

УДК 621.87

AQUATRONICS IN SYSTEMS OF LIQUID FOOD PRODUCTS FOR PACKAGING LINES

M. Yakymchuk, O. Gavva, S. Tokarchuk, V. Yakymchuk*National University of Food Technologies*

Key words:

aquatronics,
liquid food product,
control system,
physical model,
energy consumption

Article history:

Received 14.06.2021
Received in revised form
12.07.2021
Accepted 10.09.2021

Corresponding author:

mykolaikymchuk.2016
@gmail.com

ABSTRACT

The quality of liquid food packaging is inextricably linked with innovations in the development of technological packaging equipment and the qualification of production staff. One of the innovative directions of development of new packaging systems is the modernization of liquid food supply systems.

Designing the latest liquid food supply systems in packaging lines require from designers engineering knowledge to ensure energy efficiency and reliability of their work. The importance of developing and systematizing such knowledge led to the creation of a new branch of science — aquatronics. According to the terminological definition, "aquatronics" is a synergistic combination of structural elements, technologies, energy and information flows for effective management of energy and water resources. The main directions of aquatronics are the study of new methods of control and management of the automatic process of fluid supply, taking into account energy-saving technologies of consumption.

The article considers the possibility of using training equipment "Aquatronic — Festo" as a physical model that reflects the real processes of liquid food products supply and energy management systems. Using the physical model "Aquatronic — Festo", the authors conducted experimental studies and analyzed the amount of energy consumption for the movement of liquid food products in the systems as a function of energy management.

The presented results of experimental researches show the dependence of the change in the value of local resistances as a function of the energy consumption of the liquid food supply system.

Research has shown that regular maintenance of liquid food products supply systems in packaging lines ensures uninterrupted and trouble-free operation of pumps and other equipment, and the introduction of new regulated control systems — reduces energy consumption.

It is expedient to use the received results at creation of new energy saving systems of giving of a liquid food product in packing lines.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-14

АКВАТРОНІКА В СИСТЕМАХ ПОДАЧІ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЛІНІЙ ПАКУВАННЯ

М. В. Якимчук, д-р техн. наук

О. М. Гавва, д-р техн. наук

С. В. Токарчук, канд. техн. наук

В. М. Якимчук

Національний університет харчових технологій

У статті розглядається можливість використання установки «Акватронік — Фесто» як фізичної моделі, яка відображає реальні процеси подачі рідкого харчового продукту та систем керування енерговитратами. Автори за допомогою фізичної моделі «Акватронік — Фесто» провели експериментальні дослідження та проаналізували величину споживання енергії на переміщення рідкого харчового продукту в системах подачі як функцію керування енерговитратами.

Наведені результати експериментальних досліджень показують залежність зміни величини місцевих опорів як функції енерговитрати системи подачі рідкого харчового продукту.

За результатами досліджень доведено, що регулярні заходи з обслуговування систем подачі рідких харчових продуктів у лініях пакування забезпечують безперебійну і безвідмовну роботу насосів та іншого обладнання, а впровадження нових регульованих систем керування — зменшують енерговитрати.

Отримані результати доцільно використовувати при створенні нових енергоощадних систем подачі рідких харчових продуктів на лініях пакування.

Ключові слова: акватроніка, рідкий харчовий продукт, система керування, фізична модель, споживання енергії.

Постановка проблеми. Якість пакування рідкого харчового продукту нерозривно пов'язана з інноваціями в розвитку технологічного обладнання пакування та кваліфікацією виробничого персоналу. Одним із інноваційних напрямків розвитку нових пакувальних систем є модернізація систем подачі рідкого харчового продукту. Аналіз життєвого циклу системи подачі рідкого харчового продукту в структурі пакувального обладнання показує, що вартість її елементної бази та монтажу становить менше 20—25% від загальної. Велика частина витрат життєвого циклу пов'язана зі споживанням енергії на переміщення рідкого харчового продукту, залученням додаткових ресурсів на ремонт та обслуговування системи, ефективністю керування процесом тощо. Технологія керування енерговитратами стає найбільш важливою темою на всіх ділянках функціонування системи подачі рідкого харчового продукту.

Проектування новітніх систем подачі рідкого харчового продукту потребують від проектувальників інженерних знань щодо забезпечення енергоефективності та надійності їх роботи. Важливість розвитку та систематизації таких знань призвела до створення нової галузі науки — акватроніки. За термінологічним визначенням акватроніка — це синергетичне об'єднання структурних елементів, технологій, енергетичних та інформаційних потоків для ефективного керування енергетичними та водними ресурсами. Головними напрямками акватроніки є вивчення нових способів контролю та керування автоматичним процесом подачі рідини з урахуванням енергоощадних технологій споживання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] розглядається вивчення конструкцій елементів систем подачі рідини, наводиться опис технічних проектів та

результати наукових досліджень роботи таких системи. Однак із застосуванням новітніх способів керування потоками рідини на основі пропорційних сигналів наведені результати потребують доповнення й уточнення.

Дослідження методик і методів очищення стічних вод, аналіз конструкції фільтрів, визначення ступеня фільтрації та інші питання автоматизації наведені в [2—4]. Однак у цих працях не наведено схеми керування процесами очистки.

Опису мембранної фільтрації рідини в автоматизованих технологічних процесах очистки із застосуванням пристроїв контролю присвячена праця [5]. Однак наведені технологічні схеми подачі рідин мають обмежене використання в пакувальному обладнанні.

У [6; 7] розглянуто використання мехатронних систем у пакувальному обладнанні для фасування рідких харчових продуктів. Наведені методики розрахунку та підбору елементів мехатронних систем можуть використовуватися для технологічних операцій дозування та фасування рідкого харчового продукту і лише наближено — для проектування систем його подачі.

Мета статті: дослідження енергетичних витрат у системах подачі рідкого харчового продукту ліній пакування шляхом використання фізичної моделі «Акватронік — Фесто».

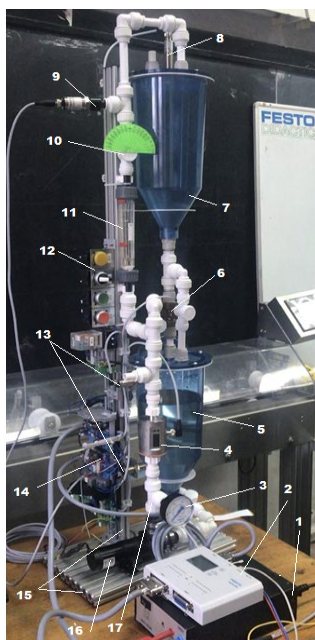


Рис. 1. Фізична модель «Акватронік — Фесто»: 1 — блок живлення; 2 — Easy Port USB інтерфейс; 3 — манометр; 4 — витратомір; 5 — нижній резервуар; 6 — електромагнітний клапан; 7 — верхній резервуар; 8 — ультразвуковий датчик рівня; 9 — датчик тиску; 10 — запірні арматура; 11 — ротаметр; 12 — блок управління; 13 — дискретні датчики рівня; 14 — I/O блок; 15 — станина; 16 — насосна станція; 17 — трубопровід

Матеріали і методи. Аналіз і наукове узагальнення даних літературних джерел, чисельний експеримент, виконаний на основі законів збереження енергії, результати теоретичних та експериментальних досліджень оброблені з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Результати і обговорення. Відомо, що збільшення величин опорів у системі трубопроводів подачі рідкого харчового продукту призводить до збільшення часу

роботи насосів і додаткових витрат енергії. Дослідження режимів роботи насосів щодо енергоспоживання в таких системах є досить складним процесом унаслідок впливу зовнішніх факторів, які важко описати математичними залежностями. В такому випадку для визначення характеристик їх впливу необхідно проводити експериментальні дослідження на промислових установках, що досить проблематично. Тому для таких досліджень широко застосовуються фізичні моделі, які відображають реальні процеси подачі рідкого харчового продукту та системи їх керування.

Прикладом такої моделі є установка компанії Festo «Акватронік — Фесто» (рис. 1).

Установка «Акватронік — Фесто» включає в себе дві підсистеми. Перша забезпечує дослідження основ роботи вимірювальної техніки й автоматичних систем регулювання, друга — служить для дослідження цільових функціональних груп та їх енергоефективності. Установка «Акватронік — Фесто» має програмне забезпечення FluidLab®, яке в реальному часі через Easy Port USB інтерфейс передає технологічні й технічні показники роботи системи на персональний комп'ютер. На екрані комп'ютера графічно відображається поточне споживання енергії приводом насоса, електромагнітними клапанами тощо в [Вт] та її накопичене значення в проміжках часу в [Втч] (рис. 2, нижнє вікно на правій стороні).

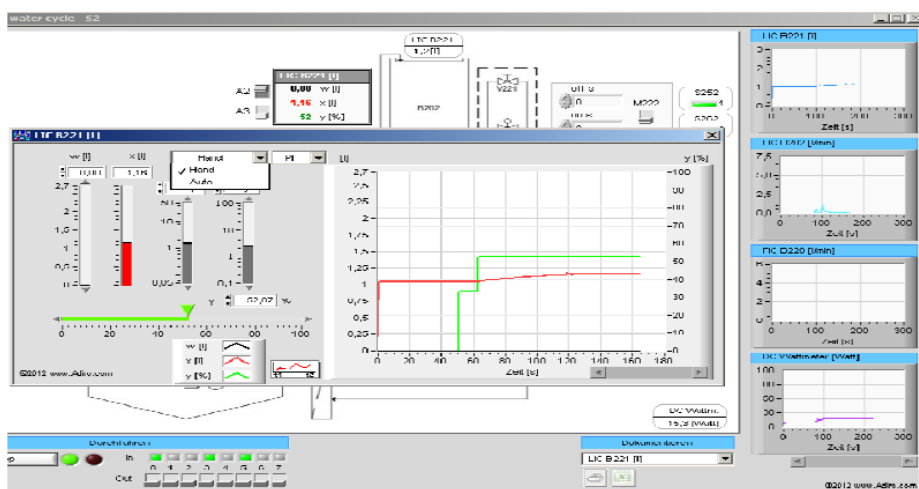


Рис. 2. Програмне забезпечення FluidLab® відображає в реальному часі технологічні і технічні показники технологічного процесу подачі рідкого харчового продукту

У наведеному прикладі подача рідкого харчового продукту відбувалася в ручному режимі керування насосом, продуктивність якого було збільшено від 30% до 52%. Одночасно з командами системи керування формувався графік пікового споживання енергії (показник ватметра в реальному часі) як функції часу. Фактичне енергоспоживання системи подачі рідкого харчового продукту також візуалізується як число — «15.3 Ват» в правому нижньому кутку вікна.

На першому етапі дослідження було створено фізичну модель акватронної системи подачі та дозування рідкого харчового продукту в споживчу упаковку за умови дотримання його постійного рівня у витратному резервуарі (рис. 3). Керуючим елементом акватронної системи є програмований логічний контролер (ПЛК), який забезпечує функцію «штучного інтелекту». Зворотний зв'язок у такій системі забезпечується датчиками витрат і рівня. Моделювання зміни величини місцевого опору

гідралічної системи в трубопроводах подачі рідкого харчового продукту забезпечувалося за рахунок зміни кутів повороту ручки запірної арматури «JohnGuest 15ESOT» що призводило до звуження перерізу трубопроводу й утворення коефіцієнтів опорів (ξ) від 0,2 до 0,6.

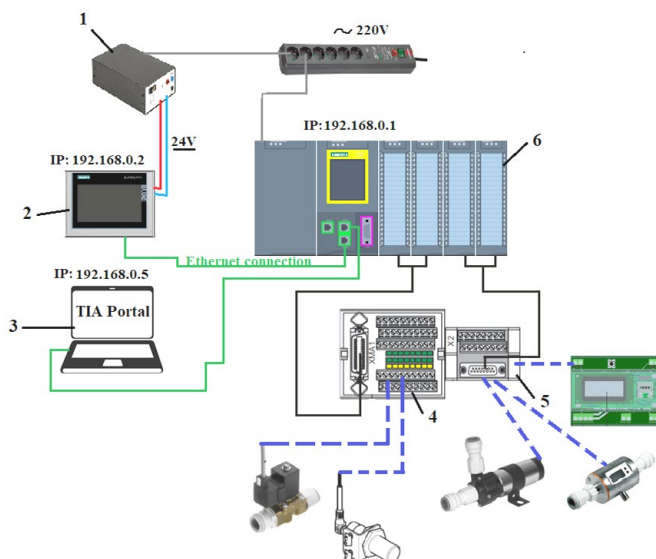


Рис. 3. Структура керування фізичною моделлю акватронної системи подачі та дозування рідкого харчового продукту в споживчу упаковку за умови дотримання його постійного рівня у витратному резервуарі: 1 — блок живлення 24В; 2 — НМІ-панель; 3 — ПК; 4 — блок дискретних входів/виходів; 5 — блок аналогових входів/виходів; 6 — ПЛК

Для підтримання рівня рідини у витратному резервуарі на програмному рівні керування використали PID — регулятор.

Для кожного експерименту графічно в режимі реального часу відображались енергетичні витрати, покази рівня у витратному резервуарі та величина сумарної потужності. Для зручності аналізу отриманих результатів були суміщені графіки коливань рівня та споживаної потужності за часом (рис. 4 і 5).

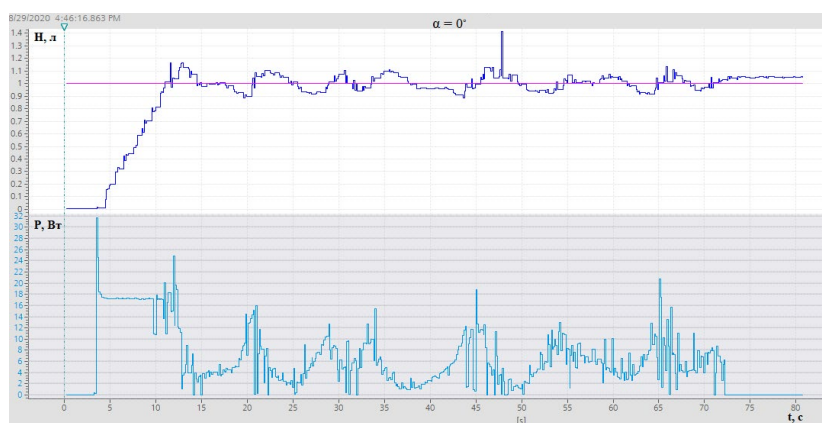


Рис. 4. Графіки коливання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі та споживаної потужності за умови величини місцевого опору гідралічної системи $\xi = 0,2$

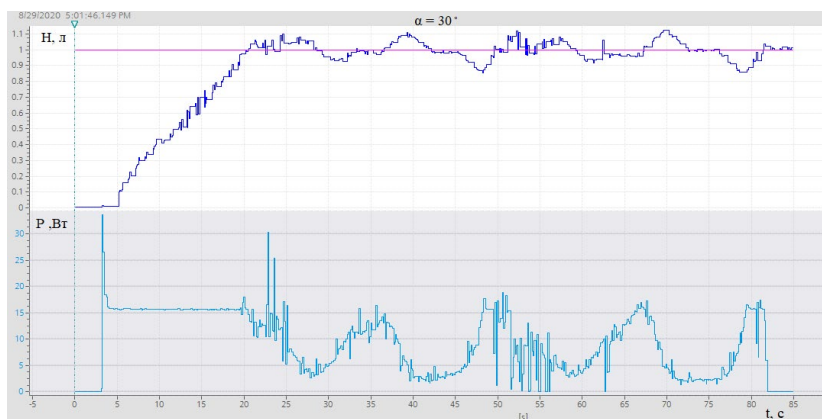


Рис. 5. Графіки коливання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі та споживаної потужності за умови величини місцевого опору гідравлічної системи $\xi = 0,6$

Аналіз сумарних енергетичних витрат $\sum P$ насосної станції для підтримання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі (табл. 1) показує, що збільшення внутрішнього опору в гідравлічній системі призводить до збільшення сумарних енергетичних витрат, що очевидно є наслідком збільшення часу набирання t_n рідини у витратний резервуар.

Таблиця 1. Сумарні енергетичні витрати $\sum P$ насосної станції для підтримання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі

ξ	ΔH , л	$\sum P$, Вт*год	$\sum t$, с	t_n , с
$\xi = 0,2$	0,25	0,122	69	8
$\xi = 0,3$	0,32	0,137	70	9,5
$\xi = 0,4$	0,29	0,166	74	12,5
$\xi = 0,6$	0,27	0,206	79	18

Примітка: ξ — зміна величини місцевого опору в гідравлічній системі; ΔH , (л) — коливання рівня рідини у витратному резервуарі; $\sum P$, (Вт*год) — сумарні енергетичні витрати насосної станції для підтримання рівня рідкого харчового продукту у витратному резервуарі; $\sum t$, с — тривалість процесу дозування; t_n , (с) — тривалість набирання рідини у витратний резервуар до заданого рівня.

Висновки.

1. Встановлено залежність часу заповнення витратного резервуару рідким харчовим продуктом до заданого рівня при різних величинах місцевих опорів. Так, у випадку експлуатації системи з номінальними місцевими опорам ($\xi = 0,2$) час становить $t_{n1} = 8$ с. При зростанні місцевих опорів (до $\xi = 0,6$) час збільшується до $t_{n4} = 18$ с.

2. За результатами аналізу графіків, отриманих у системі керування TIA Portal, було досліджено величину відхилення поточного рівня рідини ΔH у витратному резервуарі за умови використання PID-регулятора. Встановлено, що коливання рівня рідини знаходяться в межах $\Delta H = 0,25 - 0,32$ мм. Експериментально доведено, що PID-регулятор якісно нівелює вплив збільшення місцевих опорів у гідравлічній системі на коливання рівня в процесі дозування.

3. Порівняльний аналіз отриманих графіків довів, що регулярні заходи з обслуговування систем подачі рідкого харчового продукту щодо зменшення місцевих

опорів та оптимального налаштування параметрів регульованих систем керування — ефективний спосіб скорочення споживання енергії, безвідмовної роботи насосів та іншого обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Turnkey Projects — for Science technology and education. // Festo Didactic Global Project Solutions DC-ES. — Germany, 2013. — 18 с.
2. Wastewater disposal / M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2014. — 48 с.
3. Wastewater treatment / M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, J. Voortman // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2014. — 68 с.
4. Rapid sand filtration / P. Maurer, Y. Salazar, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2015. — 54 с.
5. Membrane filtration // K. Treffry-Goatley, Ch. Wehlers, P. Maurer, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Didactic GmbH & Co. KG. — Denkendorf, Germany, 2015. — 62 с.
6. Якимчук М. В. Науково-технічні засади створення обладнання для групового пакування харчових продуктів на основі мехатронних модулів: дис. докт. техн. наук / М. В. Якимчук; НУХТ. — К., 2016. — 447 с.
7. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів. / М. В. Якимчук, О. М. Гавва, А. П. Беспалько та ін. // К: Видавництво «Сталь», 2017. — 515 с.

АКВАТРОНИКА В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ЛИНИЙ УПАКОВКИ

Н. В. Якимчук, А.Н. Гавва, С.В. Токарчук, В.Н. Якимчук

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматривается возможность использования учебного оборудования «Акватроник — Фесто» как физической модели, которая отражает реальные процессы подачи жидкого пищевого продукта и систем управления энергозатратами. Авторы с помощью физической модели «Акватроник — Фесто» провели экспериментальные исследования и проанализировали величину потребления энергии на перемещение жидкого пищевого продукта в системах подачи как функцию управления энергозатратами.

Приведенные результаты экспериментальных исследований показывают зависимость изменения величин местных сопротивлений как функции энергозатрат системы подачи жидкого пищевого продукта. По результатам исследований доказано, что регулярные мероприятия по обслуживанию систем подачи жидкого пищевого продукта в линиях упаковки обеспечивают бесперебойную и безотказную работу насосов и другого оборудования, а внедрение новых регулируемых систем управления — уменьшают энергозатраты.

Полученные результаты целесообразно использовать при создании новых энерго-сберегающих систем подачи жидких пищевых продуктов в линиях упаковки.

Ключевые слова: *акватроника, жидкий пищевой продукт, система управления, физическая модель, потребление энергии.*