

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-13-6>
УДК 632.08, 663.098

Технологічний проєкт ферментаційної установки для малотоннажного виробництва мікробіологічних засобів захисту рослин

Ходорчук В. Я.,

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН,
e-mail: khodor.od@gmail.com; ORCID iD 0000-0001-6542-0290

Ярошевський В. П.,

к.т.н., Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН,
e-mail: wladscience@gmail.com; ORCID iD 0000-0002-1905-2092

Анотація

Мета. Розроблення технологічного проєкту ферментаційної установки з тонкостінними біореакторами для виробництва мікробіопрепаратів для захисту рослин.

Методи. Методика системного проєктування та функціонально-вартісний аналіз, експериментальна перевірка та випробування.

Результати. Проєкт установки, яка складається з модернізованого промислового автоклава для приготування та стерилізації концентрату поживного середовища та двох тонкостінних ферментерів із двома режимами перемішування – барботажем повітря або зовнішнім циркуляційним контуром із насосом. Стерилізацію устаткування замінено на дезінфікаційне миття та пропарювання. Стерилізація повітря та води здійснюється механічними фільтрами та ультрафіолетовим опромінюванням.

Висновки

1. Розроблено технологічний проєкт сучасної ферментаційної установки ФУ-500

продуктивністю 500 дм³ препарату за цикл, призначений для подальшої розробки конструкторської документації, а також для використання в інвестиційних проєктах.

2. Розроблено конструктивне забезпечення процесів очищення та стерилізації устаткування, а саме: конструкцію трубопровідної системи зроблено легкороз'ємною, ферментаційні місткості оснащуються мінімальною кількістю приєднувальних штуцерів та не мають виступальних деталей усередині.

3. Технологічний проєкт забезпечує суттєве покращення техніко-економічних показників, порівнюючи з ферментаційним комплексом КФМ-420: збільшено продуктивність на 19 %; зменшено масу устаткування на 47 %, встановлену електричну потужність на 69 % та виробничу площу на 60 %.

Ключові слова: проєкт, ферментер тонкостінний, спрощена стерилізація, захист рослин.

UDC 632.08, 663.098

The engineering design of fermentation unit for microbial plant protection products small-scale manufacturing

Khodorchuk V. Y.,

Engineering and Technological Institute “Biotekhnika” of NAAS,
e-mail: khodor.od@gmail.com; ORCID iD 0000-0001-6542-0290

Yaroshevsky V. P.,

cand. tech. sciences, Engineering and Technological Institute “Biotekhnika” of NAAS,
e-mail: wladscience@gmail.com; ORCID iD 0000-0002-1905-2092

Annotation

Purpose. Fermentation unit development based of thin-walled bioreactors for microbial plant protection products manufacturing.

Methods. System design technique, cost-effectiveness analysis, experimental proof and tests.

Results. The fermentation unit was designed. It consists of upgraded industrial sterilizer for nutrient medium making and it further sterilization, two thin-

walled fermenters, which could be run in two agitation modes: air bubbling and external loop circulation by pump. Equipment sterilization was substituted by disinfect cleaning and steaming. Air and water flows were sterilized by filtration and UV-radiation.

Conclusions

1. The engineering design of modern fermentation unit FU-500 with 500 дм³ per cycle capacity was developed, intended for further design

documents development and also for using in investment projects.

2. The design of cleaning and sterilization procedures support was worked out, specifically easy-removal piping system was employed; fermentation vessels were fitted with minimum amount of connecting sockets and had no prominent parts inside.

3. In comparison with the fermentation complex CFM-420 the present engineering design

permits technical and economical parameters significant improvement, in particular capacity increasing at 19 %, equipment weight decrease at 47 %, rated output power reduction at 69 % and 60 % operating area save.

Keywords: design, thin-walled fermenter, simplified sterilization, plant protection.

УДК 632.08, 663.098

Технологический проект ферментационной установки для малотоннажного производства микробиологических средств защиты растений

Ходорчук В. Я.,

Инженерно-технологический институт «Биотехника» НААН
e-mail: khodor.od@gmail.com; ORCID iD 0000-0001-6542-0290

Ярошевський В. П.,

к.т.н., Инженерно-технологический институт «Биотехника» НААН,
e-mail: wladscience@gmail.com; ORCID iD 0000-0002-1905-2092

Аннотация

Цель. Разработка технологического проекта ферментационной установки с тонкостенными биореакторами для производства микробиопрепаратов для защиты растений.

Методы. Методика системного проектирования и функционально-стоимостной анализ, экспериментальная проверка и испытания.

Результаты. Проект установки, состоящей из модернизированного промышленного автоклава для приготовления и стерилизации концентрата питательной среды и двух тонкостенных ферментеров с двумя режимами перемешивания – барботажем воздуха или внешним циркуляционным контуром с насосом. Стерилизацию оборудования заменено на дезинфицирующую мойку и пропаривание. Стерилизация воздуха и воды осуществляется механическими фильтрами и ультрафиолетовым облучением.

Выводы

1. Разработан технологический проект современной ферментационной установки ФУ-500 производительностью 500 дм³ препарата за цикл, предназначенный для дальнейшей разработки конструкторской документации, а также для использования в инвестиционных проектах.

2. Разработано конструктивное обеспечение процессов очистки и стерилизации оборудования, а именно: устройство трубопроводной системы сделано легкоразъемным, ферментационные емкости оснащаются минимальным количеством присоединительных штуцеров и не имеют выступающих деталей внутри.

3. Технологический проект обеспечивает существенное улучшение технико-экономических показателей по сравнению с ферментационным комплексом КФМ-420: увеличена производительность на 19 %; уменьшены масса оборудования на 47 %, установленная электрическая мощность на 69 % и производственная площадь на 60 %.

Ключевые слова: проект, ферментер тонкостенный, упрощенная стерилизация, защита растений.

Постановка проблемы. Біологізація землеробства як стратегічний напрям сталого розвитку передбачає широке використання микробиологічних засобів захисту рослин від шкідників та хвороб (далі – МБЗЗР). Виробництво микробиологічних препаратів технічно й організаційно є досить складною системою [1] і в більшості країн сконцентровано у великих підприємствах. В Україні історично склалося, що виробництво МБЗЗР, незважаючи на наявність микробиологічної галузі, здійснювалося переважно в біолабораторіях, які входили в систему сільського господарства. Найчастіше вони розташовані в сільській місцевості в пристосованих спорудах, мають по суті кустарне виробництво. Однак саме такі малотоннажні виробництва забезпечують біопрепаратами рослинництво і мають усі підстави для подальшого розвитку,

потребуючи відповідного наукового і технічного супроводу [2].

Ця проблема значно ускладнюється відсутністю державної підтримки розвитку біологізації та несприятливими умовами для довгострокових інвестицій. Тому інноваційний розвиток виробництва МБЗЗР в Україні буде можливим тільки за умови кардинального підвищення техніко-економічної ефективності обладнання і технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мікробіологічне виробництво, як галузь промисловості, має значне і достатнє наукове забезпечення. Його основні процеси – стерилізація та ферментація мають безліч апаратурних і технологічних реалізацій [3]. Але переважна їхня більшість, як свідчить практика, не знайшла застосування у виробництві МБЗЗР через неприйнятно високу вартість класичних ферментерів високого тиску, значні витрати на теплову стерилізацію і, головне, недоцільність створення на малих підприємствах повної інфраструктури мікробіологічного виробництва. Також економічно недоцільним є використання одноразових ферментерів (Single-Use Bioreactors) [4, 5].

Специфіка малотоннажного виробництва МБЗЗР потребує спеціалізованого устаткування та технологій [2, 6, 7]. В Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» було розроблено тонкостінні ферментери без надлишкового тиску, основні ідеї яких були використані під час створення більшості виробництв в Україні [8]. Ці апарати постійно удосконалюються, у 2015 році створено сучасний автоматизований ферментаційний комплекс КФМ-420, який пройшов державні приймальні випробування [9].

Основні складнощі ферментаційної технології, основаної на тонкостінних біореакторах, пов'язані зі стерилізацією обладнання та середовищ. Однак досвід експлуатації цих апаратів на біофабриках у роботі свідчить про достатність умовно асептичного виробництва [7, 9]. Це обумовлено передусім рідкою товарною формою препаратів та їхнім цільовим призначенням до оброблення рослин або ґрунту.

Масообмінні процеси в тонкостінних біореакторах ферментаційного комплексу КФМ-420 забезпечувалися з використанням найбільш розповсюдженої схеми механічного перемішування та барботажу [9], яка потребує

оптимізації з метою збільшення енергоефективності. Перспективним, на нашу думку, є використання схеми перемішування середовища циркуляцією зовнішнім контуром та струминної аерації [10, 11].

Проведений аналіз свідчить про те, що використання в Україні промислового ферментаційного обладнання для малотоннажного виробництва МБЗЗР є економічно не вигідним. Це обумовлює актуальність розробки та освоєння виробництва ферментаційних установок (ФУ) на базі тонкостінних біореакторів, які відповідають сучасним вимогам.

Мета досліджень. Розроблення технологічного проекту ферментаційної установки з тонкостінними біореакторами для виробництва мікробіопрепаратів для захисту рослин.

Методи досліджень. Методика системного проектування та функціонально-вартісний аналіз [12], експериментальна перевірка та випробування.

Методика досліджень. Під час розробки проекту основними критеріями оцінки для вибору варіанту технічного рішення ФУ обрано мінімальну вартість комплексу устаткування разом із мінімізацією затрат електроенергії на реалізацію технологічних операцій.

Експериментальна перевірка прийнятих рішень – на пілотній установці з ферментерами зменшеної місткості (115 дм³). Основні технічні та конструктивні рішення проекту відпрацьовувалися після виготовлення відповідних вузлів у режимі, наближеному до умов експлуатації. На прикінцевому етапі в трьох повторностях проведено випробування установки в процесі виробництва двох біопрепаратів. Якість препаратів оцінювалася на основі мікробіологічного аналізу за загальноприйнятими методами [13].

Результати досліджень. В Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» раніше було обґрунтовано принципові підходи та нові технічні рішення для створення наступного покоління установок [5], які були використані як перший варіант під час системного проектуванні ФУ. Останній варіант цього процесу покладено в основу технологічного проекту і представлено на рисунку 1 у вигляді креслення принципової апаратурно-технологічної схеми ФУ.

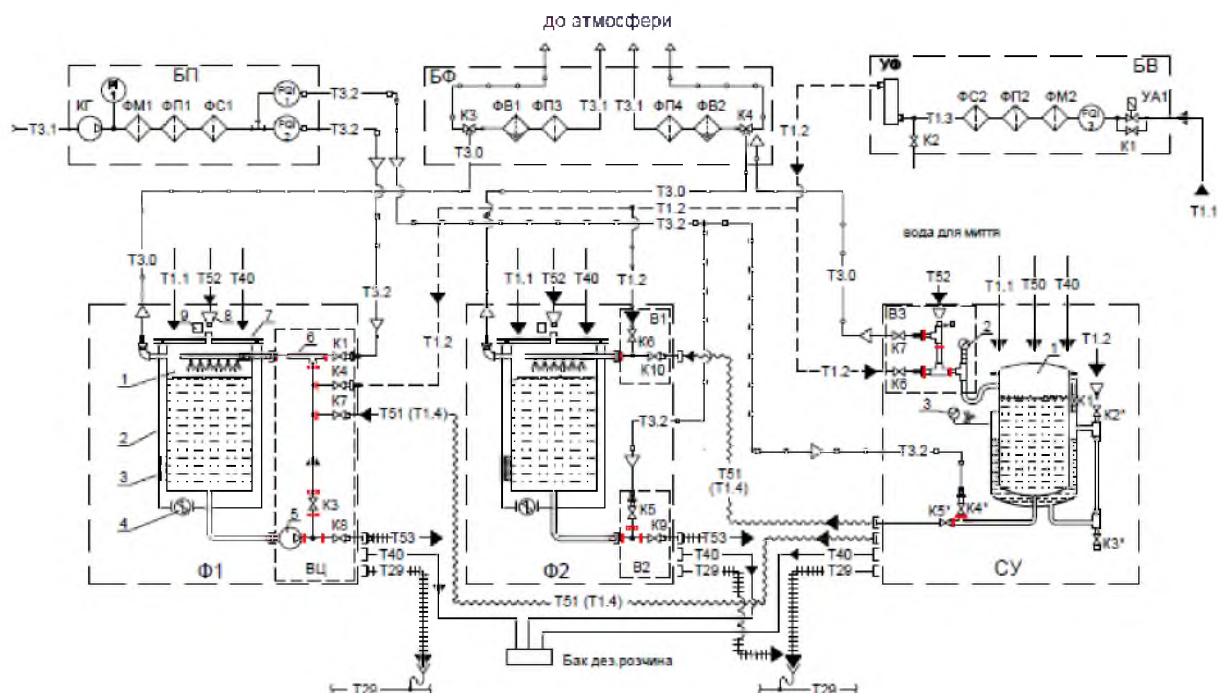


Рис. 1. Апаратурно-технологічна схема ферментаційної установки:

Ф1, Ф2 – ферментери; СУ – стерилізатор універсальний; БГ, БВ, БФ – блоки: підготовки повітря, стерилізації води, фільтрації відпрацьованого повітря; ВЦ, В1, В2 – вузли зовнішньої об’язки Ф1, Ф2: циркуляційний, впускний, випускний; В3 – вузол зовнішньої об’язки СУ; речовина в трубопроводах: Т1.(1, 2, 4) – вода питна, стерильна, пароводяна суміш; Т3.(0,1, 2) – повітря відпрацьоване, атмосферне, стерильне; Т29 – стоки каналізаційні; Т40 – розчин дезінфекційний;

Т50 – компоненти поживного середовища; Т51 – концентрат стерильний; Т52 – посівний матеріал (інокулят); Т53 – біопрепарат (культуральна рідина)

Fig. 1. Process flow diagram of the fermentation unit:

Ф1, Ф2 – fermenters; СУ – universal sterilizer БГ, БВ, БЖ – air preparing, water sterilization and extract air filtration block groups respectively; ВЦ, В1, В2 – the assemblies of external piping for circulation loop, inlet and outlet respectively; В3 – the assemblies of external piping СУ; liquid in pipelines: Т1.(1, 2, 4) – water (pure water, sterile water, water-steam mixture); Т3.(0,1, 2) – air (extract air, atmosphere air, sterile air); Т29 – wastes; Т40 – disinfecting solution; Т50 – nutrients; Т51 – sterile concentrated nutrient medium; Т52 – inoculum; Т53 – microbial preparation (culture medium)

Відповідна технологія виробництва складається з операцій: приготування та стерилізація концентрату поживного середовища (КПС) в стерилізаторі універсальному (СУ); перепускання КПС у ферментер Ф1 або Ф2, його розбавлення стерильною водою в 4–5 разів; інокуляція отриманого поживного середовища культурою мікроорганізмів та її розмноження у Ф1 і Ф2.

Технічні та конструктивні рішення щодо систем очищення (CIP) та стерилізації (SIP) устаткування на місці базуються на:

- переході до умовно асептичного виробництва із заміною процесу теплової стерилізації устаткування і трубопроводів дезінфекційним

миттям та пропарюванням за атмосферного тиску;

- відсутності стаціонарної трубопровідної системи, що об’єднує апарати. Подача води і повітря здійснюється по пластикових шлангах. КПС транспортується по гофротрубах із нержавійки. Усі приєднувальні вузли виконано розбірними, що надає змогу від’єднання апаратів від систем подавання субстратів безпосередньо в процесі експлуатації.

Мінімізація затрат електроенергії за проектом основувалась як на підборі електроприладів із мінімальною потужністю, так і на виборі оптимальної структури та параметрів технологічного процесу, зокрема відмовою від застосування холодильної ма-

шини для охолодження середовищ, механічного перемішування культуральної рідини, високотемпературної стерилізації ферментерів.

Опис устаткування та роботи схеми (рис. 1). Ферментери можуть працювати у двох режимах перемішування, що відрізняються способом підведення енергії до ферментаційного середовища:

- режим 1 – енергія підводиться до газової фази через барботаж повітря (ферментер барботажний Ф2);

- режим 2 – енергія підводиться до рідкої фази через зовнішній циркуляційний контур із насосом (ферментер петльовий Ф1).

Установлення режиму здійснюється зміною вузлів зовнішньої обв'язки В1, В2 на ВЦ.

Ферментери установки мають загальну місткість 315 л. Вони складаються з ферментаційної місткості 1 (рис. 1) з повітряною сорочкою та зовнішньої трубної обв'язки у двох варіантах. Ферментаційна місткість виготовляється зі стандартного листа нержавійної сталі 1×2 м, що виключає відходи у виготовленні. У зовнішній оболонці 2 повітряної сорочки встановлено осьовий вентилятор 4, який обдуває ферментаційну місткість 1 зовнішнім повітрям для її охолодження. Для нагрівання встановлено гнучкий пластинчастий електронагрівач 3.

Рух рідини в циркуляційному контурі Ф1 забезпечується вихровим насосом 5 малої потужності (90 Вт). У розробленому струменевому аераторі 6 [14, 15] відбувається змішування рідини зі стерильним повітрям ТЗ.2, яке подається на кран К1 під тиском. Застосування такої схеми підвищило об'ємний коефіцієнт масообміну порівняно з барботажем та механічним перемішуванням на малих обертах 50 об/хв [9], за одночасного збільшення енергоефективності в 1,3–1,5 рази [14].

У барботажному варіанті Ф2 повітря ТЗ.2 подається у вузол В2 через кран К3 при закритому К9. Далі воно виходить через штуцер на днищі й великими бульбочками підіймається крізь об'єм середовища у ферментері. Це забезпечує достатнє перемішування та аерацію ферментаційного середовища. Для певних мікроорганізмів така проста схема є достатньою та найбільш енергоефективною.

Для покращення асептичних умов культивування мікроорганізмів запропоновано нову конструкцію ферментаційної місткості, всередині якої майже відсутні виступальні деталі. Це практично знімає проблеми важкодоступних місць під час дезінфекційного миття та пропарювання.

Стерилізатор рідких середовищ (СУ) виконано на базі парового стерилізатора ВК-75-01 ВАТ Тюменського заводу медичного обладнання зі збереженням усіх його характеристик. Нова зовнішня обв'язка на базі вузла В3 забезпечує можливість стерилізації рідин (поживних середовищ, води), приготування поживного середовища або КПС, напрацювання посівних культур мікроорганізмів об'ємом до 55 дм³, при цьому стерилізатор працює як барботажний біореактор.

Очищення та стерилізація на необхідному рівні повітря та води здійснюються трикорпусними типовими фільтрами з різними фільтрувальними елементами ФМ, ФП, ФС із рейтингом 10-1 мкм. Вода також знезаражується в ультрафіолетовому стерилізаторі (УФ). Заповнення СУ, Ф1, Ф2 концентратом середовища і стерильною водою проводиться по черзі. Обсяг води контролюється за лічильником FQI1 у блоці БВ або автоматично клапаном YA1 від сигналізатора рівня. Подача повітря у ферментери здійснюється компресором КГ потужністю 280 Вт та контролюється індивідуальними лічильниками повітря FQI1, FQI2 в блоці БП.

ФУ складається з п'яти конструктивно незалежних основних апаратів, які можуть переміщатися відносно один одного (рис. 2).

Випускні вузли СУ, Ф1, Ф2 розміщені на висоті 0,25–0,4 м над рівнем підлоги. Це забезпечує злив рідин із них самопливом і розташування трубопровідної арматури в зручному для оператора місці. Маса і габарити всіх апаратів та складальних вузлів забезпечують їх легке переміщення через стандартні двері.

Проведено техніко-економічне оцінювання технологічного проекту ферментаційної установки, позначеної ФУ-500. Її основні показники були порівнянні з найближчим аналогом – ферментаційним комплексом КФМ-420 [9, 16], який на сьогодні є кращим у своєму класі (табл.).

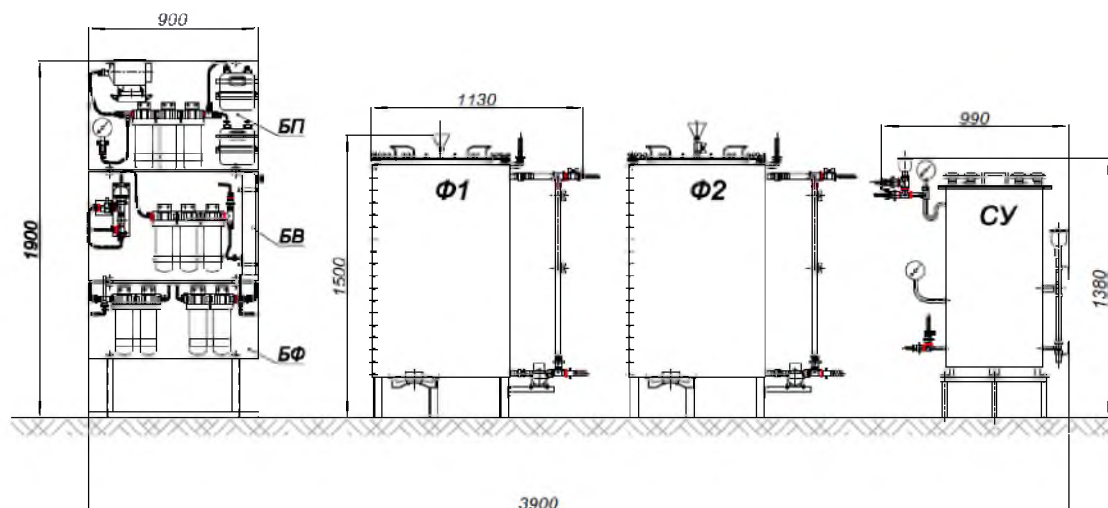


Рис. 2. Загальний вигляд ферментаційної установки:

Φ1, Φ2 – ферментери; СУ – стерилізатор універсальний; БП, БВ, БФ – блоки підготовки повітря, стерилізації води, фільтрації відпрацьованого повітря

Fig. 2. The fermentation unit overall view:

Φ1, Φ2 – fermenters; СУ – universal sterilizer; БП, БВ, БФ – air preparing, water sterilization and extract air filtration block groups

Таблиця. Техніко-економічна оцінка проекту
Table. Technical and economical evaluation of the design

Показники	Ферментаційний комплекс КФМ-420	Ферментаційна установка ФУ-500	Покращення показника у ФУ відносно КФМ, %
Продуктивність, дм ³ /цикл	420	500	19
Маса, кг	794	420	47
Встановлена електрична потужність, кВт	40,8	12,4	70
Виробнича площа, м ²	30	12	60

Наведені характеристики свідчать, що технічний рівень ФУ за розробленим проектом суттєво перевищує вітчизняні аналоги. Експериментальна перевірка проектних рішень була проведена на пілотній ферментаційній установці з ферментерами меншої місткості (115 дм³). Унаслідок було підтверджено працездатність комплексу устаткування, побудованого за схемою (рис. 1), та можливість досягнення проектних техніко-економічних показників. Проведено випробування установки в процесі напрацювання препаратів на основі грибів *Trichoderma viride* та бактерій *Pseudomonas fluorescens* AP-33 у трьох повторностях. Мікробіологічний аналіз показав, що отримані культуральні рідини

препаратів мають титри в межах $1 \cdot 10^9$ – $4 \cdot 10^9$ КУО/см³ із рівнем контамінації до 0,3 %, що задовольняє встановленим нормативам.

Висновки

1. Розроблено технологічний проект сучасної ферментаційної установки ФУ-500 продуктивністю 500 дм³ препарату за цикл, призначений для подальшої розробки конструкторської документації, а також для використання в інвестиційних проектах.

2. Розроблено конструктивне забезпечення процесів очищення та стерилізації устаткування, а саме: конструкцію трубопровідної системи зроблено легкокорозійною, ферментаційні місткості оснащуються міні-

мальною кількістю приєднувальних штуцерів та не мають виступальних деталей усередині.

3. Технологічний проект забезпечує суттєве покращення техніко-економічних показників, порівнюючи з ферментаційним комплексом КФМ-420: збільшено продуктивність на 19 %, зменшено масу устаткування на 47 %, встановлену електричну потужність на 69 % та виробничу площу на 60 %.

Бібліографія

1. Panda, T. (2011). *Bioreactors: Analysis and Design*. New Delhi : Tata McGraw Hill.

2. Старчевський Ю. І., Дубровін В. О. До питання розвитку регіональних мереж біофармацій і біолабораторій з виробництва засобів біологізації землеробства. *Науковий вісник НУБіП України*. 2011. Вип. 166. Ч. 1. С. 43–55.

3. Сидоров Ю. І., Влязло Р. Й., Новіков В. П. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості. Львів : Інтеллект-Захід, 2008. 736 с.

4. Сидоров Ю. І. Одноразова ферментаційна апаратура. *Біотехнологія*. 2010. Т. 3. № 6. С. 9–21.

5. Беспалов І. Н., Ходорчук В. Я. Економічна ферментаційна установка для виробництва мікробіологічних засобів захисту рослин. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 1. С. 38–42. doi.org/10.31073/agrovisnyk201701-07.

6. Крутякова В. І. Інноваційні підходи до створення системи виробництва біологічних засобів захисту рослин в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 12. С. 54–58. doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-08.

7. Котлярів В. В., Сединина Н. В. Особенности малотоннажного производства микробиологических препаратов для защиты растений и его оптимизация. *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 100 (06). С. 784–802.

8. Старчевський Ю. І., Косой С. М., Бурденко Т. І. Виробництво рідких біо-пестицидів з застосуванням тонкостінних ферментерів. *Вісник аграрної науки Південного регіону. Сільськогосподарські та біологічні науки : міжвід. темат. наук. зб.* Одеса : Одес. ін-т агропром. вир-ва, 2007. Вип. 9. С. 122–126.

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

10. Ughetti, M., Jussen, D., & Riedlberger, P. (2018). The ejector loop reactor: Application for microbial fermentation and comparison with a stirred – tank bioreactor. *Eng. Life Sci.*, 18 (5), 281–286. doi.org/10.1002/elsc.201700141.

11. Weber, S. (2018). Impact of nozzle operation on mass transfer in jet aerated loop reactors. Characterization and comparison to an aerated stirred tank reactor. *Eng. Life Sci.*, 18 (8), 579–588. doi.org/10.1002/elsc.201800008.

12. Джонс Дж. Методы проектирования. М. : Мир, 1986. 326 с.

13. Експериментальна ґрунтова мікробіологія : монографія / В. В. Волкогон, О. В. Надкернична, Л. М. Токмакова та ін.; за наук. ред. В. В. Волкогона. К. : Аграрна наука, 2010. 464 с.

14. Yaroshevsky, V. (2019). Energy efficiency research of fermentation medium agitation in manufacturing of microbiological plant protection products. *Agric. Sci. Prac.*, 6 (2), 76–83.

15. Yaroshevsky, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Krutyakova, V., Belchenko, V., & Olt, J. (2020). Research on the impact of the air-liquid jet mixer upon ring bioreactor operation. *INMATEH Agric. Eng.*, 60 (1), 115–122. doi.org/10.15407/agrisp6.02.076.

16. Энергоэффективные технологии и оборудование для малотоннажных производств микробиологических средств защиты растений / В. И. Крутякова и др. *Научові праці*. Одеса : ОНАХТ. Вип. 47. Т. 2. С. 101–104.

Bibliohrafiia

1. Panda, T. (2011). *Bioreactors: Analysis and Design*. New Delhi : Tata McGraw Hill.

2. Starchevskiy, Yu. I., Dubrovin, V. O. (2011). Do pytannia rozvytku rehionalnykh merezh biofarmyik i biolaboratorii z vyrobnytstva zasobiv biolohizatsii zemlerobstva. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy*, vyp. 166, ch. 1, 43–55.

3. Sydorov, Yu. I., Vliazlo, R. Y., Novikov, V. P. (2008). Protsey i aparaty mikrobiolohichnoi ta farmatsevychnoi promyslovosti. Lviv : Intelkt-Zakhid. 736 s.

4. Sydorov, Yu. I. (2010). Odnorazova fermentatsiina aparatura. *Biotekhnolohiia*, t. 3, no. 6, 9–21.

5. Bepalov, I. N., Khodorchuk, V. Ya. (2017). Ekonomichna fermentatsiina ustanovka dlia vyrobnytstva mikrobiolohichnykh zasobiv zakhystu roslyn. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 1, 38–42. doi.org/10.31073/agrovisnyk201701-07.

6. Krutiakova, V. I. (2019). Innovatsiini pidkhody do stvorennia systemy vyrobnytstv biolohichnykh zasobiv zakhystu roslyn v Ukraini. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 12, 54–58. doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-08.

7. Kotlyarov, V. V., Sedinina, N. V. (2014). Osobennosti malotonnazhnogo proizvodstva mikrobiologicheskikh preparatov dlya zashchity rasteniy i ego optimizatsiya. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 100 (06), 784–802.

8. Starchevskiy, Yu. I., Kosoi, S. M., Burdenko, T. I. (2007). Vyrobnytstvo ridkykh biopestytydiv z zastosuvanniam tonkostinnykh

fermenteriv. *Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu. Silskohospodarski ta biolohichni nauky* : mizhvid. temat. nauk. zb., 9, 122–126. Odesa : Odes. in-t ahroprom. vyr-va.

9. Krutiakova, V. I., Bespalov, I. M., Molchanova, O. D., Loban, L. L. (2017). Inzhenerno-tekhnologichni innovatsii u vyrobnytstvi entomolohichnykh ta mikrobiolohichnykh zasobiv zakhystu roslin : monohrafiia. Odesa : PP "Feniks". 196 s.

10. Ughetti, M, Jussen, D, & Riedlberger, P. (2018). The ejector loop reactor: Application for microbial fermentation and comparison with a stirred – tank bioreactor. *Eng. Life Sci.*, 18 (5), 281–286. doi.org/10.1002/elsc.201700141.

11. Weber, S. (2018). Impact of nozzle operation on mass transfer in jet aerated loop reactors. Characterization and comparison to an aerated stirred tank reactor. *Eng. Life Sci.*, 18 (8), 579–588. doi.org/10.1002/elsc.201800008.

12. Dzhons, Dzh. (1986). *Metody proektirovaniya*. Moskva : Mir. 326 s.

13. Volkohon, V. V., Nadkernychna, O. V., Tokmakova, L. M. ta in. (2010). Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia : monohrafiia ; za nauk. red. V. V. Volkohona. Kyiv : Aharna nauka. 464 s.

14. Yaroshevsky, V. (2019). Energy efficiency research of fermentation medium agitation in manufacturing of microbiological plant protection products. *Agric. Sci. Prac.*, 6 (2), 76–83.

15. Yaroshevsky, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Krutyakova, V., Belchenko, V., & Olt, J. (2020). Research on the impact of the air-liquid jet mixer upon ring bioreactor operation. *INMATEH Agric. Eng.*, 60 (1), 115–122. doi.org/10.15407/agrisp6.02.076.

16. Krutyakova, V. I., Belousov, M. YU., Osipenko, T. N., Burdenko, T. I., & SHalova, N. V. Energoeffektivnye tekhnologii i oborudovanie dlya malotonnazhnykh proizvodstv mikrobiologicheskikh sredstv zashchity rasteniy. *Naukovi pratsi*, 47, t. 2, 101–104. Odesa : ONAKhT.

References

1. Panda, T. (2011). *Bioreactors: Analysis and Design*. New Delhi : Tata McGraw Hill [in English].

2. Starchevsky, Yu. I., & Dubrovin, V. O. (2011). To the issue of the development of regional biofactories and biological laboratories of agriculture biologization products manufacturing. *Scientific Journal of NULES of Ukraine. Series: Engineering and energetics of APK*, 166, 1, 43–55 [in Ukrainian].

3. Sidorov, Yu. I., Vliazlo, R. Y., & Novikov, V. P. (2008). Processes and equipment of microbiological and pharmacological industries. Lviv : Intelkt-Zakhid [in Ukrainian].

4. Sidorov, Yu. I. (2010). Disposable fermentation facilities. *Biotechnology*, 3, 6, 9–21 [in Ukrainian].

5. Bespalov, I. M., & Hodorchuk, V. Ja. (2017). Economic fermentative unit for production of microbiological means of protection of plants. *Bull. Agrar. Sci.*, 1, 38–42. doi.org/10.31073/agrovisnyk201701-07 [in Ukrainian].

6. Krutiakova, V. I. (2019). Innovative approaches for creating a system for the production of biological plant protection products in Ukraine. *Bull. Agrar. Sci.*, 12, 54–58. doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-08 [in Ukrainian].

7. Kotlyarov, V. V., & Sedinina, N. V. (2014). Features of production of microbial products for plant protection on and their optimization. *Scientific Journal of KubSAU*. 100, 06, 784–802 [in Russian].

8. Starchevsky, Yu. I., Kosoy, S. M., & Burdenko, T. I. (2007). Liquid biopesticides production by thin-walled fermenters usage. *Bull. Agr. Sci. South Region Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu. Series: Agriculture and biological science*, 9, 122–126 [in Ukrainian].

9. Krutyakova, V. I., Bespalov, I. M., Molchanova, O. D., & Loban, L. L. (2017). Engineering and technological innovations in manufacturing of microbial end entomological plant protection products : monograph. Odesa : PP "Feniks" [in Ukrainian].

10. Ughetti, M, Jussen, D, & Riedlberger, P. (2018). The ejector loop reactor: Application for microbial fermentation and comparison with a stirred – tank bioreactor. *Eng. Life Sci.*, 18 (5), 281–286. doi.org/10.1002/elsc.201700141 [in English].

11. Weber, S. (2018). Impact of nozzle operation on mass transfer in jet aerated loop reactors. Characterization and comparison to an aerated stirred tank reactor. *Eng. Life Sci.*, 18 (8), 579–588. doi.org/10.1002/elsc.201800008 [in English].

12. Jones, J. (1986). *Design methods* [in Russian].

13. Volkohon, V. V. (Ed.), Nadkernychna, O. V., Tokmakova, L. M., Melnychuk, T. M., Chaikovska, L. O., Nadkernychni, S. P., ... Komok, M. S. (2010). *Experimental soil microbiology* : monograph. Kyiv : Aharna nauka [in Ukrainian].

14. Yaroshevsky, V. (2019). Energy efficiency research of fermentation medium agitation in manufacturing of microbiological plant protection products. *Agric. Sci. Prac.*, 6, 2, 76–83. doi.org/10.15407/agrisp6.02.076 [in English].

15. Yaroshevsky, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Krutyakova, V., Belchenko, V., & Olt, J. (2020). Research on the impact of the air-liquid jet mixer upon ring bioreactor operation. *INMATEH Agric. Eng.*, 60, 1, 115–122. doi.org/10.35633/inmateh-60-13 [in English].

16. Krutyakova, V. I., Belousov, M. Yu., Osipenko, T. N., Burdenko, T. I., & Shalova, N. V. (2015). Energy efficient technologies and equipment for small-scale manufacturing of microbial plant protection products. *Naukovi pratsi*, 47, 2 101–104. Odesa : ONAFT [in Russian].