

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШАЛЕВА ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 681.511.46

ДИСЕРТАЦІЯ

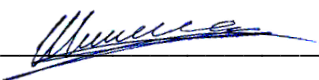
**СИСТЕМА АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯМ
РОЗЧИНІВ У ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

15 Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 / В. В. Шалева /
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Матіко Федір Дмитрович,
доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Шалева В.В. Система адаптивного керування дозуванням розчинів у фармацевтичному виробництві. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».- Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального завдання в галузі автоматизації – розроблення системи адаптивного керування дозуванням розчинів у фармацевтичному виробництві для підвищення швидкодії та продуктивності технологічних ліній на основі вагового методу дозування за змінних технологічних умов.

У сучасному фармацевтичному виробництві одну технологічну лінію застосовують для дозування розчинів з різними властивостями (густиною, в'язкістю) у різні види тари, що формує змінні умови дозування. Одночасно надзвичайно високими є вимоги до точності дозування, оскільки дозовані розчини у подальшому є основою для виготовлення лікарських сумішей. Забезпечення названих вимог можливе за умови застосування адаптивної системи керування, яка дає можливість знаходити оптимальні параметри дозування для кожної окремої партії продукції, а отже забезпечує максимальну ефективність технологічної лінії дозування.

У дисертації представлено аналіз існуючих методів дозування та технологічного обладнання, яке здійснює дозування відповідно до реалізованого методу. Виконано аналіз технологічних ліній наповнення тари як об'єкта керування та визначено основні керуючі величини. Визначено переваги та недоліки кожного з методів дозування. За результатами аналізу обрано метод вагового дозування для подальшого удосконалення технологічної лінії та розроблення системи керування. Виділено низку задач, вирішення яких дасть можливість покращити динамічні

характеристики ліній дозування, які сконструйовані за методом вагового наповнення та розробити систему адаптивного керування процесом дозування розчинів.

У другому розділі розроблено математичну модель процесу дозування розчинів у флакон. Проаналізовано процес дозування інфузійних розчинів у технологічній установці WDM 8002 та виділено три ключові етапи дозування: переддозування, швидке наповнення та точне наповнення. Розроблено експериментальну установку що відтворює гідравлічну схему дозування розчину у технологічній лінії вагового наповнення серії WDM8002, а також реалізовано систему керування експериментальною установкою на основі контролера Siemens CPU 1215C DC/DC/DC, віддаленої станції вводу/виводу ET-200SP, IM 155-6 PN HF з ваговим модулем SIWAREX WP321. Розроблено алгоритми роботи для контролера експериментальної установки та відтворено діючий алгоритм дозування в установці WDM8002. Створено базову функцію для керування кроковим двигуном перетискного клапана у програмному середовищі TIA Portal, яка дає можливість спростити процес розроблення програми. За результатами експериментальних досліджень перевірено та підтверджено адекватність розробленої математичної моделі.

У третьому розділі представлено розроблені алгоритми керування процесом дозування інфузійних розчинів. Удосконалено алгоритм дозування на основі ступінчатої функції шляхом введення додаткового етапу «напівточного наповнення». Алгоритм впроваджено в програму контролера експериментальної установки та виконано експериментальні дослідження удосконаленого алгоритму дозування. Розроблено новий алгоритм керування процесом дозування інфузійних розчинів із застосуванням функції дозування на основі симетричної функції Гауса. Виконано експериментальні дослідження нового алгоритму дозування, за результатами яких підтверджено значне зменшення часу дозування при забезпеченні допустимої похибки наповнення флакона. Розроблено удосконалення нового алгоритму керування процесом дозування інфузійних розчинів із застосуванням асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса. Такий

підхід дозволяє гнучко змінювати характеристики процесу дозування під час виконання цього процесу, що сприяє зменшенню тривалості дозування та підвищенню точності дозування. За результатами експериментальних досліджень підтверджено вищу ефективність цього алгоритму у порівнянні з попередньо дослідженими. За результатами експериментальних досліджень розроблених алгоритмів керування процесом дозування визначено середній час дозування для кожного із алгоритмів дозування та проведено розрахунок продуктивності лінії вагового наповнення. Встановлено, що збільшення продуктивності лінії WDM 8002 за умови впровадження алгоритму керування із застосуванням асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса становить 384,7 флаконів, або 17,7%. Введено інтегральний показник якості процесу дозування та застосовано його для оцінювання якості розроблених алгоритмів. Підтверджено, що мінімальне значення інтегрального критерія якості забезпечує алгоритм керування із застосуванням асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса.

У четвертому розділі розглянуто основні принципи розроблення адаптивних систем керування процесом дозування, зокрема систем на основі сучасних сенсорів (витратомірів, вагових давачів, давачів тиску та температури) та алгоритмів керування (зокрема, PID-регуляторів та адаптивних регуляторів). Розроблено адаптивний алгоритм налаштування параметрів керуючого алгоритму (регулятора) на основі ступінчатої функції дозування. Розроблений алгоритм дозволяє здійснювати автоматичне налаштування параметрів керуючого алгоритму (ступеня відкриття перетискного клапана на етапах швидкого та точного дозування, а також точки переходу до точного дозування) на основі результатів попередніх циклів дозування. Розроблено адаптивний алгоритм налаштування параметрів керуючого алгоритму (регулятора) на основі симетричної та асиметричної функцій, розроблених із застосуванням рівняння Гауса. Адаптивний алгоритм автоматично коригує максимальний ступінь відкриття клапана, коефіцієнт відхилення та математичне сподівання. Розроблений алгоритм забезпечує задану точність і мінімальну тривалість процесу дозування, що є

критично важливим для досягнення оптимальних параметрів у сучасному фармацевтичному виробництві.

Ключові слова: методи дозування, технологічний процес, математична модель, система керування, програмований контролер, експериментальна установка, динамічні властивості, алгоритм, адаптивна система, автоматичний регулятор, електропривід двигуна, перетискний клапан, параметри якості дозування.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових періодичних фахових виданнях України за
спеціальністю:*

1. Кріль Б. А., Матіко Ф. Д., Шалева В. В., Бугайчук М. І. Експериментальне дослідження регулюючих органів та вагових комірок для технологічного процесу дозування інфузійних розчинів // Перспективні технології та прилади : збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 23. – С. 38–47. (Фахове видання категорії Б).

2. Fedir Matiko, Volodymyr Shaleva. Development of Experimental Setup to Investigate the Control System for Infusion Solutions Dosing Process // Енергетика та системи керування. – 2024. – Vol.10, № 2. – Р.131–141. (Фахове видання категорії Б).

3. Шалева В. В., Матіко Ф. Д. Аналіз функційних можливостей автоматизованих систем дозування готових лікарських засобів // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: приладобудування. – 2024. – № 68 (2). – С. 65–72. (Фахове видання категорії Б).

4. Матіко Ф. Д., Шалева В. В. Розроблення адаптивного алгоритму керування процесом дозування інфузійних розчинів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2025. – № 1. – С. 1–13. (Фахове видання категорії Б).

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації, а саме
матеріали та тези міжнародних і вітчизняних науково-технічних та
наукових конференцій:*

5. Shaleva Volodymyr, Matiko Fedir, Krykh Hanna. Algorithm for operating the system of monitoring the technological process parameters using mobile communication networks // Selected issues of electrical engineering and electronics : 16th International conference, Rzeszów 13-15 September, 2021. – 2021. – (SciVerse SCOPUS).

6. Shaleva V., Matiko F., Krykh H., Roman V. Smart system for monitoring technological process parameters and energy equipment protection // 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) : proceedings (Kyiv, 12–14 October 2022). – 2022. – С. 216–220. (SciVerse SCOPUS).

7. Володимир Шалева, Федір Матіко, Олег Качор. Аналіз технологічних ліній дозування лікарських препаратів як об'єкта керування // Modeling, control and information technologies (MCIT). – 2023. – № 6 : Modeling, control and information technologies : proceedings of VI International scientific and practical conference. – Р. 268–270.

8. Бугайчук М. І., Шалева В. В., Кріль Б. А., Кріль О. В. Удосконалення системи керування дозуванням інфузійних розчинів із застосуванням програмованих логічних контролерів // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали VIII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції (Київ, 26 листопада 2021 року). – 2021. – С. 22.

9. Кріль Б. А., Шалева В. В., Бугайчук М. І., Кріль О. В. Дослідження вагових комірок технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів // Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів : збірник наукових праць VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки (Луцьк, 28–30 травня 2022 р.). – 2022. – С. 75–76.

10. Богдан Кріль, Федір Матіко, Володимир Шалева. Удосконалення вагових комірок для технологічного процесу дозування інфузійних розчинів // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції (Кропивницький: ЦНТУ, 13–14 листопада 2024 р.). – 2024. – С. 170–172.

ABSTRACT

V. V. Shaleva. Adaptive Control System for Dosing Solutions in Pharmaceutical Production.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 151 – Automation and Computer Integrated Technologies. – Lviv Polytechnic National University. – Lviv, 2025.

The dissertation is devoted to addressing a relevant challenge in the field of automation — the development of an adaptive control system for dosing solutions in pharmaceutical production, aimed at increasing the speed and productivity of technological lines based on the weight dosing method under variable technological conditions.

In modern pharmaceutical production, a single technological line is often used for dosing solutions with varying properties (such as density and viscosity) into different types of containers, creating variable dosing conditions. At the same time, extremely high accuracy requirements are imposed on the dosing process, as the dispensed solutions serve as the basis for the preparation of medicinal mixtures. Meeting these requirements is possible through the implementation of an adaptive control system, which allows for determining the optimal dosing parameters for each specific production batch, thereby ensuring maximum efficiency of the dosing line. The dissertation presents an analysis of existing dosing methods and the technological equipment used to implement them. The study includes an examination of container filling lines as control objects and identifies the key control variables. The advantages and disadvantages of each dosing method are outlined. Based on the results of the analysis, the weight dosing method was selected for further improvement of the technological line and the development of the control system. A set of specific tasks was defined, the solution of which will improve the dynamic performance of dosing lines based on the weight dosing method and enable the development of an adaptive control system for the solution dosing process.

In the second chapter, a mathematical model of the solution dosing process into vials was developed. The dosing process of infusion solutions in the WDM 8002

technological unit was analyzed, and three key stages were identified: pre-dosing, fast filling, and fine filling. An experimental setup was designed to replicate the hydraulic scheme of solution dosing used in the gravimetric filling line of the WDM8002 series. A control system for the experimental setup was implemented using a Siemens CPU 1215C DC/DC/DC controller, a remote I/O station ET-200SP with an IM 155-6 PN HF interface, and the SIWAREX WP321 weighing module. Control algorithms for the experimental unit were developed, and the operational dosing algorithm used in the WDM8002 unit was reproduced. Additionally, a base function was created in the TIA Portal environment for controlling the stepper motor of the pinch valve, which simplifies the program development process. Based on experimental results, the adequacy of the developed mathematical model was verified and confirmed.

The third chapter presents the developed control algorithms for the dosing process of infusion solutions. The step-based dosing algorithm was improved by introducing an additional stage—semi-precise filling—which enhanced the flexibility of transition between the fast and fine dosing phases. This updated algorithm was implemented in the controller program of the experimental setup, and experimental studies were conducted to evaluate its performance. A new control algorithm based on a symmetric Gaussian dosing function was developed for the dosing process of infusion solutions. Experimental validation of this algorithm confirmed a significant reduction in dosing time while maintaining the required filling accuracy. Further advancement led to the development of an asymmetric Gaussian-based dosing algorithm, which allows dynamic adjustment of the dosing profile during the process. This approach enables better adaptability to process conditions, resulting in both reduced dosing duration and improved accuracy. Experimental results demonstrated that this algorithm outperforms previously tested strategies. Based on the experimental studies, the average dosing time was determined for each algorithm, and the filling line productivity was calculated accordingly. It was established that implementing the asymmetric Gaussian-based control algorithm on the WDM 8002 line yields a productivity increase of 384.7 vials per hour, equivalent to 17.7%. An integral quality criterion for the dosing process was introduced and applied to evaluate the performance of the developed algorithms. The analysis confirmed that the

asymmetric Gaussian-based algorithm provides the lowest value of the integral quality index, indicating the highest overall efficiency among the proposed methods.

The fourth chapter focuses on the key principles for developing adaptive control systems for the dosing process, particularly those based on modern sensors (including flow meters, weighing sensors, pressure, and temperature sensors) and control algorithms (such as PID and adaptive regulators). An adaptive algorithm was developed for tuning the parameters of the control strategy based on a stepwise dosing function. This algorithm enables automatic adjustment of key control parameters—such as the degree of valve opening during the fast and fine dosing stages, and the transition point to fine dosing—based on the results of previous dosing cycles. Additionally, adaptive tuning algorithms were developed for control strategies based on both symmetric and asymmetric Gaussian functions. These algorithms automatically adjust the maximum valve opening level, deviation coefficient, and mathematical expectation of the function, allowing the dosing system to dynamically adapt to changing process conditions. The proposed adaptive algorithms ensure the required dosing accuracy while minimizing the process duration, which is critically important for achieving optimal performance in modern pharmaceutical manufacturing environments.

Keywords: dosing methods, technological process, mathematical model, control system, programmable controller, experimental setup, dynamic properties, algorithm, adaptive system, automatic controller, electric motor drive, pinch valve, dosing quality parameters.

LIST OF APPLICANT'S PUBLICATIONS CONTAINING THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS OF THE DISSERTATION

Articles in Ukrainian professional scientific journals in the specialty:

1. Kril B. A., Matiko F. D., Shaleva V. V., Buhaichuk M. I. Experimental Study of Control Elements and Weighing Cells for the Technological Process of Infusion Solutions Dosing // Advanced Technologies and Devices: Collection of Scientific Papers. – 2023. – Issue 23. – P. 38–47. (Professional publication, Category B).
2. Fedir Matiko, Volodymyr Shaleva. Development of Experimental Setup to Investigate the Control System for Infusion Solutions Dosing Process // Energy and Control Systems. – 2024. – Vol. 10, No. 2. – P. 131–141. (Professional publication, Category B).
3. Shaleva V. V., Matiko F. D. Analysis of Functional Capabilities of Automated Systems for Dosing Ready-Made Medicinal Products // Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Series: Instrumentation. – 2024. – No. 68 (2). – P. 65–72. (Professional publication, Category B).
4. Matiko F. D., Shaleva V. V. Development of an Adaptive Control Algorithm for the Infusion Solutions Dosing Process // Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. – 2025. – No. 1. – P. 1–13. (Professional publication, Category B).

Publications Confirming the Approbation of the Dissertation Results, namely materials and abstracts of international and national scientific and technical and scientific conferences:

5. Shaleva Volodymyr, Matiko Fedir, Krykh Hanna. Algorithm for operating the system of monitoring the technological process parameters using mobile communication networks // Selected issues of electrical engineering and electronics : 16th International conference, Rzeszów 13-15 September, 2021. – 2021. – (SciVerse SCOPUS).
6. Shaleva V., Matiko F., Krykh H., Roman V. Smart system for monitoring technological process parameters and energy equipment protection // 2022 IEEE 8th

International Conference on Energy Smart Systems (ESS) : proceedings (Kyiv, 12–14 October 2022). – 2022. – C. 216–220. (SciVerse SCOPUS).

7. Volodymyr Shaleva, Fedir Matiko, Oleh Kachor. Analysis of Pharmaceutical Dosing Lines as a Control Object // Modeling, Control and Information Technologies (MCIT). – 2023. – No. 6: Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. – P. 268–270.

8. M. I. Buhaichuk, V. V. Shaleva, B. A. Kril, O. V. Kril. Improvement of the Infusion Solutions Dosing Control System Using Programmable Logic Controllers // Modern Methods, Information, Software and Hardware Support of Control Systems for Organizational-Technical and Technological Complexes: Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Internet Conference (Kyiv, November 26, 2021). – 2021. – P. 22.

9. B. A. Kril, V. V. Shaleva, M. I. Buhaichuk, O. V. Kril. Study of Weighing Cells in the Technological Line for Infusion Solutions Dosing // Progressive Directions of Development of Automated Technological Complexes: Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference on Higher Education and Science Issues (Lutsk, May 28–30, 2022). – 2022. – P. 75–76.

10. Bohdan Kril, Fedir Matiko, Volodymyr Shaleva. Improvement of Weighing Cells for the Technological Process of Infusion Solutions Dosing // Issues of Energy Efficiency and Automation in Industry and Agriculture: Abstracts of the All-Ukrainian Scientific and Practical Online Conference (Kropyvnytskyi: CNTU, November 13–14, 2024). – 2024. – P. 170–172.

Зміст

АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1	24
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА МЕТОДІВ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ.....	24
1.1 Огляд та аналіз існуючих систем керування та методів дозування рідких лікарських засобів.	24
1.2 Аналіз системи дозування лікарських засобів методом пружної деформації ділянки продуктопроводу (методом вагового наповнення)	41
1.3 Виділення невирішених завдань, визначення напрямків досліджень та формулювання завдань дослідження.....	44
Висновки до розділу 1	48
РОЗДІЛ 2	50
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ ІНФУЗІЙНИХ РОЗЧИНІВ МЕТОДОМ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ	50
2.1 Розроблення математичної моделі процесу дозування інфузійних розчинів методом пружної деформації.	50
2.2. Розроблення експериментальної установки для дослідження системи керування процесом дозування інфузійних розчинів.....	58
2.3. Відтворення існуючого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів машини вагового наповнення WDM 8002.....	72
2.4. Проведення експериментальних досліджень роботи існуючого методу дозування інфузійних лікарських засобів. Перевірка адекватності математичної моделі.	110
Висновки до розділу 2	119
РОЗДІЛ 3	120
РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ.....	120
3.1. Розроблення удосконаленого алгоритму керування процесом дозування на основі ступінчатої функції дозування	120

3.2 Розроблення нового алгоритму керування процесом дозування на основі функції Гауса	136
3.3 Розроблення модифікацій нового алгоритму керування процесом дозування на основі асиметричної функції Гауса.	149
3.4 Проведення експериментальних досліджень алгоритмів дозування та їх порівняння.	160
Висновки до розділу 3	171
Розділ 4	173
РОЗРОБЛЕННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ДОЗУВАННЯ ІНФУЗІЙНИХ РОЗЧИНІВ	173
4.1. Принципи розроблення систем адаптивного керування дозуванням.	173
4.2 Розроблення алгоритму адаптивного налаштування параметрів для удосконаленого алгоритму керування на основі ступінчатої функції	182
4.3 Експериментальне дослідження алгоритму адаптації параметрів регулятора на основі ступінчатої функції дозування.....	189
4.4 Розроблення адаптивного алгоритму налаштування параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса	197
4.5 Експериментальне дослідження алгоритму адаптації параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса.	206
Висновки до розділу 4	210
ВИСНОВКИ.....	211
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	214
ДОДАТОК А.....	224
Список публікацій здобувача	224
ДОДАТОК Б	226
ДОДАТОК В.....	227
ДОДАТОК Г	228
ДОДАТОК Д.....	261

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми наукового дослідження.

У фармацевтичному виробництві процес дозування відіграє важливу роль для випуску якісних готових лікарських засобів (ГЛЗ). Процес дозування [1] потрібно вибудувати таким чином щоб забезпечити дотримання необхідних вимог фармацевтичного виробництва, таких як GXP (правила належних практик) [2], GMP (вимоги належної виробничої практики) а також стандарту МОЗ України СТ-Н МОЗУ 42-3.4-2004 «Виробництво лікарських засобів» [3]. Відповідно до вимог цих документів потрібно забезпечити відповідний підбір технічних засобів для реалізації процесу дозування, підбір матеріалів що матимуть контакт із ГЛЗ а також вимоги до навколишнього середовища. Необхідно провести аналіз процесу дозування як об'єкта керування, визначити керуючі та збурюючі впливи а також вихідні параметри об'єкта.

За видом робочого циклу дозування може бути безперервним або порційним, а за принципом дії – об'ємним або ваговим [71]. При безперервному дозуванні потік продукту який виходить із дозатора, безперервно зважується і в залежності від результатів зважування продуктивність дозатора постійно коректується. При фасуванні продукції, як правило, застосовують порційне дозування, яке полягає в періодичному повторенні циклів вимірювання дози продукту і подачі її на упаковування. Для порційного дозування застосовують об'ємні і вагові дозатори, вимірювачі об'єму і маси продукції, а також дозатори однакових штучних виробів. Обладнання дозування фармацевтичної продукції включає об'ємні і вагові дозатори спеціально призначені для вимірювання кількості речовини, яка подається в окрему споживчу тару [4].

Виробництво інфузійних розчинів належить до фармацевтичної галузі. Це розчини, які призначені для парентерального застосування. Вони можуть мати дуже різні фізико-механічні властивості: різну в'язкість, питому вагу, різну здатність піноутворення, можуть кристалізуватись та окислюватись [70]. Основні

вимоги при їхньому виробництві – це збереження високої стерильності та точне дозування їхньої кількості у флакон. Остання вимога зумовлена тим, що під час застосування до інфузійних розчинів додають ще інші медичні препарати.

У сьогоденні при значних затратах на виробництво готової лікарської продукції при дотриманні всіх регуляторних вимог таких як GXP, GMP, стандарту МОЗ України СТ-Н МОЗУ 42-3.4-2004 «Виробництво лікарських засобів» та інших питання скорочення часу виробництва серії продукції, забезпечення її точності дозування у тару, стійкість використовуваних систем керування та контролю до завод та збурень, простота налаштування обладнання та можливість реалізації адаптивних методів дозування стають все більш актуальними.

Велику увагу у сучасному фармацевтичному виробництві приділяють асептичним умовам, де навіть незначні відхилення в процесі можуть призвести до критичних наслідків для безпеки продукції. Як зазначено у [68], ключовими викликами для фармацевтичних виробництв залишаються зростаюча складність регуляторних вимог, необхідність забезпечення високої повторюваності процесів, а також мінімізація ризиків контамінації. Реалізація цих вимог неможлива без впровадження автоматизованих адаптивних та інтелектуальних систем керування, зокрема в частині дозування. Це обумовлює потребу у створенні високоточних, адаптивних алгоритмів дозування, здатних забезпечувати повторюваність та стабільність системи керування з урахуванням критичних параметрів контролю та обмежень асептичного режиму.

Відмови та зупинки у виробничих системах, виникають як в результаті дефектів технологічних апаратів, так і через несправність пристроїв, які є компонентами системи автоматизації процесу. Одним із найпоширеніших джерел збоїв в автоматизації виробництва є відмови датчиків, перетворювачів та керуючих пристроїв [5]. В системах автоматичного керування, які призначені для дозування матеріалів або ж готових продуктів, одною з умов безвідмовної роботи системи є перевірений та надійний алгоритм керування на основі обраного методу дозування. Основними вимогами до алгоритму є стійкість до навколишніх збурень, невідмовна реакція системи та контролера на нештатну ситуацію а також чітке дотримання

послідовності запрограмованих кроків. В застосованих алгоритмах повинні бути відсутні неоднозначні умови які б призвели до виходу системи із стану рівноваги, що призвело б до неконтрольованих похибок дозування.

Розроблення теоретичних основ для нових методів дозування, та методів адаптивного налаштування параметрів дозування за визначеними критеріями є важливим завданням під час проектування систем та обладнання для виготовлення фармацевтичної продукції а також які є предметом вирішення цієї дисертаційної роботи.

Актуальність роботи. Сучасні нормативні документи та стандарти (GMP, ISO) вимагають максимальної повторюваності і точності дозування лікарських засобів, що є критично важливим для забезпечення безпеки та ефективності лікування. Водночас, зростання складності виробничих систем та необхідність зниження людського фактора у критичних процесах стимулюють впровадження автоматизованих і адаптивних систем керування, які здатні в режимі реального часу коригувати параметри дозування на основі зворотного зв'язку. Розробка адаптивної системи дозволяє оптимізувати використання сировини, зменшити втрати продукту та підвищити продуктивність обладнання, що безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва. Таким чином, впровадження системи адаптивного керування дозуванням розчинів сприяє підвищенню якості кінцевої продукції, забезпеченню стабільності виробничого процесу та відповідає сучасним технологічним трендам у фармацевтичній промисловості.

Одним із найбільш поширених і точних методів дозування інфузійних розчинів є зважування тари під час її наповнення, а саме метод вагового наповнення. Однак досягнення високої продуктивності технологічних ліній, побудованих на основі цього методу, можливе за умови застосування ефективного алгоритму керування процесом наповнення. Від алгоритму керування виконавчими механізмами у виробничих лініях дозування лікарських засобів залежить точність та тривалість дозування, а отже й продуктивність лінії дозування. Для зменшення часу дозування, підвищення продуктивності лінії дозування при дотриманні заданої точності, необхідно удосконалити алгоритм дозування та забезпечити

адаптивність цього алгоритму до зміни властивостей розчинів та розмірів тари для наповнення.

Отже завдання розроблення ефективних систем керування процесами дозування лікарських засобів, розроблення адаптивних алгоритмів налаштування параметрів системи керування для обраного методу дозування які вирішуються у цій роботі є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з науковими програмами та планами науково-дослідних робіт кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Національного університету «Львівська політехніка» у рамках наукового напрямку «Автоматизація та оптимізація систем керування технологічними процесами». Окремі результати роботи отримані під час виконання зареєстрованих науково-дослідних робіт «Дослідження систем керування періодичними процесами промислових виробництв» (номер держ. реєстрації 0125U001636) та «Моделювання та оптимальне керування нелінійними об'єктами із невимірюваними параметрами стану» (номер держ. реєстрації 0123U104448).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення системи адаптивного керування процесом дозування інфузійних розчинів на основі розроблення та впровадження нових алгоритмів дозування, а також нових алгоритмів адаптації параметрів дозування для підвищення продуктивності технологічних ліній дозування.

Для досягнення цієї мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих систем та методів дозування розчинів, визначити переваги та недоліки кожного з них; обрати метод для реалізації на його основі системи дозування з покращеними технічними характеристиками;
- розробити математичну модель процесу дозування розчину та виконати моделювання процесу наповнення для технологічної лінії WDM8002;
- розробити експериментальну установку для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів;

- удосконалити метод вагового дозування розчинів за допомогою розроблення функцій керування перетискним клапаном станції дозування;
- розробити нові алгоритми керування процесом дозування інфузійних розчинів;
- розробити алгоритми адаптації параметрів дозування для розчинів з різними властивостями (густина, в'язкість) та різних розмірів тари;
- розробити програмне забезпечення керуючого мікропроцесорного контролера на основі алгоритмів керування та адаптації параметрів дозування;
- розробити систему адаптивного керування процесом дозування інфузійних лікарських засобів та виконати її експериментальні дослідження.

Об'єктом дослідження є процес дозування інфузійних лікарських засобів у фармацевтичному виробництві.

Предметом дослідження є система адаптивного керування технологічним процесом дозування інфузійних розчинів на основі методу вагового наповнення.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання на основі законів збереження, гідродинаміки, теорії подібності, числові методи розв'язування систем алгебраїчних та диференціальних рівнянь, методи планування експерименту та опрацювання результатів експериментальних досліджень, методи алгоритмізації завдань керування процесом дозування, пошукові методи оптимізації параметрів алгоритмів дозування.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі отримані такі нові наукові результати:

1) Вперше розроблено математичну модель процесу дозування інфузійних розчинів на основі розгляду в сукупності рівняння збереження маси, законів гідродинаміки та теорії подібності, яка дає можливість дослідити вплив конструктивних характеристик станції дозування а також параметрів каналу подавання розчину на процес дозування.

2) Вперше запропоновано комплексний інтегральний критерій оцінювання якості процесу дозування інфузійних розчинів, що поєднує відносну інтегральну

похибку дозованої маси та відносну тривалість наповнення тари із врахування вагових коефіцієнтів маси та тривалості дозування.

3) Удосконалено метод вагового дозування розчину шляхом формування функції дозування як залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги розчину у флаконі на основі оцінювання інтегрального критерію якості процесу дозування;

4) За результатами експериментального оцінювання інтегрального критерію якості розроблено аналітичні залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги розчину у флаконі у формі ступінчатої функції та функції нормального закону розподілу, що дало можливість формалізувати процедуру визначення параметрів цієї функції;

5) Розроблено спрощений алгоритм адаптивного пошуку параметрів ступінчатої залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги розчину у флаконі на основі послідовних циклів дозування, який забезпечує налаштування параметрів функції для досягнення заданої точності дозування;

6) Розроблено алгоритм адаптивного пошуку параметрів залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги розчину у формі функції Гауса на основі послідовних циклів дозування, який забезпечує налаштування параметрів функції для досягнення мінімального значення інтегрального критерію якості.

Практичне значення одержаних результатів.

1) Розроблену математичну модель процесу дозування інфузійних розчинів застосовано для дослідження якості процесу наповнення із застосуванням різних функцій залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги розчину у флаконі, що дало можливість обрати форму залежності для реалізації алгоритму керування.

2) Розроблено експериментальну установку для дослідження системи керування процесом дозування на основі мікропроцесорного контролера та НМІ панелі, що дає можливість дослідити адаптивну систему керування за умови задання початкових налаштувань та інтегрального критерію якості процесу дозування;

3) Розроблено спрощений алгоритм керування процесом дозування на основі удосконаленого методу вагового дозування та ступінчатої функції залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги розчину у флаконі, що в свою чергу дало можливість розробити просту процедуру адаптації параметрів алгоритму керування та підвищити продуктивність лінії дозування на 4,5 % - 9,24 %

4) Розроблено алгоритм керування процесом дозування на основі функції нормального закону розподілу, що дало можливість значно зменшити час наповнення тари, мінімізувати інтегральний критерій дозування та підвищити продуктивність лінії наповнення на 15,5%.

6) На основі нових алгоритмів керування та адаптації параметрів дозування розроблено програмне забезпечення мікропроцесорного контролера та НМІ-панелі, що дало можливість реалізувати функції локального та оперативного керування процесом наповнення.

7) За результатами впровадження нових алгоритмів керування та адаптації параметрів дозування розроблено систему адаптивного керування технологічною лінією дозування інфузійних розчинів WDM8002, яка забезпечує збільшення продуктивності лінії на 9,8 % - 20,65 % при дотриманні заданої похибки дозування.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес для студентів спеціальності 174 "Автоматизація комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" а також у виробництво лікарських засобів на АТ «Галичфарм» (Див. Додаток Б та Додаток В).

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані автором особисто.

У наукових публікаціях, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать: в роботах [52, 53] проведено аналіз існуючих методів дозування та наповнення ємностей лікарськими засобами, виконано аналіз технологічних ліній наповнення як об'єкта керування та визначено основні керуючі величини, виконано аналіз етапів процесу дозування, на основі чого визначено особливості алгоритму

дозування для вагового методу наповнення флаконів; в роботах [56, 57, 58, 59] проведено аналіз динамічних характеристик та вибір вагових комірок для зважування розчину у флаконі під час процесу дозування, вибір приводу для керування перетискним клапаном станції дозування, проведено дослідження обраних засобів на експериментальній установці; у роботі [55] розроблено експериментальну установку для дослідження системи керування процесом дозування розчинів, виконано експериментальні дослідження системи керування процесом дозування, оцінено ефективність розробленої системи керування; у роботі [65] виконано удосконалення існуючого алгоритму дозування розчинів, застосованого в технологічній лінії WDM8002, впроваджено функцію адаптивного налаштування параметрів удосконаленого алгоритму дозування, розроблено новий алгоритм дозування розчинів із застосуванням залежності ступеня відкриття перетискного клапана від ваги дозованого розчину у формі функції Гауса.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи були представлені на таких конференціях: 16th International conference, «Selected issues of electrical engineering and electronics» (Rzeszów, Poland, 2021), 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) (Kyiv, Ukraine, 2022), VI International scientific and practical conference Modeling, control and information technologies (MCIT) Modeling, control and information technologies (Rivne, Ukraine, 2023), VIII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами (Київ, Україна 2021), VII Міжнародна науково-технічна конференція з проблем вищої освіти і науки (Луцьк, Україна, 2022 р.), Всеукраїнська науково-практична on-line конференція (Кропивницький: Україна 2024 р.).

Також результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка».

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 10 публікацій: 4 статті у фахових виданнях, 6 публікацій у матеріалах конференцій, з яких 2 у виданнях,

що індексовані в наукометричній базі Scopus, та 4 тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація містить вступ, огляд стану проблеми і постановку задачі досліджень, 4 розділи, висновок по роботі, список використаних джерел із 77 найменувань. Дисертаційна робота викладена на 265 сторінках, основний зміст роботи становить 200 сторінок друкованого тексту, в тому числі 87 рисунків, 14 таблиць та 5 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА МЕТОДІВ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ.

1.1 Огляд та аналіз існуючих систем керування та методів дозування рідких лікарських засобів.

Автоматизовані лінії наповнення флаконів інфузійними розчинами – це високотехнологічні системи, що забезпечують розлив стерильних розчинів (наприклад, внутрішньовенних інфузій) у флакони з дотриманням суворих вимог стерильності та точності. Такі лінії призначені для серійного виробництва парентеральних препаратів, де критично важливо уникнути контамінації та забезпечити точне дозування кожного флакону. Остання вимога зумовлена тим, що до інфузійних розчинів додають ще інші медичні препарати.

За видом робочого циклу дозування може бути безперервним або порційним, а за принципом дії – об'ємним або ваговим. При безперервному дозуванні потік продукту який виходить із дозатора, безперервно зважується і в залежності від результатів зважування продуктивність дозатора постійно коректується. При фасуванні продукції, як правило, застосовується порційне дозування, яке полягає в періодичному повторенні циклів вимірювання дози продукту і подачі її на упакування. Для порційного дозування застосовуються об'ємні і вагові дозатори, вимірювачі об'єму і маси продукції, а також дозатори однакових штучних виробів. Обладнання дозування фармацевтичної продукції включає об'ємні і вагові дозатори спеціально призначені для вимірювання кількості речовини, яка подається в окрему споживчу тару.

Нижче розглянуто основні типи машин для дозування, їх конструкцію, принцип дії, аспекти автоматизації, нормативні вимоги (GMP, ISO) та сучасні технології, що застосовуються в цій галузі.

- Поршневі дозатори. У цих системах об'єм рідини відміряється поступальним рухом поршня у циліндрі: поршень всмоктує задану дозу розчину в циліндр, а потім видавлює її у флакон. Поршневі машини

забезпечують дуже високу повторюваність дози і придатні як для водянистих, так і більш в'язких рідин (навіть для гелів чи пінистих розчинів).[6]

- Перистальтичні насоси. Дозування відбувається шляхом стискання гнучкої трубки обертовими роликками, які проштовхують рідину – фактично рідина переміщується “перистальтично” через стерильний шланг. Перевагою є мінімальний контакт продукту з механізмами (рідина торкається тільки внутрішньої поверхні одноразової трубки), що робить цей метод щадним для чутливих розчинів і зручним з точки зору стерильності та швидкої зміни продукту [7,73, 74]
- Вакуумні наповнювачі. У таких машинах використовується створення розрідження (вакууму) для втягування рідини в дозувальну камеру. Коли дозувальний клапан відкривається, під дією вакууму розчин швидко засмоктується до визначеного рівня, після чого надлишок може відкачуватися. Вакуумний принцип особливо корисний для контролю рівня наповнення (щоб у всіх флаконах був однаковий рівень) та для рідин, схильних до піноутворення.[7].
- Гравітаційні (часово-об'ємні) системи. Простіші машини, де дозування здійснюється під дією сили тяжіння: розчин самопливом надходить із резервуара у флакон при відкритті клапана на заданий проміжок часу. Об'єм, що наповнюється, визначається часом витікання і витратою рідини. Такий метод є відносно нескладним і недорогим, підходить для розливу нев'язких інфузійних розчинів, коли вимоги до граничної точності не надто високі (наприклад, при великих об'ємах).[7]
- Напірно-часові (тискові) дозатори. В цьому випадку використовується стиснене стерильне повітря або інертний газ (наприклад, азот), яким під тиском нагнітають рідину з головного резервуара до дозувального колектора. Доза визначається шляхом відкриття дозувального клапана на точно розрахований час під стабільним тиском. Таким чином, рідина витісняється з ємності без механічного поршня – тиск і час контролюються

давачами, підключеними до PLC, що дозволяє точно відміряти об'єм. Ця технологія (англ. time-pressure filling) добре підходить для стерильних рідин, легко налаштовується під різні об'єми, а також зменшує кількість рухомих деталей у зоні стерильності. [8]

- інші технології дозування. Окрім наведених, існують спеціалізовані системи: масо- та витратометричні дозатори (де об'єм відстежується за допомогою масових або об'ємних витратомірів – наприклад, Coriolis), мембранно-поршневі насоси (з гнучкою діафрагмою, що пульсує, витісняючи рідину) тощо. Деякі сучасні машини є комбінованими станціями – наприклад, можуть поєднувати поршковий і перистальтичний модулі, тому що є необхідність перемикатися між режимами, щоб оптимально працювати з різними продуктами. Вибір типу дозувальної машини залежить від властивостей розчину (в'язкість, піноутворення), необхідної продуктивності та точності, а також вимог стерильності.[9,77]

Автоматизовані лінії наповнення складаються з низки вузлів, кожен з яких виконує свою роль у процесі дозування і пакування інфузійного розчину:

- Система подачі тари. Спочатку чисті порожні флакони подаються в лінію за допомогою транспортера або системи орієнтації (для нестабільних флаконів може використовуватися зірковий механізм чи конвеєр з напрямними). Ця система забезпечує плавне подання і точне позиціонування кожного флакона під наповнювальними головками, запобігаючи перевертання чи зупинки тари. Як правило, інтегровано давачі наявності флаконів що працюють за принципом «немає флакона – немає наповнення», що зупиняють дозування при відсутності тари.[7]
- Дозувальний модуль. Це «серце» лінії – насосна або клапанна система, що відмірює потрібний об'єм розчину. Залежно від типу обраної машини, дозувальний модуль може включати поршкові циліндри, перистальтичні насоси, систему клапанів з регульованим часом подачі тощо. Він з'єднаний із резервуаром продукту і точно контролює кількість рідини, яка виходить через наповнювальні сопла. Сучасні дозувальні системи оснащуються

сервоприводами та давачами позиції, що дозволяє дуже точно повторювати об'єм дози з мінімальними відхиленнями [10].

- Наповнювальні насадки (сопла). Це трубки або голки, через які дозований розчин впорскується у флакон. Наповнювальні насадки сконструйовані таким чином, щоб забезпечити рівномірне, чисте наповнення без розбризкування і піноутворення. Для різних рідин можуть застосовуватися різні типи сопел – наприклад, для великих об'ємів інфузій використовують трубки великого діаметра з плавним закриттям, для пінких розчинів – насадки, що занурюються глибше у флакон (метод нижнього рівня). Після подачі дози система зазвичай спрацьовує на швидке закриття клапана чи зворотне втягування (“система анти капля”), щоб крапля рідини не залишалась на наконечнику і не забруднювала горловину флакону.
- Вузол закупорювання. Одразу після наповнення кожен відкритий флакон проходить через станцію закупорювання, де у його горловину встановлюється стерильна гумова пробка (бутилова або силіконова) для герметизації. Ці пробки попередньо простерилізовані (звичайно шляхом автоклавування) і автоматично подаються з бункера: підйомником пробки подаються у вібраційний орієнтувальний контейнер, звідки жолобом надходять у вузол установки. Спеціальний механізм – наприклад, вакуумний диск або головка – захоплює кожну пробку та вставляє її у горловину флакона зверху. Вакуумне притягування дозволяє точно й швидко встановити пробку, герметично закриваючи флакон і мінімізуючи контакт пробки з повітрям.[11]
- Вузол укупорки ковпачком. Для остаточного герметичного закупорювання використовується алюмінієвий ковпачок (обкатна алюмінієва кришечка), який накладається на пробку і обтискається навколо горловини флакону. На цій станції автоматичний подавач подає алюмінієві кришечки з бункера (іноді з перевертанням кришок у правильну орієнтацію) до обтискного пристрою. Обтиск виконується або поштучно (у лінійній машині), або роторною багатопозиційною головкою. Наприклад, роторний укупорювач

може мати колесо, що одночасно обжимає кілька флаконів. Сучасні укупорювачі оснащені сенсорами контролю обтиску – перевіряють, що ковпачок рівномірно загерметизувався і обтиснув пробку. Якщо давач виявляє неправильний обтис (наприклад, перекошений ковпачок), такий флакон відбраковується.[11]

- Система керування та контролю. Всі вищеописані модулі об'єднані спільною системою керування (програмованим логічним контролером, PLC). PLC координує синхронну роботу транспорту, насоса, сопел, закупорювача і т.д., забезпечуючи потрібний темп і послідовність операцій. Оператор задає параметри через панель HMI, контролер стежить за виконанням. На лінії реалізовано численні давачі і системи контролю якості: крім згаданих “відсутній флакон – відсутнє наповнення”, можуть бути давачі присутності/відсутності пробки, камери машинного зору для перевірки рівня заповнення, правильності положення пробки та якості обжимного ковпачка. Також часто інтегровано вагові модулі для індикативного контролю дози: наприклад, через кожні N флаконів здійснюється автоматичне зважування і порівняння з цільовою вагою дози, що дозволяє коригувати об'єм в режимі реального часу (100% контроль маси дози можливий на високошвидкісних лініях) [9].
- Гігієнічна конструкція. Усі частини обладнання, що контактують з продуктом (резервуари, трубопроводи, клапани, насоси, сопла), виконані з нержавіючих сталей або інертних матеріалів, що легко стерилізуються. Як правило, лінія сконструйована з можливістю проведення автоматичної мийки та стерилізації на місці – CIP/SIP циклів (Cleaning In Place, Sterilization In Place). Наприклад, після завершення серії через внутрішні канали проганяється мийний розчин, а потім пар або дезінфектант, стерилізуючи всю продуктопровідну магістраль без розбирання обладнання. Альтернативою є використання одноразових стерильних трактів подачі (одноразові шланги, фільтри, ємності), які після виробництва утилізуються і замінюються на нові – це усуває ризик перехресної

контамінації і економить час на санітарну обробку. Лінії також оснащують захисними кожухами, ламінарними укриттями або ізоляторами, що полегшує підтримання стерильності й спрощує очистку зовнішніх поверхонь.[12]

Принцип дії процесу наповнення та герметизації. Процес роботи автоматизованої лінії наповнення флаконів можна представити як послідовність стадій, що виконуються у стерильних умовах.

Підготовка розчину і тари. Спочатку у технологічних ємностях готується інфузійний розчин (під контролем параметрів, з використанням стерильної води, фільтрації тощо). Паралельно готують флакони та комплектуючі: скляні пляшечки або флакони миють (в разі використання багаторазових або нових скляних флаконів – у мийній машині), після чого їх стерилізують і депірогенізують, наприклад, у тунельній печі сухого жару. Якщо ж використовуються готові до використання (RTU) стерильні флакони, то етапи мийки/стерилізації тари не проводяться – стерильні контейнери у герметичній упаковці подають прямо в асептичну зону. Гумові пробки також попередньо миються та стерилізуються (зазвичай паром), а алюмінієві ковпачки знезаражуються. У результаті перед початком наповнення маємо: підготовлену стерильну партію розчину, стерильну тару і пробки, готові до введення в лінію.[13]

Асептичне наповнення. Підготовлені стерильні флакони подаються в зону наповнення (як правило, це зона класу стерильності А, захищена ламінарним потоком стерильного повітря)[14]

Флакони автоматично подаються під дозувальні сопла і зупиняються точно під ними. Далі спрацьовує дозувальний механізм (поршень здійснює хід, ролики перистальтичного насоса повертаються, відкривається клапан на заданий час тощо – залежно від типу системи) і точно відміряна кількість розчину вливається у кожен флакон. Наповнення часто відбувається синхронно в кількох флаконах: наприклад, машина може мати 8–12 сопел, що дозують паралельно для підвищення продуктивності. Важливо, що зона відкритих флаконів захищена стерильним потоком повітря – незакритий розчин дуже вразливий до контамінації, тому

аспірація повітря через HEPA-фільтри та ламінарний односпрямований потік забезпечують чистоту навколо горловини [8]. При необхідності деякі системи можуть додатково подавати інертний газ (наприклад, азот) над розчином під час наливання, щоб зменшити вплив кисню на чутливі препарати (це називається blanketing – “під подушкою інертного газу”). Об’єм дози контролюється системою, і одразу після досягнення заданого рівня потік рідини припиняється. Типова тривалість наповнення кожної групи флаконів – частки секунди або кілька секунд, залежно від об’єму.

Закупорювання пробками. Як тільки флакон наповнено, він негайно (практично без паузи) переміщується до вузла встановлення пробки – зазвичай в тій же асептичній зоні, поруч з місцем наповнення. Стерильна гумова пробка автоматично вводиться в горловину флакону, закриваючи його.[8] Цей крок критично важливий: треба максимально швидко ізолювати стерильний вміст від зовнішнього середовища. В сучасних лініях час між наповненням і закупорюванням мінімізований, а сам процес часто реалізовано “безперервно” – наприклад, на роторних машинах відразу після дози флакон повертається на позицію, де вакуумна головка вставляє пробку. Закупорювання відбувається під тим же ламінарним потоком класу А, що захищає відкриті флакони. [8] Пробка, виготовлена зі спеціальної еластомерної суміші для інфузійних розчинів, зазвичай має центральний диск, що самозатягується (для проколу крапельницею) і конструкцію, розраховану на міцне ущільнення горловини. [15] У деяких технологіях перед встановленням пробки у флакон може подаватися вакуум або створюватися легке розрідження – це дозволяє при закупорюванні частково видалити повітря з надрідинного простору. Такий вакуум у флаконі після закупорки корисний тим, що полегшує подальше витікання інфузії при використанні (створюється градієнт тиску, який “затягує” рідину при підключенні системи). Деякі сучасні лінії мають опцію наповнення і закриття під вакуумом, що забезпечує мінімум повітря у флаконі. [12]

Вагове дозування - один з найточніших і найпопулярніших сьогодні методів дозування. Дозування є дуже важливою частиною виробництва, оскільки від

точності дозування компонентів часто залежить якість майбутньої продукції. Вручну дозувати матеріали дуже непрактично, тому на виробництвах використовуються спеціальні машини – дозатори. Дозатори надають можливість видачі точно заданої порції тієї чи іншої речовини.

Виконано аналіз структури, функційних можливостей систем дозування готових лікарських засобів, серед яких слід виділити чотири принципово відмінні системи:

- Системи дозування базована на вакуумному методі наповнення;
- Системи дозування базовані на методі шприцевого наповнення;
- Системи автоматичного дозування на основі витратомірів;
- Системи дозування базовані на методі вагового наповнення.

Системи дозування базована на вакуумному методі наповнення.

Вакуумний метод є груповим методом наповнення ампул, що має велику продуктивність при невеликій точності що становить $\pm 10 - 15 \%$ від об'єму наповнення. Цей метод наповнення полягає у тому, що ампули в касетах поміщають в герметичний агрегат, в ємність якого наливають розчин для дозування та створюють вакуум. При тому повітря із ампул відсмоктують і після розвакуування ємності розчин заповнює ампули. [16].

У вакуумному методі дозування препаратів в ампули відбувається за допомогою зміни величини розрідження. Тобто таким чином фактично відбувається регулювання об'єму наповнення ампул. Для ампул різних форматів та об'ємів відповідно величина розрідження буде визначатись індивідуально та буде відмінною. [16].

Для точного наповнення ампул за допомогою вакуумного методу на підприємствах попередньо розробляють таблиці із величиною заданого розрідження для всіх препаратів та форматів ампул, що залежить від атмосферного тиску. У випадках, коли таких таблиць немає, ампули наповнюють при робочому значенні розрідження, що дає об'єм наповнення дещо більший чи менший від заданого і після того методом інтерполяції розраховують необхідну величину розрідження для даного препарату та формату ампули [16].

Неможливість точного дозування розчину є основним недоліком вакуумного методу наповнення. Також до інших недоліків можна віднести те, що ампули при наповненні занурюються капілярами у дозований розчин, та через розчин при створенні вакууму проходять бульбашки витягнутого повітря, також у ампули потрапляє лише певна частина об'єму розчину, а більша частина об'єму залишається в агрегаті. Після завершення циклу наповнення зливається із агрегату на повторну фільтрацію. Всі ці операції призводять до додаткового забруднення а також неекономного використання приготованого розчину ГЛЗ. Крім того при наповненні забруднюються капіляри ампул, в результаті чого при запаюванні утворюються небажані “чорні” головки від пригарів розчину на стінках ампули. До недоліків вакуумного методу наповнення відносять також те, що після наповнення ампул до проведення їх запайки проходить великий проміжок часу, в порівнянні із іншими методами [16].

До переваг даного методу можна віднести високу продуктивність адже за раз наповнюється велика кількість ампул, а також універсальність розмірів та форм капілярів що можна використовувати для ампул що наповнюватимуться.

Напівавтомат для наповнення ампул (див. рисунок 1.1.1) складається із корпусу, всередині якого є псевдо дно, що утримується патрубками подачі розчину. Корпус апарату має нижній спуск із клапаном і на бокових стінках упори для встановлення на них касет із ампулами. Зверху апарат закривається кришкою, що відкривається та закривається пневмоприводом [11]. Нижній спуск виведений у приймальну ємність у яку зливається невикористаний розчин. Для вимірювання вакууму агрегат оснащений електроконтактними вакууметрами. До апарату підключено трубопроводи подачі розчину та вакуумну магістраль підприємства.

В апарат встановлюють касету з ампулами, закривають кришку та створюють вакуум в апараті, при цьому клапаном на спуску апарату проводять герметизацію. Після досягнення вакууму відбувається етап подачі розчину, під дією вакууму розчин струменями поступає через щілини насадки і омиваючи верхню поверхню псевдо дна розчин стікає під псевдо дно, змиваючи туди механічні частинки.

На наступному етапі в апараті створюють необхідне розрідження, що відповідає дозуванню розчину. Після наповнення ампул апарат розгерметизовують, залишки розчину зливають із апарату у ємність зливу та подають на повторне фільтрування для подальшого його використання. Після наповнення ампул в їх капілярах залишається розчин, що заважає здійснити якісну запайку. Розчин із капілярів можна видалити наступними методами [16]:

- відсмоктування розчину вакуумом із капілярів;
- перетискування розчину стерильним повітрям або інертним газом;
- обробкою струменем пари чи води.

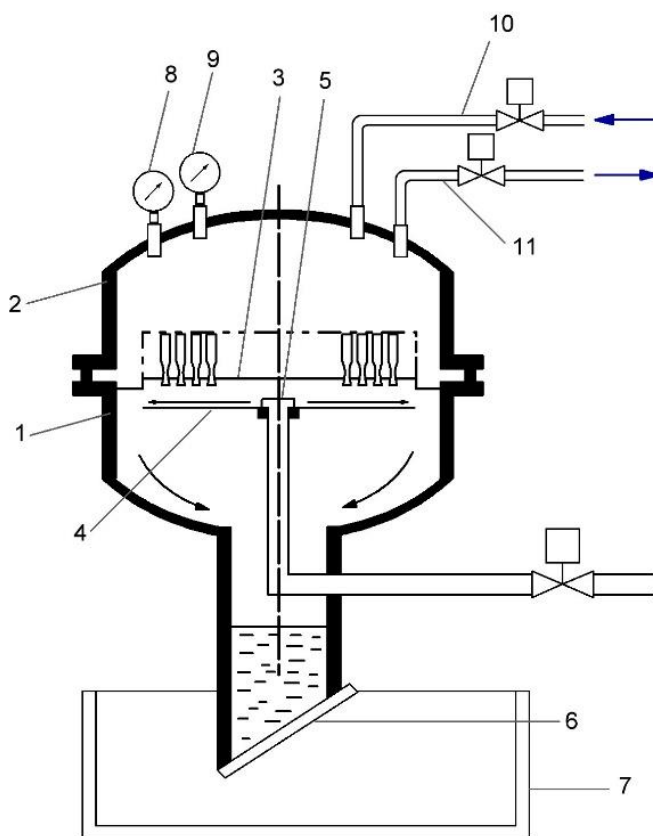


Рис. 1.1.1 Будова апарату для наповнення ампул вакуумним методом:

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – касета із ампулами; 4 – псевдо дно; 5 – патрубок подачі розчину; 6 – клапан випускання, 7 — ємність для зливу розчину, 8-9 — електроконтактний вакууметр, 10 — трубопровід подачі розчину, 11 — вакуумний трубопровід

Отже можна виділити такі переваги вакуумного методу наповнення:

- висока продуктивність;

- універсальність методу для наповнення ампул з різними розмірами та формами капілярів.

Недоліки цього методу:

- невелика точність дозування: $\pm 10 - 15 \%$ від об'єму наповнення;
- неекономічність методу;
- велика загроза забруднення стінок ампули та розчину під час дозування;
- велика ймовірність утворення пригарів під час запаювання ампул.

Системи дозування базовані на методі шприцевого наповнення.

Поширеним об'ємним методом дозування є метод шприцевого наповнення. Шприцевий спосіб наповнення ампул набув широкого поширення за кордоном і здійснюється за допомогою установок зі спеціальними дозаторами (поршневими, мембранними та ін.).

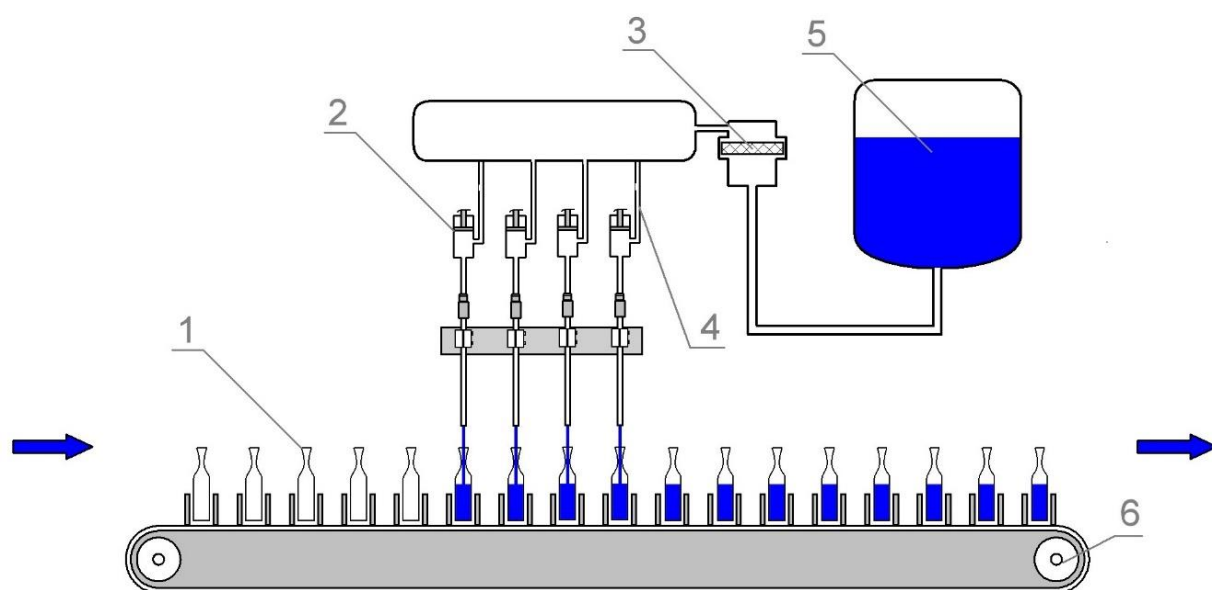


Рис. 1.1.2 Система шприцевого наповнення:

1 – тара для наповнення; 2 – поршневий дозатор; 3 – фільтр; 4 – шланг асептичного виконання; 5 – ємність з розчином; 6 – транспортер.

Метод має більш складне апаратне виконання ніж вакуумний і жорсткіші вимоги до розмірів і форм капілярів ампул, але завдяки ряду переваг він є кращим для застосування в технології ампулювання. Особливо ці переваги є відчутними при проведенні операцій наповнення та запаювання в одному автоматі. Загальна

будова установки зі шприцевим методом дозування зображена на рисунку 1.1.2 [17].

Тара для наповнення, а в нашому випадку це ампули, надходить на транспортер (6) машини наповнення із стадії стерилізації у стерилізаційному тунелі. Транспортер ампул (6) позиціонує пусті ампули під голки наповнення автомату, зазвичай кількість станцій дозування, а відповідно і голок дозування становить від 1 до 8. У позиції дозування приводиться в рух поршневий дозатор (2) на відстань вказану у форматних налаштуваннях системи керування. Так як об'єм поршневого дозатора є відомим, а рух поршня здійснюється за допомогою зміни кута повороту серводвигуна можливо досягнути високої відтворюваності дозувань та точності дозувань. Розчин у поршневій дозатори (6) поступає із ємності для розчину (6), через фільтр для розчину (3) по шлангах асептичного виконання (4), які перед розливом кожної серії препарату проходять етап стерилізації.

До суттєвих переваг шприцевого способу наповнення слід також віднести можливість точного дозування розчину ($\pm 2\%$) та невеликий проміжок часу наповнення та запаювання (5-10 с), що дозволяє ефективно використовувати наповнення їх вільного обсягу інертним газом, що значно подовжує термін придатності препарату. При наповненні в ампулу вводиться лише необхідна кількість розчину, при цьому капіляр ампули не змочується розчином, залишається чистим, завдяки чому покращуються умови запаювання ампул, особливо це важливо для густих та в'язких розчинів [17].

При технології ампулювання в струмені інертних газів ампула, що підлягає наповненню, попередньо заповнюється газом і розчин при наповненні практично не стикається з навколишнім середовищем (атмосферою) приміщення. Це призводить до підвищення стабільності багатьох ін'єкційних розчинів. Декілька порожніх голок опускаються всередину ампул, розташованих на конвеєрі. Спочатку в ампулу подають інертний газ, витісняючи повітря, потім подають розчин за допомогою поршневого дозатора, і знову струмінь інертного газу, після чого ампула відразу надходить на етап запаювання [17].

Недоліками методу є:

- мала продуктивність хоча вона варіюється в залежності від формату тари, яку необхідно наповнити, тобто від об'єму тари яку наповнюємо розчином. Тож даний метод є ефективним для дозування малих об'ємів. Також окрім дозування продукції у ампули даний метод широко застосовують для дозування у флакони, хоч як і було вказано вище при цьому значно втрачається продуктивність обладнання;

- складність технічної та апаратної реалізації цього методу.

Перевагами цього методу є:

- висока точність дозування: $\pm 2\%$ від заданого об'єму;
- під час наповнення в тару вводять лише необхідну кількість розчину, при цьому стінки капіляра не змочуються розчином, залишаються чистими, що позитивно впливає на чистоту розчину, та відсутність додаткового контакту розчинів із зовнішніми стінками.

Системи автоматичного дозування на основі витратомірів.

Ще одним методом об'ємного дозування розчинів є метод автоматичного дозування на основі витратомірів. Загальна будова автоматичної машини дозування розчинів на основі витратомірів зображена на рисунку 1.1.3 [17].

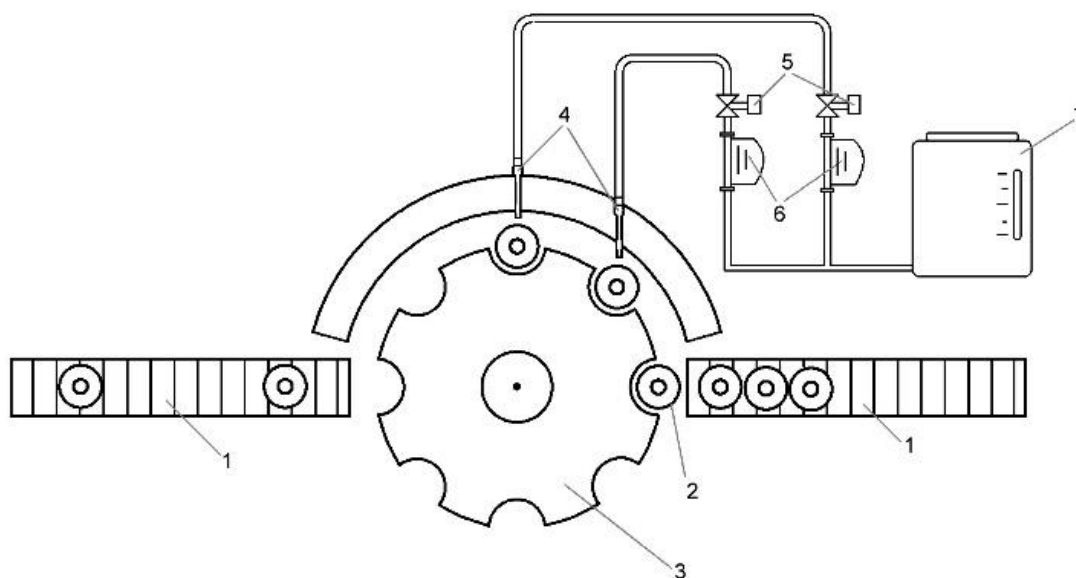


Рис. 1.1.3 Спрощена схема системи наповнення на основі витратомірів, де 1 – транспортери; 2 – тара для наповнення; 3 – транспортувальна зірка; 4 – голки наповнення; 5 – клапани; 6 – витратоміри; 7 – ємність з розчином.

Будова даних систем є близькою до будови систем, що реалізовані на основі методу шприцевого наповнення. Очищена та пуста тара для наповнення (2) поступає на машину за допомогою транспортера (1) де потрапляє на транспортувальну зірку (3), яка здійснює циклічні періодичні рухи позиціонуючи тару для наповнення (2) під станції дозування. На етапі дозування системою керування обладнання проводиться перевірка наявності флаконів під голками наповнення (4), та встановлюється дозвіл на подачу розчину. В даній системі замість шприца дозатора на матеріальній лінії дозування встановлено витратомір (6) а також керований відсічний клапан (5), відкривання якого здійснюють за сигналом наявності пустої тари та закривання якого здійснюють при досягненні заданого значення витрати. подача розчину здійснюється з ємності з розчином (7) чи реактора приготування шляхом створення повітряної чи азотної подушки над поверхнею розчину.

Зазвичай у фармацевтичному виробництві використовують витратоміри Коріоліса. Витратомір Коріоліса — витратомір, у якому вимірювання масової витрати здійснюється на основі прояву сили Коріоліса. Витратоміри цього типу визначають масову витрату безпосередньо, а не через вимірювання швидкості чи об'єму. Робота витратоміра Коріоліса не залежать ні від тиску рідини, ні від її температури, ні від її в'язкості і густини. Тому такі витратоміри є універсальними і не вимагають проведення повторних калібрувань і переналагодження для кожного конкретного типу рідкого середовища [18].

Витратоміри Коріоліса мають такі переваги [18]:

- висока точність ($\pm 0,05\%$) та повторюваність ($\pm 0,02\%$) результатів вимірювання;
- можливість вимірювання витрати незалежно від напрямку потоку;
- не потрібні прямолінійні ділянки трубопроводу до і після витратоміра;
- тривалий термін служби і простота обслуговування завдяки відсутності рухомих і зношуваних частин;
- можливість вимірювання витрат середовищ з високою в'язкістю;
- дозволене використання в харчовій і фармацевтичній промисловості.

До переваг системи автоматичного дозування реалізованої на основі витратомірів відносять:

- простоту реалізації системи керування;
- надійність роботи системи;
- універсальність системи для дозування різних видів дозованих рідин.

До недоліків систем дозування на основі витратомірів Коріоліса можна віднести:

- високу вартість реалізації;
- невисоку точність дозування та відтворюваність результатів: хоча витратоміри Коріоліса мають високу точність ($\pm 0,05\%$) та повторюваність ($\pm 0,02\%$) результатів вимірювання, проте в даному випадку потрібно розглядати систему керування в цілому, у якій точність дозування буде залежати від технічних характеристик вузлів системи керування, а саме їх швидкодії та надійності.

Системи дозування на основі методу вагового наповнення

Вагове дозування - один з найточніших і найпопулярніших на сьогодні методів дозування. Дозування є дуже важливою частиною виробництва, оскільки від точності дозування компонентів часто залежить якість майбутньої продукції. Вручну дозувати матеріали дуже непрактично, тому на виробництвах використовують спеціальні машини – дозатори. Дозатори надають можливість видачі точно заданої порції тієї чи іншої речовини.

Дозатори відрізняються за режимом роботи:

- періодичної дії – це дозатори, які подають матеріал заданими порціями через певні часові проміжки чи за запитом; частота подачі та маса порцій задаються програмою;
- неперервної дії – це дозатори, які подають матеріал безперервно; кількість матеріалу, який подають в тару, регулюють шляхом зміни швидкості та часу дозування.

У фармацевтичній промисловості використовують дозатори періодичної (перервної дії), адже обладнання здійснює періодичне наповнення флаконів чи ампул за певний час робочого циклу обладнання, що повторюється у часі циклічно.

Існують різноманітні конструкції машин дозування розчинів, які забезпечують використання вагового методу під час дозування лікарських засобів. Розглянемо одну із них [12].

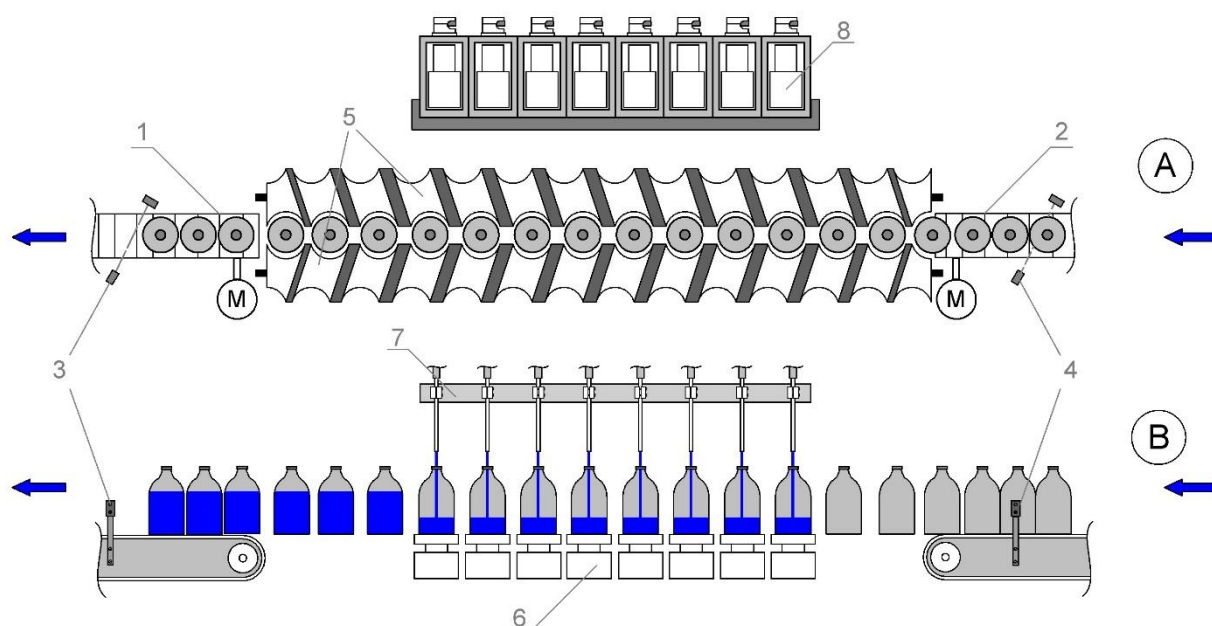


Рисунок 1.1.4. Спрощена принципова схема машини вагового наповнення флаконів: 1 – приймальне транспортне полотно, 2 – випускне транспортне полотно, 3,4 – дискретні давачі зашерету транспортера, 5 – транспортувальні шнеки, 6 – станції зважування, 7 -пристрій для утримування голок, 8 – станції наповнення.

На рисунку 1.1.4 зображена загальна будова машини вагового наповнення. Послідовність роботи обладнання є такою. Перед початком роботи здійснюється позиціонування всіх приводів обладнання та встановлення всіх вузлів у початкове так зване «нульове» положення, після чого обладнання готове до роботи. Наступним кроком є транспортування флаконів за допомогою транспортувальних шнеків (5), які встановлюють пусті флакони на станції зважування (6), де здійснюється зважування пустого флакона та фіксується його наявність на відповідній станції за умовою досягнення заданої граничної ваги. Після цього станції наповнення (8), заповнюють флакони до заданої межі ваги. Задану вагу обчислюють теоретичними методами в залежності від типу дозованої рідини таким чином, щоб вага відповідала необхідному об'єму який потрібно дозувати. Після

успішного завершення етапу дозування, транспортувальні шнеки (5) переміщують наповнені флакони на вихідний транспортер, який транспортує їх до наступного етапу виробництва, та подають нові, пусті флакони до станцій дозування.

До переваг методу вагового наповнення відносять:

- високу точність дозування;
- відносно невелику вартість реалізації;
- високу продуктивність обладнання; при роботі з тарою об'єму 400-200 мл продуктивність становить 2100 – 2800 шт./год., для тари з об'ємом 100 мл – 3000 шт./год.

Недоліки цього методу:

- складність реалізації системи керування;
- трудомісткий процес налаштування параметрів системи керування для досягнення необхідної продуктивності;
- необхідність мати висококваліфікований обслуговуючий та експлуатаційний персонал.

Результати огляду існуючих систем дозування лікарських засобів та їх аналіз технологічної лінії як об'єкта керування опубліковано у віснику Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»[52] та представлені на VI Міжнародно науково-практичній конференції "Моделювання, керування та інформаційні технології [53].

Розглянувши всі вище описані методи дозування та їх проблематику зроблено висновок, що найбільш ефективним для фармацевтичного виробництва є метод вагового наповнення який обрано об'єктом дослідження.

1.2 Аналіз системи дозування лікарських засобів методом пружної деформації ділянки продуктопроводу (методом вагового наповнення) .

Для розроблення системи керування машиною вагового наповнення та алгоритму дозування важливо детально проаналізувати процес наповнення флакону що схематично зображений на рисунку 1.2.1.

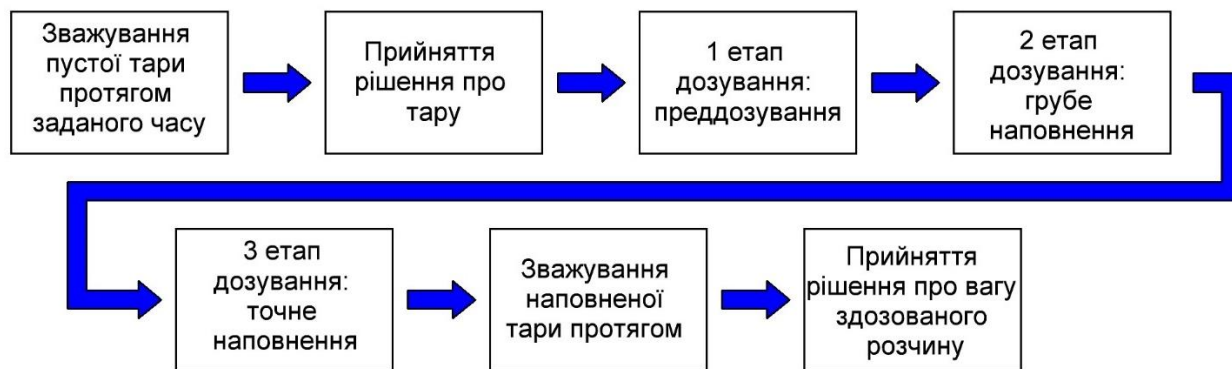


Рис. 1.2.1 Схема процесу наповнення флакону існуючого алгоритму дозування

Після транспортування та встановлення пустої тари на станцію зважування проводять зважування тари та визначають її прийнятність встановленим межам ваги. При виконанні критерію прийнятності, система керування фіксує факт наявності тари на станції зважування та розпочинає етап наповнення флакону який є основним об'єктом аналізу.

Розглянуто графіки дозування розчину у флакон об'ємом 450 мл отриманий при роботі машини вагового наповнення WDM 8002 наведені на рисунку 1.2.2. На даному графіку бачимо характер зміни ваги флакону під час дозування розчину, а також характер зміни ступеня відкриття перетискного клапана у часі. Із графіку відкриття перетискного клапана можемо виокремити 3 етапи дозування, а саме:

- етап переддозування,;
- етап швидкого наповнення;
- етап точного наповнення.

Особливістю першої стадії дозування, етапу переддозування є те, що при відкритті регулюючого органу струмінь інфузійного розчину вдаряється в дно флакона і створює стрибкоподібне збурення для каналу зважування. Тому для цієї

стадії дозування потрібно вибрати швидкість відкриття регулюючого органу для зменшення стрибкоподібного збурення на вагову комірку. Розподіл керуючих імпульсів для драйвера крокового двигуна в часі буде різним для різних значень доз інфузійного розчину і для розчинів з різною в'язкістю.

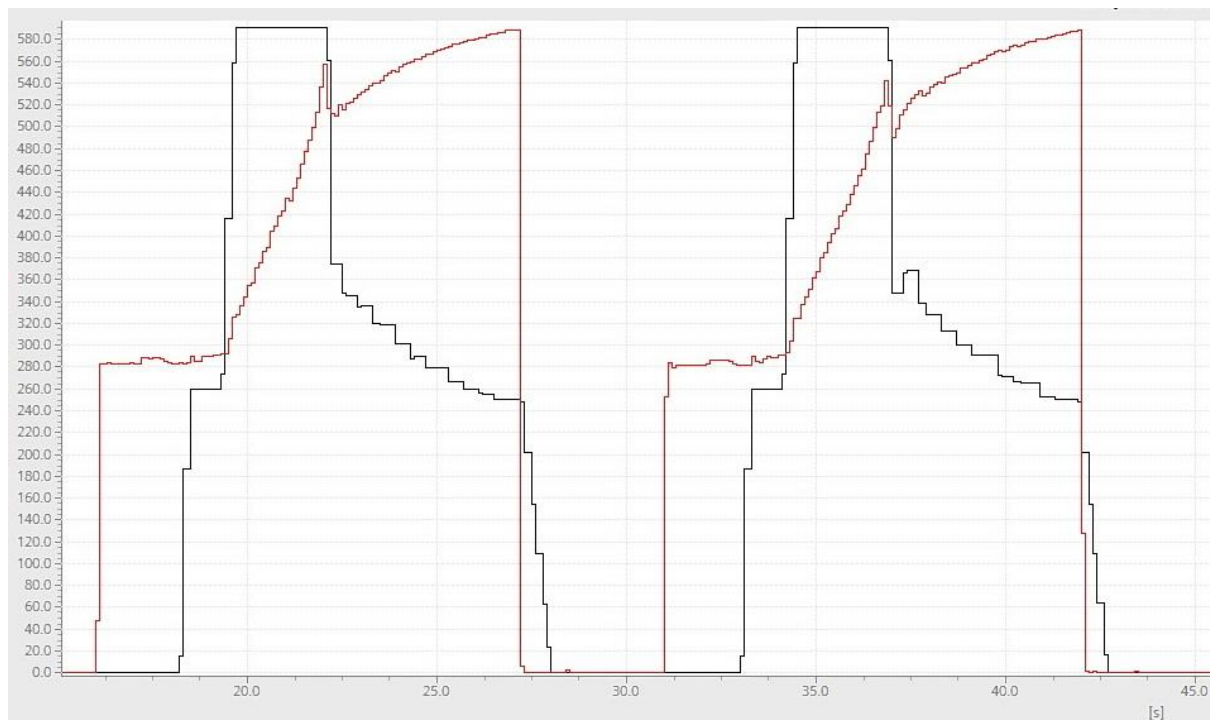


Рис. 1.2.2. Графік зміни ваги та ступеня відкриття перетискного клапна під час наповнення флакона об'ємом 400 мл., де червона лінія – вага флакону із розчином, чорна лінія – актуальне значення ступення відкриття перетискного клапана із врахуванням часу розгону привода на кожному із етапів.

Особливістю першої стадії дозування, етапу переддозування є те, що при відкритті регулюючого органу струмінь інфузійного розчину вдаряється в дно флакона і створює стрибкоподібне збурення для каналу зважування. Тому для цієї стадії дозування потрібно вибрати швидкість відкриття регулюючого органу для зменшення стрибкоподібного збурення на вагову комірку. Розподіл керуючих імпульсів для драйвера крокового двигуна в часі буде різним для різних значень доз інфузійного розчину і для розчинів з різною в'язкістю.

Етап швидкого наповнення передбачає швидке наповнення флакону до певної ваги, під час якого не потрібно контролювати точну вагу наповненого розчину. Даний етап напряму впливає на продуктивність машини та відповідно повинен

мати якомога меншу тривалість, а також мінімальний збурюючий вплив на значення ваги розчину у флаконі, тобто необхідно встановити значення ступеня відкриття перетискного клапана таким чином щоб при переході на етап точного дозування не відбувалось коливання значення ваги, як ми бачимо на рисунку 1.2.2, або ж воно було мінімально можливим.

Етап точного наповнення відбувається наприкінці наповнення флакону після завершення етапу напівточного наповнення. Цей етап дозує завершальну невелику масу розчину до досягнення заданої ваги флакону. Точне наповнення відбувається за мінімального ступеня відкриття перетискного клапана для досягнення максимальної точності дозування.

Виокремимо залежність зміни ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона як відображення етапів дозування флакону, що зображений на рисунку 1.2.3 [52].

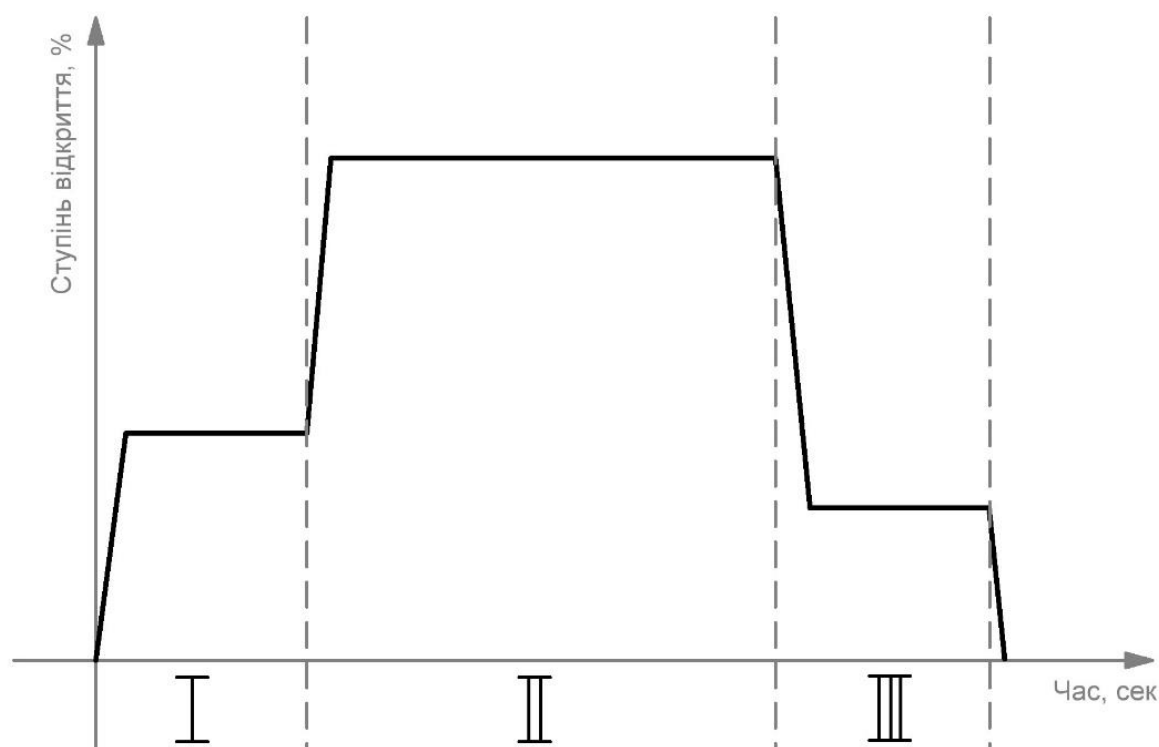


Рис. 1.2.3. Графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона: I – етап переддозування, II – швидке дозування, III – точне дозування.

Після завершення етапу дозування флакону система керування відповідно до встановленої затримки на панелі керування очікує стабілізації даних про вагу отриманих від вагової комірки машини наповнення. По завершенню даного часу визначається вага дозованого розчину у флакон, яка надалі використовується у іншому функціональному блоці системи керування, що відповідно до встановлених меж рівня наповнення визначає переливи чи недоливи розчину. Для інфузійних лікарських засобів припустима похибка дозування становить +2 грами, однак недоливи неможливі. Флакони з вагою, меншою за задану, відбраковуються, оскільки до кінцевого споживача (пацієнта) має бути доставлена точна доза продукту з активною речовиною, а не менша, ніж зазначено в рецепті.

1.3 Виділення невирішених завдань, визначення напрямків досліджень та формулювання завдань дослідження.

За результатами огляду існуючих методів та систем дозування готових лікарських засобів, аналізу системи дозування лікарських засобів методом вагового наповнення, встановлено:

- всі розглянуті методи дозування базуються на конструктивних особливостях обладнання що мають безпосередній вплив на частоту контакту дозованого лікарського засобу до частин обладнання, капіляру та внутрішніх чи зовнішніх стінок ампули, повітря. Лише в одному із методів дозування повністю відсутній контакт розчину із механічними дозаторами обладнання, вимірювальними приладами, а саме у методі вагового наповнення. Проте дана особливість значно вплинула на складність алгоритму дозування що містить трудомісткий процес налаштування параметрів системи керування для досягнення необхідної продуктивності та точності;
- у існуючому алгоритмі дозування методом вагового наповнення наявні коливання ваги дозованого розчину під час переходу алгоритму із стадії швидкого наповнення на етап точного наповнення. Дане коливання ваги значно впливає на процес наладки параметрів дозування адже для усунення його впливу введено

обмеження на ступінь відкриття перетискного клапана на етапі швидкого дозування, та зменшено вагу переходу на етап точного дозування, що негативно впливає на швидкість наповнення;

- для розроблення нового алгоритму дозування необхідно розробити експериментальну установку установки для дослідження процесу дозування інфузійних розчинів, на якій передбачається провести дослідження основних складових технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів, які будуть використані для реалізації нової системи керування. На даній установці провести відтворення та аналіз існуючого алгоритму дозування;

- Забезпечення точності дозування інфузійних лікарських засобів є критично важливим при розробці системи керування з кількох причин:

Безпека пацієнтів: Некоректне дозування може призвести до передозування або недостаті лікарської речовини, що може спричинити серйозні побічні ефекти або навіть загрозу для життя пацієнта.

Ефективність лікування: Для досягнення бажаного терапевтичного ефекту необхідно точно дотримуватись рекомендованих доз, оскільки занадто велика або маленька доза може не дати бажаного результату.

Сумісність з іншими препаратами: Важливо забезпечити точне дозування при одночасному використанні кількох інфузійних лікарських засобів, щоб уникнути взаємодій, що можуть змінити їх ефективність або призвести до небажаних реакцій.

Стандарти і нормативи: У сфері охорони здоров'я діють строгі стандарти та нормативи, які регулюють дозування лікарських засобів. Точність дозування є важливим елементом для відповідності цим вимогам і підтримки якості медичних послуг.

Тож завдяки забезпеченню точності дозування інфузійних лікарських засобів можна значно підвищити безпеку та ефективність лікування, що є основною метою в медичній практиці;

- Зменшення часу дозування в системах автоматичного дозування інфузійних лікарських засобів значно збільшує продуктивність лінії наповнення,

оскільки дозволяє обробляти більшу кількість одиниць продукції за одиницю часу, знижуючи простой лінії та оптимізуючи робочі цикли. Це також призводить до зниження витрат на операції, економії на трудових ресурсах і зменшення кількості помилок, що підвищує ефективність виробництва. Як наслідок, підприємство може виготовляти більше продукції на день, знижуючи собівартість та збільшуючи конкурентоспроможність, при цьому забезпечуючи високу точність і стабільність дозування. То ж у цілому, такий підхід позитивно впливає на загальну економічну вигоду виробництва;

Отже, для досягнення сформованої у роботі мети, а саме метою дисертаційної роботи є розроблення системи адаптивного керування процесом дозування інфузійних розчинів на основі розроблення та впровадження нових алгоритмів дозування, а також нових алгоритмів адаптації параметрів дозування для підвищення продуктивності технологічних ліній дозування в цілому, необхідно виконати такі завдання:

- Провести аналіз існуючих систем та методів дозування розчинів, визначити переваги та недоліки кожного з них; обрати метод для реалізації на його основі системи дозування з покращеними технічними характеристиками;

- розробити математичну модель процесу дозування розчину та виконати моделювання процесу наповнення для технологічної лінії WDM8002;

- розробити експериментальну установку, яка точно відтворює функціонування та принципи роботи гідравлічної схеми технологічної лінії WDM 8002, для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних лікарських зсобів;

- провести удосконалення методу вагового дозування розчинів за допомогою розроблення функцій керування перетискним клапаном станції дозування;

- розробити нові алгоритми керування процесом дозування інфузійних розчинів;

розробити алгоритми адаптації параметрів дозування для розчинів з різними властивостями (густина, в'язкість) та різних розмірів тари;

- розробити програмне забезпечення керуючого мікропроцесорного контролера на основі алгоритмів керування та адаптації параметрів дозування;
- розробити систему адаптивного керування процесом дозування інфузійних лікарських засобів та виконати її експериментальні дослідження.
- Виконати експериментальну перевірку ефективності впровадження змін у алгоритми наповнення, аналізуючи їх вплив на час наповнення тари, точність дозування та продуктивність установки.

Висновки до розділу 1

1. Здійснено ґрунтовний аналіз сучасних методів наповнення ємностей лікарськими препаратами. Детально розглянуто промислові системи, що використовують різні технології, зокрема вакуумне наповнення, шприцеве дозування, автоматичне дозування за допомогою витратомірів, а також метод вагового наповнення. Визначено ключові переваги та недоліки кожного з методів а також проаналізовано конструктивні особливості типового обладнання, яке забезпечує їхню реалізацію.

2. На основі аналізу методів дозування готових лікарських засобів, визначення їх переваг і недоліків, обрано для удосконалення технологічної лінії дозування та розроблення системи керування метод вагового наповнення.

3. Проаналізовано процес дозування лікарських засобів в діючій установці WDM 8002 та виділено три ключові етапи дозування: переддозування, швидке наповнення та точне наповнення. Проаналізовано особливості кожного етапу та визначено параметри етапу, які впливають на загальну тривалість та точність процесу дозування.

4. Виокремлено напрямки досліджень та сформовано завдання для досліджень, основними з яких є :

- провести аналіз існуючих систем та методів дозування розчинів, визначити переваги та недоліки кожного з них; обрати метод для реалізації на його основі системи дозування з покращеними технічними характеристиками;

- розробити математичну модель процесу дозування розчину та виконати моделювання процесу наповнення для технологічної лінії WDM8002;

- розробити експериментальну установку, яка точно відтворює функціонування та принципи роботи гідравлічної схеми технологічної лінії WDM 8002, для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних лікарських засобів;

- провести удосконалення методу вагового дозування розчинів за допомогою розроблення функцій керування перетискним клапаном станції дозування;
- розробити нові алгоритми керування процесом дозування інфузійних розчинів;
- розробити алгоритми адаптації параметрів дозування для розчинів з різними властивостями (густина, в'язкість) та різних розмірів тари;
- розробити програмне забезпечення керуючого мікропроцесорного контролера на основі алгоритмів керування та адаптації параметрів дозування;
- розробити систему адаптивного керування процесом дозування інфузійних лікарських засобів та виконати її експериментальні дослідження.
- виконати експериментальні дослідження ефективності впровадження змін у алгоритми наповнення, аналізуючи їх вплив на продуктивність, точність дозування та загальну ефективність процесу.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ ІНФУЗІЙНИХ РОЗЧИНІВ МЕТОДОМ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

2.1 Розроблення математичної моделі процесу дозування інфузійних розчинів методом пружної деформації.

Висококонцентровані формуляції біопрепаратів, зокрема моноклональних антитіл, характеризуються підвищеною в'язкістю та чутливістю до умов подачі, що істотно ускладнює процес їх дозування. У роботі [62] показано, що геометричні параметри голки, швидкість подачі рідини та динаміка зворотного ходу насоса суттєво впливають на ймовірність закупорювання дозуючого каналу. Для глибшого розуміння цих процесів автори поєднали експериментальний підхід із теоретичним та обчислювальним моделюванням, що дозволило виявити критичні фактори та запропонувати шляхи їх оптимізації. Ці результати підтверджують необхідність математичного опису дозувального процесу як основи для точного налаштування алгоритмів керування та забезпечення стабільності технологічного циклу.

З метою дослідження методів дозування, їх ефективності та забезпечення високої точності керування процесом наповнення флакону, необхідною є побудова математичної моделі об'єкта. Така модель дозволяє адекватно описати динаміку системи, враховувати вплив зовнішніх збурень, змінних умов експлуатації та характеристик робочого середовища. Вона є основою для розробки та оптимізації алгоритмів дозування, дає можливість попередньо тестувати їхню роботу в режимі моделювання та сприяє підвищенню надійності й гнучкості функціонування дозувальної системи.

Об'єктом моделювання є ємність із розчином до ємності приєднаний гнучкий шланг який перетискається регулюючим органом (перетискним клапаном) та голкою наповнення яка напрямляє струмінь рідини у флакон. Принципова схема об'єкту на основі якої виконується моделювання зображена на рис. 2.1.1.

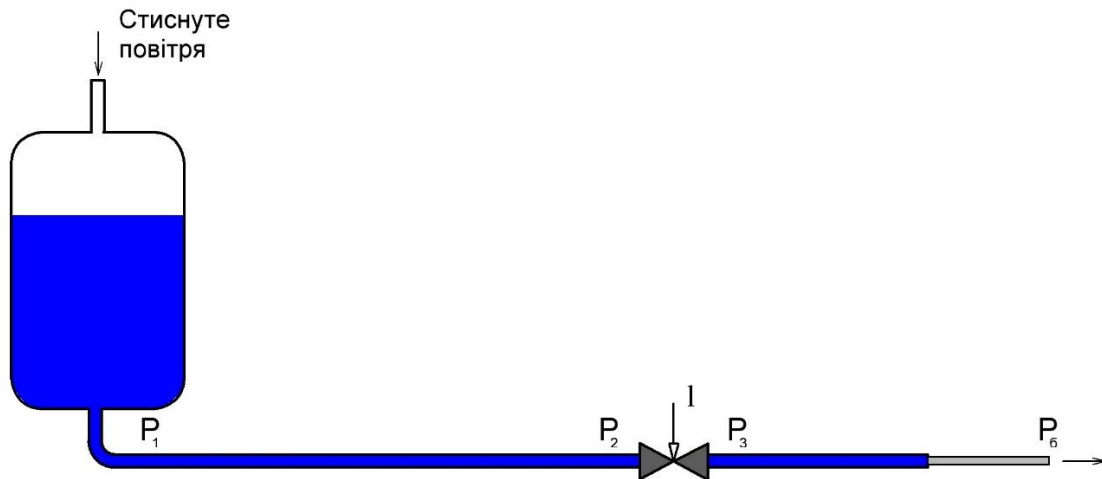


Рис. 2.1.1 Спрощена схема об'єкту моделювання

Для побудови моделі об'єкту встановлено наступне:

- Температура розчину є незмінною по довжині трубопроводу та у часі дослідження процесу дозування $T = \text{const}$;
- Тиск на виході із ємності P_2 є сталим та підтримується повітряною подушкою у ємності на рівні 1.2 бар;
- Тиск на виході із голки наповнення P_6 є атмосферним тиском;
- Густина розчину у трубопроводі та у часі дослідження процесу є незмінною $\rho = \text{const}$;

Розглянемо загальну модель об'єкта як моделі його складових частин, першою частиною об'єкта вважатимемо ділянку від випуску розчину із ємності до регулюючого органу (перетискного клапана). Дану ділянку трубопроводу будемо вважати ділянкою довгого трубопроводу з турбулентним режимом течії.

Отримання рівняння для довгого трубопроводу з турбулентним режимом течії із масовою витратою:

Рівняння для довгого трубопроводу матиме наступний вигляд [54]:

$$\frac{d(\rho S L v)}{dt} = \Delta P S_{\text{тр}} - F_{\text{тр}}, \quad (2.1.1)$$

де ρ – густина рідини, кг/м^3 , S – площа поперечного перерізу трубопроводу, м^2 , L – довжина трубопроводу, м , ΔP – перепад тиску на вході та виході зі трубопроводу, $F_{\text{тр}}$ – сила тертя у трубопроводі.

Врахуємо те що рідина є нестискуваною, температура рідини є незмінною у часі і у трубопроводі, тоді рівняння (2.1.1) набуде вигляду [54]:

$$\frac{d(QL)}{dt} = \Delta PS_{\text{тр}} - F_{\text{тр}}, \quad (2.1.2)$$

де Q – об’ємна витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$.

Для турбулентної течії силу тертя визначають за емпіричною залежністю Дарсі-Вейсбаха:

$$F_{\text{тр}} = S \frac{8\lambda L}{\pi^2 d^5} \rho Q^2, \quad (2.1.3)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині (коефіцієнт Дарсі), d – діаметр трубопроводу, м .

Підставимо рівняння (2.1.3) у (2.1.2) та замінимо об’ємну витрату на масову витрату:

$$\frac{d(Q_m L)}{dt} = \Delta PS_{\text{тр}} - S_{\text{тр}} \frac{8\lambda L}{\pi^2 d^5} \cdot \frac{Q_m}{\rho}, \quad (2.1.4)$$

Де Q_m – масова витрата, $\text{кг}/\text{с}$.

Розкриємо перепад тиску у (2.1.4):

$$L \frac{d(Q_m)}{dt} = (P_1 - P_2) S_{\text{тр}} - S_{\text{тр}} \frac{8\lambda L}{\pi^2 d^5} \cdot \frac{Q_m}{\rho}, \quad (2.1.5)$$

У отриманому рівнянні (2.1.5) відобразимо площу поперечного перерізу трубопроводу як:

$$S_{\text{тр}} = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.1.6)$$

Та отримаємо наступне рівняння :

$$\frac{4L}{\pi d^2} \frac{d(Q_m)}{dt} = (P_1 - P_2) - \frac{8\lambda L}{\pi^2 d^5} \cdot \frac{Q_m}{\rho}, \quad (2.1.7)$$

Після спрощення отримаємо:

$$\frac{\pi \rho d^3}{2\lambda} \frac{d(Q_m)}{dt} = \frac{\pi^2 d^2 \rho}{8\lambda L} (P_1 - P_2) - Q_m, \quad (2.1.8)$$

Ведемо нові позначення коефіцієнтів та представимо рівняння (2.1.8) у такому вигляді:

$$A \frac{d(Q_m)}{dt} + Q_m = k_T^2 (P_1 - P_2), \quad (2.1.9)$$

$$\text{де } A = \frac{\pi \rho d^3}{2\lambda}, \text{ м}^3, k_T = \sqrt{\frac{\pi^2 d^2 \rho}{8\lambda L}}, \text{ м}^2.$$

Наступним елементом об'єкта дослідження є регулюючий орган (перетискний клапан). Розглянемо РО як гідравлічний опір, інерційними властивостями руху рідини в якому можна знехтувати. Математичною моделлю РО є його витратна характеристика – залежність витрати рідини до ступеня відкриття РО та втрати тиску на ньому. Прийнемо що витратна характеристика РО має вигляд [54]:

$$Q = k_B l \sqrt{\frac{P_2 - P_3}{\rho}}, \quad (2.1.10)$$

де P_2 – тиск на вході РО, P_3 – тиск на виході РО.

Для масової витрати:

$$Q_m = Q \cdot \rho = k_B l \sqrt{(P_2 - P_3) \rho}, \quad (2.1.11)$$

де k_B – конструктивний параметр (ефективна площа повністю відкритого РО)

l – ступінь відкриття РО.

Оскільки тиск перед РО не вимірюється перетворювачами тиску та є невідомим, його визначимо розрахунковим шляхом за формулою (2.1.11):

$$Q_m^2 = k_B^2 l^2 \rho (P_2 - P_3), \quad (2.1.12)$$

$$P_2 = \frac{Q_m^2}{k_B^2 l^2 \rho} + P_3, \quad (2.1.13)$$

Вираз для тиску P_2 (2.1.13) введемо у (2.1.9) отримавши таким чином рівняння довгого трубопроводу із турбулентним потоком із РО:

$$A \frac{d(Q_m)}{dt} + Q_m = k_T^2 \left(P_1 - P_3 - \frac{Q_m^2}{k_B^2 l^2 \rho} \right), \quad (2.1.14)$$

Після скорочення:

$$A \frac{d(Q_m)}{dt} + Q_m^2 \left(1 + \frac{k_T^2}{k_B^2 l^2 \rho} \right) = k_T^2 (P_1 - P_3), \quad (2.1.15)$$

На останньому відрізку встановлена голка наповнення флаконів розчином, що використовується для напрямлення потоку рідини, розглянемо дану голку як гідравлічний опір, що описується рівнянням Дарсі — Вейсбаха [54]:

$$\Delta P = \lambda \frac{L_{\Gamma}}{D_{\Gamma}} \frac{v^2}{2} \rho, \quad (2.1.16)$$

де λ — коефіцієнт гідравлічного тертя по довжині (коефіцієнт Дарсі), v — середня швидкість руху рідини, L_{Γ} — довжина голки, D_{Γ} — діаметр голки.

Швидкість руху рідини визначається як:

$$v = \frac{Q_m}{S_{\Gamma} \rho}, \quad (2.1.17)$$

$$\text{де } S_{\Gamma} = \frac{\pi D_{\Gamma}^2}{4}.$$

Підставивши (2.1.17) у (2.1.16) та скоротивши отримаємо:

$$P_3 = P_6 + \lambda \frac{L_{\Gamma}}{D_{\Gamma}} \frac{Q_m^2}{2 \rho S_{\Gamma}^2}, \quad (2.1.18)$$

де P_6 — атмосферний тиск.

Підставивши (2.1.18) у (2.1.15) отримаємо рівняння масової витрати для досліджуваного об'єкту:

$$A \frac{d(Q_m)}{dt} + Q_m^2 \left(1 + \frac{k_T^2}{k_B^2 l^2 \rho} \right) = k_T^2 \left(P_1 - P_6 - \lambda \frac{L_{\Gamma}}{D_{\Gamma}} \frac{Q_m^2}{2 \rho S_{\Gamma}^2} \right), \quad (2.1.19)$$

Дозування флакону відбувається за допомогою голки що встановлена над флаконом дозування та відповідно ваговою коміркою на яку встановлений флакон на висоті h , м. Струмінь розчину витікає із голки наповнення із швидкістю v_1 та падає на дно флакону із висоти h досягаючи швидкості v_2 за рахунок прискорення вільного падіння. Враховуючи вище описані аспекти вагова комірka системи буде проводити вимірювання маси розчину плюс вагу (силу) струменя розчину що впливає на вимірювання ваги розчину.

Розрахуємо швидкість струменя в кінцевій точці:

$$v_2 = v_1 + gt, \quad (2.1.20)$$

де v_2 — кінцева швидкість струменя розчину у флаконі, v_1 — початкова швидкість струменя, t — час падіння струменя.

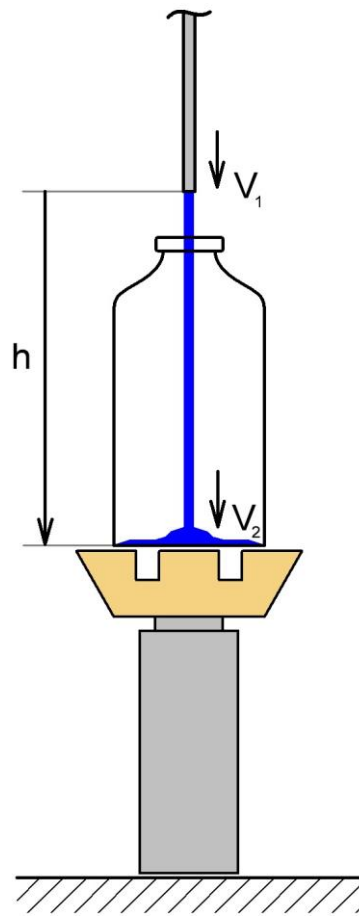


Рис. 2.1.2 Спрощена схема потоку струменя розчину у флаконі

Визначемо рівняння швидкості із врахуванням шляху що долає струмінь наступним чином:

$$h = v_1 t + \frac{gt^2}{2}, \quad (2.1.21)$$

Виразимо рівняння (2.1.21) виразимо:

$$\frac{gt^2}{2} + v_1 t + h = 0, \quad (2.1.22)$$

Знайдемо корені рівняння, а саме час падіння струменя (2.1.22) за допомогою формули Дискримінанта:

$$t_1 = \frac{-v_1 + \sqrt{v_1^2 + 2gh}}{g}; t_2 = \frac{-v_1 - \sqrt{v_1^2 + 2gh}}{g}, \quad (2.1.23)$$

У коренях рівняння (2.1.23) корінь t_2 не виправданий з фізичної точки зору, адже набуває від'ємного значення, тому в подальшому використаний корінь t_1 , виразимо рівняння (2.1.20) через корінь t_1 :

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2gh}, \quad (2.1.24)$$

Для визначення динамічного тиску використаємо формулу:

$$P_d = \frac{\mu v_2^2 \rho}{2}, \quad (2.1.25)$$

Визначено силу динамічного впливу на вагу, яку обмеженою площею голкою:

$$F_d = P_d S_\Gamma, \quad (2.1.26)$$

Для розрахунку значення масової витрати використано:

$$Q_{\text{вим}} = \frac{F_d}{g}, \quad (2.1.27)$$

Для знаходження швидкості потоку рідини через дозуючу голку, при відомій масовій витраті розчину :

$$v_1 = \frac{Q_m}{\rho S_\Gamma}, \quad (2.1.28)$$

Підставивши знайдену швидкість витікання розчину із голки дозування (2.1.28) у (2.1.24) отримано:

$$v_2 = \sqrt{\left(\frac{Q_m}{\rho S_\Gamma}\right)^2 + 2gh}, \quad (2.1.29)$$

Знайдену швидкість розчину на кінцевій ділянці (2.1.29) підставлено у (2.1.25) отримавши динамічний тиск струменя розчину при відомих змінних:

$$P_d = \frac{\mu \rho}{2} \left(\left(\frac{Q_m}{\rho S_\Gamma} \right)^2 + 2gh \right), \quad (2.1.30)$$

Після знаходження динамічного тиску струменя розчину можна провести розрахунок масової витрати із врахуванням динамічного тиску струменя рідини на вагову комірку, при відомій масовій витраті на виході із голки дозування:

$$Q_{\text{вим}} = \frac{\mu \rho S_{\Gamma}}{2g} \left(\left(\frac{Q_m}{\rho S_{\Gamma}} \right)^2 + 2gh \right), \quad (2.1.31)$$

Отже, враховуючи вище описані фізичні процеси у досліджувальному об'єкті, його математична модель матиме вигляд:

$$\begin{cases} A \frac{d(Q_m)}{dt} + Q_m^2 \left(1 + \frac{k_T^2}{k_B^2 l^2 \rho} \right) = k_T^2 \left(P_1 - P_6 - \lambda \frac{L_{\Gamma}}{D_{\Gamma}} \frac{Q_m^2}{2\rho S_{\Gamma}^2} \right) \\ Q_{\text{вим}} = \frac{\mu \rho S_{\Gamma}}{2g} \left(\left(\frac{Q_m}{\rho S_{\Gamma}} \right)^2 + 2gh \right) \\ l = f(t). \end{cases}, \quad (2.1.32)$$

2.2. Розроблення експериментальної установки для дослідження системи керування процесом дозування інфузійних розчинів

На необхідність точного моделювання та контролю процесів дозування також звертається увага у роботі [60], де підкреслюється значущість малооб'ємного наповнення шприців і флаконів для забезпечення надійності, масштабованості та вирішення виробничих труднощів. Автори зазначають, що впровадження контрольованих технічних підходів на ранніх етапах розробки сприяє підвищенню повторюваності процесу та ефективності технологічного трансферу. Це обґрунтовує доцільність створення експериментальної установки для перевірки роботи алгоритмів дозування в умовах, наближених до промислових.

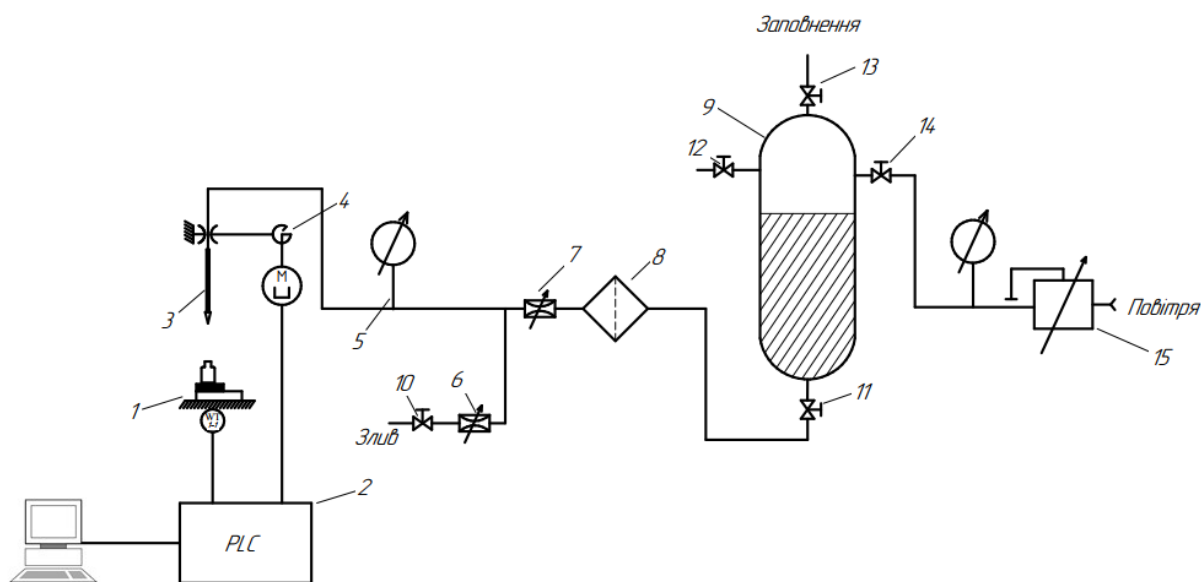


Рис. 2.2.1 Схема експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів. 1 – вагова комірка з платформою, на якій встановлюються флакони; 2 – система керування з комп'ютером для відображення процесу дозування; 3 – голка у вигляді капіляра для подачі інфузійного розчину в флакон; 4 – перетискний клапан з кроковим двигуном; 5 – манометр для вимірювання тиску інфузійного розчину перед перетискним клапаном; 6, 7 – регулюючі вентиля для імітації збурень по витраті від сусідніх віток дозування інфузійних розчинів; 8 – фільтр; 9 – ємність з інфузійним розчином; 10, 11, 12, 13, 14 – відсічні вентиля; 15 – редуктор з манометром для регулювання тиску повітря в ємності з інфузійним розчином.

При проведенні аналізу роботи технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів та безпосередньо алгоритму дозування доцільно розробити спеціальну експериментальну установку, на якій можна провести апробацію всіх вибраних для реалізації пристроїв та вузлів, технічних рішень та алгоритмів дозування, обробки інформації та керування процесом. Така установка має повторювати гідравлічну схему технологічної лінії, яка аналізується, а також в неї має входити система керування процесом дозування інфузійних розчинів. Схема розробленої експериментальної установки наведена на рисунку 2.2.1 [56, 57]

З наведеної схеми видно, що вона повторює гідравлічну схему технологічної лінії WDM 8002, тобто, подача інфузійного розчину здійснюється шляхом підпору стисненим повітрям розчину з ємності 9. Тиск повітря, яке підпирає розчин в ємності 9 може регулюватись редуктором 15 в межах 0,5 – 1,5 бар. З ємності 9 розчин подається до регулюючого органу 4, попередньо проходячи через фільтр 8. Після регулюючого органу 4 розчин через дозуючу голку 3 з капіляра з внутрішнім діаметром 4 мм і довжиною 200 мм струменем виливається в флакон, який встановлений на ваговій комірці 1. Регулюючими вентилями 6 і 7 можна нанести збурення в процесі дозування, яке буде імітувати роботу сусідніх віток дозування.

Така гідравлічна схема технологічної лінії WDM 8002 містить мінімальну кількість елементів і це важливо для забезпечення стерильності процесу, причому кожен з елементів не має застійних зон, що спрощує процес стерилізації лінії.

Для керуванням потоком рідини що дозуватиметься використовується перетискний клапан що зображений на рисунку 2.2.2. Наведений дозуючий пристрій експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів складається зі крокового двигуна 1, металевого вказівника початкової позиції привода 2, індуктивного давача знаходження початкової позиції 3, підшипника кочення 4, відцентрове лекало 5, лінійні направляючі 6, асептична силіконова трубка 7, захват для трубки 8, механічний перетискний елемент 9, електромагніт 10, натяжна пружина 11 та вал упору 12.

Далі розглянемо принцип роботи перетискного клапана. На початковому етапі роботи відбувається позиціонування валу крокового двигуна 1, при тому

електромагніт 10 вимкнтий та відсутнє зчеплення із механізмом підйому перетискного елементу 9. Позиціонування здійснюється кроковим двигуном на мінімальній швидкості рухом у протилежну сторону від робочого до моменту вирівнювання металевого вказівника початкової позиції привода 2 напроти чутливого елементу індуктивного давача 3.

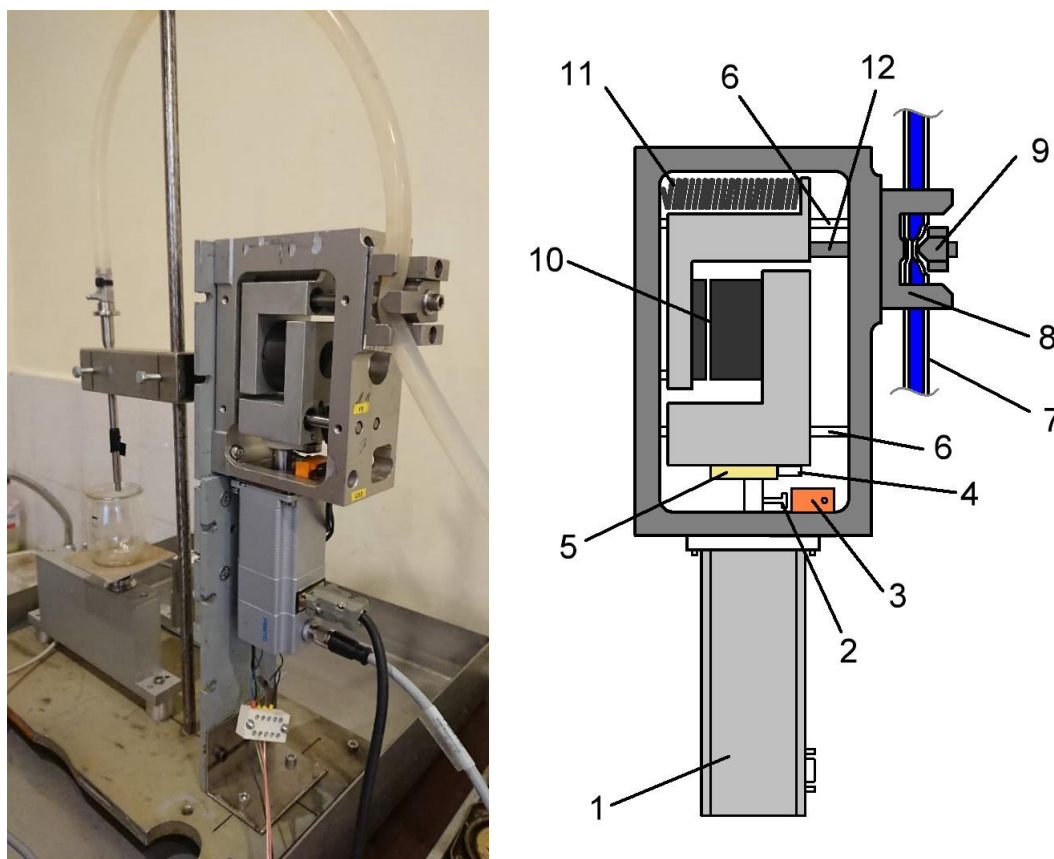


Рис. 2.2.2. Загальний вигляд та будова дозуючого пристрою експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів

Після знаходження початкової позиції дозуючого механізму вмикається електромагніт 10 який зчеплює дві частини механізму підйому перетискного елементу 9. Під час процесу дозування вал крокового двигуна 1 переміщається на задану позицію повертаючи відцентрове лекало 5, на якому лежить підшипник кочення 4, при оберті лекала здійснюється рух механізму дозування по лінійним направляючам 6. Так як вал упору 12 до якого закріплений механічний перетискний елемент 9 з'єднаний до механізму підйому при повороті валу двигуна відповідно відбувається зменшення прижиму асептичної силіконової трубки 7, через яку

відбувається подача розчину у флакон для дозування, що закріплена у захваті для трубки 8. Притягування перетискного елементу та механізму дозування до захвату трубки до основи клапана відбувається за рахунок натяжної пружини 11.

На рис. 2.2.3 наведений вигляд ємності з інфузійним розчином експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів. Об'єм ємності 25 л, на рис. 3 видно також інші елементи експериментальної установки: відсічні вентиля на лініях для наповнення ємності, лінія подачі розчину на перетискний регулюючий орган, лінія подачі повітря для підпору розчину, фільтр на виході з ємності, манометр перед регулюючим органом, манометр на лінії підпору [57].



Рис. 2.2.3 Загальний вигляд ємності з інфузійним розчином експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів

Проведемо вибір та дослідження приводу перетискного регулюючого органа для регулювання подачі інфузійного розчину при дозуванні. З задачею заміни приводів при модернізації технологічних ліній доводиться досить часто стикатись по тій причині, що ряд приводів підтримується виробниками на протязі досить

короткого часу. Це особливо стосується серводвигунів та крокових двигунів. Електронні блоки керування цими двигунами дуже часто оновлюються по мірі появи більш сучасної елементної бази. Ці блоки в більшості випадків не взаємозамінні, не можуть працювати з двигунами інших виробників і це особливо стосується серводвигунів. З кроковими двигунами проблем менше і електронні блоки керування ними – драйвери не прив'язані до одного типу двигуна. В діючій технологічній лінії на ділянці дозування застосовується вісім крокових двигунів для керування перетискними регулюючими органами і один для опускання/піднімання траверси з дозуючими голками. Ці двигуни вже не підтримуються виробником і їх потрібно замінити з збереженням основних критичних параметрів. Підбір нових крокових двигунів та драйверів для керування ними проводився за наступними параметрами:

- Сумісність конструктивних розмірів для кріплення корпусу двигуна та діаметра і довжини вихідного вала.
- Кількість кроків керування на один оберт вихідного вала.
- Момент на вихідному валу двигуна.
- Швидкодія двигуна в комплекті з драйвером.

Останній параметр залежить від електричних характеристик крокового двигуна. Для максимальної швидкодії потрібно вибирати двигун з більшим керуючим струмом через навитки і з меншою індуктивністю навиток. Що стосується драйверів до крокових двигунів, то більшість сучасних моделей побудовані з застосуванням мікропроцесорів в електронній схемі. Це розширює їхні функціональні можливості, але зменшує швидкодію.

З врахуванням вищевикладеного для приводів перетискних регулюючих органів технологічної лінії WDM 8002 вибраний тип крокових двигунів EMMS-ST-57-MSE-G2 Festo і драйвери для керування ними типу 2DM860H MicrostepcDriver. Вони мають наступні параметри :

- EMMS-ST-57-MSE-G2 Festo, номінальна напруга живлення: 48 VDC, Номінальний струм споживання: 5 А , Максимальна кількість обертів: 1940, Момент утримання 1,4 Nm, Кут кроку: $1,8^{\circ} \pm 5\%$, [19]

- 2DM860H Microstep Driver, Напруга живлення: AC 30-80V / DC 40-110V; Нормальний вихідний струм: 2,1-8,4; Струм логічного входу: 10 мА; Частота імпульсної характеристики: Макс. 250 кГц; Час низького рівня пульсу: мін. 2,5 с[20]

Для забезпечення потрібного моменту при високій швидкодії застосовано живлення драйверів напругою 48 В, для чого застосовано два імпульсні блоки живлення типу TRIO-PS-2G/1AC/48DC/10 Phoenix Contact [21].

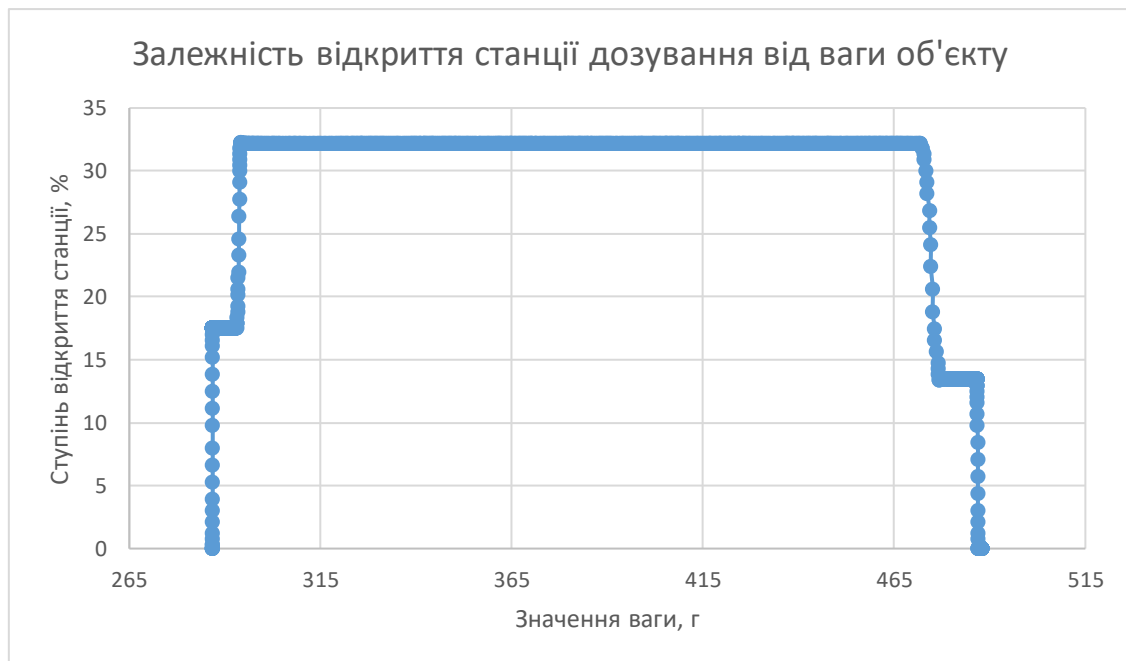


Рис. 2.2.4 Витратна характеристика регулюючого органа від кількості кроків крокового двигуна. Тиск інфузійного розчину перед регулюючим органом – 100 кПа (1 бар), діаметр внутрішнього отвору капіляра дозуючої голки - 4 мм, довжина – 200 мм.

Дослідження модернізованого перетискного регулюючого органа зводилося до визначення часу повного відкриття, який склав менше однієї секунди, визначення витратної характеристики регулюючого органа в залежності від кількості кроків двигуна. Витратна характеристика регулюючого органа від кількості кроків двигуна при тиску інфузійного розчину перед регулюючим органом рівному 1 бар відображена на рис. 2.2.4 [57].

Подальші дослідження проводились при дозуванні інфузійних розчинів на експериментальній установці і разом з пізніше одержаними результатами

промислових випробувань підтвердили придатність вибраних крокових двигунів, драйверів для керування ними та блоків живлення драйверів.

Також проведемо вибір та дослідження тензорезисторних давачів ваги для вагових комірок технологічної лінії дозування інфузійних розчинів. В діючій технологічній лінії для дозування інфузійних розчинів застосовані тензорезисторні давачі ваги з діапазоном вимірювання 0 – 2 кг. Це дрібносерійний виріб, який розроблений досить давно і технологія його виготовлення поступається сучасним. Особливістю цих давачів є низька механічна резонансна частота, що робить їх дуже чутливими до ударів струменя дифузійного розчину на початку процесу дозування і механічних збурень від механізмів технологічної лінії. Для зменшення впливу перерахованих збурень тензорезисторний давач ваги поміщений в спеціальну вагову комірку, яка являє собою ванну, виготовлену з суцільного куска алюмінієвого сплаву. Ця ванна заповнена в'язкою силіконовою рідиною, яка демпферує механічні коливання тензорезисторного давача. Але таке технічне рішення збільшує час встановлення показів ваги з заданою точністю, що погіршує точність дозування та збільшує час процесу дозування. Ці недоліки були зауважені вже в процесі виробничих випробувань модернізованої лінії і було прийняте рішення модернізувати вагові комірки шляхом застосування в них однієї з останніх розробок фірми НВМ – тензорезисторного давача ваги типу SP8C3 [22].

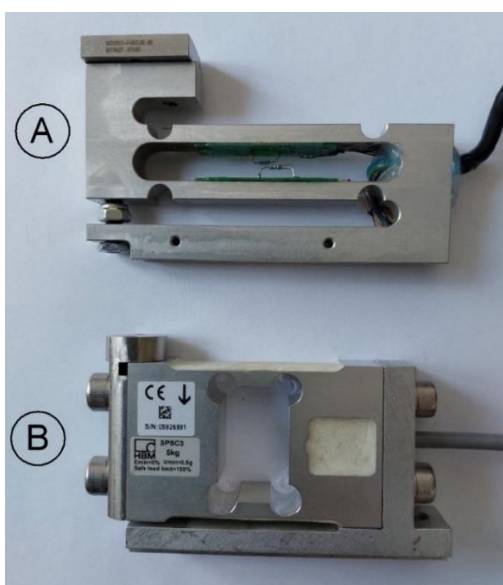


Рис. 2.2.5. Зовнішній вигляд тензорезисторного давача, де А – оригінальний давач, В – пропонується давач для використання у модернізації.

Аналізувалась можливість застосування і інших типів давачів ваги, зокрема з магнітоелектричною компенсацією [23], які широко застосовуються для динамічного зважування нарівні з тензорезисторними давачами, але конструктивні розміри вагової комірки не дозволяють застосовувати такі давачі через їхні більші розміри. Зовнішній вигляд оригінального та пропонованого тензорезисторного давача зображено на рисунку 2.2.5 [56, 57, 58].

На експериментальній установці були проведені дослідження по визначенню середньоквадратичного відхилення результатів зважування в статичному режимі, результати дослідження представлені у таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 Результати зважування в статичному режимі

К-сть дозувань	Номінальне значення	
	500 г.	1000 г.
1	500,2	1000,0
2	500,1	1000,0
3	500,4	1000,2
4	500,0	1000,1
5	500,1	1000,2
6	500,1	1000,1
7	500,0	1000,1
8	500,3	1000,3
9	500,1	1000,0
10	500,0	1000,0

Визначено що середньоквадратичне відхилення для вагової комірки за результатами зважування у статичному режимі, для ваги 500 г. становить 0,126 %, а для ваги 1000 г. становить 0,113 %.

Після чого були проведенні дозування з визначенням середньоквадратичного відхилення в серії ряду послідовних дозувань, результати досліду представлені у таблиці 2.2.2

Таблиця 2.2.2 Результати зважування в серії ряду послідовних дозувань

	Номінальне значення
К-сть дозувань	201 г.
1	201,3
2	202,7
3	202,5
4	201,5
5	201,3
6	201,9
7	201,6
8	202,2
9	201,7
10	202,8

Визначено що середньоквадратичне відхилення для вагової комірки за результатами зважування в серії ряду послідовних дозувань становить 0,537 %

Після одержаних позитивних результатів на експериментальній установці було замінено одну вагову комірку вже в модернізованій технологічній лінії, система керування якої відображає середньоквадратичне відхилення результатів останніх десяти дозувань по восьми каналах дозування. Застосування вагової комірки з новим давачем без заповнення силіконовою рідиною показало значно менше значення середньоквадратичного відхилення результатів дозування, яке склало 0,537 % [56, 57, 58].

Наступним етапом розробки експериментальної установки є вибір програмованого логічного контролера та його додаткових модулів. Для модернізації технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів необхідно замінити існуючу систему керування на базі однокристальних процесорів на систему керування із застосуванням програмованих логічних контролерів. Така заміна дозволяє суттєво розширити функціональні можливості системи керування щодо візуалізації процесу дозування, архівації та опрацювання результатів

дозування з кожної станції дозування, діагностики несправностей. Єдиною але суттєвою проблемою при такій заміні є проблема забезпечення швидкодії системи керування при виконанні процедури дозування для збереження продуктивності технологічної лінії. Ще донедавна системи керування на базі однокристальних процесорів мали суттєву перевагу в швидкодії порівняно з системами керування із застосуванням програмованих логічних контролерів. Тому основна задача при виборі структури системи керування та типу програмованого логічного контролера - збереження продуктивності технологічної лінії.

Під час підбору програмованого контролера та модулів розширення (вводу/виводу) було проаналізовано продукцію 3-х найпопулярніших компаній на ринку, а саме: Siemens, Rockwell Automation та Mitsubishi Electric.

При використанні продуктів компанії Siemens, було обрано програмований контролер CPU 1215C DC/DC/DC, 6ES7 215-1AG40-0XB0 [24] а також віддалену станцію вводу/виводу типу ET-200SP, IM 155-6 PN HF, 6ES7 155-6AU00-0CN0 [25] із ваговим модулем SIWAREX WP321, 7MH4 138-6AA00-0BA0 [26].

Переваги обраної конфігурації [24, 25, 26]:

- швидкісний компактний контролер із робочою пам'яттю 200 KB, із вбудованими дискретними входами та виходами, та 4-ма вбудованими швидкісними виходами що підтримують керування драйверами крокового двигуна;

- наявність 2-х швидкісних Ethernet портів із можливістю комунікації із панелями керування чи віддаленими станціями вводу/виводу;

- бібліотека готових функцій (близько 1000 функцій);

- підтримка сучасних мов програмування (LAD, SCL);

- наявність готового функціонального блоку опрацювання даних від вагового модуля;

- можливість швидкого підключення до програмної панелі керування, що розгорнута на ПК та яку розробляють у єдиному програмному забезпеченні;

- можливість налаштування параметрів вагового модуля безпосередньо з панелі керування.

Недоліком цієї конфігурації є висока вартість програмного забезпечення та високі вимоги до апаратних характеристик ПК.

Із продуктів компанії Rockwell Automation було обрано програмований контролер серії SLC 500 Controllers із ваговим модулем HI 1746-WS.

Переваги обраної конфігурації [27,28]:

- вбудований комунікаційний порт RS-232/422/423;
- наявні контролери Ethernet PLC-5 і модуль інтерфейсу Ethernet (1785-ENET) забезпечують вбудовані веб-сервіси;
- підтримка мов програмування: LAD та Structured-text;
- розширений набір інструкцій, включаючи обробку файлів, секвенсор, діагностику, регістр зсуву, миттєвий ввід/вивід і інструкції програмного керування;
- наявність вбудованих портів, які можна налаштувати для Data Highway Plus™ (DH+) або Universal Remote I/O.

Недоліки:

- невеликий доступний набір інструкцій: 71 інструкція;
- відсутність вбудованого Ethernet порта;
- відсутність вбудованих аналогових та дискретних входів/виходів;
- відсутні вбудовані швидкісні виходи для керування драйверами крокових двигунів;
- незручне програмне забезпечення, окремі модулі якого спеціалізовані для окремих компонентів системи керування.

Із каталогу компанії Mitsubishi Electric було обрано програмований контролер Q13UDEHCPU та ваговий модуль Q61LD [30].

Переваги обраної конфігурації[29]:

- загальний обсяг пам'яті: до 32 Мбайт;
- об'єм пам'яті для програм: 130 кіло-кроків (520 Кбайт);
- можливість роботи у багатопроцесорному режимі (макс. 4 центральних процесори);
- наявність вбудованого Ethernet порта для комунікації та програмування;
- максимальна кількість входів/виходів: 4096/8192.

Недоліки:

- відсутність вбудованих дискретних входів/виходів;
- відсутні вбудовані швидкісні виходи для керування драйверами крокових двигунів;
- неоптимізоване для користувача програмне забезпечення;
- висока ціна програмованого контролера;
- відсутність інтегрованого програмного забезпечення для налагодження всіх функцій.

Враховуючи вище описані переваги та недоліки кожної із конфігурації системи керування, наявний досвід роботи з продуктами компанії та її переважаючих позиціях у нашому регіоні для реалізації стенду було обрано продукти Siemens, а саме:

- програмований контролер CPU 1215C DC/DC/DC, 6ES7 215-1AG40-0XB0;
- віддалену станцію вводу/виводу типу ET-200SP, IM 155-6 PN HF, 6ES7 155-6AU00-0CN0;
- ваговий модуль SIWAREX WP321, 7MH4 138-6AA00-0BA0.

З появою на ринку доступного та швидкодіючого програмованого логічного контролера типу CPU 1215C DC/DC/DC, 6ES7 215-1AG40-0XB0 із такими параметрами[24]:

- Робоча пам'ять процесора для обробки програми: 200 KB
- Пам'ять зберігання даних: 4 МБ
- Інтерфейс передачі даних: PROFINET IRT
- Бітова продуктивність 0.08 μ s; / instruction
- Продуктивність для операцій із типами даних word: 1.7 μ s; / instruction
- Продуктивність для арифметики з плаваючою комою, тип. 2.3 μ s; / instruction

У даному контролері вдалось сумістити всі функції і забезпечити необхідну швидкодію. Найважливішими для автоматизації процесу дозування додатковими модулями контролера є вагові модулі. В новій структурній схемі застосовано ваговий модуль типу Siwarex WP321 із такими параметрами[26]:

- допустимий вхідний сигнал на інтервал перевірки: 0.5 μ V/d (d=e);

- Частота дискретизації: 600 Hz;
- Роздільна здатність вхідного сигналу: $\pm 500\,000$ parts pro mV/V;
- максимальна довжина підключення давача: 500 m; коли використовувати SIWAREX 7MH4702-8AG кабель [31].

Розглянемо структурну схему експериментальної установки, що зображена на рисунку 2.2.6 До складу установки входить спрощена система керування процесом дозування інфузійних розчинів, яка імітує роботу тільки однієї станції дозування. Система керування має складатися з обладнання, яке планується застосувати в процесі модернізації, а також вона має реалізовувати основні алгоритми керування, в першу чергу алгоритм дозування, який буде складатися з кількох стадій [55, 59].

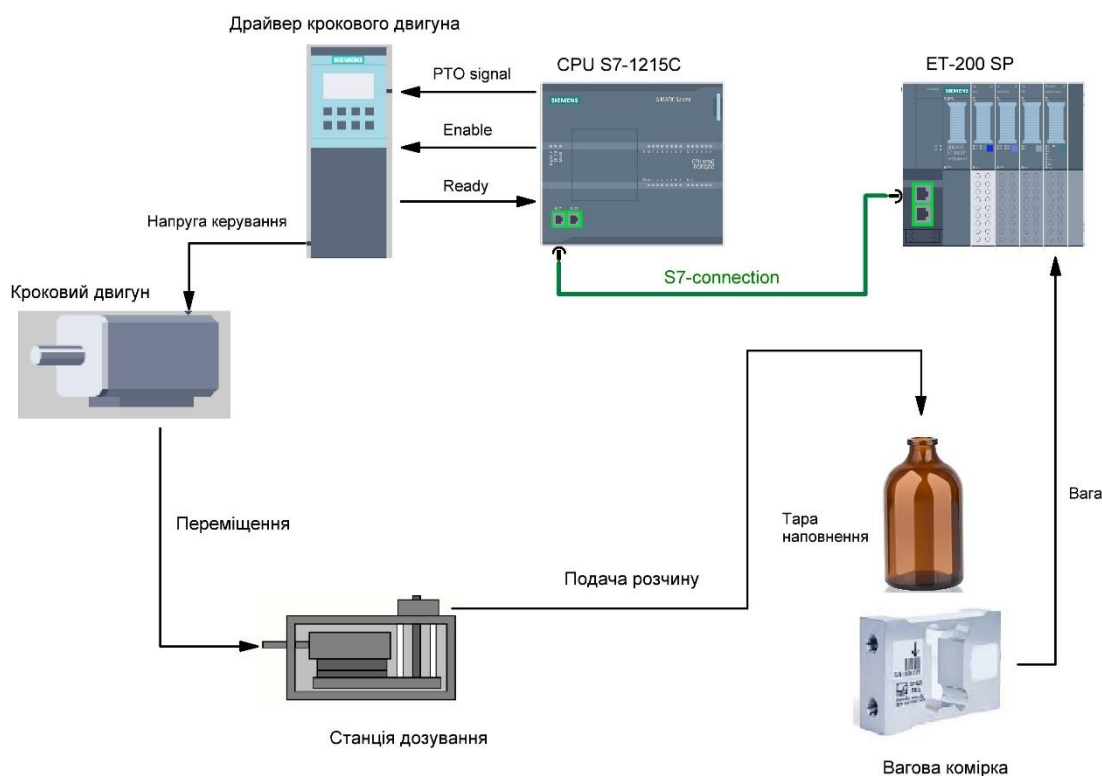


Рисунок 2.2.6 Структурна схема керування експериментальної установки для дослідження процесу дозування інфузійних розчинів

З наведеної схеми випливає що основними засобами є програмований контролер CPU 1215C DC/DC/DC у якому закладений алгоритм керування. Контролер з'єднаний із станцією віддаленого вводу/виводу ET-200SP, IM 155-6 PN HF через мережеві карти Profinet [33]. протоколом S7-connection [32]. Дане з'єднання утворює вимірювально-керуючий комплекс, у якому станція віддалених

вводів/виводів є вимірювальною одиницею, а контролер центром обробки даних та керуючим пристроєм. Для зміни позиції відкриття дозуючого клапана відповідно до закладеного алгоритму контролер формує керуючу дію на драйвер крокового двигуна та отримує дані про його стан через високочастотні виходи та дискретні входи системи.

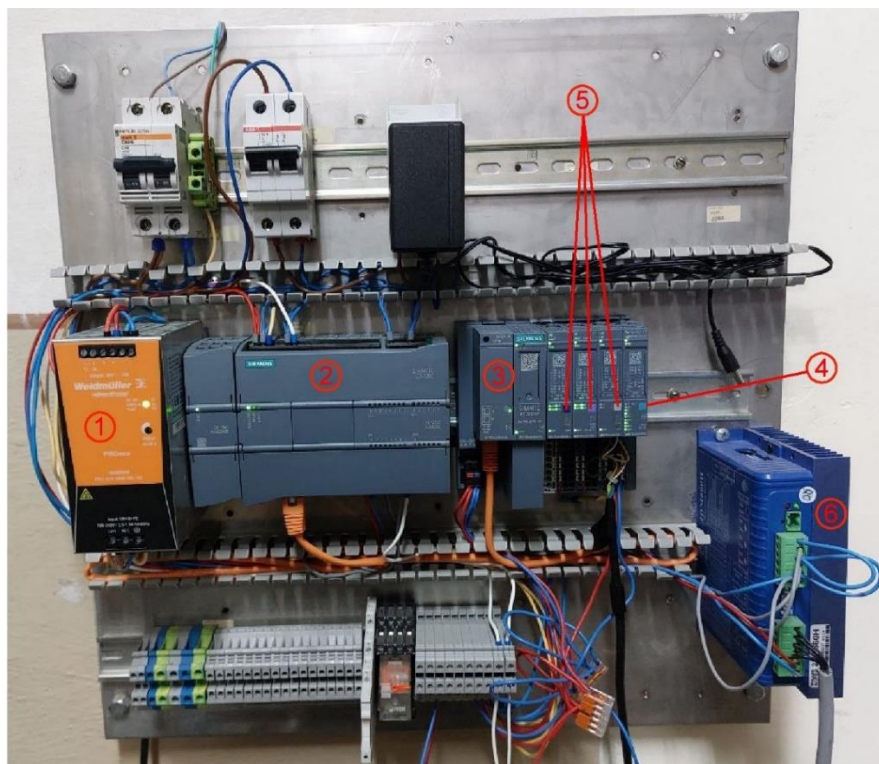


Рис. 2.2.7 Загальний вигляд системи керування експериментальною установкою для дослідження одного клапана дозування інфузійних розчинів (до її складу входять: 1-блок живлення 24В, 2- програмований логічний контролер Siemens CPU 1215C, 3-віддалена станція ET200 SP 4- ваговий модуль SIWAREX WP321, 5- модулі дискретних входів і виходів та модуль аналогових входів, 6 – драйвер керування кроковим двигуном)

Драйвер крокового двигуна у свою чергу формує сигнал для переміщення крокового двигуна, який поворотом валу змінює ступінь відкриття чи закриття перетискного клапана, що змінює ступінь перетискання шлангу, а і відповідно його прохідність. Надалі через голку наповнення дозований розчин потрапляє у тару для дозування яка встановлена на ваговій комірці для виміру ваги дозованого розчину. Значення із вагової комірки надходить до вагового модуля SIWAREX WP321.

Ваговий модуль передає дані до програмованого контролера у якому відбувається визначення точної ваги у налаштованому програмному блоці [55, 59].

На розробленій експериментальній установці буде проведено відтворення існуючого алгоритму дозування, а також дослідження покращених чи нових алгоритмів.

2.3. Відтворення існуючого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів машини вагового наповнення WDM 8002.

Першим кроком при відтворенні існуючого алгоритму дозування на обраних нових технічних засобах є обробка сигналів від вагової комірки контролером.

Для обробки сигналів із вагової комірки було обрано ваговий модуль Siemens SIWAREX WP321, до якого виробник надає із бібліотеки готовий функціональний блок для отримання оцифрованого значення ваги WP321DR. Опис електричного підключення модуля, параметрів функціонального блоку, програмних змінних доступних для налаштування функції та використання вихідних сигналів описано у Weighing systems, Electronic weighing system SIWAREX WP321 Manual. [34]

Загальний вигляд функціонального програмного блоку обробки значень від вагової комірки зображено на рисунку 2.3.1

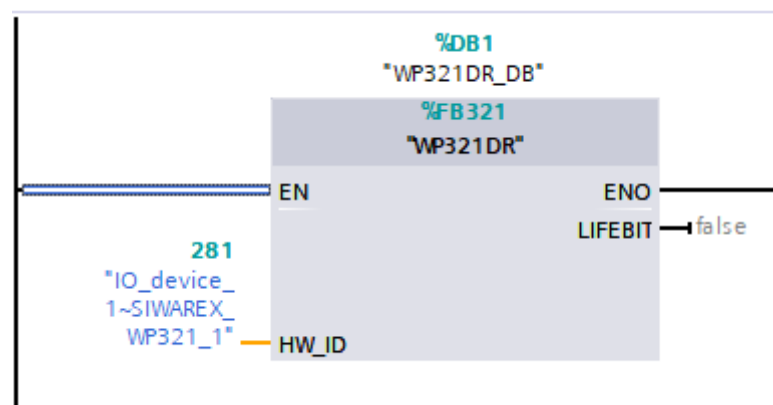


Рис. 2.3.1 Загальний вигляд функціонального програмного блоку обробки значень від вагової комірки

Використаний функціональний блок потребує лише вказання апаратного ідентифікатора HW_ID. Програмне забезпечення TIA Portal автоматично призначає окрему початкову адресу введення/виведення та HW_ID (апаратний ідентифікатор) для кожного вагового модуля SIWAREX, присутнього в проекті.

Ці два параметри є релевантними для виклику функціонального блоку та можуть бути отримані з властивостей відповідного модуля. (рис. 2.3.2) [34]

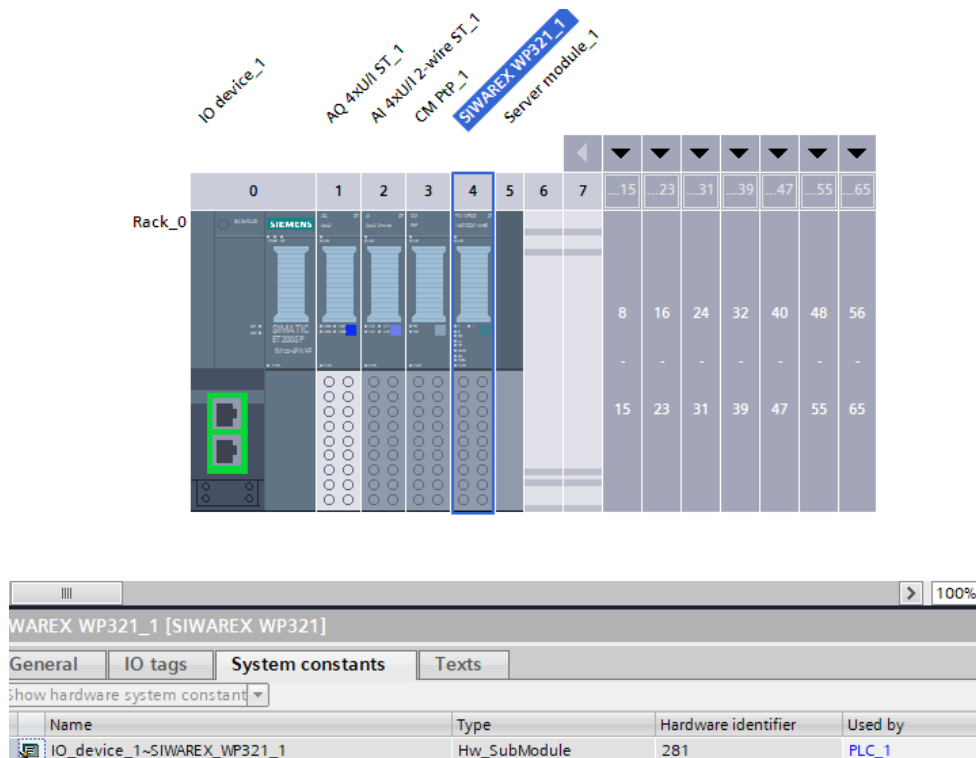


Рис. 2.3.2 Апаратний ідентифікатор визначений програмний забезпеченням TIA Portal для обраного вагового модуля.

Після успішної інтеграції функціонального блоку та візуалізації відображення параметрів вагової комірки у систему керування експериментальним стендом необхідно провести їх налаштування.

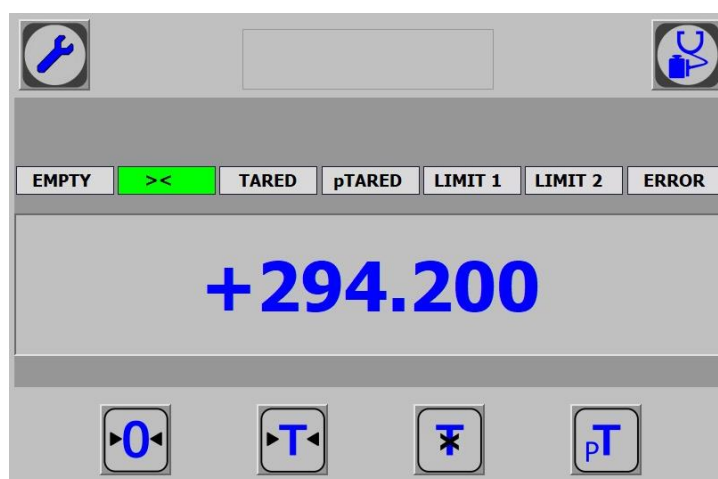


Рис. 2.3.3 початкове вікно діагностики та налаштування вагового модуля

На початковому вікні (Рис. 2.3.3) відображається загальний стан вагового модуля, відображається актуальне значення ваги, функціональні кнопки

встановлення нуля (пустої ваги), встановлення ваги тари, відміна ваги тари, переходу у вікно встановлення сталої ваги тари, функціональні кнопки переходу у вікна налаштувань та діагностики вагового модуля .

Перейдемо до безпосередніх параметрів вагового модуля. Початковими параметрами (Рис. 2.3.4) які необхідно ввести є назва вагової комірки, одиниці вимірювання, ідентифікатор для брутто що буде відображатись на дисплеї, роздільна здатність, мінімальна вага та максимальна вага на яку розрахована вагова комірка.

1.4.1 Advanced scale parameter 1 of 3		Service mode
Scale name	W01	
Weight unit	g	
Indicator for gross	B for gross	▼
Resolution d (=e)	0.1000	g
Minimum weight (in d)	20	x
Maximum weight	2000.0000	g

Navigation icons: Back, Save, Forward.

Рис. 2.3.4 Вікно параметрів (сторінка 1) обробки значень від вагової комірки

У наступному вікні (Рис. 2.3.5) проведемо налаштування автоматичного відслідковування нуля, встановлення діапазону обнулення значення ваги при її спаді та зростанні.

1.4.2 Advanced scale parameter 2 of 3		Service mode
Automatic zero tracking	no	▼
Negative zero setting range	1.00	% of 2000.0 g
Positive zero setting range	3.00	% of 2000.0 g
Standstill range	1	d
Standstill time	0.500	s
Standstill waiting time	0.500	s

Navigation icons: Back, Save, Previous, Next.

Рис. 2.3.5 Вікно параметрів (сторінка 2) обробки значень від вагової комірки

Наступними параметрами є визначення стабілізації ваги даних ваги. Діапазон стабілізації вказує вагові межі у яких можна вважати що дані ваги вже

стабілізовані, час стабілізації ваги та час очікування стабілізації – це максимальний час очікування стабілізації на виконання команди, який залежить від зупинки (тарування, обнулення).

Контроль у стані спокою перевіряє, чи ваги правильно збалансовані. Зупинка ваг реєструється, якщо вага змінюється менше, ніж задане коливання d (діапазон стабілізації) протягом заданого часу (час стабілізації). Моніторинг у стані спокою використовується в режимі статичного масштабування (при використанні команди: обнулення, тарування). На рисунку 2.3.6 показано принцип роботи моніторингу стабілізації [34].

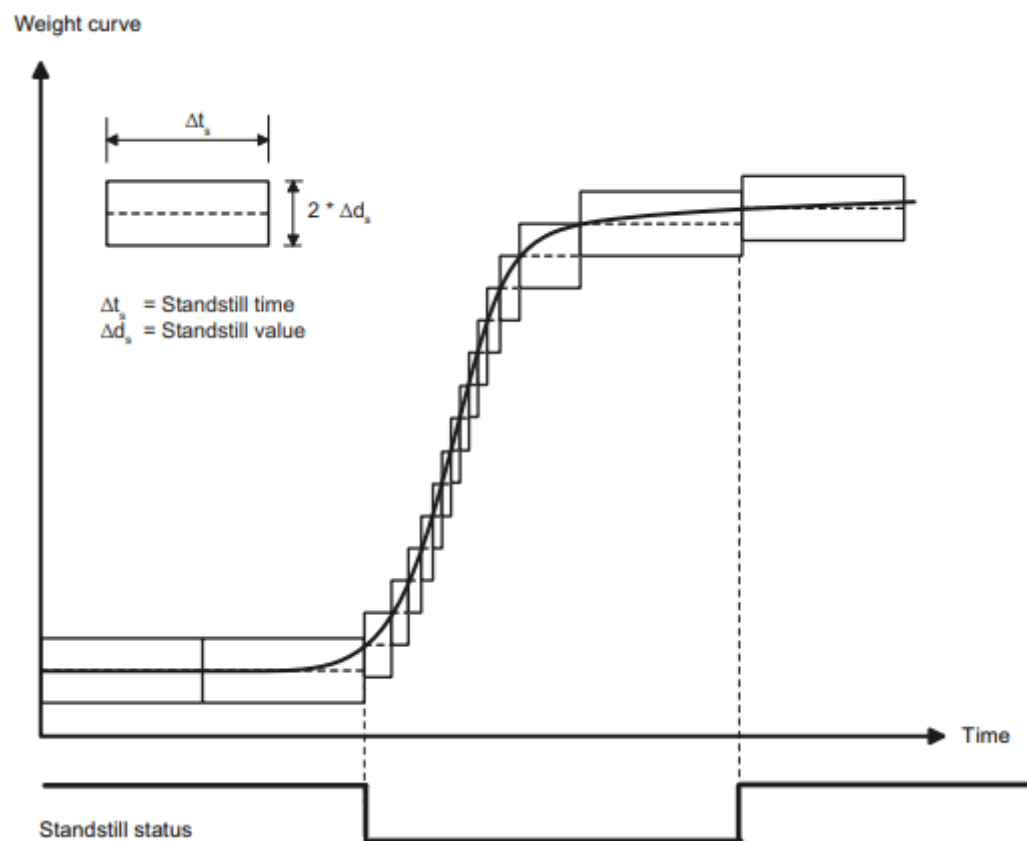


Рис. 2.3.6 Діаграма принципу роботи моніторингу стабілізації.

На останньому кроці налаштування параметрів масштабування значення ваги (Рис. 2.3.7) від вагового модуля проводиться встановлення таких параметрів: округлення виміряного значення, максимальна вага тари, частота низькочастотного фільтру, порядок низькочастотного фільтру, глибина фільтру усереднення та частота дискретизації.

1.4.3 Advanced scale parameter 3 of 3 Service mode

Rounding for process values	Rounding after 3 decimals	
Tare maximum	100.00	% of 2000.0 g
Frequency low pass filter 1	3.0	Hz
Order no low pass filter 1	2	
Depth of the average filter	20	
Sample rate	100Hz (50Hz mains frequency)	

Рис. 2.3.7 Вікно параметрів (сторінка 3) обробки значень від вагової комірки

Налаштування параметрів фільтрації є критично важливим етапом, оскільки від їх правильного вибору залежить швидкість обробки сигналу та його стійкість до зовнішніх завад. Процес дозування лікарських засобів є динамічним і швидкоплинним, що вимагає особливо ретельного підходу до параметрів фільтрації. Потрібно забезпечити баланс між рівнем фільтрації та оперативністю системи: надмірне згладжування сигналу може призвести до втрати точності визначення ваги, тоді як занадто повільна обробка даних може спричинити запізнення у прийнятті рішень та зниження ефективності дозування. Оптимальне налаштування дозволяє досягти високої точності дозування та стабільної роботи системи навіть за умов наявності зовнішніх збурень.

Коротко розглянемо методи фільтрації які використовуються у даному функціональному блоці. Перший метод фільтрації це використання дискретного низькочастотного фільтру. При встановленні частоти низькочастотного фільтру рівне 0, даний фільтр буде вимкнтий, тож можливий діапазон частоти зрізу який можна встановити є від 0,01 до 50 Гц. Гранична частота (cut-off frequency) — це частота, вище якої сигнал пригнічується або значно послаблюється фільтром. Вона визначає, які частоти пропускати фільтр і які відсікати, що безпосередньо впливає на стабільність і точність вимірювань. При виборі вищої граничної частоти (наприклад, 5 Гц) ваги реагують швидко на зміни маси. Це може бути корисно для динамічних процесів, де потрібна миттєва реакція на зміну ваги. Однак

високочастотні перешкоди, такі як вібрації або механічні коливання, також будуть пропущені, що може знижувати точність вимірювань [34].

При виборі нижчої граничної частоти (наприклад, 0.5 Гц) ваги реагують повільніше на зміни маси. Це робить систему більш стійкою до шумів і перешкод, але може створювати затримку у відображенні реального значення ваги.

Отже, при роботі із динамічним об'єктом, як-от рідину, що заповнює флакон, висока гранична частота дозволить швидко відображати зміни ваги, але з можливими шумами у вимірюваннях. Натомість низька гранична частота згладить коливання, але зробить систему менш чутливою та "повільною".

Другим методом фільтрації є фільтрування середнього значення. Фільтр середнього значення належить до класу цифрових фільтрів, які допомагають усунути випадкові шумові коливання у вимірюваних сигналах. Цей фільтр стабілізує значення ваги, розраховуючи середнє значення з певної кількості останніх вимірювань. Фільтр середнього значення функціонує за принципом обробки серії останніх вимірювань ваги для розрахунку її середнього значення. Модуль зважування проводить вимірювання кожні 10 мілісекунд (мс), зберігаючи останні n значень, де n може досягати максимум 250. Для визначення поточного значення ваги всі збережені вимірювання підсумовуються, а результат ділиться на їх кількість (n). Процес постійно оновлюється: кожні 10 мс найстаріше значення видаляється, а нове вимірювання додається до масиву даних. Такий підхід дозволяє отримати стабільне значення ваги навіть за наявності випадкових перешкод.

Останнім етапом після налаштування параметрів масштабування та фільтрування сигналів від вагової комірки є проведення процедури калібрування. Вікно калібрування наведено на рисунку 2.3.8. На етапі калібрування задаються значення калібрувальних ваг, які необхідно фізично розмістити на платформі ваг під час процесу калібрування. Якщо ваги вже містять певне навантаження, і ця вага точно відома, можна використати її як значення для «Калібрувальної ваги 0». У цьому випадку поточне навантаження ваги враховується як початкова точка калібрування. Якщо ж ваги повністю порожні, це значення залишається рівним 0 кг.

«Калібрувальна вага 1» служить основною опорною точкою для визначення характеристичної кривої ваг і задається шляхом розміщення на платформі стандартного еталонного навантаження (наприклад, половина або інше значення від номінального навантаження ваг). Для більш точного калібрування можна задати додаткову опорну точку у вигляді «Калібрувальної ваги 2». Ця точка дозволяє уточнити характеристичну криву системи зважування, але її налаштування не є обов’язковим і залежить від механічних особливостей конструкції ваг.

Важливо враховувати, що різниця між калібрувальними вагами повинна становити не менше 2% від номінального навантаження ваг. Наприклад, для ваг із максимальним навантаженням у 1 000 кг мінімальна калібрувальна вага повинна бути не меншою за 20 кг. Діапазон вимірювання використаних ваг становить 2 кг., тому вагу для калібрування було обрано 1 кг, що повністю перекриває 2% від номінального навантаження, та дозволяє використовувати широко поширену гирю.

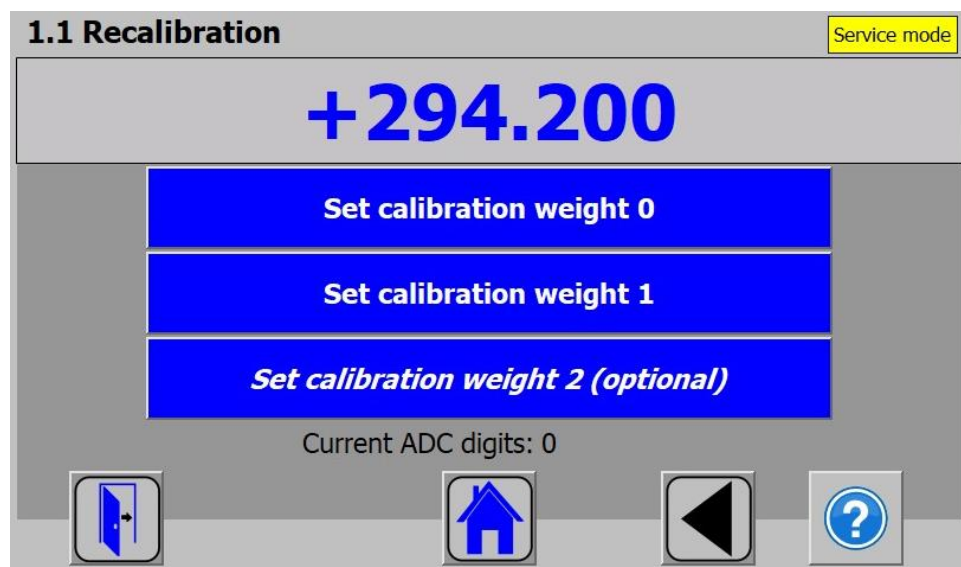


Рис. 2.3.8 Вікно калібрування вагової комірки

У налаштуваннях функцій вагового модуля (рис. 2.3.9) необхідно визначити вихідні параметри для ключових змінних, які використовуватимуться під час роботи системи зважування. Зокрема, для змінної “Process value 1” (s_IO_DATA.PROCESS_VAL_1) задається значення ваги бруто, тобто сумарна вага продукту разом із тарою. Це значення є важливим для контролю загальної маси навантаження. Для змінної “Process value 2” (s_IO_DATA.PROCESS_VAL_2) задається значення ваги тари, тобто ваги пустої тари без урахування продукту [34].

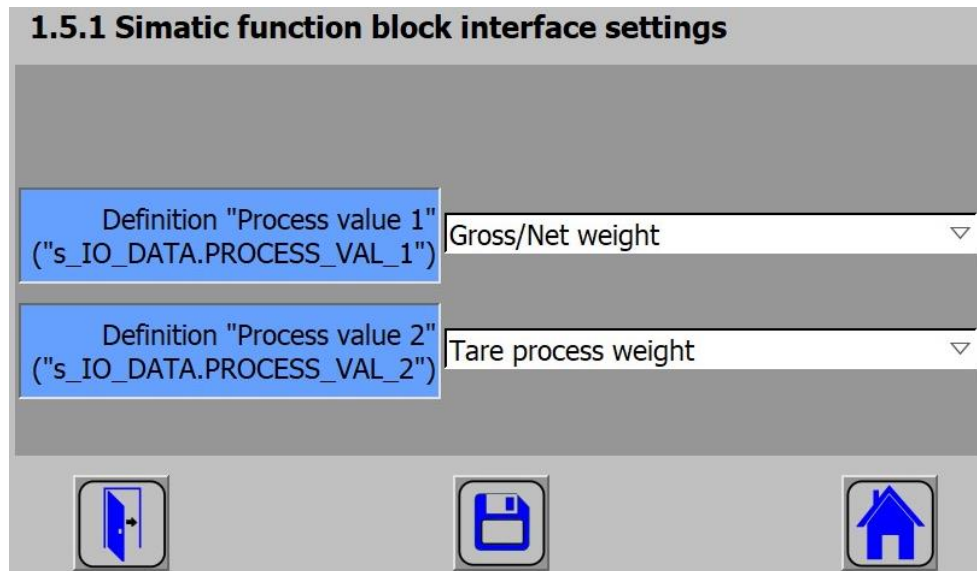


Рис. 2.3.9 Вікно калібрування вагової комірки

На наступному кроці необхідно реалізувати функціонал керування перетискним клапаном, а саме кроковим двигуном. Для цього у програмному забезпеченні TIA Portal для обраного контролера потрібно створити технологічний об'єкт «TO_PositioningAxis».

TO_PositioningAxis — це технологічний об'єкт (ТО) в системах автоматизації Siemens, зокрема в контролерах S7-1200, призначений для керування позиціонуванням осей у сервосистемах. Він дозволяє здійснювати точне переміщення механізмів, таких як серводвигуни, шляхом інтеграції з відповідними приводами та енкодерами.

Проведемо налаштування технологічного об'єкта для обраного драйвера крокового двигуна 2DM860H MicrostepcDriver та крокового двигуна EMMS-ST-57-MSE-G2 Festo. У меню базові параметри, підменю загальне (рис. 2.3.10) вкажемо назву технологічного об'єкта – осі як «Station_needle_1», оберемо тип драйвера як PTO (Pulse Train Output) а також розмірність для переміщення осі, у нашому випадку це градуси. Вихід імпульсного сигналу (Pulse Train Output, PTO) — це простий та універсальний інтерфейс між контролером SIMATIC та приводом. PTO підтримується багатьма кроковими та сервоприводами по всьому світу та застосовується у багатьох завданнях позиціонування, таких як регулювання положення осей або керування подачами. PTO також відомий як інтерфейс імпульс/напрямок (Pulse/Direction Interface) [35].

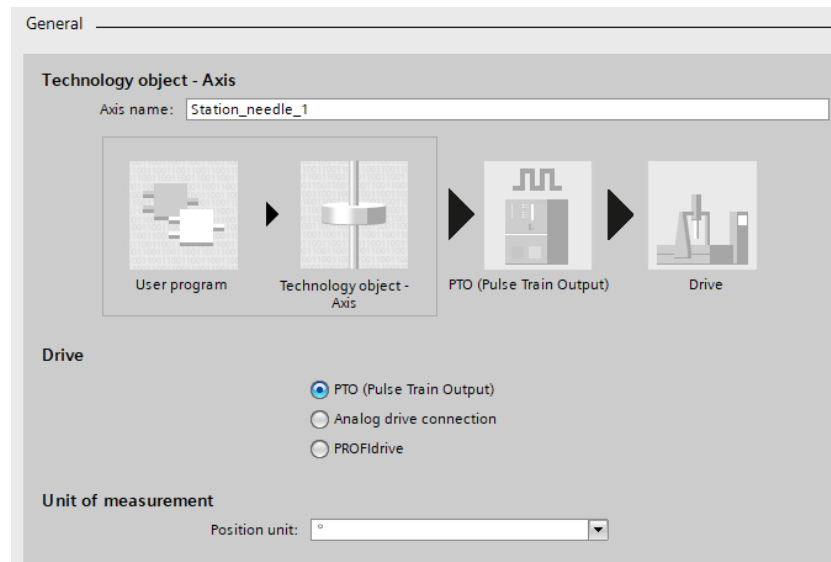


Рис. 2.3.10 Вікно базових налаштувань технологічного об'єкта, підменю загальні.

РТО працює шляхом генерування послідовності електричних імпульсів, які передаються від контролера (наприклад, S7-1200) до привода. Кількість імпульсів визначає величину переміщення осі, а напрямок сигналу задає напрямок її руху. Цей підхід забезпечує точне керування положенням осі та знаходить широке застосування в автоматизованих системах позиціонування.

На наступному кроці необхідно налаштувати апаратні параметри комунікації контролера та драйвера двигуна (Рис. 2.3.11).

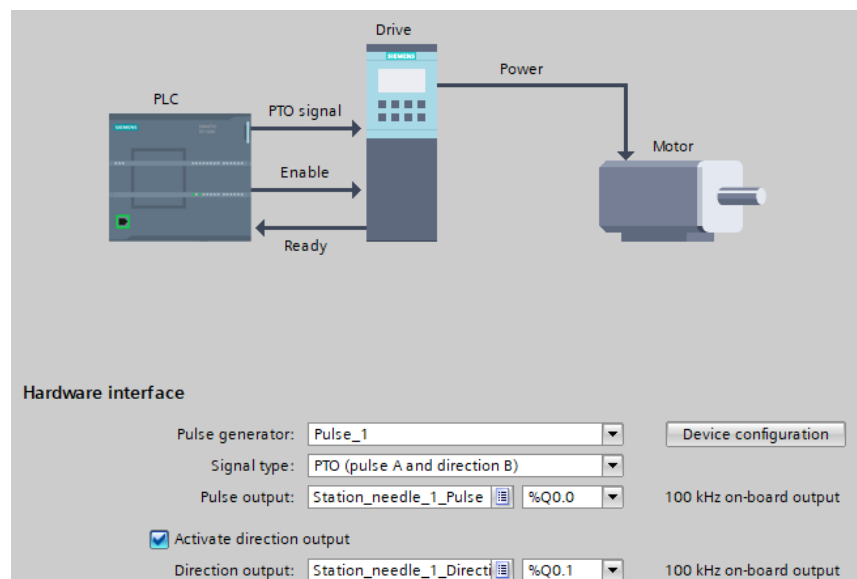


Рис. 2.3.11 Апаратні параметри комунікації контролера та драйвера двигуна
Обрано внутрішній генератор імпульсів що є доступний для контролера, встановлено тип сигналу як РТО із імпульсом А та напрямком руху валу двигуна

В, присвоєно високошвидкісний вихід контролера для завдання імпульсів переміщення на напрямку руху драйверу.

Надалі вкажемо механічні параметри крокового двигуна (Рис. 2.3.12) такі як кількість імпульсів на роздільну здатність двигуна, переміщення навантаження на один крок двигуна а також дозвіл на напрямок обертання.

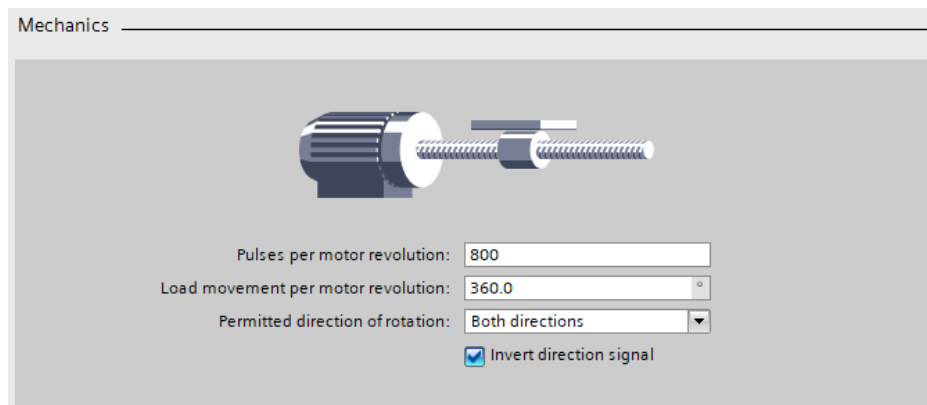


Рис. 2.3.12 механічні параметри крокового двигуна

Встановимо динамічні параметри для двигуна (Рис. 2.3.13), такі як максимальна швидкість, швидкість запуску та зупинки двигуна, прискорення та гальмування двигуна, час розгону час гальмування.

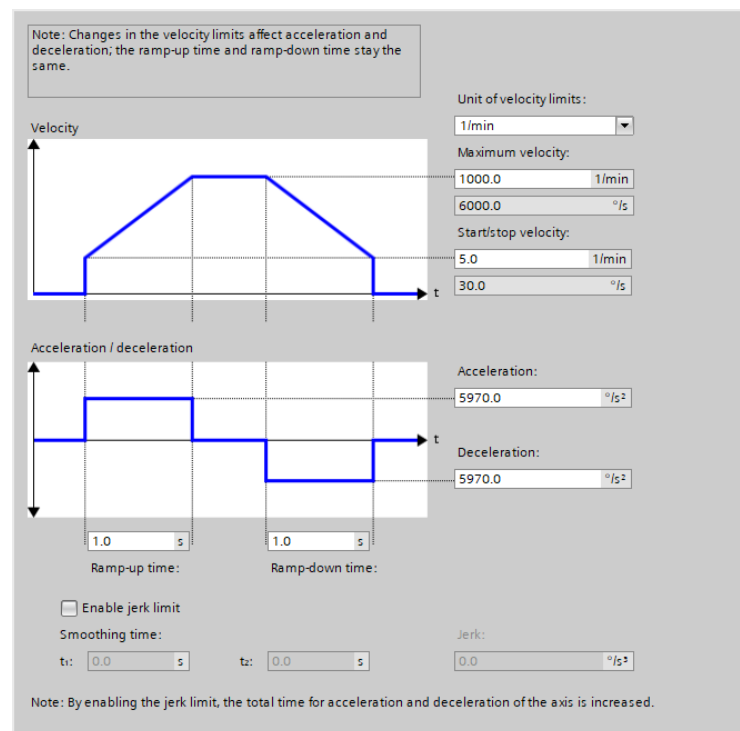


Рис. 2.3.13 динамічні параметри крокового двигуна

Для коректної реалізації програмного керування кроковим приводом необхідно здійснити його позиціонування, розрізняють два види позиціонування:

- Активне

- Пасивне

Тип позиціонування обирається в залежності від механічних особливостей вузлів якими здійснює керування кроковий привід.

Нами обрано активне позиціонування електроприводу, яке передбачає використання дискретного датчика, що вказує механічну «Нульову» точку механізму, від якої необхідно вести відлік керування осі. Також активне позиціонування передбачає об'їзд «нульової» точки з більшою та меншою швидкістю по заданій відносній траєкторії, що здійснить точне механічне позиціонування приводу. Параметри позиціонування приводу наведені на рисунку 2.3.13.

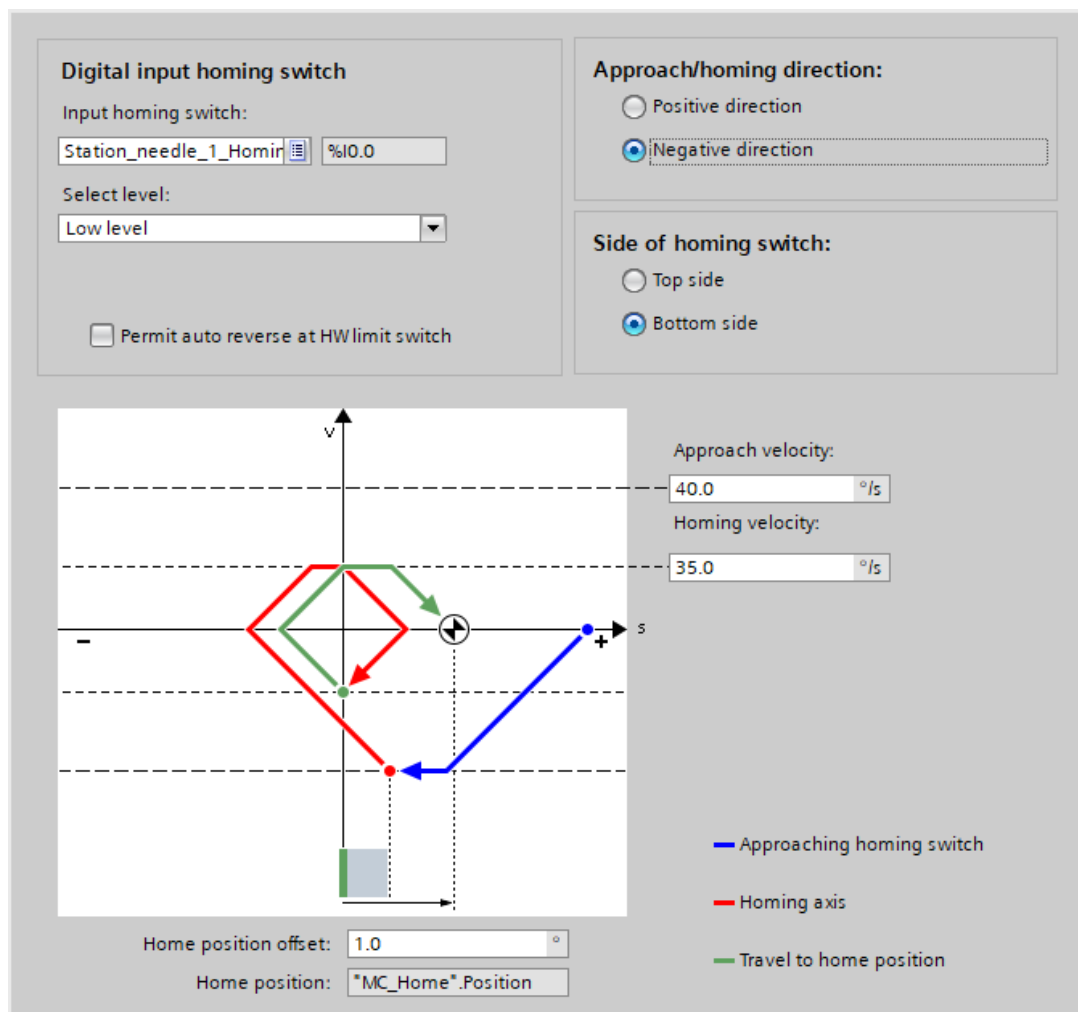


Рис 2.3.13. Вікно налаштувань для активного позиціонування крокового двигуна

Розроблено програмний блок для керування кроковим двигуном перетискного клапана дозування експериментальної установки який зображений на рисунку 2.3.14. Програма блоку керування кроковим двигуном з використанням UDT ((User Defined Type) або PLC Data type) представлена у Додатку Г.

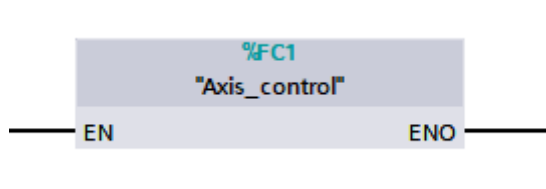


Рис. 2.3.14 Розроблений функціональний блок керування кроковим двигуном UDT (User Defined Type) — це користувацький тип даних, який дозволяє програмістам створювати власні структури даних у середовищі програмування PLC, таких як Siemens TIA Portal. Використання UDT забезпечує більш ефективну організацію та управління даними, особливо у великих та складних проектах.

Переваги використання UDT:

- Структурованість: Об'єднання пов'язаних змінних різних типів у єдину структуру спрощує розуміння та підтримку коду.
- Повторне використання: Створені UDT можна використовувати в різних частинах програми або навіть у різних проектах, що зменшує час на розробку та тестування.
- Зручність обслуговування: Зміни в UDT автоматично відображаються у всіх місцях його використання, що спрощує процес оновлення та підтримки коду. [36]

Виконані налаштування вагового модуля для обробки сигналів від вагової комірки, технологічного об'єкта керування кроковим двигуном та розроблений програмний блок керування двигуном мають універсальний характер. Вони забезпечують базову платформу для подальшого використання в усіх алгоритмах автоматизації, які будуть розроблятися та впроваджуватися в системи управління самостійно, включаючи майбутні експерименти та вдосконалення технологічного процесу.

Для можливості дослідження поведінки перетискного клапана та налагодження ступеня відкриття клапана розроблено графічний інтерфейс ручного

керування який розгорнутий на інженерній станції розробки програми за допомогою програмного пакету SIMATIC WinCC Runtime Advanced V15 / V15.1 [37] та зображений на рисунку 2.3.15.

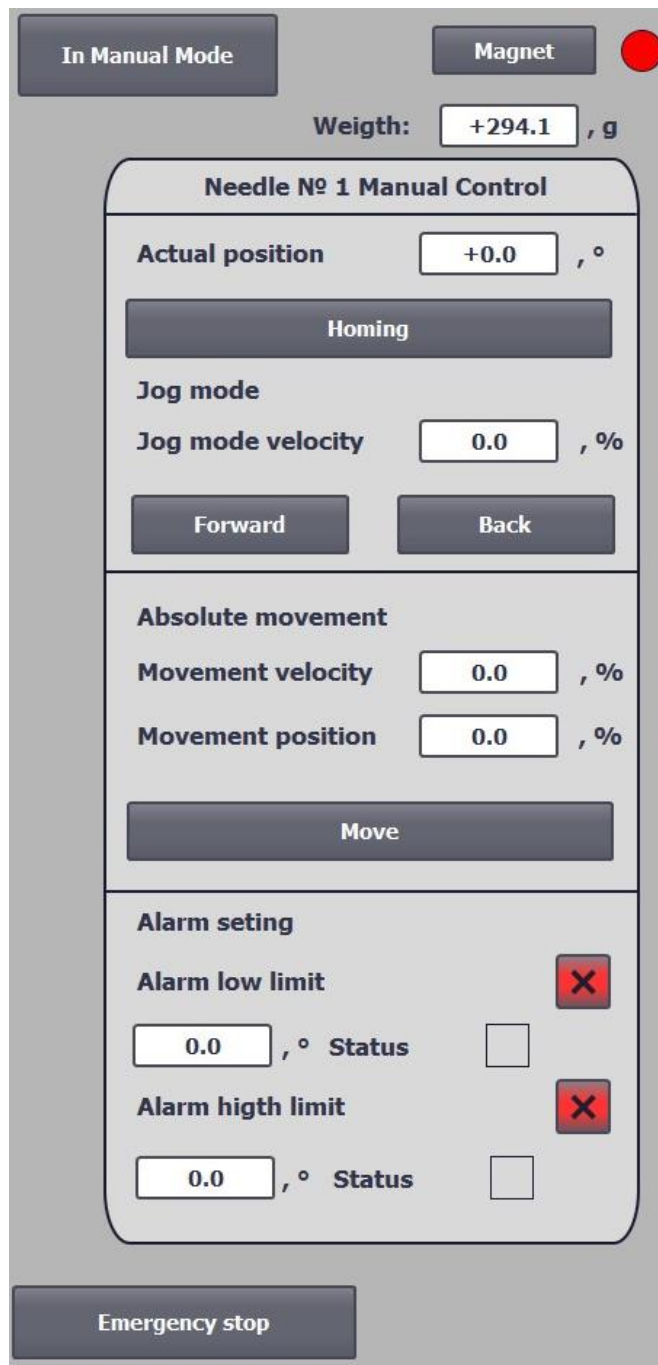


Рис. 2.3.15 Розроблений графічний інтерфейс ручного керування приводом перетискного клапана

Даний інтерфейс дозволяє перейти у ручний режим керування функціональною кнопкою «In Manual Mode», що на програмному рівні заборонить

автоматичну роботу алгоритмів дозування. Кнопка «Magnet» вмикає та вимикає подачу живлення на електромагніт перетискного клапана, а круглий індикатор справа від неї вказує стан магніту. Коли коло засвічується зеленим напруга на електромагніт подається, коли червоним – ні. Виводиться актуальне значення ваги із вагової комірки, значення актуальної позиції валу двигуна у градусах. Функціональна кнопка «Homing» для запуску функції позиціонування приводу, після ввімкнення живлення системи керування чи нажаття кнопки аварійної зупинки «Emergency stop», яка вимикає подачу сигналу утримування крокового двигуна, миттєво зупиняє рух двигуна, а також вимикає подачу живлення електромагніту. Наявна можливість ручного керування двигуном при завданні параметру «Jog mode velocity» - швидкості руху у ручному режимі та натисканні кнопок вперед «Forward» та назад «Back». Реалізовано можливість руху осі двигуна на задану абсолютну позицію, при введенні швидкості руху у поле «Movement velocity» та позиції руху у параметр «Movement position» та підтвердження початку руху кнопкою «Move».

Для відтворення існуючого алгоритму дозування рідких лікарських засобів розроблено програму функціонування контролера яка складається із 12 основних кроків та додаткових функцій. Такими кроками є:

- Крок 0 (Step 0) – Очікування запуску роботи алгоритму дозування;
- Крок 1 (Step 1) – Зважування тари та прийняття рішення про тару;
- Крок 2 (Step 2) – Формування сигналів для етапу попереднього дозування (преддозування);
- Крок 3 (Step 3) – Запуск відліку часу попереднього дозування;
- Крок 4 (Step 4) – Завершення етапу попереднього дозування, встановлення маркеру для переходу на наступний етап;
- Крок 5 (Step 5) – Формування сигналів для етапу швидкого (грубого) дозування;
- Крок 6 (Step 6) – Контроль ваги відповідно до точки переходу на етап точного дозування, допоки етап швидкого дозування відбувається;

- Крок 7 (Step 7) – Формування сигналів для етапу точного дозування та здійснення переходу на даний етап;
- Крок 8 (Step 8) – Контроль ваги для завершення дозування на етапі точного дозування;
- Крок 9 (Step 9) – Формування сигналів для закриття перетискного клапана;
- Крок 10 (Step 10) – Прийняття рішення про вагу здозованого розчину;
- Крок 11 (Step 11) – Пошук точок відкриття та закриття перетискного клапана.

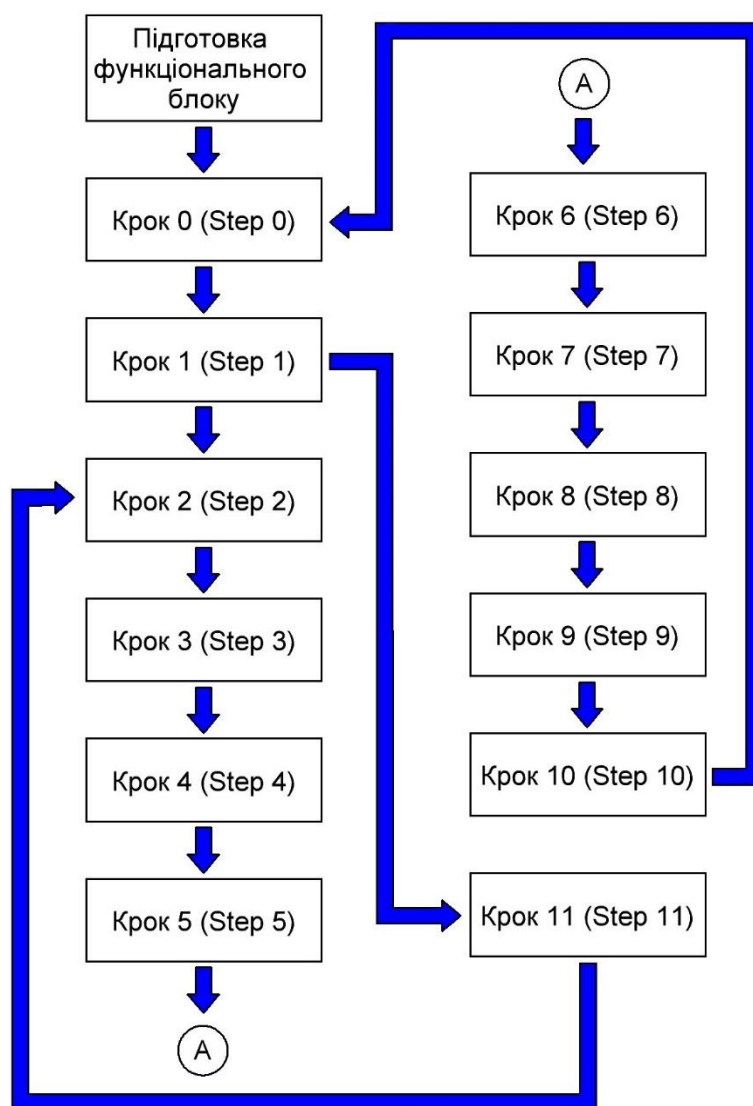


Рис. 2.3.16 Схема переходу між кроками існуючого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів.

На рисунку 2.3.16 наведено схему переходу між кроками існуючого алгоритму дозування. Всі кроки виконуються у вказаній послідовності. Існує лише два варіанти виконання алгоритму:

- Виконання алгоритму при першочерговому запуску програми роботи контролера із наявним запитом на пошук значень відкривання та закривання пережежимного клапана або ж наявності даного запиту із панелі керування. У такому випадку схема переходу між кроками буде наступною: Крок 0, перехід до кроку 1, виконання кроку 1 та перевірка наявності маркера пошуку параметрів відкривання та закривання перетискного клапана. При його наявності проводиться перехід на крок 11, на якому і відбувається даний пошук. Після завершення пошуку параметрі проводиться перехід на крок 2 який ініціалізує початок відкривання перетискного клапана і відповідно сам процес дозування. Надалі всі кроки проходять послідовно один за одним до кроку 10. При завершенні кроку 10 відбувається визначення ваги здозованого розчину та відповідно перехід до кроку 0 – очікування запуску роботи алгоритму, а саме очікування наступної пустої тари для наповнення.
- Виконання покрокового алгоритму при знайдених параметрах відкривання та закривання перетискного клапана. У такому випадку схема переходу між кроками відбуватиметься покроково від кроку 0 – очікування запуску роботи алгоритму, до кроку 10 – прийняття рішення про вагу здозованого розчину у флакон, по завершенню якого здійсниться знову перехід на крок 0 алгоритму.

Надалі розглянемо алгоритми роботи кожного із наведеного кроку вище та додаткового функціоналу програмного блоку керування для відтворення існуючого алгоритму дозування. Всі алгоритми роботи контролера розроблені згідно ДСТ 19.701-90 [38]. Варто зазначити що робота контролера системи автоматичного керування є відмінною від роботи програми для ПК, контролер завжди працює у циклі, всі розроблені функціональні блоки запускаються у організаційному програмному блоці OB1 «Main», викликається циклічно і час його виклику

залежить від циклу контролера. Тому всі блок схеми алгоритмів які будуть наведені нижче вже враховують дану особливість і є циклічними програмами, виключеннями є лише програмні блоки у яких свідомо вводиться внутрішній цикл при необхідності, який і буде відображений повноцінним циклом на блок-схемі.

Початковим етапом функціонального блоку є підготовка системи та перевірка умов для переходу на Крок 0 (Step 0). Блок-схема алгоритму підготовки зображена на рисунку 2.3.17.

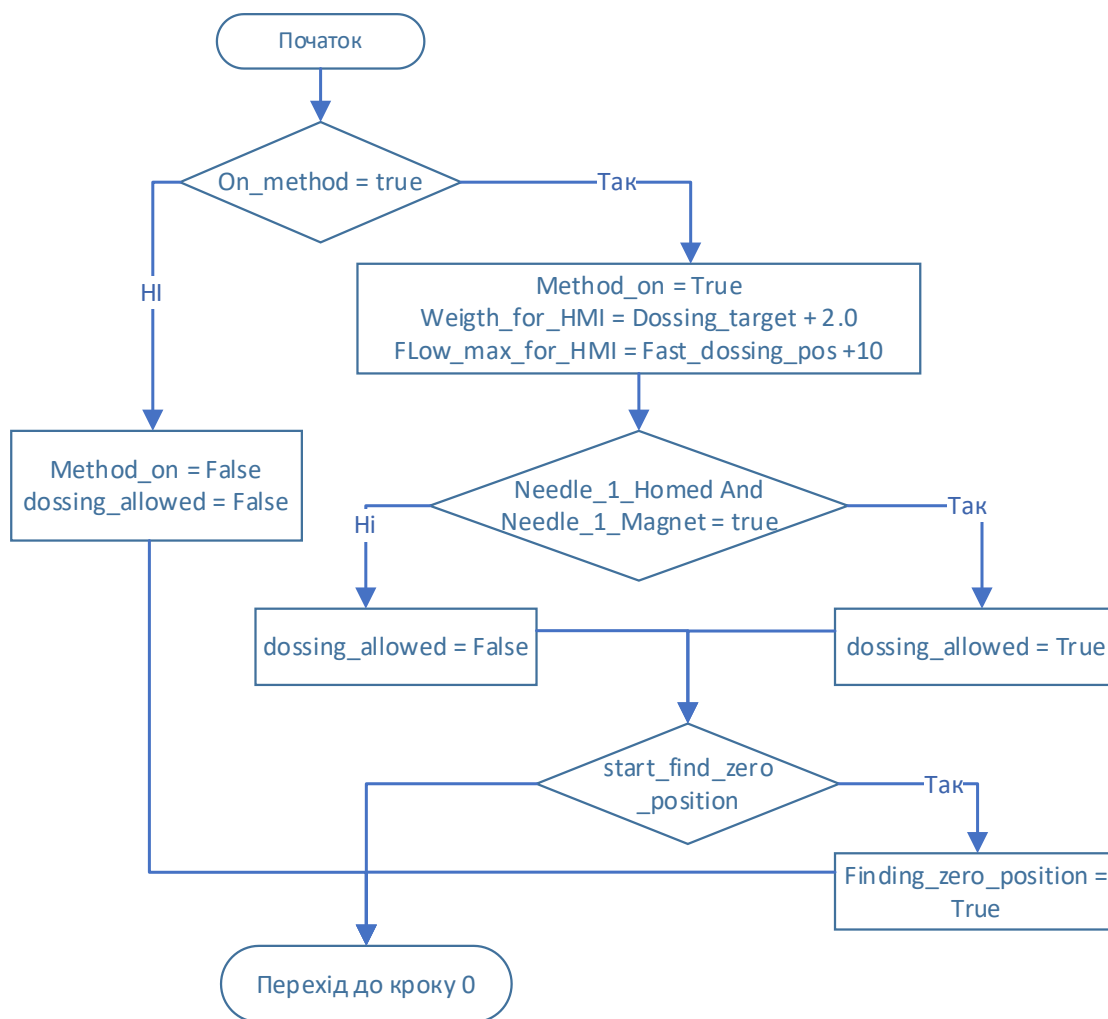


Рис. 2.3.17 Блок-схема алгоритму підготовки системи до роботи

Під час запуску системи проводиться перевірки чи алгоритм обраний для роботи та встановлений маркер «On_method» в одиницю. Якщо умова справджується то в одиницю встановлюється маркер «Method_on», який сигналізує для системи керування про вибір початкового алгоритму дозування установки WDM 8002, а також вмикає індикатор вибору методу для НМІ-панелі системи

візуалізації. Проводиться розрахунок значень величини заповнення флакону та величини потоку рідини для анімаційного відображення процесу наповнення на HMI-панелі керування, а саме: « $Weight_for_HMI = Dosing_target + 2.0$ » та « $Flow_max_for_HMI = Fast_dosing_pos + 10$ ». На наступному кроці проводиться перевірка маркеру «Needle_1_Homed» - чи вісь приводу позиціонована та маркеру «Needle_1_Magnet» - чи ввімкнений електромагніт перетискного клапана, якщо умови справджуються встановлюється в одиницю маркер дозволу дозування «dosing_allowed», якщо ж ні він залишається вимкненим. Далі проводиться перевірка чи ввімкнутий маркер запиту на пошук нульових параметрів – «start_find_zero_position», якщо умова справджується встановлюється маркер запуску пошуку нульових параметрів відкриття та закриття перетискного клапана в одиницю, якщо ж ні то здійснюється перехід на наступний крок 0, як і при не виконанні першої умови проте із вимкненням маркерів «Method_on» та «dosing_allowed».

На першому етапі проводиться перевірка умов таких як наявності дозволу на роботу алгоритму дозування - dosing_allowed, чи була нажата на панелі кнопка запуску процесу дозування Start, та чи система перебуває на нульовому кроці - Step = 0. При справджуванні умов алгоритм скидає значення маркеру про відповідність ваги флакону (тари) Bottle_OK, вмикає маркер – що система зараз на етапі дозування - in dosing, та здійснюється перехід на наступний крок присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 1. При переході на крок 1 викликається таймер на включення із значенням затримки 500 мс, під час відліку якого проводиться зважування вже встановленого у вагову комірку флакону для дозування. Після завершення відліку таймера встановлюється його вихід у одиницю, значення даного виходу контролюється умовою спрацювання якої проводить процес перевірки ваги флакону (тари). Вага встановленого флакону для дозування повинна бути у встановлених межах які вказуються на панелі керування, тому на першому кроці проводиться перевірка таких умов як чи поточне значення ваги (фактично флакону) PROCESS_VAL_1 є більшим рівним ніж нижня межа ваги флакону Bottle_weight_LL встановлена на панелі керування та чи поточне значення ваги

(фактично флакону) PROCESS_VAL_1 є менше рівним ніж верхня межа ваги флакону #Bottle_weigh_HH встановлена на панелі керування. Якщо ж обидві умови справджуються то проводиться визначення ваги флакону яка записується у змінну #Bottle_weigh_OK та встановлюється маркер прийнятності флакону #Bottle_OK в одиницю. Якщо ж умови не справджуються то проводиться перевірка чи вага поточне значення ваги PROCESS_VAL є меншим за нижню межу ваги флакону #Bottle_weigh_LL або ж більшим за верхнє значення межі ваги флакону #Bottle_weigh_HH.

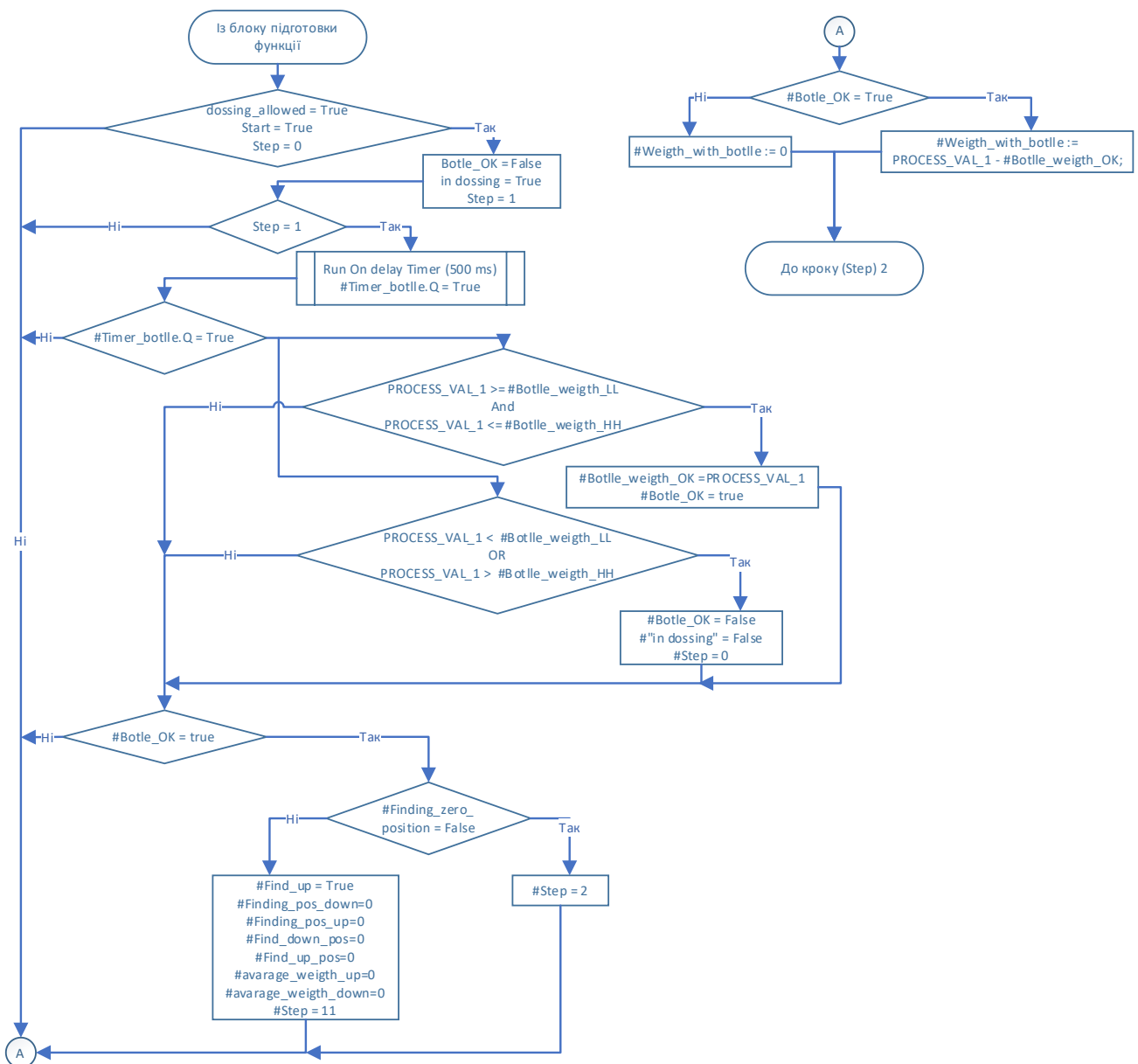


Рис. 2.3.18 Блок схема кроку 0 (Step 0) та кроку1 (Step 1) алгоритму дозування

Якщо хоч одна із вимог справджується проводиться примусове скидання маркеру прийнятності флакону `#Bottle_OK` в нуль, вимкнення маркеру відображення процесу дозування - `in_dossing` та відбувається повернення до нульового кроку очікування системи встановленням значення 0 в змінну `Step`.

Наступним етапом алгоритму є перевірка маркеру прийнятності флакону, при його наявності алгоритмом проводиться перевірка наявності запиту на пошук значення відкриття та закриття перетискного клапана `#Finding_zero_position`. При його наявності проводиться обнулення параметрів пошуку, а при відсутності - перехід на крок 2 з присвоюванням ідентифікатору кроку `Step` значення 2.

Надалі проводиться повторна перевірка маркеру прийнятності флакону, при його наявності проводиться обрахунок значення ваги розчину `#Weigth_with_bottle` без врахування ваги флакону `#Bottle_weigth_OK` за формулою:

$$\#Weigth_with_bottle := PROCESS_VAL_1 - \#Bottle_weigth_OK$$

Якщо ж умова не справджується значення ваги розчину `#Weigth_with_bottle` обнулюється.

При невиконанні всі умов які були описані вище алгоритм проводить перевірку наступних проходячи їх перевірку крок за кроком відповідно до часу обробки програми (часу циклу контролера).

Кроком 2 алгоритму дозування зображеного на рисунку 2.2.19 є формування сигналів на відкривання перетискного клапану на етапі переддозування. Алгоритмом проводиться перевірка чи система перебуває на 2 кроці, при виконанні даної вимоги відбувається надсилання параметрів швидкості та позиції переміщення крокового двигуна перетискного клапана. Першочергово значення швидкості для етапу предозування `#Pre_dossing_vel` що задане на панелі керування записується у комірку змінну `"Axis_control_data".Velocity_percent`, яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину. Отримане значення швидкості у обертах на хвилину `"Axis_control_data".Velocity_for_axis` пересилається у змінну `"Axis_control_data".Absolute_needle_1.Velocity`, що є вхідним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Далі проводиться розрахунок ступення відкриття перетискного клапана #Pre_dossing_destination на етапі перед дозування шляхом додавання позиції відкриття клапана що вказана на панелі керування #"Pre-dossing_pos" у відсотках та позиції відкривання клапана #Find_up_pos при якій з'являється потік розчину у флакон знайденої у кроці 11 алгоритму.

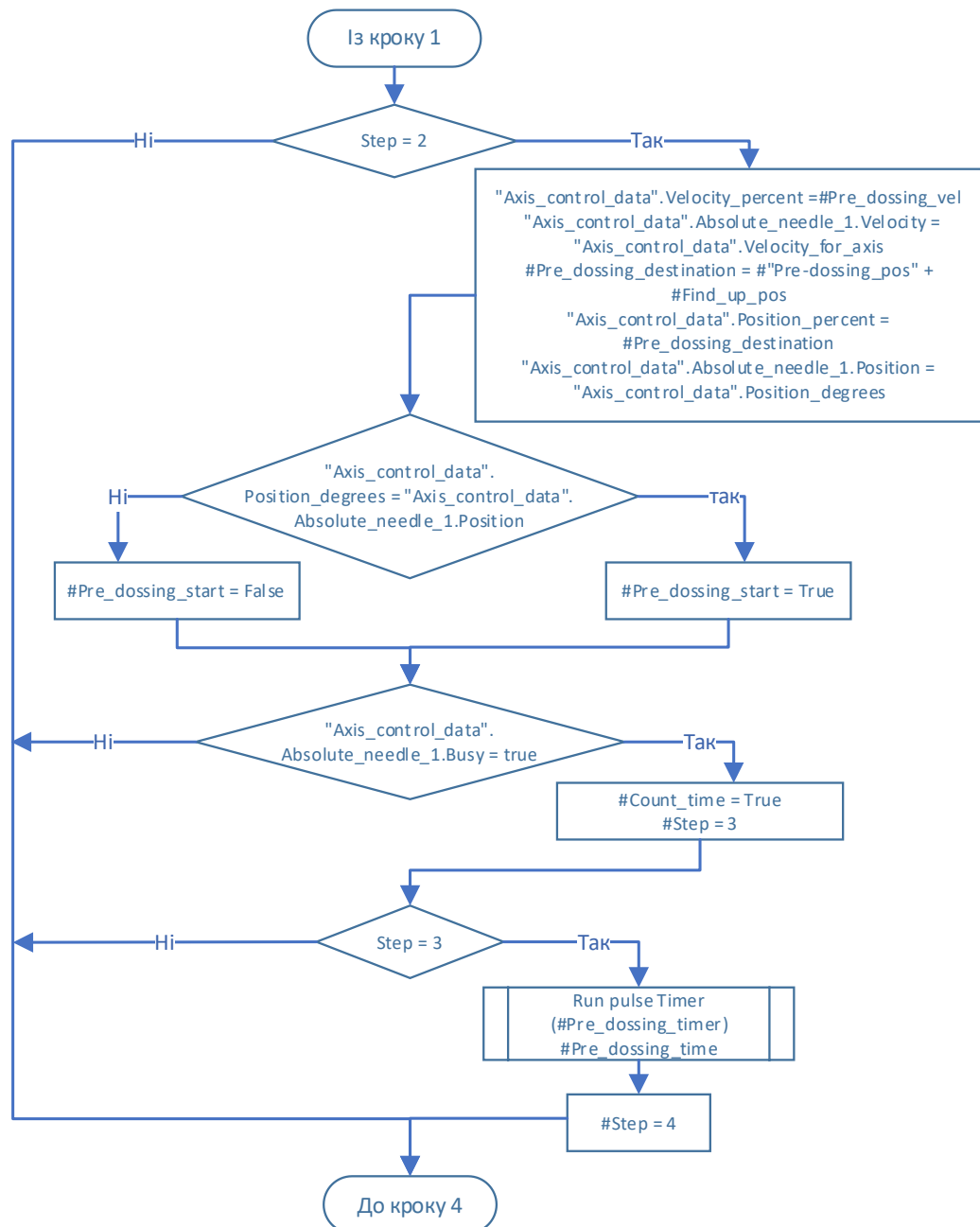


Рис. 2.3.19 Блок схема кроку 2 (Step 2) та кроку3 (Step 3) алгоритму дозування

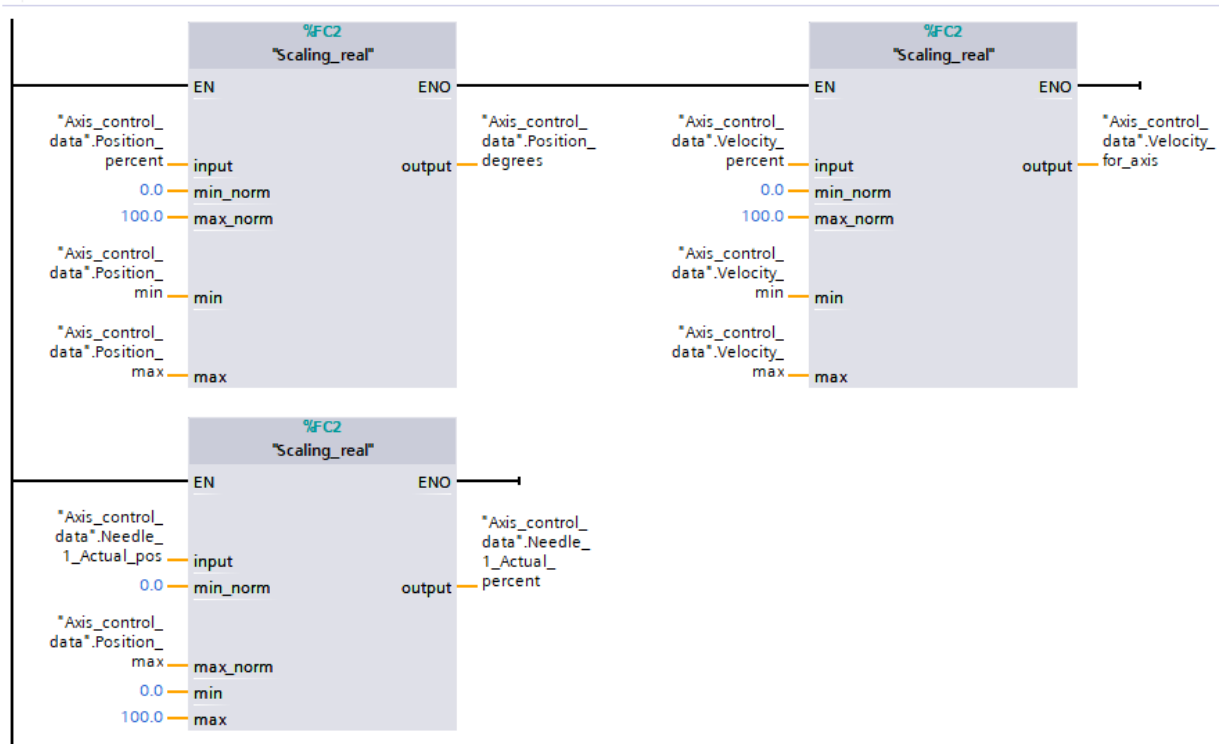


Рис. 2.3.19 Вигляд функцій розрахунку значення швидкості переміщення двигуна, заданої позиції двигуна та актуального положення двигуна при використанні функції FC2 «Scaling_real»

Розрахована позиція відкриття перетискного клапана записується у змінну `Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position` яка є входною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах `"Axis_control_data". Position_degrees` що є входним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

На наступному етапі проводиться перевірка чи обраховане значення позиції відхилення двигуна у градусах `"Axis_control_data".Position_degrees` є рівним значенню позиції для функції абсолютного переміщення валу двигуна `Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position`. Якщо умова справджується система встановлює маркер запуску виконання функції переміщення `#Pre_dossing_start` в «1», що запускає фактичне переміщення валу двигуна. Якщо умова не справджується маркер `#Pre_dossing_start` встановлюється в «0».

Якщо ж система керування почала проводити абсолютне переміщення двигуна, а саме маркер "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Busy встановлюється в «1» відбувається встановлення маркеру запуску таймера обрахунку часу дозування #Count_time в «1» та проводиться перехід на наступний крок алгоритму 3, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 3.

Надалі алгоритм проводить перевірку система перебуває на 3 кроці , при виконанні даної вимоги відбувається запуск таймеру імпульсу #Pre_dossing_timer із часом імпульсу що який встановлений на панелі керування та записується у змінну #Pre_dossing_time, після успішного запуску таймеру проводиться перехід на наступний крок алгоритму 4, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 4.

Наступним кроком алгоритму є крок контролю завершення етапу переддозування та перевірки виконання умов переходу на крок 4, тобто чи в змінну Step записано значення 4 та чи вимкнувся вихід таймера для формування тривалості етапу переддозування #Pre_dossing_timer.Q. Якщо ж обидві умови справджуються, алгоритм переходить до наступного кроку 5 (Step = 5).

Крок 5 алгоритму дозування є крок формування параметрів руху перетискного клапана на етапі швидкого дозування.

Алгоритмом проводиться перевірка чи система перебуває на 5 кроці , при виконанні даної вимоги відбувається надсилання параметрів швидкості та позиції переміщення крокового двигуна перетискного клапана. Першочергово значення швидкості для етапу швидкого дозування #Fast_dossing_vel що задане на панелі керування записується у комірку змінну "Axis_control_data".Velocity_percent, яка є входною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину. Отримане значення швидкості у обертах на хвилину "Axis_control_data".Velocity_for_axis пересилається у змінну "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Velocity, що є входним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Далі проводиться розрахунок ступення відкриття перетискного клапана #Fast_dossing_destination на етапі швидкого дозування шляхом додавання позиції

відкриття клапана що вказана на панелі керування #Fast_dossing_po у відсотках та позиції відкривання клапана #Find_up_pos, при якій з'являється потік розчину у флакон. Розрахована позиція відкриття перетискного клапана записується у змінну Axis_control_data". Absolute_needle_1.Position, яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» розрахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах "Axis_control_data". Position_degrees є вхідним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

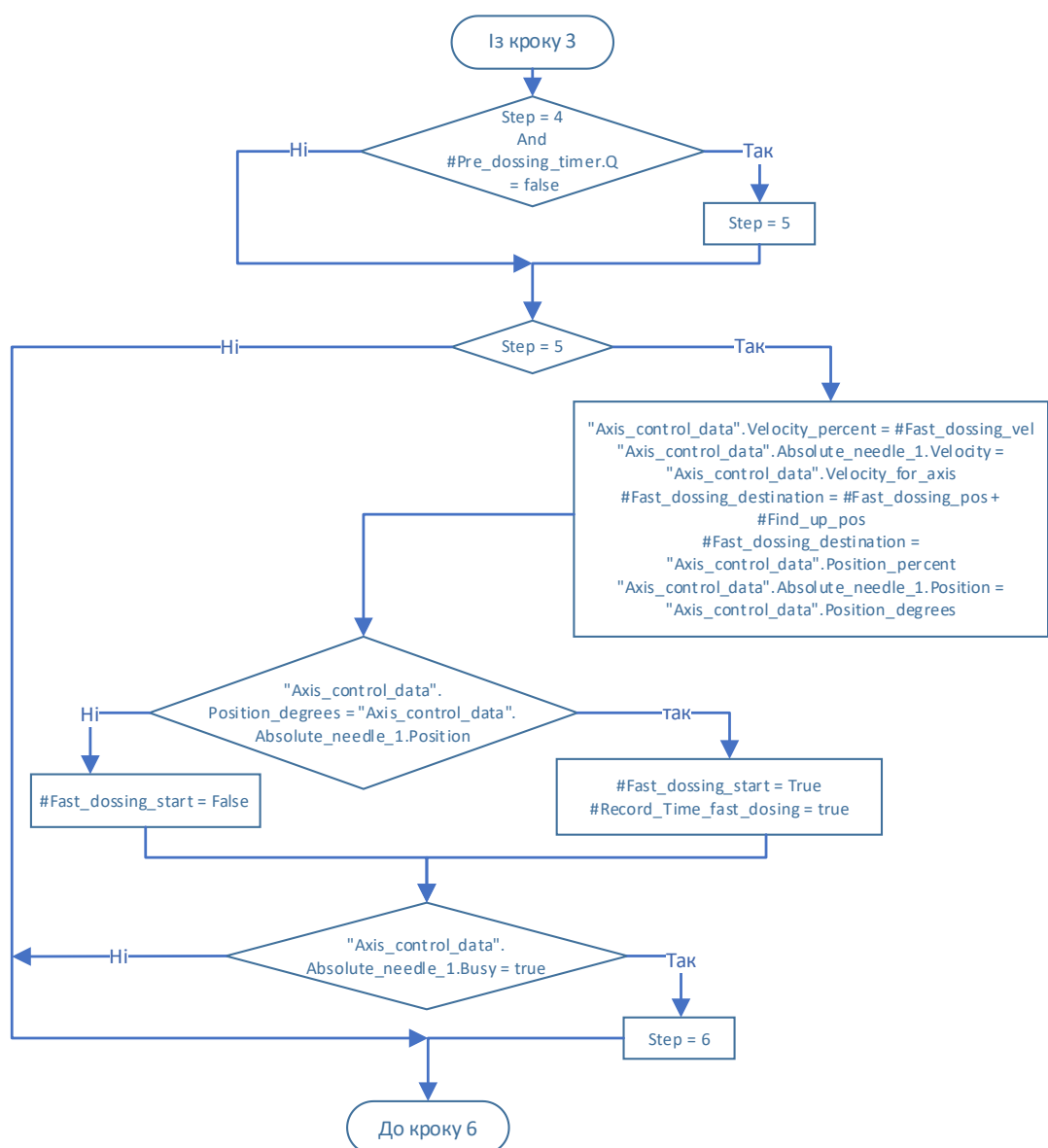


Рис. 2.3.20 Блок схема кроку 4 (Step 4) та кроку 5 (Step 5) алгоритму дозування

На наступному етапі проводиться перевірка чи обраховане значення позиції відхилення двигуна у градусах "Axis_control_data".Position_degrees є рівним значенню позиції для функції абсолютного переміщення валу двигуна Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position. Якщо умова справджується система встановлює маркер запуску виконання функції переміщення #Fast_dossing_start в «1», що запускає фактичне переміщення валу двигуна на позицію швидкого дозування. Також встановлюється в «1» маркер #Record_Time_fast_dosing для запуску таймера визначення часу швидкого дозування. Якщо умова не справджується маркер #Fast_dossing_start встановлюється в «0».

Якщо ж система керування почала проводити абсолютне переміщення двигуна, а саме маркер "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Busy встановлюється в «1» проводиться перехід на наступний крок алгоритму 6, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 6.

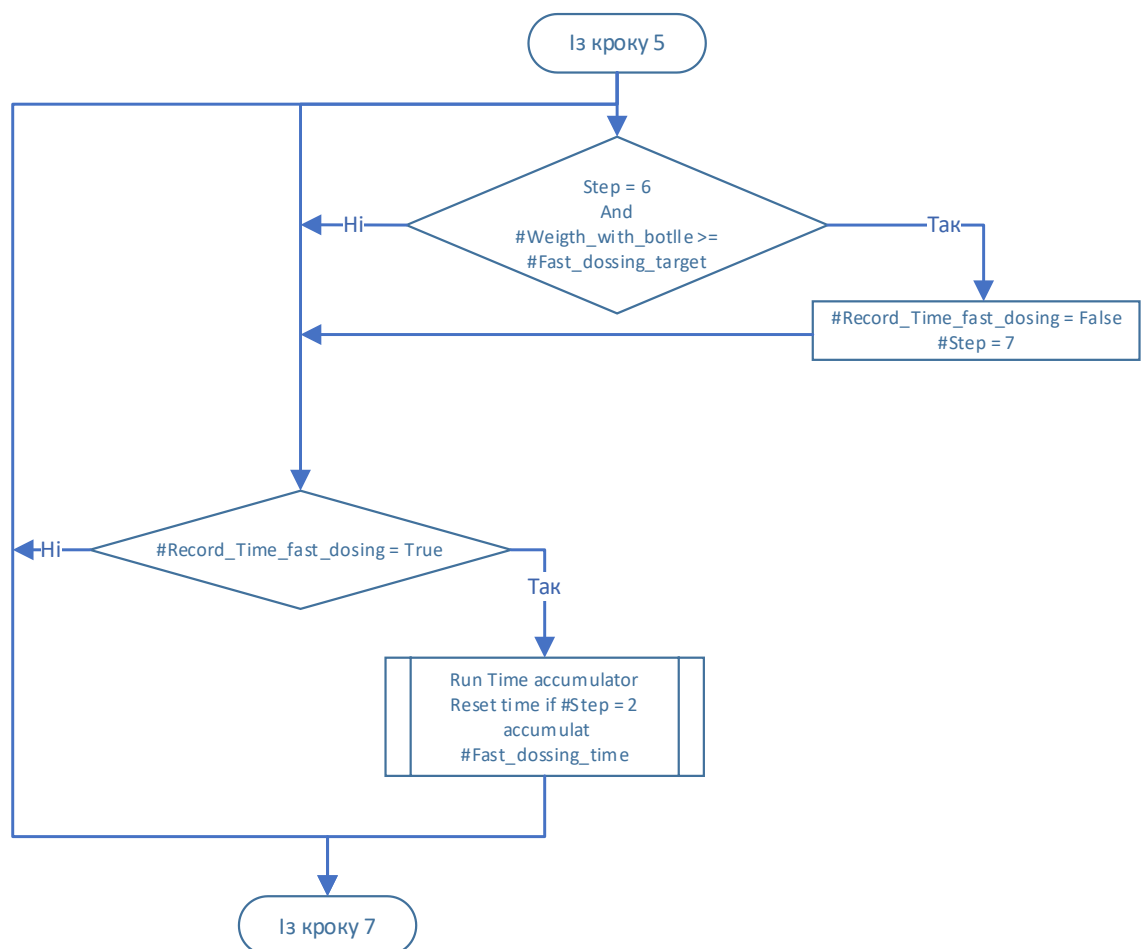


Рис. 2.3.21 Блок схема кроку 6 (Step 6) алгоритму дозування

Кроком 6 алгоритму дозування є крок контролю досягнення точки переходу від швидкого дозування до точного дозування доки виконується швидке дозування.

Алгоритмом проводиться перевірка чи система перебуває на 6 кроці та чи вага розчину у флаконі #Weigth_with_bottle є більшою рівною значенню ваги переходу між швидким та точним дозуванням #Fast_dossing_target що встановлюється на панелі керування, при виконанні даної вимоги проводиться вимкнення маркеру запису часу швидкого дозування #Record_Time_fast_dosing. Та проводиться перехід на наступний крок алгоритму 7, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 7.

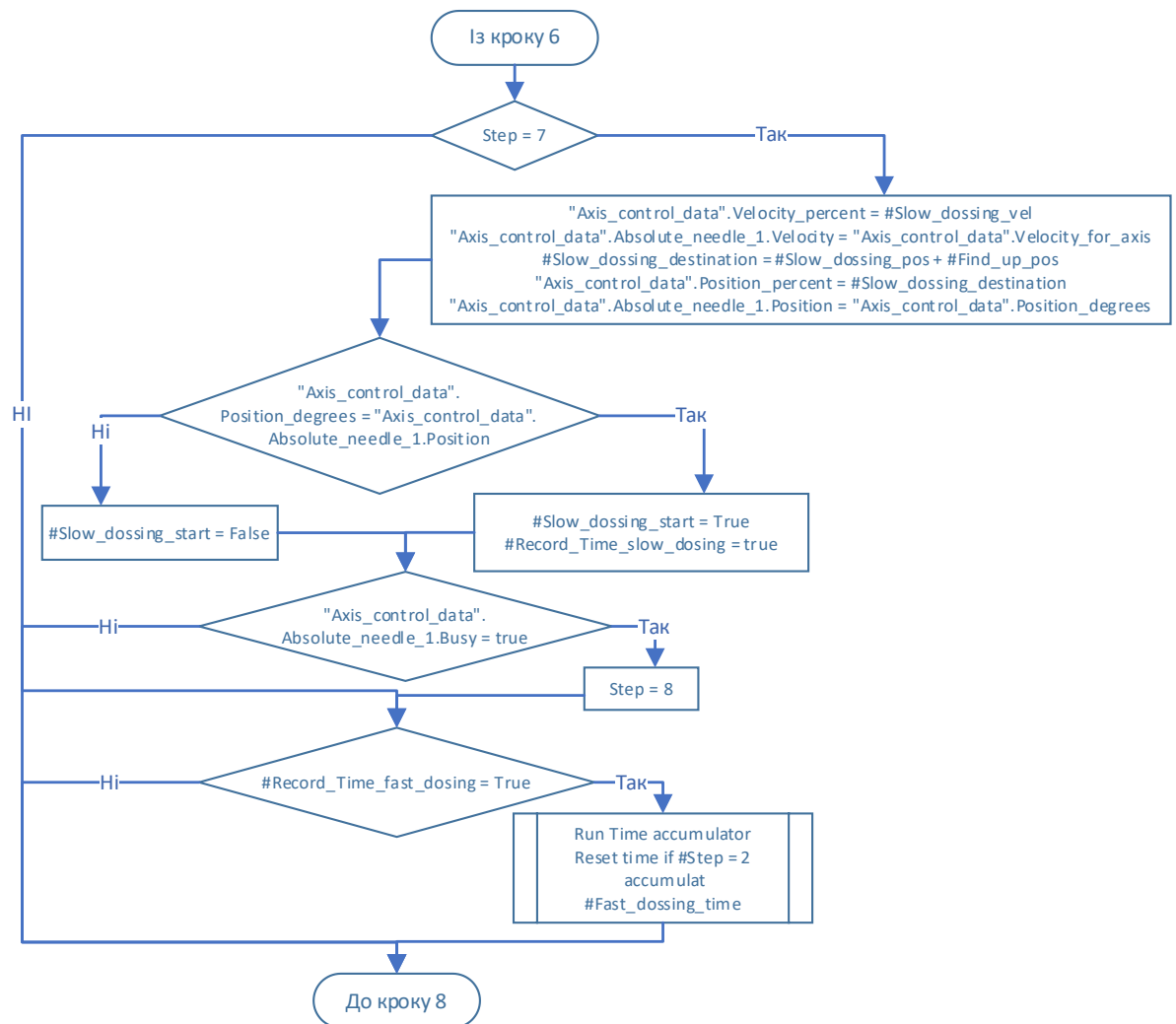


Рис. 2.3.22 Блок схема кроку 7 (Step 7) алгоритму дозування

Також після встановлення маркеру переходу на наступний крок виконується паралельна вітка алгоритму яка проводить перевірку наявності маркеру запису часу швидкого дозування `#Record_Time_fast_dosing` встановленого в «1». Та при виконанні умов викликається накопичувальний таймер `Time accumulator` час ввімкнення якого записується у змінну `#Fast_dosing_time` та обнулюється при перебуванні алгоритму на кроці 2. Також при невиконанні жодної із умов проводиться перехід на перевірку переходу алгоритму на наступний крок 7.

Кроком 7 алгоритму дозування є крок формування та надсилання сигналів переміщення перетискного клапана на позицію точного дозування. (див. рис. 2.3.22).

Алгоритмом проводиться перевірка чи система перебуває на 7 кроці, при виконанні даної вимоги відбувається надсилання параметрів швидкості та позиції переміщення крокового двигуна перетискного клапана. Першочергово значення швидкості для етапу швидкого дозування `#Slow_dosing_vel` що задане на панелі керування записується у комірку змінну `"Axis_control_data".Velocity_percent`, яка є входною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину. Отримане значення швидкості у обертах на хвилину `"Axis_control_data".Velocity_for_axis` пересилається у змінну `"Axis_control_data".Absolute_needle_1.Velocity`, що є входним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Далі проводиться розрахунок ступення відкриття перетискного клапана `#Slow_dosing_destination` на етапі швидкого дозування шляхом додавання позиції відкриття клапана що вказана на панелі керування `#Slow_dosing_pos` у відсотках та позиції відкривання клапана `#Find_up_pos` при якій з'являється потік розчину у флакон знайденої у кроці 11 алгоритму. Розрахована позиція відкриття перетискного клапана записується у змінну `Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position` яка є входною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах

"Axis_control_data". Position_degrees що є вхідним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

На наступному етапі проводиться перевірка чи обраховане значення позиції відхилення двигуна у градусах "Axis_control_data".Position_degrees є рівним значенню позиції для функції абсолютного переміщення валу двигуна Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position. Якщо умова справджується система встановлює маркер запуску виконання функції переміщення #Slow_dossing_start в «1», що запускає фактичне переміщення валу двигуна на позицію швидкого дозування. Також встановлюється в «1» маркер #Record_Time_slow_dosing для запуску таймера визначення часу швидкого дозування. Якщо умова не справджується маркер #Slow_dossing_start встановлюється в «0».

Якщо ж система керування почала проводити абсолютне переміщення двигуна, а саме маркер "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Busy встановлюється в «1» проводиться перехід на наступний крок алгоритму 8, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 8.

Після встановлення маркеру переходу на наступний крок виконується паралельна вітка алгоритму яка проводить перевірку наявності маркеру запису часу точного дозування #Record_Time_slow_dosing встановленого в «1». Та при виконанні умов викликається накопичувальний таймер Time accumulator час ввімкнення якого записується у змінну #Slow_dossing_time та обнулюється при перебуванні алгоритму на кроці 2.

Наступник кроком алгоритму є крок 8 – контролю досягнення заданої ваги та ініціалізації запуску кроку 9 закривання перетискного клапана.(див. рис 2.3.23).

Алгоритм проводить перевірку умови чи система перебуває на 8 кроці та чи вага розчину #Weigth_with_botlle є більша рівною вазі завдання дозування #Dossing_target або чи є сигнал ручної зупинки операції дозування #Stop що надходить із панелі керування при нажатті відповідної функціональної кнопки. При справджуванні однієї із вище згаданої умови алгоритм системи проводить вимкнення маркеру ввімкнення акумулюючого таймера запису часу точного

дозування #Record_Time_slow_dosing. А також проводить перехід на наступний крок алгоритму 9, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 9.

На кроці 9 алгоритмом проводиться формування сигналів для закриття перетискного клапана. Проводиться перевірка умови чи система перебуває на 9 кроці, ідентифікатор кроку Step рівний 9, або ж чи алгоритм перебуває на одному із етапі дозування, тобто ідентифікатор кроку Step більше рівний 2 та чи вага розчину #Weigh_with_bottle більша рівна вазі завдання дозування #Dossing_target. При виконанні однієї із умов проводиться формування сигналів на закриття пережисного клапана.

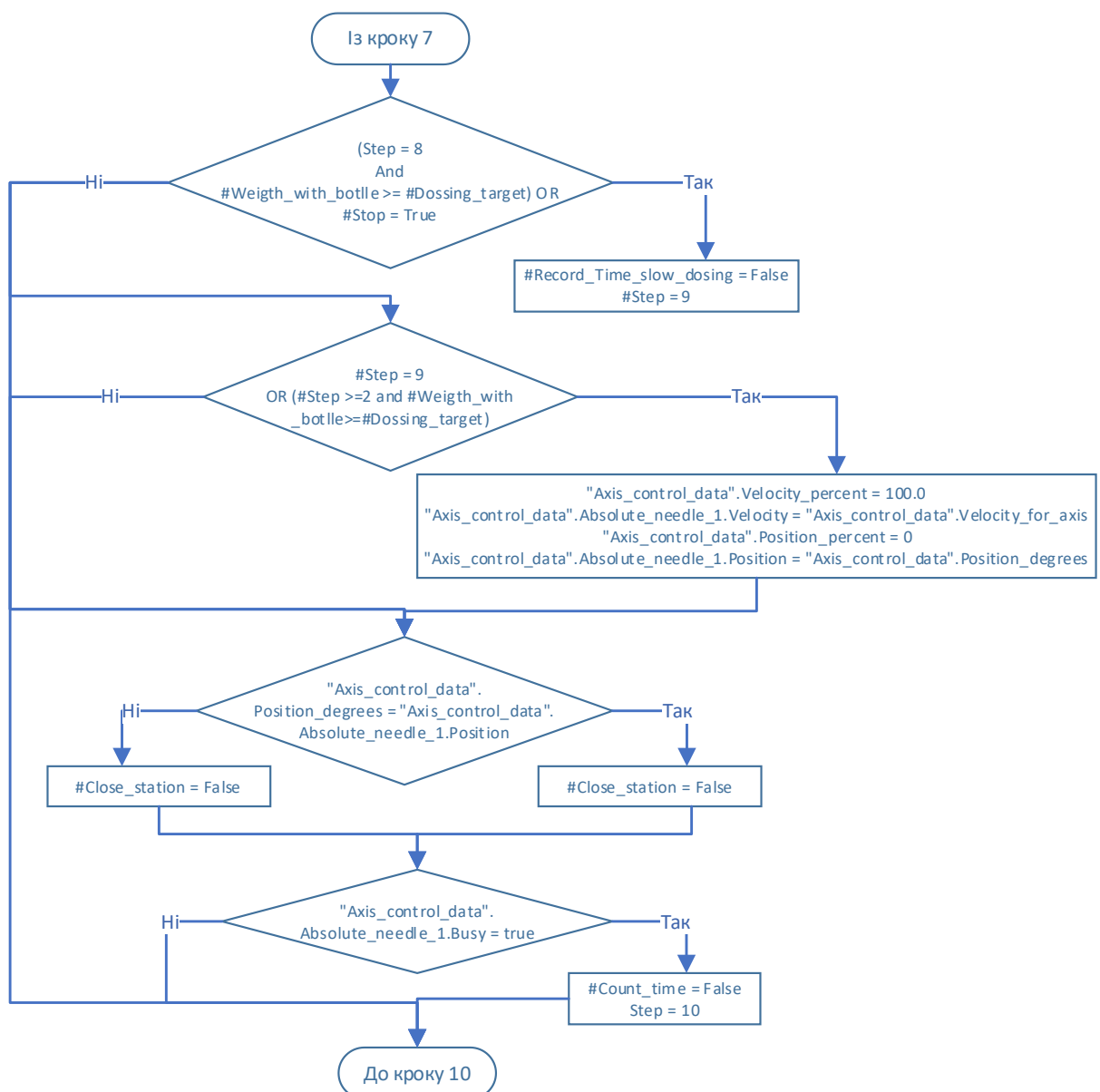


Рис. 2.3.23 Блок схема кроку 8 (Step 8) та кроку 9 (Step 9) алгоритму дозування

Першочергово автоматично задається максимальне значення швидкості для закриття перетискного клапана 100%, що записується у змінну "Axis_control_data".Velocity_percent, яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину. Отримане значення швидкості у обертах на хвилину "Axis_control_data".Velocity_for_axis пересилається у змінну "Axis_control_data". Absolute_needle_1.Velocity, що є вхідним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Наступною дією задається значення закритої позиції пертискного клапана 0% у змінну "Axis_control_data".Position_percent. яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position що є вхідним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

На наступному етапі проводиться перевірка чи обраховане значення позиції відхилення двигуна у градусах "Axis_control_data".Position_degrees є рівним значенню позиції для функції абсолютного переміщення валу дивигуна Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position. Якщо умова справджується система встановлює маркер запуску виконання функції переміщення #Close_station в «1», що запускає фактичне переміщення валу двигуна на позицію закриття перетискного клапана. Якщо умова не справджується маркер #Close_station встановлюється в «0».

Якщо ж система керування почала проводити абсолютне переміщення двигуна, а саме маркер "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Busy встановлюється в «1» проводиться вимкнення маркера запуску акумулюючого таймера запису часу загального дозування #Count_time та визначається загальний час дозування що виводиться на панелі керування також проводиться перехід на наступний крок алгоритму 10, присвоюванням ідентифікатору кроку Step значення 10.

Наступний кроком алгоритму 10 є крок запуску таймеру про прийняття рішення про дозований розчин, вимкнення таймеру обрахунку часу дозування (див. рис. 2.3.24).

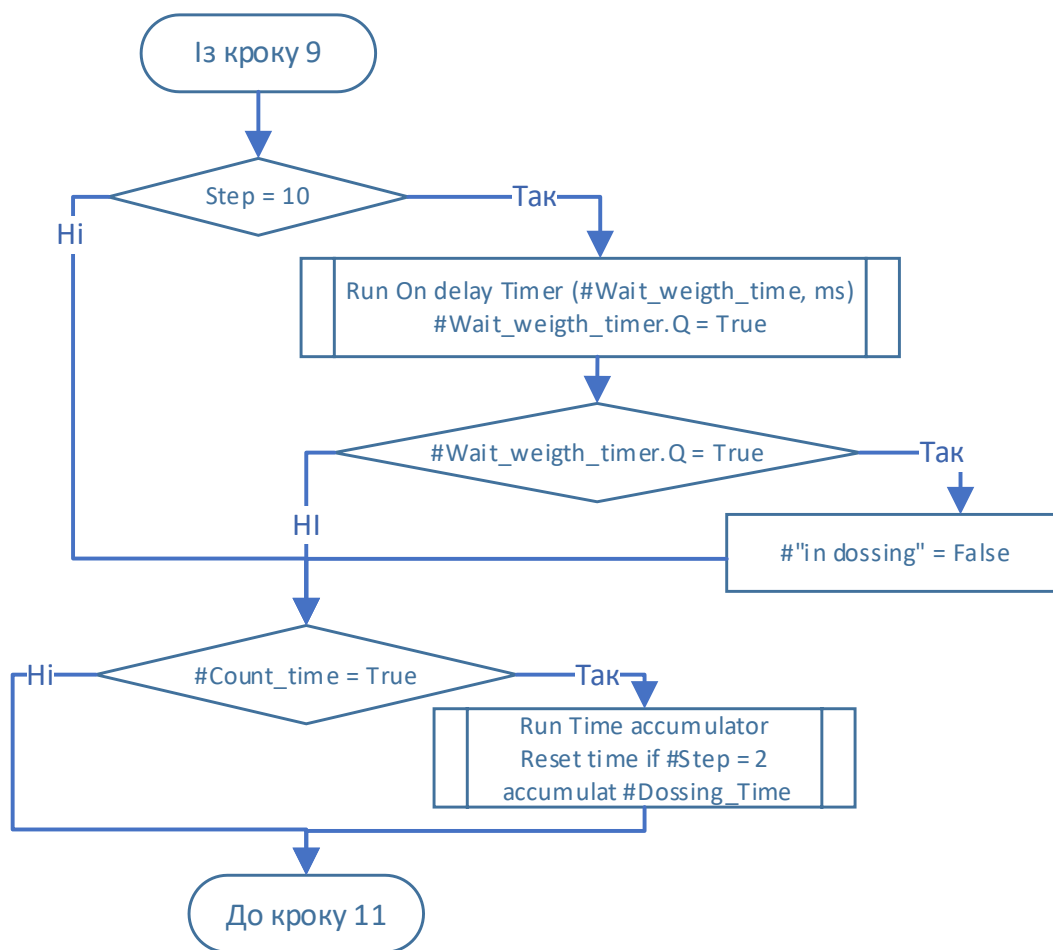


Рис. 2.3.24 Блок схема кроку 10 (Step 10) алгоритму дозування

Першим етапом алгоритму є перевірка умови чи система перебуває на 10 кроці, при справджуванні умови відбувається запуску таймера із затримкою на ввімкнення на час `#Wait_weigth_time`, що вказаний у рецепті на панелі керування, при завершенні відліку часу вмикається маркер `#Wait_weigth_timer.Q`.

Надалі алгоритм проводить контроль ввімкнення маркеру таймера `#Wait_weigth_timer.Q`, при його спрацювання проводиться скидання маркеру відображення процесу дозування `#in dossing`.

Далі переходимо до блоку акумулюючого таймера визначення загального часу дозування. Алгоритмом проводиться перевірка умови ввімкнення таймера визначення часу загально дозування `#Count_time`, при його ввімкненні акумулюючий таймер працює та записує обрахований час дозування у змінну

#Dossing_Time, при вимкненні маркера визначається кінцевий час дозування. Скидання результатів дозування відбувається при умові переходу на 2 крок алгоритму при значенні ідентифікатора кроку Step рівне 2. Надалі алгоритм переходить до перевірки умови перебування системи на 11 кроці – кроці визначення фактичного ступеня відкривання перетискного клапана, а саме появи потоку крізь нього, та ступеня закриття перетискного клапана, - відсутності потоку після відкривання перетискного клапана.

Перша частина кроку 11, а саме алгоритм пошуку позиції відкривання перетискного клапана появи мінімального потоку розчину через клапан дозування зображена на рис. 2.3.25. Першим етапом є перевірка знаходження алгоритму на кроці 11, тобто чи значення ідентифікатора кроку Step рівне 11. При перебуванні алгоритму на даному кроці відбувається перехід до функцій генерування імпульсних сигналів тривалістю один цикл контролера при спрацюванні системних тактових бітів частотою спрацювання 1 Hz - Clock_1Hz та 5 Hz - Clock_5Hz. Відповідно маркер ввімкнення на 1 цикл контролера для відповідних системних тактових бітів є "Triger_clock_1 Hz" та "Triger_clock_5 Hz". В подальшому дані маркери використовуватимуться для зміщення позиції відкривання перетискного клапана, та обрахунку середнього значення ваги за період очікування переміщення клапана для визначення наявності потоку розчину у флакон.

Після запуску функцій ввімкнення маркерів проводиться перевірка наявності маркеру пошуку позиції наявності потоку відкривання перетискного клапана #Find_up. При наявності даного маркеру запускається покроковий процес визначення позиції. На першому етапі процесу очікується поява маркеру ввімкнення на 1 цикл контролера "Triger_clock_1 Hz" після чого алгоритмом проводиться збільшення позиції відкривання перетискного клапана шляхом додавання до поточної позиції #Finding_pos_up значення позиції 0,2 %. Обраховане значення позиції надсилається у метод надсилання запиту на переміщення перетискного клапана який описано нижче (див. рис. 2.3.27).

Наступним етапом є обрахунок середнього значення ваги за період очікування наступного маркеру на переміщення. Алгоритмом проводиться контроль

поточного значення ваги розчину кожні 200 мс відповідно до отримання маркера ввімкнення на 1 цикл контролера "Triger_clock_5 Hz". При його наявності проводиться запис поточного значення ваги розчину #Weigth_with_bottle у масив #Weigth_up[#c] у позиції масиву відповідно до значення маркера масиву #c. Після успішного запису проводиться зміщення маркера масиву додаванням до поточного значення одиниці.

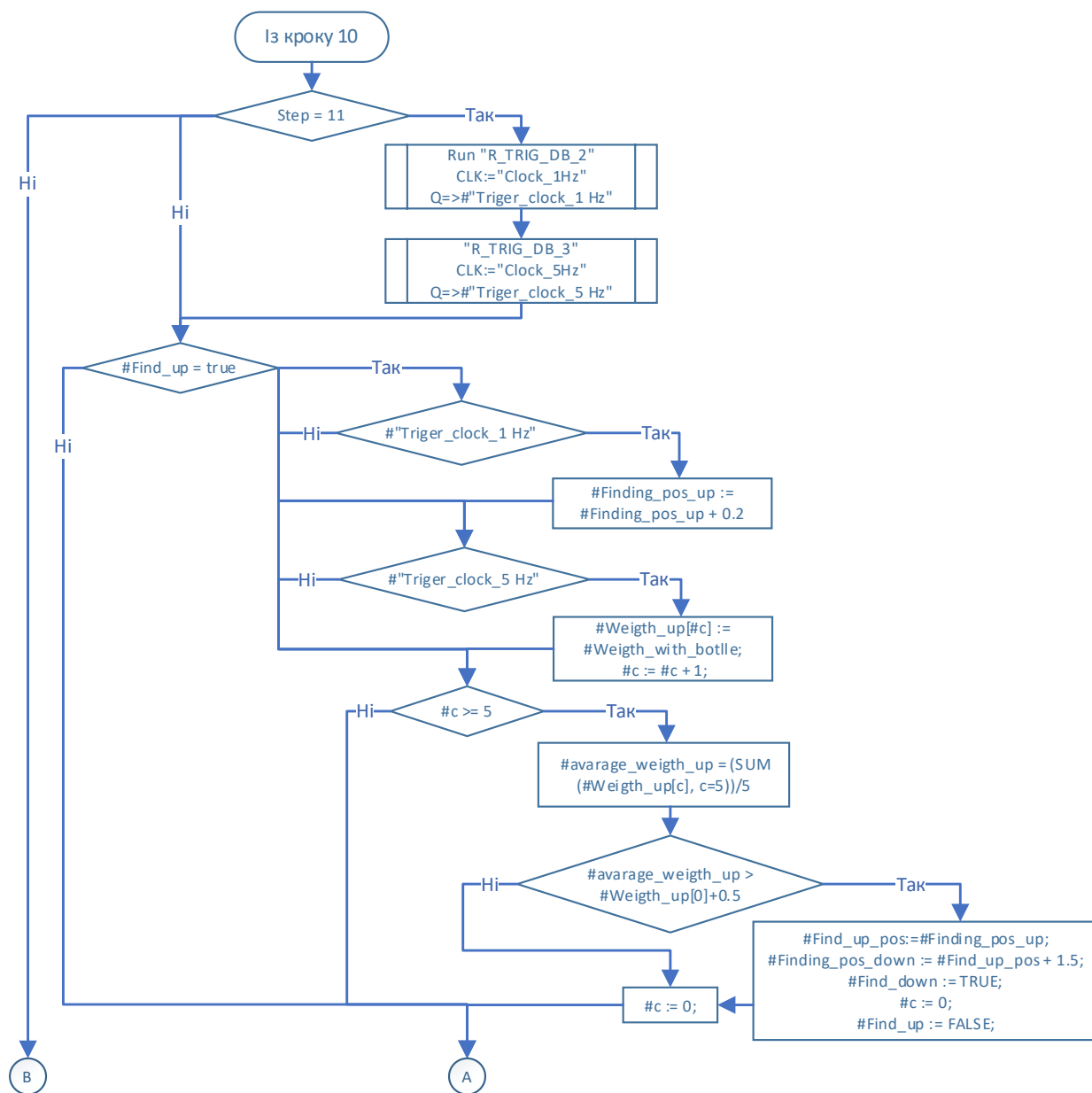


Рис. 2.3.25 Блок схема кроку 11 (Step 11) Частина 1 – алгоритм пошуку позиції мінімального потоку перетискного клапана

При досягненні значення маркеру масиву `#с` більше рівне 5, проводиться обрахунок середнього значення ваги розчину `#avarage_weight_up` у флаконі яка була записана у масив `#Weigth_up[#с]` шляхом додавання всіх елементів масиву та розділення на 5. Обраховане середнє значення `#avarage_weight_up` порівнюється із першим значенням ваги розчину що було записано у масив `#Weigth_up[0]`. Якщо ж середнє значення ваги розчину є більшим за вагу розчину що було зафіксована при початку обрахунку із додатною похибкою 0,5 грама то алгоритм визначає що знайдена позиція відкриття перетискного клапана є позицією появи потоку. Тож при виконанні даної умови відбувається запис поточної позиції перетискного клапана `#Finding_pos_up` у змінну `#Find_up_pos` для подальшого використання в алгоритмі дозування. Далі проводиться збільшення позиції відкривання клапана `#Finding_pos_up` на 1,5 % для забезпечення буферу пошуку позиції закриття клапана, та запис обрахованого значення у змінну `#Finding_pos_down` вмикання маркеру пошуку позиції закривання `#Find_down`, обнулення значення маркеру масиву `#с` та вимикання маркеру пошуку позиції відкривання `#Find_up`.

Якщо ж при досягненні маркеру масиву `#с` значення 5 та не виконанні умови досягнення середнього значення ваги ваги розчину `#avarage_weight_up` більшого рівного значенню ваги розчину що було записано у масив `#Weigth_up[0]` із додатною похибкою 0,5 грама то проводиться обнулення значення маркеру масиву `#с` та методика пошуку позиції запускається знову.

Друга частина кроку 11,а саме алгоритм пошуку позиції закривання перетискного клапана при відсутності потоку розчину через клапан дозування зображена на рис. 2.3.26.

Після переходу із алгоритму пошуку позиції відкривання перетискного клапана проводиться перевірка наявності маркеру пошуку позиції закривання перетискного клапана `#Find_down` при якій відсутній протік розчину через клапан дозування. При наявності даного маркеру запускається покроковий процес визначення позиції. На першому етапі процесу очікується поява маркеру ввімкнення на 1 цикл контролера "Triger_clock_1 Hz" після чого алгоритмом проводиться зменшення отриманої в попередньому алгоритмі позиції відкритого

клапана записану у змінну `#Finding_pos_down` шляхом віднімання від значення позиції 0,2 %. Обраховане значення позиції надсилається у метод надсилання запиту на переміщення перетискного клапана який описано нижче (див. рис. 2.3.26).

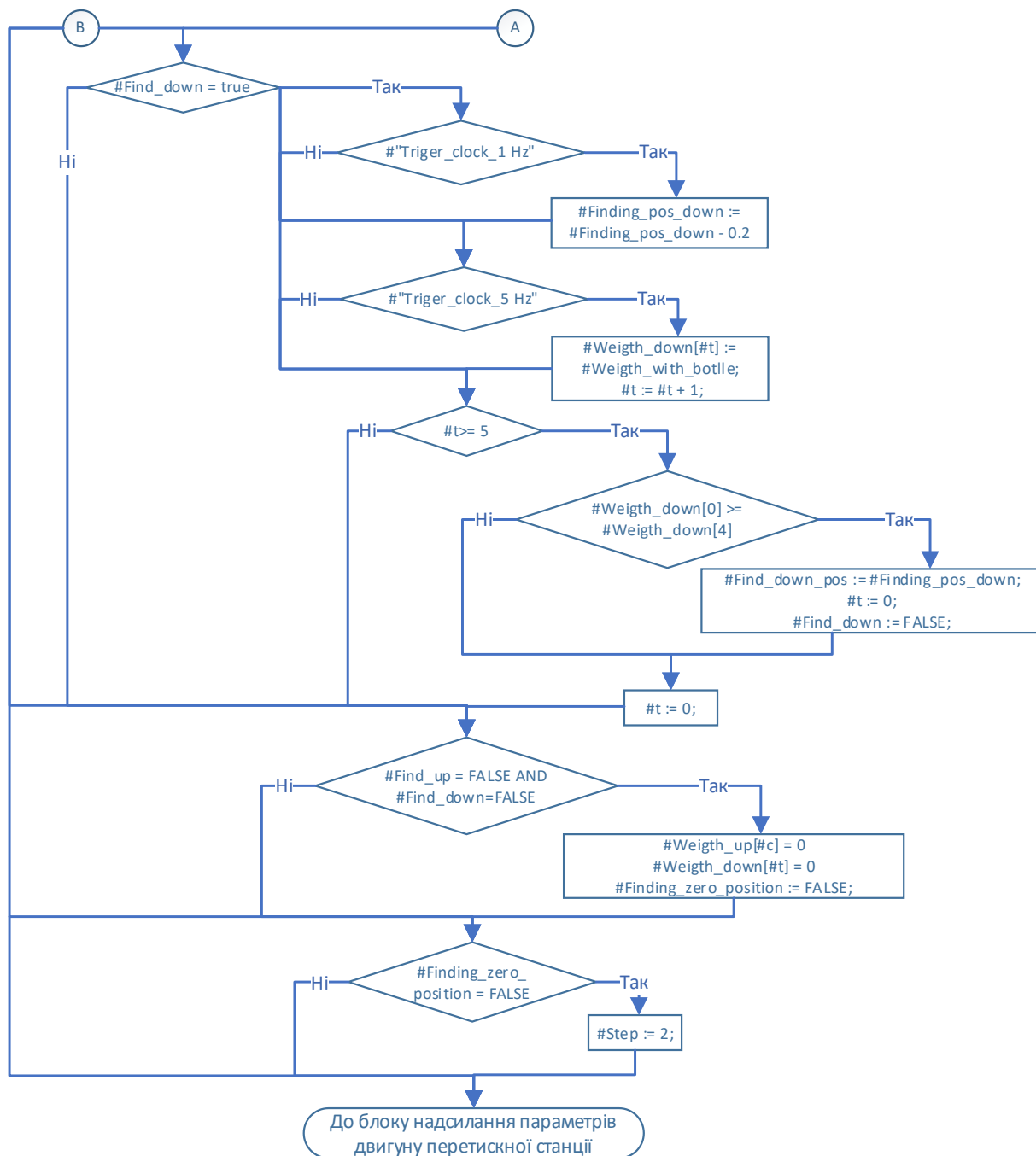


Рис. 2.3.26 Блок схема кроку 11 (Step 11) Частина 2 – алгоритм пошуку позиції закривання перетискного клапа

Наступним етапом алгоритму є запис у масив `#Weigh_down[#t]` у позиції масиву відповідно до значення маркеру масиву `#t`, поточних значень ваги розчину

при ввімкненні кожних 200 мс маркера ввімкнення на 1 цикл контролера "Triger_clock_5 Hz", також після успішного запису проводиться зміщення маркера масиву додаванням до поточного значення одиниці.

При досягненні значення маркера масиву `#с` більше рівне 5, проводиться порівняння значень із масиву, а саме чи перше значення ваги із масиву `#Weigth_down[0]` є більшим рівним ніж останнє значення ваги із масиву `#Weigth_down[4]`. Дана умова вказує про відсутність протоку рідини у флакон, тож при її справджуванні проводиться встановлення позиції закриття перетискного клапана та знайдене значення позиції `#Finding_pos_down` записується у змінну `#Find_down_pos` для подальшого використання в алгоритмі дозування, обнулення значення маркера масиву `#t` та вимикання маркера пошуку позиції закривання `#Find_down`.

Якщо ж при досягненні маркера масиву `#t` значення 5 та не виконанні умови що перше значення ваги із масиву `#Weigth_down[0]` є більшим рівним ніж останнє значення ваги із масиву `#Weigth_down[4]`, то проводиться обнулення значення маркера масиву `#t` та методика пошуку позиції запускається знову.

Наступним етапом алгоритму є обнулення збережених даних ваги у масивах `#Weigth_up[#с]` та `#Weigth_down[#t]` та вимкнення маркера відображення пошуку позиції відкривання та закривання клапана `#Finding_zero_position`. Далі проводиться контроль вимкнення маркера відображення пошуку позиції відкривання та закривання клапана `#Finding_zero_position`, що собою являє також маркер завершення процесу знаходження позицій відкривання та закривання перетискного клапану. При вимкненні маркера проводиться перехід на крок формування сигналів для етапу перед дозування, а саме крок 2 , присвоюванням ідентифікатору кроку `Step` значення 2.

Невід'ємною частиною кроку знаходження позиції відкривання та закривання перетискного клапана є алгоритм підготовки знайдених параметрів до надсилання у блок абсолютного переміщення осі приводу клапана, а також ввімкнення маркера початку руху. (див. рис. 2.3.27).

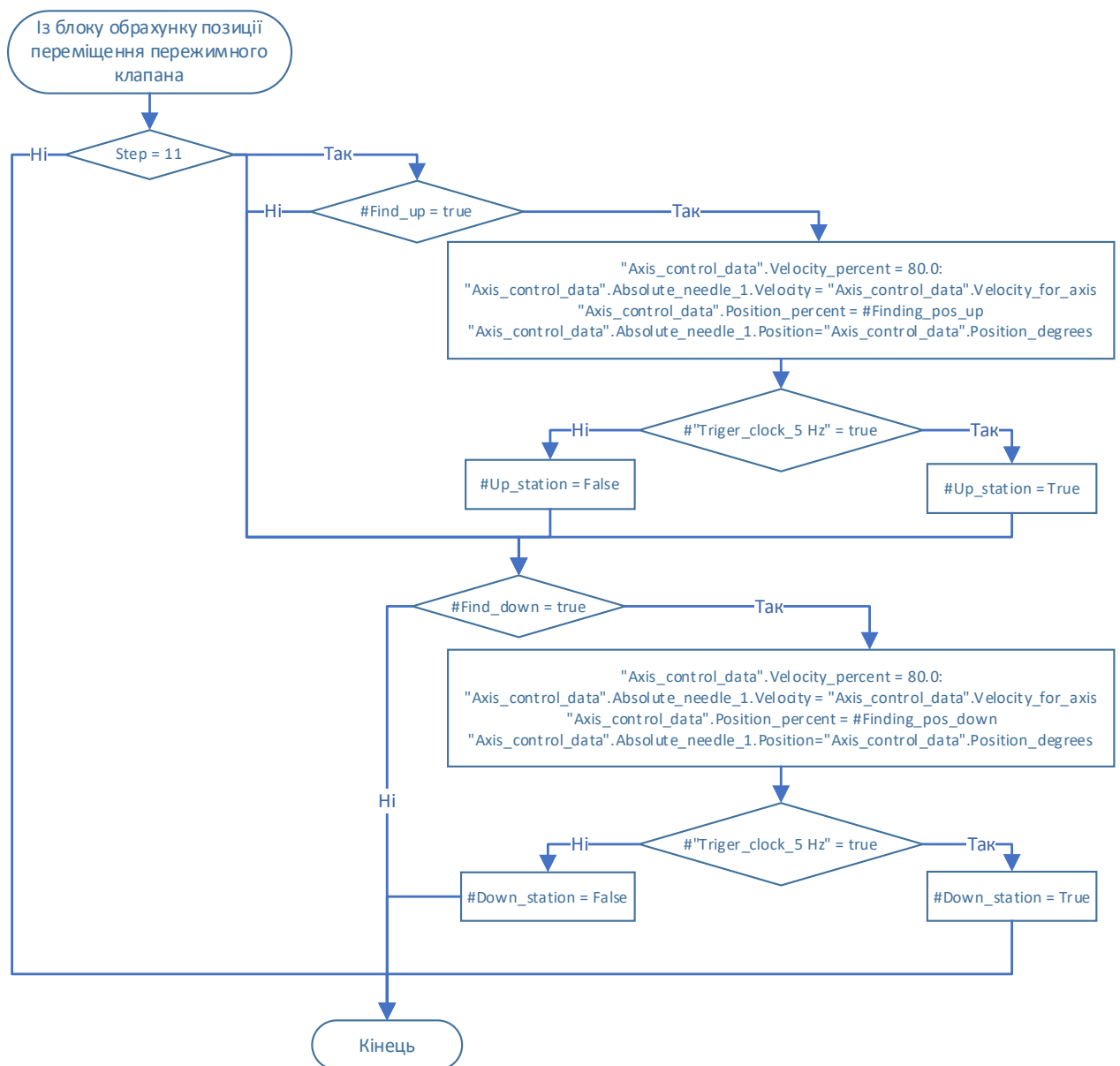


Рис. 2.3.27 Блок схема кроку 11 (Step 11) алгоритм пошуку позиції закриття перетискного клапа

Даний блок алгоритму реалізований у наступній гілці (network) програми тому на першому етапі проводиться перевірка умови перебування програми на 11 кроці шляхом перевірки умови рівності ідентифікатора кроку #Step значенню 11. Надалі алгоритм розділяється на дві вітки, а саме на вітку надсилання параметрів при знаходженні позиції відкривання та на вітку надсилання параметрів при знаходженні позиції закриття перетискного клапана.

На першій вітці проводиться контроль ввімкнення маркера пошуку позиції наявності потоку відкривання перетискного клапана #Find_up, при його наявності проводиться запис у змінну "Axis_control_data".Velocity_percent, яка є входною для

функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину, значення швидкості руху що визначено як 80 %. Далі обраховане значення швидкості руху двигуна перетискного клапана записується у змінну "Axis_control_data".Velocity_for_axis та пересилається у змінну "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Velocity, що є вхідним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Розрахована позиція відкриття перетискного клапана записується у змінну "Axis_control_data".Position_percent яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах записується у змінну "Axis_control_data".Position_degrees та пересилається у змінну "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position що є вхідним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

Після успішного обрахунку та надсилання параметрів переміщення двигуна перетискного клапана у функцію переміщення проводиться контроль спрацювання маркера ввімкнення на 1 цикл контролера "Triger_clock_5 Hz" при наявності якого вмикається маркер запуску руху двигуна на визначену позицію #Up_station, при його вимкненні та відсутності маркер руху #Up_station вимикається.

У паралельній вітці проводиться контроль маркеру пошуку позиції закривання #Find_down при його спрацюванні відбувається така ж процедура надсилання параметрів переміщення за допомогою функції FC2 «Scaling_real» як і у попередній вітці. Швидкість переміщення також встановлена як 80 %, проте у значення позиції переміщення проводиться надсилання обрахованого значення #Finding_pos_down на попередніх етапах алгоритму кроку 11.

Після успішного обрахунку та надсилання параметрів переміщення двигуна перетискного клапана у функцію переміщення проводиться контроль спрацювання маркера ввімкнення на 1 цикл контролера "Triger_clock_5 Hz" при наявності якого вмикається маркер запуску руху двигуна на визначену позицію #Down_station, при його вимкненні та відсутності маркер руху #Down_station вимикається.

При виконанні останньої умови алгоритм досягає свого завершення та відповідно до запрограмованої логіки, контролер ініціює новий цикл роботи, дотримуючись визначеної ієрархії виконання операцій. Це забезпечує безперервний процес дозування та узгодженість усіх етапів роботи системи.

Програма функціонування оригінального методу дозування наведена у Додатку Г При розробці програми функціонування роботи контролера виконано із дотримання вимог та рекомендацій документації виробника Siemens SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual [39], Programming Guideline for S7-1200/1500 [40] та SIEMENS SIMATIC S7-1200 Easy Book [41].

2.4. Проведення експериментальних досліджень роботи існуючого методу дозування інфузійних лікарських засобів. Перевірка адекватності математичної моделі.

З метою визначення відповідності розробленого алгоритму керування вимогам до дозування, проведено порівняльний аналіз роботи цього алгоритму. Для оцінки точності та відповідності алгоритму були використані експериментальні дані, отримані з експериментальної установки, а також результати, отримані за допомогою математичної моделі (2.1.32).

На основі графіків перехідних процесів (див. рис. 2.4.1) можна зробити висновок, що розроблена математична модель відтворює експериментальні характеристики процесу дозування. Зокрема, спостерігається висока відповідність між модельованими та експериментальними даними як за динамікою зміни ваги розчину у флаконі, так і за профілем керування ступенем відкриття перетискного клапана. Невеликі відхилення між теоретичними даними отриманої із моделі системи та експериментальними даними можуть бути зумовлені інерційністю фізичної системи, неідентифікованими збуреннями або похибками вимірювального обладнання. Загалом, модель адекватно описує процес і може бути використана для подальшої оптимізації алгоритмів керування процесом дозування.

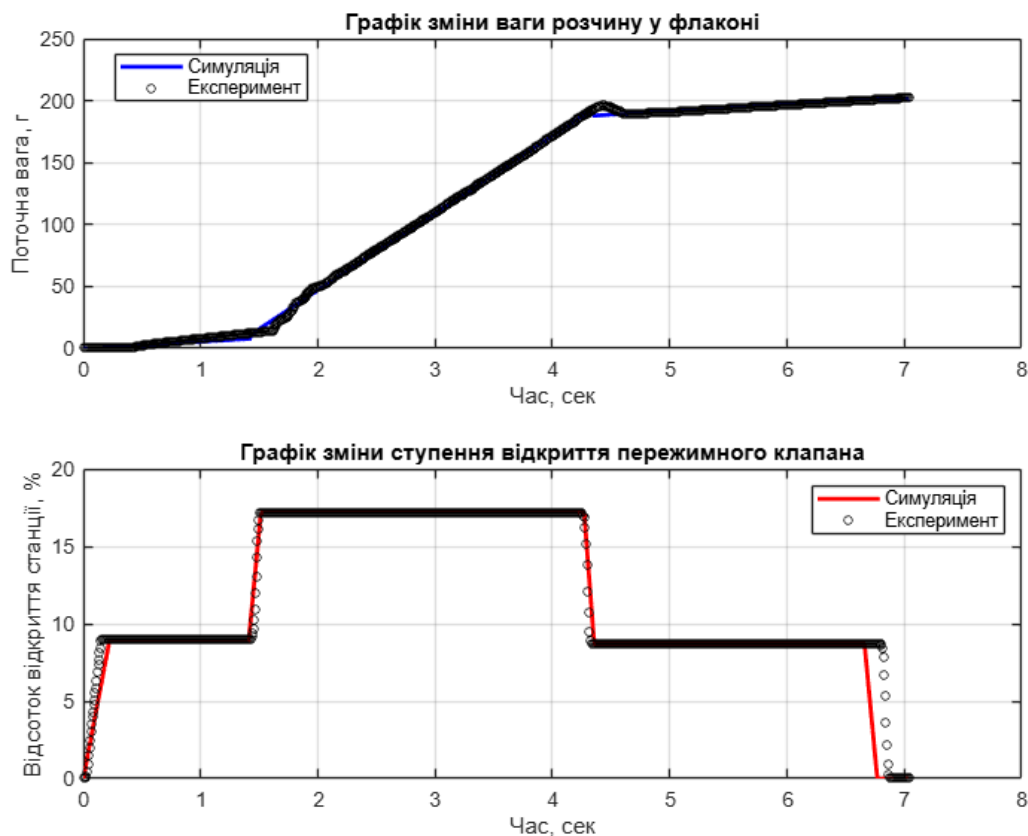


Рис. . 2.4.1 Графік перехідних процесів отриманих експериментально та за результатами моделювання процесу дозування відповідно до існуючого алгоритму дозування

Для перевірки відтворення існуючого алгоритму на нових технічних засобах, а також при його відтворенні на розробленій експериментальній установці у відповідності до існуючої лінії вагового наповнення серії WDM8002 проведено ряд випробувань. В ході випробувань було проведено дослідження можливості дозування розчинів у типові формати тари, а саме 150 мл., 250 мл. та 450 мл. із завданням дозування 101 мл., 201мл. та 401 мл. відповідно. Методика виконання експериментальних досліджень цього алгоритму передбачає виконання таких операцій:

- 1) позиціювання приводу перетискного клапана експериментальної установки та встановлення всіх вузлів у початкове положення;
- 2) зважування пустого флакона та фіксування його ваги а, відповідно, і його наявності на станції зважування;

3) старт алгоритму наповнення у контролері S7-1215C, який формує керуючий сигнал для крокового двигуна, змінює ступінь відкриття перетискного клапана станції наповнення та заповнює флакон розчином до заданої ваги;

4) реєстрація значень ваги розчину та ступеня відкриття перетискного клапана під час процесу наповнення в пам'яті інженерної станції; побудова графіків перехідних процесів на основі архівів, отриманих з інженерної станції;

5) Підтримка тиску розчину на вході у перетискний клапан на рівні 1,2 – 1,1 бари.

Встановимо базові параметри для роботи існуючого алгоритму дозування (див. рис. 2.4.2) для перевірки можливості дозування розчину у тару об'ємом 450 мл. також проведемо запуск алгоритму пошуку позиції відкриття та закриття перетискного клапана.

LOADED FORMAT

Format number: 2

Format Name: 400 ml

Bottle parameters

Minimum bottle weight: 200.00 , g

Maximum bottle weight: 500.00 , g

Dossing parameters

Target dossing weight: 401.00 , g

Pre - dossing time: 800 , ms

Pre - dossing needle position: 2.50 , %

Pre - dossing needle velocity: 10.00 , %

Fast dossing target weighth: 390.00 , g

Fast dossing needle position: 22.00 , %

Fast dossing needle velocity: 50.00 , %

Slow dossing needle position: 3.20 , %

Slow dossing needle velocity: 90.00 , %

Weight stabilization time: 500 , ms

Рис. . 2.4.2 Початкові параметри дозування флакону об'ємом 450 мл.

Знайдені позиції відкривання та закривання перетискного клапана відображаються у спливаючому вікні зображеному на рисунку 2.4.3.

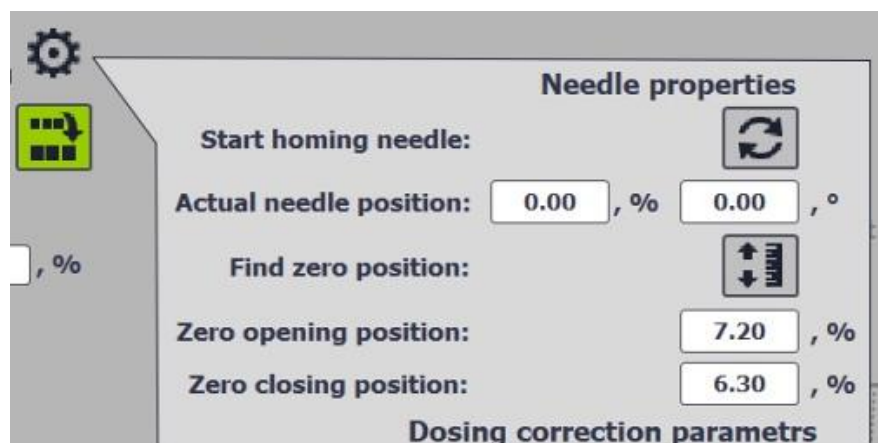


Рис. . 2.4.3 Позиції відкриття та закриття перетискного клапана.

При успішно знайдених параметрах проведено перевірку роботи алгоритму дозування, графік зміни ступеня відкриття та зміни ваги розчину у флаконі зображені на рисунку 2.4.4.

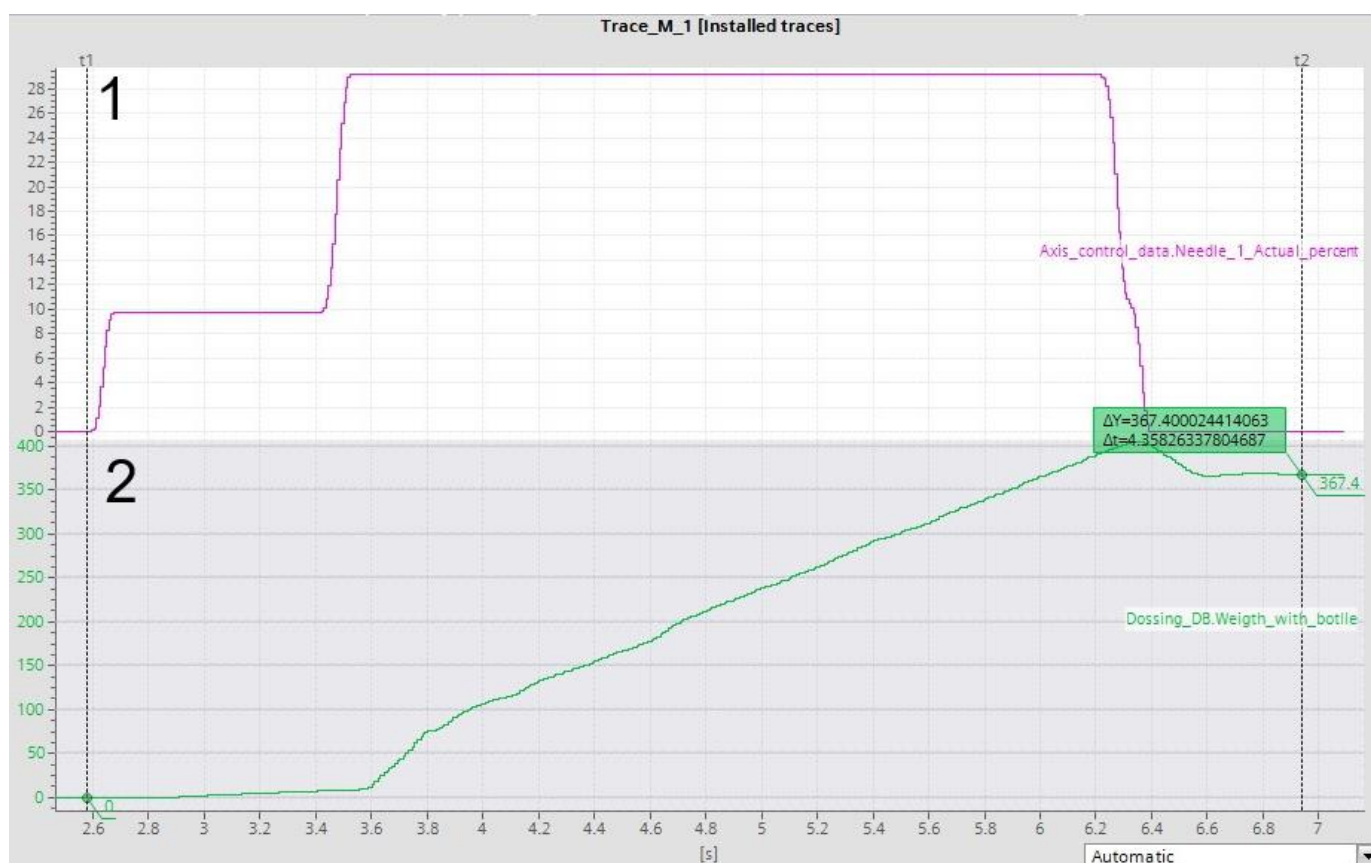


Рис. . 2.4.4 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон:

1 – крива зміни ступеня відкриття перетискного клапана , 2 – крива зміни ваги розчину

Аналіз результатів дозування при використанні початкових параметрів свідчить про некоректну роботу алгоритму. Згідно з графіком зміни ступеня відкриття перетискного клапана (рис. 2.4.4, крива 2), не спостерігається переходу до етапу точного дозування. Крім того, фактична маса дозованого розчину становить 367,4 г, що є нижчою за задане значення 401 г, і свідчить про порушення у досягненні цільового об'єму дозування.

З метою забезпечення можливості точного дозування розчину масою 401 г та верифікації працездатності відтвореного алгоритму було здійснено корекцію параметрів дозування. Зокрема, ступінь відкриття перетискного клапана на етапі швидкого дозування знижено з 22 % до 18 %, а порогову вагу переходу до етапу точного дозування зменшено з 390 г до 385 г. Після внесення змін алгоритм дозування було повторно запущено, за результатами чого отримано графіки зміни ступеня відкриття перетискного клапана та зміни ваги розчину у флаконі (див. рис. 2.4.5).

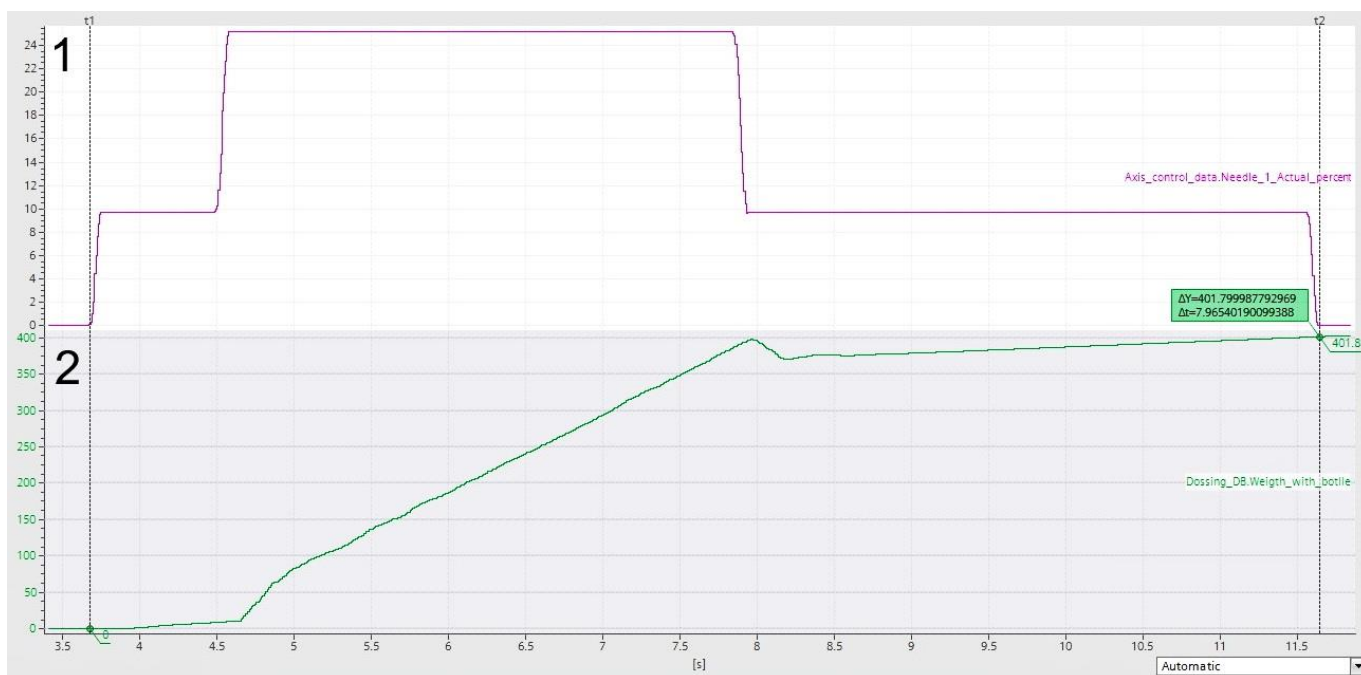


Рис. 2.4.5 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон із коректованими параметрами: 1 – крива зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – крива зміни ваги розчину

Аналіз даних із отриманих графіків перехідного процесу вказує на те, що коректовані параметри дозування є коректними, алгоритм дозування проводить

коректний перехід між всіма етапами дозування, а саме етап переддозування, етап швидкого дозування та етап точного дозування. Також провівши детальний аналіз кривої зміни ваги розчину у флаконі (див. рис. 2.4.5, крива 2) видно що в точці переходу від етапу II до етапу III (точка переходу між швидким дозуванням та точним дозуванням) наявний максимум кривої та наступне зменшення ваги. Це спричинено зменшенням динамічного напору струменя, що діє на розчин та на дно флакона при зменшенні витрати розчину. Також потрібно відзначити, що ордината точки екстремуму ваги наближається до заданого значення ваги в системі керування - 401 г., тому при збільшенні ступеня відкриття перетискного клапана, а, відповідно, збільшення ординати екстремуму, алгоритм керування може розпізнати умову досягнення заданого значення ваги та завершити дозування. Таке спрацювання алгоритму призвело б до значного недоливу розчину яке ми можемо спостерігати на рисунку 2.3.3 при роботі алгоритму на початкових параметрах.

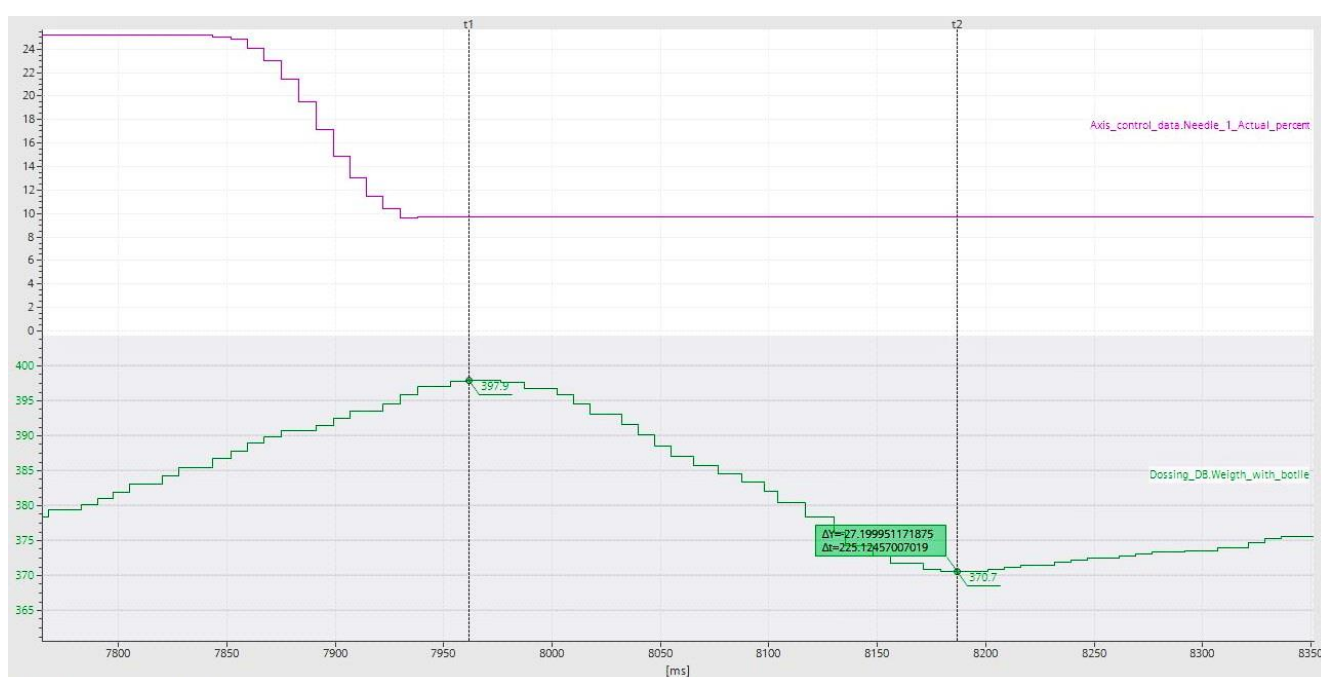


Рис. 2.4.6 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон із коректованими параметрами

На рисунку 2.4.6 зображено детальніший графік зміни ваги в точці переходу від етапу II до етапу III (точка переходу між швидким дозуванням та точним дозуванням) на якому видно, що точка екстремуму ваги становить 397,9 грами, що дуже наближено до заданої ваги дозування розчину 401 грам. З метою

унеможливлення досягнення ваги у точці екстремуму заданої ваги дозування проведено додаткову корекцію параметрів дозування, а саме ступінь відкриття перетискного клапана на етапі швидкого дозування знижено з 18 % до 17,5 %, а порогову вагу переходу до етапу точного дозування зменшено з 385 г до 384 г.

Даний метод знаходження робочих параметрів дозування буде застосовано для кожного із досліджувальних форматів дозування, а саме 100 мл., 200 мл. та 400 мл.

Існуючий алгоритм дозування реалізовано в програмі контролера експериментальної установки та виконано серію експериментів для тестування цього алгоритму. Зокрема, виконано наповнення флакона об'ємом 250 мл., 150 мл., та 450 мл. інфузійним розчином.

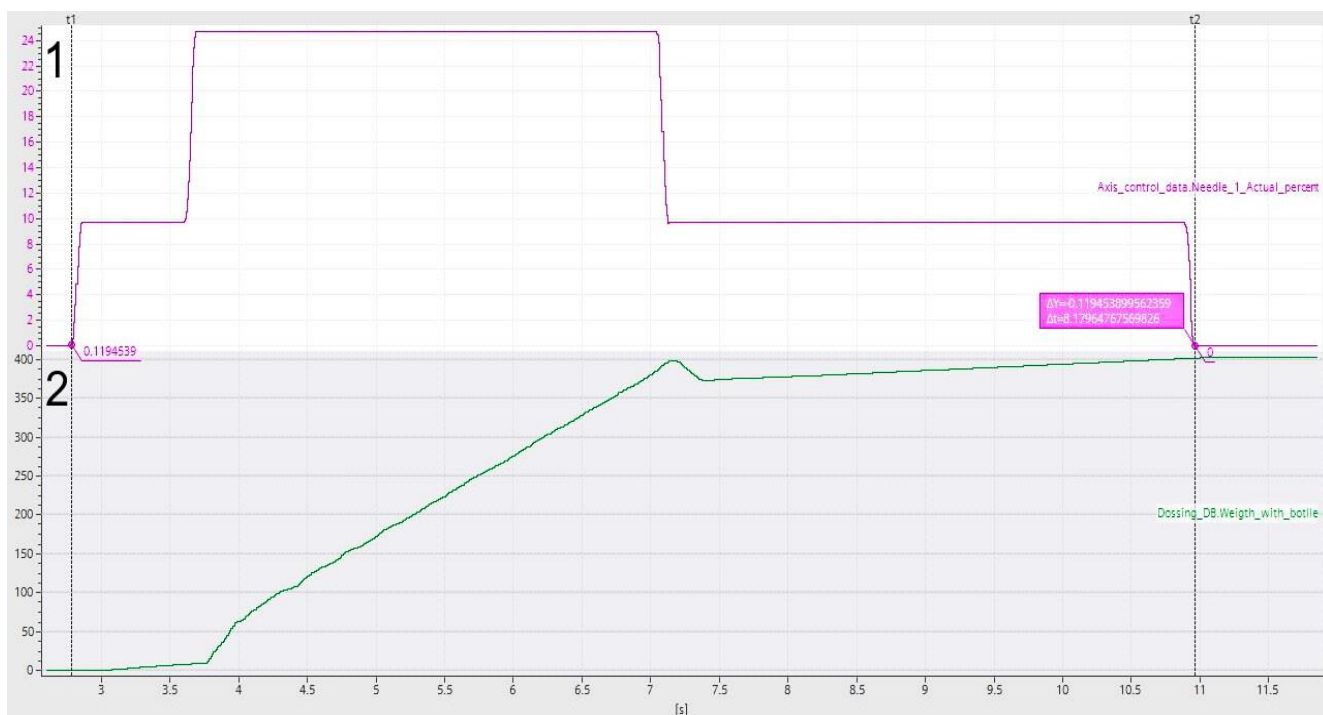


Рис. 2.4.7 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон об'ємом 450 мл: 1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – графік зміни ваги розчину

Для флакону об'ємом 450 мл. задане значення маси розчину становить 401 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан рівний 1,2 – 1,1 бар. На рисунку 2.4.7 представлено графіки зміни ваги розчину та ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона. Час наповнення флакона склав 8,179 секунди,

фактична вага розчину у флаконі після завершення процесу наповнення - 402,5 грам.

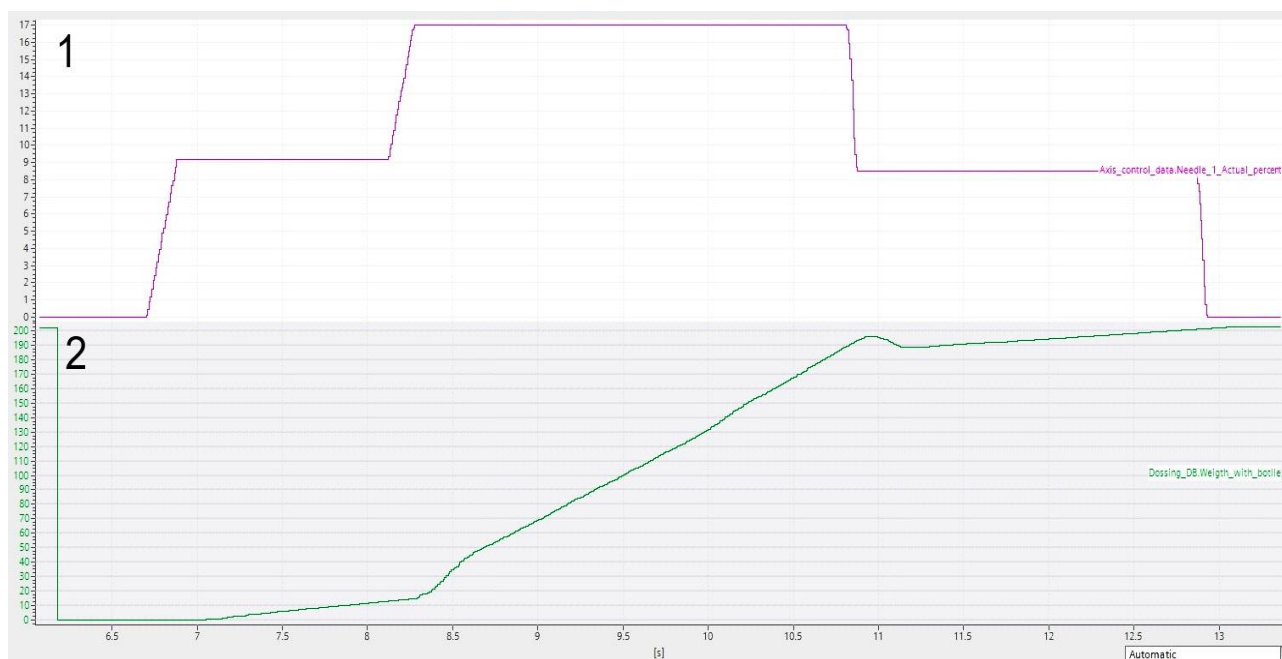


Рис. 2.4.8 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон об'ємом 250 мл: 1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – графік зміни ваги розчину

Для флакону об'ємом 250 мл. задане значення маси розчину становить 201 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан рівний 1,2 – 1,1 бар. На рисунку 2.4.8 представлено графіки зміни ваги розчину та ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона. Час наповнення флакона розчином склав 6,223 секунди, фактична вага розчину у флаконі після завершення процесу наповнення - 202,4 грам.

Для флакону об'ємом 150 мл. задане значення маси розчину становить 101 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан рівний 1,2 – 1,1 бар.

На рисунку 2.4.9 представлено графіки зміни ваги розчину та ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона. Час наповнення флакона розчином склав 4,213 секунди, фактична вага розчину у флаконі після завершення процесу наповнення - 101,8 грам.

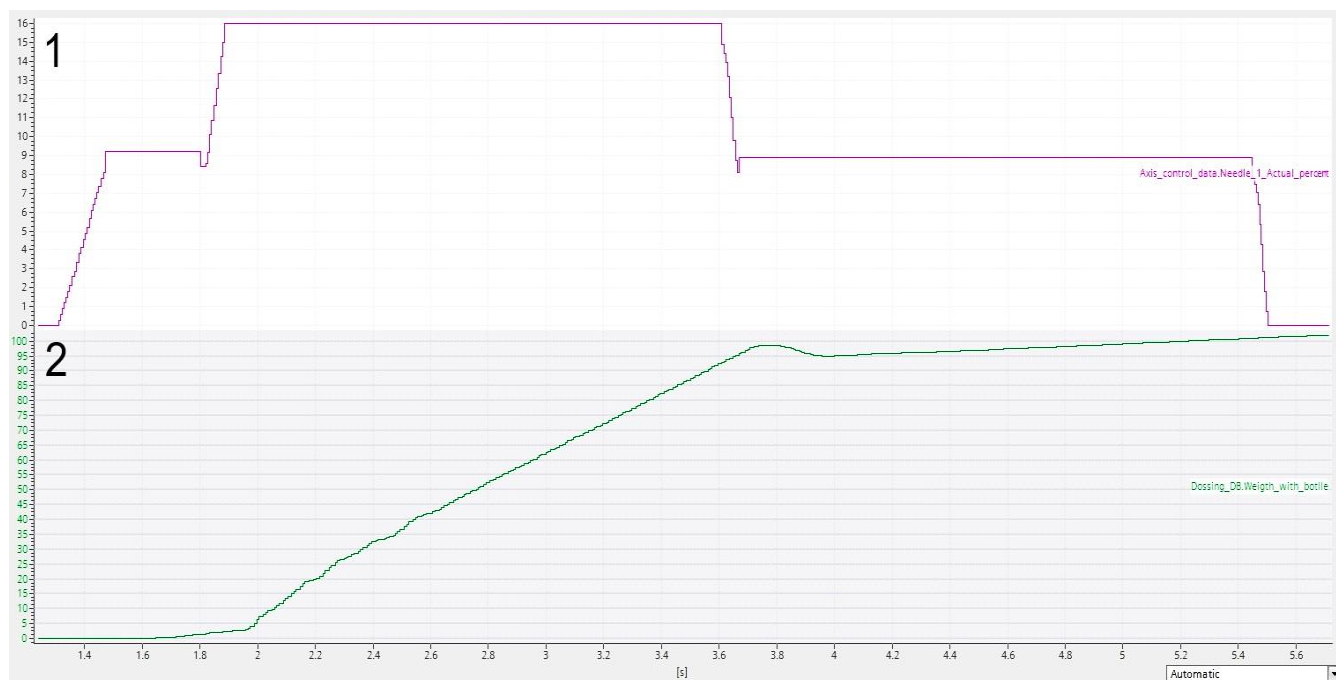


Рис. 2.4.9 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон об'ємом 150 мл: 1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – графік зміни ваги розчину

Висновки до розділу 2

1. Розроблено математичну модель процесу дозування розчину та проведено перевірку її адекватності у порівнянні із даними отриманих з експериментальної установки.
2. Розроблено експериментальну установку що відтворює гідравлічну схему подачі та дозування розчину у технологічній лінії вагового наповнення серії WDM8002, а також реалізовано систему керування експериментальною установкою на основі контролера компанії Siemens CPU 1215C DC/DC/DC, віддаленої станції вводу/виводу типу ET-200SP, IM 155-6 PN HF з ваговим модулем SIWAREX WP321. Установка дає можливість дослідити різні структури системи керування та їх динамічні характеристики в залежності від характеристик програмованого логічного контролера та вагових модулів.
3. Розроблено алгоритми роботи для контролера експериментальної установки та відтворено діючий алгоритм дозування в установці WDM8002. Розроблено програмне забезпечення складових експериментальної установки. Створено базову функцію для керування кроковим двигуном перетискного клапана у програмному середовищі Tia Portal, яка дає можливість спростити процес розроблення програми.
4. Виконано експериментальні дослідження існуючого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів. Визначено недоліки існуючого алгоритму дозування а також основи процедури визначення оптимальних параметрів дозування для кожного із можливих форматів дозування.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

3.1. Розроблення удосконаленого алгоритму керування процесом дозування на основі ступінчатої функції дозування

Як показано у роботі [63, 64], точність дозування малих об'ємів висококонцентрованих антитіл значною мірою залежить від комплексу фізичних факторів, зокрема в'язкості рідини, еластичності трубок, нестабільності тиску та зворотного потоку в перистальтичному насосі. Виявлена варіативність обумовлює необхідність глибокого розуміння механізмів, що впливають на процес дозування, та потребу у впровадженні адаптивних рішень. Це підтверджує доцільність розробки алгоритмів керування, заснованих на математичній моделі, що враховує динаміку дозування і дозволяє забезпечити стабільність та високу повторюваність процесу.

Відмови та зупинки у виробничих системах, виникають як в результаті дефектів технологічних апаратів, так і через несправність пристроїв, які є компонентами системи автоматизації процесу. Одним із найпоширеніших джерел збоїв в автоматизації виробництва є відмови давачів, перетворювачів та керуючих пристроїв [42, 66]. Одною з головних умов безвідмовної роботи системи є перевірений та надійний алгоритм керування на основі обраного методу дозування. Основними вимогами до алгоритму є стійкість до навколишніх збурень, невідмовна реакція системи та контролера на нештатну ситуацію а також чітке дотримання послідовності запрограмованих кроків. В застосованому алгоритмі повинні бути відсутні неоднозначні умови які б призвели до виходу системи із стану рівноваги, що призвело б до неконтрольованих похибок дозування.

Потрібно підкреслити, що від алгоритму керування виконавчими механізмами залежить точність та тривалість дозування, а отже й продуктивність лінії дозування. Для зменшення часу дозування, підвищення продуктивності лінії дозування при дотриманні заданої точності, необхідно удосконалити алгоритм

дозування та провести дослідження цього алгоритму. У досліджуваній лінії дозування інфузійних розчинів типу WDM 8002, сформовано такі критерії її роботи: відтворювальність результатів дозування, точність дозування в межах 0 ...+2 грами від завдання та мінімальний час дозування.

Розглянемо результати досліджень існуючого алгоритму дозування в діючій машині вагового наповнення WDM 8002, а саме процеси зміни ваги та ступеня відкриття перетискного клапана у часі при дозуванні розчину у флакон об'ємом 250 мл, що отримані на діючій технологічній лінії WDM 8002 та представлені на рисунку 3.1.1 Завдання для алгоритму дозування становить 201 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан рівний 1,2 – 1,1 бар, час дозування становив 6,658 секунди, фактична вага розчину в флаконі 202,5 грам.

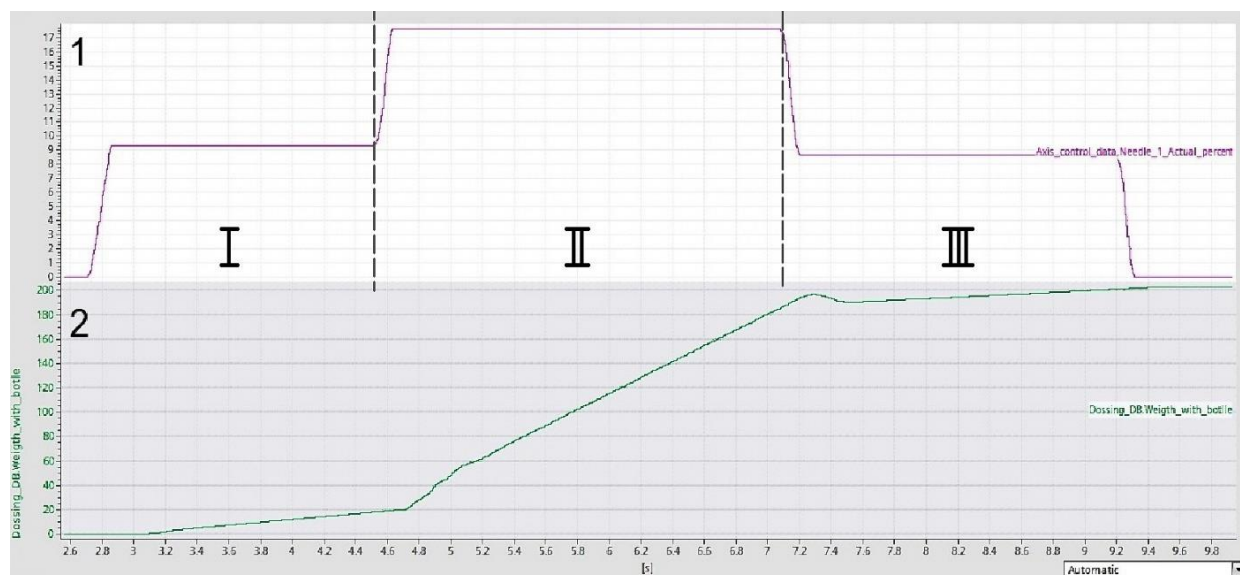


Рис. 3.1.1 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину:

1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана , 2 – графік зміни ваги розчину

На графіку зміни ступеня відкриття перетискного клапана станції дозування (крива 1 на рисунку 2) бачимо характерний трапецієподібний вигляд зміни ступеня відкриття станції, що відповідає алгоритму з трьома етапами дозування. Крива 2 на рис.3 відтворює зміну ваги розчину в часі. Бачимо що в точці переходу від етапу II до етапу III (точка переходу між швидким дозуванням та точним дозуванням) наявний максимум кривої та наступне зменшення ваги. Це спричинено зменшенням динамічного напору струменя, що діє на розчин та на дно флакона при

зменшенні витрати розчину. Також потрібно відзначити, що ордината точки екстремуму ваги наближається до заданого значення ваги в системі керування - 201 г., тому при збільшенні ступеня відкриття клапана перетискного клапана, а, відповідно, збільшення ординати екстремуму, алгоритм керування може розпізнати умову досягнення заданого значення ваги та завершити дозування. Таке спрацювання алгоритму призвело б до значного недоливу розчину. Тому розроблено модифікацію діючого алгоритму, яка усуває вказаний вище недолік при переході від етапу II до етапу III.

Для вирішення описаної вище проблеми було реалізовано плавний перехід до стадії точного дозування. Реалізація даного етапу можлива при введенні в алгоритм дозування стадії так званого «напівточного» дозування. Тож схема процесу дозування флакону із додатковим етапом наповнення матиме такий вигляд.

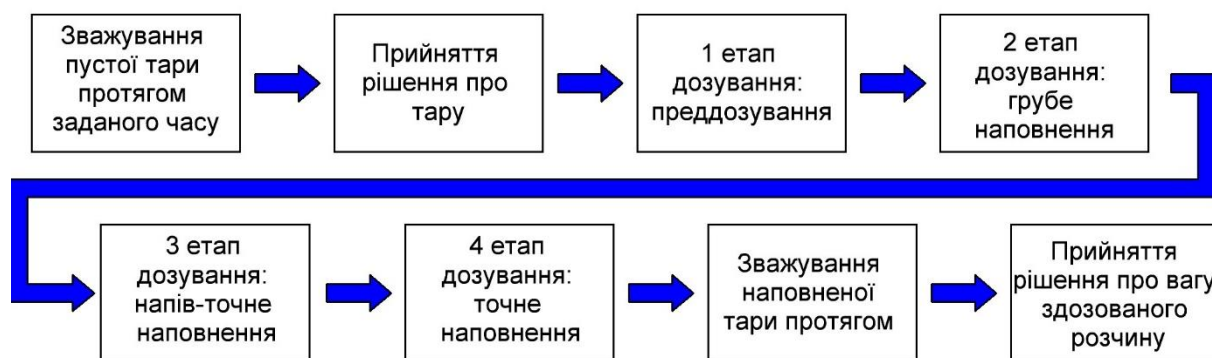


Рис. 3.1.2 Схема процесу наповнення флакону модифікованого алгоритму дозування

Схема дозування інфузійного розчину у флакон складається з кількох послідовних етапів, зокрема і додатково введеного автором етапу напівточного наповнення:

- Зважування пустої тари протягом заданого часу – визначення початкової маси флакона перед наповненням.
- Прийняття рішення про тару – система аналізує отриману масу та приймає рішення про подальше дозування.
- 1 етап дозування: преддозування – початкове введення рідини у флакон.

- 2 етап дозування: швидке наповнення – основне заповнення флакона великою порцією розчину.
- 3 етап дозування: напів-точне наповнення – зменшення подачі розчину для згладжування впливу струменя розчину на вимірювальну вагову комірку на етапі швидкого дозування.
- 4 етап дозування: точне наповнення – завершальний етап дозування при малому відкритті перетискного клапана для досягнення заданої точності дозування;
- Зважування наповненої тари протягом заданого часу – контрольна перевірка маси флакона після дозування.
- Прийняття рішення про вагу здозованого розчину – оцінка відповідності маси дозованого розчину заданим параметрам.

Виокремимо залежність зміни ступеня відкриття перетискної станції під час наповнення флакона як відображення етапів дозування флакону, що зображений на рисунку 3.1.3.

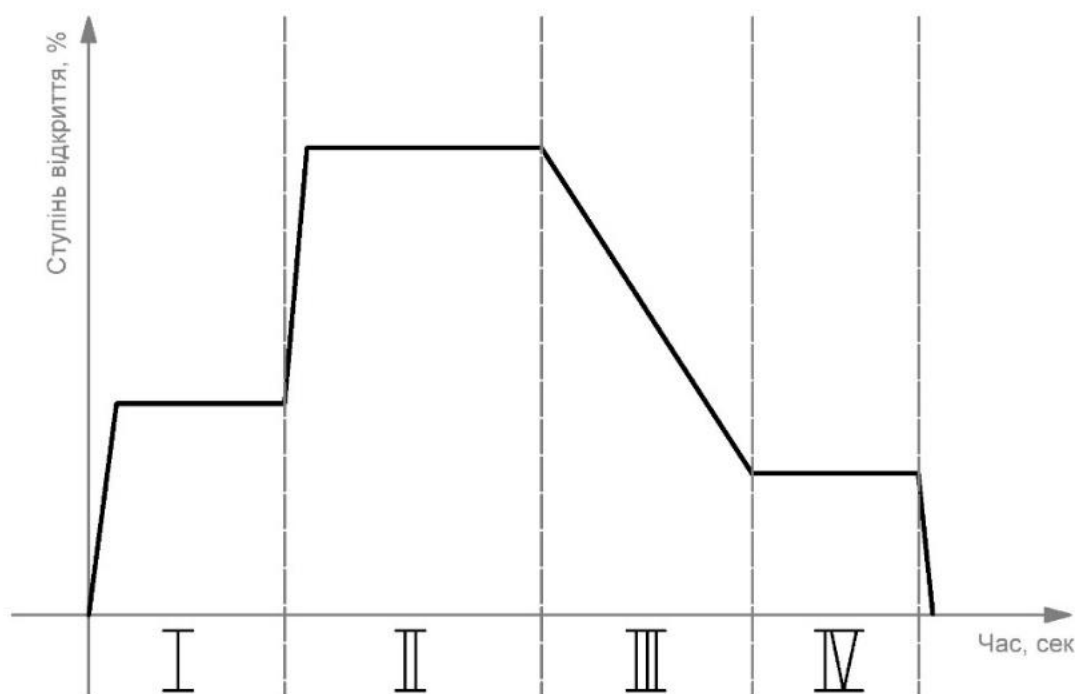


Рис. 3.1.3 Графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона: I – етап переддозування, II – швидке дозування, III – напівточне дозування, IV – точне дозування.

Отже функція дозування, як залежність ступення відкриття перетискного клапана від ваги розчину у флаконі матиме вигляд:

$$l = \begin{cases} l_1, \text{ для } m \leq m_1 \\ l_2, \text{ для } m_1 < m \leq m_2 \\ l_3 = -am + b, \text{ для } m_2 < m \leq m_3 \\ l_4, \text{ для } m_3 < m \leq m_{\text{зад}} \end{cases} \quad (3.1.1)$$

Де l_1, l_2, l_3 та l_4 – ступінь відкриття пережимного клапана на кожному етапі дозування флакону, m_1 – порогове значення ваги переходу на другий етап дозування визначення частот тривалості даного етапу, m_2, m_3 – порогові значення ваги переходу між етапами дозування, $m_{\text{зад}}$ – задана вага дозування флакону m – поточне значення ваги розчину у флаконі.

Особливістю етапу III є те що в алгоритм дозування вводять параметр «вага напівточного дозування», який вказує на точку переходу до етапу III (етапу напівточного дозування).

Для реалізації модифікованого алгоритму розроблено новий функціональний блок під назвою «Dossing_method_2 [FB3]», який містить модифіковані кроки існуючого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів.

У розробленій програмі модифікованого алгоритму дозування реалізовано 15 основних кроків та додаткових функцій. Такими кроками є:

- Крок 0 (Step 0) – Очікування запуску роботи алгоритму дозування;
- Крок 1 (Step 1) – Зважування тари та прийняття рішення про тару;
- Крок 2 (Step 2) – Формування сигналів для етапу попереднього дозування (преддозування);
- Крок 3 (Step 3) – Запуск відліку часу попереднього дозування;
- Крок 4 (Step 4) – Завершення етапу попереднього дозування, встановлення маркера для переходу на наступний етап;
- Крок 5 (Step 5) – Формування сигналів для етапу швидкого (грубого) дозування;
- Крок 6 (Step 6) – Контроль умов переходу алгоритму дозування на стадію напів-точного дозування;

- Крок 7 (Step 7) – Знаходження параметрів для переміщення перетискного клапана на етапі напів-точного дозування;
- Крок 8 (Step 8) – контроль умов переходу на кроки напівточного дозування та формування сигналів на переміщення перетискного клапана для кожного із обрахованого кроку;
- Крок 9 (Step 9) - Контроль ваги відповідно до точки переходу на етап точного дозування;
- Крок 10 (Step 10) – Формування сигналів для етапу точного дозування та здійснення переходу на даний етап;
- Крок 11 (Step 11) – Контроль ваги для завершення дозування на етапі точного дозування;
- Крок 12 (Step 12) – Формування сигналів для закриття клапана дозування;
- Крок 13 (Step 13) – Прийняття рішення про вагу здозованого розчину;
- Крок 20 (Step 20) – Пошук точок відкриття та закриття клапана дозування.

На рисунку 3.1.4 наведено схему переходу між кроками модифікованого алгоритму дозування. Всі кроки виконуються у вказаній послідовності, порівнюючи дану схему із схемою переходу кроків існуючого алгоритму бачимо що вона лише модифікована більшою кількістю кроків (додано 3 нові кроки). У цьому алгоритмі також існує лише 2 схеми переходу між кроками, першою схемою є відгалуження від послідовного виконання кроків для знаходження параметрів відкривання та закривання перетискного клапана у кроці 20 та повернення алгоритму до кроку 2 для послідовного виконання всіх кроків до кроку 13 та повернення алгоритму до кроку 0 – очікування запуску дозування наступної тари. Іншою ж схемою роботи алгоритму є послідовне проходження кроків починаючи від кроку 0 до кроку 13 та відповідно повернення на початок алгоритму до точки очікування наступного дозування, вже при знайдених параметрах відкривання та закривання перетискного клапана.

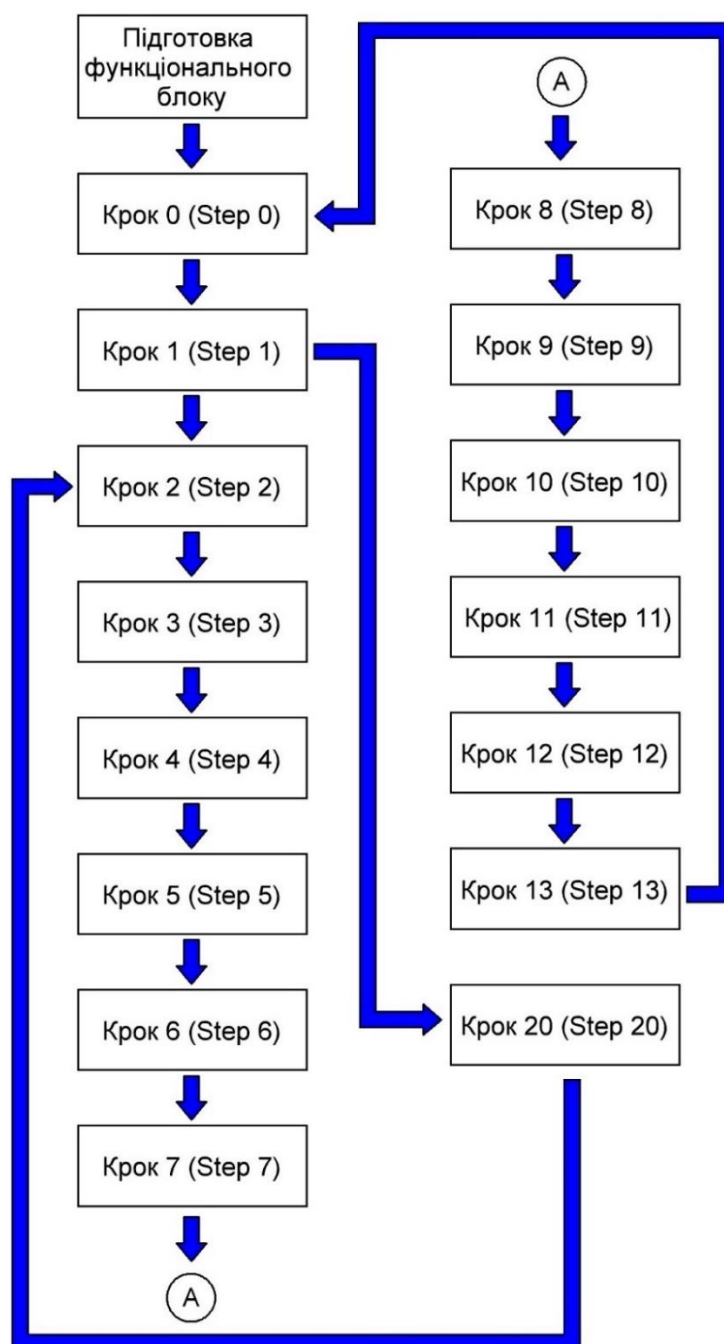


Рис. 3.1.4 Схема переходу між кроками модифікованого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів.

На рисунку 3.1.5 зображено розроблений алгоритм кроку 6 – контролю умов переходу алгоритму дозування на стадію напів-точного дозування та кроку 7 – знаходження параметрів переміщення перетискного клапана на етапі напів-точного дозування.

На початковому етапі проводиться перевірка умови переходу на крок алгоритму, а саме встановлення значення 6 у змінній Step, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі.

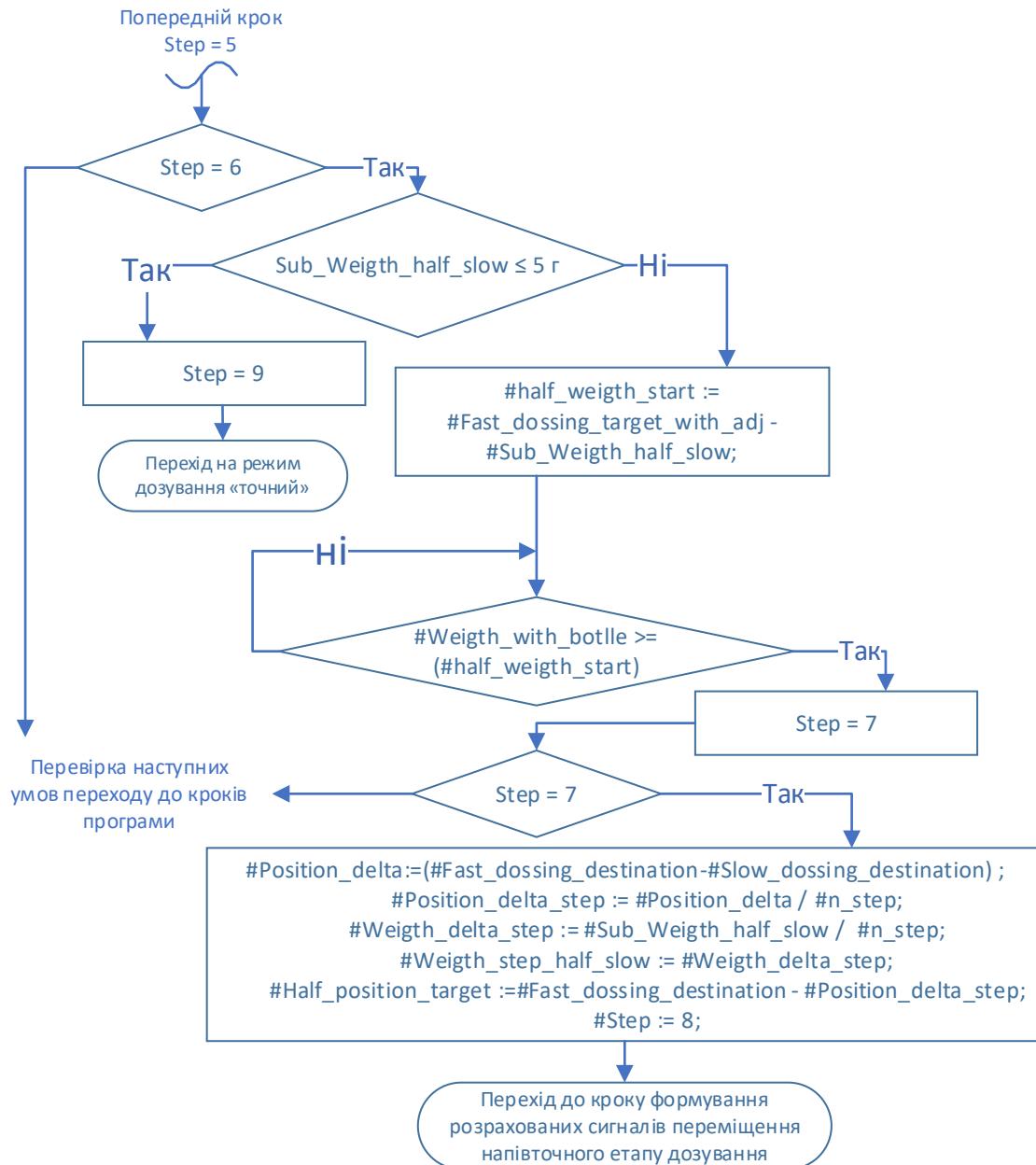


Рис 3.1.5 розроблений алгоритм для кроку 6 та кроку 7 при дозування розчину із введенням напів-точного етапу дозування

Наступник кроком є перевірка встановленого параметру напівточного дозування на панелі керування, якщо значення ваги встановлене менше рівне 5 грам, алгоритм автоматично пропустить стадію напівточного дозування проведе присвоєння ідентифікатору кроку алгоритму step значення рівне 9 для здійснення

переходу алгоритму дозування одразу на етап точного дозування, адже різниця ваги для розрахунку точки переходу є незначною та крок руху клапана перетискання є надто малий. В інших ж випадках відбувається наступний крок алгоритму, а саме розрахунок точки переходу (початку напівточного дозування) $half_weigh_half_start$, для алгоритму за формулою:

$$half_weigh_half_start = Fast_dossing_target_with_adj - Sub_Weigh_half_slow,$$

де $Fast_dossing_target_with_adj$ - вага завершення швидкого дозування, $Sub_Weigh_half_slow$ - вага напівточного.

Після розрахунку вагової точки переходу на напівточне дозування відбувається контроль поточної ваги флакона яке зберігається у змінній $\#Weigh_with_botlle$, відносно знайденої ваги переходу $\#half_weigh_start$, якщо ж поточна вага флакону буде більше рівна вазі переходу відбудеться присвоєння ідентифікатору поточного кроку алгоритму $step$ значення 7, та відбудеться автоматичний перехід на 7-й крок алгоритму - Знаходження параметрів для переміщення перетискного клапана на етапі напів-точного дозування.

На 7 кроці проводиться розрахунок параметрів кроку перетискного клапана. Першим параметром для розрахунку є різниця позицій переміщення перетискного клапана - $Position_delta$:

$$Position_delta = Fast_dossing_destination - Slow_dossing_destination,$$

Де $Fast_dossing_destination$ - Позиція швидкого дозування, $Slow_dossing_destination$ - позиція точного дозування

Далі відбувається розрахунок кроку переміщення перетискного клапана $Position_delta_step$ для n_step кроків станції:

$$Position_delta_step = Position_delta / n_step,$$

а також розрахунок значень ваги $Weigh_delta_step$ для 10-ти кроків станції:

$$Weigh_delta_step = Sub_Weigh_half_slow / n_step.$$

Наступним кроком відбувається розрахунок першої позиції $Half_position_target$ відповідно до знайдених параметрів кроку перетискного клапана:

$$Half_position_target = Fast_dossing_destination - Position_delta_step.$$

Наступним кроком етапу напів-точного дозування є перехід до кроку 8 - формування керуючих сигналів до драйвера крокового двигуна відповідно до обчислених кроків ваги та кроків двигуна (див. рис 3.1.6).

Першочергово у даному кроці відбувається перевірка умови переходу на крок алгоритму, а саме встановлення значення 8 у змінній Step, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі. При не справдженні даної умови відбувається обнулення лічильника що використовується для формування сигналу запиту для переміщення перетискного клапана у напів-точному етапі дозування #Move_count_trig та примусове вимкнення для того ж запиту #Trig_move_half_dos.

При виконанні умови знаходження алгоритму дозування на кроці 8 виконується гілка операцій що описана нижче.

Першою операцією у гілці є обрахунок ваги переходу на наступний крок закриття клапана #Weigth_step_half_slow_2:

#Weigth_step_half_slow_2 := #half_weigth_start + #Weigth_step_half_slow;

Після успішного обрахунку ваги переходу на наступний крок закриття перетискного клапана вводиться контроль даної ваги відносно ваги розчину у флаконі, тобто проводиться контроль виконання умови чи вага розчину у флаконі #Weigth_with_bottle є більша рівною контрольної ваги переходу на наступний крок закриття перетискного клапана #Weigth_step_half_slow_2, а також чи не вимкнений маркер перезапуску умови контролю #reset_check. Маркер перезапуску умови контролю ваги відносно ваги кроку закриття клапана введений у алгоритм з метою забезпечити повторне спрацювання умови розрахунку наступної позиції закриття, а також умови руху перетискного клапана при швидкій зміні ваги розчину у флаконі. А саме запобіганню ситуації коли обрахований наступний крок ваги переходу є на момент обрахунку є вже меншим за вагу розчину у флаконі. Метод скидання даного маркеру описано нижче у алгоритмі.

Надалі при виконанні умови проводиться встановлення змінної #Static_1 в одиницю, яка введена для функції реалізації ввімкнення триггеру обрахунку наступних кроків закриття перетискного клапана. При невиконанні даної умови змінна #Static_1 встановлюється в нуль.

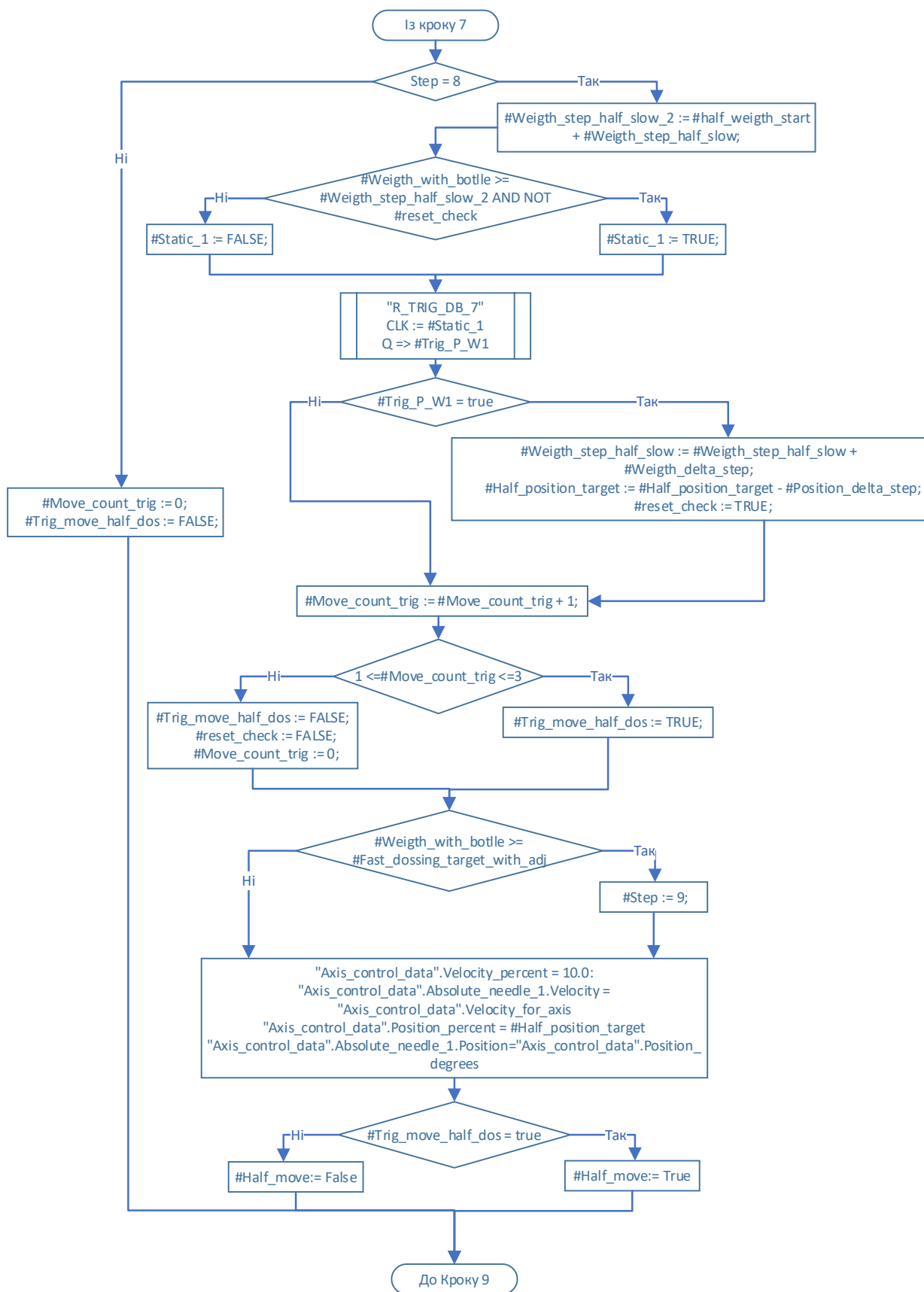


Рис 3.1.6 розроблений алгоритм для кроку 8 при дозуванні розчину із введенням напів-точного етапу дозування

Проводиться виклик функції формування сигналу ввімкнення булової змінної в одиницю на один цикл контролера "R_TRIG_DB_7", значення вихідного сигналу присвоюється у змінну #Trig_P_W1.

Наступною операцією є контроль наявності одиничного тригера #Trig_P_W1 для розрахунку ваги кроку що додається до ваги контролю зменшення відкриття перетискного клапана #Weigth_step_half_slow:

#Weigth_step_half_slow := #Weigth_step_half_slow + #Weigth_delta_step;

А також проводиться розрахунок позиції переміщення перетискного клапана для напів-точного режиму дозування #Half_position_target :

#Half_position_target := #Half_position_target - #Position_delta_step;

Встановлення у одиницю маркера перезапуску умови контролю #reset_check.

По завершенні віток блоку наявності тригера проводиться обрахунок лічильника що використовується для формування сигналу запиту для переміщення перетискного клапана у напів-точному етапі дозування #Move_count_trig.

#Move_count_trig := #Move_count_trig + 1;

Наступною операцією є блок реалізації імпульсного сигналу для формування запиту для переміщення перетискного клапана у напів-точному етапі дозування. У даному блоці проводиться контроль лічильника формування сигналу запиту для переміщення перетискного клапана у напів-точному етапі дозування #Move_count_trig, а саме чи його значення встановлене у діапазоні від 1 до 3. При справджуванні даної умови проводиться встановлення в одиницю маркеру запиту для переміщення перетискного клапана #Trig_move_half_dos. При невиконанні умови знаходження лічильника у діапазоні значень від 1 до 3 проводиться вимкнення маркеру запиту для переміщення перетискного клапана #Trig_move_half_dos, вимкнення маркеру перезапуску умови контролю #reset_check та обнулення лічильника #Move_count_trig.

Наступною операцією у вітці ж контроль переходу алгоритму на крок 9, тобто проводиться контроль ваги розчину у флаконі #Weigth_with_bottle, а саме чи вага розчину є більше рівною вазі завершення швидкого дозування #Fast_dossing_target_ with_adj. При виконанні даної умови проводиться запис

значення 9 у змінну Step, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі. Алгоритм роботи кроку 8 переривається, та запускається у роботу крок 9 - Контроль ваги відповідно до точки переходу на етап точного дозування;

Якщо ж умова не виконується алгоритмом активується етап надсилання параметрів переміщення перетискного клапана. У ньому проводиться запис у змінну "Axis_control_data".Velocity_percent, яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину, значення швидкості руху що визначено як 10 %. Далі обраховане значення швидкості руху двигуна перетискного клапана записується у змінну "Axis_control_data".Velocity_for_axis та пересилається у змінну "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Velocity, що є вхідним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Розрахована позиція перетискного клапана записується у змінну "Axis_control_data".Position_percent яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах записується у змінну "Axis_control_data".Position_degrees та пересилається у змінну "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position що є вхідним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

Після успішного обрахунку та надсилання параметрів переміщення двигуна перетискного клапана у функцію переміщення проводиться контроль спрацювання маркера #Trig_move_half_dos при наявності якого вмикається маркер запуску руху двигуна на визначену позицію #Half_move, при його вимкненні та відсутності маркер руху #Half_move вимикається.

Повна програма, що реалізує розроблений алгоритм у контролері, подана у Додатку Г.

Розглянуто функціонування модифікованого алгоритму дозування розчину у флакон в межах існуючого методу вагового дозування рідин. Проведено порівняння експериментальних даних, отриманих із експериментальної установки в реальному часі, з результатами моделювання, отриманими на основі

математичної моделі, сформованої відповідно до системи рівнянь (2.1.32). Оцінка відхилень між експериментом і симуляцією дозволяє визначити точність відтворення динаміки процесу та ефективність реалізованого алгоритму для подальшого впровадження в автоматизовані системи дозування.

Отримані результати (див. рис. 3.1.7) демонструють високу відповідність між експериментальними даними та результатами моделювання, що підтверджує адекватність використаної математичної моделі. Зокрема, графік зміни ваги розчину у флаконі вказує на наявність динамічного відхилення між результатами моделювання та експерименту на окремих етапах, однак загальна динаміка процесу відтворена з високою точністю.

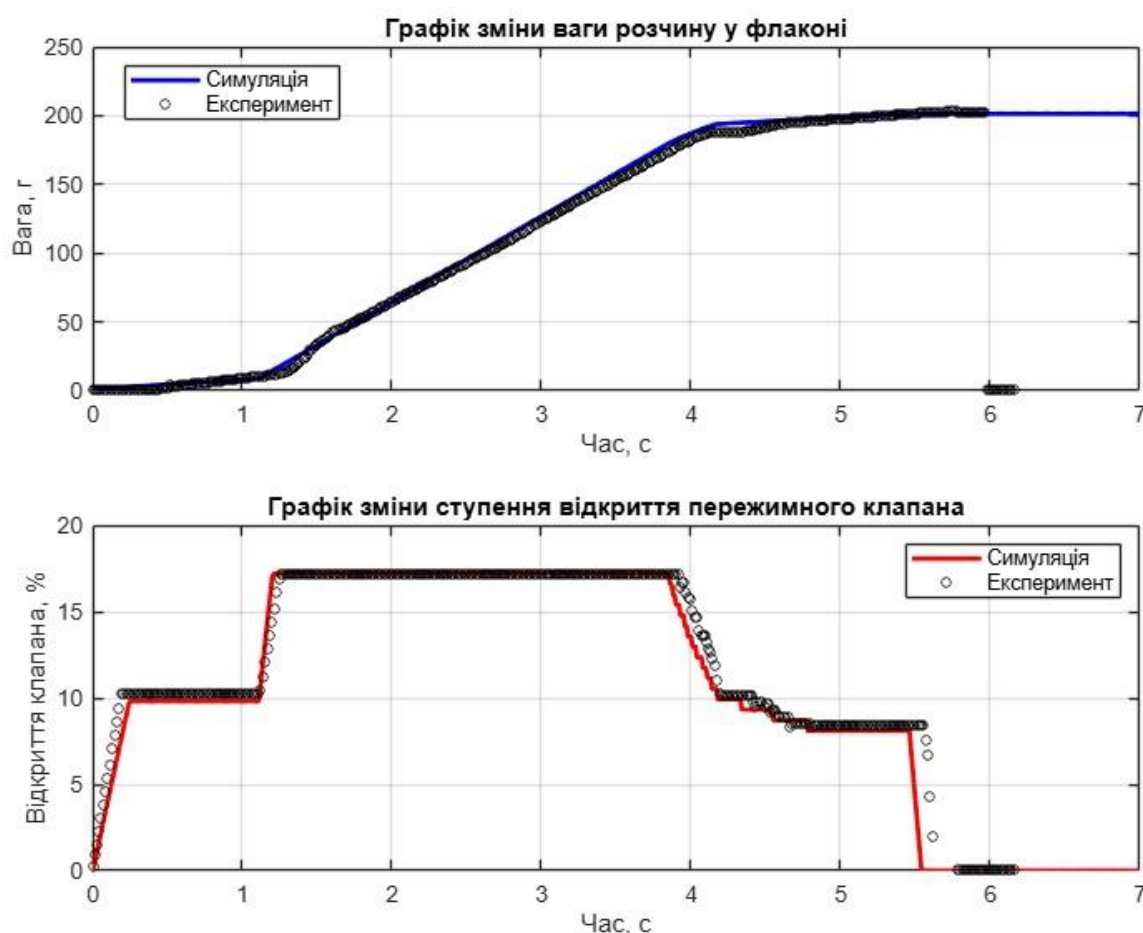


Рис. 3.1.7 Графік перехідних процесів отриманих із експериментальної установки та при моделюванні процесу під час роботи модифікованого існуючого алгоритму дозування

Адекватність розробленої моделі підтверджується отриманими перехідними процесами, оскільки забезпечує високу відповідність між результатами моделювання та експериментальними даними за як динамікою зміни ваги так і за характером зміни траєкторії руху перетискного клапана на додатковому етапі дозування.

Модифікований алгоритм реалізовано в програмі контролера експериментальної установки та виконано серію експериментів для тестування цього алгоритму. Зокрема, виконано наповнення флакона об'ємом 250 мл., 150 мл., та 450 мл. інфузійним розчином. Задане значення маси розчину становить 201 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан рівний 1,2 – 1,1 бар.



Рис. 3.1.8 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон об'ємом 250 мл: 1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – графік зміни ваги розчину

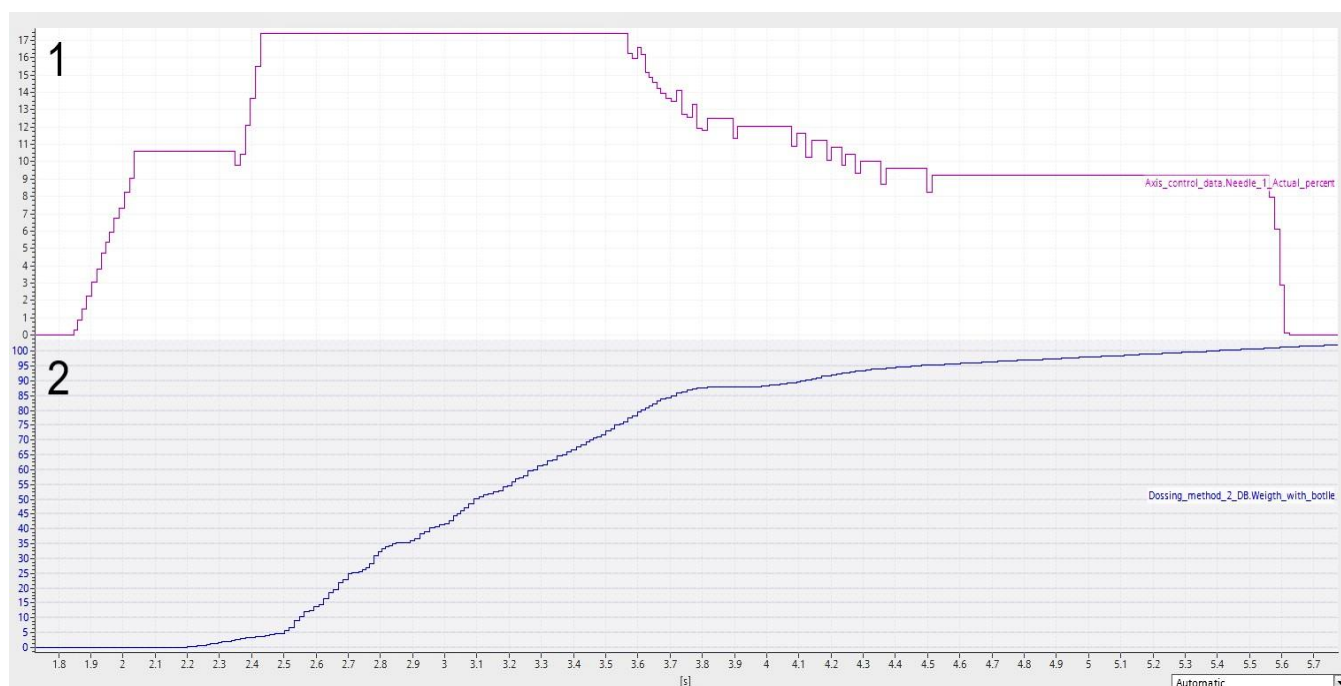


Рис. 3.1.9 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон об'ємом 150 мл: 1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – графік зміни ваги розчину

На рисунку 3.1.9 представлено графіки зміни ваги розчину та ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона об'ємом 150 мл.. Час наповнення флакона склав 3,27 секунди, фактична вага розчину у флаконі після завершення процесу наповнення - 102,0 грам.

На рисунку 3.1.10 представлено графіки зміни ваги розчину та ступеня відкриття перетискного клапана під час наповнення флакона об'ємом 450 мл.. Час наповнення флакона склав 7,305 секунди, фактична вага розчину у флаконі після завершення процесу наповнення - 402,6 грам.

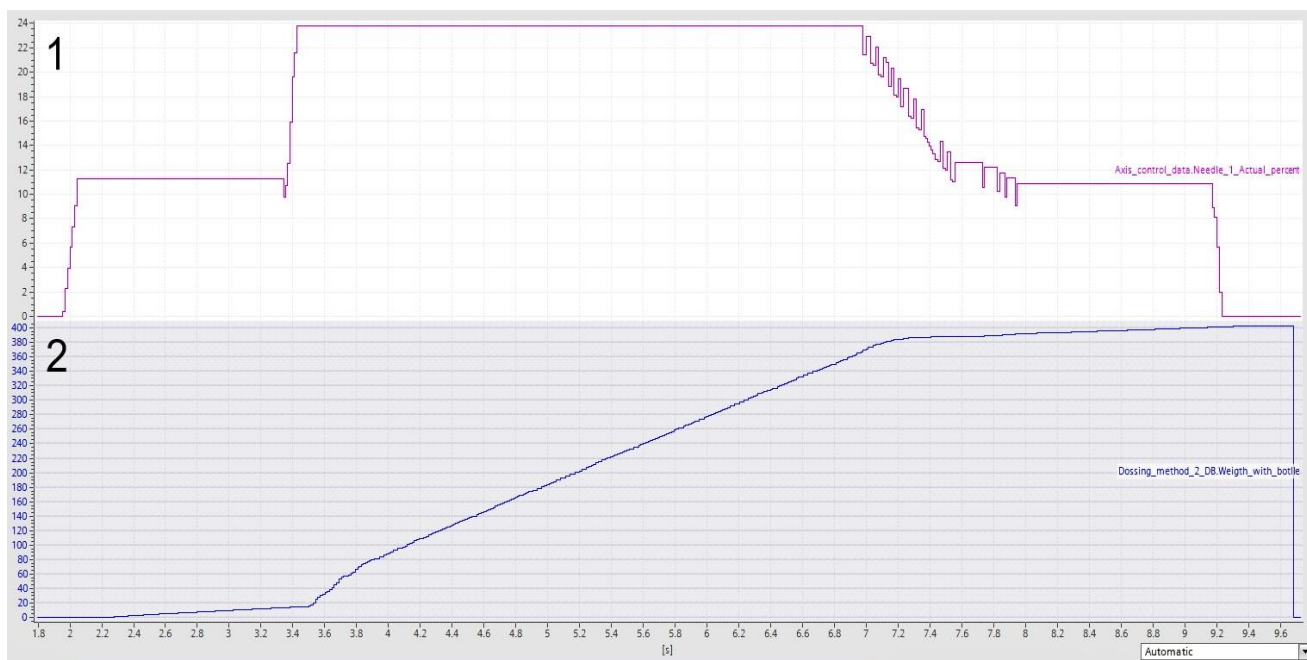


Рис. 3.1.10 Графіки перехідного процесу під час дозування розчину в флакон об'ємом 450 мл: 1 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана, 2 – графік зміни ваги розчину

3.2 Розроблення нового алгоритму керування процесом дозування на основі функції Гауса

Детально проаналізувавши графіки перехідних процесів дозування) бачимо що алгоритми з поетапною зміною ступеня відкриття перетискного клапана мають низку недоліків. Зокрема, це обмеження на тривалість етапу швидкого дозування, обмеження максимального значення ступеня відкриття перетискного клапана внаслідок впливу динамічного напору струменя. Введення етапу напівточного дозування дало можливість дещо зменшити час наповнення флакона при цьому забезпечуючи вимоги до точності дозування. Однак розглядаючи можливості подальшого зменшення часу наповнення тари та усунення вказаних вище недоліків, авторами розроблено новий алгоритм дозування зі змінним ступенем відкриття перетискного клапана під час кожного з етапів.

Для можливості динамічної зміни ваги із згладжуванням впливу сили струменя що діятиме на вагову комірку варто розглянути алгоритм дозування інфузійних лікарських засобі що плавно збільшуватиме ступінь відкривання від початкового значення до точки екстремуму та таким ж плавним чином проводитиме закриття перетискного клапана на завершальній стадії. За виглядом функції першою на думку спадає нормальний закон розподілу або ж закон Гаусса. Даний закон відіграє виключно важливу роль в теорії ймовірностей і займає серед інших законів розподілу особливий стан. Це закон, який найчастіше зустрічається на практиці. Головна особливість, яка виділяє нормальний закон серед інших законів, полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближаються інші закони розподілу. Так, наприклад, велика кількість гарматних пострілів, здійснених в різних умовах, показує, що розсіювання снарядів на площині при пострілі з однієї гармати при встановленому прицілі підлягає нормальному закону. “Універсальність” нормального закону пояснюється тим, що будь-яка випадкова величина, яка є сумою великої кількості окремих числових значень, кожне з яких підпорядковується різним законам розподілу і несуттєво впливає на суму, розподілена майже за нормальним законом.[43, 44]

Функція нормального закону розподілу має вигляд:

$$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3.2.1)$$

Де μ - математичне сподівання, σ^2 – дисперсія випадкової величини.

Виходячи із вигляду функції нормального розподілу вирішено використати її як закон регулювання ступенем відкриття перетискного клапана. Вхідним параметром даної функції (величина x) буде вага що змінюватиметься відповідно до відкриття клапана, математичне сподівання та стандартне відхилення у даному законі регулювання прийматимуться як коефіцієнти що задаватимуть характер кривої функції [65].

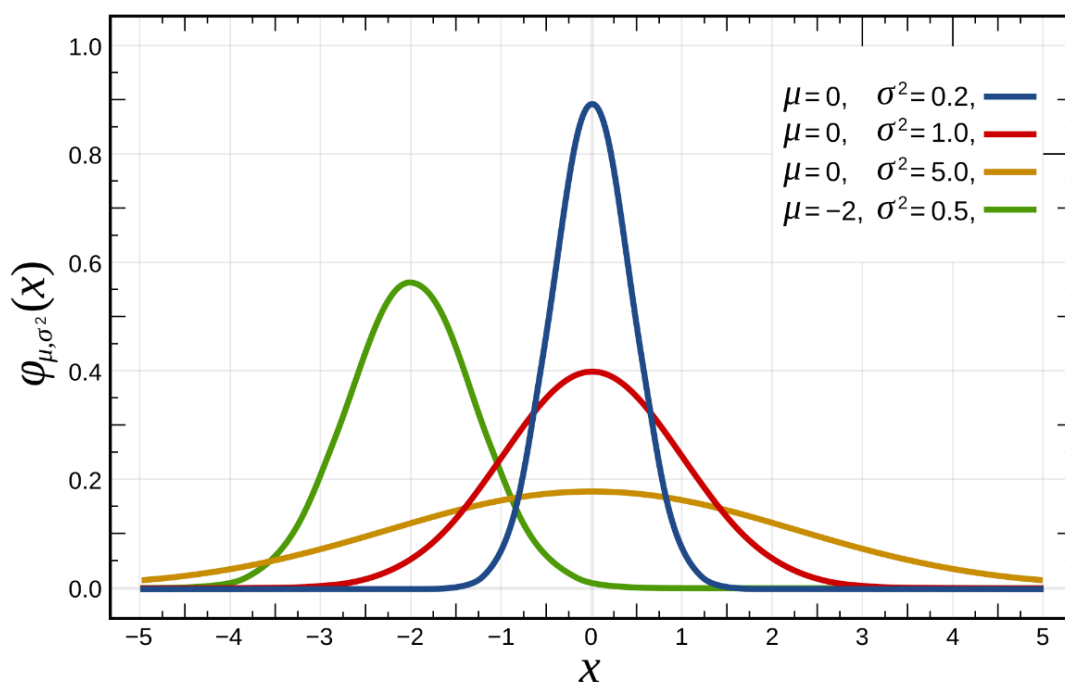


Рис. 3.2.1 Вигляд функції нормального закону розподілу ймовірності в залежності від величини математичного сподівання та дисперсії випадкової величини [45]

Також як додатковий параметр введемо коефіцієнт підсилення k що масштабуватиме величину вихідної функції. Результатом обчислення функції буде позиція відкриття перетискного клапана у відсотках. Наведемо вигляд застосованої кривої ступеня відкриття клапана:

$$l(x) = k \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) \right), \quad (3.2.2)$$

Експериментальним шляхом знайдено початкові значення визначених коефіцієнтів для формату дозування 201 г., які становлять : $k = 2750\%$, $\mu = 98$ г, $\sigma = 58$ г.

Теоретичний вигляд функції зміни ступеня відкриття перетискного клапана при знайдених початкових параметрах зображений на рисунку 3.2.2.

Тож схема процесу дозування флакону для нового алгоритму дозування зображена на рисунку 3.2.3.

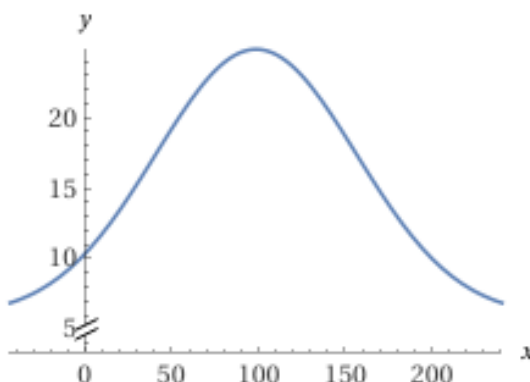


Рис 3.2.2 Вигляд функції зміни ступеня відкриття перетискного клапана при знайдених початкових параметрах

Схема дозування інфузійного розчину у флакон складається з кількох послідовних етапів, які забезпечують точне наповнення тари відповідно до заданих параметрів:

- Зважування пустої тари протягом заданого часу – визначення початкової маси флакона перед наповненням.
- Прийняття рішення про тару – система аналізує отриману масу та приймає рішення про подальше дозування.
- Єдиний етап дозування флакону за знайденою функцією відкривання перетискного клапана (3.2.2);
- Зважування наповненої тари протягом заданого часу – контрольна перевірка маси флакона після дозування.
- Прийняття рішення про вагу здозованого розчину – оцінка відповідності маси дозованого розчину заданим параметрам.

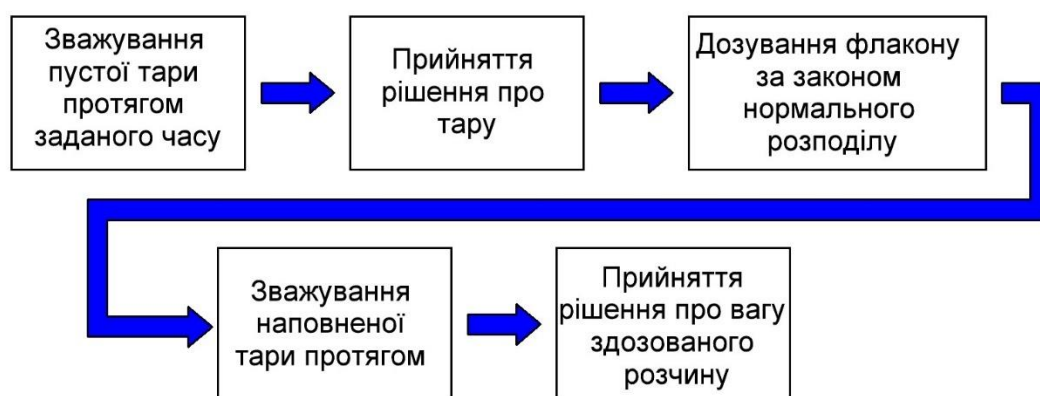


Рис. 3.2.3 Схема процесу наповнення флакону нового алгоритму дозування

Для реалізації нового алгоритму розроблено новий функціональний блок під назвою «smooth dosing [FB4]», який містить модифіковані кроки існуючого алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів.

У розробленій програмі модифікованого алгоритму дозування реалізовано 6 основних кроків та додаткові функції які будуть описані під час розгляду алгоритму загалом. Такими кроками є:

- Крок 0 (Step 0) – Очікування запуску роботи алгоритму дозування;
- Крок 1 (Step 1) – Зважування тари та прийняття рішення про тару;
- Крок 2 (Step 2) – Єдиний етап дозування флакону за функцією відкривання перетискного клапана (3.2.2);
- Крок 3 (Step 3) – Формування сигналів для закриття клапана дозування;
- Крок 4 (Step 4) – прийняття рішення про вагу здозованого розчину;
- Крок 20 (Step 20) – Пошук точок відкриття та закриття клапана дозування.

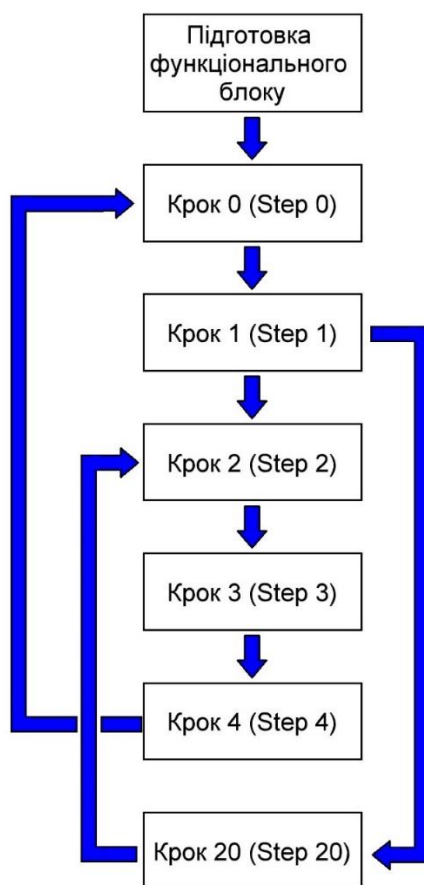


Рис. 3.2.4 Схема переходу між кроками нового алгоритму дозування інфузійних лікарських засобів.

На рисунку 3.2.4 наведено схему переходу між кроками нового алгоритму дозування що реалізований на рівнянні (3.2.2). Всі кроки виконуються у вказаній послідовності, порівнюючи дану схему із схемами переходу кроків існуючого та модифікованого алгоритму бачимо що кількість кроків значно зменшилась.

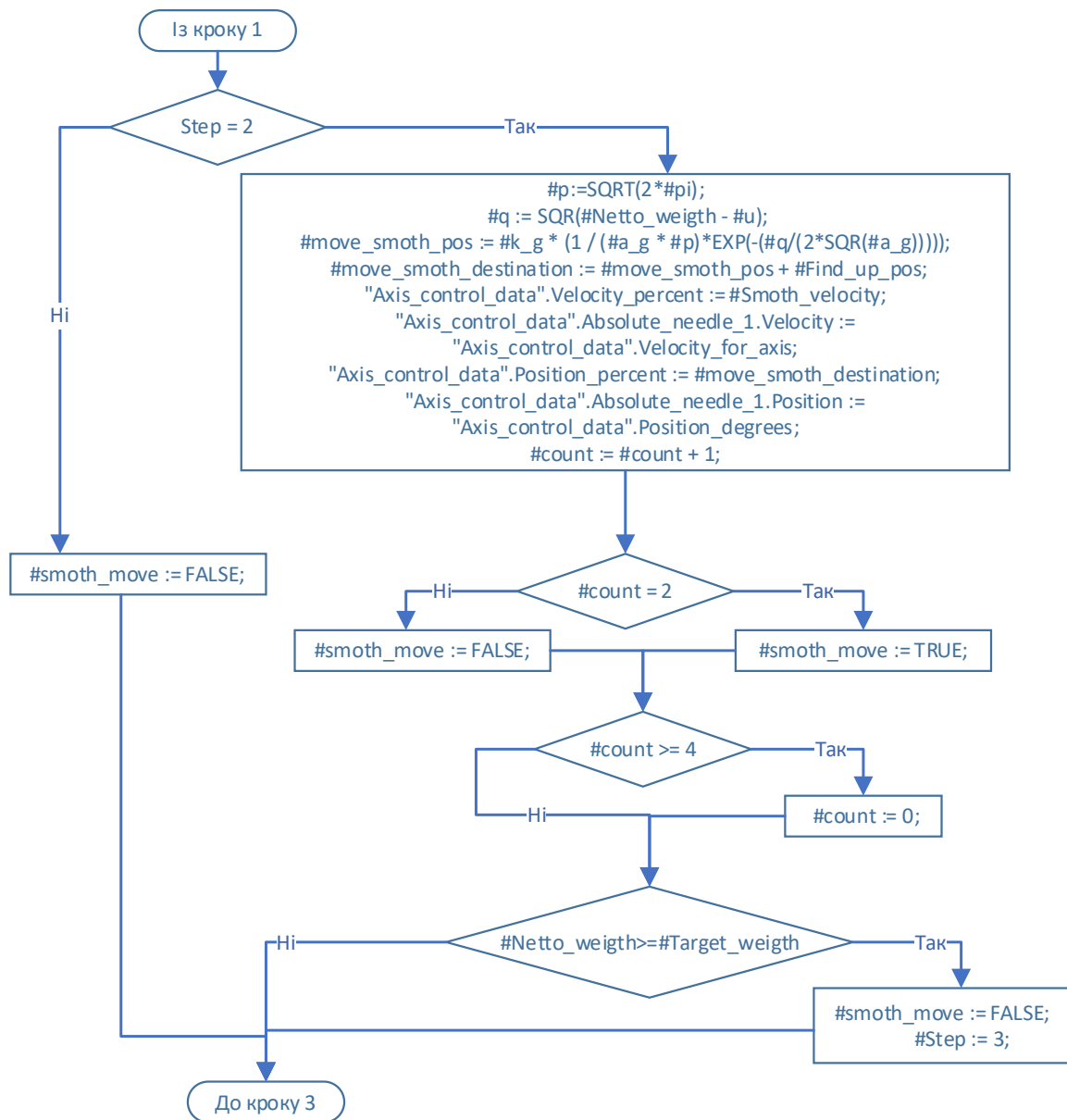


Рис. 3.2.5 алгоритм кроку 2 – Єдиного етапу дозування флакону за функцією відкривання перетискного клапана (2)

У цьому алгоритмі також існує лише 2 схеми переходу між кроками, першою схемою є відгалуження від послідовного виконання кроків для знаходження параметрів відкривання та закривання перетискного клапана у кроці 20 та повернення алгоритму до кроку 2 для послідовного виконання всіх кроків до кроку 4 та повернення алгоритму до кроку 0 – очікування запуску дозування

наступної тари. Іншою ж схемою роботи алгоритму є послідовне проходження кроків починаючи від кроку 0 до кроку 4 та відповідно повернення на початок алгоритму до точки очікування наступного дозування, вже при знайдених параметрах відкривання та закривання перетискного клапана.

На рисунку 3.2.5 зображено розроблений алгоритм кроку 2 – Єдиного етапу дозування флакону за знайденою функцією відкривання перетискного клапана (3.2.2);

Крок 2 нового алгоритму вмикається у роботу одразу після виконання кроку 1 - Зважування тари та прийняття рішення про тару. На початку алгоритму кроку відбувається перевірка умови переходу на крок алгоритму, а саме встановлення значення 2 у змінній Step, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі.

При невиконанні даної умови проводиться примусове вимкнення маркера запиту руху для перетискного клапана #smoth_move для даного методу дозування. При справджуванні умови запускається каскад наступних умов то операцій.

Першочергово проводиться обрахунок позиції перетискного клапана згідного рівняння (2), що записується у змінну #move_smoth_pos.

```
#p:=SQRT(2*#pi);
```

```
#q := SQR(#Netto_weigth - #u);
```

```
#move_smoth_pos := #k_g * (1 / (#a_g * #p)*EXP(-(#q/(2*SQR(#a_g)))));
```

Після завершення розрахунку поточної позиції відкриття перетискного клапана для поточного значення ваги проводиться корекція відкриття даної позиції із врахуванням позиції відкриття клапана Find_up_pos знайденої у кроці 20. Тож кінцева позиція для переміщення #move_smoth_destination, буде розрахована наступним чином:

```
#move_smoth_destination := #move_smoth_pos + #Find_up_pos;
```

Надалі активується етап надсилання параметрів переміщення перетискного клапана. У ньому проводиться запис у змінну "Axis_control_data".Velocity_percent, яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення швидкості із відсотків у оберти на хвилину, значення швидкості руху для даного методу #Smoth_velocity. Далі обраховане значення швидкості руху двигуна перетискного

клапана записується у змінну "Axis_control_data".Velocity_for_axis та пересилається у змінну "Axis_control_data". Absolute_needle_1.Velocity, що є вхідним параметром швидкості руху двигуна для функції абсолютного переміщення.

Розрахована позиція перетискного клапана записується у змінну "Axis_control_data".Position_percent яка є вхідною для функції FC2 «Scaling_real» перерахунку значення позиції двигуна із відсотків у градуси. Отримане значення позиції відкривання перетискного клапана у градусах записується у змінну "Axis_control_data".Position_degrees та пересилається у змінну "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position що є вхідним параметром позиції зміщення валу двигуна для функції абсолютного переміщення осі.

Після успішного надсилання параметрів переміщення перетискного клапана запускається в роботу блок формування імпульсного сигналу який вмикатиме маркер запиту руху для перетискного клапана #smoth_move для даного методу дозування частотою один раз на чотири цикли контролера. Для його реалізації введено змінну #count, у яку накопичувальний лічильник під час проходження одного циклу контролера у яку додаватиметься одиниця:

$$\#count := \#count + 1;$$

Налі проводиться контроль умови чи у змінній лічильника #count значення рівне 2, якщо умова справджується маркер запиту руху для перетискного клапана #smoth_move встановлюється в одиницю, якщо ж ні значення даного маркера встановлюється у нуль.

Наступним під кроком алгоритму кроку 2 є перевірка умови чи у змінній лічильника #count значення рівне 4, якщо ж ця умова справджується то проводиться обнулення змінної лічильника #count, якщо ж умова не виконується даний крок пропускається.

Останнім під кроком є блок контролю досягнення поточної ваги розчину у флаконі #Netto_weigth завданню дозування #Target_weigth. Для реалізації цього блоку в алгоритмі використано умову чи поточна вага розчину у флаконі #Netto_weigth є більша рівною завданню дозування #Target_weigth. При виконанні

даної умови відбувається примусове вимкнення маркера запиту руху перетискного клапана `#smoth_move`, та перехід до кроку 3 шляхом запису у `Step`, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі значення 3.

Крок 3 алгоритму зображений на рисунку 3.2.6. На початку алгоритму кроку відбувається перевірка умови переходу на крок алгоритму, а саме встановлення значення 3 у змінній `Step`, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі або чи справджується умова програмного запобіжника, а саме якщо на кроці 2 було досягнуто заданої ваги розчину, або ж чи відбулось нажаття кнопки зупинки дозування `#Stop`. При виконанні даної умови вмикається блок надсилання параметрів руху для перетискного клапана, аналогічний описаному у попередньому кроці, швидкість переміщення клапана становить 100%, ступінь відкриття 0%.

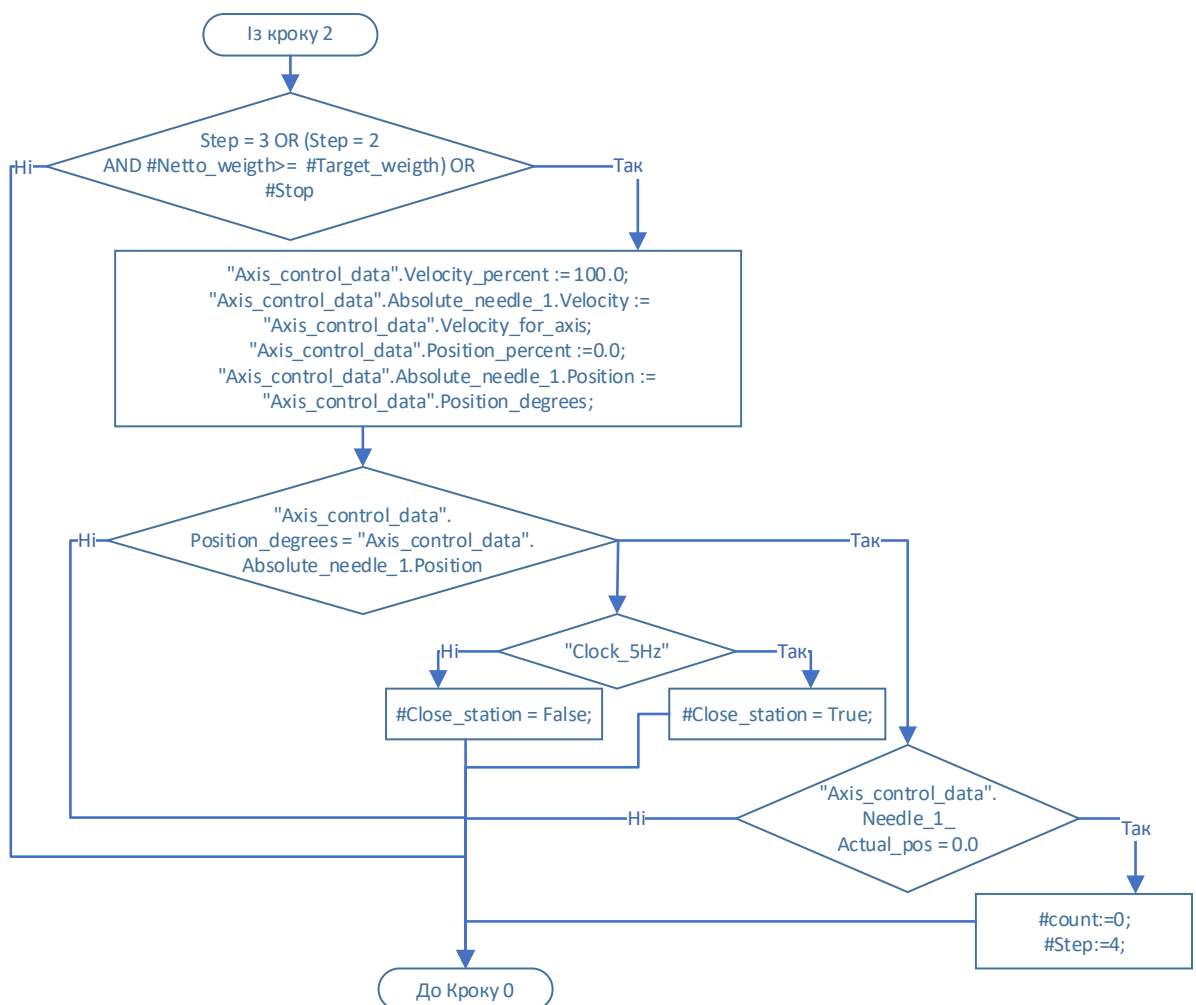


Рис. 3.2.6 алгоритм кроку 3 – Формування сигналів для закриття клапана дозування

Після успішного надсилання параметрів переміщення двигуна перетискного клапана у функцію переміщення проводиться контроль спрацювання маркера "Clock_5 Hz" при наявності якого вмикається маркер запуску руху двигуна на позицію закривання.

Також паралельною віткою проводиться контроль досягнення позиції закриття клапана, а саме чи поточна позиція перетискного клапана "Axis_control_data".Needle_1_Actual_pos рівна нулю. Якщо дана умова справдується проводиться обнулення лічильника #count та реалізовується перехід до наступного кроку 4.

Наступний кроком алгоритму 10 є крок запуску таймеру про прийняття рішення про дозований розчин, вимкнення таймеру обрахунку часу дозування (див. рис. 3.2.7).

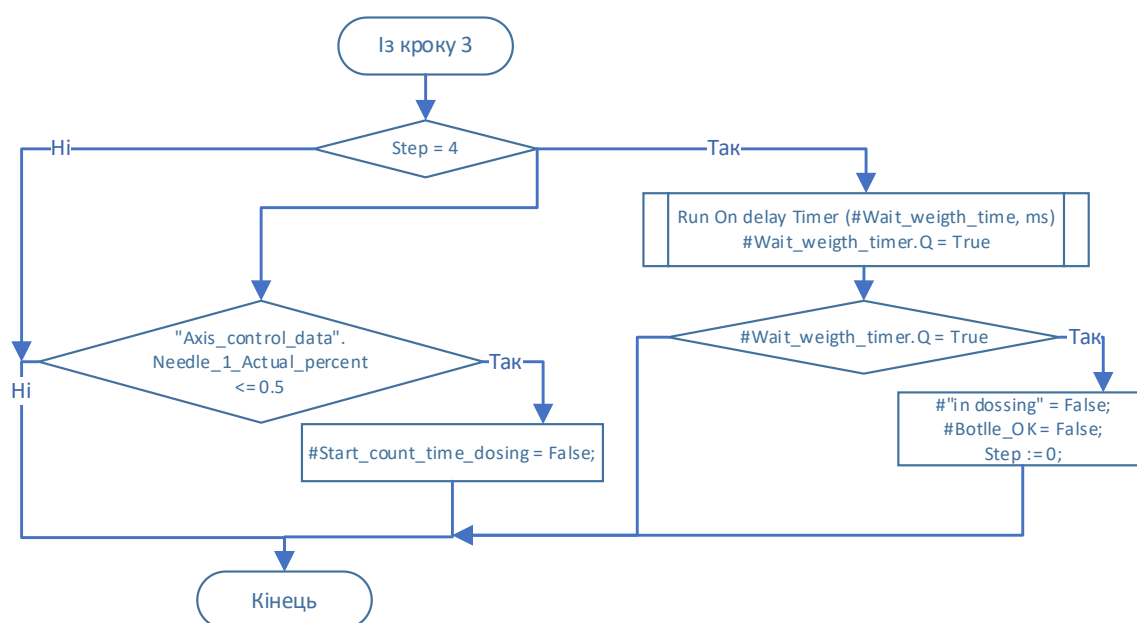


Рис. 3.2.7 алгоритм кроку 4 – прийняття рішення про вагу здозованого розчину

Першим етапом алгоритму є перевірка умови чи система перебуває на 4 кроці, при справджуванні умови відбувається запуску таймера із затримкою на ввімкнення на час #Wait_weigth_time, що вказаний у рецепті на панелі керування, при завершенні відліку часу вмикається маркер #Wait_weigth_timer.Q.

Надалі алгоритм проводить контроль ввімкнення маркеру таймера #Wait_weigth_timer.Q, при його спрацювання проводиться скидання маркеру

відображення процесу дозування #"*in dossing*", скидання маркеру прийнятності тари для дозування #*Bottle_OK*, а також реалізація переходу до кроку 0 алгоритму. Паралельною ж віткою також реалізована умова контролю актуальної позиції перетискного клапана "*Axis_control_data*".*Needle_1_Actual_percent* менше 0,5 % відкриття. Виконання даної умови вимикає маркер запуску таймера відліку часу дозування #*Start_count_time_dosing*.

Повна програма функціонування даного алгоритму у контролері наведена у Додатку Г

Проведено експериментальні дослідження розробленого нового алгоритму та порівняння результатів експерименту з результатами моделювання за моделлю (2.1.32). Аналіз дозволяє оцінити точність відтворення процесу та ефективність алгоритму в умовах реального функціонування системи.

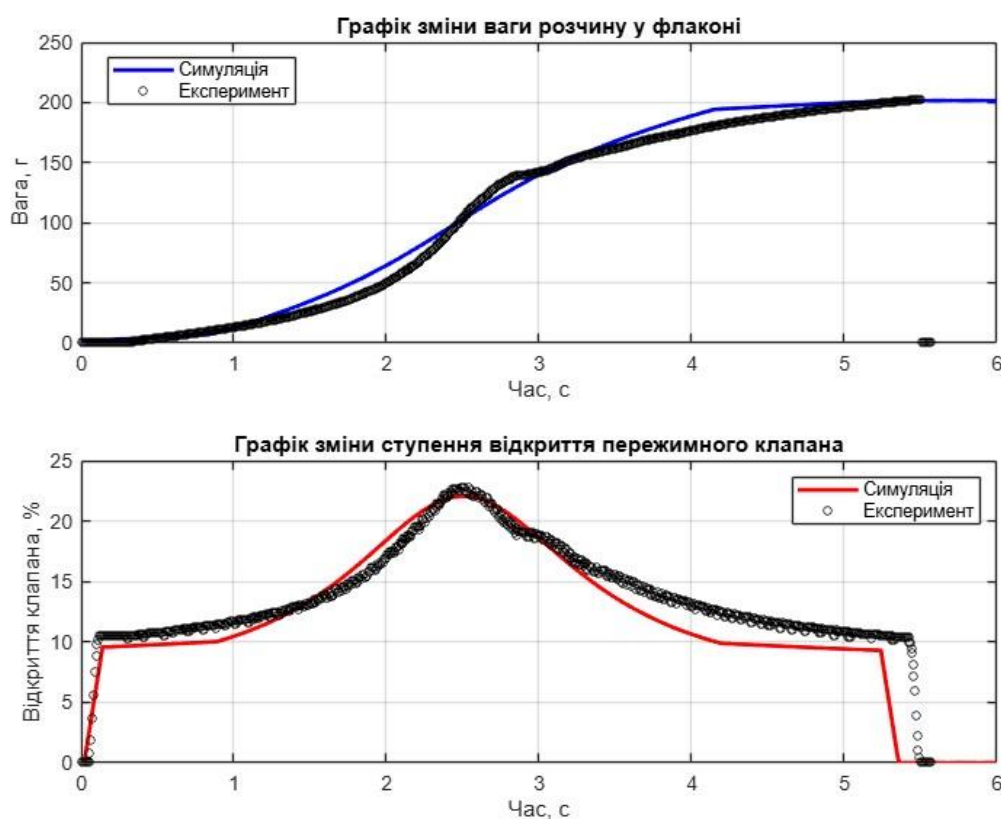


Рис. 3.2.8 Порівняння перехідних процесів отриманих експериментально та за результатами моделювання зв умовизастосування нового алгоритму дозування

Результати тестування нового алгоритму свідчать про його ефективність, оскільки спостерігається задовільна відповідність між модельованими та

експериментальними даними як за профілем зміни ваги, так і за траєкторією керування перетискного клапаном. Це підтверджує можливість практичного застосування алгоритму в реальних умовах дозування.

Провівши випробовування нового алгоритму дозування із використанням функції нормального розподілу та із знайденими початковими параметрами отримано графіки зміни ваги та ступеня відкриття перетискного клапана у часі при дозуванні у флакон об'ємом 250 мл інфузійного розчину що зображені на рисунку 3.2.9. Завдання для алгоритму дозування становить 201 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар, час дозування становить 4,767 секунди, фактична вага розчину у флаконі - 203,0 грамм.

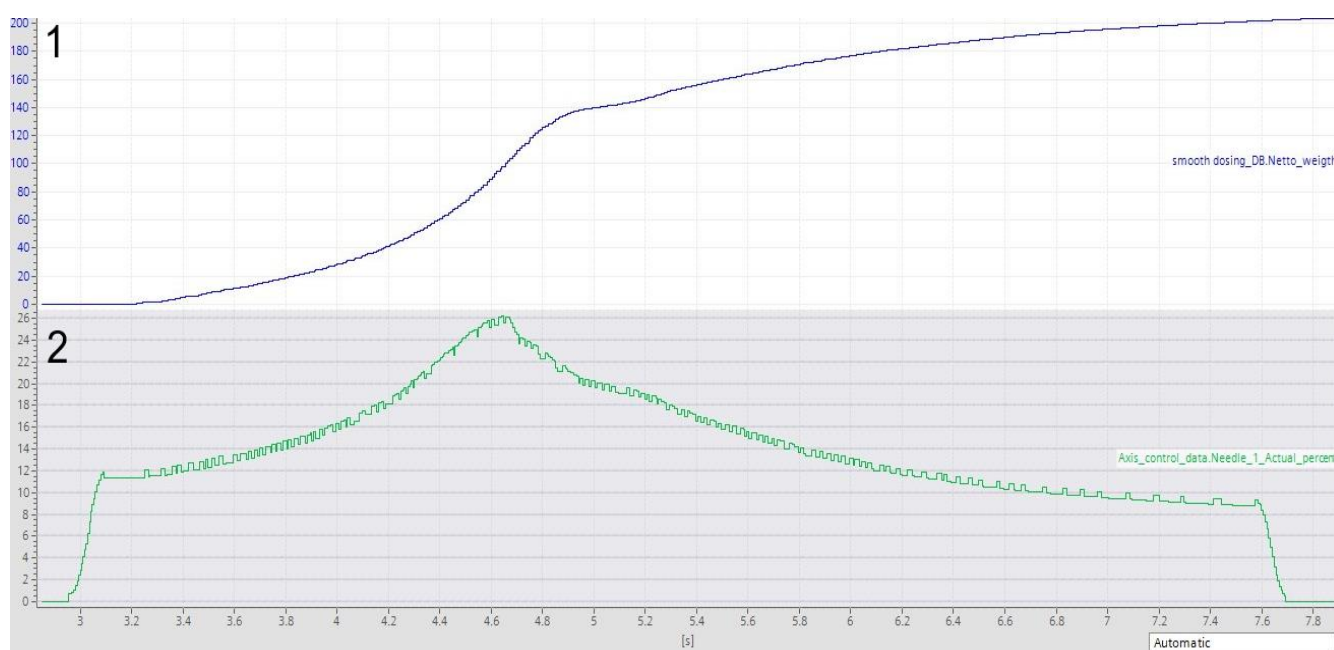


Рис. 3.2.9. Графіки зміни ваги інфузійного розчину в флаконі об'ємом 250 мл., в процесі дозування: 1 – графік зміни ваги розчину, 2 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана

На графіку зміни ступеня відкриття перетискного клапана (крива 2 на рисунку 3.2.9.) бачимо що він відповідає функції нормального закону розподілу. Також змінився характер зміни ваги, бачимо що новий алгоритм повністю усуває різкі зміни ваги, наявні у попередніх алгоритмах при зміні етапу дозування. Також варто зазначити що при використанні нового алгоритму при початкових налаштуваннях вдалось збільшити ступінь відкривання перетискного клапана незначно зменшивши точність дозування та скоротивши час дозування.

Також проведено випробовування цього алгоритму та отримано графіки зміни ваги та ступеня відкриття перетискного клапана у часі при дозуванні інфузійного розчину у флакони об'ємом 150 мл та 450 мл (див. рис. 3.2.10 та 3.2.11).

Завдання для алгоритму дозування становить 101 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар, час дозування становив 3,536 секунди, фактична вага розчину у флаконів 102,9 грами.

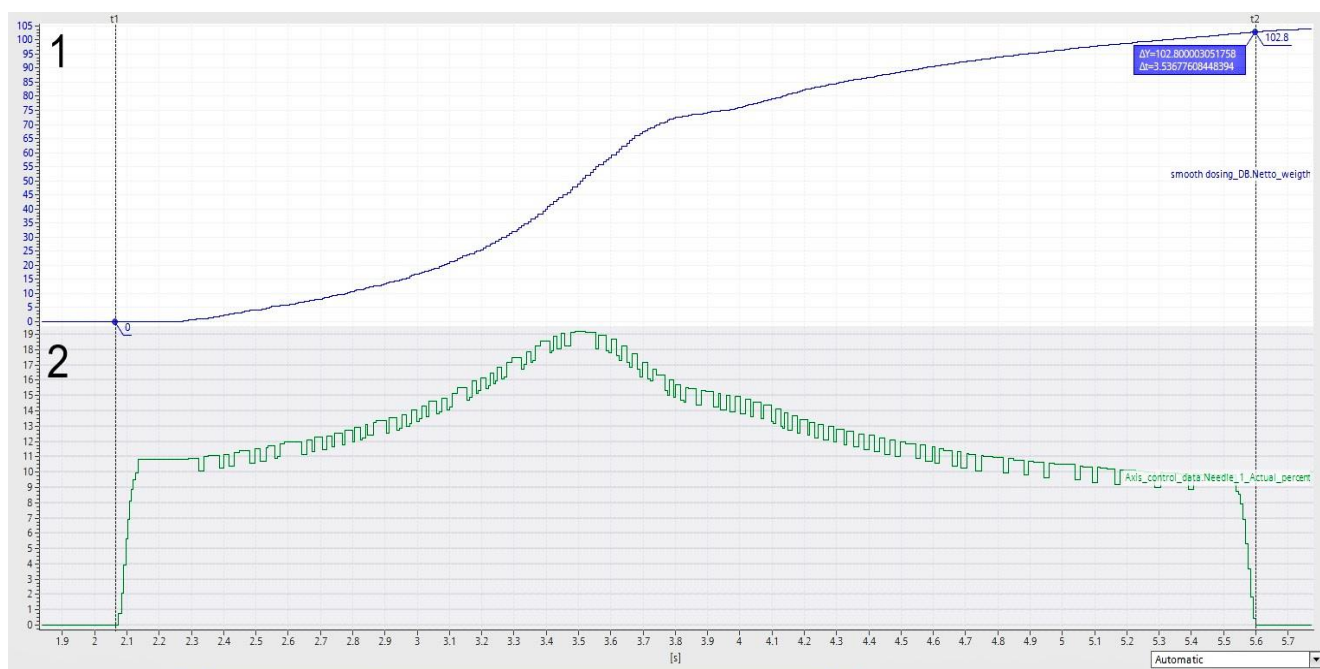


Рис. 3.2.10. Графіки зміни ваги інфузійного розчину в флаконі об'ємом 150 мл. під час дозування: 1 – графік зміни ваги розчину, 2 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана

Завдання для алгоритму дозування становить 401 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар, час дозування становив 5,964 секунди, фактична вага розчину у флаконів 403,5 грами.

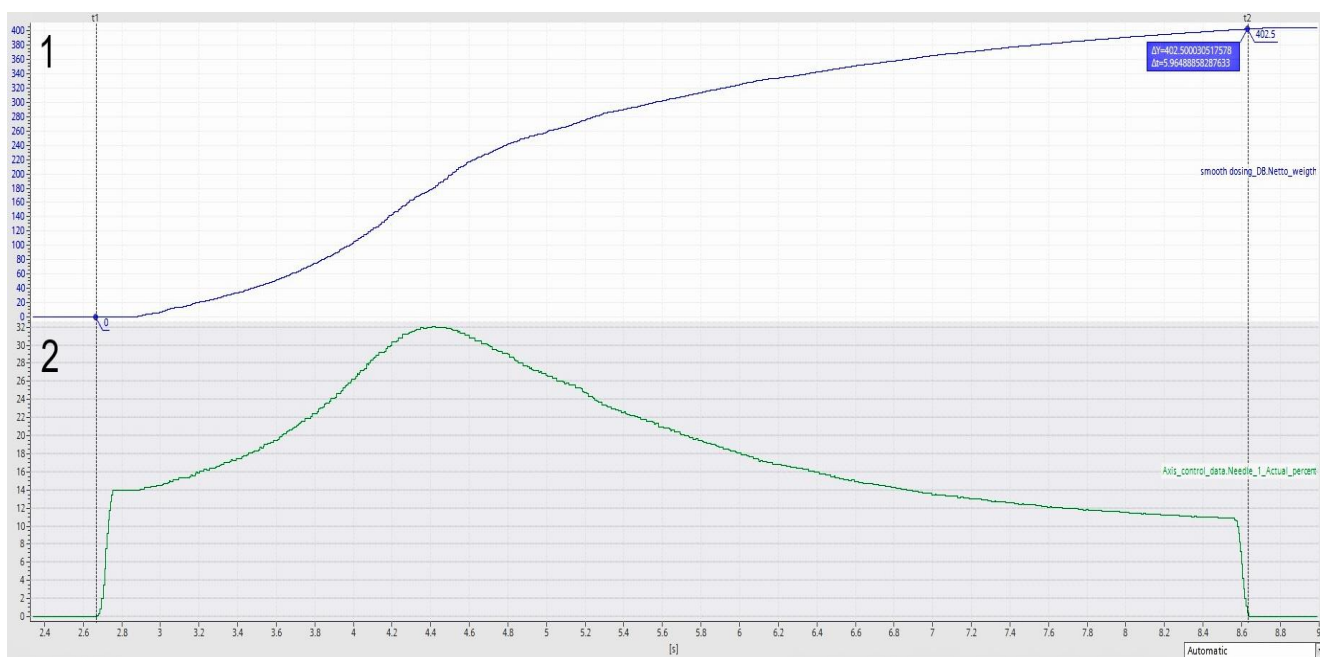


Рис. 3.2.11. Графіки зміни ваги інфузійного розчину в флаконі об'ємом 450 мл., в процесі дозування 1 – графік зміни ваги розчину, 2 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана

3.3 Розроблення модифікацій нового алгоритму керування процесом дозування на основі асиметричної функції Гауса.

Аналіз отриманих графіків зміни маси розчину у флаконі та ступеня відкриття перетискного клапана свідчить про те, що найбільш тривалою фазою процесу дозування є інтервал, що охоплює область від екстремального положення клапана до його закриття. З метою скорочення тривалості цього етапу було прийнято рішення щодо модифікації алгоритму дозування шляхом впровадження асиметричної функції нормального розподілу. Зокрема, до досягнення точки μ (визначеної у грамах відповідно до рівняння (2)) використовується функція з параметрами підсилення k_0 та стандартного відхилення σ_0 , тоді як після проходження цієї точки застосовується функція з альтернативними параметрами k_1 та σ_1 . Такий підхід дозволяє гнучко змінювати профіль відкривання клапана до і після точки максимуму, що сприяє оптимізації тривалості дозування без втрати точності.

Для реалізації описаних вище змін, було виконано зміну існуючих алгоритмів методу дозування за функцією відкривання перетискного клапана (2). Дані зміни направленні на збереження функціоналу роботи алгоритму із однією функцією нормального розподілу та із роботою алгоритму двох функцій нормального розподілу з різними параметрами.

Змінений алгоритм кроку 2 - дозування за функцією відкривання перетискного клапана (2) зображений на рисунку 3.3.1.

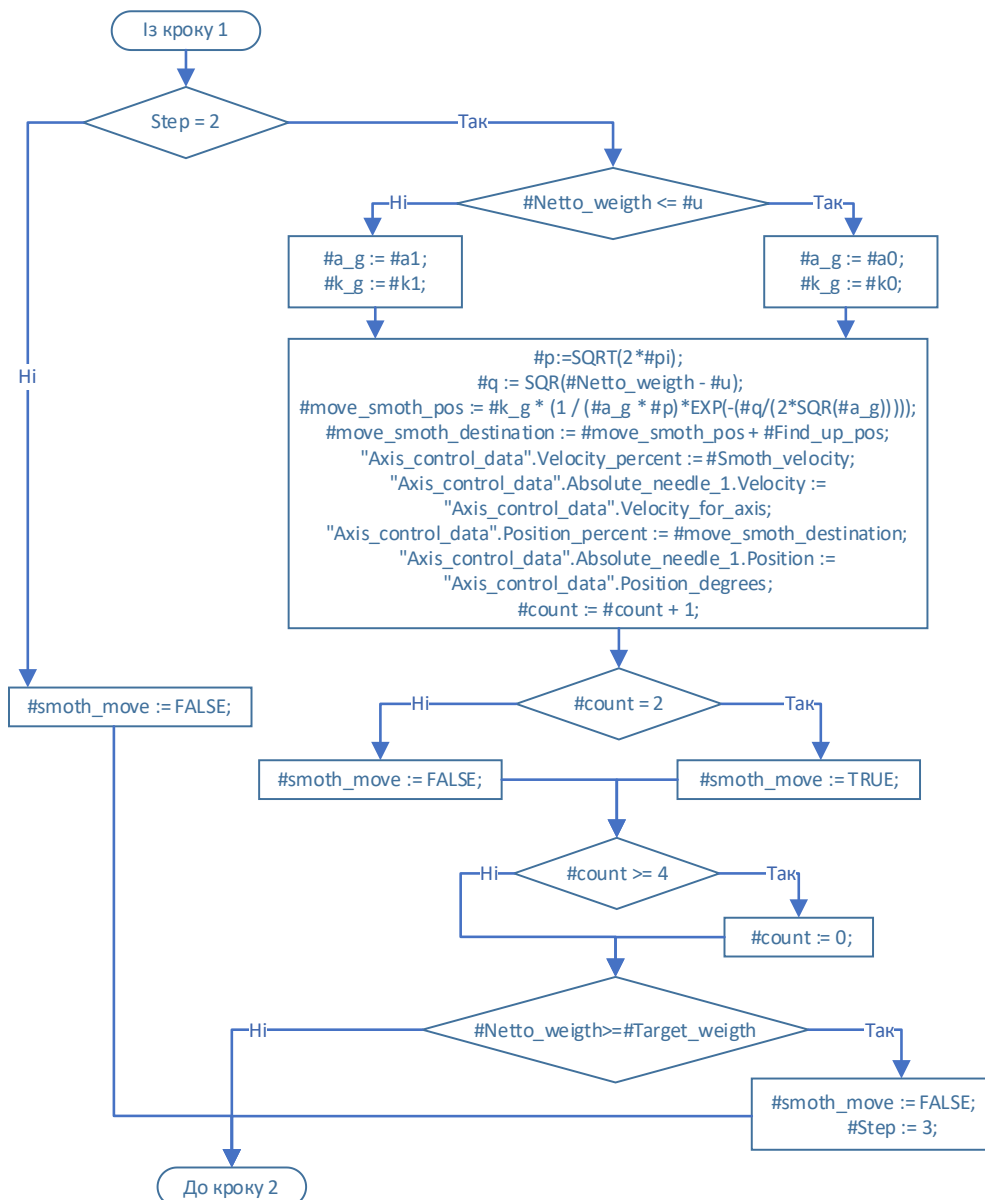


Рис. 3.3.1 Модифікований алгоритм кроку 2 – Єдиного етапу дозування флакону за функцією Гауса відкривання перетискного клапана

У зміненому алгоритмі додано умову вибору параметрів для функції нормального розподілу згідно рівняння (2). Після умови знаходження на кроці 2 а саме встановлення значення 2 у змінній Step, що відображає кроки проходження алгоритму у програмі проводиться умова чи поточна вага розчину у флаконі #Netto_weight менше рівне параметра #u_g. При виконанні даної умови проводиться присвоєння параметрів для першого рівняння (2):

```
#a_g := #a0;
```

```
#k_g := #k0;
```

При невиконанні ж умови проводиться присвоєння параметрів для другого рівняння (2):

```
#a_g := #a1;
```

```
#k_g := #k1;
```

Присвоєння параметрів #a0, #k0, #a1 та #k1, проводиться в наступному алгоритмі автоматичного розрахунку коефіцієнтів підсилення #k0 та #k1 за вказаним значенням максимального відкриття перетискного клапана, який розроблений для полегшення знаходження робочих параметрів дозування (див. рис. 3.3.2).

Даний алгоритм працює за межами послідовності кроків, яка виконується під час запуску алгоритмів дозування розчину у флакон. Він викликається лише при наявності маркера його запуску #Find_param.

На початку у алгоритмі проводиться виклик функції формування сигналу ввімкнення булової змінної в одиницю на один цикл контролера "R_TRIG_DB_6", при появі позитивного фронту сигналу для маркера запуску пошуку параметрів #Find_param, значення вихідного сигналу присвоюється у змінну #Trig_Find_param.

Після успішної обробки попередньої функції, проводиться перевірка умови вибору кількості кривих для обрахунку параметрів #Curve_num. Якщо ж параметр #Curve_num є рівним одиниці то проводиться перезапис параметру #a0 у #a1, тим самим вирівнюючи дані параметри до єдиного та для формування позиції відкриття перетискного клапана для однієї кривої. Якщо ж дана вимога не виконується, то

параметри у змінних #a0 та #a1 можуть набувати відмінних значень, а відповідно і проводити формування вихідного сигналу по двох функціях нормального розподілу із різними параметрами.

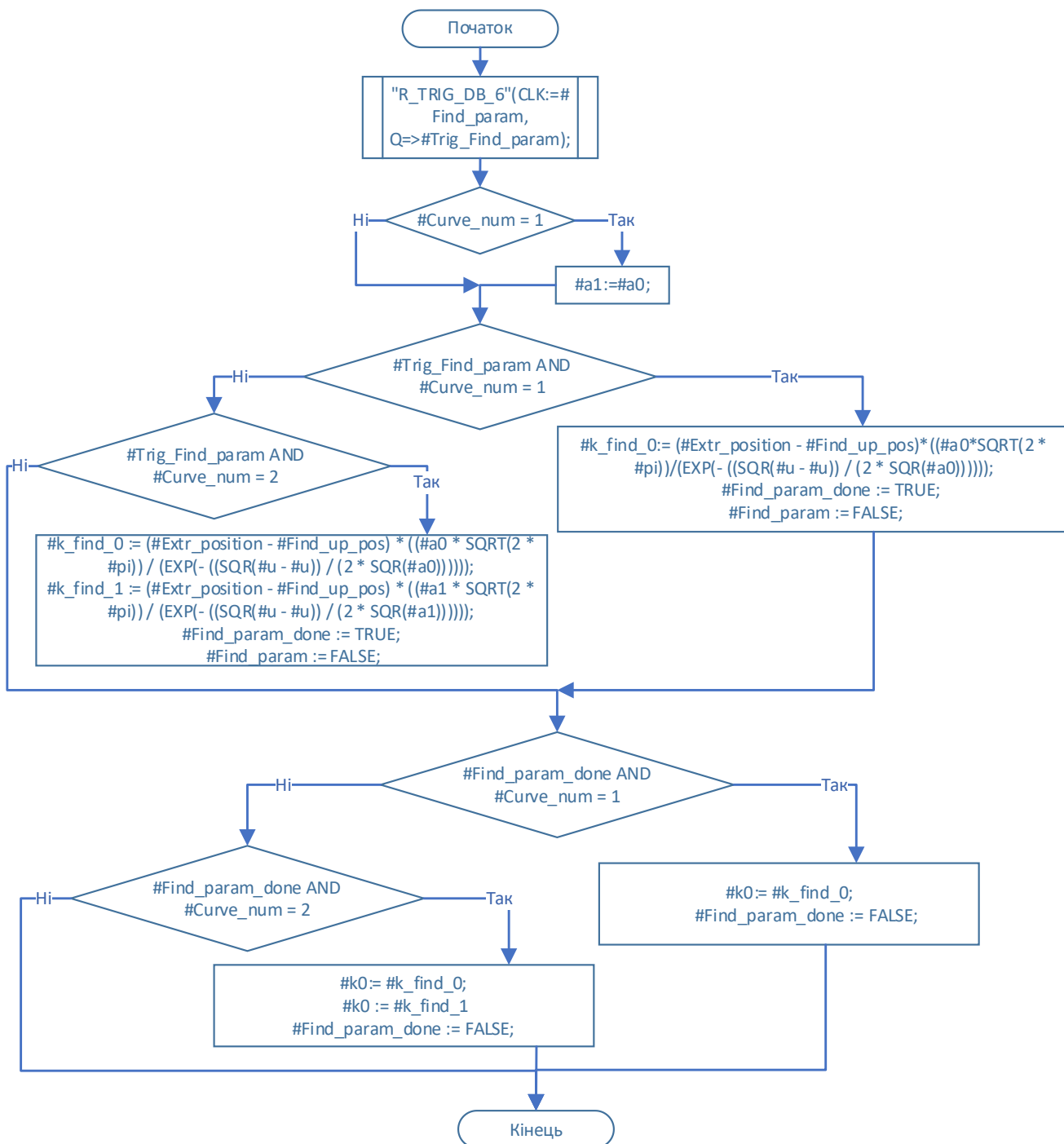


Рис. 3.3.2 Алгоритм пошуку коефіцієнтів підсилення для кривих нормального розподілу із вказанням максимального відкриття перетискного клапана.

Надалі проводиться контроль наявності ввімкнення булевої змінної в одиницю на один цикл контролера #Trig_Find_param та чи обрано для розрахунку лише одну криву, а саме чи у змінній #Curve_num вказано одиницю.

Якщо ж ці дві умови виконуються запускається алгоритм розрахунку коефіцієнта підсилення :

$$\#k_find_0 := (\#Extr_position - \#Find_up_pos) * ((\#a0 * \sqrt{2 * \#pi}) / (\exp(-((\sqrt{\#u - \#u}) / (2 * \sqrt{\#a0})))));$$

Де #Extr_position – змінна яка відповідає за значення максимального відкриття перетискного клапана та задається у чисельній формі із панелі керування оператором, чи інженером під час наладки процесу дозування.

Після успішного обрахунку коефіцієнта підсилення #k_find_0 для однієї кривої проводиться встановлення маркера завершення обрахунку #Find_param_done в одиницю, а також вимкнення маркера запуску пошуку параметрів #Find_param.

Якщо ж вище описана умова не виконується проводиться запуск перевірки наступної умови, а саме чи ввімкнена булева змінна в одиницю на один цикл контролера #Trig_Find_param та чи обрано для розрахунку параметрів дві криві, а саме чи у змінній #Curve_num вказано двійку.

Якщо дано умова справджується запускається алгоритм розрахунку коефіцієнтів підсилення:

$$\#k_find_0 := (\#Extr_position - \#Find_up_pos) * ((\#a0 * \sqrt{2 * \#pi}) / (\exp(-((\sqrt{\#u - \#u}) / (2 * \sqrt{\#a0})))));$$

$$\#k_find_1 := (\#Extr_position - \#Find_up_pos) * ((\#a1 * \sqrt{2 * \#pi}) / (\exp(-((\sqrt{\#u - \#u}) / (2 * \sqrt{\#a1})))));$$

Після успішного обрахунку коефіцієнтів підсилення #k_find_0 та #k_find_1 для однієї кривої проводиться встановлення маркера завершення обрахунку #Find_param_done в одиницю, а також вимкнення маркера запуску пошуку параметрів #Find_param.

Успішно отримавши коефіцієнти підсилення у тимчасових змінних потрібно провести їх надсилання у змінні таких ж коефіцієнтів підсилення що

використовуються у рівнянні (2) кроку 2 алгоритму дозування. Для цього проводимо контроль завершення обрахунку умовою чи змінна `#Find_param_done` встановлена в одиницю, а також чи обрано для розрахунку лише одну криву, а саме чи у змінній `#Curve_num` вказано одиницю. При виконанні вище описаної умови проводить перезапис знайденого коефіцієнта підсилення `#k_find_0` у змінну `#k0` та проводиться вимкнення змінної `#Find_param_done`.

Якщо ж маркер завершення обрахунку `#Find_param_done` встановлений в одиницю, а також кількість параметрів для функцій нормального розподілу обрано у змінній `#Curve_num` вказано як два проводиться розрахунок параметрів для двох функцій нормального розподілу із різними параметрами. При виконанні вище описаної умови проводить перезапис знайденого коефіцієнта підсилення `#k_find_0` у змінну `#k0`, коефіцієнт підсилення для іншої функції `#k_find_1` перезаписується у змінну `#k1` також проводиться вимкнення змінної `#Find_param_done` на чому виконання алгоритму завершується.

Також реалізовано додатковий алгоритм для теоретичного відображення вигляду функції дозування як для однієї функції нормального розподілу, або ж для двох функцій нормального розподілу із різними параметрами (див. рис. 3.3.3). Отриманий теоретичний вигляд функції, а саме зміни ступеня відкриття перетискного клапана у залежності від зміни ваги, дозволить оцінити встановлені поточні параметри дозування.

Розрахунок теоретичного вигляду кривої розпочинається з наявності маркера початку розрахунку `#Calculate` при його наявності проводиться перехід до умови перевірки чи алгоритм не завершив попередній розрахунок, а саме чи параметр `#Calculate_step` – симульоване значення ваги, є більше рівне завданню дозування `#Target_weight` плюс одиниця. При виконанні даної умови проводиться обнулення змінної `#Calculate_position_base` – значення теоретичного відкриття перетискного клапана при поточній вазі розчину у флаконі, а також проводиться обнулення змінної `#Calculate_step`.

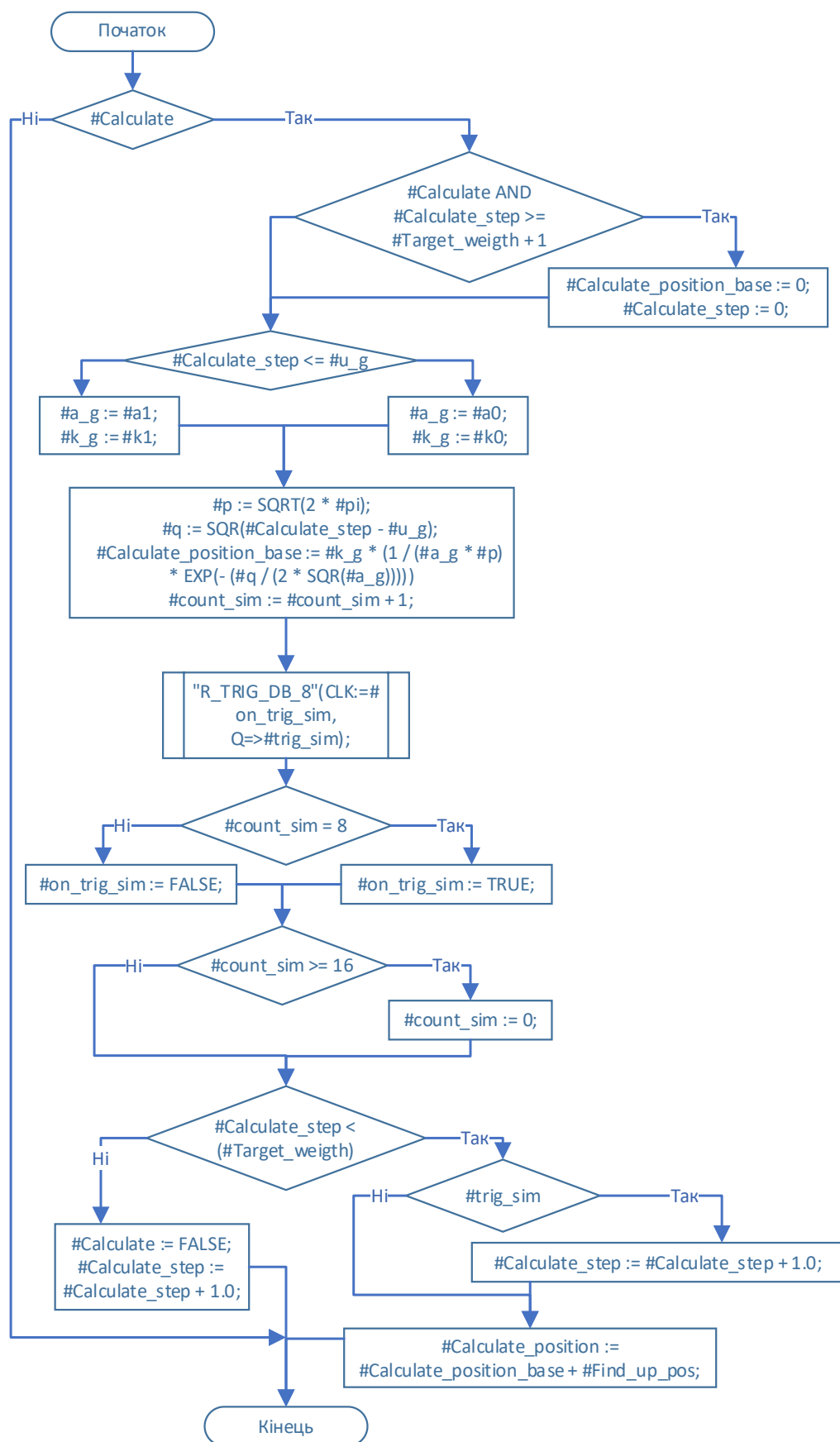


Рис. 3.3.3 Алгоритм теоретичного відображення вигляду функції дозування для функції нормального розподілу

Наступним етапом алгоритму є блок застосування параметрів для функцій нормального розподілу та його розрахунку аналогічний алгоритму зображеному на рисунку . 3.3.1, а також запускається обрахунок накопичувального лічильника для зміни теоретичної ваги розчину у флаконі. У змінну `#count_sim` кожного циклу контролера проводиться додавання одиниці.

Надалі проводиться виклик функції формування сигналу ввімкнення булової змінної в одиницю на один цикл контролера "R_TRIG_DB_8", при появі позитивного фронту сигналу для маркера пошуку теоретичних значень відкриття перетискного клапана `#on_trig_sim`, значення вихідного сигналу присвоюється у змінну `#trig_sim`.

Наступним блоком виконання алгоритму є блок формування сигналу періодичного ввімкнення маркера `#on_trig_sim` та обрахунку зміни теоретичної ваги у флаконі для забезпечення розрахунку теоретичної позиції відкриття перетискного клапана. Викликається умова перевірки досягнення накопичувального лічильника у змінній `#count_sim` значення 8. При виконанні даної умови проводиться встановлення маркера пошуку теоретичних значень відкриття перетискного клапана `#on_trig_sim` у одиницю. При невиконанні умови відбувається вимкнення маркера пошуку теоретичних значень відкриття перетискного клапана `#on_trig_sim`. Наступною умовою алгоритму є перевірка досягнення значення накопичувального лічильника у змінній `#count_sim` значення 16, для його обнулення та повторного запуску обрахунку.

У останньому блоці алгоритму проводиться контроль недосягнення симульованої теоретичної ваги розчину заданому значенню, а саме чи змінна `#Calculate_step` є меншою ніж завдання дозування `#Target_weigth`. При виконанні даної умови при наявності тригера `#trig_sim` проводиться збільшення симульованої ваги розчину на одиницю для наступного розрахунку позиції перетискного клапана. Якщо ж умова не виконується проводиться вимикання маркера розрахунку `#Calculate`, та проводиться присвоєння останнього значення теоретичної ваги розчину :

$$\#Calculate_step := \#Calculate_step + 1.0;$$

Результатом виконання даного алгоритму є теоретичний вигляд кривої залежності ваги розчину у флаконі до ступеня відкриття прежимного клапана (див. рис. 3.3.4) Повна програма функціонування алгоритмів у контролері наведена у Додатку Г

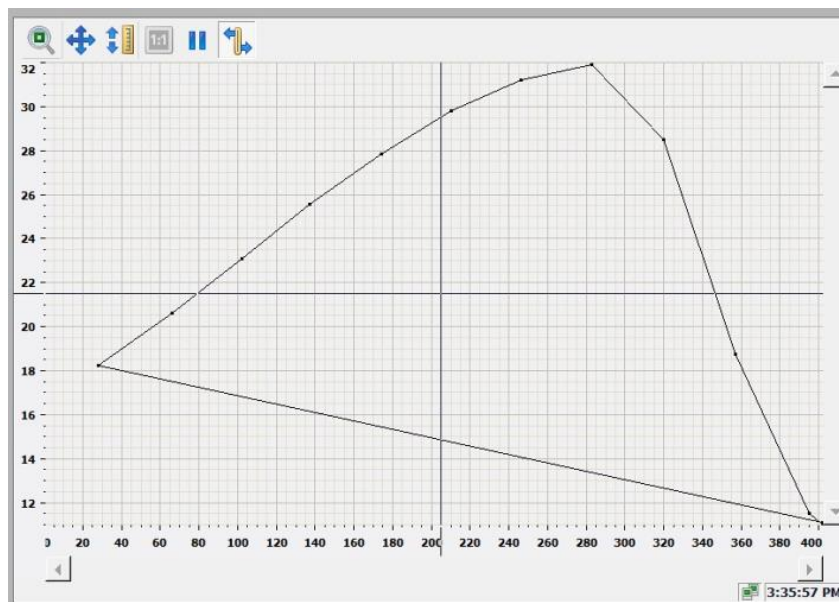


Рис. 3.3.4 Вікно відтворення кривої залежності ступеня відкриття клапана від ваги розчину у флаконі

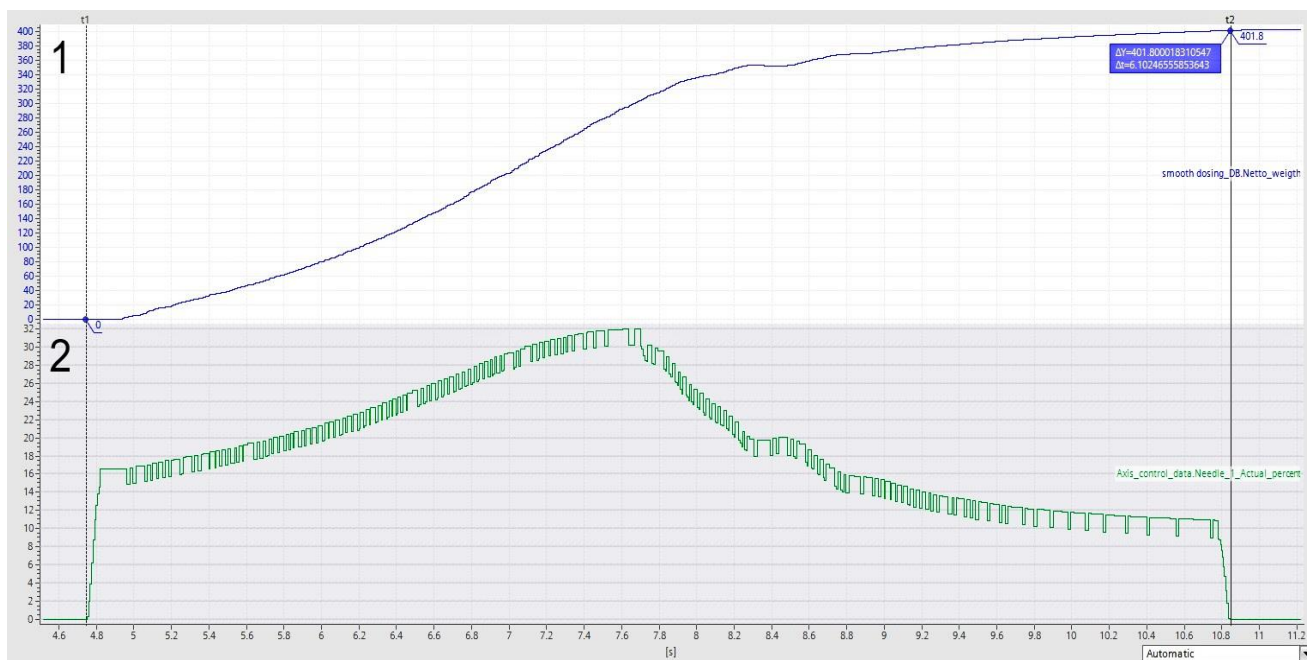


Рис. 3.3.5 Графіки зміни ваги інфузійного розчину в флаконі об'ємом 450 мл., в процесі дозування 1 – графік зміни ваги розчину, 2 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана

Провівши випробовування модифікованого алгоритму дозування із використанням двох функції нормального розподілу та із знайденими початковими параметрами отримано графіки зміни ваги та ступеня відкриття перетискного клапана у часі при дозуванні у флакон об'ємом 450 мл інфузійного розчину що зображені на рисунку 3.3.5. Завдання для алгоритму дозування становить 401 г., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар, час дозування становив 6,102 секунди, фактична вага розчину у флаконів 402,2 грами.

Також проведено випробовування даного алгоритму та отримано графіки зміни ваги та ступеня відкриття перетискного клапана у часі при дозуванні у флакони об'ємом 250 мл та 150 мл інфузійного розчину (див. рис. 3.3.6 та 3.3.7).

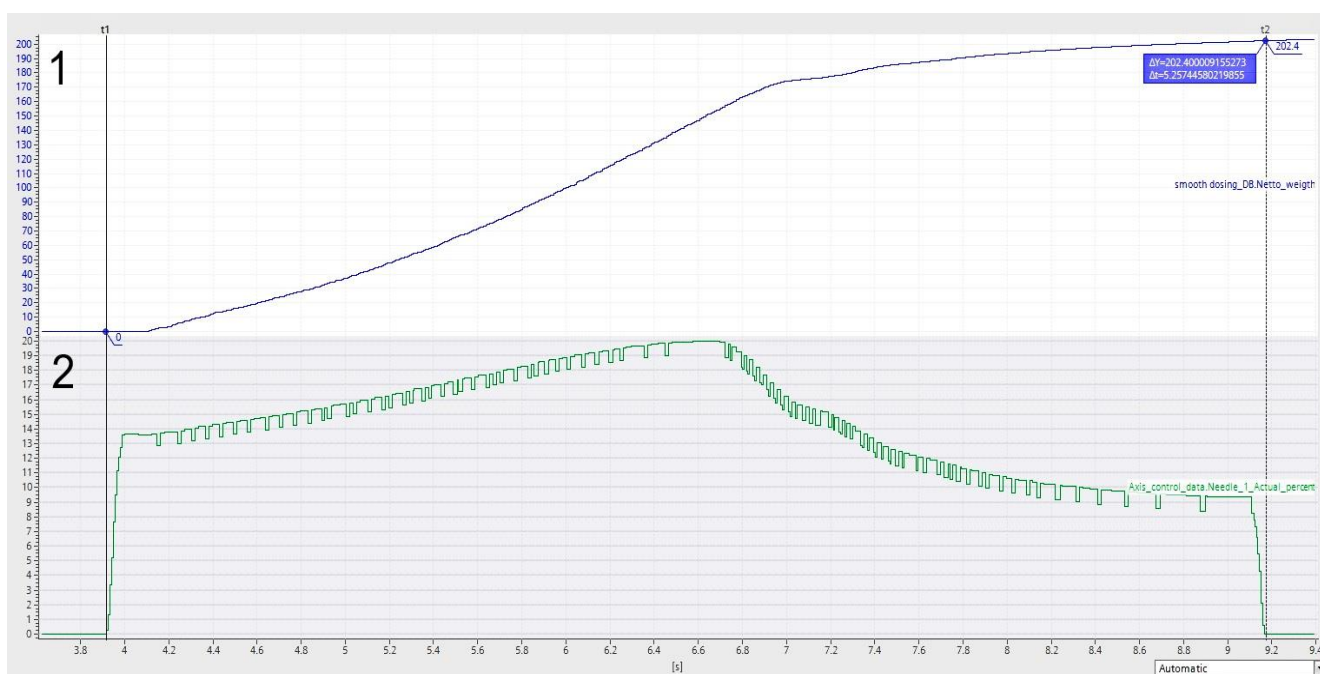


Рис. 3.3.6. Графіки зміни ваги інфузійного розчину в флаконі об'ємом 250 мл., в процесі дозування 1 – графік зміни ваги розчину, 2 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана

Завдання для алгоритму дозування становить 201 г. для флакона об'ємом 250 мл., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар, час дозування становив 5,009 секунди, фактична вага розчину у флаконів 202,3 грами.

Завдання для алгоритму дозування становить 101 г. для флакона об'ємом 150 мл., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар, час дозування становив 3,148 секунди, фактична вага розчину у флаконів 101,8 грами.

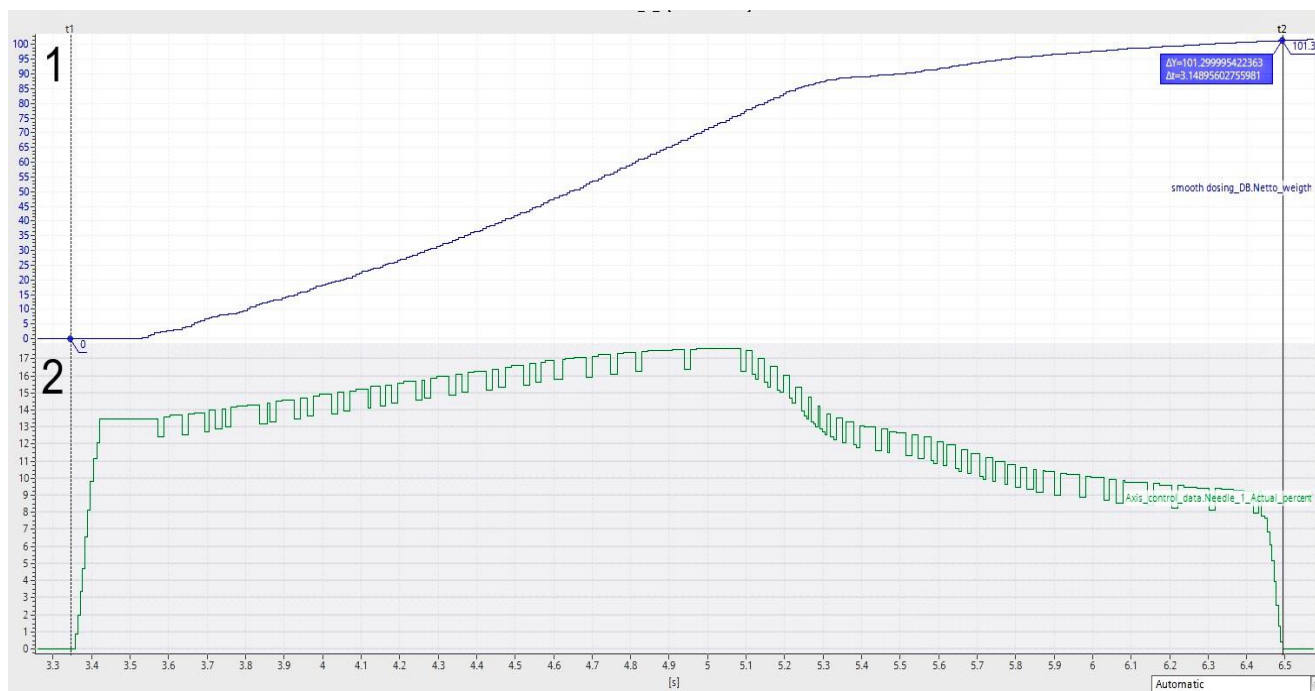


Рис. 3.3.7. Графіки зміни ваги інфузійного розчину в флаконі об'ємом 150 мл., в процесі дозування: 1 – графік зміни ваги розчину, 2 – графік зміни ступеня відкриття перетискного клапана

Проаналізувавши результати, отримані при роботі алгоритму дозування із використанням симетричної функції Гауса, та порівнявши їх із даними отриманими при використанні алгоритму дозування з асиметричною функцією дозування на основі рівняння Гауса, встановлено, що застосування останнього алгоритму покращує точність дозування розчинів у флакон без значного збільшення часу дозування.

То ж для формату флакону 450 мл, точність дозування покращено: кінцева вага становить 402,2 грам порівняно 403,9 грами для алгоритму на основі симетричної кривої Гауса. При цьому час дозування дещо зріс: від 5,964 секунди, до 6,102 секунди для алгоритму на основі симетричної кривої Гауса.

Для формату флакону 150 мл підвищено точність дозування (вага 101,8 грам порівняно з 102,9 грам) а також зменшено час дозування (для алгоритму із симетричною функцією Гауса 3,536 секунди, а для алгоритму із несиметричною функцією Гауса – 3,148 секунди).

Отже, застосування модифікованого алгоритму з асиметричною функцією Гауса дозволило покращити точність дозування для всіх форматів флаконів. При цьому час дозування залишився на прийнятному рівні, без критичного його збільшення. Це підтверджує ефективність запропонованого підходу для оптимізації процесу дозування.

3.4 Проведення експериментальних досліджень алгоритмів дозування та їх порівняння.

Для перевірки роботи алгоритмів дозування визначення їх ефективності, точності та швидкодії було виконано експериментальні дослідження усіх чотирьох на розробленій лабораторній установці.

З метою формалізації вимог до точності та швидкості дозування, для подальшого використання в системах керування, запропоновано комплексний інтегральний критерій якості процесу дозування який представлений у наступному вигляді:

$$I_q = k_m \left(\frac{\int_0^{T_{\text{нап}}} Q_m(t) - M_{\text{зад}}}{\Delta m_{\text{max}}} \right) + k_T \left(\frac{T_{\text{нап}}}{T_e} \right), \quad (3.4.1)$$

Де $\int_0^{T_{\text{нап}}} Q_m(t)$ – вага здозованого розчину, $M_{\text{зад}}$ – задана вага дозування, Δm_{max} – допустиме граничне відхилення маси, $T_{\text{нап}}$ – фактична тривалість процесу дозування, T_e – еталонний час дозування, що відповідає часу дозування при застосуванні початково алгоритму дозування на основі ступінчатої функції з трьома етапами, k_m та k_T – вагові коефіцієнти, які дозволяють змінювати вагу точності дозування та часу наповнення тари при обчисленні інтегрального критерію.

Запропонований критерій дозволяє здійснювати кількісну оцінку ефективності алгоритмів дозування в умовах варіативних технологічних вимог, зокрема для різних форматів флаконів і властивостей рідин. Його структура забезпечує масштабованість до широкого спектра виробничих сценаріїв та дозволяє інтегрувати критерій у процедури адаптивної оптимізації.

Під час досліджень було проведено 10 послідовних дозувань із такими встановленими параметрами: завдання для алгоритмів дозування становить 401 г., 201 г. та 101 г. відповідно для флаконі об'ємом 450 мл., 250 мл. та 150 мл., тиск розчину на вході у перетискний клапан становив 1,2 – 1,1 бар. Отримані дані представлено у таблицях нижче.

У таблиці 3.4.1 наведено результати експериментальних досліджень алгоритмів дозування для формату флакона 450 мл.

Таблиця 3.4.1

Результати експериментальних досліджень алгоритмів дозування для формату флакона 450 мл.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Первинний алгоритм дозування із трьома етапами (переддозування, швидке дозування, точне дозування)										
Вага, г	402,6	402,6	402,6	402,6	402,5	402,5	402,4	402,6	402,5	402,6
Час, с	8,084	8,3	8,23	8,083	8,179	8,322	8,359	8,339	8,26	8,239
Удосконалений алгоритм дозування із чотирма етапами (переддозування, швидке дозування, напівточне дозування, точне дозування)										
Вага, г	402,8	402,6	402,6	402,7	402,8	402,8	402,6	402,4	402,4	402,5
Час, с	6,735	7,035	7,019	7,074	7,078	7,12	7,173	7,22	7,437	7,306
Новий алгоритм дозування на основі рівняння (3.2.2)										
Вага, г	404,4	403,8	403,8	403,8	403,9	403,6	403,8	403,9	403,5	404,0
Час, с	5,93	5,906	5,993	5,885	5,964	5,989	5,994	6,011	5,997	6,07
Новий алгоритм дозування на основі двох рівнянь (3.2.2) із різними параметрами										
Вага, г	402,7	402,8	402,9	402,9	402,5	402,7	403,1	402,4	402,7	402,6

Час, с	6,199	6,145	6,249	6,276	6,269	6,364	6,66	6,133	6,102	6,106
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------

Проаналізувавши отримані дані кожної ваги кожного із методів про дозування розчину у флакон об'ємом 450 мл. можна підтвердити що кожний із алгоритмів має хорошу відтворювальність результату дозування проте із певною статичною додатною похибкою. Вирахувавши дану похибку для кожного із алгоритмів можна скорегувати завдання дозування на панелі керування для забезпечення фактичного дози у діапазоні точності 401 грам $\pm 1,2$ грами. Також розкид значень ваги розчину знаходиться в межах технологічних вимог (-0,0 та +2,0 грами).

Середній час дозування для першого алгоритму становить 8,239 секунди, для другого алгоритму – 7,119, для третього алгоритму – 5,973, для четвертого алгоритму – 6,250. Бачимо що при модифікації базового алгоритму додаванням проміжного етапу – напівточного дозування вдалось покращити час дозування на 1,12 секунди, а при впровадженні алгоритму плавного дозування на 2,266 секунди, при впровадженні алгоритму плавного дозування із двома функціями нормального розподілу із різними параметрами на 1,988. Порівнюючи результати роботи третього алгоритму та четвертого бачимо що в останньому алгоритмі відбулось збільшення часу дозування на 0,277 секунди, проте покращилась точність дозування із середньої ваги здозованого розчину при роботі третього алгоритму з 403,85 до 402,73 при роботі четвертого алгоритму. З першого погляду бачимо що час дозування 1 флакону змінився несуттєво, лише в межах 0,1 – 1,2 секунди. Проте проведемо розрахунок продуктивності обладнання із вісьма станціями дозування при використанні описаних алгоритмів дозування. Для машини вагового наповнення час переміщення флаконів на станцію дозування становить приблизно 4 секунди, також додаймо час який системі потрібно для зважування флакону та для прийняття рішення про дозований розчин, що становить приблизно 1 секунду. Враховуючи вище описані умови час повного циклу для машини вагового наповнення для першого алгоритму дозування становить 13,239 секунди, для

Вага, г	202,0	201,8	201,8	201,8	201,8	202,1	201,9	202,0	201,9	202,0
Час, с	5,585	5,823	5,639	5,99	5,816	5,514	5,777	5,597	5,66	5,545
Новий алгоритм дозування на основі рівняння (3.2.2)										
Вага, г	203,6	203,9	203,4	203,6	203,9	203,8	203,3	203,8	204,0	203,7
Час, с	4,81	5,103	5,13	5,252	5,22	5,17	5,091	5,206	5,088	4,935
Новий алгоритм дозування на основі асиметричної функції Гауса										
Вага, г	202,1	202,3	202,3	202,2	202,5	202,4	202,5	202,4	202,3	202,4
Час, с	5,001	4,914	4,872	4,967	4,988	5,105	5,093	5,001	4,962	5,068

У таблиці 3.4.2 наведено результати експериментальних досліджень алгоритмів дозування для формату флакона 250 мл.

Проаналізувавши отримані дані кожної ваги кожного із методів про дозування розчину у флакон об'ємом 250 мл. можна підтвердити що кожний із алгоритмів має хорошу відтворювальність результату дозування проте із певною статичною додатною похибкою. Вирахувавши дану похибку для кожного із алгоритму можна скорегувати завдання дозування на панелі керування для забезпечення фактичного дози у діапазоні точності 201 грам $\pm 1,2$ грам. Також розкид значень ваги розчину знаходиться в межах технологічних вимог (-0,0 та +2,0 грами).

Середній час дозування для першого алгоритму становить 6,282 секунди, для другого алгоритму – 5,694, для третього алгоритму – 5,100, для четвертого алгоритму – 4,997. Бачимо що при модифікації базового алгоритму додаванням проміжного етапу – напівточного дозування вдалось покращити час дозування на 0,588 секунди, а при впровадженні алгоритму плавного дозування на 1,184 секунди, при впровадженні алгоритму плавного дозування із двома функціями нормального розподілу із різними параметрами на 1,285. Порівнюючи результати роботи третього алгоритму та четвертого бачимо що в останньому алгоритмі для даного

Вага, г	102,3	102,1	102,0	102,1	102,0	102,0	102,0	102,1	102,0	102,1
Час, с	3,715	3,829	3,913	3,771	3,866	3,794	3,928	3,773	3,904	3,782
Новий алгоритм дозування на основі рівняння (3.2.2)										
Вага, г	103,2	102,6	102,9	102,9	102,6	103,0	102,5	103,1	102,9	102,6
Час, с	3,367	3,379	3,348	3,322	3,443	3,345	3,428	3,429	3,536	3,426
Новий алгоритм дозування на основі двох рівнянь (3.2.2) із різними параметрами										
Вага, г	101,8	101,9	102,2	102,0	102,1	101,8	101,9	102,1	101,8	102,0
Час, с	3,302	3,151	3,248	3,078	3,284	3,152	3,253	3,208	3,237	3,276

Проаналізувавши отримані дані кожної ваги кожного із методів про дозування розчину у флакон об'ємом 150 мл. можна підтвердити що кожний із алгоритмів має хорошу відтворювальність результату дозування проте із певною статичною додатною похибкою. Вирахувавши дану похибку для кожного із алгоритмів можна скорегувати завдання дозування на панелі керування для забезпечення фактичного дози у діапазоні точності 101 грам $\pm 0,8$ грам. Також розкид значень ваги розчину знаходиться в межах технологічних вимог (-0,0 та +2,0 грами).

Середній час дозування для першого алгоритму становить 4,227 секунди, для другого алгоритму – 3,827, для третього алгоритму – 3,402, для четвертого алгоритму – 3,218. Бачимо що при модифікації базового алгоритму додаванням проміжного етапу – напівточного дозування вдалось покращити час дозування на 0,399 секунди, а при впровадженні алгоритму плавного дозування на 0.824 секунди, при впровадженні алгоритму плавного дозування із двома функціями нормального розподілу із різними параметрами на 1.008. Порівнюючи результати роботи третього алгоритму та четвертого бачимо що в останньому алгоритмі для даного об'єму наповнення відбулось також зменшення часу дозування на 0,183 секунди,

та покращилась точність дозування із середньої ваги здозованого розчину при роботі третього алгоритму з 102,83 до 101,96 при роботі четвертого алгоритму. Враховуючи вище описані умови час повного циклу для машини вагового наповнення для першого алгоритму дозування становить 9,227 секунди, для другого алгоритму – 8,827 секунди, для третього алгоритму 8,402 секунди та для четвертого алгоритму 8,218 секунди.

Відповідно до вище наведеної формули (3.4.2), при використанні першого алгоритму дозування продуктивність обладнання становить 3121,2 флакони за годину, для другого алгоритму – 3262,5 флакони за годину, для третього алгоритму – 3427,6 флакони за годину та для четвертого алгоритму – 3504,1. Тож приріст продуктивності при використанні модифікованого алгоритму є 141,2 флакони, що становить 4,5 %, при використанні плавного алгоритму дозування – 306,3 флакони, що становить 9,8 %, при використанні алгоритму плавного дозування із двома функціями нормального розподілу із різними параметрами – 382,8 флакони, що становить 12,2 %.

У Таблиці 3.4.4 представлено результати розрахунку визначеного інтегрального критерію якості (див. рівняння (3.4.1)). Значення вагових коефіцієнтів у складі інтегрального критерію якості дозування обрано з урахуванням пріоритетності мінімізації часу процесу за умови збереження допустимого рівня точності. Коефіцієнт k_T рівне 1,1, встановлено з метою акцентування оптимізації на швидкодії системи дозування, що є критичним фактором у високопродуктивному фармацевтичному виробництві. Водночас коефіцієнт k_m рівний 0,15, що дозволяє врахувати похибку дозування, проте з меншою вагою, оскільки у розглянутих сценаріях вона не перевищує встановленого допустимого порогу Δm_{max} .

Такий вибір коефіцієнтів забезпечує зважений компроміс між точністю та продуктивністю, дозволяючи системі адаптивно коригувати параметри дозування для досягнення мінімального часу при збереженні похибки в допустимих межах. Крім того, задане співвідношення вагових коефіцієнтів відповідає практичним

вимогам до виробничих ліній, де ключовим критерієм є скорочення тривалості технологічного циклу без втрати якості продукції.

Таблиця 3.4.4

Результати розрахунку інтегрального критерію якості для всіх методів дозування та для форматів флаконів 150, 250 та 450 мл.

Формат флакону дозування 150 мл.										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Удосконалений алгоритм дозування із чотирма етапами (переддозування, швидке дозування, напівточне дозування, точне дозування)										
I_q	1,064	1,079	1,093	1,064	1,081	1,062	1,097	1,064	1,091	1,067
Новий алгоритм дозування на основі рівняння (3.2.2)										
I_q	1,041	0,999	1,014	1,007	1,016	1,020	1,005	1,050	1,063	1,012
Новий алгоритм дозування на основі двох рівнянь (3.2.2) із різними параметрами										
I_q	0,919	0,887	0,935	0,876	0,937	0,880	0,914	0,917	0,902	0,902
Формат флакону дозування 250 мл.										
Удосконалений алгоритм дозування із чотирма етапами (переддозування, швидке дозування, напівточне дозування, точне дозування)										
I_q	1,053	1,079	1,047	1,109	1,078	1,048	1,079	1,055	1,053	1,079
Новий алгоритм дозування на основі рівняння (3.2.2)										
I_q	1,037	1,111	1,078	1,115	1,131	1,115	1,064	1,121	1,037	1,111
Новий алгоритм дозування на основі двох рівнянь (3.2.2) із різними параметрами										
I_q	0,958	0,958	0,950	0,960	0,986	0,999	1,004	0,981	0,966	0,992
Формат флакону дозування 450 мл.										
Удосконалений алгоритм дозування із чотирма етапами (переддозування, швидке дозування, напівточне дозування, точне дозування)										
I_q	1,034	1,059	1,057	1,072	1,080	1,086	1,078	1,069	1,098	1,088
Новий алгоритм дозування на основі рівняння (3.2.2)										
I_q	1,047	0,998	1,010	0,996	1,014	0,995	1,010	1,020	0,988	1,035

Новий алгоритм дозування на основі двох рівнянь (3.2.2) із різними параметрами										
I_q	0,955	0,955	0,977	0,980	0,949	0,977	1,047	0,924	0,942	0,935

Аналіз значень інтегрального критерію якості I_q для трьох алгоритмів дозування за трьома форматами флаконів (150 мл, 250 мл, 450 мл) показав чітку тенденцію до зниження значень критерію при переході від удосконаленого алгоритму до нових алгоритмів, розроблених на основі рівнянь (3.2.2), зокрема з використанням різних параметрів у двох функціональних залежностях.

У всіх трьох випадках:

- Удосконалений чотириетапний алгоритм демонструє найбільші значення критерію, що свідчить про вищу сумарну оцінку похибки та часу дозування;
- Новий алгоритм на основі одного рівняння (3.2.2) дає покращення показників у порівнянні з базовим, проте все ще поступається комбінованому варіанту;
- Алгоритм на основі двох рівнянь (3.2.2) з різними параметрами забезпечує найменше середнє значення критерію в усіх форматах, що свідчить про його найвищу ефективність як з точки зору точності дозування, так і з точки зору тривалості процесу.

Узагальнені середні значення інтегрального критерію якості по кожному методу наведено у таблиці 3.4.5.

Таблиця 3.4.5.

Узагальнені середні значення інтегрального критерію якості

Формат флакону дозування	Чотириетапний алгоритм дозування	Новий алгоритм дозування на основі симетричної функції Гауса	Новий алгоритм дозування на основі асиметричної функції Гауса
150 мл	1,073	1,017	0,907
250 мл	1,069	1,092	0,975

450 мл	1,07	1,011	0,96
--------	------	-------	------

Запропонований інтегральний критерій якості ефективно відображає переваги нових алгоритмів дозування. Найкращі результати отримано для алгоритму, що базується на асиметричній функції Гауса, який продемонстрував найнижчі значення критерію у всіх об'ємах флаконів. Це підтверджує доцільність його подальшого використання в адаптивних системах керування дозуванням для забезпечення високої точності при мінімальних затратах часу.

Висновки до розділу 3

1. Удосконалено алгоритм дозування на основі ступінчатої функції шляхом введення додаткового етапу «напівточного наповнення». Алгоритм впроваджено в програму контролера експериментальної установки та виконано експериментальні дослідження удосконаленого алгоритму дозування. Визначено точність дозування та час наповнення флаконів різного об'єму.
2. Розроблено новий алгоритм керування процесом дозування інфузійних розчинів із застосуванням функції дозування на основі симетричної функції Гауса. Виконано експериментальні дослідження нового алгоритму дозування, за результатами яких підтверджено значне зменшення часу дозування при забезпеченні допустимої похибки наповнення флакона.
3. Розроблено удосконалення нового алгоритму керування процесом дозування інфузійних розчинів із застосуванням асиметричної функції дозування на основі функції Гауса. Такий підхід дозволяє гнучко змінювати характеристики процесу дозування під час виконання цього процесу, що сприяє зменшенню тривалості дозування та підвищення точності дозування. За результати експериментальних досліджень підтверджено вищу ефективність цього алгоритму у порівнянні з попередньо дослідженими.
4. Розраховано середній час дозування для кожного із алгоритмів дозування та проведено розрахунок продуктивності машини вагового наповнення при використанні різних алгоритмів дозування. Встановлено що приріст продуктивності становить:
для дозування розчину у флакон об'ємом 450 мл.:
 - a. при використанні удосконаленого алгоритму на основі ступінчатої функції 201,1 флакон, або 9,24 % ;
 - b. при використанні алгоритму на основі симетричної функції Гауса – 449,3 флакони, або 20,65 %;

- с. при використанні алгоритму із застосуванням асиметричної функції дозування на основі функції Гауса – 384,7 флакони, або 17,68 %;

для дозування розчину у флакон об'ємом 250 мл. :

- а. при використанні удосконаленого алгоритму на основі ступінчатої функції 140,4 флакони, що становить 5,5 %;
- б. при використанні алгоритму на основі симетричної функції Гауса – 298,8 флакони, що становить 11,7 %;
- с. при використанні алгоритму із застосуванням асиметричної функції дозування на основі функції Гауса – 328,8 флакони, що становить 12,8 %;

для дозування розчину у флакон об'ємом 150 мл. :

- а. при використанні удосконаленого алгоритму на основі ступінчатої функції є 141,2 флакони, що становить 4,5 %;
- б. при використанні алгоритму на основі симетричної функції Гауса – 306,3 флакони, що становить 9,8 %;
- с. при використанні алгоритму на основі асиметричної функції дозування на основі функції Гауса – 382,8 флакони, або 12,2 %.

Розділ 4

РОЗРОБЛЕННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ДОЗУВАННЯ ІНФУЗІЙНИХ РОЗЧИНІВ

4.1. Принципи розроблення систем адаптивного керування дозуванням.

У сучасному фармацевтичному виробництві зростає потреба у високоточному та стабільному дозуванні, особливо в умовах змінних технологічних параметрів. Традиційні системи керування не завжди здатні компенсувати вплив зовнішніх факторів, таких як температурні коливання чи зміна властивостей рідини. У цьому контексті актуальним стає впровадження адаптивних алгоритмів керування, здатних змінювати параметри дозування в реальному часі відповідно до поточних умов. Такі підходи дозволяють підвищити точність, зменшити втрати та забезпечити стабільну роботу системи без необхідності жорсткого переналаштування [72].

Адаптивні алгоритми дозування автоматично налаштовують параметри дозування в режимі реального часу на основі зворотних зв'язків від давачів. На відміну від традиційного фіксованого налаштування, адаптивна система відстежує фактичний об'єм або масу кожної дози і коригує роботу насоса чи клапана, щоб досягти заданої дози з високою точністю. Наприклад, сучасні PLC-контролери (програмовані логічні контролери) для дозування обладнуються алгоритмами реального часу, що покращують точність дозування, знижують втрати продукту і підвищують якість кінцевого продукту. Таким чином, адаптивне дозування забезпечує стабільність процесу навіть за наявності змінних факторів (в'язкість, температура тощо). Система постійно навчається на основі поточних даних і оперативно підлаштовує параметри, аби кожна порція рідини відповідала заданим критеріям.

Ключовими компонентами адаптивних систем дозування є давачі, прецизійні насоси/дозатори та блоки керування, що взаємодіють у замкненому контурі. У таких системах використовуються різні види насосів (перистальтичні, поршневі,

мембранні тощо) у поєднанні з сучасними сенсорами – витратоміри, вагові модулі, давачі тиску та рівня. Контролер збирає показники в режимі реального часу і порівнює їх із заданими значеннями. Якщо виявлено відхилення (наприклад, перелив або недолив дози), система негайно коригує швидкість насоса чи час відкриття клапана для компенсації. Така система зі зворотним зв'язком працює постійно протягом усього процесу наповнення. Наприклад, інтеграція ультразвукових витратомірів у лінію дозування дозволяє точно вимірювати об'єм, що протікає, і дає контролеру дані для коригування в режимі реального часу. Деякі системи також оснащені додатковими давачами температури і тиску, що під'єднані до контролера; це допомагає компенсувати вплив коливань температури чи тиску на точність дозування. Контролери (часто на базі PLC або промислових комп'ютерів) мають спеціальні програми, які реалізують алгоритми автоматичного регулювання. Завдяки цим технологіям система може без участі оператора підтримувати заданий об'єм/вагу дози для кожного контейнера з мінімальними відхиленнями.

Витратоміри (масові або об'ємні) – вимірюють кількість рідини, що пройшла через дозатор. Сучасні неінвазивні ультразвукові витратоміри можуть працювати незалежно від параметрів рідини (нечутливі до каламутності, електропровідності чи помірних змін температури). Вони миттєво сигналізують, якщо поточний об'єм відхиляється від потрібного, і система коригує дозу.

Вагові давачі (ваги на лінії) – застосовуються для In-Process Control (IPC), тобто контролю дози безпосередньо під час виробництва. Наприклад, у сучасних машинах можливо 100% контроль кожної дози за масою: тара зважується до і після наповнення, різниця визначає масу дози, і на її основі автоматика коригує об'єм наступних доз [46]. Деякі високошвидкісні лінії перевіряють вибірково (наприклад, 1 з 25 флаконів) – але навіть тоді обчислене відхилення використовується для електронного зворотного регулювання насоса, щоб утримувати всі дози в межах норми[47].

Давачі рівня і візуальні системи – контролюють рівень рідини в контейнері або наявність продукту. Машинний зір (камерами технічного зору) може в реальному

часі перевіряти, чи досягнуто потрібного рівня наповнення, чи немає переливу; такі системи можуть зупиняти або коригувати дозування на льоту. Окрім того, вбудовані камери перевіряють цілісність закупорки, етикетки тощо, що побічно забезпечує контроль процесу дозування (у разі виявлення відхилень дозувальна головка може бути зупинена для перевірки).

Давачі тиску і витрати – у системах, де рідину подають під тиском (наприклад, time-pressure filling, коли об'єм дози визначається часом подачі під постійним тиском), сенсори тиску допомагають підтримувати стабільний тиск або виявляють зміни (наприклад, якщо змінюється опір на виході через в'язкість). Система може відповідно скоригувати час відкриття клапана. Аналогічно, перепад тиску в трубопроводі може свідчити про зміну витрати чи забруднення фільтра – контролер це врахує.

Усі ці сенсори пов'язані єдиною системою керування, що реалізує принцип замкненого контуру (feedback loop). Зворотний зв'язок може бути безперервним (наприклад, безперервне вимірювання витрати) або циклічним (наприклад, періодичне зважування або контроль рівня). В результаті дозувальна машина “бачить” кожну дозу і миттєво підлаштовується, усуваючи похибки. Як приклад, сучасні наповнювачі флаконів від Bausch+Ströbel використовують ваговий модуль для неперервного контролю дози з автоматичним підлаштуванням: машина може переважувати до 100% доз і на основі розрахунку чистої маси автоматично коригувати об'єм наступного наповнення, гарантуючи точне дозування кожного флакона [46]. Такий підхід мінімізує відхилення без зниження продуктивності лінії.

Адаптивні дозувальні системи спеціально розраховані на те, щоб справлятися зі зміною характеристик рідини або навколишніх умов без втрати точності. Ось як враховуються основні фактори:

В'язкість рідини: Зміна в'язкості безпосередньо впливає на текучість і об'єм, що дозується за одиницю часу (більш в'язкі рідини течуть повільніше). Адаптивні системи можуть містити вбудовані вісcomedри (наприклад, мініатюрні в'язкісні давачі прямо в потоці) або розраховувати в'язкість опосередковано, вимірюючи перепад тиску та витрату. Якщо в'язкість зростає (наприклад, сироп охолов) –

контролер це фіксує і збільшує тиск або продовжує час дозування, щоб подати потрібний об'єм. Якщо в'язкість зменшується (рідина стала більш рідкою) – система навпаки зменшить подачу, аби уникнути переливу. Для прикладу, впровадження безперервного вимірювання в'язкості з автоматичним налаштуванням параметрів насоса дало змогу поліпшити точність дозування в'язких рідин на 40% порівняно зі звичайними системами. Інший підхід – контроль температури: оскільки в'язкість часто залежить від температури, деякі лінії мають інтегровані підігрівачі рідини. Наприклад, густі розчини можуть злегка підігрівати на лінії перед дозуванням, щоб зменшити їхню в'язкість і забезпечити більш плавне та швидке наповнення (цей метод особливо корисний для сиропів, мастил та інших “густих” продуктів).

Температура: Температурні коливання можуть впливати не тільки на в'язкість, але й на об'єм рідини (термічне розширення) та точність вимірювань деяких приладів. Адаптивні дозатори часто оснащені давачами температури на різних етапах – наприклад, у баку з продуктом та біля дозувальної голки. Контролер може внести поправку в обчислення об'єму згідно з температурою (наприклад, ультразвуковий витратомір може мати коефіцієнти компенсації температури). Сучасні сенсори, як зазначалося, малочутливі до температури або мають вбудовану компенсацію. Ба більше, реальний моніторинг температури дозволяє мінімізувати її вплив: якщо рідина почала охолоджуватися і густіти, система це “побачить” і скоригує дозування (або увімкне підігрів, якщо він передбачений). У адаптивних PLC-контролерах можуть бути прописані алгоритми, що враховують температурні коефіцієнти при дозуванні; також контролер може видавати сигнал оператору чи вмикати обігрів, якщо температура виходить за діапазон, критичний для точності.

Тип тари (контейнера): Різні типи упаковки (скляні флакони, пластикові пляшки, м'які пакети для інфузій тощо) вимагають різних підходів до наповнення. Адаптивність тут проявляється як можливість машини автоматично підлаштувати параметри під поточну тару. Наприклад, для дуже дрібних флаконів або шприців машина може зменшувати швидкість дозування чи використовувати менший діаметр голки, аби уникнути піни або розбризкування. У сучасних системах зміна

формату тари часто програмно керована: оператор вибирає тип тари, а машина сама налаштовує висоту, глибину занурення голки, вакуумний відбір повітря і швидкість подачі. Якщо ж у процесі відбуваються коливання (скажімо, незначна різниця у внутрішньому діаметрі пляшок від різних постачальників), адаптивний дозатор може виявити відхилення у витраті чи тиску під час наповнення конкретної пляшки й підлаштуватись. Також різні матеріали тари (скло vs пластик) можуть по-різному впливати на стекання рідини по стінках чи утворення піни – тому деякі системи мають вакуумне дозування або дозування з газовим піддувом, що автоматично вмикається для певних видів тари, щоб запобігти піноутворенню та забезпечити рівномірне заповнення. Наприклад, опція vacuum-assisted filling (вакуумного наповнення) може бути задіяна для пінливих розчинів у відкриті флакони, і контролер вирішує застосовувати її чи ні залежно від налаштувань під тип ємності [48].

Залишковий об'єм: Це поняття можна трактувати двояко – як залишок рідини в дозувальній системі після завершення циклу (що є втратою продукту), або як недолив/перелив у самій тарі. Адаптивні методи спрямовані на мінімізацію і того, й іншого. Залишок в системі (у трубках, насосі) після завершення виробничого циклу часто списувався у втрати. Сучасні машини реалізують спеціальні алгоритми на стадії запуску та зупинки: наприклад, опція ADVANCEDfill на дозаторах B+S дозволяє починати роботу без втрат продукту на старті і завершувати цикл з мінімальним залишковим об'ємом при зупинці. Контролер, відстежуючи тиск у системі і об'єм, що лишився у резервуарі, в кінці серії знижує швидкість і вичавлює практично всю рідину, не допускаючи захоплення повітря (яке призвело б до розбризкування). В результаті кількість непридатного залишку суттєво зменшується. Що стосується залишкового об'єму в тарі (переповнення чи недолив), то адаптивна система прагне його взагалі уникнути – кожна тара отримує рівно стільки, скільки потрібно, з високою точністю, тому ні надлишку (який довелося б видаляти), ні недоливу не виникає. Якщо ж дозування проводиться в кілька етапів (наприклад, двоступенева подача – швидке наповнення до ~90% і повільне доливання до 100%), то система контролює сумарний об'єм, щоб фінальний

результат був точним, і знижує подачу під кінець наповнення, аби підлити останні краплі акуратно. Цей метод усуває явище, коли після швидкого наливу залишався “верхній” невідрегульований об’єм. Крім того, в деяких процесах (наприклад, наповнення шприців) важливо, щоб не було повітряних бульбашок – адаптивні системи відслідковують і це, регулюючи дозування та видалення повітря з тари. [48]

Основою адаптивного керування є програмні алгоритми, що аналізують дані сенсорів і приймають рішення про корекцію дій обладнання. Найпоширенішими алгоритмами в промисловому дозуванні є PID-регулятори – пропорційно-інтегрально-диференційні контролери. Вони постійно обчислюють різницю між заданим значенням (наприклад, цільовим об’ємом дози) та фактичним (вимірним сенсором) і коригують сигнал управління насосом/клапаном. У адаптивних системах PID-регулятор може самонастроюватись або мати надбудову на основі правил (fuzzy logic) чи моделі процесу. Наприклад, адаптивний PID може змінювати свої коефіцієнти в реальному часі залежно від умов – це дає швидшу реакцію на збурення приблизно на 30% порівняно зі статичним налаштуванням [49]. Для більш складних сценаріїв використовують і моделі прогнозування: відомо про дослідження, де впроваджено ARIMA-моделі (аналіз часового ряду) в дозувальний контролер, щоб передбачати наступне відхилення і компенсувати його наперед – такий підхід також дозволяє в режимі реального часу коригувати об’єм подачі на основі статистичних трендів.

Програмне забезпечення для дозувальних систем часто пропонує кілька режимів керування: наприклад, режим налаштування (коли оператор задає базові параметри для нового продукту), режим навчання (система сама підбирає оптимальні параметри, провівши кілька тестових доз), та робочий режим з увімкненим адаптивним коригуванням. Інтерфейси НМІ (людино-машинний інтерфейс) сучасного обладнання дозволяють візуалізувати процес дозування в реальному часі – оператор бачить поточні витрати, ваги, тиски, а також дії системи (наприклад, індикатор “автокорекція” може показувати, що система щось підлаштувала). ПЗ також веде лог-файли та статистику: наприклад, можна

отримати звіт, що за певний час середня доза склала X мл із відхиленням $\pm Y$ мл, було N автокорекцій. Ці дані використовуються і для валідації процесу у фармацевтиці, оскільки регуляторні вимоги (GMP) зобов'язують підтверджувати, що кожна доза в межах специфікації. Щодо конкретних технологій: багато виробників інтегрують власні програмні рішення. Наприклад, платформа ProA PLC згадана вище містить модуль Adaptive Dosing Control, який автоматично регулює насос за даними сенсорів. Інші приклади включають алгоритми “tendency control” на машинах Syntegon, що відстежують тенденцію до передозування чи недоливу і підлаштовують об'єм заповнення відповідно [50]. В капсульному наповнювачі IMA ADAPTA реалізовано 100% контроль маси з зворотнім зв'язком на параметри машини, де програмно автоматично відхиляються капсули поза допуском і паралельно підлаштовується дозатор [51]– подібний принцип застосовується і в рідинних машинах. Також на ринку є спеціалізоване ПЗ для дозування, яке може працювати на додатковому комп'ютері: наприклад, системи SCADA/MES можуть збирати дані з дозаторів і в режимі реального часу оптимізувати їхню роботу в контексті всієї виробничої лінії (координуючи швидкість конвеєра, роботу наповнювача і укупорювача тощо).

Підсумовуючи, алгоритми адаптивного дозування варіюються від вдосконалених класичних (PID з автонастроюванням, rule-based control) до сучасних AI-алгоритмів (нейромережі, fuzzy logic, прогнозуючі моделі)[76]. Вони реалізуються у програмному забезпеченні контролерів і значно підсилюють можливості обладнання, роблячи процес більш точним, стабільним і “розумним”.

Адаптивні системи дозування мають низку суттєвих переваг перед традиційними (неадаптивними) методами дозування з фіксованими налаштуваннями:

Вища точність і повторюваність: Завдяки постійному контролю і корекціям, кожна доза відповідає заданому об'єму/масі з мінімальними відхиленнями. Навіть якщо змінюються властивості рідини чи умови, адаптивна система компенсує це. Результат – стабільно висока якість дозування. Як зазначено, реальний приклад – впровадження адаптивного контролера дозволило знизити похибки дозування

вдвічі, а точність утримувати в межах $\pm 0,5\%$ і краще (багато виробників вказують такі цифри для своїх адаптивних машин). Натомість звичайне дозування довелося б часто переналаштовувати вручну, і все одно можливі відхилення при зміні умов. [49]

Зменшення втрат і перевитрати продукту: Адаптивне дозування мінімізує переливи (overfill), коли наливають більше, “про запас”. У традиційних лініях часто задають трохи більший об’єм, щоб гарантовано не було недоливу, що призводить до перевитрати дорогих препаратів. Адаптивна система же настільки точна, що може наливати практично рівно номінальний об’єм, не перестраховуючись великим запасом. Так само знижуються втрати при запуску/зупинці і при переходах між серіями (див. вище про залишковий об’єм). Усе це економить діючу речовину, що особливо важливо для дорогих фармацевтичних продуктів (вакцини, біопрепарати). Виробники відзначають, що автоматична корекція доз усуває необхідність “зливати” невідповідні дози – система просто підлаштує наступну дозу, і жоден флакон не буде браком. [48]

Ефективність та швидкість: Адаптивне дозування дозволяє утримувати високу швидкість лінії без втрати точності. Тоді як традиційно збільшення швидкості могло призводити до зростання похибок, адаптивна система реагує швидше і тримає процес під контролем. До того ж, час простою через переналаштування або вибракування партій знижується. У результаті підприємство отримує більший вихід продукції за той самий час. Додамо до цього зменшення витрат (через менше браку і переналадок) – економічний ефект від адаптивного дозування суттєвий, особливо на великих серіях чи дорогавартнісних продуктах.

Також забезпечення надійності та своєчасного реагування на можливі відмови у роботі технологічного обладнання є критично важливим у сучасних автоматизованих системах. У роботі [67] розглянуто структуру системи діагностики відмов для автоматизованих складальних ліній, яка базується на логічному аналізі подій, сигналів від сенсорів та взаємозв’язках між елементами виробничої системи. Такий підхід дозволяє не лише виявляти відмови в реальному часі, але й оперативно локалізувати їхнє джерело, що мінімізує простої та підвищує

ефективність керування. Ці принципи є актуальними й при реалізації адаптивних функцій у системах дозування, де наявність навіть незначних збурень чи відхилень може призвести до порушення точності або стабільності процесу.

Для визначення актуальності завдання розроблення адаптивного алгоритму дозування проведено аналіз публікації [61]. Питання точності та стабільності дозування є особливо актуальними при роботі з висококонцентрованими розчинами, зокрема моноклональних антитіл. У роботі [61] детально проаналізовано застосування перистальтичного насосного механізму для наповнення шприців такими препаратами. Описано низку технологічних викликів, пов'язаних із підвищеною в'язкістю рідини, піноутворенням та варіативністю дози, а також наведено стратегії їх мінімізації. Ці результати підтверджують необхідність розробки експериментальних рішень, здатних адаптувати параметри дозування під фізико-хімічні властивості продукту з метою забезпечення високої точності й повторюваності процесу. Також публікація [75] підкреслює необхідність точного контролю параметрів процесу для забезпечення надійності та повторюваності дозування що додатково підтверджу актуальність впровадження та розробки адаптивних алгоритмів для систем керування.

При розробці сучасних систем дозування все більше значення набуває принцип гнучкої адаптації до різних форматів тари, об'ємів доз та виробничих умов. Прикладом реалізації таких підходів є система Flexicon FPC60, представлена у пресрелізі компанії Watson Marlow Fluid Technology Group [69]. Установка поєднує точність перистальтичного дозування з високим рівнем автоматизації та модульності, що забезпечує швидке переналаштування на різні типи флаконів або шприців. Така конфігурація дозволяє ефективно використовувати обладнання як у дослідницьких, так і в малосерійних виробництвах, з дотриманням вимог GMP та асептичного середовища. Подібні рішення підкреслюють важливість створення адаптивних алгоритмів керування, які забезпечують стабільність і точність дозування при змінних умовах експлуатації.

Отже, переваги адаптивного дозування охоплюють і технічні, і економічні, і якісні аспекти. Воно забезпечує стабільність процесу, економію ресурсів і високу

якість – що є причинами, чому ця технологія швидко стає новим стандартом у фармацевтичному виробництві.

4.2 Розроблення алгоритму адаптивного налаштування параметрів для удосконаленого алгоритму керування на основі ступінчатої функції

Удосконалений алгоритм дозування інфузійних лікарських засобів при встановленні постійних значень параметрів демонструє задовільні показники якості дозування, однак для підвищення ефективності потребує уточнення параметрів налаштування саме під час процесу дозування. Тобто доцільно розробити адаптивний алгоритм налаштування параметрів кожного етапу дозування.

Виокремлено три параметри що суттєво впливають на точність дозування:

- ступінь відкриття перетискного клапана на етапі швидкого дозування;
- ступінь відкриття перетискного клапана під час етапу точного дозування;
- точка переходу до етапу точного дозування (значення ваги флакону для переходу).

Розроблено алгоритм адаптивного визначення цих параметрів під час процесу дозування, блок-схема якого зображена на рисунку 4.2.1 [65].

Алгоритм адаптації параметрів дозування починає свою роботу з встановлення початкових параметрів, а саме встановлення змінних `Done = False`, `Error = False`, `Error_Status = 16#8001`.

Надалі проводиться перевірка чи функція включена відповідно до статусу функціональної кнопки на оперативній панелі системи керування. Якщо функція вимкнута встановлюються нульові значення для корекції `Open_corection` (ступінь відкриття перетискного клапана на етапі точного дозування) та корекції `Weigth_corection` (точка переходу до етапу точного дозування (вага переходу)). При увімкненій функції алгоритм переходить на наступний крок де відбувається очікування тригера для проведення розрахунку корекцій параметрів дозування.

Розроблений адаптивний алгоритм введено автором в існуючий та удосконалений алгоритм дозування на основі ступінчатої функції. Важливо зазначити, що алгоритм адаптації параметрів дозування приймає рішення щодо

зміни параметрів на основі результатів попереднього проведеного дозування розчину у флакон.

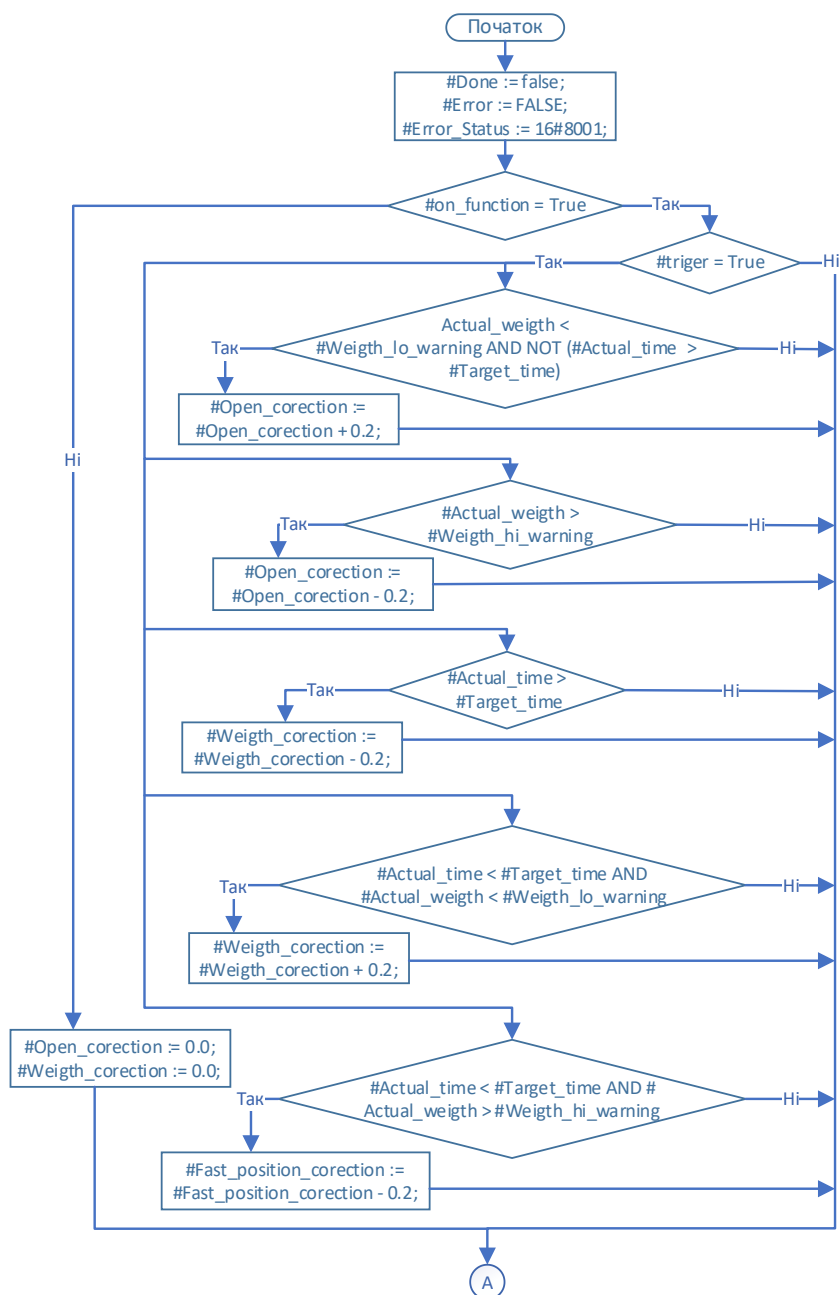


Рис. 4.2.1. Блок-схема алгоритму адаптації параметрів дозування інфузійних розчинів із застосуванням ступінчатої функції дозування

На першому кроці розрахунку проводиться корекція ступеня (позиції) відкриття перетискного клапана на етапі точного дозування, алгоритм перевіряє виконання такої умови: чи вага розчину у флаконі є меншою за встановлену нижню попереджувальну межу ваги та чи справджується умова, що поточний час

дозування не перевищує бажаний час дозування, встановлений з панелі керування. При виконанні цієї умови відбувається коректування ступеня відкриття перетискного клапана на етапі точного дозування та додавання до поточного значення ступеня відкриття 0,2 %.

На другому кроці алгоритм перевіряє виконання умови: чи вага розчину у флаконі є більшою за встановлену верхню попереджувальну межу, що встановлена з панелі керування. При виконанні цієї умови відбувається коректування ступеня відкриття перетискного клапана на етапі точного дозування та віднімання від поточного значення ступеня відкриття 0,2 %.

На третьому кроці алгоритм проводить корекцію точки переходу на етап точного наповнення (граничного значення ваги розчину). Алгоритм проводить перевірку умови: чи час дозування флакону є більшим за бажаний час дозування. При виконанні цієї умови виконується коректування точки переходу на етап точного наповнення та збільшення значення точки переходу на 0,2 грам.

На четвертому кроці алгоритм перевіряє виконання умови: чи час дозування флакону є меншим за бажаний час дозування та чи вага розчину у флаконі є меншою за встановлену нижню попереджувальну межу ваги, що встановлена з панелі керування. При виконанні цієї умови алгоритм виконує коректування точки переходу на етап точного наповнення та віднімає від поточного значення ваги 0,2 грам.

На п'ятому кроці алгоритм виконує коректування ступеня відкриття перетискного клапана під час етапу швидкого дозування. Алгоритм виконує перевірку умови: чи час дозування флакону є меншим за бажаний час дозування та чи вага розчину у флаконі є більшою за встановлену верхню попереджувальну межу ваги. При виконанні цієї умови система приймає рішення про проведення коректування ступеня відкриття перетискного клапана на етапі швидкого дозування та додає до поточного значення позиції 0,2 %.

Після виконання цих 5-ти кроків відбувається перехід до алгоритму виявлення помилок у роботі функції коректування та формування сигналів попередження відповідно до меж встановлених на панелі керування (див. рис. 4.2.2).

У блоці формування сигналів для меж попередження проводиться контроль завершення алгоритму дозування поточного флакону, шляхом контролю поточного кроку алгоритму, а саме чи ідентифікатор кроку `#step` рівний 15, кроку що відповідає за запуск розробленого алгоритму адаптації параметрів дозування, або ж менше одиниці. Таким чином повідомлення про попередження буде відображатись лише після завершення дозування та до запуску наступного дозування. При справджуванні даної умови проводиться алгоритмом перевірка двох паралельних умов. Першою умовою є визначення чи поточна вага розчину `#Actual_weight` є менша рівною нижній межі попередження `#Weight_lo_warning`.

При справджуванні даної умови проводиться ввімкнення маркера наявності попередження по нижньому рівні `#Lo_warning`, а також встановлення значення 1 для ідентифікатора попереджувального повідомлення `#Warning_int`. При невиконанні умови маркера наявності попередження по нижньому рівні `#Lo_warning` вимикається, а ідентифікатору попереджувального повідомлення `#Warning_int` присвоюється значення нуля.

Другою умовою є умова визначення чи поточна вага розчину `#Actual_weight` є більша рівною верхній межі попередження `#Weight_hi_warning`. При справджуванні даної умови проводиться ввімкнення маркера наявності попередження по нижньому рівні `#Hi_warning`, а також встановлення значення 2 для ідентифікатора попереджувального повідомлення `#Warning_int`. При невиконанні умови маркера наявності попередження по нижньому рівні `#Hi_warning` вимикається, а ідентифікатору попереджувального повідомлення `#Warning_int` присвоюється значення нуля.

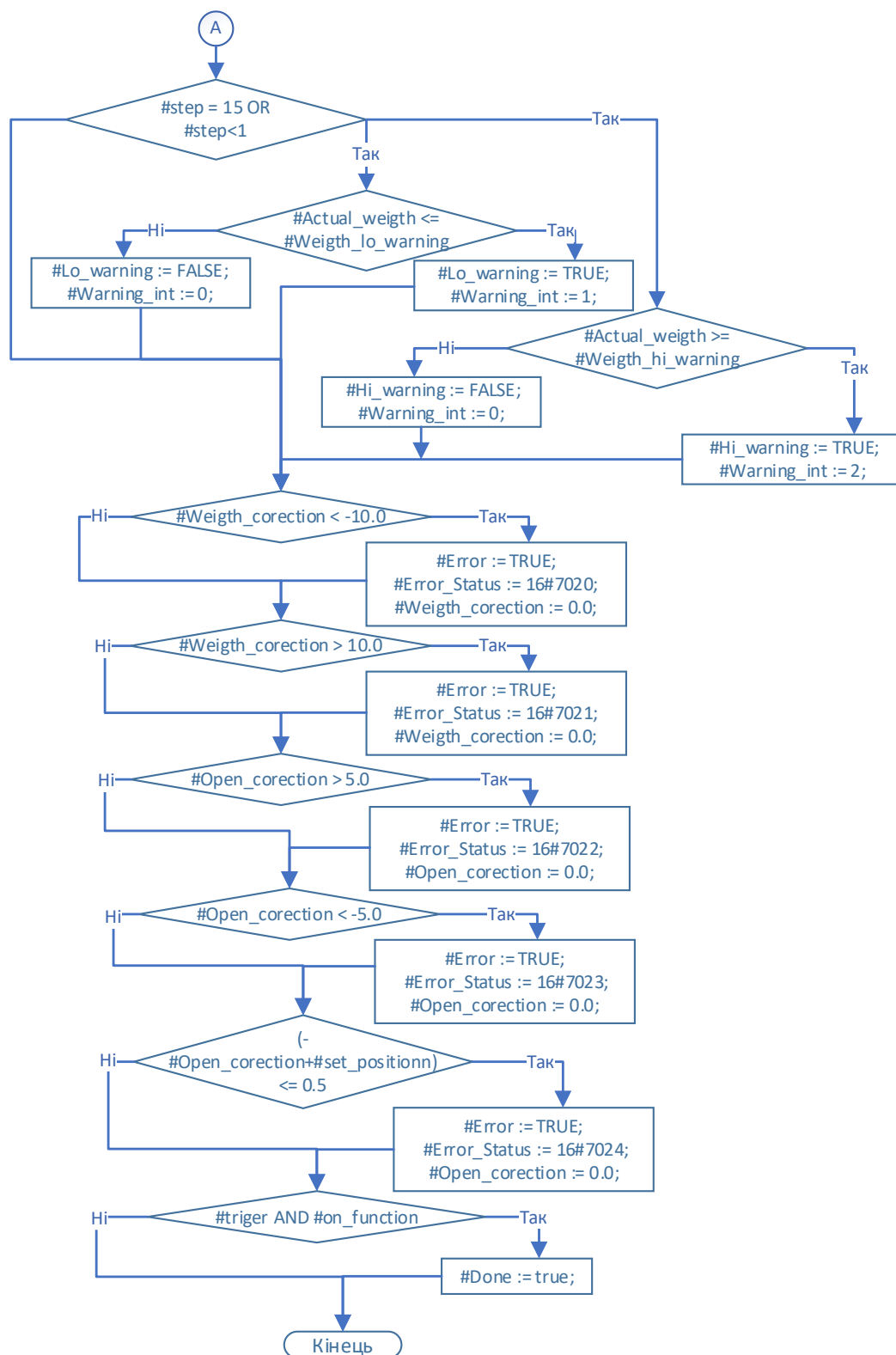


Рис. 4.2.4. Блок-схема алгоритму адаптації параметрів дозування інфузійних розчинів (продовження)

Наступним блоком є алгоритму є визначення аварійних повідомлень та обнулення знайдених значень корекції при досягненні критичних значень зміщень,

які сигналізуватимуть оператору про не вірно підібрані базові параметри дозування для обраного алгоритму. (див. рис. 4.2.4)

Першим проводиться контроль корекції ваги переходу між швидким та точним етапом дозування, а саме чи значення корекції `#Weigth_corection` є меншим ніж $-10,0$ грам, при досягнення даного порогового значення проводиться вмикання маркера наявності помилки `#Error` в одиницю, у ідентифікатор аварії `#Error_Status` записується значення `16#7020`, а також скидається значення корекції `#Weigth_corection` до нуля.

Наступним кроком проводиться контроль корекції ваги переходу між швидким та точним етапом дозування, а саме чи значення корекції `#Weigth_corection` є більшим ніж $10,0$ грам, при досягнення даного порогового значення проводиться вмикання маркера наявності помилки `#Error` в одиницю, у ідентифікатор аварії `#Error_Status` записується значення `16#7021`, а також скидається значення корекції `#Weigth_corection` до нуля.

Далі проводиться контроль корекції ступення відкриття перетискного клапана на етапі точного дозування, а саме чи значення корекції `#Open_corection` є більшим ніж $5,0$ %, при досягнення даного порогового значення проводиться вмикання маркера наявності помилки `#Error` в одиницю, у ідентифікатор аварії `#Error_Status` записується значення `16#7022`, а також скидається значення корекції `#Open_corection` до нуля.

Наступним кроком проводиться контроль корекції ступення відкриття перетискного клапана на етапі точного дозування, а саме чи значення корекції `#Open_corection` є меншим ніж $-5,0$ %, при досягнення даного порогового значення проводиться вмикання маркера наявності помилки `#Error` в одиницю, у ідентифікатор аварії `#Error_Status` записується значення `16#7023`, а також скидається значення корекції `#Open_corection` до нуля.

Останньою умовою для встановлення аварії роботи алгоритму є визначення чи різниця значення поточного ступеня відкривання перетискного клапана на етапі точного дозування `#set_position` та значення корекції відкриття даного ступеня `#Open_corection` є меншою рівною $0,5\%$ відкриття. При досягненні даної різниці

проводиться вмикання маркера наявності помилки `#Error` в одиницю, у ідентифікатор аварії `#Error_Status` записується значення 16#7024, а також скидається значення корекції `#Open_corection` до нуля.

Останнім етапом алгоритму є перевірка умови чи даний алгоритм ввімкнений, а саме чи маркер `#on_function` рівний одиниці та чи є наявний запит розрахунку параметрів корекцій для етапів дозування `#trigger`, при їх одночасній наявності у кінці програми проводиться ввімкнення маркера завершення процесу обрахунку необхідних корекцій `#Done`.

Розроблений алгоритм адаптації параметрів дозування вбудовано у існуючий алгоритм дозування, а також у модифікований алгоритм дозування інфузійних лікарських засобів. У кожний із алгоритмів він введений у створений для нього ж крок під номером 15.

4.3 Експериментальне дослідження алгоритму адаптації параметрів регулятора на основі ступінчатої функції дозування.

З метою підтвердження ефективності алгоритму адаптації параметрів дозування проведено його експериментальні дослідження на розробленій установці. Алгоритм тестували в умовах, що забезпечують досягнення бажаних параметрів процесу відповідно до вхідних даних алгоритму. Такий підхід дозволив перевірити коректність роботи алгоритму адаптації в середовищі, близькому до умов застосування на виробництві.

Проведено ряд експериментальних досліджень, першим дослідженням є при знайдених початкових параметрах роботи алгоритму дозування досягти похибки дозування $-0,0 \dots +3,0$ грам із бажаним часом точного дозування 1800 мс. Результати дослідження адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для алгоритму на основі ступінчатої функції при вище описаних умовах подано у таблиці 4.3.1.

Таблиця 4.3.1

Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для алгоритму дозування на основі ступінчатої функції

№	Експериментальні дані процесу				Параметри корекцій		
	Вага розчину, г.	Час швидкого дозування, мс.	Час точного дозування, мс.	Загальний час дозування, мс.	Корекція відкриття на етапі точного дозування, %	Корекція ваги переходу між етапами дозування, г.	Корекція відкриття на етапі швидкого дозування, %
1.	202,5	2754	2364	6586	0,0	0,2	0,0
2.	202,6	2711	2102	6286	0,0	0,4	0,0
3.	202,6	2728	2042	6241	0,0	0,6	0,0
4.	202,6	2724	2151	6343	0,0	0,8	0,0

5.	202,6	2722	2234	6425	0,0	1,0	0,0
6.	202,5	2757	2149	6386	0,0	1,2	0,0
7.	202,5	2734	2116	6320	0,0	1,4	0,0
8.	202,4	2749	2066	6288	0,0	1,6	0,0
9.	202,5	2751	2087	6308	0,0	1,8	0,0
10.	202,5	2774	1956	6198	0,0	2,0	0,0
11.	202,5	2754	2040	6267	0,0	2,2	0,0
12.	202,5	2765	19943	6176	0,0	2,4	0,0
13.	202,6	2724	1936	6130	0,0	2,6	0,0
14.	202,5	3064	1756	6292	0,0	2,6	0,0
15.	202,6	2754	1672	5901	0,0	2,6	0,0

Аналіз отриманих результатів показує, що адаптивний алгоритм налаштування параметрів успішно виконав корекцію вагового порогу переходу між етапами швидкого та точного дозування. Це забезпечило досягнення бажаного часу виконання точного дозування, який не перевищує 1800 мс, відповідно до встановлених вимог.

Наступним, другим, експериментом проведеним для перевірки роботи адаптивного алгоритму знаходження корекцій параметрів дозування є збільшення ступеня відкриття перетискного клапана для етапу швидкого та точного дозування. Це введено для перевірки роботи алгоритму при перевищенні граничного значення похибки дозування встановленого як +3,0 г. Результати дослідження наведено у таблиці 4.3.2.

Таблиця 4.3.2

Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для алгоритму дозування на основі ступінчатої функції

№	Експериментальні дані процесу				Параметри корекцій		
	Вага розчину, г.	Час швидкого дозування, мс.	Час точного дозування, мс.	Загальний час дозування, мс.	Корекція відкриття на етапі точного дозування, %	Корекція ваги переходу між етапами дозування, г.	Корекція відкриття на етапі швидкого дозування, %
1.	203,5	3030	845	5454	-0,2	2,6	-0,2
2.	203,5	3087	905	5564	-0,4	2,6	-0,4
3.	203,3	3213	909	5694	-0,6	2,6	-0,6
4.	203,2	3255	1015	5844	-0,8	2,6	-0,8
5.	203,0	3303	1102	5976	-0,8	2,6	-0,8

Отримані результати свідчать про те, що реалізований адаптивний алгоритм корекції параметрів ефективно здійснив налаштування ступеня відкриття перетискного клапана на етапах як швидкого, так і точного дозування. Зміна ступеня відкриття перетискного клапана із врахуванням отриманих корекцій відбулася з урахуванням динаміки процесу, що дозволило досягти заданої точності дозування при мінімальному перевищенні або недоливів цільового значення ваги. Це підтверджує здатність алгоритму адаптивно реагувати на умови проходження процесу.

Наступним, третім, експериментом проведеним для перевірки роботи адаптивного алгоритму знаходження корекцій параметрів дозування є встановлення бажаного часу точного дозування не більше 1000 мс та дотримання похибки дозування дозування в межах від -0,0 г. до +3,0 г. Результати дослідження наведено у таблиці 4.3.3.

Таблиця 4.3.3

Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для існуючого алгоритму дозування

№	Експериментальні дані процесу				Параметри корекцій		
	Вага розчину, г.	Час швидкого дозування, мс.	Час точного дозування, мс.	Загальний час дозування, мс.	Корекція відкриття на етапі точного дозування, %	Корекція ваги переходу між етапами дозування, г.	Корекція відкриття на етапі швидкого дозування, %
1.	203,1	3349	1104	6024	-1,0	2,8	-0,8
2.	202,7	3367	1288	6230	-1,0	3	-0,8
3.	202,8	3319	1248	6135	-1,0	3,2	-0,8
4.	202,8	3354	1227	6151	-1,0	3,4	-0,8
5.	202,8	3348	1245	6165	-1,0	3,6	-0,8
6.	202,8	3368	1178	6123	-1,0	3,8	-0,8
7.	202,8	3360	1196	6130	-1,0	4	-0,8
8.	202,8	3372	1129	6069	-1,0	4,2	-0,8
9.	203,0	3379	1101	6056	-1,0	4,4	-0,8
10.	202,9	3387	1095	6052	-1,0	4,6	-0,8
11.	202,8	3391	1063	6021	-1,0	4,8	-0,8
12.	203,0	3347	813	5821	-1,0	4,8	-0,8
13.	203,0	3412	862	5846	-1,2	4,8	-1,0
14.	202,7	3544	958	6135	-1,2	5,0	-1,0

Отож, проаналізувавши отримані дані роботи алгоритму адаптації параметрів дозування із встановленими критеріями адаптації при роботі існуючого алгоритму дозування можна дійти висновку що алгоритм ефективно проводить налагодження параметрів функції дозування.

Результати знаходження параметрів корекцій, параметри роботи а також архів останніх десяти дозувань відображено на розробленому екрані операторської панелі системи керування (див. рис. 4.3.1)

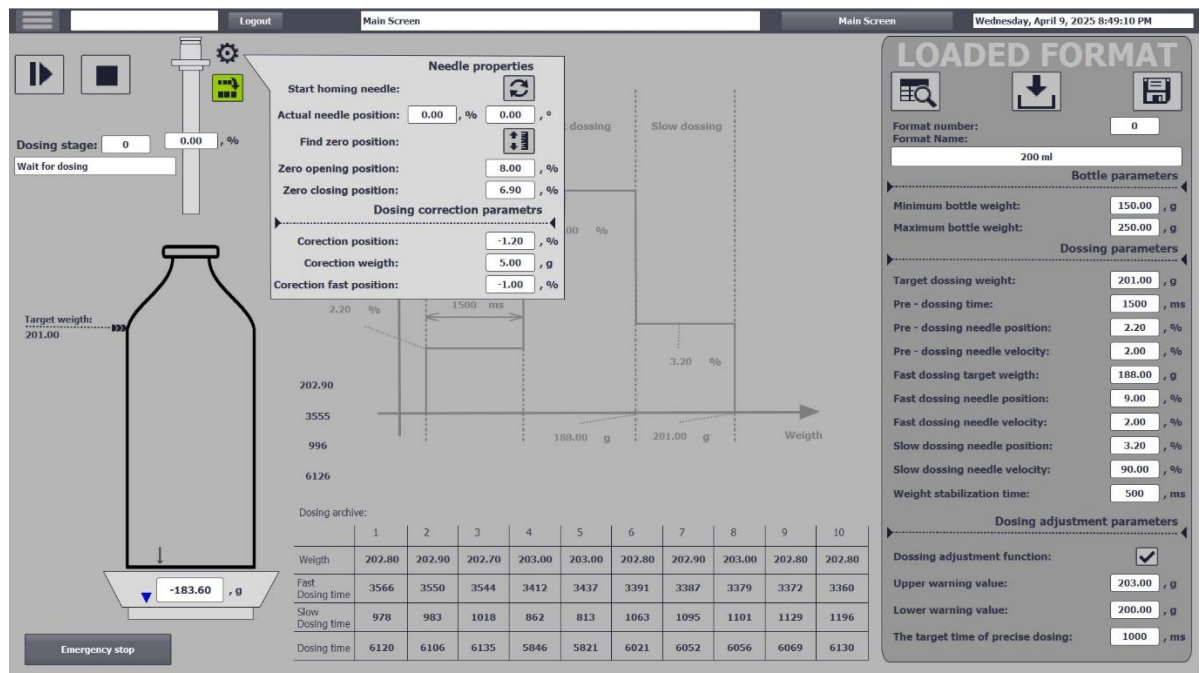


Рис. 4.3.1 Екран відображення роботи існуючого алгоритму дозування для обраного формату флакону 250 мл.

Проведено дослідження роботи адаптивного алгоритму налаштування параметрів дозування для удосконаленого алгоритму на основі ступінчатої функції дозування. Методика проведення експериментальних досліджень відповідає методиці досліджень цього ж алгоритму адаптації для існуючого алгоритму дозування.

Проведено ряд експериментальних досліджень, першим з яких є завдання при знайдених базових параметрах роботи модифікованого алгоритму дозування досягти похибки дозування а діапазоні від -0,0 до +3,0 грам із бажаним часом точного дозування 500 мс. Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для удосконаленого алгоритму дозування при вище описаних умовах наведено у таблиці 4.3.4.

Таблиця 4.3.4

Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму налаштування параметрів дозування для удосконаленого алгоритму на основі ступінчатої функції

№	Експериментальні дані процесу				Параметри корекцій		
	Вага розчину, г.	Час швидкого дозування, мс.	Час точного дозування, мс.	Загальний час дозування, мс.	Корекція відкриття на етапі точного дозування, %	Корекція ваги переходу між етапами дозування, г.	Корекція відкриття на етапі швидкого дозування, %
1.	202,4	3684	888	5738	0,0	0,2	0,0
2.	202,1	3737	1014	5912	0,0	0,4	0,0
3.	202,1	3735	979	5832	0,0	0,6	0,0
4.	202,1	3772	893	5789	0,0	0,8	0,0
5.	202,2	3763	858	5759	0,0	1,0	0,0
6.	202,2	3764	834	5723	0,0	1,2	0,0
7.	202,2	3774	783	5724	0,0	1,4	0,0
8.	202,4	3755	804	5696	0,0	1,6	0,0
9.	202,2	3779	755	5683	0,0	1,8	0,0
10.	202,2	3810	710	5654	0,0	2,0	0,0
11.	202,1	3814	671	5654	0,0	2,2	0,0
12.	202,2	3818	625	5606	0,0	2,4	0,0
13.	202,2	3853	599	5616	0,0	2,6	0,0
14.	202,3	3807	570	5543	0,0	2,8	0,0
15.	202,1	3812	537	5516	0,0	3,0	0,0
16.	202,2	3860	505	5526	0,0	3,2	0,0
17.	202,2	3858	542	5564	0,0	3,4	0,0
18.	202,2	3851	498	5515	0,0	3,6	0,0

З отриманих результатів видно, що адаптивний алгоритм налаштування параметрів успішно виконав корекцію вагового порогу переходу між етапами швидкого та точного дозування. Це забезпечило досягнення бажаного часу виконання точного дозування, який не перевищував 500 мс при тому не збільшує дозовану вагу розчину у флакон, відповідно до встановлених вимог.

Наступним, другим, експериментом проведеним для перевірки роботи адаптивного алгоритму коректування параметрів ступінчатої функції дозування є збільшення ступеня відкриття перетискного клапана для етапу швидкого та точного дозування. Це введено для перевірки роботи алгоритму при перевищенні граничного значення похибки дозування +3,0 г. Результати дослідження наведено у таблиці 4.3.5.

Таблиця 4.3.5

Результати дослідження адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для удосконаленого алгоритму дозування на основі ступінчатої функції

№	Експериментальні дані процесу				Параметри корекцій		
	Вага розчину, г.	Час швидкого дозування, мс.	Час точного дозування, мс.	Загальний час дозування, мс.	Корекція відкриття на етапі точного дозування, %	Корекція ваги переходу між етапами дозування, г.	Корекція відкриття на етапі швидкого дозування, %
1.	203,1	3548	195	4909	-0,2	3,4	-0,2
2.	203,	3611	230	5008	-0,4	3,4	-0,4
3.	203,3	3702	247	5119	-0,6	3,4	-0,6
4.	203,1	3854	258	5252	-0,8	3,4	-0,8
5.	202,9	3951	267	5323	-0,8	3,4	-0,8
6.	202,8	3967	266	5396	-0,8	3,4	-0,6

Отож, проаналізувавши отримані результати застосування алгоритму адаптації параметрів дозування із встановленими критеріями адаптації встановлено, що алгоритм також ефективно проводить налагодження параметрів дозування і для удосконаленого алгоритму на основі ступінчатої функції з чотирма етапами дозування.

Результати коректування параметрів дозування, а також архів останніх десяти дозувань відображено на розробленому екрані панелі управління системи керування (див. рис. 4.3.2).

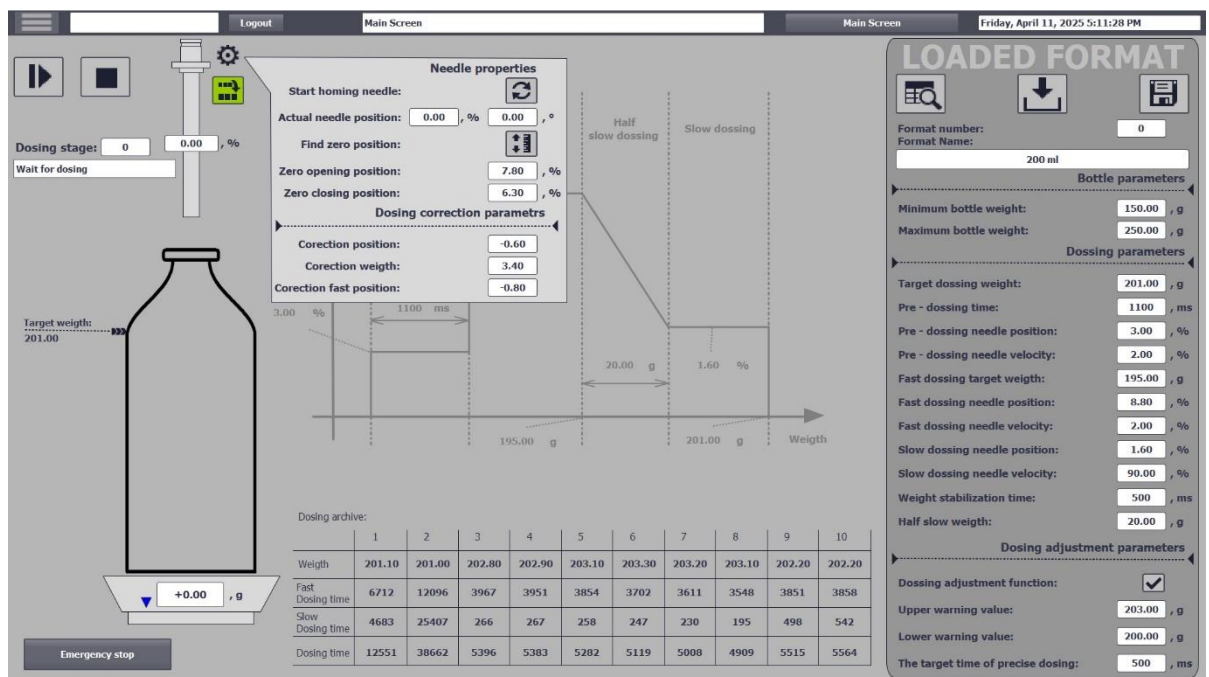


Рис. 4.3.2 Екран відображення роботи модифікованого алгоритму дозування для обраного формату флакону 250 мл.

4.4 Розроблення адаптивного алгоритму налаштування параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса

Новий алгоритм дозування інфузійних лікарських засобів на основі функції нормального розподілу (симетричної функції Гауса) при встановленні обчислених значень параметрів демонструє добрі показники дозування, однак для підвищення ефективності потребує уточнення параметрів налаштування саме під час процесу дозування. Процес визначення оптимальних параметрів може бути довготривалим у часі тому доцільно розробити адаптивний алгоритм уточнення параметрів дозування.

Виокремлено три параметри що суттєво впливають на точність дозування:

- максимальний ступінь відкриття перетискного клапана;
- коефіцієнт відхилення (середноквадраичне відхилення) як параметр функції дозування;
- математичне сподівання як параметр функції дозування.

Розроблений адаптивний алгоритм легко впроваджується в новий алгоритм дозування на основі симетричної або асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса. Важливо зазначити, що алгоритм адаптації параметрів дозування приймає рішення щодо зміни параметрів на основі результатів попереднього проведеного дозування розчину у флакон.

Алгоритм розроблений універсальним як для роботи з симетричною функцією нормального розподілу, так і для роботи із асиметричною функцією. Для зручності застосування у програмі контролера автором цей алгоритм реалізований автором у окремому функціональному блоці та розподілений на частини. У першій частині реалізовано блок підготовки даних для роботи алгоритму, формування попереджень при досягненні порогових значень та блок визначення наявності додаткових перегинів функції, а саме зміни ступеня відкриття перетискного клапана на відрізку ваги що перейшла межу математичного сподівання та ще не досягла значення завдання дозування (див. рис. 4.4.1). У другій частині алгоритму відбувається налаштування параметрів дозування відповідно до заданих

параметрів дозування (див. рис. 4.4.2). У третій останній частині реалізовано блок обмеження можливих значень корекцій граничними уставками та формування аварійних повідомлень при досягненні вказаних значень, які інформуватимуть персонал про невірні базові параметри дозування (див. рис. 4.4.3).

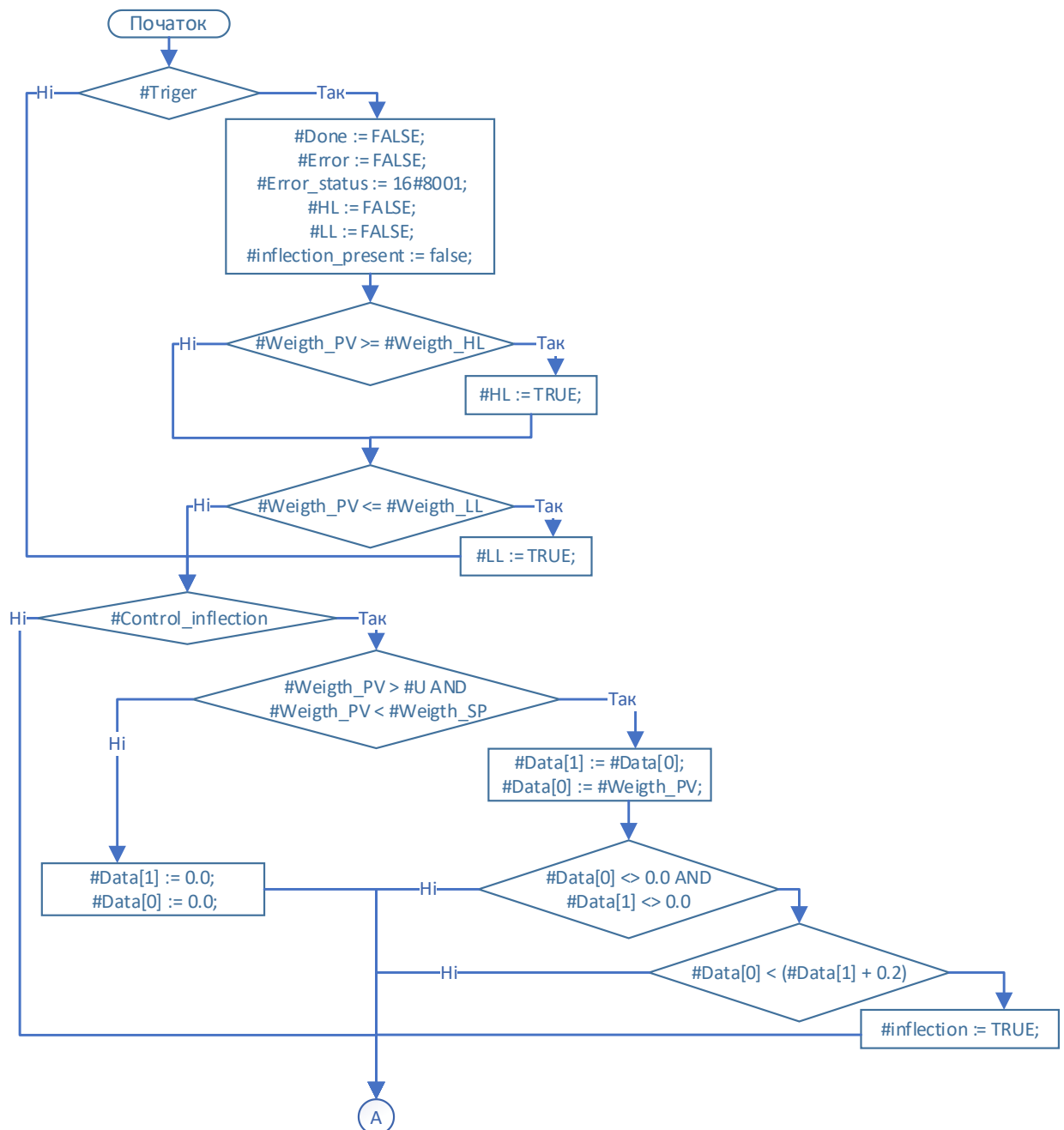


Рис. 4.4.1 Блок схема адаптивного алгоритму знаходження корекцій для параметрів дозування (Частина 1)

На початку алгоритм проводить контроль наявності маркера запиту на запуск роботи алгоритму #Triger, при його наявності запускається у роботу блок

встановлення початкових значень для вихідних параметрів роботи функції, а саме маркеру завершення роботи блоку `#Done` та маркеру наявності аварії `#Error` записується значення `false`, для змінної ідентифікатора коду помилки `#Error_status` записується значення `16#8001`, що вказує що блок працює без збоїв, для маркерів досягнення верхньої та нижньої попереджувальної межі `#HL` та `#LL` відповідно записується значення `false`, та для маркеру наявності перегину функції `#inflection_present` записується значення `false`.

Наступним кроком алгоритму є контроль досягнення попереджувальних меж зареєстрованого значення ваги розчину після стабілізації. Для цього реалізовано дві умови: першою є умова досягнення верхньої межі. У ній поточне значення ваги розчину `#Weigth_PV` порівнюється із верхньою межею попередження `#Weigth_HL`, якщо значення є рівним більшим даній вазі, то маркер наявності попередження по верхній межі `#HL` встановлюється в одиницю.

Другою умовою є умова досягнення нижньої межі попередження. У ній поточне значення ваги розчину `#Weigth_PV` порівнюється із нижньою межею попередження `#Weigth_LL`, якщо значення є менше рівним даної ваги, то маркера наявності попередження по нижній межі `#LL` приймає значення «1».

Після завершення роботи блоку контролю досягнення попереджувальних меж поточної ваги дозованого розчину, або ж за відсутності маркера запиту на запуск роботи алгоритму `#Triger`, реалізовується перехід до блоку визначення додаткових перегинів функції зміни ступеня відкриття перетискного клапана.

Перших кроком для даного блоку є перевірка умови ввімкнення, а саме чи є наявний маркер контролю перегину `#Control_inflection`. При його наявності проводиться перехід до умов знаходження власне додаткових перегинів функції. Проводиться обмеження діапазону роботи блоку визначення, на основі перевірки наступної умови: чи поточне значення ваги розчину `#Weigth_PV` є більшим за параметр закону дозування, який представлений математичним сподіванням `#U` а також чи поточна вага розчину `#Weigth_PV` не досягла завдання алгоритму дозування `#Weigth_SP`.

Якщо ж вище описана умова справджується, проводиться запис поточного значення ваги розчину у флаконі та значення ваги розчину, що був зареєстрований у попередньому циклі контролера у вектор значень `#Data[n]`. У нульову комірку вектора `#Data[0]` проводиться запис поточного значення ваги розчину, у наступну комірку вектора `#Data[1]` записують значення ваги розчину для попереднього циклу контролера. При невиконанні вище описаної умови відбувається обнулення вектора `Data`.

Надалі у алгоритмі реалізоване виключення для алгоритму знаходження перегину функції, при нульових значення вектора поточного значення ваги та значення ваги для попереднього циклу контролера.

При знаходженні у даному векторі значень ваги запускається блок визначення перегину функції, що представлено наступною умовою: Чи значення поточного значення ваги розчину у комірниці вектора `#Data[0]` є менше ніж значення ваги розчину зареєстрованого у попередньому циклі контролера та збережене у комірниці вектора `#Data[1]` із зоною нечутливості 0,2 грами. При виконанні даної умови встановлюється маркер знаходження перегину `#inflection` у одиницю та блок завершує свою роботу.

В подальшому проводиться перехід до наступної частини алгоритму (див. рис. 4.4.2) у якій знаходиться блок формування корекції параметрів дозування відповідно до вказаних бажаних параметрів дозування.

На першому кроці відбувається контроль умови запуску алгоритму уточнення параметрів при ввімкненій функціоналу корекції `#on_function` та наявності маркера запуску алгоритму `#Triger`. При виконанні даної умови проводиться перехід до блоку вибору алгоритмів корекції параметрів дозування у залежності від кількості функцій нормального розподілу що використовуватимуться. При використанні однієї функції нормального розподілу при виконанні умови `#Curve_num` рівне одиниці, проводиться корекція параметрів за умов описаних нижче.

При наявності маркера верхньої межі попередження `#HL` та при умові що поточний час дозування розчину `#Dosing_time_PV` є менший ніж бажаний час дозування `#Dosing_time_SP` проводиться віднімання від поточного значення

зміщення $\#A_bias_0$ параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці.

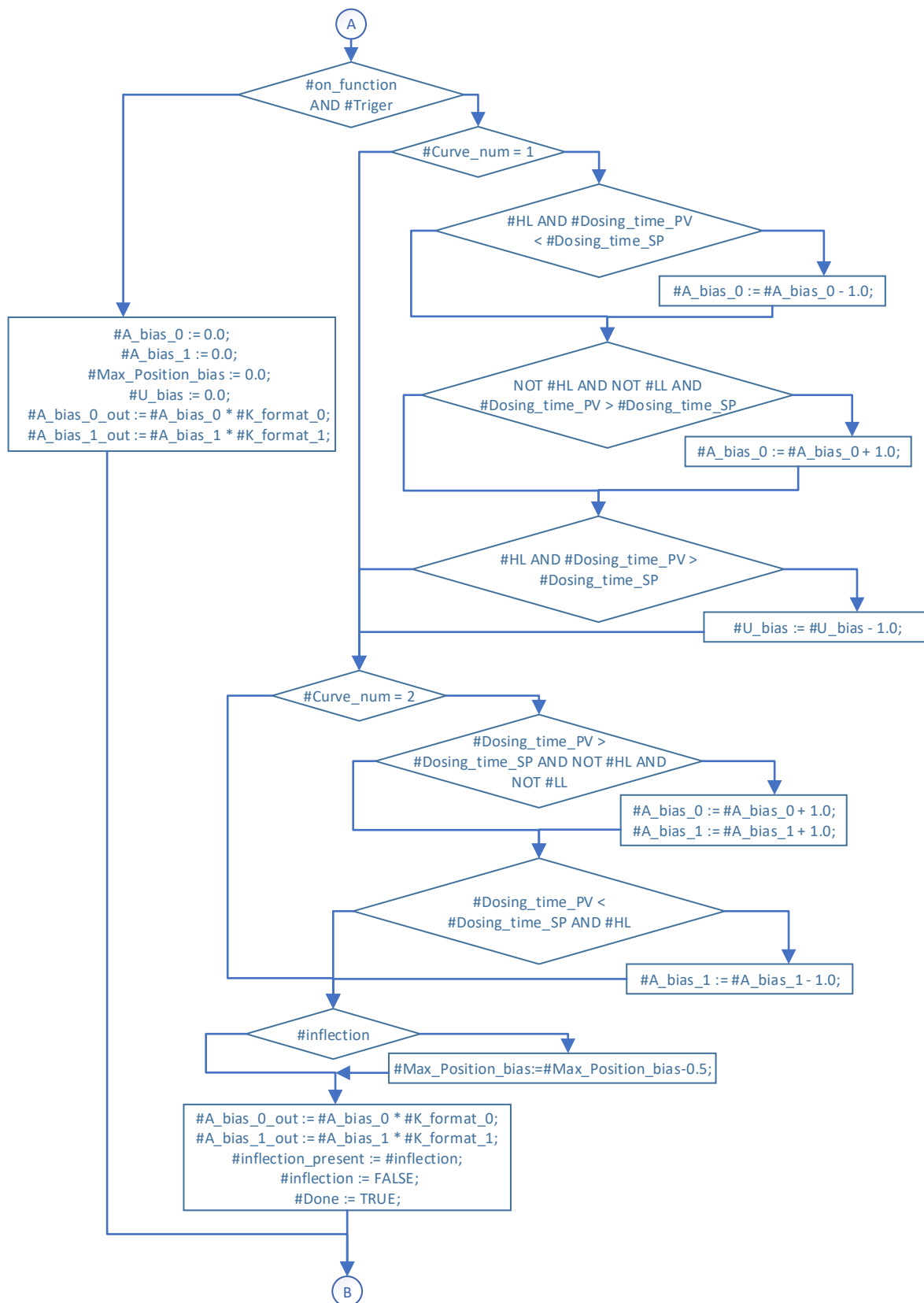


Рис. 4.4.2 Блок схема адаптивного алгоритму знаходження корекцій для параметрів дозування (Частина 2).

При відсутності маркера верхньої межі попередження #HL та відсутності маркера нижньої межі попередження #LL та при умові що поточний час дозування розчину #Dosing_time_PV є більший ніж бажаний час дозування #Dosing_time_SP проводиться додавання до поточного значення зміщення #A_bias_0 параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці.

При наявності маркера верхньої межі попередження #HL та при умові що поточний час дозування розчину #Dosing_time_PV є більший ніж бажаний час дозування #Dosing_time_SP проводиться віднімання від поточного значення зміщення #U_bias параметру математичного сподівання закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці.

Надалі алгоритм запускає блок перевірки параметрів методу дозування на основі асиметричної кривої з різними параметрами лівої та правої гілок. Для цього проводиться контроль умови чи #Curve_num рівне двійці, при її виконанні проводиться корекція параметрів за умов описаних нижче.

При відсутності маркера верхньої межі попередження #HL та відсутності маркера нижньої межі попередження #LL та при умові що поточний час дозування розчину #Dosing_time_PV є більший ніж бажаний час дозування #Dosing_time_SP проводиться додавання до поточного значення зміщення #A_bias_0 параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці для першої кривої, а також . проводиться додавання до поточного значення зміщення #A_bias_1 параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці для другої кривої.

При наявності маркера верхньої межі попередження #HL та при умові що поточний час дозування розчину #Dosing_time_PV менший ніж бажаний час дозування #Dosing_time_SP проводиться віднімання від поточного значення зміщення #A_bias_1 параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці для другої кривої.

Наступна мова корекції не залежить від кількості використаних кривих закону нормально розподілу для формування значення ступеня відкриття перетискного

клапана. Тож у даному блоці проводиться перевірка наявності маркера маркер знаходження перегину `#inflection` визначеного у попередньому блоці даного алгоритму. При його наявності проводиться корекція максимального ступеня відкриття перетискного клапана `#Max_Position_bias` шляхом віднімання від поточного значення корекції значення 0,5 %.

Після завершення етапу визначення корекцій здійснюється перехід до блоку підготовки даних корекції у відповідності до обраного формату дозування. Для цього визначення вихідного значення зміщення `#A_bias_0_out` параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці для першої кривої проводиться шляхом множення визначеного зміщення `#A_bias_0` на коефіцієнт формату `#K_format_0` що заданий для даного блоку із панелі керування. Таким ж чином визначається значення зміщення `#A_bias_1_out` параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана одиниці для другої кривої але шляхом множення визначеного зміщення `#A_bias_1` на коефіцієнт формату `#K_format_1` що заданий для даного блоку із панелі керування.

Для збереження маркера наявності перегину функції до моменту наступного завершення роботи блоку корекції параметрів проводиться перезапис маркера перегину `#inflection` у вихідну змінну `#inflection`.

Останнім етапом у блоці корекції алгоритму проводиться присвоєння одиниці маркеру завершення роботи адаптивного алгоритму налагодження параметрів дозування `#Done`. Дане значення затримується у комірці пам'яті маркера до моменту надходження наступного запиту на знаходження параметрів адаптації алгоритму дозування.

Останньою частиною алгоритму є блок обмеження можливих значень корекцій граничними уставками та формування аварійних повідомлень при досягненні вказаних значень, які інформуватимуть персонал про невірні базові параметри дозування. У блоці реалізовані наступні обмеження параметрів корекції.

При досягненні значення зміщення `#A_bias_0` параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана для першої кривої

більше рівне 10 проводиться вмикання маркера наявності помилки #Error в одиницю, у ідентифікатор аварії #Error_Status записується значення 16#2001, а також скидається значення корекції до нуля.

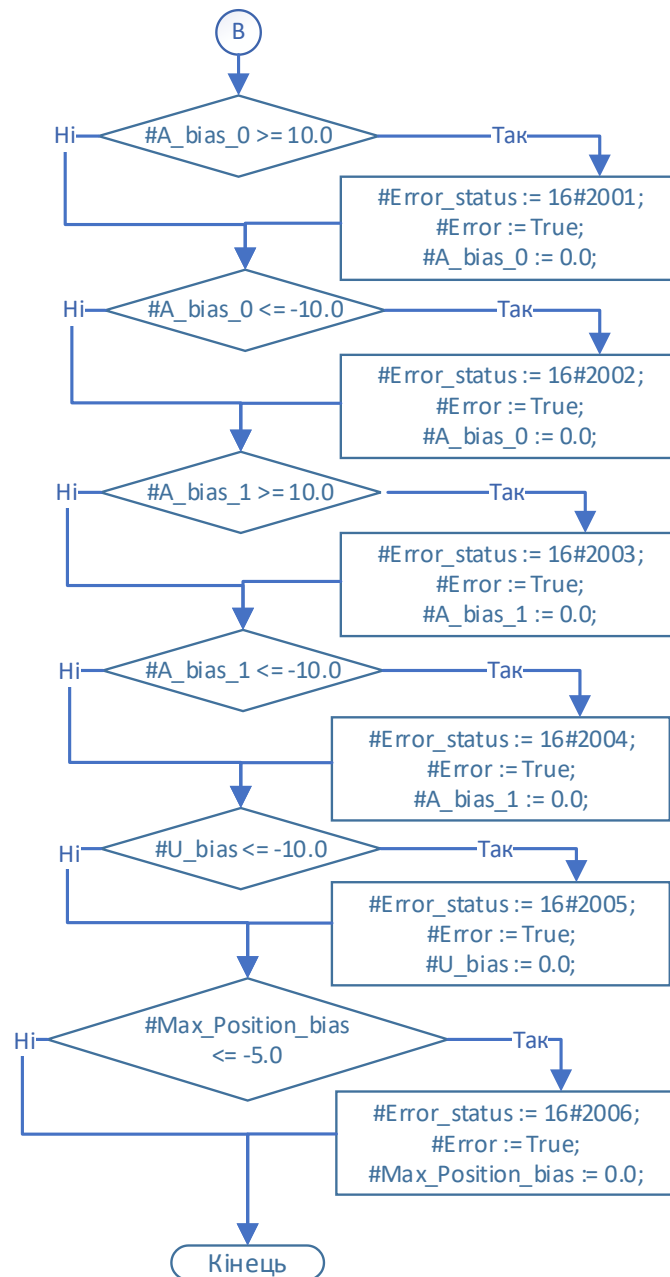


Рис. 4.4.3 Блок схема адаптивного алгоритму знаходження корекцій для параметрів дозування (Частина 3).

При досягнення значення зміщення #A_bias_0 параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана для першої кривої менше рівне -10 проводиться вмикання маркера наявності помилки #Error в одиницю, у ідентифікатор аварії #Error_Status записується значення 16#2002, а також скидається значення корекції до нуля.

При досягнення значення зміщення $\#A_bias_1$ параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана для другої кривої більше рівне 10 проводиться вмикання маркера наявності помилки $\#Error$ в одиницю, у ідентифікатор аварії $\#Error_Status$ записується значення 16#2003, а також скидається значення корекції до нуля.

При досягнення значення зміщення $\#A_bias_1$ параметру коефіцієнта відхилення закону регулювання відкриття перетискного клапана для другої кривої менше рівне -10 проводиться вмикання маркера наявності помилки $\#Error$ в одиницю, у ідентифікатор аварії $\#Error_Status$ записується значення 16#2004, а також скидається значення корекції до нуля.

При досягнення значення зміщення $\#U_bias$ параметру математичного сподівання закону регулювання відкриття перетискного клапана менше рівне -10 проводиться вмикання маркера наявності помилки $\#Error$ в одиницю, у ідентифікатор аварії $\#Error_Status$ записується значення 16#2005, а також скидається значення корекції до нуля.

При досягнення значення зміщення максимального ступеня відкриття перетискного клапана $\#Max_Position_bias$ менше рівне -5,0 % проводиться вмикання маркера наявності помилки $\#Error$ в одиницю, у ідентифікатор аварії $\#Error_Status$ записується значення 16#2006, а також скидається значення корекції до нуля.

Після успішного визначення наявності помилок під час процесу корекції параметрів дозування, або ж їх відсутності алгоритм завершує свою роботу.

Розроблений алгоритм адаптації параметрів дозування вбудовано у розроблений алгоритм дозування інфузійних лікарських засобів на основі однієї чи двох кривих нормального розподілу. У схемі переходу між кроками алгоритму розроблений алгоритм адаптації параметрів дозування у останній крок послідовної лінійки виконання, а саме у крок 5, завершення виконання якого повертає алгоритм назад у крок 0 – очікування запиту на дозування.

Повна програма функціонування адаптивного алгоритму корекції параметрів дозування наведена у Додатку Г

4.5 Експериментальне дослідження алгоритму адаптації параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса.

З метою підтвердження ефективності алгоритму адаптації параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса виконано експериментальні дослідження системи керування з впровадженим алгоритмом.

Виконано експериментальні дослідження для таких умов: при базових параметрах роботи алгоритму дозування необхідно досягти похибки дозування від -0,0 г. до +3,0 грами з дотриманням часу дозування 5000 мс. та коефіцієнтами підсилення параметру A_0 рівному 3,0 та A_1 рівному 3,0. Результати дослідження алгоритму адаптації параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса при цих умовах наведено у таблиці 4.5.1.

Таблиця 4.5.1

Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму налаштування параметрів функції дозування на основі рівняння Гауса

Експериментальні дані процесу			Параметри корекцій			
№	Вага розчину, г.	Загальний час дозування, мс.	Зміщення параметра U	Зміщення максимальної позиції відкриття перетискового клапана	Зміщення параметра A_0	Зміщення параметра A_1
1.	204,0	6545	0,0	0,0	0	0
2.	201,8	6391	0,0	0,5	3	3
3.	202,2	5414	0,0	1,0	6	6
4.	204,1	4816	0,0	1,0	3	3
5.	202,2	5270	0,0	1,5	6	6
6.	202,3	4601	0,0	1,5	6	6

7.	204,3	4766	0,0	1,5	3	3
8.	202,0	5168	0,0	2,0	3	3
9.	203,3	5175	-1	2,0	3	3
10.	202,0	5075	-1	2,5	4,5	4,5
11.	202,8	4689	-1	2,5	4,5	4,5
12.	202,4	4650	-1	2,5	4,5	4,5
13.	202,4	4633	-1	2,5	4,5	4,5

Аналіз отриманих даних показує, що адаптивний алгоритм налаштування параметрів успішно виконав налагодження параметрів функції дозування. Під час досліджень виявлено, що встановленні початкові значення коефіцієнтів підсилення A_0 та A_1 є великими та призводять до надлишкових кроків адаптації, тому їх було зменшено та встановлено значення 1,5. Знайдені параметри забезпечили досягнення бажаного часу виконання дозування, який не перевищує 5000 мс та забезпечує встановлену точність дозування розчину у флакони.

Також виконано експериментальне дослідження алгоритму адаптації і для модифікації нового алгоритму дозування у якому вводяться різні параметри для кривої зміни ступеня відкриття перетискного клапана при досягненні точки екстремуму функції U .

При знайдених базових параметрах роботи алгоритму дозування завдання для адаптивного алгоритму знаходження зміщень параметрів дозування є досягнення точності дозування в діапазоні від 200,0 г. до 203,0 грами із бажаним часом дозування не більше 4500 мс. та форматними коефіцієнтами підсилення параметру A_0 рівному 1,0 та A_1 рівному 0,5 визначених на завершальних етап роботи. Результати дослідження роботи адаптивного алгоритму знаходження параметрів дозування для нового алгоритму дозування при вище описаних умовах наведено у таблиці 4.5.2.

Таблиця 4.5.2

Результати дослідження адаптивного алгоритму налагодження параметрів асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса

Експериментальні дані процесу			Параметри корекцій			
№	Вага розчину, г.	Загальний час дозування, мс.	Зміщення параметра U	Зміщення максимальної позиції відкриття перетискового клапана	Зміщення параметра A0	Зміщення параметра A1
1.	202,8	50033	0,0	0,0	0,0	0,0
2.	202,1	4919	0,0	0,0	1,5	1,5
3.	203,0	4789	0,0	0,0	2,0	0,5
4.	202,8	4883	0,0	0,0	3,0	1,0
5.	202,0	44731	0,0	0,0	4,0	1,5
6.	202,8	4738	0,0	0,0	5,0	2,0
7.	202,1	4596	0,0	0,0	6,0	2,5
8.	202,3	4553	0,0	0,0	7,0	3,0
9.	203,3	4582	0,0	0,0	8,0	3,0
10.	202,2	4489	0,0	0,0	8,0	3,0
11.	202,4	4750	0,0	0,0	9,0	3,5
12.	202,0	4615	0,0	0,0	10,0	4,0
13.	202,8	4615	0,0	0,0	1,0	4,5

З аналізу отриманих результатів видно, що адаптивний алгоритм налаштування параметрів дозування успішно виконав налаштування для досягнення заданого часу дозування 4500 мс, проте досяг максимального значення корекції параметра та обнулив значення корекції на 13 дозуванні. Виходячи із

динаміки зміни часу дозування відповідно до знайдених нових значень зміщень параметрів можна зробити висновок що при корекції базових параметрів дозування та продовження роботи алгоритму адаптації заданого часу дозування було б досягнуто, а отже розроблений алгоритм функціонує коректно та без збоїв та підтвердив свою ефективність.

Висновки до розділу 4

1. Розглянуто основні принципи адаптивних алгоритмів дозування що використовуються провідними виробниками промислового обладнання для фармацевтичної галузі. Визначено що адаптивне дозування базується на принципі замкненого зворотного зв'язку, що дозволяє системі автоматично коригувати параметри дозування в режимі реального часу. Завдяки використанню сучасних сенсорів (витратомірів, вагових давачів, давачів тиску та температури) та алгоритмів управління (зокрема, PID-регуляторів, регуляторів з адаптацією), система здатна забезпечити високу точність і повторюваність кожної дози. Це сприяє стабільності виробничого процесу навіть за змінних умов, знижує втрати продукту та покращує якість кінцевої продукції.

2. Розроблено адаптивний алгоритм налаштування параметрів керуючого алгоритму (регулятора) на основі ступінчатої функції дозування. Розроблений алгоритм дозволяє здійснювати автоматичне налаштування параметрів керуючого алгоритму (ступеня відкриття перетискного клапана на етапах швидкого та точного дозування, а також точки переходу до точного дозування) на основі результатів попередніх циклів дозування.

3. Розроблено адаптивний алгоритм налаштування параметрів керуючого алгоритму (регулятора) на основі симетричної та асиметричної функцій, розроблених із застосуванням рівняння Гауса. Адаптивний алгоритм автоматично коригує максимальний ступінь відкриття клапана, коефіцієнт відхилення та математичне сподівання. Алгоритм включає етапи підготовки даних, визначення перегинів функції та формування корекцій параметрів з контролем меж допустимих відхилень, а також формуванням аварійних повідомлень. Розроблений алгоритм забезпечує задану точність і мінімальну тривалість процесу дозування, що є критично важливим для досягнення оптимальних параметрів у сучасному фармацевтичному виробництві.

ВИСНОВКИ

Під час виконання дисертаційної роботи отримано такі результати та висновки.

1. Виконано ґрунтовний аналіз сучасних методів наповнення ємностей лікарськими препаратами. Детально розглянуто промислові системи, що використовують різні технології, зокрема вакуумне наповнення, шприцеве дозування, автоматичне дозування за допомогою витратомірів, а також метод вагового наповнення. Визначено ключові переваги та недоліки кожного з методів. За результатами аналізу методів дозування обрано для удосконалення технологічної лінії дозування та розроблення системи керування метод вагового наповнення.

2. Проаналізовано процес дозування лікарських засобів в діючій установці WDM 8002 та виділено три ключові етапи дозування: переддозування, швидке наповнення та точне наповнення. Проаналізовано особливості кожного етапу та визначено параметри етапу, які впливають на загальну тривалість та точність процесу дозування, що дає можливість розробити процедури адаптації цих параметрів.

3. Розроблено математичну модель процесу дозування розчину та проведено перевірку її адекватності у порівнянні із даними отриманими за результатами експериментальних досліджень.

4. Розроблено експериментальну установку що відтворює гідравлічну схему дозування розчину у технологічній лінії вагового наповнення серії WDM8002, а також реалізовано систему керування експериментальною установкою на основі контролера компанії Siemens CPU 1215C DC/DC/DC, віддаленої станції вводу/виводу типу ET-200SP, IM 155-6 PN HF з ваговим модулем SIWAREX WP321. Установка дає можливість дослідити різні структури системи керування та їх динамічні характеристики.

5. Розроблено алгоритми роботи для контролера експериментальної установки та відтворено діючий алгоритм дозування в установці WDM8002. Розроблено

програмне забезпечення складових експериментальної установки. Створено базову функцію для керування кроковим двигуном перетискного клапана у програмному середовищі TIA Portal, яка дає можливість спростити процес розроблення програми.

6. Удосконалено алгоритм дозування на основі ступінчатої функції шляхом введення додаткового етапу «напівточного наповнення». Алгоритм впроваджено в програму контролера експериментальної установки та виконано експериментальні дослідження удосконаленого алгоритму дозування. Визначено точність дозування та час наповнення флаконів різного об'єму.

7. Розроблено новий алгоритм керування процесом дозування інфузійних розчинів із застосуванням функції дозування на основі симетричної функції Гауса. Виконано експериментальні дослідження нового алгоритму дозування, за результатами яких підтверджено значне зменшення часу дозування при забезпеченні допустимої похибки наповнення флакона.

8. Розроблено удосконалення нового алгоритму керування процесом дозування інфузійних розчинів із застосуванням асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса. Такий підхід дозволяє гнучко змінювати характеристики процесу дозування під час виконання цього процесу, що сприяє зменшенню тривалості дозування та підвищенню точності дозування. За результатами експериментальних досліджень підтверджено вищу ефективність цього алгоритму у порівнянні з попередньо дослідженими.

9. За результатами експериментальних досліджень розроблених алгоритмів керування процесом дозування визначено середній час дозування для кожного із алгоритмів дозування та проведено розрахунок продуктивності лінії вагового наповнення. Встановлено, що збільшення продуктивності лінії WDM 8002 за умови впровадження алгоритму керування із застосуванням асиметричної функції дозування на основі рівняння Гауса становить 384,7 флаконів, або 17,7%.

10. Розроблено адаптивний алгоритм налаштування параметрів керуючого алгоритму (регулятора) на основі ступінчатої функції дозування. Розроблений алгоритм дозволяє здійснювати автоматичне налаштування параметрів керуючого

алгоритму (ступеня відкриття перетискного клапана на етапах швидкого та точного дозування, а також точки переходу до точного дозування) на основі результатів попередніх циклів дозування.

11. Розроблено адаптивний алгоритм налаштування параметрів керуючого алгоритму (регулятора) на основі симетричної та асиметричної функцій, розроблених із застосуванням рівняння Гауса. Адаптивний алгоритм автоматично коригує максимальний ступінь відкриття клапана, коефіцієнт відхилення та математичне сподівання. Розроблений алгоритм забезпечує задану точність і мінімальну тривалість процесу дозування, що є критично важливим для досягнення оптимальних параметрів у сучасному фармацевтичному виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фармацевтична енциклопедія України. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/>
2. СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020 Лікарські засоби. Належна виробнича практика (The Rules Governing Medicinal Products in the European Union. Volume 4. EU Guidelines to Good Manufacturing Practice Medicinal Products for Human and Veterinary Use, MOD)
3. Стандарт МОЗ України СТ-Н МОЗУ 42-3.4-2004 «Виробництво лікарських засобів»
4. Allen L.V., Popovich N.G., Ansel H.C. Ansel's Pharmaceutical Dosage Forms and Drug Delivery Systems. – 10th ed. – URL: <https://rudiapt.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/08/ansels-pharmaceutical-dosage-forms-and-drug-delivery-systems-10th-ed.pdf>
5. Development of PLC-Based Software for Increasing the Dependability of Production Automation Systems Daniel Schütz, Andreas Wannagat, Christoph Legat, and Birgit Vogel-Heuser, Senior Member, IEEE, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 9, NO. 4, NOVEMBER 2013
6. What Is a Piston Filler – Here's Everything you Should Know - Jochamp. Jochamp. URL: <https://jochamp.com/what-is-a-piston-filler/>
7. Volumetric Filling Machine – Here's Everything to know about Volumetric Filler - Jochamp. Jochamp. URL: <https://jochamp.com/volumetric-filling-machine>
8. IPT Salipur. (2020). 502T_IP2_UNIT-IV [PDF]. URL: https://www.iptsalipur.org/wp-content/uploads/2020/08/502T_IP2_UNIT-IV.pdf#:~:text=Time,nitrogen%20with%20no%20pump%20mechanism
9. Vial Filling Machines | Liquid filling solutions - Syntegon. Processing and packaging solutions » Syntegon. URL: [https://www.syntegon.com/solutions/pharma/vial-filling-machines/#:~:text=Our%20vial%20filling%20systems%20combine,IPC\)%20and%20in line](https://www.syntegon.com/solutions/pharma/vial-filling-machines/#:~:text=Our%20vial%20filling%20systems%20combine,IPC)%20and%20in line)

10. Bfs Machine Pharmaceutical Blow Fill Seal Bfs System Infusion Line IV Fluids Machine. Made-in-China.com. URL: <http://shanghai-marya.en.made-in-china.com/product/UdJGqxNjLOWB/China-Bfs-Machine-Pharmaceutical-Blow-Fill-Seal-Bfs-System-Infusion-Line-IV-Fluids-Machine.html#:~:text=,speed%20long%20screw%20extruder>.
11. Packaging Digest. Vial filling line boosts capacity [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.packagingdigest.com/packaging-design/vial-filling-line-boosts-capacity-10316>
12. Syringe, cartridge and vial (RTU) filling equipment from OPTIMA. OPTIMA – packaging and filling machines from the technology-leading manufacturer. URL: <https://www.optima-packaging.com/en/industries/pharma-and-biotech/aseptic-filling/solutions-for-syringes-cartridges-and-vials-rtu#:~:text=3>
13. RTU packaging following new EU GMP-Annex 1 - Stevanato Group. Home - Managing Complexity, Delivering Value - Stevanato Group. URL: <https://www.stevanatogroup.com/en/news-events/news/rtu-packaging-following-new-eu-gmp-annex-1/#:~:text=A%20possible%20solution%20to%20reduce,use%>
14. World Health Organization. Annex 6: Good manufacturing practices for sterile pharmaceutical products [Електронний ресурс] // WHO Technical Report Series No. 961. – 2011. – URL: <https://www.who.int/docs/default-source/medicines/norms-and-standards/guidelines/production/trs961-annex6-gmp-sterile-pharmaceutical-products.pdf>.
15. BioRealty. Overview of Aseptic Fill/Finish Manufacturing [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.biorealty.com/blog/overview-of-aseptic-fillfinish-manufacturing/>.
16. Промислова технологія ліків. Том 2 (Підручник. В 2-х т., Том 2 / В.І.Чуєшов, М.Ю. Чернов, Л.М. Хохлова і ін.); Під редакцією професора В.І. Чуєшова. – Харків.:МТК-Книга; Видавництво НФАУ, 2002. – 716 с.
17. Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнічної промисловості: підручник / С,Т, Стасевич, ФО. Милянчич, Л.С Стрельников та ін.;

Нац. Ун-т “ Львів. Політехніка”, Нац. Фармац. Ун-т. - Львів: Новий світ-2000, 2017.- 500с.

18. Технологія Коріолісового витратоміра. Smart Measurement. URL: <https://www.smartmeasurement.com/uk/coriolis-flow-meter-technology>
19. Stepper motors EMMS-ST. Festo URL: https://www.festo.com/media/catalog/203020_documentation.pdf
20. 2DM860H 6A 80VAC Digital Stepper Drive. URL: <https://oferta.forum-cnc.pl/files/2DM860H-01.pdf>.
21. Power supply unit TRIO-PS/2G/1AC/48DC/10 – 2903160 [Електронний ресурс] // Phoenix Contact Official Website. – URL: <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/products/power-supply-unit-trio-ps-2g-1ac-48dc-10-2903160>
22. SP8. HBK World. URL: https://www.hbkworld.com/en/products/transducers/load-cells/single-point/sp8#!ref_hbm.com
23. Dynamic Load Cell Technology. Professionelle Waagen für Gewerbe & Industrie | METTLER TOLEDO. URL: <https://www.mt.com/us/en/home/library/white-papers/product-inspection/dynamic-load-cell.html>
24. Product Details - SiePortal - Siemens Ukraine - 6ES7215-1AG40-0XB0. Welcome - Industry Mall - Siemens WW. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/UA/Catalog/Product/?mlfb=6ES7215-1AG40-0XB0&SiepCountryCode=UA>
25. Product Details - SiePortal - Siemens Ukraine - 6ES7155-6AU00-0CN0. Welcome - Industry Mall - Siemens WW. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/UA/Catalog/Product/?mlfb=6ES7155-6AU00-0CN0&SiepCountryCode=UA>
26. Product Details - SiePortal - Siemens Ukraine - 7MH4138-6AA00-0BA0. Welcome - Industry Mall - Siemens WW. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/UA/Catalog/Product/?mlfb=7MH4138-6AA00-0BA0&SiepCountryCode=UA>

27. 1747-L542. ООО Трейд Контрол - поставщик промышленного оборудования в Украине. URL: <https://trade-control.com.ua/ua/allen-bradley-1747-l542>
28. SLC 500 Controllers | Allen-Bradley | US. Rockwell Automation. URL: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/small-controllers/slc-500-controllers.html>
29. Q13UDEHCPU - Mitsubishi Electric Factory Automation - EMEA. MITSUBISHI ELECTRIC EMEA. URL: <https://emea.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/plcq/cpu/cpu/q13udehcpu.html>
30. Q61LD | Analogue I/O Module | PLC Modular | PLC | Catalogue | Mitsubishi Electric Europe e-shop. Mitsubishi Electric Europe e-shop | Homepage. URL: https://mitsubishi-electric-eshop.mee.com/mee/FA_IA/uk/EUR/Catalogue/PLC/PLC-Modular/Analogue-I-O-Module/Q61LD/p/000000000000229237
31. Siemens Data Sheet SIWAREX Cable 7MH4702-8AG. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/022/17165022/att_101458/v1/SIWAREX_Cable_7MH4702-8AG_english_Version_05_2004.pdf
32. Advantages and special features of the S7 protocol - SIOS. Siemens SiePortal. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/26483647/what-properties-advantages-and-special-features-does-the-s7-protocol-offer-?dti=0&lc=en-UA>
33. PROFINET The leading communication system. PI - Industry Standards - www.profibus.com. URL: <https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=53290&token=6c8f55bcf01604eb71efb19902a1209c5274b84e>
34. Weighing systems, Electronic weighing system SIWAREX WP321, Operating Instructions. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/838/109770838/att_995902/v1/A5E33715669A-ADen_WP321_OI_en-US.pdf
35. Siemens SIMATIC STEP 7 S7-1200 Motion Control V6.0 in TIA Portal V15 Function Manual. URL:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/206/109754206/att_937288/v1/s71200_motion_control_function_manual_en-US_en-US.pdf

36. STEP 7 Basic V14.0 PLC data types (UDT). Siemens SiePortal. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109742266?c=89382053899&lc=en-AF>

37. STEP 7 and WinCC V15.1 Programming and Operating Manual. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/045/109761045/att_964372/v1/ReadMe_STEP7_WinCC_V15_1_enUS.pdf

38. ДСТ 19.701-90 «ЕСПД. Схеми алгоритмів, програм даних і систем. Умовні позначення і правила виконання». (ISO 5807: 1985 "Обработка информации. Обработка информации. Символы, что заостовуются в документации, и позначення для блок-схем даних програм та систем, схем програмних мереж системних ресурсов"Обработка информации. – «Information processing – Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts»).

39. Siemens SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf.

40. Programming Guideline for S7-1200/1500. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/040/90885040/att_970576/v1/81318674_Programming_guideline_DOC_v16_en.pdf.

41. SIEMENS SIMATIC S7-1200 Easy Book Manual. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/145/39710145/att_5787/v1/s71200_easy_book_en-US_en-US.pdf.

42. Development of PLC-Based Software for Increasing the Dependability of Production Automation Systems Daniel Schütz, Andreas Wannagat, Christoph Legat, and Birgit Vogel-Heuser, Senior Member, IEEE, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 9, NO. 4, NOVEMBER 2013

43. Тичинська Л., Черепащук А. ТЕОРІЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ Ч1 Історичні екскурси та основні теоретичні відомості. 3516-те вид. Вінниця : Вінн. національно техн. ун-т, 2009. 112 с
44. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч.посібник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2007. – 624 с.
45. Normal dtribution: Article from Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution
46. Bausch+Stroebel. EDM Series - Filling and sealing machines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bausch-stroebel.com/en/machines/edm-series>
47. Bausch+Stroebel to deliver high-speed vial processing line [Електронний ресурс] // Manufacturing Chemist – Режим доступу: <https://manufacturingchemist.com/baus-ch-stroebel-to-deliver-high-speed-vial-processing-line-46442>
48. SMARTline – Compact Filling and Closing Machine [Електронний ресурс] : інформаційний буклет / Bausch+Stroebel. – Режим доступу: <https://www.bausch-stroebel.com/adbimage/2646/asset-original/handout-smartline.pdf>
49. Liquid & Powder Dosing System Design Guide 2025 [Електронний ресурс] // Porvoo Blog. – Режим доступу: <https://porvoo.com.cn/blog/liquid-powder-dosing-system-design-guide-2025>
50. Dosing and Weighing for VFFS Machines [Електронний ресурс] // Syntegon Official Website. – Режим доступу: <https://www.syntegon.com/solutions/food/vffs-machine/dosing-and-weighing>
51. IMA Displays Novel Process Technologies [Електронний ресурс] // Pharmaceutical Technology. – Режим доступу: <https://www.pharmtech.com/view/ima-displays-novel-process-technologies>.
52. Шалева В. В., Матіко Ф. Д. Аналіз функційних можливостей автоматизованих систем дозування готових лікарських засобів // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: приладобудування. – 2024. – № 68 (2). – С. 65–72. (Фахове видання категорії Б).

53. Володимир Шалева, Федір Матіко, Олег Качор. Аналіз технологічних ліній дозування лікарських препаратів як об'єкта керування // Modeling, control and information technologies (MCIT). – 2023. – № 6 : Modeling, control and information technologies : proceedings of VI International scientific and practical conference. – Р. 268–270.
54. Онисик С. Б. Моделювання об'єктів керування. Поняття. Тлумачення. Моделі. Дослідження: навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. політехніка, 2019. 292 с. ISBN 978-966-941-429-8
55. Fedir Matiko, Volodymyr Shaleva. Development of Experimental Setup to Investigate the Control System for Infusion Solutions Dosing Process // Енергетика та системи керування. – 2024. – Vol. 10, № 2. – Р. 131–141. (Фахове видання категорії Б).
56. Богдан Кріль, Федір Матіко, Володимир Шалева. Удосконалення вагових комірок для технологічного процесу дозування інфузійних розчинів // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції (Кропивницький: ЦНТУ, 13–14 листопада 2024 р.). – 2024. – С. 170–172.
57. Кріль Б. А., Матіко Ф. Д., Шалева В. В., Бугайчук М. І. Експериментальне дослідження регулюючих органів та вагових комірок для технологічного процесу дозування інфузійних розчинів // Перспективні технології та прилади : збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 23. – С. 38–47. (Фахове видання категорії Б)
58. Кріль Б. А., Шалева В. В., Бугайчук М. І., Кріль О. В. Дослідження вагових комірок технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів // Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів : збірник наукових праць VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки (Луцьк, 28–30 травня 2022 р.). – 2022. – С. 75–76.
59. Бугайчук М. І., Шалева В. В., Кріль Б. А., Кріль О. В. Удосконалення системи керування дозуванням інфузійних розчинів із застосуванням

програмованих логічних контролерів // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали VIII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції (Київ, 26 листопада 2021 року). – 2021. – С. 22.

60. Hutter K. Small-Scale Syringe and Vial-Filling Capability for Development of Robust Filling Processes, Smooth Tech Transfers, and to Resolve Manufacturing Issues: Summary of Key Learnings / K. Hutter, K.G. Desai, I. Rusanov, A. Gidh // BioPharm International. – 2023. - Vol.36, No. 7. P. 28–33.

61. Desai, K. G.; Colandene, J. D.; Gidh,A.; Hanslip, S.; Rastelli, M. Syringe Filling of High-Concentration mAb Products Using Peristaltic PumpBased Mechanism: Challenges and Mitigation Strategies. J. Pharm. Sci.2022, 111 (3), 562–576. DOI: 10.1016/j.xphs.2021.09.016

62. Hanslip, S.; Desai, K. G.; Palmer, M.; et al. Syringe Filling of a High-Concentration mAb Formulation: Experimental, Theoretical, and Computational Evaluation of Filling Process Parameters That Influence the Propensity for Filling Needle Clogging. J. Pharm. Sci. 2019, 108 (3), 1130–1138. DOI: 10.1016/j.xphs.2018.10.031

63. Shieu, W.; Lamar, D.; Stauch, O. B.; Maa, Y. F. Filling of High-Concentration Monoclonal Antibody Formulations: Investigating Underlying Mechanisms that Affect Precision of Low-Volume Fill by Peristaltic Pump. PDA J. Pharm.Sci. Technol. 2016, 70 (2), 143–156. DOI: 10.5731/pdajpst.2015.005926

64. Shieu, W.; Torhan, S. A.; Chan, E.; et al. Filling of High-Concentration Monoclonal Antibody Formulations into Pre-Filled Syringes: Filling Parameter Investigation and Optimization. PDA J. Pharm. Sci. Technol. 2014, 68 (2), 153–163.

65. Матіко Ф. Д., Шалева В. В. Розроблення адаптивного алгоритму керування процесом дозування інфузійних розчинів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2025. – № 1. – С. 1–13. (Фахове видання категорії Б).

66. A. Wannagat and B. Vogel-Heuser, “Increasing flexibility and availability of manufacturing systems—Dynamic reconfiguration of automation software at runtime on sensor faults,” in Proc. 9th IFACIMS, 2008, pp. 381–386

67. M. Cong, J. Zhang, and W. Qian, “Fault diagnosis system for automated assembly line,” in Proc. IEEE ICIPS, 1997, pp.1478–1482.
68. J. Agalloco, “Aseptic Processing 2019: Trends and Challenges,” Presentation at INTERPHEX (NYC, 2019).
69. Watson Marlow Fluid Technology Group, “Uniquely Configurable Flexicon FPC60 Fill/Finish System Offers Production Flexibility,” Press Release, Jan. 10, 2019.
70. Виробництво інфузійних розчинів - Бібліотека BukLib.net. Головна - Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/36223/>
71. Літовко, М. І., & Нікітін, О. К. (2019). Огляд методів та засобів вимірювання кількості борошна в ємності. Методи та засоби дозування борошна. Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 224-227.
72. Adaptive Dosing Control System Through ARIMA Model for Peristaltic Pumps [Електронний ресурс] // ResearchGate. – 2023. – URL:: https://www.researchgate.net/publication/373835424_Adaptive_Dosing_Control_System_Through_ARIMA_Model_For_Peristaltic_Pumps
73. J. Klespitz and L. Kovács, “Peristaltic pumps — a review on working and control possibilities,” in 2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2014, pp. 191–194
74. W. Shieu, D. Lamar, O. B. Stauch, and Y.-F. Maa, “Filling of high-concentration monoclonal antibody formulations: Investigating underlying mechanisms that affect precision of low-volume fill by peristaltic pump,” PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology, vol. 70, no. 2, pp. 143–156, 2016. [Online]. Available: <https://journal.pda.org/content/70/2/143>
75. A. Peterson, E. Isberg, and A. Schlicht, “Capability of filling systems to dispense micro-doses of liquid pharmaceutical product,” Pharmaceutical Engineering, vol. 24, no. 4, p. 7, 2007

76. L. Chen, Y. Zhu, and C. K. Ahn, “Adaptive neural network-based observer design for switched systems with quantized measurements,” *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, pp. 1–14, 2021.
77. P. Lambert and F. Joergensen, “Accurate dispensing of biopharmaceuticals,” *World Pumps*, vol. 2008, pp. 22–24, 2008.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача:

Публікації в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Кріль Б. А., Матіко Ф. Д., Шалева В. В., Бугайчук М. І. Експериментальне дослідження регулюючих органів та вагових комірок для технологічного процесу дозування інфузійних розчинів // Перспективні технології та прилади : збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 23. – С. 38–47. (Фахове видання категорії Б)
2. Fedir Matiko, Volodymyr Shaleva. Development of Experimental Setup to Investigate the Control System for Infusion Solutions Dosing Process // Енергетика та системи керування. – 2024. – Vol. 10, № 2. – Р. 131–141. (Фахове видання категорії Б).
3. Шалева В. В., Матіко Ф. Д. Аналіз функційних можливостей автоматизованих систем дозування готових лікарських засобів // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: приладобудування. – 2024. – № 68 (2). – С. 65–72. (Фахове видання категорії Б).
4. Матіко Ф. Д., Шалева В. В. Розроблення адаптивного алгоритму керування процесом дозування інфузійних розчинів // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2025. – № 1. – С. 1–13. (Фахове видання категорії Б).
5. Shaleva Volodymyr, Matiko Fedir, Krykh Hanna. Algorithm for operating the system of monitoring the technological process parameters using mobile communication networks // Selected issues of electrical engineering and electronics : 16th International conference, Rzeszów 13-15 September, 2021. – 2021. – (SciVerse SCOPUS).
6. Shaleva V., Matiko F., Krykh H., Roman V. Smart system for monitoring technological process parameters and energy equipment protection // 2022 IEEE 8th

International Conference on Energy Smart Systems (ESS) : proceedings (Kyiv, 12–14 October 2022). – 2022. – С. 216–220. (SciVerse SCOPUS).

7. Володимир Шалева, Федір Матіко, Олег Качор. Аналіз технологічних ліній дозування лікарських препаратів як об'єкта керування // Modeling, control and information technologies (MCIT). – 2023. – № 6 : Modeling, control and information technologies : proceedings of VI International scientific and practical conference. – Р. 268–270.

8. Бугайчук М. І., Шалева В. В., Кріль Б. А., Кріль О. В. Удосконалення системи керування дозуванням інфузійних розчинів із застосуванням програмованих логічних контролерів // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали VIII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції (Київ, 26 листопада 2021 року). – 2021. – С. 22.

9. Кріль Б. А., Шалева В. В., Бугайчук М. І., Кріль О. В. Дослідження вагових комірок технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів // Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів : збірник наукових праць VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки (Луцьк, 28–30 травня 2022 р.). – 2022. – С. 75–76.

10. Богдан Кріль, Федір Матіко, Володимир Шалева. Удосконалення вагових комірок для технологічного процесу дозування інфузійних розчинів // Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції (Кропивницький: ЦНТУ, 13–14 листопада 2024 р.). – 2024. – С. 170–172.

ДОДАТОК Б



АКТ

впровадження в навчальний процес
у Національному університеті “Львівська політехніка”
результатів дисертаційної роботи
аспіранта Шалеви Володимира Володимировича
“ Система адаптивного керування дозуванням розчинів
у фармацевтичному виробництві ”

Цей акт складений про те, що на кафедрі "Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій" в навчальному процесі для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти впроваджені результати виконуваної упродовж 2021-2025 років дисертаційної роботи “Система адаптивного керування дозуванням розчинів у фармацевтичному виробництві”.

Результати роботи, а саме розроблені Шалевою В.В. адаптивні алгоритми керування процесами дозування використовуються в навчальному процесі під час проведення занять з дисциплін «Інтеграційні технології в автоматизованих системах керування» (магістерський рівень) та «Комп'ютерні технології проектування систем керування» (бакалаврський рівень) для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», а також під час виконання кваліфікаційних робіт.

Впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес сприяє ознайомленню студентів з проблемами керування установками дозування розчинів у фармацевтичному виробництві, а також забезпечує підвищення рівня теоретичної та практичної підготовки здобувачів у напрямі розроблення сучасних систем керування технологічними процесами різних галузей промисловості.

Голова комісії:

Голова НМР ІЕСК,
професор, д.т.н.

Андрій КУЩИК

Члени комісії:

Завідувач кафедри АВКТ,
професор, д.т.н.

Федір МАТИКО

Доцент кафедри АВКТ,
доцент, к.т.н.

Ганна КРИХ

Акціонерне товариство «Галичфарм»



Довідка

Про впровадження результатів дисертаційної роботи

Шалеви Володимира Володимировича

«Система адаптивного керування дозуванням розчинів у фармацевтичному виробництві.»

Результати дисертаційної роботи Шалеви Володимира Володимировича, а саме алгоритми дозування інфузійних лікарських засобів також адаптивний алгоритм знаходження корекцій параметрів дозування за результатами попереднього дозування, застосовані під час модернізації системи керування машини вагового наповнення в АТ «Галичфарм».

Застосування результатів роботи дало можливість зменшити час дозування при забезпеченні заданої точності дозування розчину у флакони. Застосування адаптивного алгоритму дає можливість зменшити трудомісткість процесу налагодження лінії дозування розчинів для різних видів тари та розчинів з різними властивостями.

Результати дисертаційної роботи Шалеви Володимира Володимировича мають практичне значення, є актуальними, дозволяють підвищити якість дозування лікарських розчинів у споживчу тару, підвищити продуктивність обладнання, що має позитивний вплив на економічність виробництва одиниці продукції.

Провідний інженер-електронік

Начальник ДСО

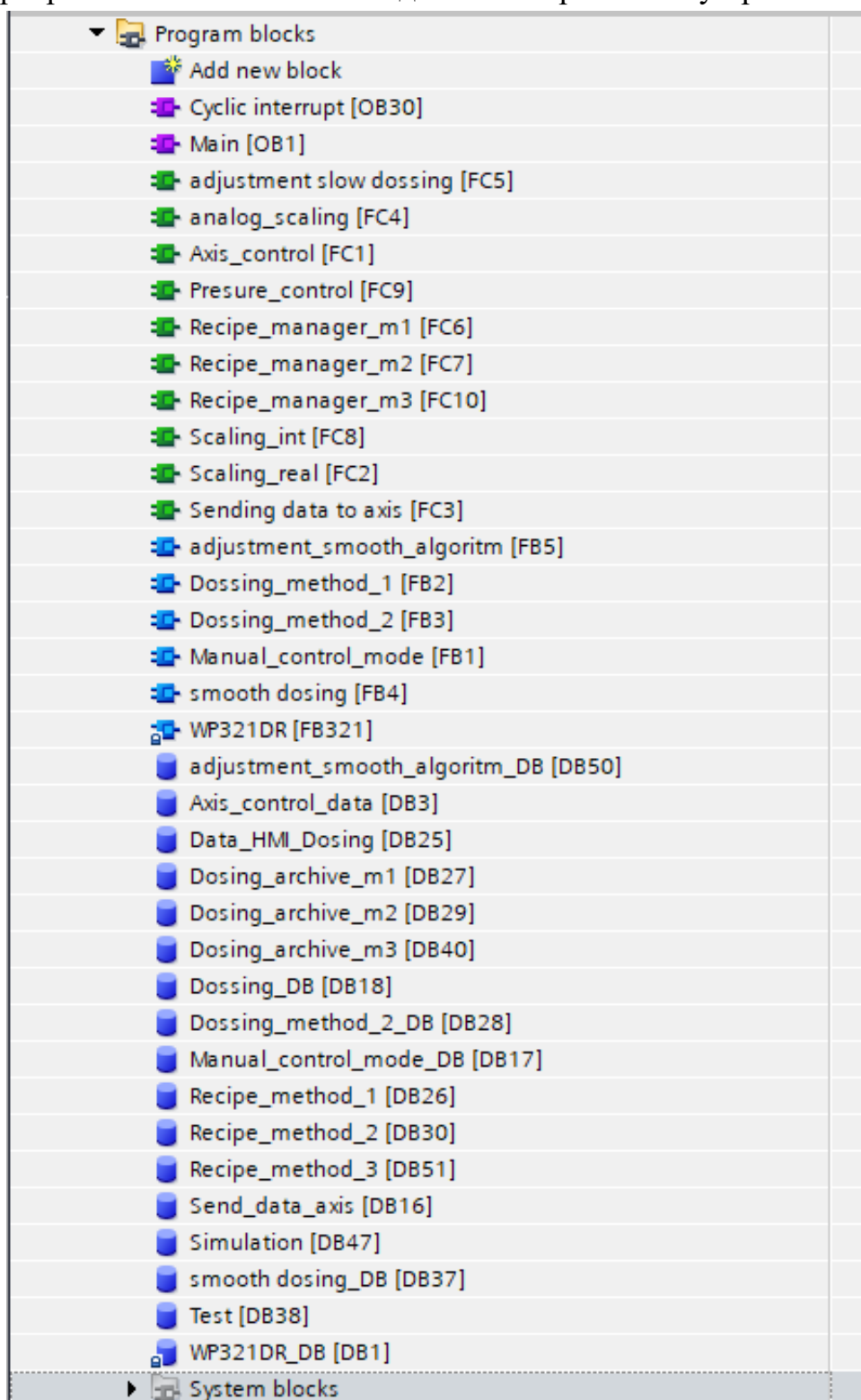
Юрій ТИМКІВ.

Максим ГАВРИЛИШИН

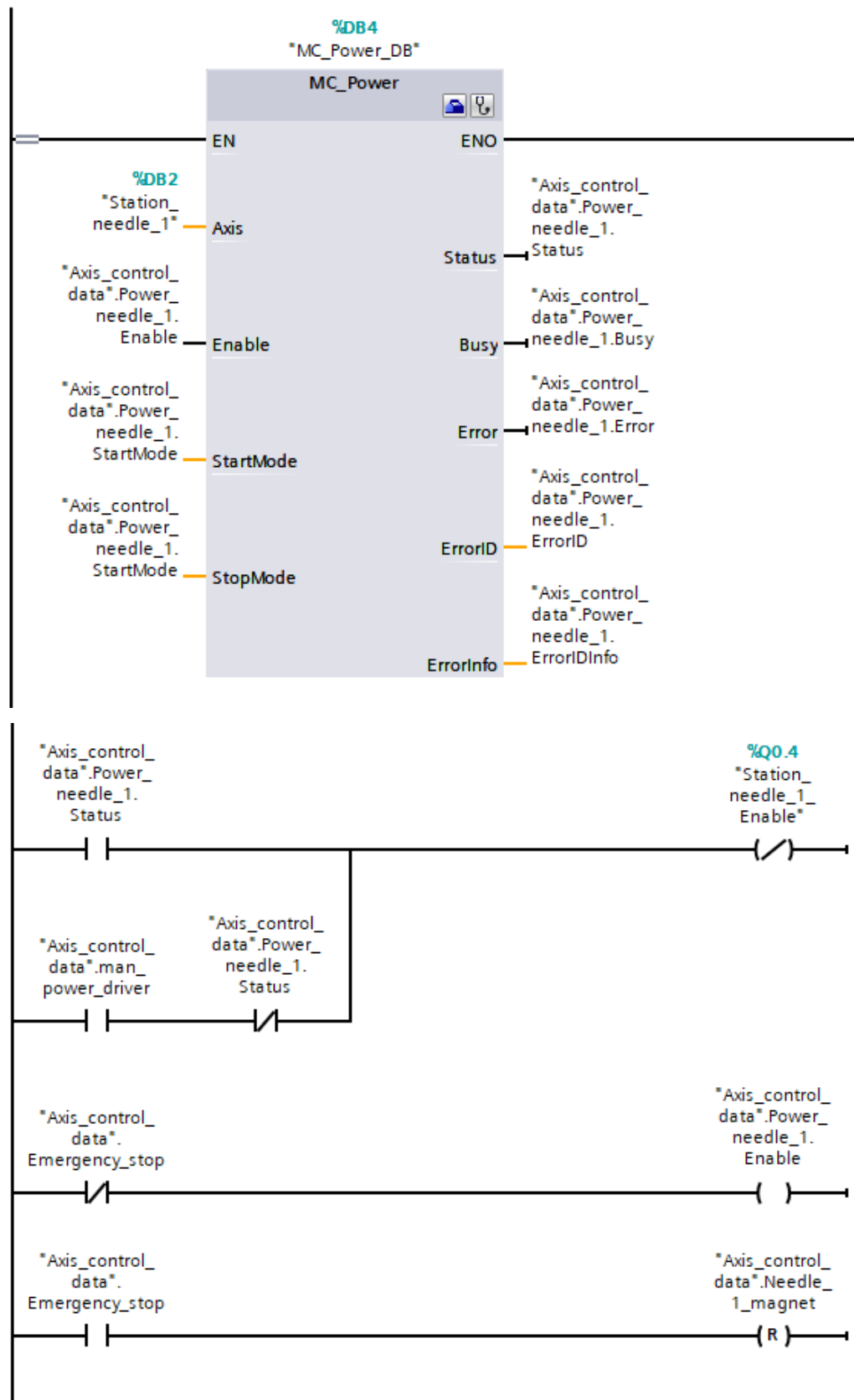
ДОДАТОК Г

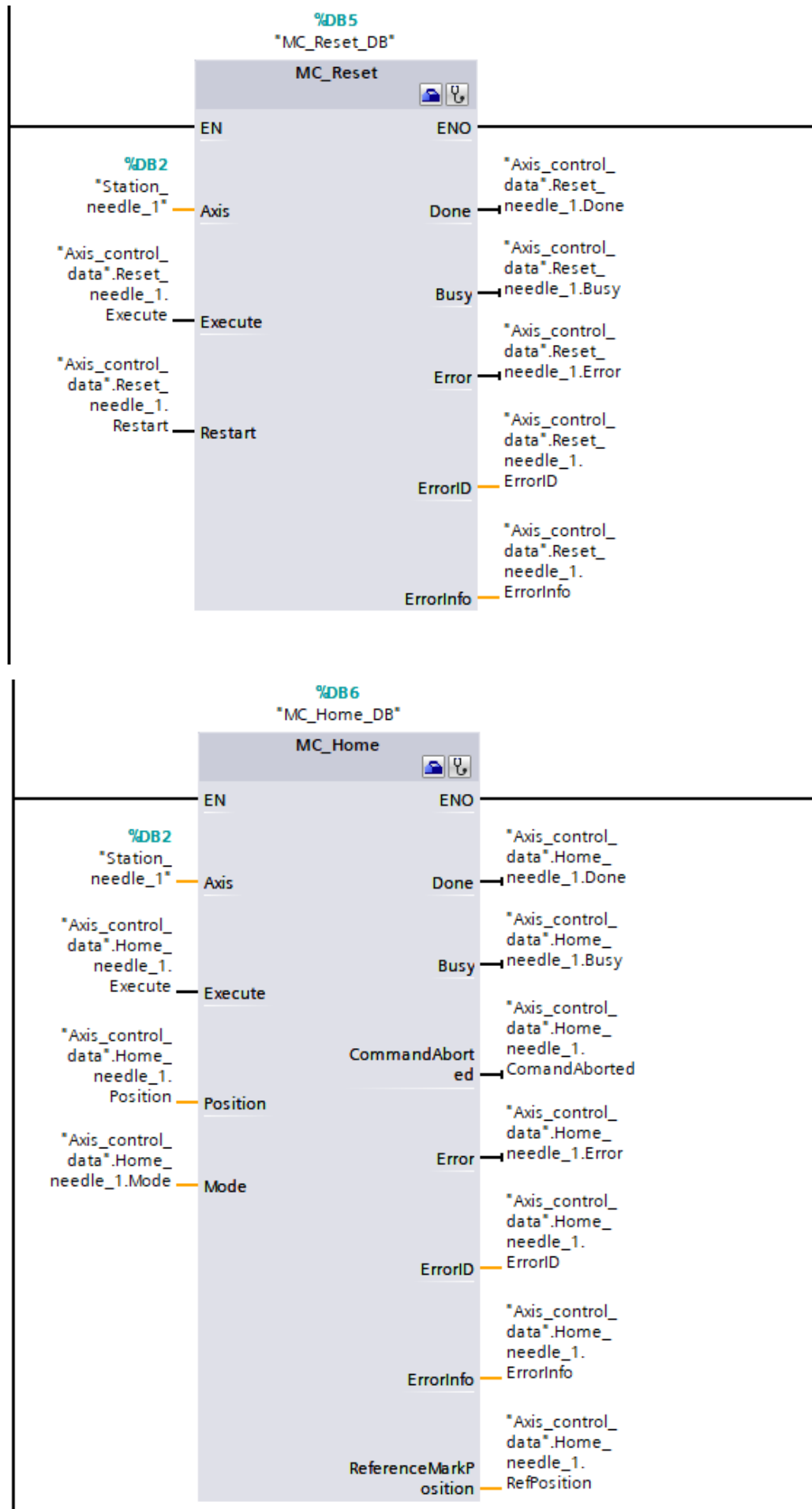
Програма функціонування контролера в експериментальній установці для дослідження системи керування процесом дозування

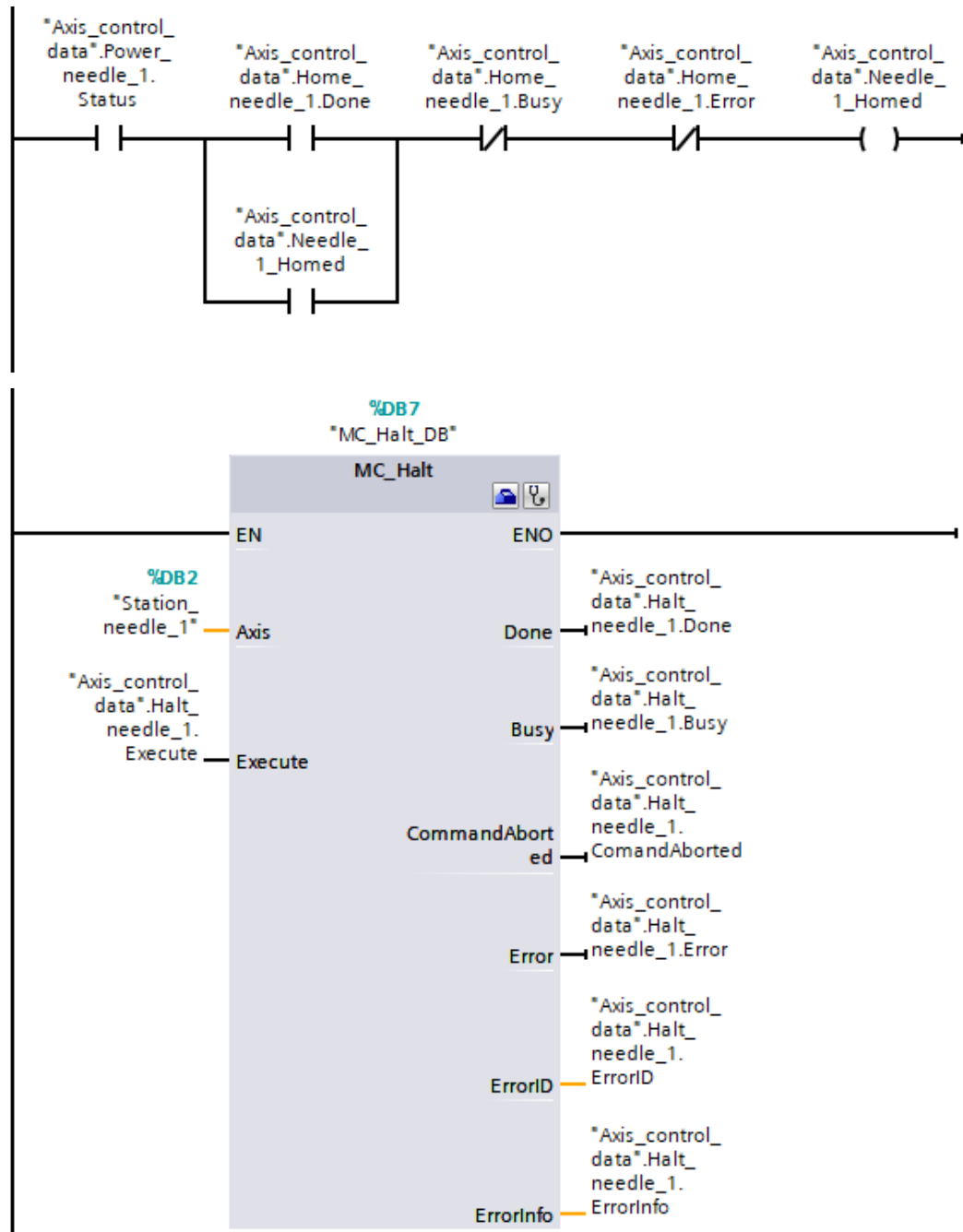
Перелік всіх програмних блоків та блоків даних використаних у проекті:

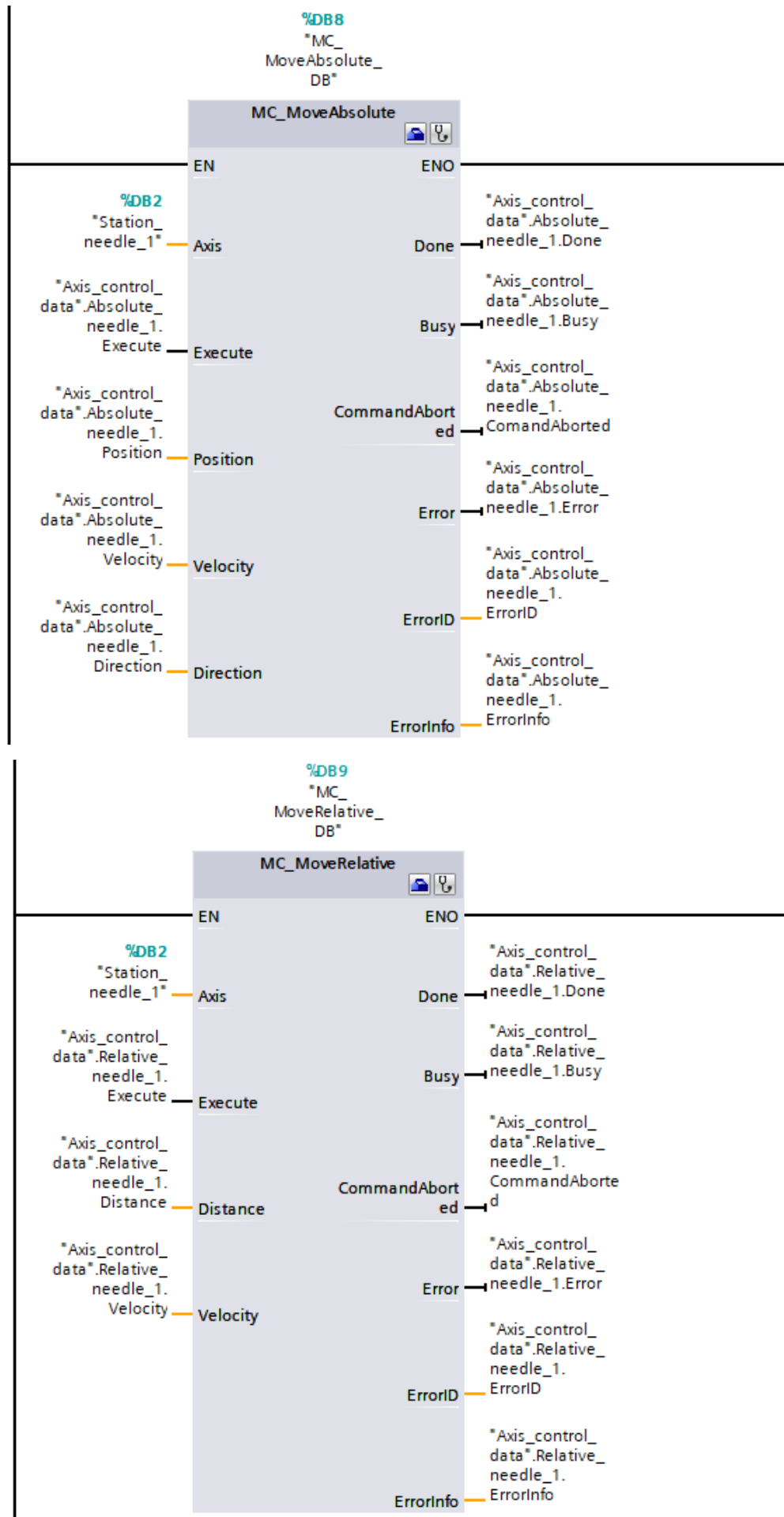


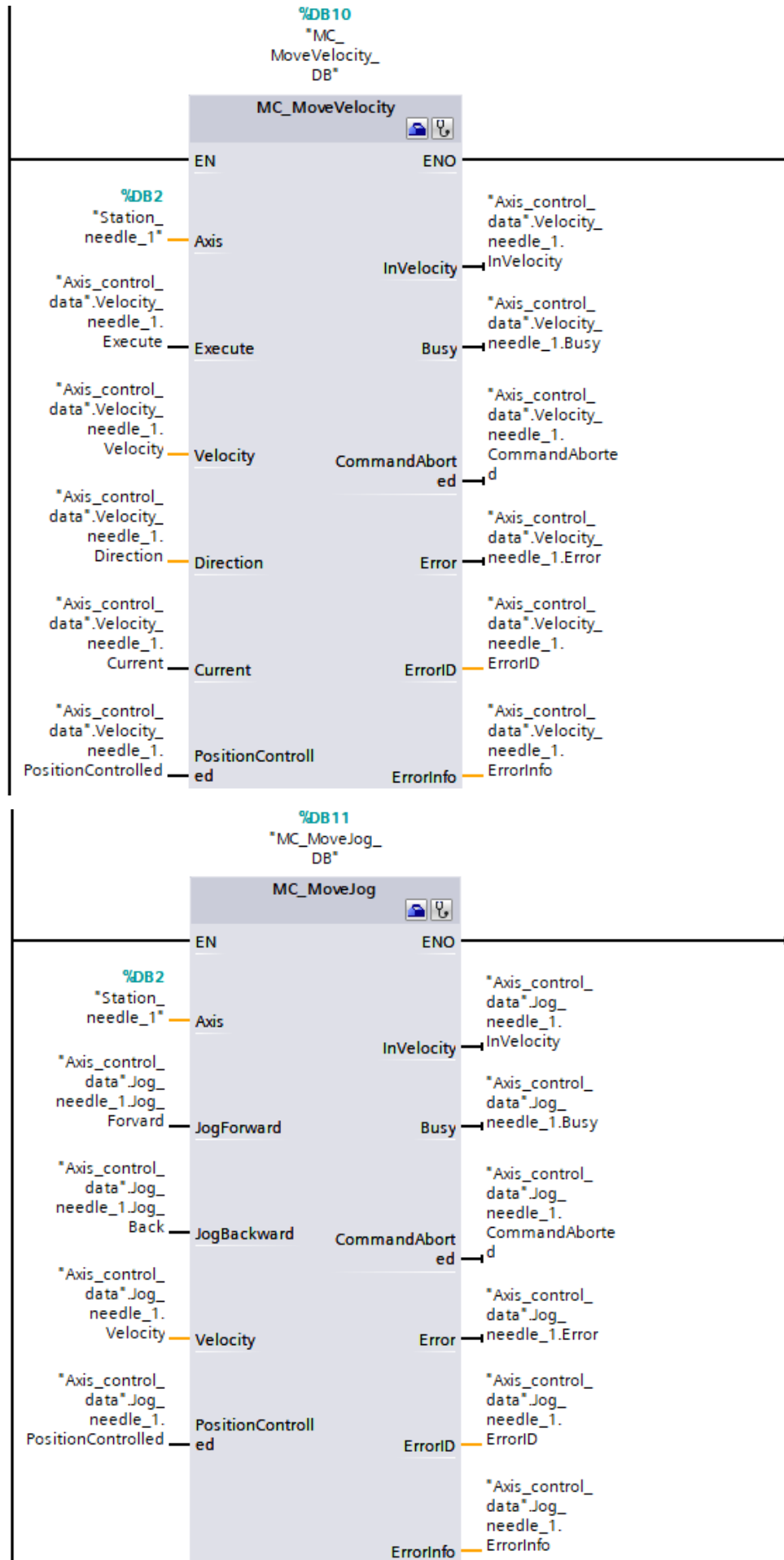
Функції керування двигуном перетискного клапана:

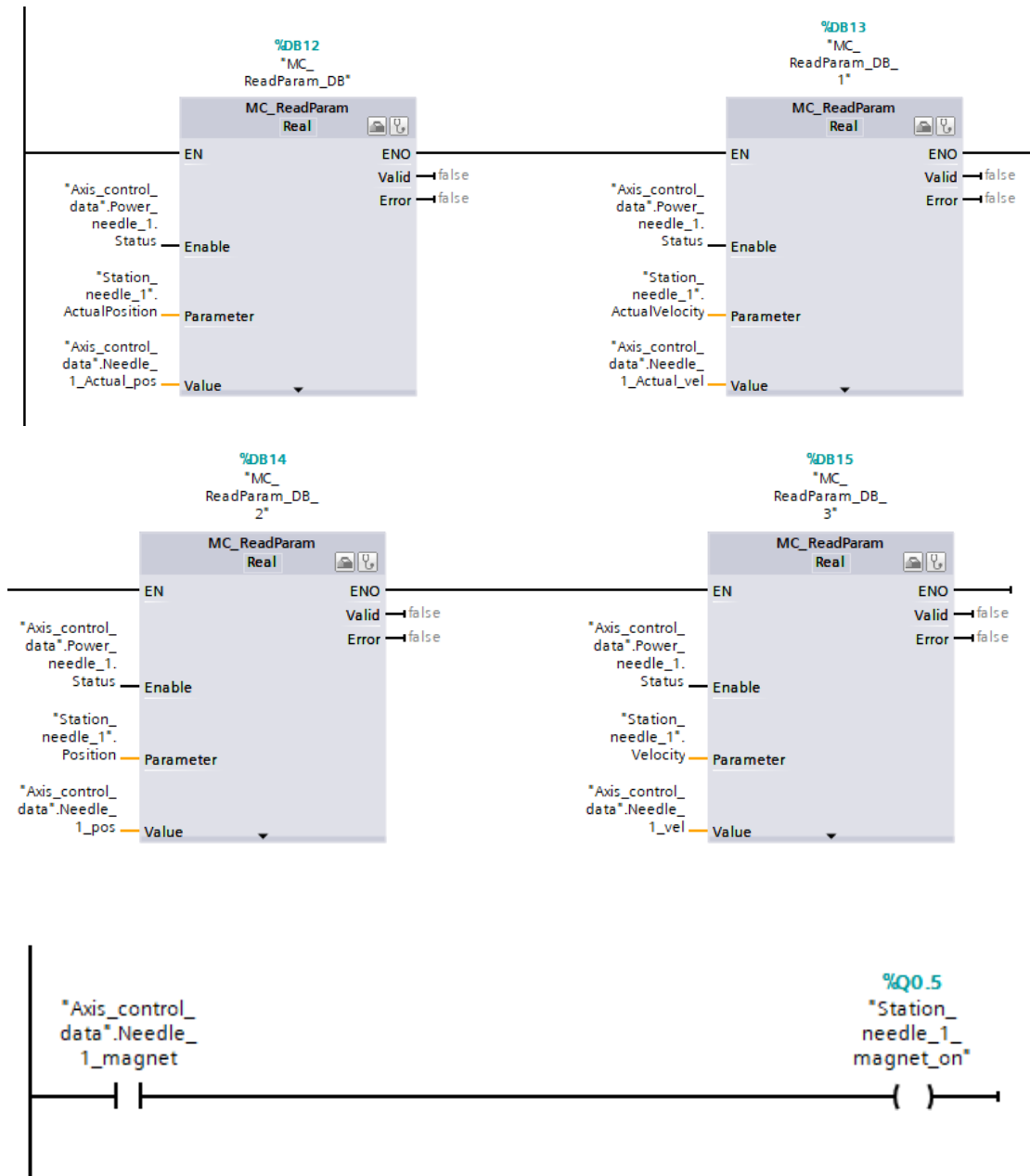




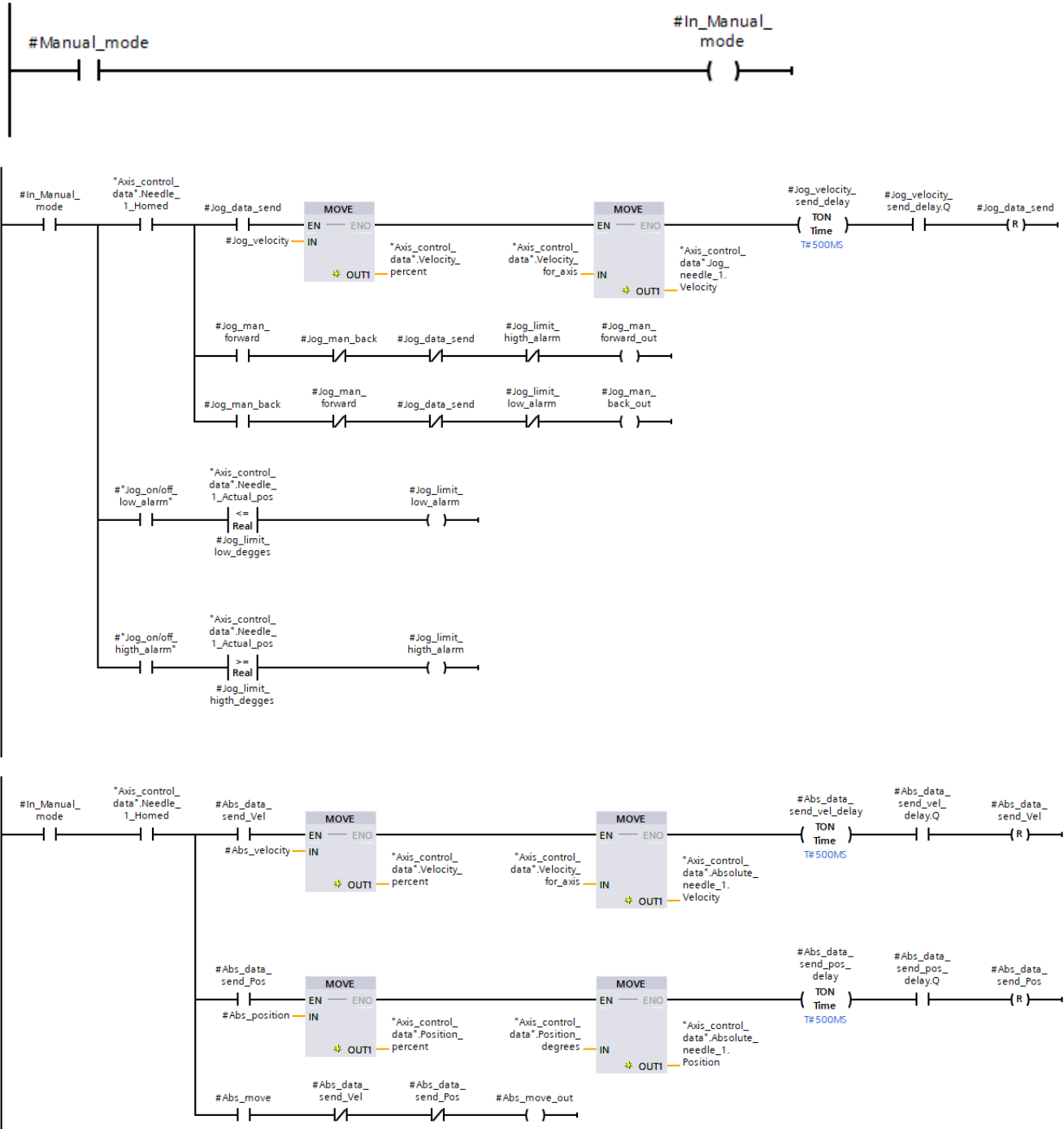




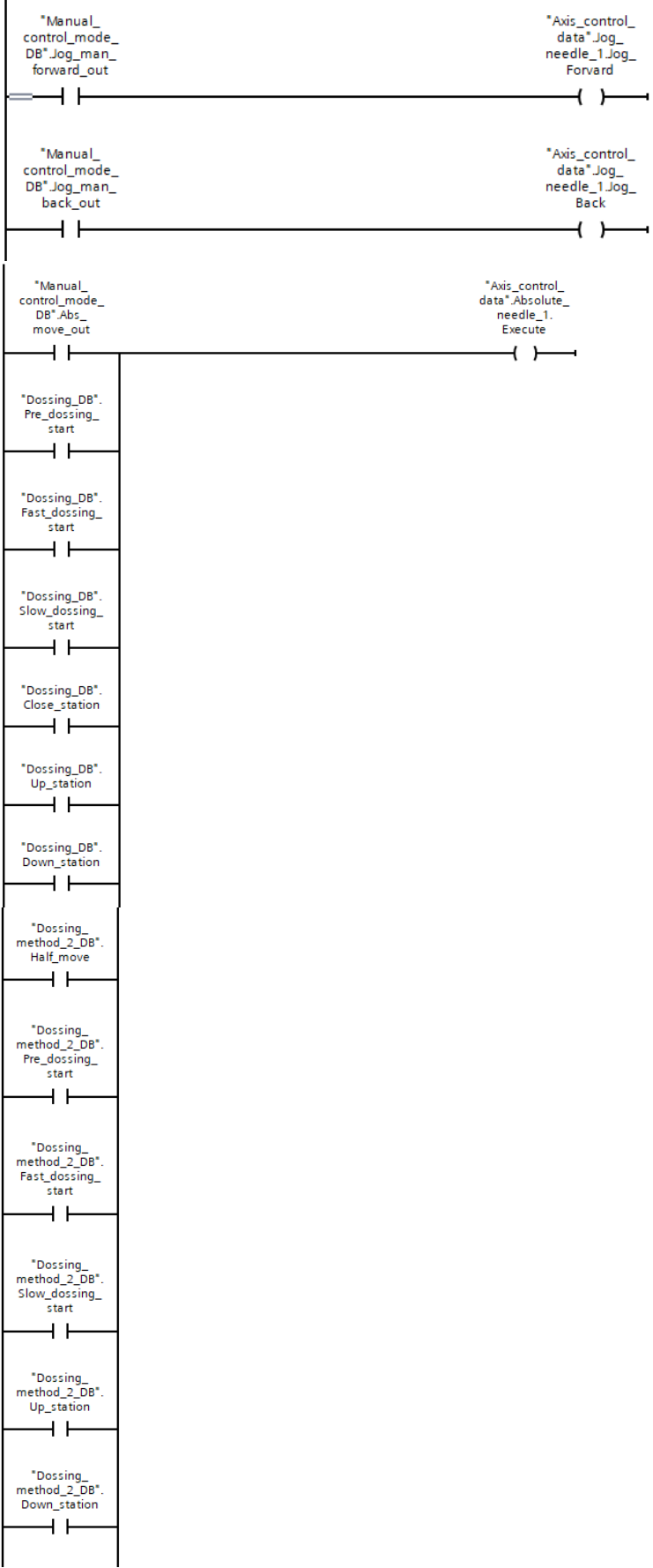


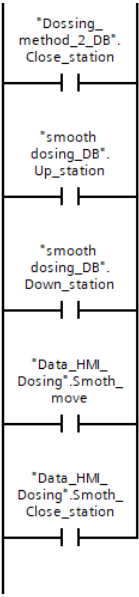


Функція керування кроковим двигуном перетискного клапана у ручному режимі:

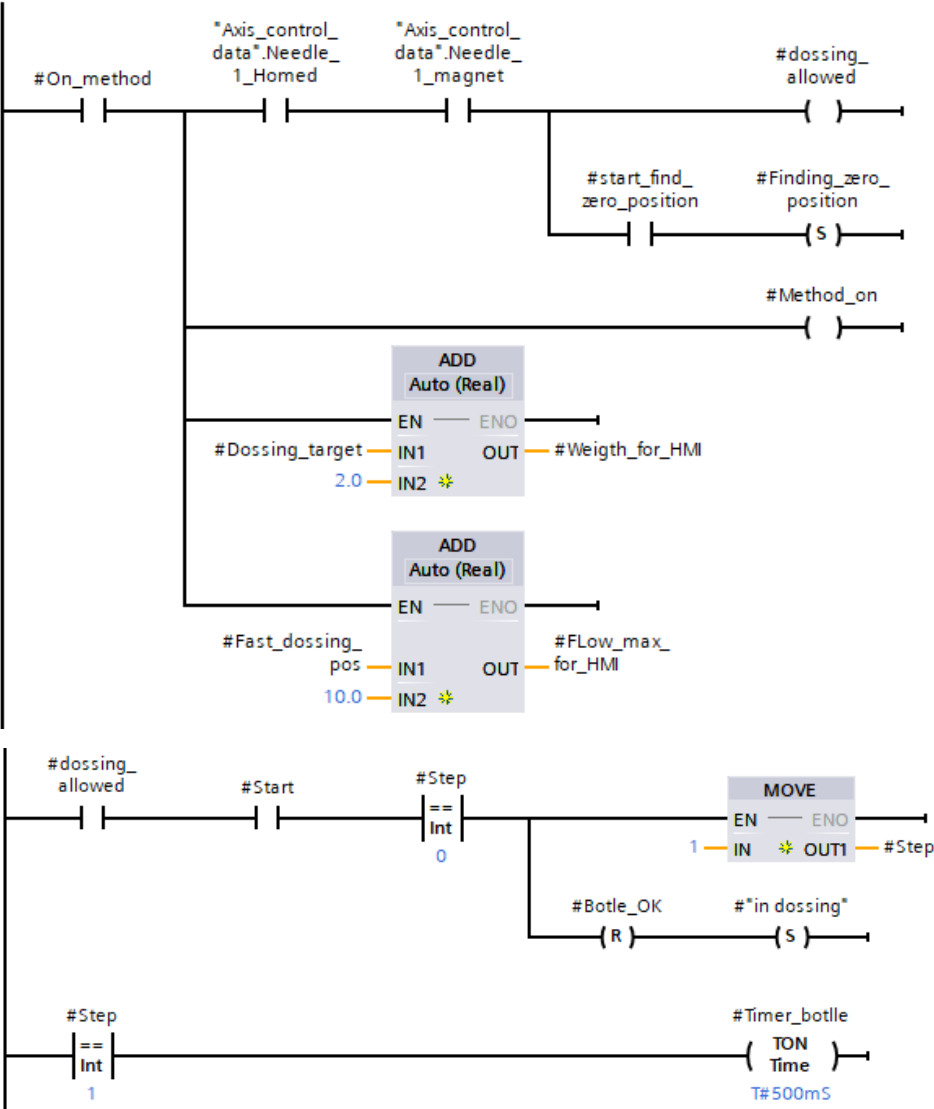


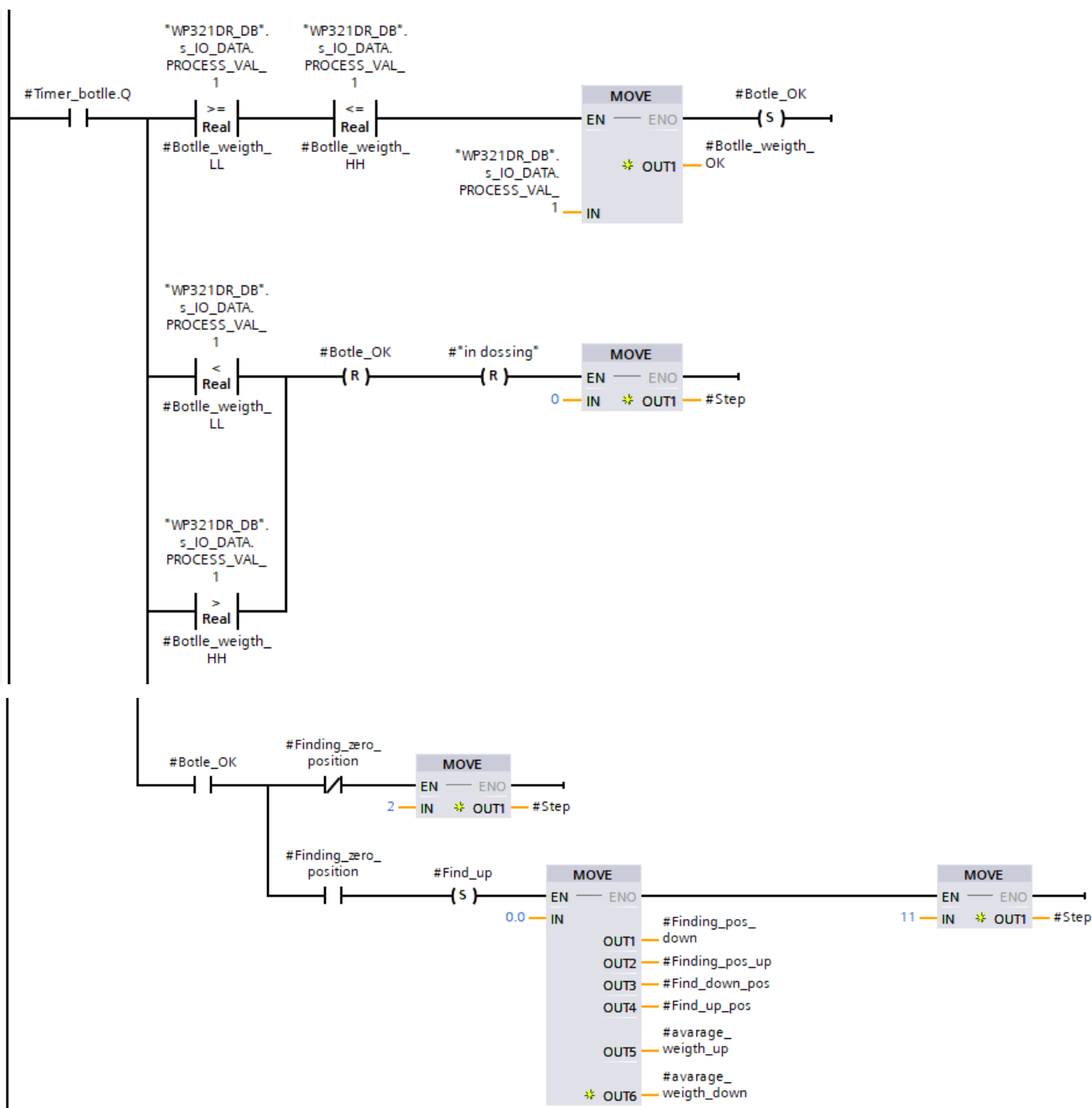
Функція узгодження запитів руху крокового двигуна перетискного клапана:





Функціональний блок що відтворює роботу існуючого алгоритму дозування

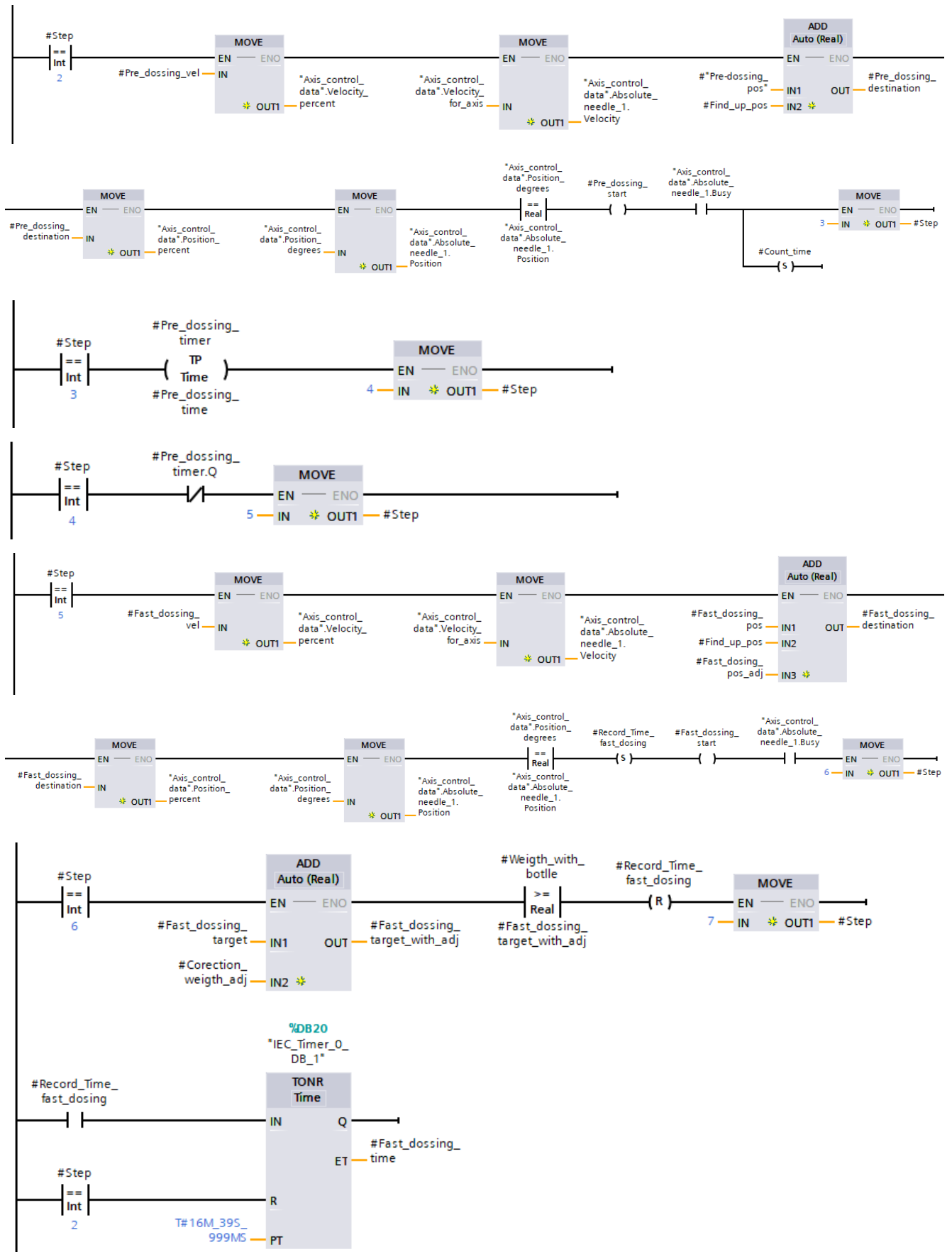


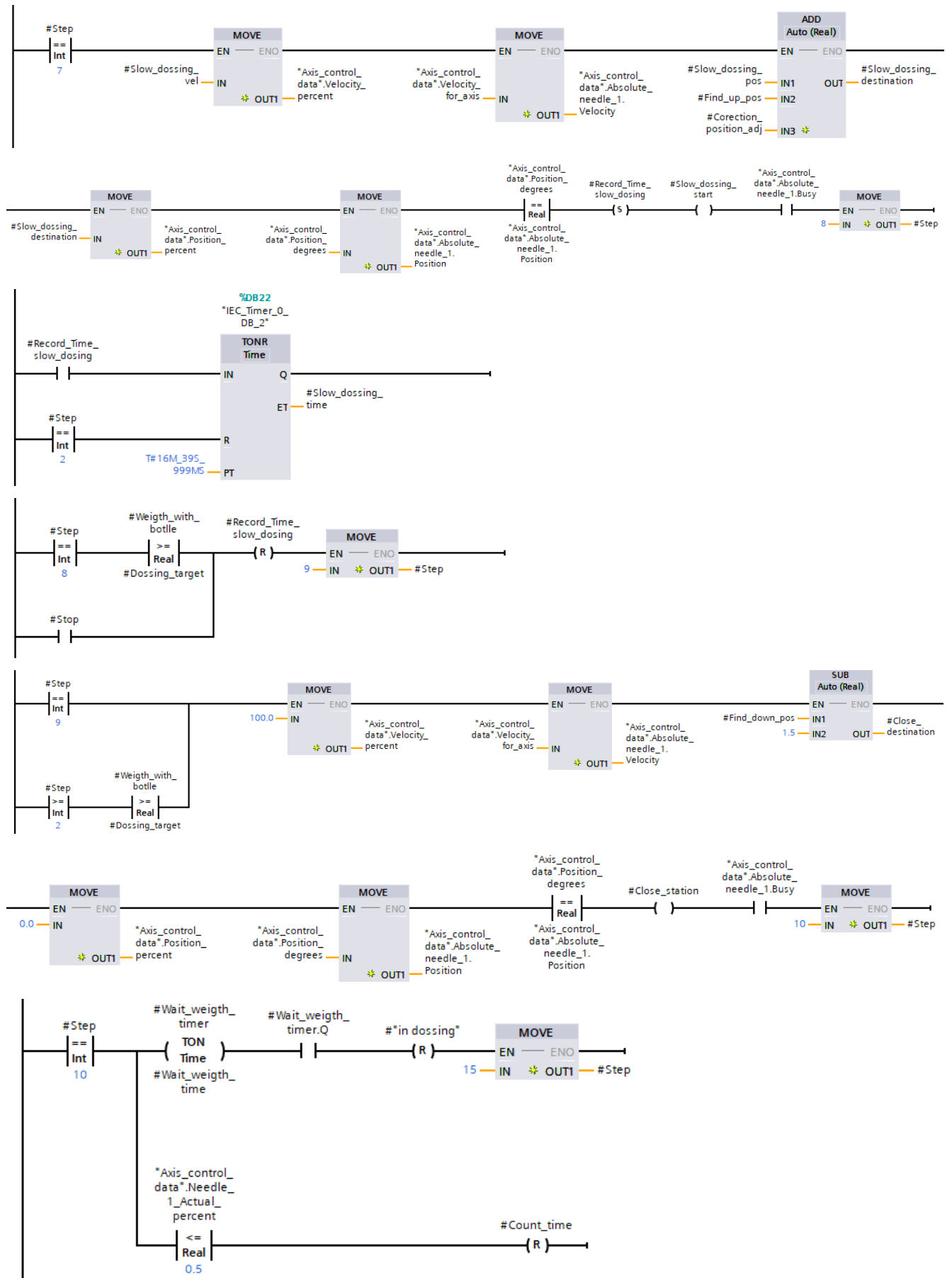


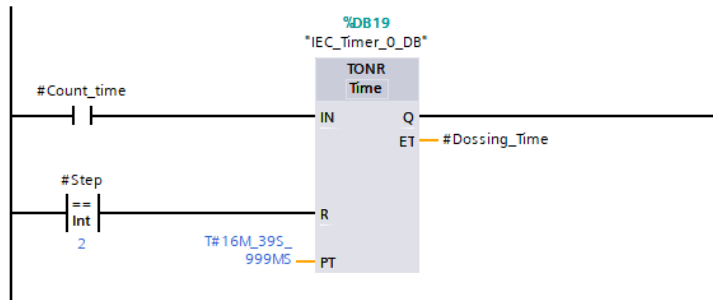
```

1 IF #Bottle_OK THEN
2   #Weigh_with_botlle := "WP321DR_DB".s_IO_DATA.PROCESS_VAL_1 - #Bottle_weigh_OK;
3 ELSE
4   #Weigh_with_botlle := 0;
5 END_IF;
6

```



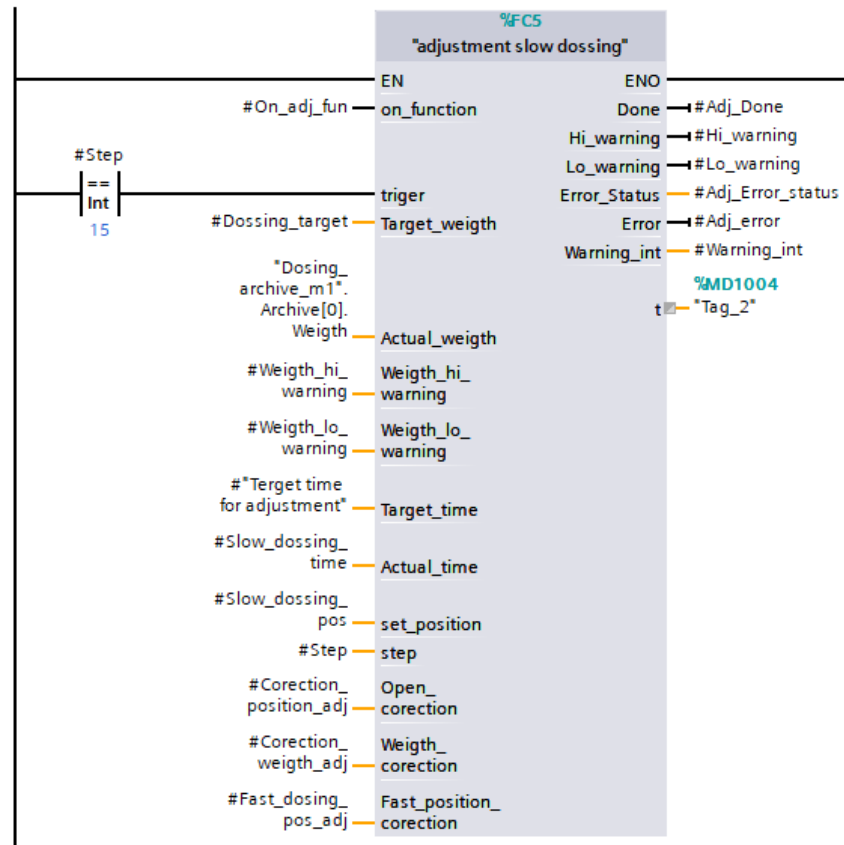


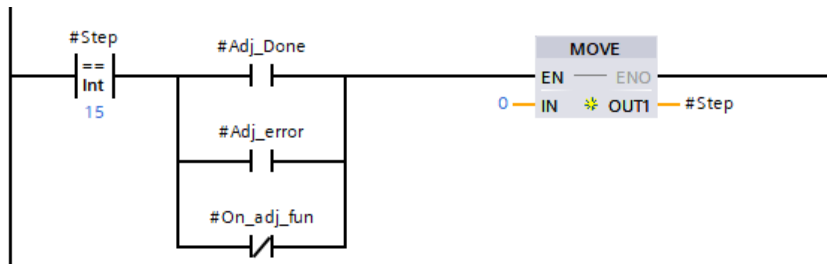


```

1  IF "F_TRIG_DB" (CLK:=#Bottle_OK,
2    Q=>#Trig_save);
3
4  IF (#Step >= 2 AND #Step <= 10) THEN
5    "Dosing_archive_ml".Archive[0].Fast_time := #Fast_dossing_time;
6    "Dosing_archive_ml".Archive[0].Slow_Time := #Slow_dossing_time;
7    "Dosing_archive_ml".Archive[0].Total_time := #Dossing_Time;
8    "Dosing_archive_ml".Archive[0].Weigth := #Weigth_with_bottle;
9  END_IF;
10 IF #Trig_save THEN
11
12
13
14 IF "Dosing_archive_ml"."Archive point" <> 10 THEN
15   "Dosing_archive_ml"."Archive point" := "Dosing_archive_ml"."Archive point" + 1;
16 ELSE
17   "Dosing_archive_ml"."Archive point" := 10;
18 END_IF;
19
20 IF "Dosing_archive_ml"."Archive point"<> 0 THEN
21   "Dosing_archive_ml".Write_poin := "Dosing_archive_ml"."Archive point";
22   "Dosing_archive_ml".Write:=TRUE;
23 END_IF;
24
25
26 END_IF;
27 IF "Dosing_archive_ml".Write_poin <> 0 THEN
28   "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin].Fast_time := "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin - 1].Fast_time;
29   "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin].Slow_Time := "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin - 1].Slow_Time;
30   "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin].Total_time := "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin - 1].Total_time;
31   "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin].Weigth := "Dosing_archive_ml".Archive["Dosing_archive_ml".Write_poin - 1].Weigth;
32   "Dosing_archive_ml".Write_poin := "Dosing_archive_ml".Write_poin - 1;
33 ELSE
34   "Dosing_archive_ml".Write := FALSE;
35 END_IF;

```





```

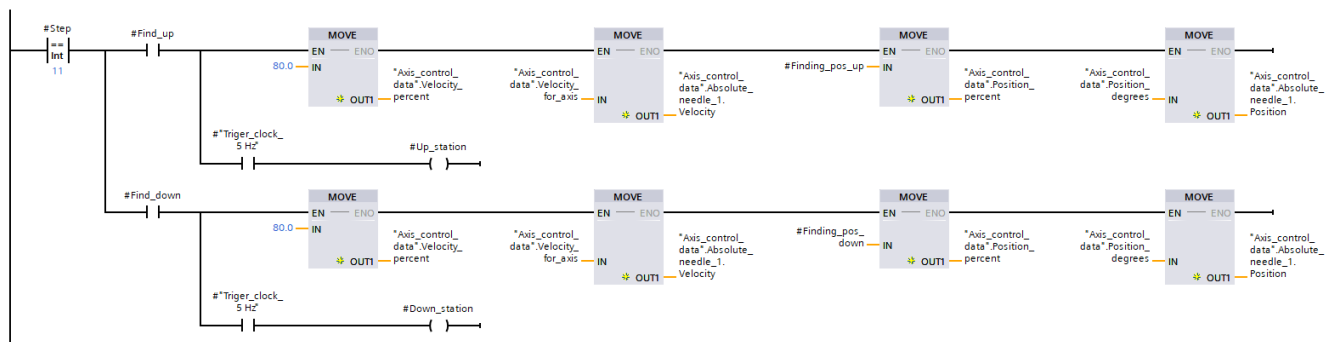
1 IF #Step = 11 THEN
2   "R_TRIG_DB_2"(CLK:="Clock_1Hz",
3     Q=>"Triger_clock_1 Hz"); // make triger signal for 1 Hz
4   "R_TRIG_DB_3"(CLK:="Clock_5Hz",
5     Q=>"Triger_clock_5 Hz"); // make triger signal for 5 Hz
6 IF #Find_up THEN // Start Finding up position
7   IF "Triger_clock_1 Hz" THEN
8     #Finding_pos_up := #Finding_pos_up + 0.2; // calculate step position of station add 0.2 every 1 Hz
9   END_IF;
10  IF "Triger_clock_5 Hz" THEN
11    #Weigh_up[#c] := #Weigh_with_bottle; // write net weighth every 5 Hz in array
12    #c := #c + 1;
13  END_IF;
14  IF #c >= 5 THEN
15    #avarage_weighth_up := (#Weigh_up[0] + #Weigh_up[1] + #Weigh_up[2] + #Weigh_up[3] + #Weigh_up[4]) / 5; // calculate avarage weighth
16
17    IF #avarage_weighth_up > #Weigh_up[0]+0.5 THEN // checking the weight change relative to the beginning
18      #Find_up_pos:=#Finding_pos_up;
19      #Finding_pos_down := #Find_up_pos + 1.5; // start finding down close position
20      #Find_down := TRUE; // start finding down close position
21      #c := 0;
22      #Find_up := FALSE;
23    END_IF;
24    #c := 0; // go to another step fo search open position
25  END_IF;
26
27 END_IF;

29 IF #Find_down THEN // start find close position
30
31   IF "Triger_clock_1 Hz" THEN
32     #Finding_pos_down := #Finding_pos_down - 0.2; // calculate step position of station add 0.2 every 1 Hz
33   END_IF;
34   IF "Triger_clock_5 Hz" THEN
35     #Weigh_down[#t] := #Weigh_with_bottle; // write net weighth every 5 Hz in array
36     #t := #t + 1;
37   END_IF;
38   IF #t >= 5 THEN
39     // #avarage_weighth_down := (#Weigh_down[0] + #Weigh_down[1] + #Weigh_down[2] + #Weigh_down[3] + #Weigh_down[4]) / 5; // calculate avarage weighth
40
41     IF #Weigh_down[0] >= #Weigh_down[4] THEN // checking the weight change relative to the beginning
42       #Find_down_pos := #Finding_pos_down;
43       #t := 0;
44       #Find_down := FALSE; // end finding
45     END_IF;
46     #t := 0; // go to another step fo search open position
47   END_IF;
48
49 END_IF;

51 IF #Find_up = FALSE AND #Find_down=FALSE THEN // reset parameters for searching
52   FILL_BLK(IN:=0,
53     COUNT:=5,
54     OUT=>#Weigh_up[0]);
55   FILL_BLK(IN:=0,
56     COUNT:=5,
57     OUT=>#Weigh_down[0]);
58   #Finding_zero_position := FALSE;
59 END_IF;

61 IF #Finding_zero_position = FALSE THEN // start dossing with finded parameters
62   #Step := 2;
63 END_IF;
64
65
66 END_IF;

```

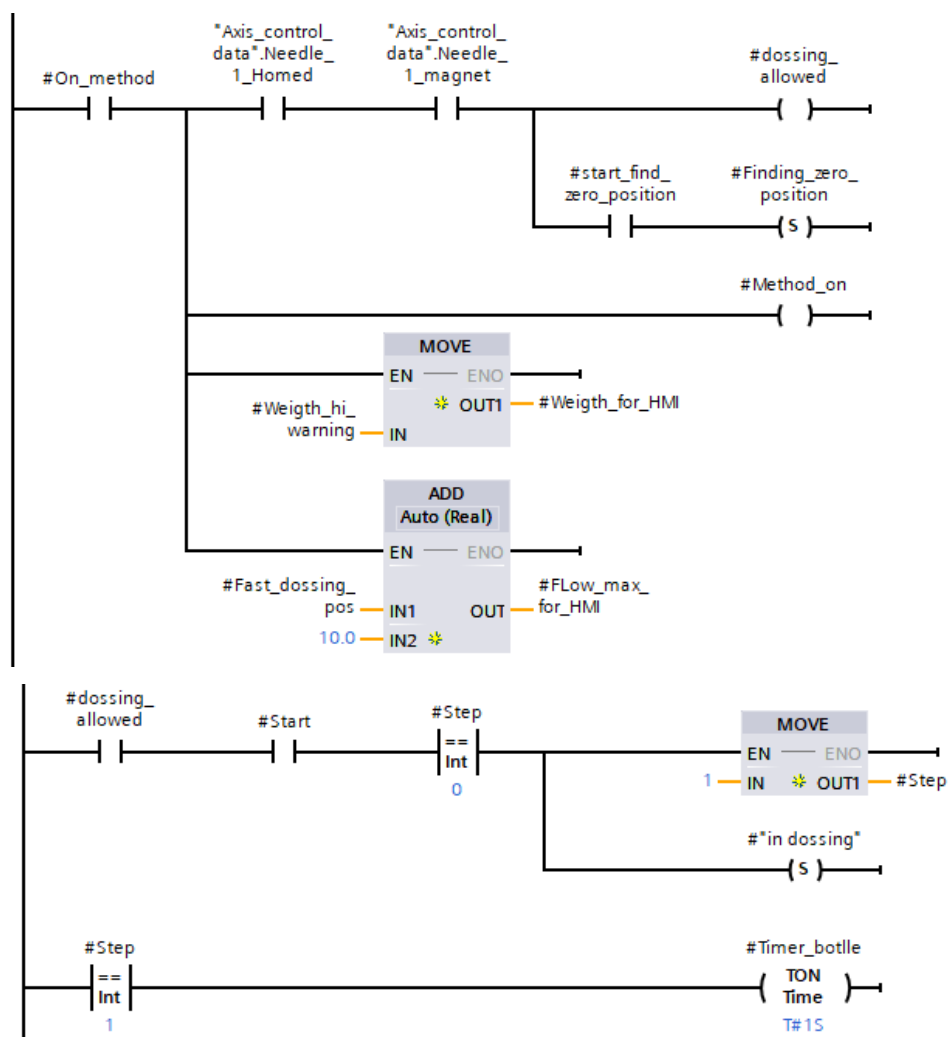


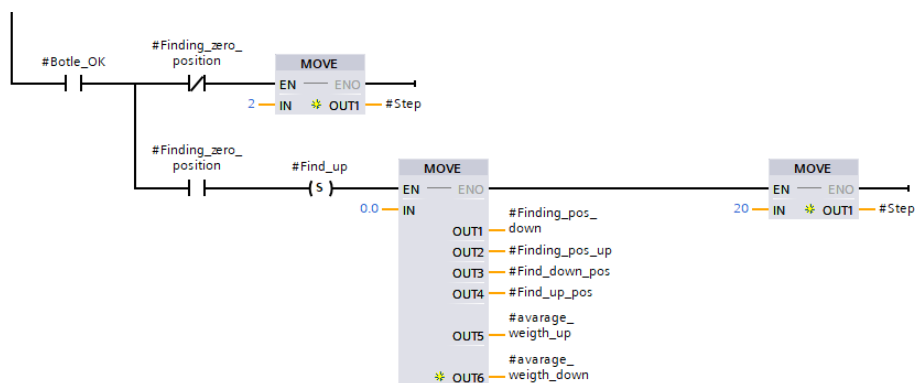
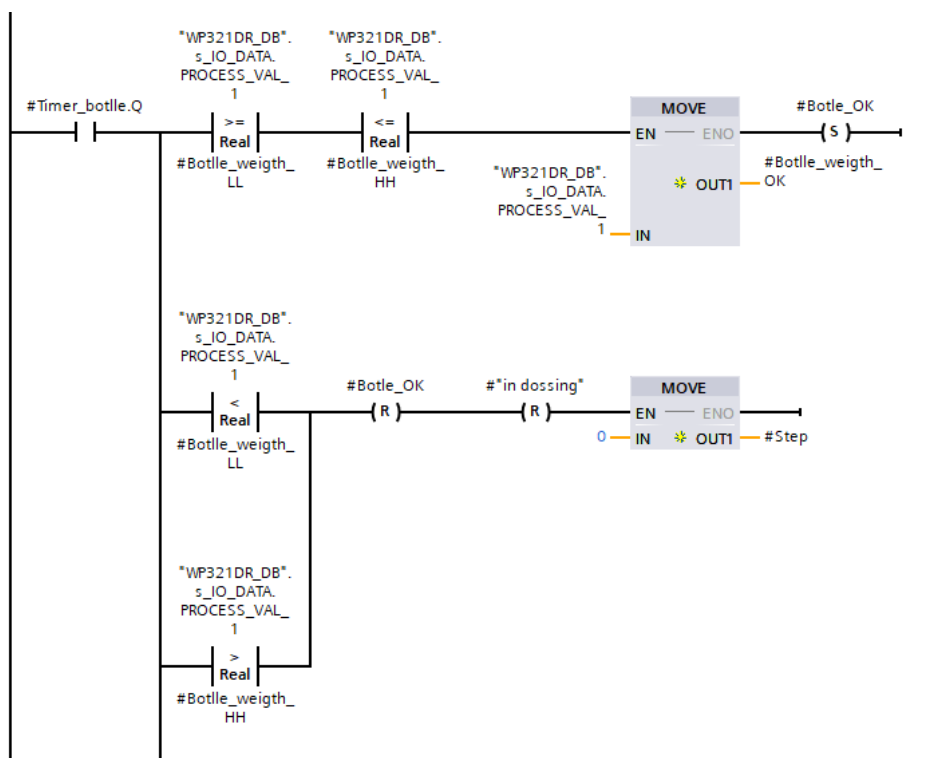
Функціональний блок роботи модифікованого алгоритму дозування

```

1 // make trigger signal for 1 Hz
2 R_TRIG_DB (CLK:="Clock_1Hz",
3   Q=>"Triger_clock_1 Hz");
4
5 // make trigger signal for 5 Hz
6 R_TRIG_DB_1 (CLK:="Clock_10Hz",
7   Q=>"Triger_clock_5 Hz");
8

```

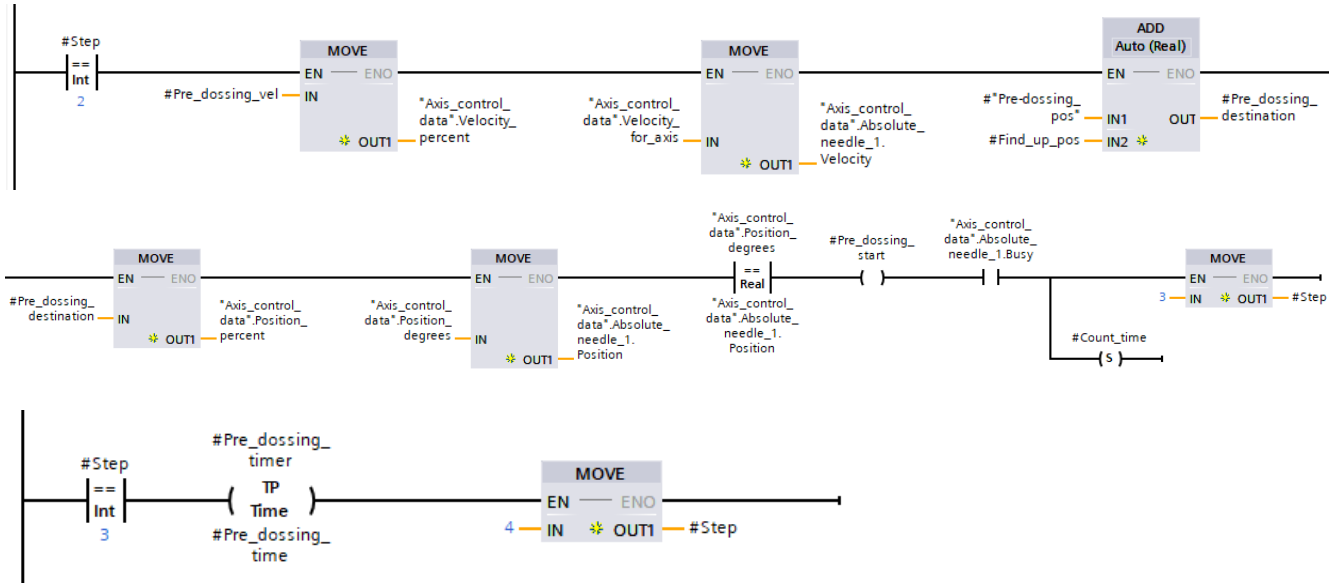


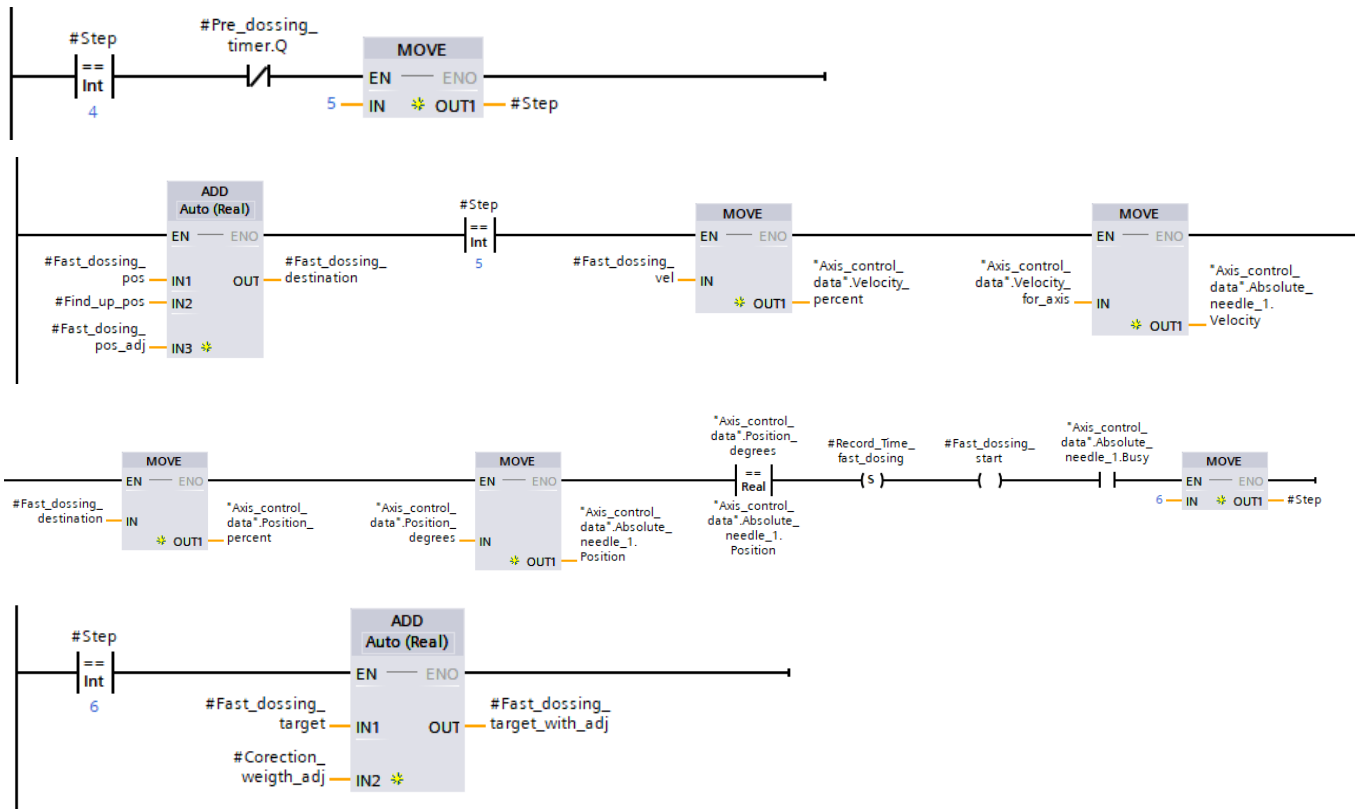


```

1 IF #Bottle_OK THEN
2   #Weigh_with_bottle := "WP321DR_DB".s_IO_DATA.PROCESS_VAL_1 - #Bottle_weight_OK;
3 ELSE
4   #Weigh_with_bottle := 0;
5 END_IF;

```

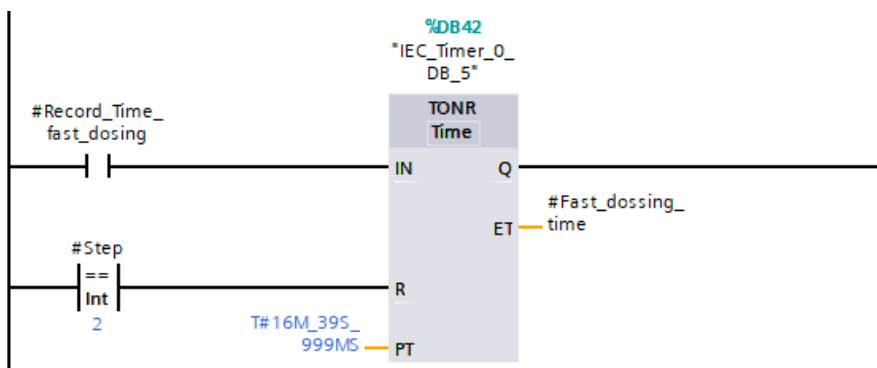


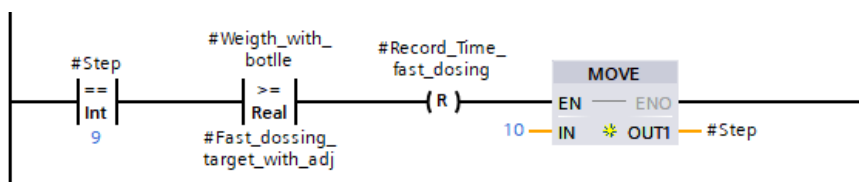


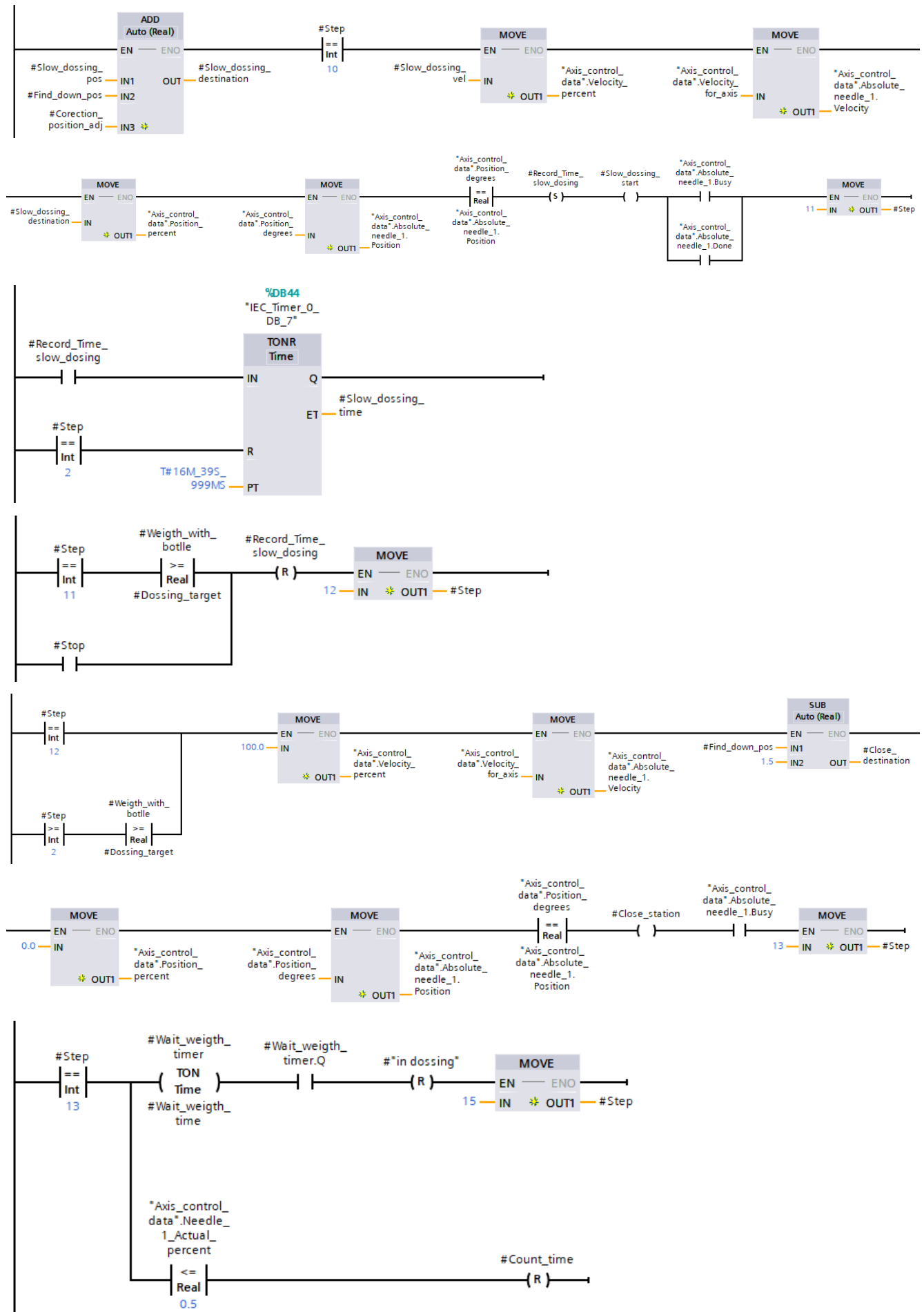
```

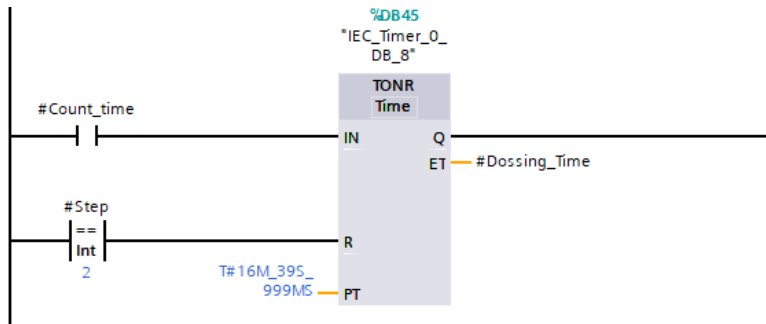
1 REGION check half_fast condition
2 IF #Step = 6 THEN
3     IF #Sub_Weigth_half_slow <= 5 THEN
4         #Step := 9;
5     ELSE
6         #half_weigth_start := #Fast_dossing_target_with_adj - #Sub_Weigth_half_slow;
7         IF #Weigth_with_bottle >= (#half_weigth_start) THEN
8             #Step := 7;
9         END_IF;
10    ;
11    END_IF;
12 END_IF;
13 END_REGION
14 REGION half_fast dosing find parameters
15 IF #Step = 7 THEN
16     #Position_delta := (#Fast_dossing_destination - #Slow_dossing_destination) ;
17     #Position_delta_step := #Position_delta / #n_step;
18     #Weigth_delta_step := #Sub_Weigth_half_slow / #n_step;
19     #Weigth_step_half_slow := #Weigth_delta_step;
20     #Half_position_target := #Fast_dossing_destination - #Position_delta_step;
21     #Step := 8;
22 END_IF;
23
24
25 END_REGION

```





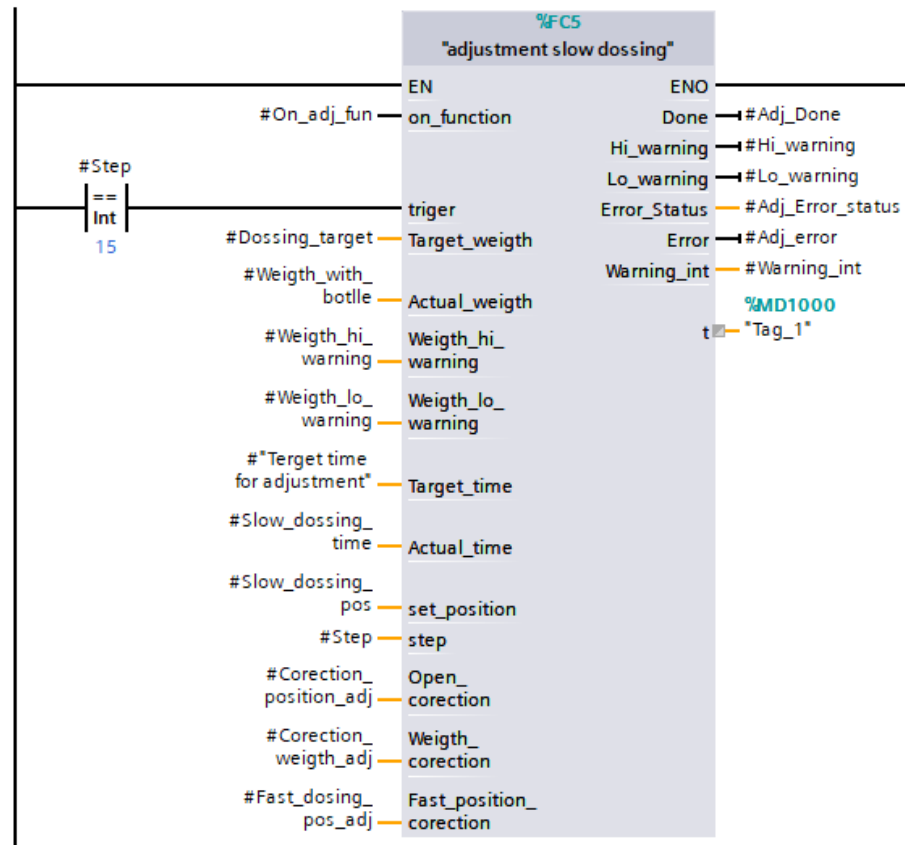


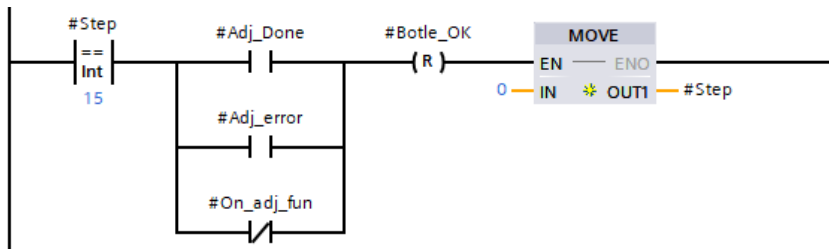


```

2  IF "F_TRIG_DB_1" (CLK:=#Bottle_OK,
3      Q=>#Trig_save);
4
5  IF (#Step >= 2 AND #Step <= 13) THEN
6      "Dosing_archive_m2".Archive[0].Fast_time := #Fast_dossing_time;
7      "Dosing_archive_m2".Archive[0].Slow_Time := #Slow_dossing_time;
8      "Dosing_archive_m2".Archive[0].Total_time := #Dossing_Time;
9      "Dosing_archive_m2".Archive[0].Weigth := #Weigth_with_bottle;
10  END_IF;
11  IF #Trig_save THEN
12
13
14
15  IF "Dosing_archive_m2"."Archive point" <> 10 THEN
16      "Dosing_archive_m2"."Archive point" := "Dosing_archive_m2"."Archive point" + 1;
17  ELSE
18      "Dosing_archive_m2"."Archive point" := 10;
19  END_IF;
20
21  IF "Dosing_archive_m2"."Archive point" <> 0 THEN
22      "Dosing_archive_m2".Write_poin := "Dosing_archive_m2"."Archive point";
23      "Dosing_archive_m2".Write := TRUE;
24  END_IF;
25
26
27  END_IF;
28  IF "Dosing_archive_m2".Write_poin <> 0 THEN
29      "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin].Fast_time := "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin - 1].Fast_time;
30      "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin].Slow_Time := "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin - 1].Slow_Time;
31      "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin].Total_time := "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin - 1].Total_time;
32      "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin].Weigth := "Dosing_archive_m2".Archive["Dosing_archive_m2".Write_poin - 1].Weigth;
33      "Dosing_archive_m2".Write_poin := "Dosing_archive_m2".Write_poin - 1;
34  ELSE
35      "Dosing_archive_m2".Write := FALSE;
36  END_IF;

```

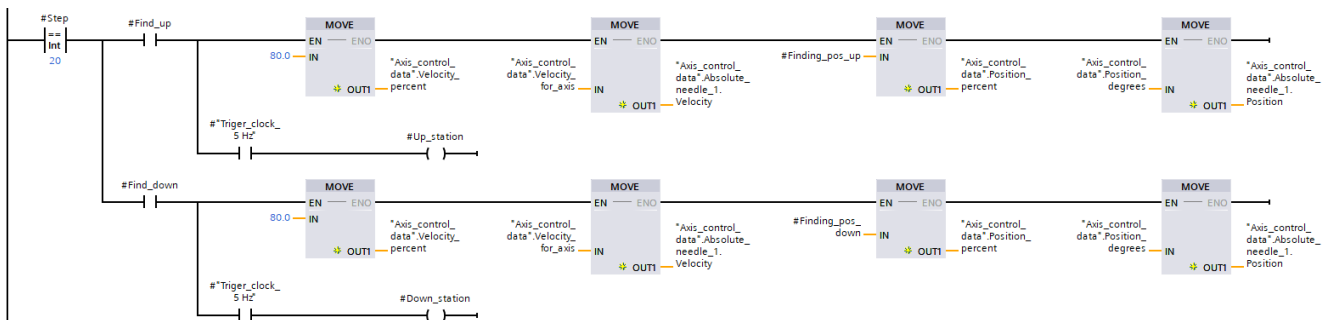




```

3 IF #Step = 20 THEN
4 IF #Find_up THEN // Start Finding up position
5 IF #Triger_clock_1 Hz THEN
6 #Finding_pos_up := #Finding_pos_up + 0.2; // calculate step position of station add 0.2 every 1 Hz
7 END_IF;
8 IF #Triger_clock_5 Hz THEN
9 #Weigth_up[#c] := #Weigth_with_bottle; // write net weigth every 5 Hz in array
10 #c := #c + 1;
11 END_IF;
12 IF #c >= 5 THEN
13 #avarage_weigth_up := (#Weigth_up[0] + #Weigth_up[1] + #Weigth_up[2] + #Weigth_up[3] + #Weigth_up[4]) / 5; // calculate avarage weigth
14
15 IF #avarage_weigth_up > #Weigth_up[0]+0.5 THEN // checking the weight change relative to the beginning
16 #Find_up_pos:=#Finding_pos_up;
17 #Finding_pos_down := #Find_up_pos + 1.5; // start finding down close position
18 #Find_down := TRUE; // start finding down close position
19 #c := 0;
20 #Find_up := FALSE;
21 END_IF;
22 #c := 0; // go to another step fo search open position
23 END_IF;
24
25 END_IF;
27 IF #Find_down THEN // start find close position
28 IF #Triger_clock_1 Hz THEN
29 #Finding_pos_down := #Finding_pos_down - 0.2; // calculate step position of station add 0.2 every 1 Hz
30 END_IF;
31 IF #Triger_clock_5 Hz THEN
32 #Weigth_down[#t] := #Weigth_with_bottle; // write net weigth every 5 Hz in array
33 #t := #t + 1;
34 END_IF;
35 IF #t >= 5 THEN
36 #avarage_weigth_down := (#Weigth_down[0] + #Weigth_down[1] + #Weigth_down[2] + #Weigth_down[3] + #Weigth_down[4]) / 5; // calculate avarage weigth
37
38 IF #Weigth_down[0] >= #Weigth_down[4] THEN // checking the weight change relative to the beginning
39 #Find_down_pos := #Finding_pos_down;
40 #t := 0;
41 #Find_down := FALSE; // end finding
42 END_IF;
43 #t := 0; // go to another step fo search open position
44 END_IF;
45
46 END_IF;
47
48 IF #Find_up = FALSE AND #Find_down=FALSE THEN // reset parameters for searching
49 FILL_BLK(IN:=0,
50 COUNT:=5,
51 OUT=>#Weigth_up[0]);
52 FILL_BLK(IN:=0,
53 COUNT:=5,
54 OUT=>#Weigth_down[0]);
55 #Finding_zero_position := FALSE;
56 END_IF;
57
58 IF #Finding_zero_position = FALSE THEN // start dossing with finded parameters
59 #Step := 2;
60 END_IF;
61
62
63
64 END_IF;

```



Функція адаптивного знаходження значень корекцій параметрів дозування для існуючого та модифікованого алгоритму дозування.

```

1  // #Lo_warning := FALSE;
2  // #Hi_warning := FALSE;
3  #Done := false;
4  #Error := FALSE;
5  #Error_Status := 16#8001;
6  IF #step = 15 OR #step < 1 THEN
7  REGION Warning formed
8  IF #Actual_weigth <= #Weigth_lo_warning THEN
9      #Lo_warning := TRUE;
10     #Warning_int := 1;
11 ELSE
12     #Lo_warning := FALSE;
13     #Warning_int := 0;
14 END_IF;
15 IF #Actual_weigth >= #Weigth_hi_warning THEN
16     #Hi_warning := TRUE;
17     #Warning_int := 2;
18 ELSE
19     #Hi_warning := FALSE;
20     #Warning_int := 0;
21 END_IF;
22 END_REGION
23 END_IF;

24 REGION Calculate corection
25
26 IF #on_function THEN
27     IF #triger THEN
28         // Statement section IF
29         // // corection weight of start slow dossing (-)
30         IF (#Actual_time > #Target_time) THEN
31             #Weigth_corection := #Weigth_corection + 0.2;
32             #t := 2;
33         END_IF;
34         // Corection open position of station (+)
35         IF NOT #Lo_warning AND NOT #Hi_warning AND NOT (#Actual_time < #Target_time) THEN
36             // add position compensation
37             #Open_corection := #Open_corection + 0.2;
38             #Weigth_corection := #Weigth_corection + 0.2;
39         END_IF;
40         // Corection open position of station (-)
41         IF #Actual_weigth > #Weigth_hi_warning THEN
42             // Sub position compensation
43             #Open_corection := #Open_corection - 0.2;
44         END_IF;
45
46         // corection weight of start slow dossing (+)
47         IF #Actual_time > #Target_time AND #Actual_weigth > #Weigth_lo_warning THEN
48             #Weigth_corection := #Weigth_corection - 0.2;
49         END_IF;
50         IF #Actual_time < #Target_time AND #Actual_weigth > #Weigth_hi_warning THEN
51             #Fast_position_corection := #Fast_position_corection - 0.2;
52         END_IF;
53         #Adj_done := TRUE;
54     END_IF;
55 ELSE
56     #Open_corection := 0.0;
57     #Weigth_corection := 0.0;
58     #Fast_position_corection := 0.0;
59 END_IF;
60 END_REGION

```

```

62 REGION Error of correction data
63 IF #Weigth_corection < -10.0 THEN
64     #Error := TRUE;
65     #Error_Status := 16#7020;
66     #Weigth_corection := 0.0;
67 END_IF;
68 IF #Weigth_corection > 10.0 THEN
69     #Error:=TRUE;
70     #Error_Status := 16#7021;
71     #Weigth_corection := 0.0;
72 END_IF;
73 IF #Open_corection > 5.0 THEN
74     #Error := TRUE;
75     #Error_Status := 16#7022;
76     #Open_corection := 0.0;
77 END_IF;
78 IF #Open_corection < -5.0 THEN
79     #Error := TRUE;
80     #Error_Status := 16#7023;
81     #Open_corection := 0.0;
82 END_IF;
83 IF (- #Open_corection+#set_position ) <= 0.5 THEN
84     #Error := TRUE;
85     #Error_Status := 16#7024;
86     #Open_corection := 0.0;
87 END_IF;
88 IF #triger AND #on_function AND #Adj_done THEN
89     #Done := true;
90 END_IF;
91 END_REGION

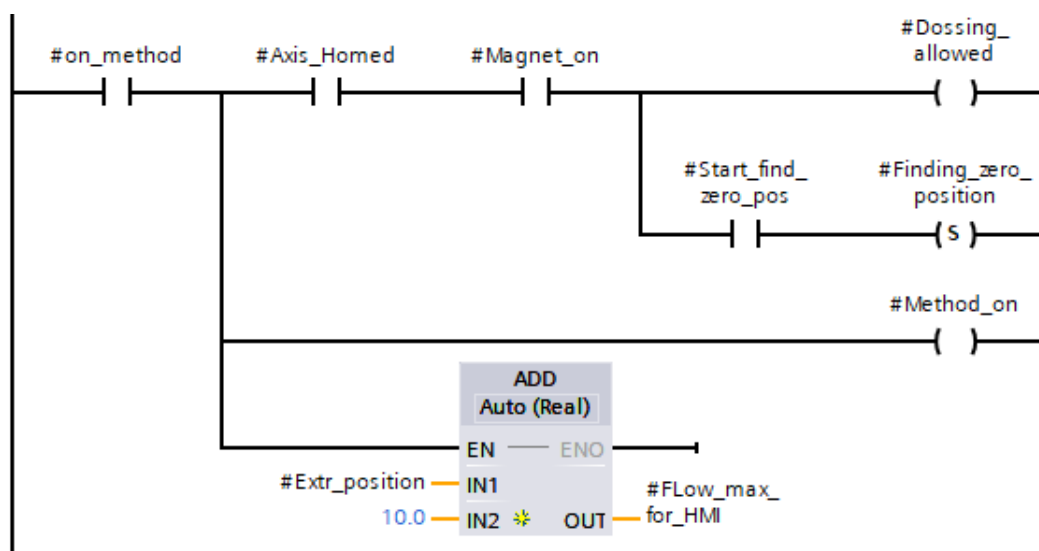
```

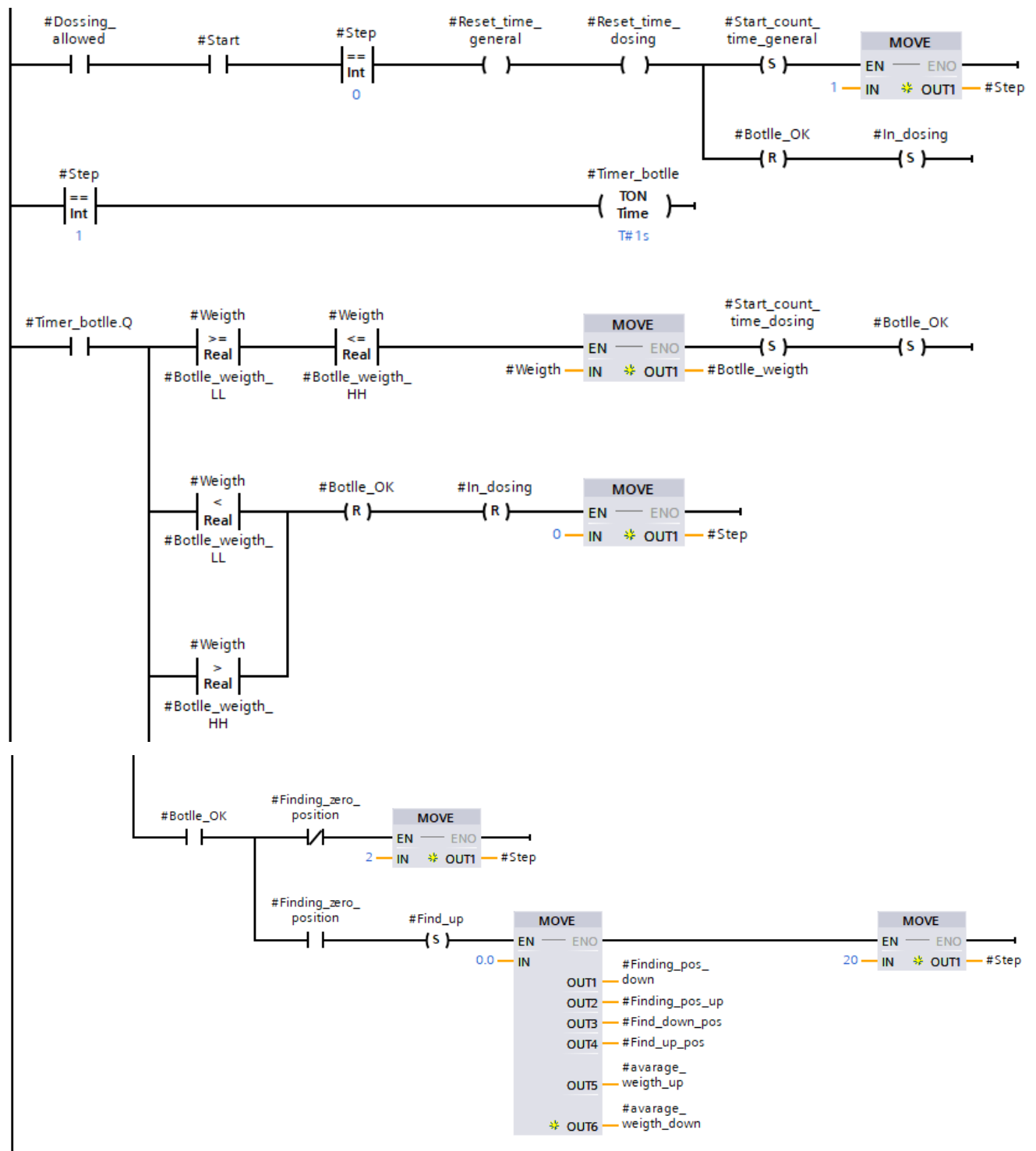
Функціональний блок нового алгоритму дозування (Із врахуванням можливості запуску алгоритму для роботи із однаковими та різними параметрами для функції руху перетискного клапана)

```

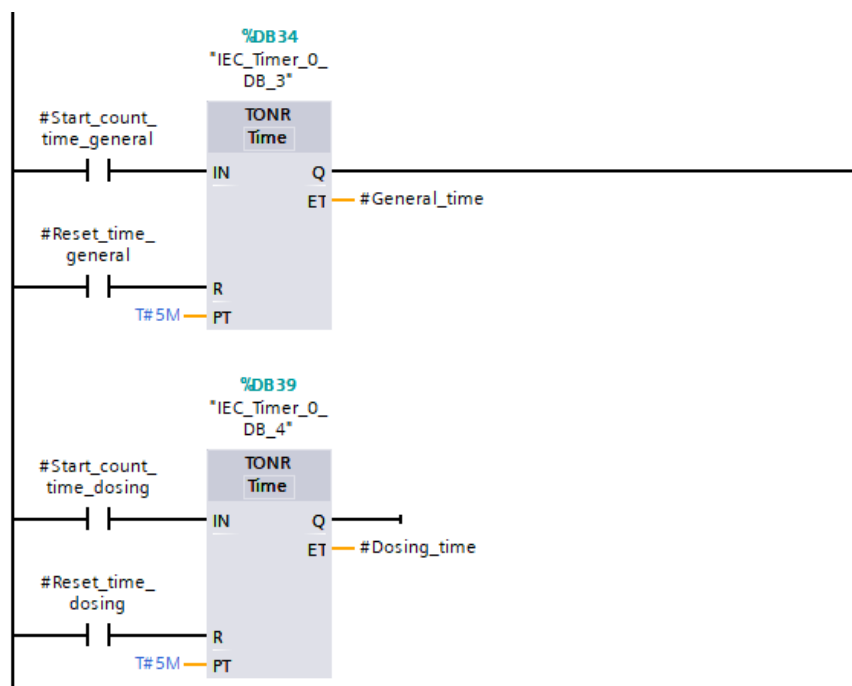
1 "R_TRIG_DB_4" (CLK := "Clock_1Hz",
2   Q => #"Triger_clock_1 Hz");
3 "R_TRIG_DB_5" (CLK := "Clock_10Hz",
4   Q => #"Triger_clock_5 Hz");

```





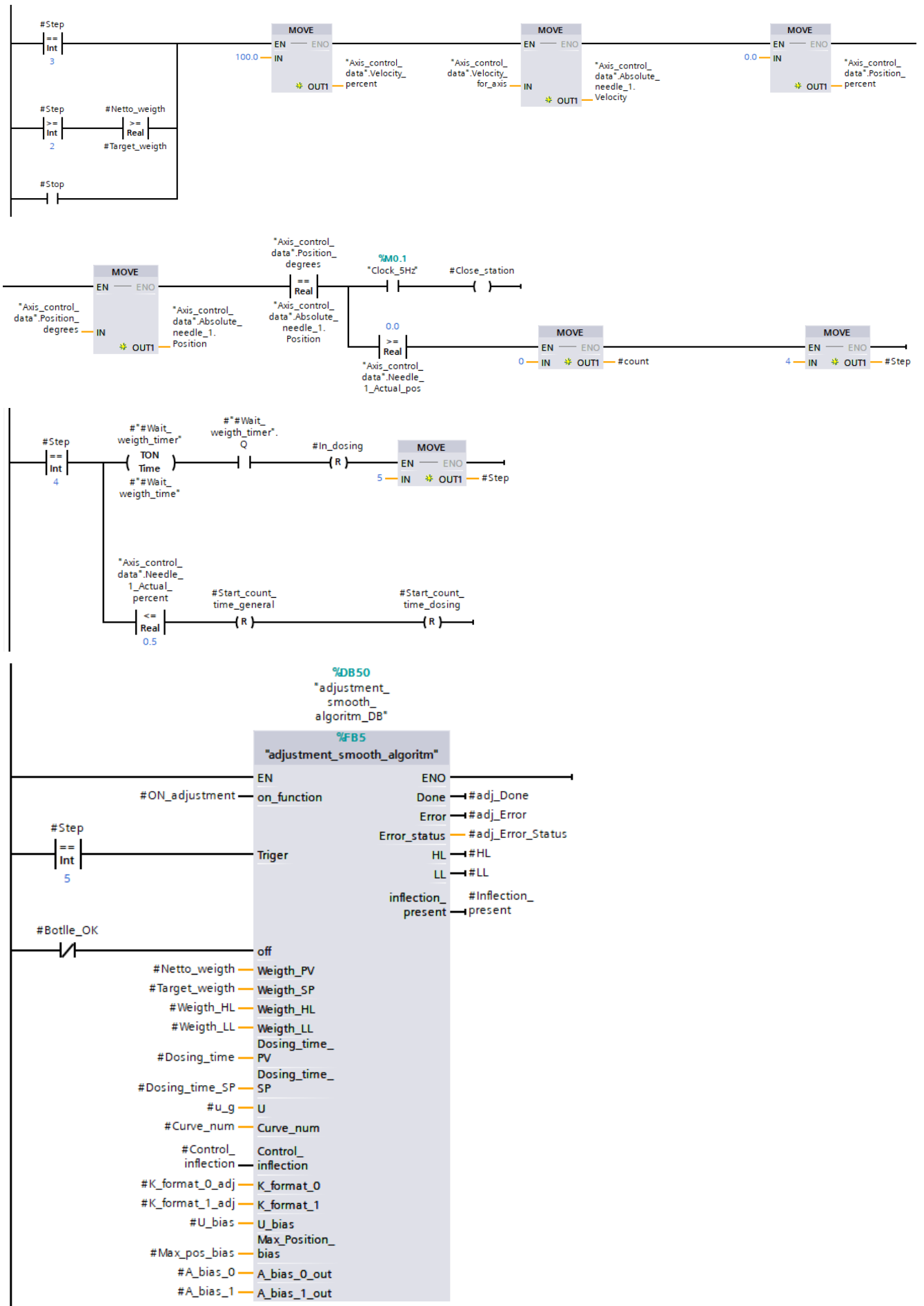
```
1 IF #Bottle_OK THEN
2     #Netto_weight := #Weight - #Bottle_weight;
3 ELSE
4     #Netto_weight := 0;
5 END IF;
```

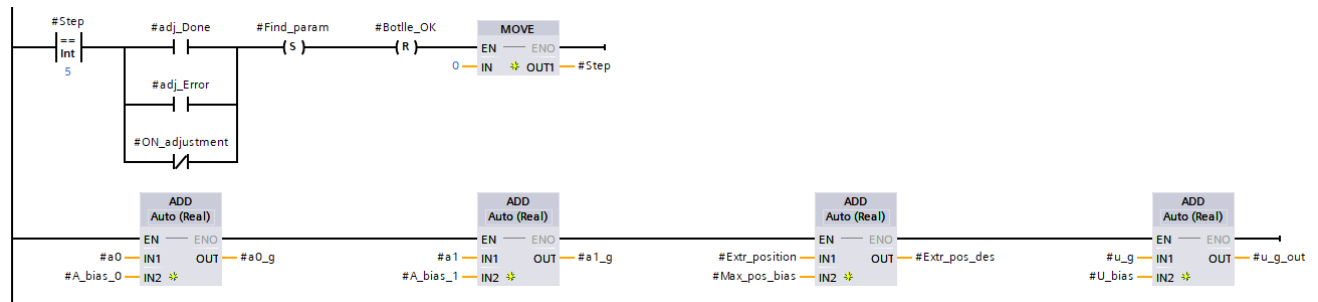


```

1 IF #Step = 2 THEN
2     //smoth_move := FALSE;
3     #p:=SQRT(2*#pi);
4     #q := SQR(#Netto_weigth - #u_g_out);
5     #move_smoth_pos := #k_g * (1 / (#a_g * #p)^EXP(-(#q/(2*SQR(#a_g)))));
6
7 IF #Netto_weigth <= #u_g_out THEN
8     #a_g := #a0_g;
9     #k_g := #k0;
10 ELSE
11     #a_g := #a1_g;
12     #k_g := #k1;
13 END_IF;
14 #move_smoth_destination := #move_smoth_pos + #Find_up_pos;
15
16 "Axis_control_data".Velocity_percent := #Smoth_velocity;
17 "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Velocity := "Axis_control_data".Velocity_for_axis;
18 "Axis_control_data".Position_percent := #move_smoth_destination;
19 "Axis_control_data".Absolute_needle_1.Position := "Axis_control_data".Position_degrees;
20
21 #count := #count + 1;
22 IF #count = 2 THEN
23     #smoth_move := TRUE;
24 ELSE
25     #smoth_move := FALSE;
26 END_IF;
27 IF #count >= 4 THEN
28     #count := 0;
29 END_IF;
30
31 IF #Netto_weigth>=#Target_weigth THEN
32     #smoth_move := FALSE;
33     #Step := 3;
34 END_IF;
35 ELSE
36     #smoth_move := FALSE;
37 END_IF;

```

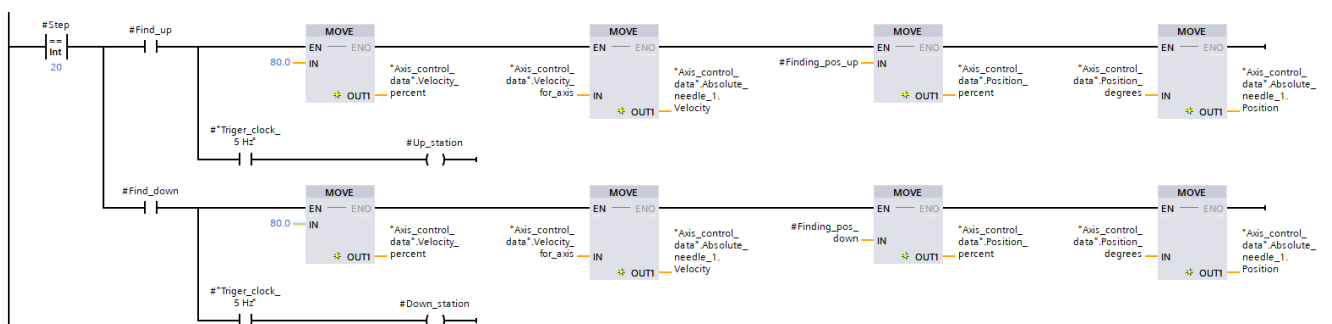




```

2 IF #Step = 20 THEN
3
4   IF #Find_up THEN                                // Start Finding up position
5     IF #"Triger_clock_1 Hz" THEN
6       #Finding_pos_up := #Finding_pos_up + 0.2; // calculate step position of station add 0.2 every 1 Hz
7     END_IF;
8     IF #"Triger_clock_5 Hz" THEN
9       #Weigh_up[#c] := #Netto_weigh; // write net weigh every 5 Hz in array
10      #c := #c + 1;
11    END_IF;
12    IF #c >= 5 THEN
13      #avarage_weigh_up := (#Weigh_up[0] + #Weigh_up[1] + #Weigh_up[2] + #Weigh_up[3] + #Weigh_up[4]) / 5; // calculate avarage weigh
14
15      IF #avarage_weigh_up > #Weigh_up[0] + 0.5 THEN // checking the weight change relative to the beginning
16        #Find_up_pos := #Finding_pos_up;
17        #Finding_pos_down := #Find_up_pos + 1.5; // start finding down close position
18        #Find_down := TRUE; // start finding down close position
19        #c := 0;
20        #Find_up := FALSE;
21      END_IF;
22      #c := 0; // go to another step fo search open position
23    END_IF;
24  END_IF;
25
26  IF #Find_down THEN                                // start find close position
27
28    IF #"Triger_clock_1 Hz" THEN
29      #Finding_pos_down := #Finding_pos_down - 0.2; // calculate step position of station add 0.2 every 1 Hz
30    END_IF;
31    IF #"Triger_clock_5 Hz" THEN
32      #Weigh_down[#t] := #Netto_weigh; // write net weigh every 5 Hz in array
33      #t := #t + 1;
34    END_IF;
35    IF #t >= 5 THEN
36      #avarage_weigh_down := (#Weigh_down[0] + #Weigh_down[1] + #Weigh_down[2] + #Weigh_down[3] + #Weigh_down[4]) / 5; // calculate avarage weigh
37
38      IF #Weigh_down[0] >= #Weigh_down[4] THEN // checking the weight change relative to the beginning
39        #Find_down_pos := #Finding_pos_down;
40        #t := 0;
41        #Find_down := FALSE; // end finding
42      END_IF;
43      #t := 0; // go to another step fo search open position
44    END_IF;
45  END_IF;
46
47  IF #Find_up = FALSE AND #Find_down = FALSE THEN // reset parameters for searching
48    FILL_BLK(IN := 0,
49      COUNT := 5,
50      OUT => #Weigh_up[0]);
51    FILL_BLK(IN := 0,
52      COUNT := 5,
53      OUT => #Weigh_down[0]);
54    #Finding_zero_position := FALSE;
55  END_IF;
56
57  IF #Finding_zero_position = FALSE THEN // start dossing with finded parameters
58    #Step := 2;
59  END_IF;
60
61  IF #Step = 20 THEN
62    #Step := 2;
63  END_IF;

```



```

1 IF #Calculate THEN
2   IF #Calculate AND #Calculate_step >= #Target_weigth + 1 THEN
3     #Calculate_position_base := 0;
4     #Calculate_step := 0;
5   END_IF;
6   IF #Calculate_step <= #u_g_out THEN
7     #a_g := #a0_g;
8     #k_g := #k0;
9   ELSE
10    #a_g := #a1_g;
11    #k_g := #k1;
12  END_IF;
13  #p := SQRT(2 * #pi);
14  #q := SQR(#Calculate_step - #u_g_out);
15  #Calculate_position_base := #k_g * (1 / (#a_g * #p) * EXP(-(#q / (2 * SQR(#a_g)))));
16  "R_TRIG_DB_8"(CLK:=#on_trig_sim,
17    Q=>#trig_sim);
18  #count_sim := #count_sim + 1;
19  IF #count_sim = 8 THEN
20    #on_trig_sim := TRUE;
21  ELSE
22    #on_trig_sim := FALSE;
23  END_IF;
24  IF #count_sim >= 16 THEN
25    #count_sim := 0;
26  END_IF;
27  IF #Calculate_step < (#Target_weigth) THEN
28    IF #trig_sim THEN
29      #Calculate_step := #Calculate_step + 1.0;
30    END_IF;
31    // IF #Calculate_step <= #u THEN
32      #Calculate_position := #Calculate_position_base + #Find_up_pos;
33    // ELSE
34      #Calculate_position := #Calculate_position_base + #Find_down_pos;
35    // END_IF;
36  ELSE
37    #Calculate := FALSE;
38    #Calculate_step := #Calculate_step + 1.0;
39  END_IF;
40 END_IF;
..

1 REGION find param for curve
2 "R_TRIG_DB_6"(CLK:=#Find_param,
3   Q=>#Trig_Find_param);
4 IF #Curve_num = 1 THEN
5   #A_bias_l := #A_bias_0;
6   // #a_g := #a0_g;
7   #k_find_l := #k_find_0;
8 ELSE
9   // #a_g := #a1_g;
10  // #a_g := #a0_g;
11  ;
12 END_IF;
13
14 IF #Trig_Find_param AND #Curve_num = 1 THEN
15   #k_find_0 := (#Extr_pos_des - #Find_up_pos) * ((#a0_g * SQRT(2 * #pi)) / (EXP(-(SQR(#u_g_out - #u_g_out)) / (2 * SQR(#a0_g)))));
16   #Find_param_done := TRUE;
17   #Find_param := FALSE;
18 ELSIF #Trig_Find_param AND #Curve_num = 2 THEN
19   #k_find_0 := (#Extr_pos_des - #Find_up_pos) * ((#a0_g * SQRT(2 * #pi)) / (EXP(-(SQR(#u_g_out - #u_g_out)) / (2 * SQR(#a0_g)))));
20   #k_find_l := (#Extr_pos_des - #Find_up_pos) * ((#a1_g * SQRT(2 * #pi)) / (EXP(-(SQR(#u_g_out - #u_g_out)) / (2 * SQR(#a1_g)))));
21   #Find_param_done := TRUE;
22   #Find_param := FALSE;
23 END_IF;
24
25 IF #Find_param_done AND #Curve_num = 1 THEN
26   #k_find_l := #k_find_0;
27   #k0 := #k_find_0;
28   #k1 := #k_find_0;
29   #Find_param_done := FALSE;
30 ELSIF #Find_param_done AND #Curve_num = 2 THEN
31   #k0 := #k_find_0;
32   #k1 := #k_find_l;
33   #Find_param_done := FALSE;
34 END_IF;
35
36 END_REGION
37

```

```

1 IF #F_TRIG_DB_2 (CLK:=#Bottle_OK,
2 Q=>#Trig_save_to_archive);
3 IF #Trig_save_to_archive THEN
4
5 "Dosing_archive_m3".Archive[0].Dosing_time:= #Dosing_time;
6 "Dosing_archive_m3".Archive[0].Total_time := #General_time;
7 "Dosing_archive_m3".Archive[0].Weigth:= #Netto_weigth;
8
9 IF "Dosing_archive_m3"."Archive point" <> 10 THEN
10 "Dosing_archive_m3"."Archive point" := "Dosing_archive_m3"."Archive point" + 1;
11 ELSE
12 "Dosing_archive_m3"."Archive point" := 10;
13 END_IF;
14
15 IF "Dosing_archive_m3"."Archive point" <> 0 THEN
16 "Dosing_archive_m3".Write_poin := "Dosing_archive_m3"."Archive point";
17 "Dosing_archive_m3".Write := TRUE;
18 END_IF;
19
20
21 END_IF;
22 IF "Dosing_archive_m3".Write_poin <> 0 THEN
23 "Dosing_archive_m3".Archive["Dosing_archive_m3".Write_poin].Dosing_time := "Dosing_archive_m3".Archive["Dosing_archive_m3".Write_poin - 1].Dosing_time;
24 "Dosing_archive_m3".Archive["Dosing_archive_m3".Write_poin].Total_time := "Dosing_archive_m3".Archive["Dosing_archive_m3".Write_poin - 1].Total_time;
25 "Dosing_archive_m3".Archive["Dosing_archive_m3".Write_poin].Weigth := "Dosing_archive_m3".Archive["Dosing_archive_m3".Write_poin - 1].Weigth;
26 "Dosing_archive_m3".Write_poin := "Dosing_archive_m3".Write_poin - 1;
27 ELSE
28 "Dosing_archive_m3".Write := FALSE;
29 END_IF;

```

Функція узгодження рецептів для існуючого методу наповнення.

```

1 IF #Load THEN
2 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Recepi_name := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Recepi_name;
3 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Bottle_weigth_L := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_L;
4 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Bottle_weigth_H := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_H;
5 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Pre_dossing_Time := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Pre_dossing_Time;
6 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Pre_dossing_pos := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Pre_dossing_pos;
7 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Pre_dossing_vel := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Pre_dossing_vel;
8 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Fast_dossing_target := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Fast_dossing_target;
9 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Fast_dossing_pos := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Fast_dossing_pos;
10 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Fast_dossing_vel := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Fast_dossing_vel;
11 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Dossing_target := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Dossing_target;
12 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Slow_dossing_pos := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Slow_dossing_pos;
13 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Slow_dossing_vel := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Slow_dossing_vel;
14 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Wait_time_for_weigth := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Wait_time_for_weigth;
15 "Recipe_method_1".Actual_recipe.on_adj_fun := "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].on_adj_fun;
16 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Weigth_H_warning := "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].Weigth_H_warning;
17 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Weigth_L_warning := "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].Weigth_L_warning;
18 "Recipe_method_1".Actual_recipe.Target_time := "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].Target_time;
19 END_IF;
20
21 IF #Save_actual THEN
22 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Recepi_name:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Recepi_name ;
23 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_L:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Bottle_weigth_L;
24 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_H:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Bottle_weigth_H;
25 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Pre_dossing_Time:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Pre_dossing_Time;
26 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Pre_dossing_pos:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Pre_dossing_pos;
27 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Pre_dossing_vel:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Pre_dossing_vel;
28 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Fast_dossing_target:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Fast_dossing_target;
29 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Fast_dossing_pos:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Fast_dossing_pos;
30 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Fast_dossing_vel:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Fast_dossing_vel;
31 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Dossing_target:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Dossing_target ;
32 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Slow_dossing_pos:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Slow_dossing_pos;
33 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Slow_dossing_vel:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Slow_dossing_vel ;
34 "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_num].Wait_time_for_weigth:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Wait_time_for_weigth ;
35 "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].on_adj_fun:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.on_adj_fun ;
36 "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].Weigth_H_warning:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Weigth_H_warning;
37 "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].Weigth_L_warning:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Weigth_L_warning;
38 "Recipe_method_1".Archive_recipe[0].Target_time:= "Recipe_method_1".Actual_recipe.Target_time;
39 END_IF;
40
41 IF #Select_recepi_for_viev THEN
42 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Recepi_name := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Recepi_name;
43 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Bottle_weigth_L:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Bottle_weigth_L;
44 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Bottle_weigth_H:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Bottle_weigth_H;
45 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Pre_dossing_Time := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Pre_dossing_Time;
46 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Pre_dossing_pos:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Pre_dossing_pos;
47 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Pre_dossing_vel:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Pre_dossing_vel;
48 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Fast_dossing_target:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Fast_dossing_target;
49 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Fast_dossing_pos:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Fast_dossing_pos;
50 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Fast_dossing_vel := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Fast_dossing_vel;
51 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Dossing_target := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Dossing_target;
52 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Slow_dossing_pos:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Slow_dossing_pos;
53 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Slow_dossing_vel := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Slow_dossing_vel;
54 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Wait_time_for_weigth:= "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Wait_time_for_weigth;
55 "Recipe_method_1".Viev_recipe.on_adj_fun := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].on_adj_fun;
56 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Weigth_H_warning := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Weigth_H_warning;
57 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Weigth_L_warning := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Weigth_L_warning;
58 "Recipe_method_1".Viev_recipe.Target_time := "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_viev_num].Target_time;
59 END_IF;
60

```

```

1 IF #save_view THEN
2   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Recepi_name:="Recipe_method_1".View_recipe.Recepi_name ;
3   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Bottle_weight_L:="Recipe_method_1".View_recipe.Bottle_weight_L ;
4   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Bottle_weight_H:="Recipe_method_1".View_recipe.Bottle_weight_H ;
5   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_Time:="Recipe_method_1".View_recipe.Pre_dossing_Time ;
6   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_pos:="Recipe_method_1".View_recipe.Pre_dossing_pos ;
7   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_vel:="Recipe_method_1".View_recipe.Pre_dossing_vel ;
8   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_target:="Recipe_method_1".View_recipe.Fast_dossing_target ;
9   "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_pos:="Recipe_method_1".View_recipe.Fast_dossing_pos ;
10  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_vel:="Recipe_method_1".View_recipe.Fast_dossing_vel ;
11  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Dossing_target:="Recipe_method_1".View_recipe.Dossing_target ;
12  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Slow_dossing_pos:="Recipe_method_1".View_recipe.Slow_dossing_pos ;
13  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Slow_dossing_vel:="Recipe_method_1".View_recipe.Slow_dossing_vel ;
14  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Wait_time_for_weigth:="Recipe_method_1".View_recipe.Wait_time_for_weigth ;
15  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].on_adj_fun:="Recipe_method_1".View_recipe.on_adj_fun ;
16  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Weigth_H_warning:="Recipe_method_1".View_recipe.Weigth_H_warning ;
17  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Weigth_L_warning:="Recipe_method_1".View_recipe.Weigth_L_warning ;
18  "Recipe_method_1".Archive_recipe["Recipe_method_1".Selected_recipe_view_num].Target_time:="Recipe_method_1".View_recipe.Target_time ;
19 END_IF;

```

Функція узгодження рецептів для модифікованого методу наповнення.

```

1 IF #Load THEN
2   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Recepi_name := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Recepi_name;
3   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Bottle_weight_L := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Bottle_weight_L;
4   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Bottle_weight_H := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Bottle_weight_H;
5   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Pre_dossing_Time := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Pre_dossing_Time;
6   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Pre_dossing_pos := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Pre_dossing_pos;
7   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Pre_dossing_vel := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Pre_dossing_vel;
8   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Fast_dossing_target := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Fast_dossing_target;
9   "Recipe_method_2".Actual_recipe.Fast_dossing_pos := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Fast_dossing_pos;
10  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Fast_dossing_vel := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Fast_dossing_vel;
11  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Dossing_target := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Dossing_target;
12  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Slow_dossing_pos := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Slow_dossing_pos;
13  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Slow_dossing_vel := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Slow_dossing_vel;
14  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Wait_time_for_weigth := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Wait_time_for_weigth;
15  "Recipe_method_2".Actual_recipe.on_adj_fun := "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].on_adj_fun;
16  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Weigth_H_warning := "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].Weigth_H_warning;
17  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Weigth_L_warning := "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].Weigth_L_warning;
18  "Recipe_method_2".Actual_recipe.Target_time := "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].Target_time;
19 END_IF;
20
21 IF #Save_actual THEN
22   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Recepi_name:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Recepi_name ;
23   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Bottle_weight_L:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Bottle_weight_L;
24   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Bottle_weight_H:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Bottle_weight_H;
25   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Pre_dossing_Time:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Pre_dossing_Time;
26   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Pre_dossing_pos:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Pre_dossing_pos;
27   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Pre_dossing_vel:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Pre_dossing_vel;
28   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Fast_dossing_target:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Fast_dossing_target;
29   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Fast_dossing_pos:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Fast_dossing_pos;
30   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Fast_dossing_vel:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Fast_dossing_vel;
31   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Dossing_target:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Dossing_target ;
32   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Slow_dossing_pos:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Slow_dossing_pos;
33   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Slow_dossing_vel:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Slow_dossing_vel ;
34   "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_num].Wait_time_for_weigth:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Wait_time_for_weigth ;
35   "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].on_adj_fun:="Recipe_method_2".Actual_recipe.on_adj_fun ;
36   "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].Weigth_H_warning:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Weigth_H_warning;
37   "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].Weigth_L_warning:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Weigth_L_warning;
38   "Recipe_method_2".Archive_recipe[0].Target_time:="Recipe_method_2".Actual_recipe.Target_time;
39 END_IF;
40
41 IF #Select_recepi_for_view THEN
42   "Recipe_method_2".View_recipe.Recepi_name := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Recepi_name;
43   "Recipe_method_2".View_recipe.Bottle_weight_L:="Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Bottle_weight_L;
44   "Recipe_method_2".View_recipe.Bottle_weight_H:="Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Bottle_weight_H;
45   "Recipe_method_2".View_recipe.Pre_dossing_Time := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_Time;
46   "Recipe_method_2".View_recipe.Pre_dossing_pos:= "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_pos;
47   "Recipe_method_2".View_recipe.Pre_dossing_vel:= "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_vel;
48   "Recipe_method_2".View_recipe.Fast_dossing_target:= "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_target;
49   "Recipe_method_2".View_recipe.Fast_dossing_pos:= "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_pos;
50   "Recipe_method_2".View_recipe.Fast_dossing_vel := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_vel;
51   "Recipe_method_2".View_recipe.Dossing_target := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Dossing_target;
52   "Recipe_method_2".View_recipe.Slow_dossing_pos:= "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Slow_dossing_pos;
53   "Recipe_method_2".View_recipe.Slow_dossing_vel := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Slow_dossing_vel;
54   "Recipe_method_2".View_recipe.Wait_time_for_weigth:= "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Wait_time_for_weigth;
55   "Recipe_method_2".View_recipe.on_adj_fun := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].on_adj_fun;
56   "Recipe_method_2".View_recipe.Weigth_H_warning := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Weigth_H_warning;
57   "Recipe_method_2".View_recipe.Weigth_L_warning := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Weigth_L_warning;
58   "Recipe_method_2".View_recipe.Target_time := "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Target_time;
59 END_IF;

```

```

61 IF #save_view THEN
62     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Recepi_name:="Recipe_method_2".View_recipe.Recepi_name ;
63     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Bottle_weigth_L:="Recipe_method_2".View_recipe.Bottle_weigth_L ;
64     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Bottle_weigth_H:="Recipe_method_2".View_recipe.Bottle_weigth_H ;
65     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_Time:="Recipe_method_2".View_recipe.Pre_dossing_Time ;
66     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_pos:="Recipe_method_2".View_recipe.Pre_dossing_pos ;
67     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Pre_dossing_vel:="Recipe_method_2".View_recipe.Pre_dossing_vel ;
68     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_target:="Recipe_method_2".View_recipe.Fast_dossing_target ;
69     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_pos:="Recipe_method_2".View_recipe.Fast_dossing_pos ;
70     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Fast_dossing_vel:="Recipe_method_2".View_recipe.Fast_dossing_vel ;
71     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Dossing_target:="Recipe_method_2".View_recipe.Dossing_target ;
72     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Slow_dossing_pos:="Recipe_method_2".View_recipe.Slow_dossing_pos ;
73     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Slow_dossing_vel:="Recipe_method_2".View_recipe.Slow_dossing_vel ;
74     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Wait_time_for_weigth:="Recipe_method_2".View_recipe.Wait_time_for_weigth ;
75     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].on_adj_fun:="Recipe_method_2".View_recipe.on_adj_fun ;
76     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Weigth_H_warning:="Recipe_method_2".View_recipe.Weigth_H_warning ;
77     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Weigth_L_warning:="Recipe_method_2".View_recipe.Weigth_L_warning ;
78     "Recipe_method_2".Archive_recipe["Recipe_method_2".Selected_recipe_view_num].Target_time:="Recipe_method_2".View_recipe.Target_time ;
79 END_IF;

```

Функція узгодження рецептів для нового методу наповнення.

```

1 IF #Load THEN
2     "Recipe_method_3".Actual_recepi.Recepi_name := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Recepi_name;
3     "Recipe_method_3".Actual_recepi.Bottle_weigth_L:= "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_L;
4     "Recipe_method_3".Actual_recepi.Bottle_weigth_H := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_H;
5     "Recipe_method_3".Actual_recepi.Target_weigth := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Target_weigth;
6     "Recipe_method_3".Actual_recepi.Smooth_velocity := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Smooth_velocity;
7     "Recipe_method_3".Actual_recepi.Wait_time_dosing := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Wait_time_dosing;
8     "Recipe_method_3".Actual_recepi.K0 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K0;
9     "Recipe_method_3".Actual_recepi.K1 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K1;
10    "Recipe_method_3".Actual_recepi.U := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].U;
11    "Recipe_method_3".Actual_recepi.A0 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].A0;
12    "Recipe_method_3".Actual_recepi.A1 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].A1;
13    "Recipe_method_3".Actual_recepi.Curve_num := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Curve_num;
14    "Recipe_method_3".Actual_recepi.On_adjustment := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].On_adjustment;
15    "Recipe_method_3".Actual_recepi.Weigth_HL := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Weigth_HL;
16    "Recipe_method_3".Actual_recepi.Weigth_LL := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Weigth_LL;
17    "Recipe_method_3".Actual_recepi.Dosing_Time_SP := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Dosing_Time_SP;
18    "Recipe_method_3".Actual_recepi.Control_inflection := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Control_inflection;
19    "Recipe_method_3".Actual_recepi.K_format_0_adj := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K_format_0_adj;
20    "Recipe_method_3".Actual_recepi.K_format_1_adj := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K_format_1_adj;
21    "Recipe_method_3".Actual_recepi.Max_open_position := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Max_open_position;
22 END_IF;
23
24 IF #Save_actual THEN
25     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Recepi_name:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Recepi_name;
26     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_L:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Bottle_weigth_L ;
27     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Bottle_weigth_H:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Bottle_weigth_H ;
28     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Target_weigth:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Target_weigth;
29     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Smooth_velocity:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Smooth_velocity;
30     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Wait_time_dosing:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Wait_time_dosing;
31     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K0:= "Recipe_method_3".Actual_recepi.K0;
32     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K1:= "Recipe_method_3".Actual_recepi.K1;
33     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].U:="Recipe_method_3".Actual_recepi.U;
34     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].A0:= "Recipe_method_3".Actual_recepi.A0;
35     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].A1:="Recipe_method_3".Actual_recepi.A1;
36     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Curve_num:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Curve_num;
37     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].On_adjustment:="Recipe_method_3".Actual_recepi.On_adjustment;
38     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Weigth_HL:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Weigth_HL ;
39     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Weigth_LL:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Weigth_LL;
40     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Dosing_Time_SP:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Dosing_Time_SP;
41     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Control_inflection:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Control_inflection;
42     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K_format_0_adj:="Recipe_method_3".Actual_recepi.K_format_0_adj;
43     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].K_format_1_adj:="Recipe_method_3".Actual_recepi.K_format_1_adj;
44     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_num].Max_open_position:="Recipe_method_3".Actual_recepi.Max_open_position ;
45 END_IF;
46
47 IF #Select_recepi_for_view THEN
48     "Recipe_method_3".View_recipe.Recepi_name:= "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Recepi_name;
49     "Recipe_method_3".View_recipe.Bottle_weigth_L := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Bottle_weigth_L;
50     "Recipe_method_3".View_recipe.Bottle_weigth_H := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Bottle_weigth_H;
51     "Recipe_method_3".View_recipe.Target_weigth := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Target_weigth;
52     "Recipe_method_3".View_recipe.Smooth_velocity := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Smooth_velocity;
53     "Recipe_method_3".View_recipe.Wait_time_dosing := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Wait_time_dosing;
54     "Recipe_method_3".View_recipe.K0 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K0;
55     "Recipe_method_3".View_recipe.K1 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K1;
56     "Recipe_method_3".View_recipe.U := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].U;
57     "Recipe_method_3".View_recipe.A0 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].A0;
58     "Recipe_method_3".View_recipe.A1 := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].A1;
59     "Recipe_method_3".View_recipe.Curve_num := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Curve_num;
60     "Recipe_method_3".View_recipe.On_adjustment := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].On_adjustment;
61     "Recipe_method_3".View_recipe.Weigth_HL := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Weigth_HL;
62     "Recipe_method_3".View_recipe.Weigth_LL := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Weigth_LL;
63     "Recipe_method_3".View_recipe.Dosing_Time_SP := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Dosing_Time_SP;
64     "Recipe_method_3".View_recipe.Control_inflection := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Control_inflection;
65     "Recipe_method_3".View_recipe.K_format_0_adj := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K_format_0_adj;
66     "Recipe_method_3".View_recipe.K_format_1_adj := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K_format_1_adj;
67     "Recipe_method_3".View_recipe.Max_open_position := "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Max_open_position;
68 END_IF;

```

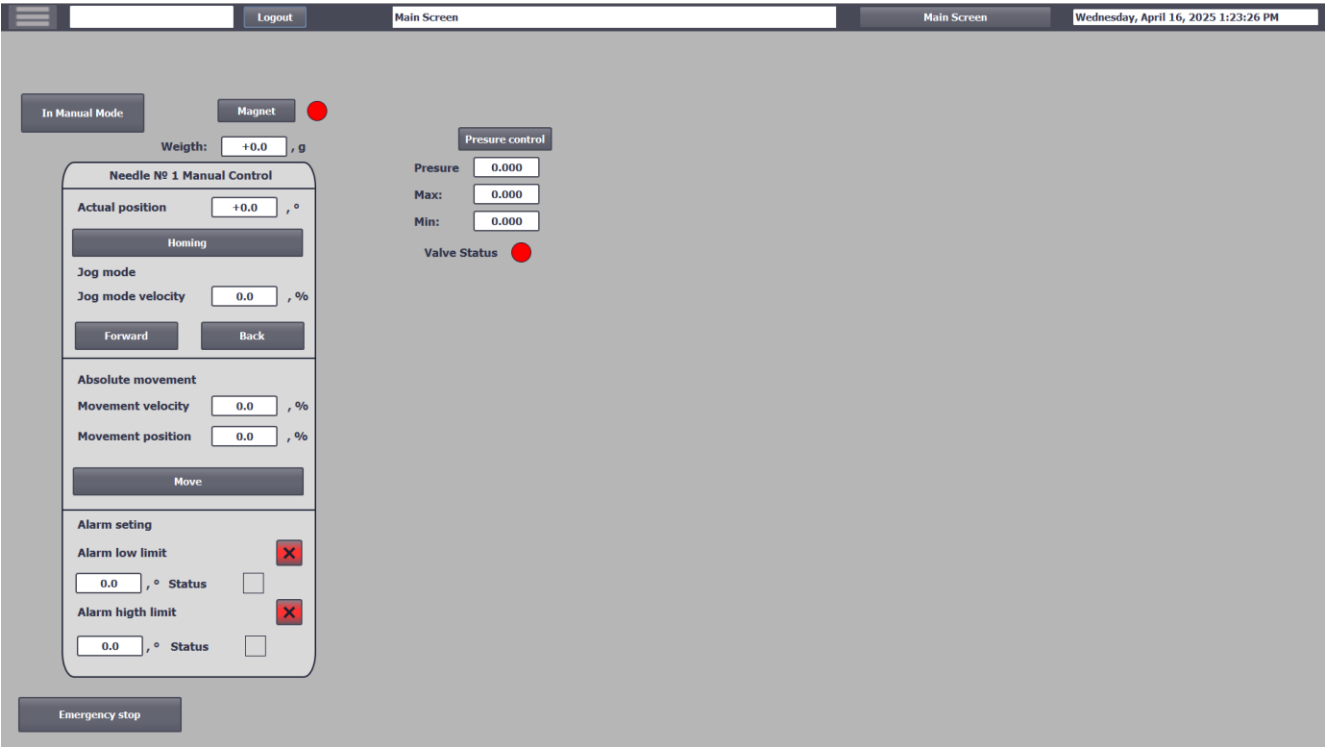
```

70 IF #save_view THEN
71     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Recepi_name:= "Recipe_method_3".View_recipe.Recepi_name;
72     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Bottle_weigth_L:= "Recipe_method_3".View_recipe.Bottle_weigth_L;
73     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Bottle_weigth_H:= "Recipe_method_3".View_recipe.Bottle_weigth_H ;
74     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Target_weigth:= "Recipe_method_3".View_recipe.Target_weigth;
75     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Smoth_velocity:= "Recipe_method_3".View_recipe.Smoth_velocity;
76     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Wait_time_dosing:= "Recipe_method_3".View_recipe.Wait_time_dosing;
77     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K0:= "Recipe_method_3".View_recipe.K0;
78     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K1:= "Recipe_method_3".View_recipe.K1;
79     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].U:= "Recipe_method_3".View_recipe.U;
80     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].A0:= "Recipe_method_3".View_recipe.A0;
81     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].A1:= "Recipe_method_3".View_recipe.A1;
82     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Curve_num:= "Recipe_method_3".View_recipe.Curve_num;
83     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].On_adjustment:= "Recipe_method_3".View_recipe.On_adjustment;
84     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Weigth_HL:= "Recipe_method_3".View_recipe.Weigth_HL;
85     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Weigth_LL:= "Recipe_method_3".View_recipe.Weigth_LL ;
86     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Dosing_Time_SP:= "Recipe_method_3".View_recipe.Dosing_Time_SP;
87     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Control_inflection:= "Recipe_method_3".View_recipe.Control_inflection;
88     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K_format_0_adj:= "Recipe_method_3".View_recipe.K_format_0_adj;
89     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].K_format_1_adj:= "Recipe_method_3".View_recipe.K_format_1_adj ;
90     "Recipe_method_3".Archive_recipe["Recipe_method_3".Selected_recipe_view_num].Max_open_position:= "Recipe_method_3".View_recipe.Max_open_position;
91 END_IF;

```

ДОДАТОК Д

Екрани розробленої візуалізації проекту системи керування процесом дозування



The image displays a medical device interface with two main sections: 'FORMAT ARCHIVE' on the left and 'FORMAT OVERVIEW' on the right.

FORMAT ARCHIVE: This section features a list of format entries. The first entry, '200 ml', is highlighted with a green border. Below it are several other entries, including '400 ml', '100 ml', and 'Test'. At the bottom left, there is an 'Emergency stop' button.

FORMAT OVERVIEW: This section provides a detailed view of the selected format. It includes a 'Format number' field (0) and a 'Format Name' field (200 ml). Below these are two main parameter groups:

- Bottle parameters:** Includes 'Minimum bottle weight' (150.00 g) and 'Maximum bottle weight' (250.00 g).
- Dossing parameters:** Includes 'Target dossing weight' (201.00 g), 'Pre - dossing time' (1400 ms), 'Pre - dossing needle position' (2.20 %), 'Pre - dossing needle velocity' (2.00 %), 'Fast dossing target weighth' (188.00 g), 'Fast dossing needle position' (10.00 %), 'Fast dossing needle velocity' (2.00 %), 'Slow dossing needle position' (1.50 %), 'Slow dossing needle velocity' (90.00 %), and 'Weight stabilization time' (500 ms).
- Dosing adjustment parameters:** Includes 'Dossing adjustment function' (checked), 'Upper warning value' (203.00 g), 'Lower warning value' (200.00 g), and 'The target time of precise dosing' (1500 ms).

The interface also shows a top navigation bar with 'Main Screen' and 'Main Menu' buttons, and a status bar at the bottom with 'Emergency stop' and 'Main Menu' buttons.

Logout

Main Screen

Wednesday, April 16, 2025 1:35:42 PM

FORMAT ARCHIVE

400 ml

200 ml

100 ml

Test

Emergency stop

FORMAT OVERVIEW

Format number:

1

Format Name:

Test

Bottle parameters

Minimum bottle weight:

0.00

, g

Maximum bottle weight:

0.00

, g

Dossing parameters

Target dossing weight:

0.00

, g

Pre - dossing time:

0

, ms

Pre - dossing needle position:

0.00

, %

Pre - dossing needle velocity:

0.00

, %

Fast dossing target weigth:

0.00

, g

Fast dossing needle position:

0.00

, %

Fast dossing needle velocity:

0.00

, %

Slow dossing needle position:

0.00

, %

Slow dossing needle velocity:

0.00

, %

Weight stabilization time:

0

, ms

Half slow weigth:

25.00

, g

Dosing adjustment parameters

Dossing adjustment function:

X

Upper warning value:

0.00

, g

Lower warning value:

0.00

, g

The target time of precise dosing:

0

, ms

[illegible]

[illegible]