

Ю. Л. Гунько^[0000-0002-1441-9625], Ю.В. Федорусь^[0000-0002-6700-7712], С.Є. Голячук^[0000-0002-4835-8154]

Луцький національний технічний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО УСТАТКУВАННЯ

У статті наведені результати досліджень процесів дозування рідких продуктів з різними реологічними властивостями за допомогою об'ємного дозатора, а також запропоновано конструкцію автоматизованого енергоощадного пристрою для подачі рідких продуктів до дозатора.

Ключові слова: дозування, продукт, в'язкість, точність, тиск, енергозбереження, автоматизація, установка.

Y. L. Hunko, Y. V. Fedorus, S. Ye. Holiachuk

DETERMINATION OF THE ACCURACY OF LIQUID PRODUCTS DOSING USING ENERGY-SAVING AUTOMATED EQUIPMENT

The article presents the results of research into the processes of dosing liquid products with different rheological properties using a volumetric dispenser, and also proposes the design of an automated energy-saving device for feeding liquid products to the dispenser.

Keywords: dosing, product, viscosity, accuracy, pressure, energy saving, automation, installation.

Постановка проблеми. Дозатори є важливими пристроями фасувальних машин. Дозуючі пристрої поділяються на об'ємні та вагові дозатори. На фасувальних машинах для дозування рідких матеріалів переважно встановлюють об'ємні дозатори. Такі пристрої мають високу надійність та швидкість роботи.

У харчовому виробництві дозуються рідкі продукти з різними властивостями. Водночас, для самих рідких продуктів властивості можуть бути різними залежно від стану та умов взаємодії із середовищем.

Оскільки для дозуючих пристроїв визначальними показниками є показники якості процесу дозування, то важливо дослідити процеси взаємодії рідких продуктів із робочими органами дозаторів, щоб визначити необхідні режими роботи обладнання.

Для в'язких рідких продуктів, зокрема, важливою характеристикою є показник опору течії, що за своєю суттю є їх в'язкістю. В'язкість для рідких речовин є основним показником після перевищення межі плинності.

Метод об'ємного дозування рідких продуктів з певним спрощенням можна розглядати як відмірювання заданого об'єму продукту та заповнення цим продуктом тари. Оскільки значна частина рідких харчових продуктів є важкоплинними, то відповідно їх подачу до робочих органів фасувальних машин слід виконувати примусово.

Чим вищим є показник в'язкості для рідкого продукту, тим більш доцільним є використання примусової подачі продукту по трубопроводах та у дозаторах.

На даний час у конструкціях дозуючих пристроїв закладені такі принципи роботи, які базуються на кінематиці живильних пристроїв, але при цьому не враховується динаміка руху рідкого продукту. Динаміка руху рідких продуктів, у свою чергу, визначається реологічними властивостями матеріалів.

Процес заповнення деякого об'єму в'язким продуктом є нестационарним [3]. Рідкий продукт, підходячи у дозаторі до насадки, піддається у ній деформації.

Одним із важливих показників якості роботи дозуючих пристроїв є точність дозування рідкого продукту. Точність дозування показує міру відхилень фактичних значень доз рідкого продукту від заданих значень. Відхилення, які можуть спостерігатись, характеризуються переважальною систематичною або випадковою складовими. Перші з них можуть спричинятись через неправильне налаштування дозуючого пристрою на необхідний показник дози продукту, а також через непередбачуваний вплив на процес дозування таких чинників як температурні, динамічні або ж деякі інші.

Слід враховувати, що за великих значень швидкості течії рідкого матеріалу структура його може повністю руйнуватись, рідина при цьому характеризується найменшою (ньютонівською) в'язкістю. А за малих швидкостей течії рідкого матеріалу структура його руйнується та повністю відновлюється (рідина характеризується найбільшою в'язкістю). За умови подальшого збільшення швидкості течії руйнування структури рідкого матеріалу починає переважати над відновленням, а в'язкість значною мірою зменшується.

Як зазначалось вище, процеси дозування рідких продуктів є складними (обумовлено можливою зміною реологічних характеристик рідин), тому для об'єктивного оцінювання тих чи інших явищ, що можуть супроводжувати ці процеси, доцільно проводити експериментальні дослідження, результати яких дозволять визначити необхідні режими роботи дозуючих пристроїв фасувальних машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рідкі харчові продукти, які дозуються, переважно характеризуються хорошою плинністю і тому їх властивості, як правило, не надто ускладнюють процеси дозування через налипання частинок матеріалу на поверхні стінок конструкцій. Але, за умови зростання в'язкості рідкого харчового продукту негативні явища налипання можуть проявлятися більш виразно [4].

Різноманітність харчових рідких продуктів, що характеризуються певними хімічними та фізико-механічними характеристиками, видів їх упаковки, умов та строків їх зберігання, обумовлює потребу у використанні фасувально-дозуючого обладнання різного призначення.

У роботі Волинця Н. С. та Федорова С. Ф. [2] наведені результати дослідження роботи автомата для фасування рідких продуктів. Було встановлено, що факторами, які найбільш суттєво впливають на характер процесу дозування рідкого продукту (сметани) є наступні: молекулярна в'язкість, діаметр насадки і тиск стисненого повітря, потрібний для переміщення поршня. Внесення змін до конструкції дозувального пристрою (заміна клапана) поліпшує процес дозування. Реалізація даної пропозиції потребує відносно незначних матеріальних затрат.

Питанню визначення реології та реологічної морфології у незмішуваних двофазних полімерних модельних сумішах приділено увагу у роботі Т. Jansseune, J. Mewis, P. Moldenaers [7]. Було проведено аналіз Маффеттона-Мінале, що дозволив отримати опис форми еліпсоїдних крапель у незмішуваних двофазних полімерних модельних сумішах під час потоку.

Дослідженнями [3] було встановлено для поршневого дозатора залежність швидкості дозування рідких продуктів від в'язкості та тиску стисненого повітря.

Дослідження конструкцій дозуючих пристроїв, що застосовуються у процесах фасування рідких в'язких продуктів в тару [1-3], показало, що для дозування таких матеріалів переважно застосовуються дозатори, що працюють за об'ємним принципом.

Дозуючі пристрої, що працюють за об'ємним принципом, хоча й характеризуються дещо нижчою точністю дозування вагові дозатори, але мають перевагу за швидкістю дозування матеріалів.

На даний час у харчовому виробництві найбільш широке застосування отримали шнекові, плунжерні і поршневі дозатори [2].

У роботі ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л.Л., БІЛЕЦЬКОГО Е. В., ТОЛЧИНСЬКОГО Ю. А. [2] наведені результати вивчення проблеми математичного моделювання квазів'язкого потоку рідини у щілинних каналах шнекових пристроїв. В результаті моделювання було отримано рівняння, що дозволяють моделювати течії в'язкопластичних рідин.

Постановка завдань. В роботі поставлено мету - дослідити характер зміни точності дозування рідких в'язких продуктів за допомогою автоматичного енергозберігаючого обладнання за умов зміни факторів впливу на процес дозування.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження роботи дозатора було розроблено експериментальну установку (рис. 1).

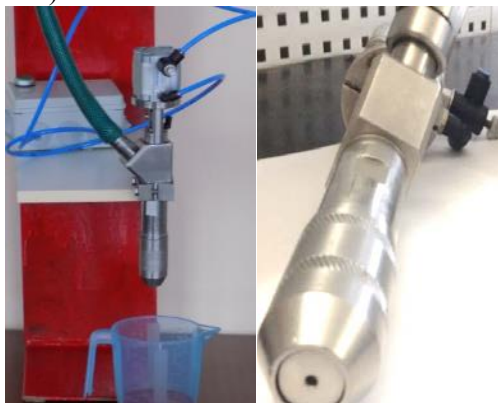


Рис. 1. Експериментальна дослідна установка дозатора рідких матеріалів

В'язкість рідкого продукту визначалась з використанням віскозиметра ВПЖ-2, тиск стисненого повітря встановлювався з використанням манометра.

За допомогою дозатора виконувалось дозування таких матеріалів як томатний сік, кетчуп, майонез (кожен з цих матеріалів характеризується показником молекулярної в'язкості).

Привод форсунки - пневматичний. Закриття виходу форсунки досягається за рахунок переміщення центрального штока, що приводиться у рух за допомогою пневматичного циліндра. Шток з'єднаний з носиком форсунки.

Характер витікання рідкого в'язкого продукту з насадки та формування розподілу швидкості руху продукту залежать від параметрів насадки (рис. 2).

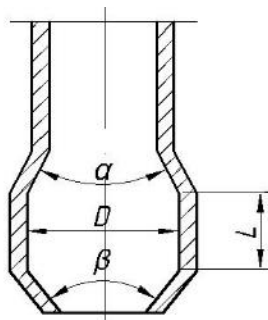


Рис. 2. Параметри насадки досліджуваного дозатора

Ці параметри наступні:

- відношення довжини отвору насадки до її діаметра L/D ;
- кута входу до насадки α ,
- кута виходу з насадки β ,
- форма і матеріал насадки.

Значення кутів входу в отвір насадки та виходу з отвору насадки можуть змінюватися у межах від 0° до 180° .

У насадці струмінь рідкого продукту насамперед стискається, а потім розширюється, дотикаючись до внутрішніх стінок насадки та виходить повним перерізом.

Рух рідкого продукту у циліндричній насадці обмежується певним значенням мінімального тиску у стиснутому перерізі. Показник цього тиску залежить від тиску, що забезпечується пневматичним циліндром. Тому, відповідно має бути певна межа для тиску, що створюється пневматичним циліндром. За вищого значення від цієї межі якість роботи насадок може погіршуватись.

Були проведені експериментальні дослідження роботи дозатора для встановлення значення тиску стисненого повітря, за якого може спостерігатись погіршення його роботи, що виражається у зниженні показника точності дозування. Дослідження проводились для трьох різних видів рідких продуктів. На рис. 3 наведені результати досліджень.

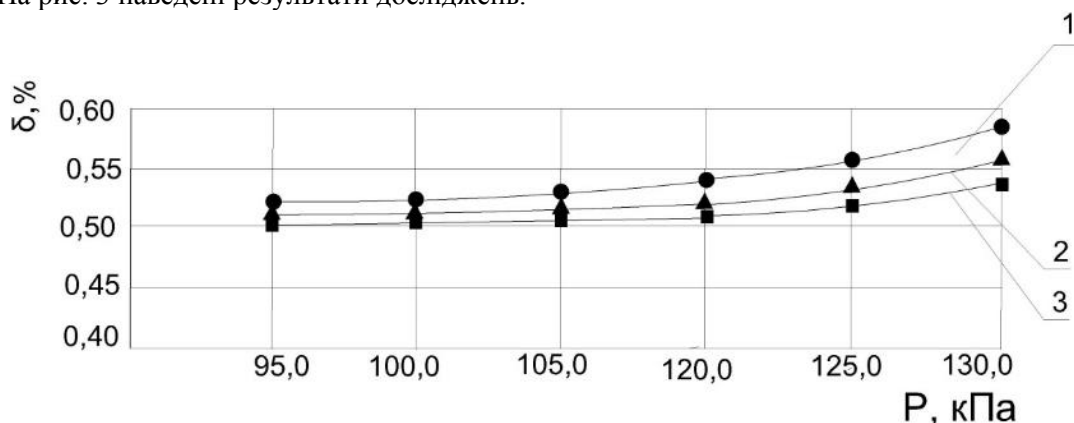


Рис. 3. Залежності для визначення точності дозування: 1 - для майонезу; 2 - для кетчупу; 3 - для томатного соку.

Результати досліджень показали, що при досягненні показника тиску стисненого повітря 120 кПа і вище погрішність дозування зростає і стає вищою за 0,55 %, що можна пояснити утворенням вакууму у стисненому перерізі дозуючої насадки. Проте, такі похибки дозування ще відносяться до допустимих.

Для того, щоб забезпечити ефективне дозування рідких продуктів у якості автоматизованої ємкості, з якої продукт може подаватись до дозуючого пристрою пропонується використовувати наступну конструкцію (рис. 3).

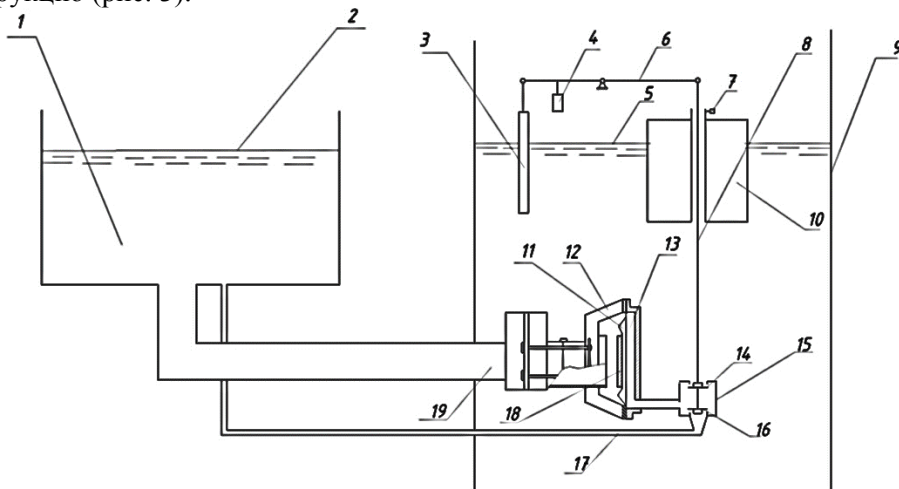


Рис. 4. Автоматизована ємкість для подачі рідких продуктів: 1 - ємкість постійного рівня; 2 - рівень продукту; 3 - трубка; 4 - калібрована вага; 5 - верхній рівень продукту; 6 - коромисло; 7 - гвинт; 8 - шток; 9 - ємкість; 10 - поплавок; 11 - мембрана; 12 - ребра; 13 - робоча камера; 14, 16 - клапани; 15 - клапанна коробка; 17 - імпульсна трубка; 18 - диск; 19 - трубопровід.

Корпус робочої камери через ребра жорсткості з'єднаний з трубопроводом, з'єднує ємкість 1 та ємкість 9. Клапанна коробка 15 з'єднана з ємкістю 9 отвором, а з ємкістю 1 - трубкою. Отвори і трубка перекриваються відповідно клапанами 14 та 16, що встановлені на штоку 8.

На штоку також знаходиться поплавковий чутливий елемент. Він виконаний у вигляді порожнинного циліндра. Його положення регулюється за допомогою гвинта 7.

Шток пристрою зв'язаний шарнірно з одним плечем коромисла 6, а інше його плече зв'язане із зануреною у рідкий продукт вертикальною герметичною трубкою 3. Площа січення цієї вертикальної трубки за зовнішнім діаметром рівна добутку загальної площі поперечних січень порожнинного циліндра та штока і відношенню довжин плеч коромисла. На одному з плечей коромисла встановлена калібрована вага 4. Положення каліброваної ваги визначає установку необхідного рівня рідкого продукту.

Певній порції рідких продуктів відповідає рівень 2. По мірі опорожнення мірної ємкості тиск на клапан 16 знижується, шток 8 опускається та відкривається отвір, який з'єднує ємкість 9 з робочою камерою 13, зростає сила гідростатичного тиску на мембрану, що вигинається і рідкий продукт по трубопроводу надходить у ємкість 1. При досягненні рівня рідкого продукту у мірній ємкості необхідного значення тиск на клапан 16 забезпечує підняття штоку із розміщеними на ньому клапанами та перекривання отвору, що з'єднує сполучає ємкість 9 із робочою камерою 13.

Висновок. Результати проведених досліджень показали, що характер процесу дозування рідких в'язких продуктів залежить від реологічних властивостей продуктів та особливостей конструкції насадки. Також, було встановлено, що при тиску стисненого повітря понад 120 кПа спостерігається погіршення точності дозування через виникнення вакууму у просторі насадки дозатора.

Було запропоновано конструкцію автоматизованого енергозберігаючого пристрою - ємкості для подачі рідкого продукту, яка має гідравлічний привод виконавчих робочих органів.

Список використаних джерел

1. Білецький Е. В. Визначення гідравлічних втрат при течії в'язкої рідини / Е. В. Білецький, Ю. А. Толчинський // Вісник Львівського інституту економіки і туризму. – Львів : ЛІЕТ, 2011. – №6. – С. 143 – 148. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2014_2_12

2. Волинець Н. С. Дослідження процесу дозування в'язких молочних продуктів з метою вдосконалення конструкції фасувального автомату М-2 / Н. С. Волинець, С. Ф. Федоров // Ukrainian food journal. - 2012. - № 3. - С. 54 – 58. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/21354>

3. Гунько Ю.Л. Дослідження роботи дозатора рідких продуктів / Ю.Л. Гунько, С.Є. Голячук, Ю.В. Федорусь // Наукові нотатки. – 2022. – Випуск 74.– С.152 – 155. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.74.25>

4. Гуць В. С. Метод аналізу реологічних моделей в'язко-пружно-пластичних матеріалів у пакувальних процесах / В. С. Гуць, О. А. Коваль // Упаковка. – 2013. – №4. – С. 46 – 49. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urakovka_2013_4_15

5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Деякі аспекти повздовжньо-поперечної течії стисненої рідини, що залежить від швидкості зрушення і тиску вздовж щілинного каналу (Частина 2) / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Е. В. Білецький, Ю. А. Толчинський // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – К. : НУХТ, 2012. – № 46. – С. 25 – 31.

6. Dudarev, I., Holiachuk, S., Hunko, Y., Panasyuk, S. (2021) Modeling of the mixing process in the gravitational mixer using the theory of Markov chains. In: Tonkonogyi V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_12

7. Jansseune T. Rheology and rheological morphology determination in immiscible two-phase polymer model blends / T. Jansseune, J. Mewis, P. Moldenaers [et. al.] // J. Non-Newton. Fluid Mech. – 2000. – P. 153 – 165. [https://doi.org/10.1016/S0377-0257\(00\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0257(00)00109-9)

Дата надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата оприлюднення 14.04.2026