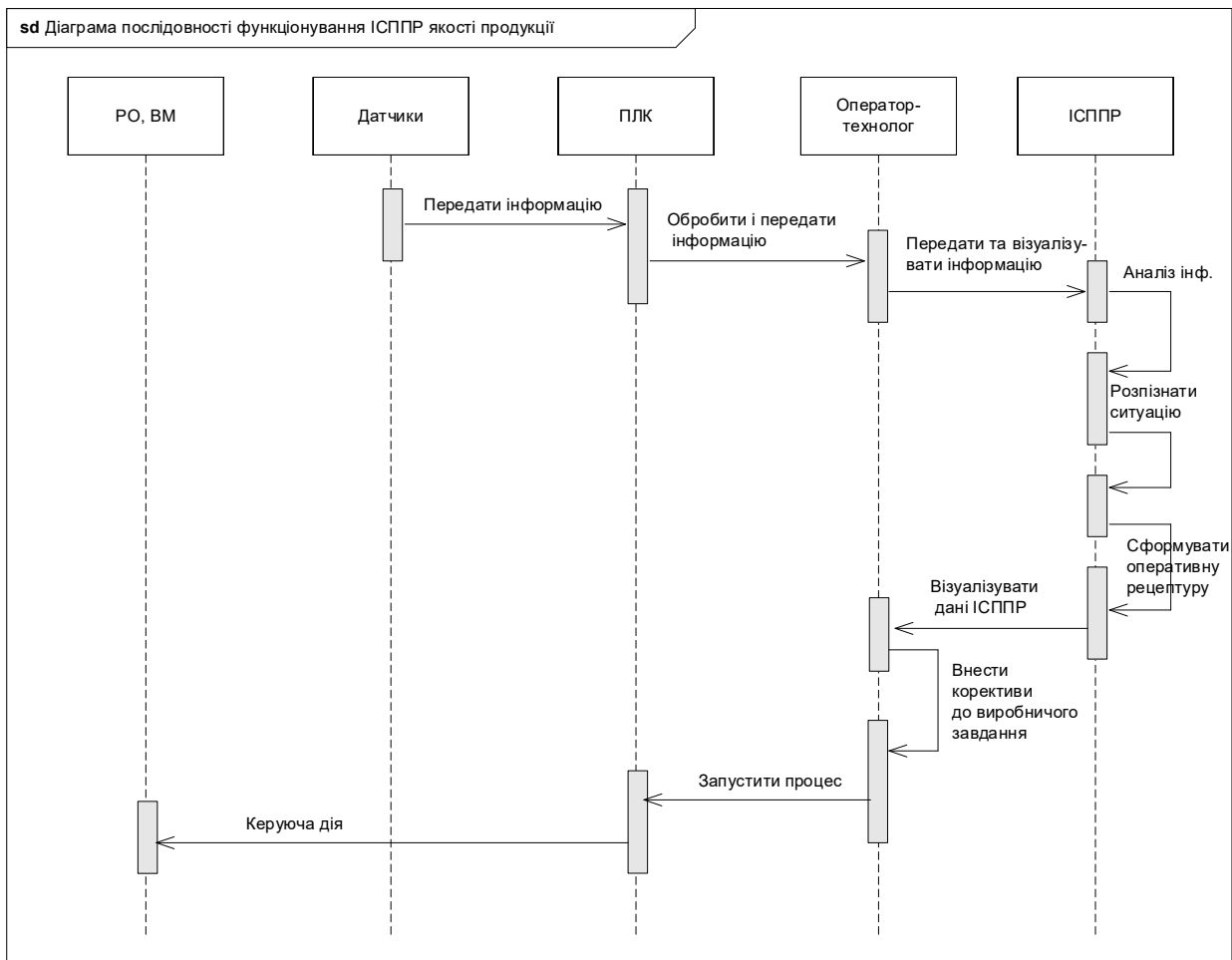


Рис. 4. Діаграма послідовності функціонування ІСППР якості продукції

Об'єкт *ІСППР* отримує повідомлення на виконання таких дій як: аналіз інформації, розпізнавання ситуації, формування оперативної рецептури. Аналогічно відбувається обмін повідомленнями між іншими об'єктами системи.

Отже, вище наведені діаграми дозволяють представити складний процес створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень та її взаємодію із різним складовими частинами та етапами.

Висновки. Як було висвітлено у статті, існує проблема щодо сучасних стандартів при проектуванні інформаційних систем підтримки прийняття рішень для технологічних процесів. Було показано доцільність використання методології системної інженерії SysML на основі стандартних діаграм. Розроблена діаграма вимог демонструє взаємозв'язки та взаємовпливи до загальних та уточнюючих вимог при проектуванні інформаційної системи підтримки прийняття рішень якості продукції, а саме процесу збиван-

ня вершків у масло неперервним методом. Діаграми послідовностей використовуються головним чином для того, щоб показати взаємодію між різними об'єктами в послідовному порядку передачі інформації, в якому відбувається ця взаємодія. Розроблені діаграми дозволяють полегшити інтегрування інформаційної системи підтримки прийняття рішень в підсистему автоматизованого управління технологічним процесом для забезпечення належного функціонування в режимі реального часу, мати зв'язок із системою автоматизації нижнього рівня та системами верхнього рівня диспетчеризації, та базою даних.

Список використаних джерел:

1. Луцька Н. М., Власенко Л. О., Ладанюк А. П. Проєктування інтелектуальних автоматизованих систем керування технологічними процесами харчових виробництв засобами SysML. Частина 1: Огляд діаграм SysML, розробка діаграм вимог. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Том 23, № 3. С. 15–24. <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2021/3/4>
2. Korobiichuk I., Ladanyuk A., Vlasenko L., Zaiets N. *Modern Development Technologies and Investigation of Food Production Technological Complex Automated Systems*, Proceedings of 2-nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering ICMSCE 2018. Amsterdam, Netherlands., 2018. P. 52–56. doi.org/10.1145/3185066.3185075
3. Ruan D., Chen G., Kerre E. E., Wets E. *Intelligent data mining: techniques and applications*. 1 ed. Heidelberg: Springer, 2005. 523 p.
4. Yue C., Jing Xu, Yusheng L., Xiaoping Ye, Jianjun Z. Automated generation of control logic from system design based on SysML and the IEC 61499 Function Block. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2019. Vol. 233 (14). P. 2547–2565.
5. Hoffmann H. Harmony SE: a SysML based systems engineering process. In: *Innovation 2008 Telelogic user group conference*, Austin, TX, 26–29 October 2008, Malmo : Telelogic. P. 1–25.
6. Tim W. *Systems engineering with SysML/UML: modeling, analysis, design*. Burlington, MA : Morgan Kaufmann, 2008. 320 p.
7. Batchkova I., Antonova I. Improving the software development life cycle in process control using UML/SysML. *IFAC Proceedings Volumes*. 2011. Vol. 44 (3). P. 14133–14138. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03190>
8. Barbieri G., Kernschmidt K., Fantuzzi C., Vogel-Heuser B. A SysML based design pattern for the high-level development of mechatronic systems to enhance reusability. *IFAC Proceedings Volumes*. 2014. Vol. 47 (3). P. 3431–3437. doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00615
9. Yue Cao, Yusheng Liu, Christiaan J.J. Predis. System-level model integration of design and simulation for mechatronic systems based on SysML. *Mechatronics*. Vol. 21 (3). 2011. P. 1063–1075. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2011.05.003>
10. Sakairi T., Palachi E., Cohen C., Hatsutori Y., Shimizu J., Miyashita H. Designing a control system using SysML and Simulink. 2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), 2012. Akita, Japan. P. 2011–2017.

References:

1. Lutska, N., Vlasenko, L., & Ladanyuk, A. (2021). Proiektuvannia intelektualnykh avtomatyzovanykh system keruvannia tekhnolohichnymy protsesamy kharchovykh vyrobnytstv zasobamy SysML. Chastyna 1: Ohliad diahram SysML, rozrobka diahram vymoh. [Design of intelligent automated control systems for technological processes of food production by SysML means. Part 1: overview of sysml diagrams, development of requirement diagrams]. *Scientific Works of NUFT*, 27 (3), 15–24. Retrieved from: <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2021/3/4> [in Ukrainian]
2. Korobiichuk, I., Ladanyuk, A., Vlasenko, L., & Zaiets, N. (2018). Modern Development Technologies and Investigation of Food Production Technological Complex Automated Systems, *Proceedings of 2-nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering ICMSCE*. (pp. 52–56). Amsterdam, Netherlands. Retrieved from: doi.org/10.1145/3185066.3185075
3. Ruan, D., Chen, G., Kerre, E. E., & Wets, E. (2005). *Intelligent data mining: techniques and applications*. 1 ed. Heidelberg : Springer.
4. Yue, Cao, Jing, Xu, Yusheng, L., Xiaoping, Ye., & Jianjun, Z. (2019). Automated generation of control logic from system design based on SysML and the IEC 61499 Function Block. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233 (14), 2547–2565.
5. Hoffmann, H. (2008). Harmony SE: a SysML based systems engineering process. In: *Innovation 2008 Telelogic user group conference*. (pp. 1–25). Austin, TX, Malmo : Telelogic.
6. Tim, W. (2008). *Systems engineering with SysML/UML: modeling, analysis, design*. Burlington, MA : Morgan Kaufmann.
7. Batchkova, I., & Antonova, I. (2011). Improving the software development life cycle in process control using UML/SysML. *IFAC Proceedings Volumes*, 44 (3), 14133–14138. Retrieved from: <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03190>
8. Barbieri, G., Kernschmidt, K., Fantuzzi, C., & Vogel-Heuser, B. (2014). A SysML based design pattern for the high-level development of mechatronic systems to enhance reusability. *IFAC Proceedings Volumes*, 47 (3), 3431–3437. Retrieved from: doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00615
9. Yue, Cao, Yusheng, Liu, & Christiaan J.J. Predis. (2011). System-level model integration of design and simulation for mechatronic systems based on SysML. *Mechatronics*, 21 (3), 1063–1075. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2011.05.003>
10. Sakairi, T., Palachi, E., Cohen, C., Hatsutori, Y., Shimizu, J., & Miyashita, H. (2012). Designing a control system using SysML and Simulink. 2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), (pp. 2011–2017). Akita, Japan.