



Механізація, електрифікація

УДК 632.08, 621.644.8,
621.65.01
© 2018

ОПТИМІЗАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

В.П. Ярошевський¹, Т.М. Осипенко²

¹ кандидат технічних наук

*Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН
вул. Маяцька дорога, 26, смт Хлібодарське Біляївського р-ну Одеської обл., 67667, Україна
e-mail: ¹ wladscience@gmail.com; ² tatianayagud@gmail.com*

Надійшла 22.01.2018

Мета. Розроблення підходу до оптимізації гідравлічних систем промислових виробництв мікробіологічних засобів захисту рослин для збільшення енергоефективності. **Методи.** Аналітичний і синтетичний. **Результати.** Визначено функціональний зв'язок між гідравлічними втратами та енергозатратами на транспортування технологічних рідин. Розглянуто наявні підходи до оптимізації гідравлічних систем на основі аналізу методів зменшення гідравлічних опорів. Запропоновано новий підхід до оптимізації гідравлічних систем біовиробництва на основі впорядкування структури течії. **Висновки.** Установлено доцільність проведення оптимізації гідравлічних систем біовиробництва на основі зменшення гідравлічного опору. Розроблено новий підхід до такої оптимізації, який дає змогу значною мірою збільшити енергоефективність транспортування технологічних рідин.

Ключові слова: оптимізація, біовиробництво, енергоефективність, гідравлічна система, зменшення гідравлічного опору.

Напірні гідравлічні та аеродинамічні системи — невід'ємна складова мікробіологічних виробництв різної спрямованості: фармацевтичних, харчових, біотехнологічних. Не є винятком і біофабрики, що виробляють мікробіологічні засоби захисту рослин від хвороб і шкідників (МБЗЗР). До складу таких підприємств входять різні гідравлічні системи, системи аерації, пневмотранспортування тощо.

Як правило, розгалуженість і складність систем зростає пропорційно збільшенню

продуктивності виробництва. Однак затрати електроенергії на транспортування рідин і газів у виробництві МБЗЗР не такі великі, як на стерилізацію або ферментацію. На фоні складності систем технічного забезпечення процесів приготування поживних середовищ, їх стерилізації та напрацювання біопрепаратів перекачування рідин здається не таким значущим і технічно нескладним [1]. Через таке ставлення, на нашу думку, конструюванню гідравлічних систем біовиробництва приділяється недостатньо уваги.

Стандартний підхід до проектування гідравлічних систем мікробіовиробництв ґрунтується на засадах забезпечення технологічних потреб та економії матеріалів. Проте нині цього стандартного підходу для розроблення енергоефективних гідравлічних систем виявляється недостатньо. Наявні системи, запроєктовані на цій основі, часто працюють із завищеними енергозатратами.

Виявлення причин завищення енергозатрат та розроблення методів оптимізації гідравлічних систем біовиробництв є актуальним науковим завданням, спрямованим на збільшення енергоефективності виробництва МБЗЗР.

Мета досліджень — розробити підхід до оптимізації гідравлічних систем мікробіовиробництв для збільшення енергоефективності.

Методи досліджень. Застосовано аналітичний і синтетичний методи досліджень. Проведено аналіз принципів проектування гідравлічних систем мікробіологічних виробництв, у рамках якого досліджували стандартні методики гідравлічних розрахунків систем. Виконано аналіз функціонального зв'язку між втратами напору та затратами електроенергії на транспортування технологічних рідин у виробництві мікробіопрепаратів. Проведено аналіз наявних методів зменшення втрат енергії у гідравлічних опорах. На основі досліджень синтезовано новий підхід до оптимізації гідравлічних систем промислових виробництв МБЗЗР.

Результати досліджень. Аналіз устрою і принципів проектування гідравлічних систем виробництв МБЗЗР виявив, що вони істотно не відрізняються від аналогічних систем харчових, фармацевтичних і хімічних виробництв [1–5]. Однак через складність організації і забезпечення основних процесів проектуванню допоміжних систем у літературі приділяється недостатньо уваги. Скажімо, принципи проектування і розрахунки гідравлічних систем біотехнологічних виробництв подають у скороченій формі з посиланням на розрахунки в інших джерелах.

Аналіз стандартних методик розрахунків гідравлічних систем біовиробництв [2, 3] показав, що за основу для прийняття конструктивних рішень береться поняття «оптимальної швидкості руху». Вважається, що дотримання цієї швидкості призводить до підбору економічно

обґрунтованих діаметрів труб і арматури. В основі обґрунтування розрахунків лежить спрямованість на економію матеріалів. Для такої економії діаметри трубопроводів і арматури штучно зменшували, збільшуючи «оптимальну» швидкість руху.

Недоліком такого підходу є збільшення гідравлічного опору системи. Адже втрати напору (енергії) у технічних системах пропорційні квадрату швидкості. Установлення завищеного рівня оптимальної швидкості позначається на штучному завищенні втрат у гідравлічних опорах, а це призводить до підбору потужнішого нагнітача і завищення затрат енергії на транспортування рідин.

Визначимо функціональний зв'язок між втратами напору і затратами електроенергії на транспортування рідин на основі аналізу стандартних методик гідравлічних розрахунків [6]. Енергозатрати на перекачування технологічних рідин розраховують як добуток потужності нагнітача (насоса, компресора тощо) на час його роботи [2, 4, 5]:

$$E = N \cdot \tau, \quad (1)$$

де E — затрати електроенергії на транспортування рідини, кВт·год; N — електрична потужність нагнітача, кВт; τ — час роботи нагнітача, год.

Електрична потужність нагнітача N визначається його гідравлічною потужністю, яка є добутком напору і витрати в робочій точці.

$$N = 3,6 \cdot H \cdot Q \cdot \rho \cdot g / \eta, \quad (2)$$

де H , Q , η — параметри нагнітача: напір, м вод. ст., об'ємна витрата, м³/год та ККД у робочій точці відповідно; ρ , g — густина рідини, кг/м³ та прискорення вільного падіння, м/с² відповідно.

Загалом системи транспортування технологічних рідин біовиробництв не працюють безперервно. Так, за промислового виробництва МБЗЗР часто застосовують періодичне культивування [1, 5], що зумовлює періодичність задіяності, зокрема і гідравлічних систем. Як правило, нагнітачі таких систем вмикаються на певний час, упродовж якого відбувається транспортування рідини з одного апарату до іншого (схема) [5].

Для періодичного процесу витрату зручно представити у вигляді об'єму рідини, який транспортується протягом часу роботи нагнітача:

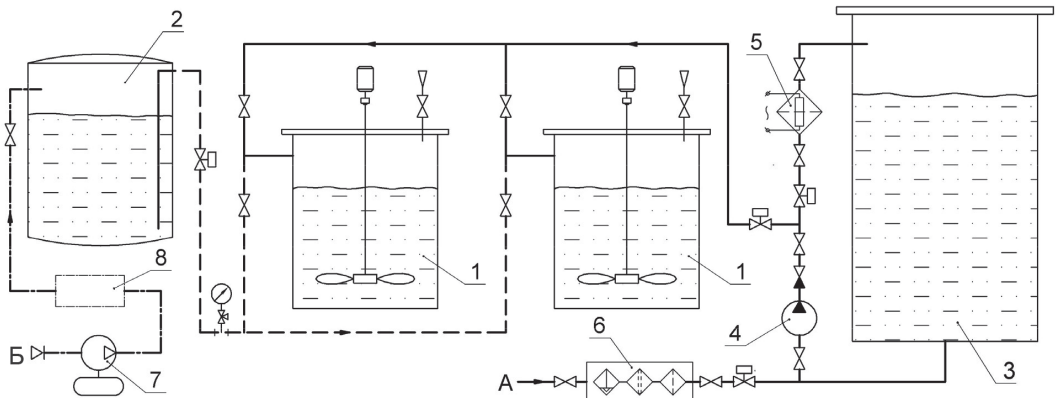


Схема гідравлічних систем промислового малотоннажного виробництва МБЗЗР на базі ферментаційного комплексу КФМ-420: 1 — тонкостінний ферментер; 2 — стерилізатор; 3 — ємність з очищеною і стерилізованою водою; 4 — насос; 5 — проточний знезаражувач води; 6 — система фільтрів; 7 — компресор; 8 — система очищення повітря; - - - - концентроване поживне середовище; — — — — вода; - - - - стиснуте повітря; А — ввід водопроводу; Б — забір повітря

$$Q = V / \tau, \quad (3)$$

де Q — витрата насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; V — об'єм рідини, м^3 ; τ — час роботи нагнітача, с.

Напір нагнітача H прийнято визначати на основі розрахунку втрат енергії в гідравлічних опорах h_w [6]. Напір, як правило, перевищує втрати не більше ніж на 5–10%, тобто $H \approx h_w$.

З урахуванням зазначеного перепишемо формулу (1):

$$E = 3,6 \cdot h_w \cdot V \cdot \rho \cdot g / \eta. \quad (4)$$

З формули (4) видно, що енергозатрати на транспортування рідини E , скажімо, концентрованого поживного середовища чи води (див. рисунок), визначаються втратами енергії в гідравлічних опорах системи h_w . Описане штучне завищення втрат h_w неминуче призводить до збільшення затрат електроенергії E — величини, обернено пропорційної до енергоефективності. Отже, для збільшення енергоефективності (зменшення енергозатрат) гідравлічних систем мікробіовиробництв слід зменшувати опір системи.

Варто зауважити, що в гідравлічних системах біовиробництв більша частина втрат енергії припадає на місцеві опори (фасонні елементи, арматуру тощо). Втрати в місцевих опорах супроводжуються процесами формування застійних зон і вихорів.

Особливо небажаними ці гідравлічні ефекти є для систем транспортування рідких поживних середовищ (див. рисунок). Оскільки більшість рідких субстратів є суспензіями, то різке зниження швидкості в місцевих опорах призводить до випадання в осад нерозчинних компонентів, які залишаються в застійних зонах. Наявність таких осадів значно ускладнює миття та стерилізацію трубопровідної системи. Отже, зниження гідравлічного опору системи, зокрема через удосконалення конструкцій місцевих опорів, додатково призводить до спрощення миття і зменшує ймовірність зараження субстратів сторонньою мікрофлорою.

На практиці оптимізацію гідравлічних систем промислових виробництв на основі зменшення гідравлічного опору проводять нечасто. Здебільшого така оптимізація зумовлена не потребою в зменшенні енергозатрат на роботу нагнітача, а потребою вирішення специфічних технологічних завдань (збільшення пропускної спроможності якогось апарату, запобігання виникненню шуму під час перекачування рідини тощо). Тому не дивно, що окремої методики оптимізації, яка б передбачала комплексне зменшення втрат енергії в гідравлічних опорах, просто немає. Натомість є багато методів зменшення втрат в окремих видах гідравлічних опорів, розроблених для окремих систем.

Узагальнення цього досвіду і його адаптація до умов виробництв біопрепаратів дадуть змогу створити новий підхід до оптимізації гідравлічних систем.

Аналіз наявних методів [6–10] зменшення втрат енергії в гідравлічних опорах дає можливість об'єднати їх у рамках кількох підходів до розв'язання проблеми — енергетичного та структурного.

Перший підхід розглядає процеси в гідравлічних опорах з позиції перерозподілу енергії між транзитним потоком і відривними течіями (вихорами) [6]. Його основою є математична модель потоку, розроблена на основі рівнянь Навьє-Стокса. Недоліком енергетичного підходу є недостатня увага до картини течії всередині гідравлічного опору. Фактично для опису достатньо визначити енергетичні параметри потоку (напори і швидкості) на вході та виході з опору (принцип «чорної скриньки»). Стандартні методи, ґрунтовані на енергетичному підході, передбачають зменшення шорсткості внутрішніх поверхонь опорів, застосування полімерних добавок у рідину, спрямування потоку спеціальними напрямними, розбивання потоку на кілька паралельних течій тощо [6]. Серед нестандартних методів можна виокремити методи, що ґрунтуються на використанні особливостей турбулентних ефектів та створенні в потоці спрямованих хвиль [7, 8].

Другий підхід ґрунтується на аналізі структурної картини течії, яка характеризує масообмінні процеси всередині опору [11]. В основі підходу — методи оптичної візуалізації картини течії [12, 13]. Недоліком підходу є складність співвідношення картини течії в проточній частині опору з енергетичними параметрами руху рідини. Через це напори і швидкості визначаються в стандартний спосіб на вході і виході з опору. Методи, ґрунтовані на структурному підході, передбачають корекцію проточної частини з метою уникнення формування відривів та вихроутворення: підлаштування форми

проточної частини опору під форму безвідривної течії, заміну відривних зон твердими вставками [9, 10].

Обидва описані підходи мають на меті оптимізацію окремих елементів, а не системи загалом. Тому для оптимізації гідравлічних систем мікробіовиробництв слід розробити новий підхід, що передбачатиме комплексне зменшення гідравлічного опору. В основу такого підходу можна покласти останні дослідження, проведені в ІТІ «Біотехніка» НААН, які були спрямовані на пошук умов створення і підтримання в системі безвідривної структури течії в гідравлічних системах мікробіовиробництв.

Новий підхід пропонує розглядати елементи системи як фактори впливу на структуру потоку. Наразі процес формування потоку конфігурацією проточної частини є неконтрольованим і некерованим. При цьому виникають елементи структури — відривні течії, вихори, які рухаються окремо від основного потоку та в інший спосіб (скажімо, обертаються). Натомість збереження одного виду руху для всього об'єму рідини закрученням течії вздовж осі проточної частини надасть потоку рідини однорідної структури. Таким чином створюватимуться несприятливі умови для формування відривних течій — причини найбільших втрат енергії в системі.

Метод оптимізації гідравлічних систем промислових виробництв МБЗЗР, оснований на новому підході, передбачає встановлення в окремих місцях системи спеціальних вставок для створення і підтримання необхідної структури течії в усій системі. Вставки являють собою проточні елементи і не мають електричного приводу, що робить процес оптимізації систем досить простим. У результаті такого вдосконалення системи затрати електроенергії на роботу нагнітача помітно зменшуються (за розрахунками на 15–50%), а енергоефективність транспортування технологічних рідин відповідно збільшується.

Висновки

Під час проектування промислових мікробіологічних виробництв конструюванню

гідравлічних і аеродинамічних систем приділяється недостатньо уваги. Це

приводить до розроблення систем з низькою енергоефективністю. Аналіз показує, що значний рівень енергозатрат на транспортування рідин і газів є наслідком великих втрат енергії в гідравлічних опорах системи. Отже, одним із методів збільшення енергоефективності виробництв МБЗЗР є оптимізація гідравлічних систем на основі зменшення втрат в опорах.

Запропонований новий підхід до оптимізації гідравлічних систем на основі впорядкування структури течії дає змогу

зменшити затрати електроенергії на роботу нагнітача. На відміну від інших підходів, пропонується не уникати або долати природні турбулентні ефекти, пов'язані з втратами енергії, а запобігати їх появі, створюючи і підтримуючи певну структуру потоку в системі. Метод оптимізації гідравлічних систем біовиробництв, розроблений на основі нового підходу, допомагає значною мірою збільшити енергоефективність транспортування технологічних рідин.

Ярошевский В.П.¹, Осипенко Т.Н.²

Инженерно-технологический институт «Биотехника» НААН, ул. Маяцкая дорога, 26, пгт Хлебодарское Беляевского р-на Одесской обл., 67667, Украина; e-mail: ¹wladscience@gmail.com, ²tatianayagud@gmail.com

Оптимизация гидравлических систем промышленных производств микробиологических средств защиты растений

Цель. Разработка подхода к оптимизации гидравлических систем промышленных производств микробиологических средств защиты растений для увеличения энергоэффективности. **Методы.** Аналитический и синтетический. **Результаты.** Определена функциональная связь между гидравлическими потерями и энергозатратами на транспортировку технологических жидкостей. Рассмотрены имеющиеся подходы к оптимизации гидравлических систем на основе анализа методов уменьшения гидравлических сопротивлений. Предложен новый подход к оптимизации гидравлических систем биопроизводства на основе упорядочения структуры течения. **Выводы.** Установлена целесообразность проведения оптимизации гидравлических систем биопроизводства на базе уменьшения гидравлического сопротивления. Разработан новый подход к такой оптимизации, позволяющий в значительной степени увеличить энергоэффективность транспортировки технологических жидкостей.

Ключевые слова: оптимизация, биопроизводство, энергоэффективность, гидравлическая

система, уменьшение гидравлического сопротивления.

Yaroshevskiy V.¹, Osypenko T.²

Engineering and technological institute "Biotechnica" of NAAS, Maiatska Doroha Str., 26, Khlibodarske, Biliayevskiy region, Odessa oblast, 67667, Ukraine; e-mail: ¹wladscience@gmail.com, ²tatianayagud@gmail.com

Optimization of hydraulic systems of industrial productions of microbiological means for protection of plants

The purpose. To develop approaches to optimization of hydraulic systems of industrial productions of microbiological means for protection of plants in order to increase their power efficiency. **Methods.** Analytical and synthetic. **Results.** Functional link between hydraulic losses and power inputs on transportation of technological liquids is specified. Available approaches to optimization of hydraulic systems on the basis of analysis of methods of decrease of hydraulic resistance are considered. New approach to optimization of hydraulic systems of bioproductions on the basis of ordering the structure of flow is offered. **Conclusions.** The expediency of optimization of hydraulic systems of bioproductions on the basis of decrease of water resistance is positioned. New approach to such optimization is developed. It increases power efficiency of liquids' transportation processes.

Key words: optimization, bioproduction, power efficiency, hydraulic system, decrease of water resistance.

Бібліографія

1. Виестур У.Э., Шмите И.А., Жилевич А.В. Биотехнология: биологические агенты, технология, аппаратура. Рига: Знание, 1987. 263 с.

2. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств.

2-е изд., перераб. и доп. Москва: КолосС, 2007. 760 с.

3. Чуешов В.И., Зайцев А.И., Шибанова С.Т., Чернов Н.Е. Промышленная технология лекарств: учебник в 2-х т. Т. 1; под ред. Чуешова В.И. Харьков: Основа, 1999. 560 с.

4. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. 2-е изд., перераб. и доп./под ред. Дытнерского Ю.И. Москва: Химия, 1991. 496 с.

5. Крутякова В.І., Беспалов І.М., Молчанова О.Д., Лобан Л.Л. Інженерно-технологічні інновації у виробництві ентомологічних та мікробіологічних засобів захисту рослин: моногр. Одеса: Фенікс, 2017. 196 с.

6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд., перераб. и доп./под ред. Штейнберга М.О. Москва: Машиностроение, 1992. 672 с.

7. Лысенко В.С. Технология снижения гидравлических потерь в напорных трубопроводах. *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 3. С. 59 – 61.

8. Высоцкий Л.И., Высоцкий И.С. Пат. 2424450 RU МПК F15D 1/06 Способ уменьшения

отрицательной турбулентной вязкости. Бюл. № 20; опубл. 20.07.2011.

9. Арсирый В.А., Ярошевский В.П., Арсирый Е.А. Структурный подход к исследованию свойств жидкостей. *Вісник ОДАБА*. 2006. № 23. С. 328 – 334.

10. Макаров В.О. Математическое описание геометрии вставок-лекал для замещения диссипативных зон в потоке жидкости при повороте 90°. *Сб. тр. Одесского политехнич. ун-та*. 2008. № 2 (30). С. 224 – 227.

11. Арсирый В.А., Ярошевский В.П., Присяжнюк К.Г. Снижение аэродинамических сопротивлений дутьевых трактов котлов. *Холодильна техніка і технологія*. 2011. № 4. С. 44 – 48.

12. Бычков Ю.М. Визуализация тонких слоев несжимаемой жидкости. Кишинев: Штиинца, 1980. 131 с.

13. Yang W.-J. Handbook of Flow Visualization; 2nd edition. New York: Taylor&Francis, 2001. 272 p.