

УДК 681.5

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-23-06

Кріль Б.А., Матіко Ф.Д., Шалева В.В., Бугайчук М.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ОРГАНІВ ТА ВАГОВИХ КОМІРОК ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ ІНФУЗІЙНИХ РОЗЧИНІВ

У статті обґрунтовано доцільність розроблення та застосування експериментальної установки для дослідження приводів перетискних регулюючих органів та вагових комірок, під час проведення робіт з реконструкції технологічних ліній для дозування інфузійних розчинів. Представлено результати розроблення такої установки. Також представлено результати удосконалення приводу перетискного регулюючого органу та виконано його дослідження на розробленій установці. За результатами досліджень підтверджено, що виконані удосконалення дали можливість зменшити час повного відкриття регулюючого органу до значення меншого 1,0 секунди. Таким чином підтверджено придатність удосконаленого регулюючого органу для модернізації технологічної лінії WDM 8002. Виконано дослідження удосконаленої вагової комірки з пропонованим давачем ваги SP8C3. Визначено, що середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання цією коміркою ваги у статичному режимі не перевищує 0,13 %, у динамічному режимі під час наповнення флаконів – не перевищує 0,54 %. Застосування розробленої установки дає можливість обрати оптимальні технічні засоби за співвідношенням ціна – якість та ефективно з короткою зупинкою виробництва провести модернізацію технологічних ліній дозування інфузійних розчинів у виробництві лікарських засобів.

Ключові слова: дозування інфузійних розчинів, вагова комірка, перетискний регулюючий орган, кроковий двигун, експериментальна установка

Постановка проблеми. Науково-пошукові роботи по розробленню та модернізації технологічних ліній для дозування інфузійних розчинів передбачають великі обсяги експериментальних досліджень всіх складових таких ліній, зокрема вагових комірок та регулюючих органів подавання розчину. Однак проведення цих досліджень на діючій технологічній лінії вимагає зупинки технологічного процесу та відповідних виробничих втрат. З метою скорочення термінів розробки та модернізації такі дослідження доцільно провести на спеціально реалізованій експериментальній установці. На такій установці можна підібрати та дослідити швидкодію крокових двигунів та їхніх драйверів, які застосовують як привід в перетискних регулюючих органах, є можливість вибрати та дослідити за критеріями точності зважування та швидкодії сучасні давачі ваги для зважування наповненої тари. В роботі представлено розроблену установку для експериментальних досліджень вагових комірок та регулюючих органів для дозування розчинів а також результати експериментальних досліджень виконаних під час модернізації технологічної лінії типу WDM 8002 для дозування інфузійних розчинів у виробництві лікарських засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. 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. Основні вимоги при їхньому виробництві – це збереження високої стерильності та точне дозування їхньої кількості в флакон. Остання вимога зумовлена тим, що до інфузійних розчинів додають ще інші медичні препарати.

Як відомо [1], дозування - процес відмірювання певної кількості речовини шляхом визначення її маси, об'єму або числа однакових штучних об'єктів

За видом робочого циклу дозування може бути безперервним або порційним, а по принципу 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. Розглянемо три принципово відмінні системи дозування:

- системи дозування базовані на методі шприцевого наповнення;
- системи автоматичного дозування на основі витратомірів;
- системи дозування базовані на методі вагового 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 (поршневыми, мембранними та ін.). Метод має більш складне апаратне оформлення, ніж вакуумний і жорсткіші вимоги до розмірів і формі капілярів ампул, але завдяки ряду переваг він є кращим для застосування в технології ампулювання. Особливо ці переваги позначаються при проведенні операцій наповнення та запаювання в одному автоматі.

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 та 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. [2].

Недоліками шприцевого методу є:

- мала продуктивність, хоча вона варіюється в залежності від об'єму тари яку наповнюємо розчином; даний метод є ефективним для дозування малих об'ємів; також окрім дозування продукції у ампули даний метод широко застосовується для дозування у флакони, хоч як і було описано вище при цьому значно втрачається продуктивність обладнання;
- технічна та апаратна складність реалізації цього методу.

Перевагами шприцевого методу є:

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

Іншим методом об'ємного дозування є системи автоматичного дозування реалізовані на основі витратомірів. Принципи побудови таких систем є аналогічними до принципів побудови систем, реалізованих на основі методу шприцевого наповнення. Проте в такій системі замість шприца дозатора на матеріальній лінії дозування встановлено витратомір а також керований відсічний клапан, вмикання якого здійснюється по сигналу наявності пустої тари та вимикання якого здійснюється при досягненні заданого значення витрати. 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 залежить 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 розчину [3].

До переваг системи автоматичного дозування реалізованої на основі витратомірів належать:

- технічна простота реалізації системи керування;
- надійність роботи системи;
- універсальність використання незалежно від типу дозованих рідин.

До недоліків вказаних витратомірів та методу дозування на їх основі 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 слід розглядати систему керування в цілому, у якій точність дозування буде залежати від технічних характеристик вузлів системи керування, а саме їх швидкодії та надійності.

Вагове дозування - один з найточніших і найпопулярніших на даний час 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.

Найбільш поширеним і точним методом дозування інфузійних розчинів є зважування ємностей в процесі дозування і фіксація ваги розчину після завершення дозування. На цьому методі побудовано ряд технологічних ліній і одна з них WDM 8002. Ця технологічна лінія має добре розроблену механічну частину і її часто модернізують з метою удосконалення системи керування. В технологічних лініях з ваговим дозуванням найчастіше застосовують розміщення дозуючих станцій на прямій лінії. В ці лінійки дозування періодично шнековим або боковим стрічковим транспортером переміщують флакони в кількості, яка відповідає числу станцій дозування. Для технологічної лінії WDM 8002 кількість станцій дозування рівна восьми. Спрощена принципова схема цієї технологічної лінії зображена на рис. 1.

В технологічній лінії, що побудована за такою схемою, стрічковий транспортер 3 подає флакони 2 в зону дозування, де шнековий транспортер з шнеків 6 і 7 рівномірно розподіляє флакони 2 по вагових комірках з платформами 1. Змінні шнеки 6 і 7 мають канавки під кожен розмір флаконів, який залежить від значення ваги інфузійного розчину, котрий в них має дозуватись. Процес наповнення флаконів виконують в такій послідовності. Перед початком процесу дозування шнеки 6 і 7 розводять на боки для того, щоб не торкатись флаконів і не впливати на результат зважування. Потім опускають траверсу з дозуючими голками так, щоб вони ввійшли в верхню частину флаконів, і розпочинають процес дозування. Траверса з дозуючими голками може переміщатися так, щоб голки наблизилися до дна флаконів, а потім поступово по мірі наповнення піднімалися. Таке переміщення траверси з голками застосовують для дозування інфузійних розчинів, які піняться.

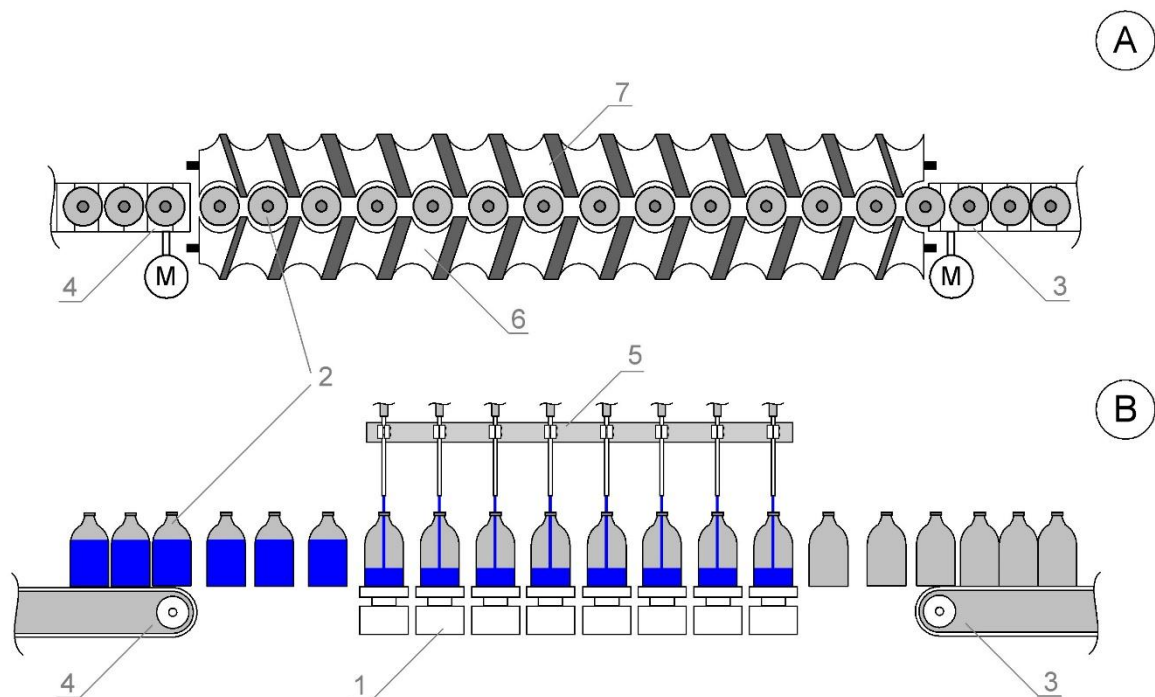


Рисунок 1 – Спрощена принципова схема ділянки дозування інфузійних розчинів технологічної лінії WDM 8002 (А – вигляд зверху, В – вигляд збоку): 1 – вагові комірочки з платформами, на які шнековим транспортером подають флакони; 2 – флакони; 3 – стрічковий транспортер для подавання флаконів на ділянку дозування; 4 – стрічковий транспортер для приймання флаконів з ділянки дозування; 5 – траверса з дозуючими голками; 6,7 – шнеки транспортера для переміщення флаконів

Процеси динамічного зважування описані в “Dynamic Load Cell Technology” (METTLER TOLEDO) [4]. Для цього застосовують вагові давачі з магнітоелектричною компенсацією. Такі

давачі менш чутливі до механічних збурень від роботи приводів технологічної лінії та ударного збурення від струменя інфузійної рідини, але їхні великі розміри непомірно збільшують розміри ділянки дозування. Тому їх використовують в лініях, які мають одну лінійку для дозування або в чеквеерах.

За результатами порівняння описаних методів дозування авторами обрано для подальших досліджень ваговий (масовий) метод дозування рідких речовин як найбільш перспективний метод для дозування інфузійних розчинів у флакони.

Метою цієї статті є розроблення експериментальної установки для дослідження процесу дозування інфузійних розчинів та проведення досліджень основних складових технологічної лінії дозування інфузійних розчинів, які будуть застосовані під час модернізації діючої технологічної лінії. Позитивний результат від модернізації можливий при попередньому ґрунтовному дослідженні вузлів технологічної лінії, які модернізують для заміни технічно застарілих. При цьому ставиться за мету досягнення кращих функціональних можливостей та характеристик цих вузлів. Окремими завданнями під час модернізації технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів є вибір крокових двигунів та їхніх драйверів для приводу регулюючого органу, вибір більш сучасних та досконаліших тензорезисторних давачів ваги для вагових комірок. На основі результатів експериментальних досліджень ці завдання було вирішено на основі чого виконано модернізацію технологічної лінії типу WDM 8002 для дозування інфузійних розчинів.

Розроблення експериментальної установки для дослідження вузлів технологічної лінії дозування інфузійних розчинів. Для виконання модернізації технологічної лінії для дозування інфузійних розчинів розроблено спеціальну експериментальну установку, на якій можна провести апробацію всіх вибраних для модернізації пристроїв та вузлів, технічних рішень та алгоритмів дозування, обробки інформації та керування процесом. Така установка має повторювати гідравлічну схему технологічної лінії, яку готують до модернізації, а також до неї має входити система керування процесом дозування інфузійних розчинів. Принципова схема розробленої експериментальної установки зображена на рис. 2.

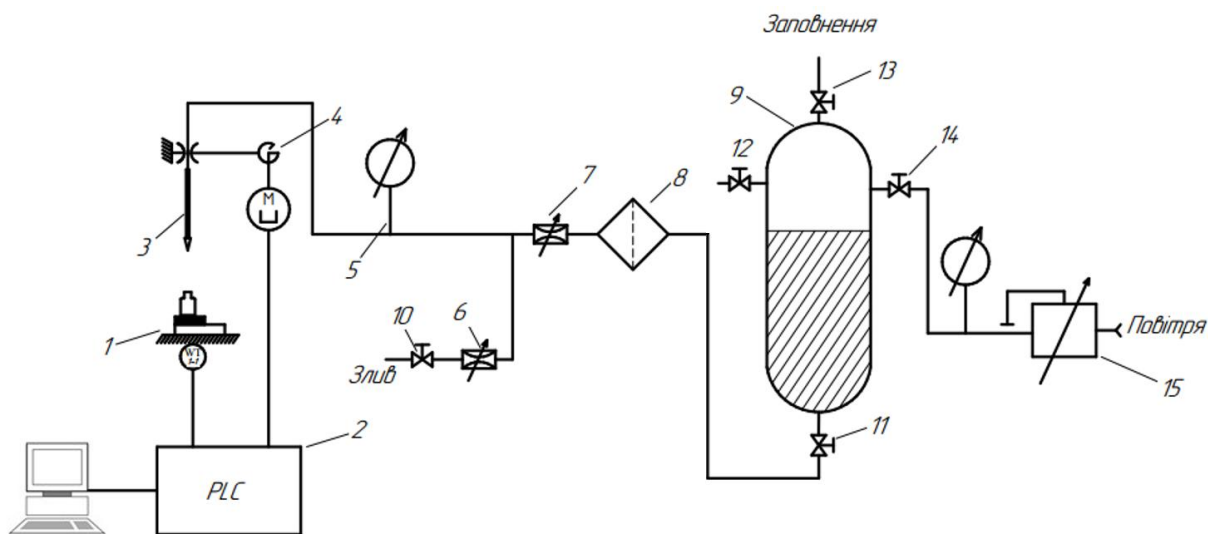


Рисунок 2 – Схема експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів: 1 – вагова комірка з платформою, на якій встановлюють флакони; 2 – система керування з комп'ютером для відображення процесу дозування; 3 – голка у вигляді капіляра для подавання розчину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

З наведеної схеми видно, що вона повторює гідравлічну схему технологічної лінії WDM 8002, тобто, подача інфузійного розчину здійснюється шляхом підпору розчину стисненим повітрям з ємності 9. Тиск повітря, яке підпирає розчин в ємності 9 може регулюватись

редуктором 15 в межах 0,5 – 1 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 створити збурення в процесі дозування, яке буде імітувати роботу сусідніх станцій 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. Нижче представлено фотографії складових експериментальної установки.

На рисунку 3 подано фото дозуючого пристрою експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів. Дозуючий пристрій складається з перетискного регулюючого органу з приводом від крокового двигуна, голки з капілярної трубки для подачі інфузійного розчину в флакон, вагової комірки з платформою, на якій встановлюють флакони. На установці досліджено два типи вагових комірок – оригінальна комірка від технологічної лінії WDM 8002 з наповненням демпферною силіконовою рідиною і модернізована комірка з тензорезисторним давачем ваги типу SP8C3 без застосування демпферної рідини.

На рисунку 4 представлено фото ємності з інфузійним розчином розробленої експериментальної установки. 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.



Рисунок 3 – Загальний вигляд дозуючого пристрою експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів

Перед початком досліджень ємність 9 заповнюють інфузійним розчином при відкритих вентилях 12 і 13 та закритих вентилях 11 і 14. Після заповнення вентиля 12 і 13 закривають, а вентиля 11 і 14 відкривають. В верхню частину ємності 9 поступає повітря із заданим надлишковим тиском, значення якого встановлюють редуктором 15. Потім на платформу 1 встановлюють флакон і вводять команду в систему керування на виконання циклу дозування. Система керування виконує операцію тарування з встановленим флаконом. Далі система керування формує керуючі імпульси та подає їх до драйвера крокового двигуна. Кроковий двигун починає обертати ексцентрик від початкового положення, яке визначається окремим давачем, до певного відкриття перетискного регулюючого органу. Ступінь відкриття регулюючого органу залежить від стадії дозування. При останній стадії дозування витрату інфузійного розчину плавно зменшують за допомогою зміни ступеня відкриття регулюючого органу і припиняють подавання розчину при наблизенні значення ваги розчину в флаконі до заданого. Після завершення циклу дозування система керування архівує результат дозування і може розраховувати значення середньоквадратичного відхилення значень десяти останніх

послідовних дозувань. На основі одержаного числового результату можна зробити висновок про придатність вибраних крокових двигунів, їхніх драйверів, вибраних тензорезисторних давачів для модернізації технологічної лінії дозування інфузійних розчинів.

На розробленій експериментальній установці були проведені такі дослідження:

1) дослідження роботи перетискного клапана з вибраним для модернізації кроковим двигуном та його драйвером;

2) дослідження оригінальної та модернізованої вагових комірок в статичному режимі зважування, визначення середньоквадратичного відхилення результатів зважування в статичному режимі;

3) виконання низки послідовних дозувань, визначення середньоквадратичного відхилення результатів дозування з метою оцінки придатності вибраного нового тензорезисторного давача для модернізації вагових комірок;

4) імітація збурень по тиску та витраті від сусідніх станцій дозування для оцінки швидкодії вибраних крокових двигунів в умовах неперервної корекції процесу дозування внаслідок збурень.



Рисунок 4 – Загальний вигляд ємності з інфузійним розчином експериментальної установки для дослідження технологічного процесу дозування інфузійних розчинів (в склад входять: відсічні вентиля на лінії для наповнення ємності, лінії подачі на розчину на перетискний регулюючий орган, лінії подачі повітря для підпору розчину, фільтр на виході з ємності, манометр перед регулюючим органом, манометр на лінії підпору)

Дослідження приводу перетискного регулюючого органу для регулювання витрати інфузійного розчину. Під час модернізації технологічних ліній доводиться досить часто виконувати заміну приводів у зв'язку з тим, що деякі лінійки приводів виробники підтримують протягом досить короткого часу. Це особливо стосується серводвигунів та крокових двигунів. Електронні блоки керування цими двигунами дуже часто оновлюють у зв'язку з появою більш сучасної елементної бази. Ці блоки в більшості випадків не взаємозамінні, не можуть працювати з двигунами інших виробників і це особливо стосується серводвигунів. Більшу взаємозамінність мають крокові двигуни і електронні блоки керування ними, оскільки їх драйвери не прив'язані до одного типу двигуна. В діючій технологічній лінії на ділянці дозування застосовано вісім крокових двигунів для керування перетискними регулюючими органами і один для опускання/піднімання траверси з дозуючими голками. На час модернізації технологічної лінії застосовані двигуни вже не підтримуються виробником тому виникла потреба їх заміни із збереженням основних технічних характеристик. Авторами виконано підбір нових крокових двигунів та драйверів для керування ними за наступними параметрами:

- сумісність конструктивних розмірів для кріплення корпусу двигуна та діаметра і довжини вихідного валу;

- кількість кроків керування на один оберт вихідного валу;
- забезпечення потрібного моменту на вихідному валу двигуна;
- достатня швидкодія двигуна в комплекті з драйвером.

Останній параметр залежить від електричних характеристик крокового двигуна. Для максимальної швидкодії потрібно вибрати 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 вибрано крокові двигуни типу EMMS-ST-57-MSE-G2 Festo і драйвери для керування ними типу 2DM860H Microstep Driver. Вони мають такі параметри:

- EMMS-ST-57-MSE-G2 Festo: номінальна напруга живлення - 48 VDC, номінальний струм споживання - 5 A, максимальна кількість обертів - 1940, момент утримання - 1,4 Nm, кут кроку - $1,8^{\circ} \pm 5\%$ [5];

- 2DM860H Microstep Driver: напруга живлення - AC 30-80V / DC 40-110V, нормальний вихідний струм - 2,1-8,4, струм логічного входу - 10 mA, частота імпульсної характеристики - макс. 250 кГц, час низького рівня пульсу - мін. 2,5 с[6].

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 .

На рисунку 5 подано графік залежності ступеня відкриття регулюючого органу від ваги флакону під час його наповнення на установці. Експеримент виконано за таких умов: тиск інфузійного розчину перед регулюючим органом – 100 кПа (1 бар), діаметр внутрішнього отвору капіляра дозуючої голки - 4 мм, довжина – 200 мм. Як видно з графіка, підібрані кроковий двигун та драйвер забезпечують вимоги щодо швидкості та точності позиціонування регулюючого органу і таким чином забезпечують точне досягнення заданої ваги під час наповнення флакону.

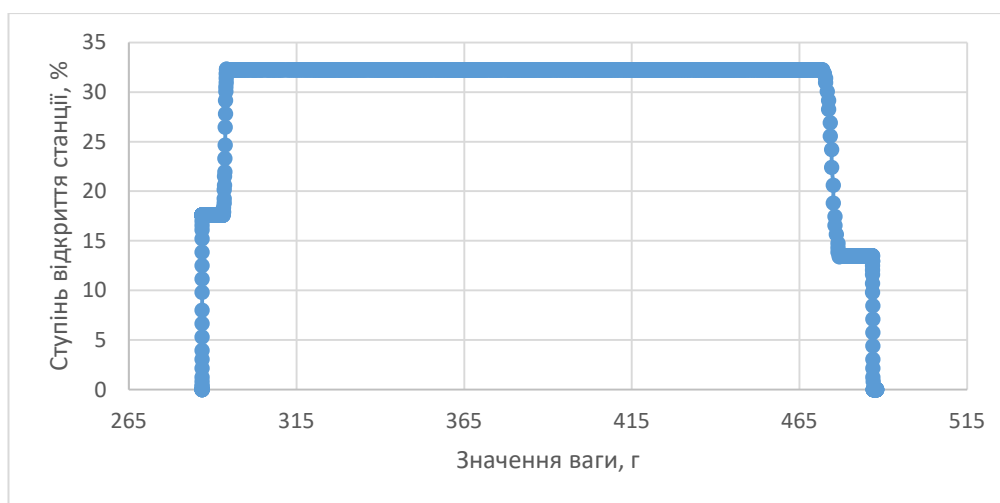


Рисунок 5 – Графік залежності ступеня відкриття регулюючого органу від ваги флакону під час його наповнення на установці

Під час дослідження модернізованого перетискного регулюючого органу визначено також час його повного відкриття, який склав менше однієї секунди. Проведено декілька серій експериментальних досліджень на розробленій установці, які в сукупності з результатами досліджень технологічної лінії підтвердили придатність вибраних крокових двигунів, драйверів для керування ними та блоків живлення драйверів для модернізації технологічної лінії WDM 8002.

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, технологія виготовлення якого поступається сучасним. Особливістю цих давачів є низька механічна резонансна частота, що робить їх дуже чутливими до ударів

струменя 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 виявлені під час виробничих випробувань лінії і було прийняте рішення модернізувати вагові комірки шляхом застосування в них однієї з останніх розробок фірми НВМ – тензорезисторного давача ваги типу SP8C3. Авторами проаналізовано можливість застосування і інших типів давачів ваги, зокрема з магнітоелектричною компенсацією [4], які широко застосовують для динамічного зважування поряд з тензорезисторними давачами, але конструктивні розміри вагової комірки не дозволяють застосовувати такі давачі через їхні більші розміри. Зовнішній вигляд оригінального та пропонуваного тензорезисторного давача зображено на рисунку 6.

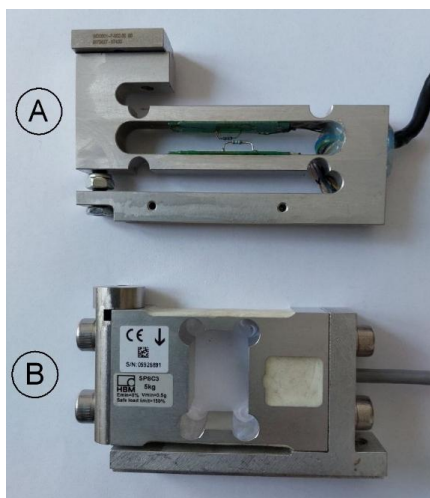


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд тензорезисторних давачів ваги:
А – оригінальний давач технологічної лінії, В – пропонуванний давач

Авторами виконано дослідження удосконаленої вагової комірки з пропонуванним давачем ваги SP8C3. В першу чергу виконано зважування зразків ваги в статичному режимі, результати яких представлено у таблиці 1. Визначено, що середньоквадратичне відхилення для вагової комірки за результатами зважування у статичному режимі становить: для ваги 500 г - 0,126 %, для ваги 1000 г - 0,113 %.

Також було виконано дослідження удосконаленої вагової комірки під час динамічного процесу дозування розчину у флакон. Результати вимірювання ваги флакону за допомогою удосконаленої вагової комірки представлено у таблиці 2. Задане значення ваги розчину для дозування – 201 грам. Обчислене за результатами 10-ти експериментів значення відносного середньоквадратичного відхилення вимірюваного значення ваги розчину становить 0,537 %.

Таблиця 1 – Результати зважування в статичному режимі

Номер вимірювання	Результат вимірювання для зразка вагою, г	
	500,0 г	1000,0 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

Таблиця 2 – Результати зважування флакона в серії послідовних дозувань

Номер дозування	Виміряне значення ваги, 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

Після отримання позитивних результатів дослідження вагової комірки на експериментальній установці було замінено одну вагову комірку в діючій технологічній лінії, та удосконалено систему керування для обчислення та відображення середньоквадратичного відхилення результатів останніх десяти дозувань. Під час роботи технологічної лінії встановлено, що застосування удосконаленої вагової комірки з новим давачем без заповнення силіконовою рідиною забезпечує значення середньоквадратичного відхилення результатів дозування близьке до значення, отриманого на експериментальній установці (близько 0,54 %). Після отримання такого результату поступово замінено всі вагові комірки технологічної лінії.

Висновки. У роботі обґрунтовано, що для проведення робіт з реконструкції ехнологічних ліній для дозування інфузійних розчинів та подібних за функціональними ознаками технологічних ліній доцільно розробити та застосувати експериментальну установку для дослідження приводів перетискних регулюючих органів, вагових комірок для вимірювання ваги посудин під час їх наповнення. Результати розроблення такої установки представлено у цій роботі.

Авторами удосконалено привод перетискного регулюючого органу та виконано його дослідження на розробленій установці. За результатами досліджень підтверджено, що виконані удосконалення дали можливість зменшити час повного відкриття регулюючого органу до значення меншого 1,0 секунди. Таким чином підтверджено придатність удосконаленого регулюючого органу для модернізації технологічної лінії WDM 8002.

Також виконано дослідження удосконаленої вагової комірки з пропонуваним давачем ваги SP8C3. Визначено, що середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання цією коміркою ваги у статичному режимі не перевищує 0,13 %, у динамічному режимі під час наповнення флаконів – не перевищує 0,54 %.

Застосування розробленої установки дає можливість обрати оптимальні технічні засоби за співвідношенням ціна – якість та ефективно з короткою зупинкою виробництва провести модернізацію технологічної лінії типу WDM 8002 для дозування інфузійних розчинів.

Інформаційні джерела

1. Стандарт МОЗ України СТ-Н МОЗУ 42-3.4-2004 «Виробництво лікарських засобів»
2. Промислова технологія лікарських засобів: базовий підручник для студ. вищ. навч. фармац. закладу (фармац. ф-тів) / Є.В. Гладух, О.А. Рубан, І.В. Сайко [та ін.]; за ред. Є.В. Гладуха, В.І. Чуєшова. – Вид. 2-ге, випр.. та допов. Х. : НФаУ : Новий Світ-2000, 2018. 486 с. : іл. (Серія «Національний підручник»).
3. Технологія Коріолісового витратоміра. Smart Measurement. URL: <https://www.smartmeasurement.com/uk/coriolis-flow-meter-technology> (дата звернення: 04.12.2023)
4. 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> (дата звернення : 06.12.2023).
5. Stepper motors EMMS-ST URL: <https://www.festo.com/media/pim/255/D15000100122255.PDF> (дата звернення : 07.12.2023).
6. 2DM860 Digital Stepper Drive Manual, URL: https://unitech.com.ua/image/catalog/catalogs/Katalog_drajvera_shagovogo_dvigatelya_czifrovoj_JMC_2DM860H.pdf (дата звернення : 08.12.2023).

Kril B., Matiko F., Shaleva V., Bugaichuk M.

Lviv Polytechnic National University

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CONTROL VALVES AND WEIGHING CELLS FOR TECHNOLOGICAL PROCESS OF INFUSION SOLUTIONS DOSING

The expediency of developing and using an experimental setup for investigating drives of control pinch valves and weighing cells during the reconstruction of technological lines for dosing infusion solutions was proved. The results of the development of experimental setup are presented. The results of the improvement of the drive of the pinch valve are also presented, and its investigation was carried out on the developed setup. According to the research results, it was confirmed that the improvements the valve made it possible to reduce the time of full opening of the valve to a value less than 1.0 seconds. In this way, the suitability of the improved pinch valves for the modernization of the WDM 8002 technological line was confirmed. The investigation of the improved weighing cell with the proposed SP8C3 weight transmitter was carried out. It was determined that the root mean square deviation of the measurement results with this weight cell in the static mode does not exceed 0.13%, in the dynamic mode during the filling of bottles - does not exceed 0.54%. The use of the developed setup makes it possible to choose the optimal technical means according to the price-quality ratio and effectively modernize the technological lines of dosing infusion solutions in the production of medicines with a short stopping the production.

Key words: dosing of infusion solutions, weighing cell, control pinch valve, stepper motor, experimental setup