

8. Clean Coal Technology Demonstration Program: Program Update 2001 [Electronic resource]. — July 2002. — Available at: \www/URL: www.netl.doe.gov/File/Research/Coal/major%20demonstrations/program/cct_pgm_2001.pdf. — 28.04.2014.
9. Antony, E. J. Fluidized bed combustion of alternative solid fuels: status, successes, and problems of the technology [Text] / E. J. Antony // Progress in Energy and Combustion Science. — 1995. — V. 21, № 3. — P. 239–268.
10. Abdulally, I. F. Multiple fuel firing experience in a circulating fluidized bed boiler [Text] / I. F. Abdulally, R. W. Voyles, A. Libal // Proc. American Power Conference. — Chicago (USA), 1992. — Vol. 2. — P. 1–11.
11. Yerushalmi, J. An Overview of Commercial Circulating Fluidized Bed Boilers [Text] / J. Yerushalmi; Ed. P. Basu // Circulating Fluidized Bed Technology. — Toronto: Pergamon Press, 1986. — P. 97–105.
12. Tennessee Valley Authority. 160-MWe AFBC Demonstration unit. / Final Project Report [Text]. — Paducah, Kentucky (USA), Sept. 1992. — 565 p.
13. Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки [Електронний ресурс]: патент № 101392 / Брикайло Р. В., Мисак С. Й. — Оpubл. 25.03.2013, Бюл. № 6. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-101392-sposib-viznachennya-produktivnosti-mlina-pilosistemi-kotelno-ustanovki.html.
14. Спосіб визначення продуктивності млина пилосистеми котельної установки [Електронний ресурс]: патент № 103924 / Мисак С. Й., Брикайло Р. В. — Оpubл. 10.12.2013, Бюл. №23. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-103924-sposib-viznachennya-produktivnosti-mlina-pilosistemi-kotelno-ustanovki.html.
15. Спосіб визначення продуктивності кульового барабанного млина [Електронний ресурс]: патент № 99219 / Голи-

шев Л. В., Коземко О. М., Мисак С. Й. — Оpubл. 25.07.2012, Бюл. № 14. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-99219-sposib-viznachennya-produktivnosti-kulovogo-barabannogo-mlina.html.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕЛЬНИЦ ПЫЛЕСИСТЕМ КОТЛОВ

В работе представлено апробированные и внедренные в производство на тепловых электрических станциях (ТЭС) новые методы определения производительности шаровых вентиляционных мельниц пылесистем пылеугольных энергоблоков мощностью 150–200, 300 МВт, которые эксплуатируются на тепловых электростанциях Украины. Методы могут быть использованы в пылесистемах с промбункером и с прямой подачей угольной пыли в топку котла.

Ключевые слова: котел, шаровая мельница, пылесистема, производительность мельницы, методы определения производительности мельницы.

Мисак Степан Йосифович, кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: s.mysak@yandex.ru.

Мисак Степан Йосифович, кафедра теплотехніки і теплових електричних станцій, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Mysak Stepan, National University «Lviv Polytechnic», Ukraine, e-mail: s.mysak@yandex.ru

УДК 006.35:658.012.32

**Мельник В. М.,
Карачун В. В.**

ШТУЧНЕ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АКТИВНОСТІ В БІОРЕАКТОРІ НА РЕЗОНАНСНОМУ РІВНІ

Наводиться одне з можливих технічних рішень штучного формування енергетичної активності робочої рідини в біореакторі за допомогою ультразвукового променя. Окреслюються умови виникнення хвильового співпадання, яке супроводжується різким зростом енергетичної активності поряд з мінімальною дисипацією променевих хвиль. Пояснюється природа додаткової енергетичної активності в зонах каустичних поверхонь двома типами хвиль.

Ключові слова: енергетична активність, хвильове співпадання, каустичні поверхні, гранична частота.

1. Вступ

Дослідження відносяться до біотехнології, а саме до газліфтних барботажних апаратів, і можуть знайти застосування при культивуванні мікроорганізмів в рідинних середовищах для одержання, наприклад, вакцин чи інших лікувальних засобів для потреб медицини.

Відсутність механічних перемішувачів пристроїв та досконалий тепломасообмін і інтенсивна аерація робочої рідини суттєво підвищують продуктивність і якість технологічного процесу, що визначає актуальність вивчаємої проблеми.

2. Постановка проблеми

З метою конкретизації поставлених задач технологічного процесу, обрано технічну реалізацію біореактора

у вигляді газліфтного барботажного апарату. Відомо, що газліфтний барботажний апарат містить вертикально розташований циліндричний корпус з технологічними патрубками і розміщену в порожнині корпусу з радіальним зазором циркуляційну трубу, а також встановлений під циркуляційною трубою аератор [1].

За рахунок більш рівномірного розподілення газу та підвищення його диспергування підвищується продуктивність технологічного процесу.

Рух потоків газорідинної суміші забезпечується використанням потенціальної енергії стиснутого повітря.

Процес культивування організмів, як і більшість гетерогенних хімічних реакцій, безпосередньо залежить від кількості розчиненого в рідині газу і утворення та накопичення цільового продукту, зокрема, біомаси. Таким чином, підвищення ступеня розчинення газу в рідинній

фазі реакцій призведе до скорочення його розходу та зменшення енерговитрат на аерацію.

Разом з тим недолік такого технічного рішення полягає у відносно низькій продуктивності технологічного процесу, збідненій кінематиці тепломасообміну та постійно присутніх зонах пасивної енергетики робочої рідини в придонному прошарку та на периферії внутрішньої поверхні корпусу, невідповідності ступеня аерації і інтенсивності тепломасообміну культурального середовища вимогам технологічного процесу, а також прояв ефекту налипання маси до поверхні корпусу.

Пропонується підвищення продуктивності технологічного процесу вирішити шляхом інтенсифікації тепломасообміну по всьому об'єму апарату за допомогою штучного формування резонансного стану культурального середовища і породженої цим станом енергетичної активності робочої рідини.

Поставлена задача вирішується тим, що такий енергетичний стан усуває недоліки відомих конструкцій і пропонує нове ефективне технічне рішення з новим якісним результатом.

3. Аналіз літературних даних

Відома конструкція барботажного апарату для вирощування мікроорганізмів, яка містить ємкість з технологічними патрубками, розміщені в ємкості, циркуляційний стакан і аератор, систему рециркуляції середовища, яка складається з відповідного трубопроводу, збудника розкату, підвідного трубопроводу і підключеного до нього пристрою для розбризкування культурального середовища, що розміщений у верхній частині ємкості [1].

Апарат має можливість працювати при підвищеному барботуванні культуральної рідини в ємкості, тобто за інтенсивного постачання мікроорганізмів киснем, отже і за енергійного постачання поживними речовинами. Це забезпечено усуненням стримуючої інтенсифікації дріжжезростаючого процесу від'ємного зворотнього зв'язку між газовмістом культурального середовища в ємкості і інтенсивністю тепломасообмінних процесів в апараті загалом.

Зазначений від'ємний зв'язок ліквідується за рахунок введення в конструкцію апарату відповідного патрубка піни в складі гідроциклону та ежектора.

Недоліком цього технічного рішення постає досить висока матеріалоемкість апарату, підвищене піноутворення, відносно невисока продуктивність технологічного процесу внаслідок пасивного перемішування і, практично, ламінарного поступального руху робочої рідини, і тільки паралельно осі апарату, а також наявність немінучих при цьому застійних зон в придонному прошарку та на периферії апарату (на внутрішніх бічних стінках), що зумовлене обмеженими можливостями обраного технічного рішення [2].

Відомі також інші конструкції барботажних апаратів, які в тій, чи іншій формі вирішують питання технологічного процесу. Наприклад, забезпечують рух культуральної рідини із змінними швидкостями по всім рівням біореактора, завдяки опуклій формі циркуляційної труби [3]. Формують рух периферійної частини робочої рідини, що знаходиться поза циркуляційної труби, по гвинтовій траєкторії [4]. Активізують рух робочої рідини по всій висоті корпусу, а також в колісному і радіальному напрямку [5]. Кожна з них має свої переваги, але і певні вади згідно вищесказаного.

4. Фокусування енергії ультразвукового променя. Поверхні каустики

Найбільш суттєві аспекти концентрації проникної звукової енергії розглянемо на прикладі газліфтного барботажного апарату (рис. 1, а).

Газліфтний барботажний апарат використовується для культивування мікроорганізмів в рідинних середовищах при виготовленні вакцин та біологічно-активних речовин і містить вертикально розташований циліндричний корпус 1 з патрубком 2 для введення живильної рідини і посівного матеріалу, патрубком 3 для видалення культуральної рідини та патрубком 4 для відведення відпрацьованого газу (рис. 1, а). В порожнині корпусу 1, співвісно з ним, на дніщі, розміщений аератор 5 (рис. 1, б).

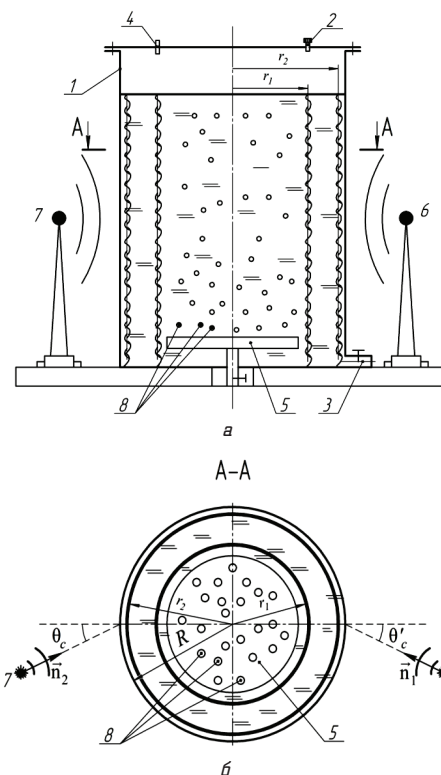


Рис. 1. Газліфтний барботажний апарат в поздовжньому (а) та поперечному (б) перерізі

У попередньо простерилізований корпус 1 крізь патрубок 2 вводять робочу рідину, після чого, через аератор 5 впускають стиснений газ (повітря) і послідовно включають, попередньо налаштовані на хвильовий резонанс, ультразвукові випромінювачі 6 і 7. Стиснений газ у вигляді бульбашок 8 підіймається вгору і утворює рідинно-повітряну суміш, яка набагато легша від робочої рідини на периферії внутрішньої порожнини корпусу 1. Технічний результат забезпечується обладнанням ззовні корпусу, протилежно, двома ультразвуковими випромінювачами з регульовим напрямом променів, один з яких формує резонансні коливання з частотою вищою за граничну і функціонально замінює циркуляційну трубу циліндричною каустикою, а другий випромінювач формує резонансні коливання з частотою нижчою за граничну і буде більшого радіуса другу циліндричну каустику поблизу внутрішньої поверхні корпусу апарату, активізуючи периферійні шари.

Прийнявши сталний корпус газліфтного барботажного апарату радіусом $R=1$ м і товщиною $2\delta=2$ мм, окреслюємо його граничну частоту у $f_{гр}=14,457$ кГц, якщо частота ультразвукового променя дорівнює, наприклад, $f=42$ кГц.

На частоті ультразвукового випромінювання вищій за граничну, згинні коливання, швидкість яких залежить від частоти ω випромінювання, за певного кута θ_c променя породжують резонанс хвильового співпадання сліду швидкості згинних коливань $c_{зг}(\omega)$ і падаючої хвилі випромінювання c_0 [6]:

$$c_{зг}(\omega) = \frac{c_0}{\sin \theta_c},$$

(причому, кожній частоті ω відповідає свій кут співпадання θ_c), що створює ефект акустичної прозорості, коли звукове випромінювання без втрати енергії надходить усередину корпусу апарату. Елементи внутрішньої поверхні корпусу, за умови великого його хвильового розміру, тобто коли $kR = \frac{2\pi f R}{c_0} = 176 \gg 1$, випромінюють в культуральну рідину звукові хвилі, які внаслідок аберації на кут β формують співвісно осі апарату циліндричну каустику, тобто зону підвищеної енергії, радіуса [7]:

$$r_1 = R \sin \beta = R \frac{c_0}{c_{зг}} = 0,30 \text{ (м)}, \quad (1)$$

де $c_{зг} = \left[2E\delta^2 4\pi^2 f^2 (3m_{II})^{-1} (1-\sigma^2)^{-1} \right]^{\frac{1}{4}}$; $c_0 = 1500$ мс⁻¹ — швидкість звука в рідині; E — модуль Юнга матеріалу корпусу; σ — коефіцієнт Пуассона; $m_{II} = 2\rho\delta$ — питома маса; ρ — щільність.

Відповідно, звуковий випромінювач, який генерує промінь набагато нижчої за граничну частоти, формує в корпусі апарату поздовжні хвилі із швидкістю c_{II} , які не залежать від частоти випромінювання і, в свою чергу, також породжують ефект хвильового співпадання, який, на відміну від згинних коливань, залежить тільки від кута θ_c співпадання і не залежить від частоти ω випромінювання:

$$c_{II} = \frac{c_0}{\sin \theta_c} = 6100 \text{ (мс}^{-1}\text{)}.$$

Ці коливання, за умови, що $c_{II} > c_0$, будуть випромінювати в рідину звукові хвилі під кутом α , які утворюють також циліндричну каустику, але радіуса [8, 9]:

$$r_2 = R \cos \alpha = R \sqrt{1 - \frac{c_0^2}{c_{II}^2}} = 0,97 \text{ (м)}, \quad (2)$$

яка буде знаходитися біля поверхні внутрішньої сторони корпусу і створить енергетичну активність робочої рідини на периферії.

Таким чином, формування хвильового співпадання штучно генеруємими згинними, а також поздовжніми хвилями корпусу апарату, приведе в резонансний стан культуральну рідину, збудить її по всьому об'єму, ліквідує малоактивні і застоїні зони. Циліндричні каустики вздовж осі апарату і біля його стінок додатково збудять робочу рідину і сприятимуть подальшій інтенсифікації

процесів тепломасообміну і аерації, що, в свою чергу, підвищить продуктивність і якість технологічного процесу [10].

Якщо $c_{II} = c_0$, поверхня більшої каустики обернеться на геометричне місце точок, які знаходяться на осі корпусу.

Сукупність наведених ознак газліфтного барботажного апарату забезпечує досягнення нового технічного результату.

Створення енергетично активного, турбулентного стану в робочій рідині без додаткових механічних засобів, просторовий рух повітряно-рідинної суміші, штучне збільшення часу взаємодії бульбашок кисню з робочою рідиною та відсутність в порожнині корпусу додаткових елементів конструкції для регулювання технологічного процесу, забезпечують однорідність суміші по всьому об'єму, ліквідує зони пасивної енергетики в апараті, мінімізують ефект налипання до поверхні корпусу.

Таким чином, використання ультразвукового випромінювання корпусу газліфтного барботажного апарату, завдяки новим властивостям, забезпечить енергетичну активність робочої рідини по всьому об'єму апарату, що суттєво підвищить продуктивність технологічного процесу і його якість.

5. Апробація результатів досліджень

Побудовані розрахункові схеми і отримані результати дозволяють оцінити адекватність теоретичних рішень вихідним припущенням і, таким чином, підтвердити їх доцільність для подальшої практичної реалізації. Просторовий резонанс, який створюють усередині корпусу ультразвукові випромінювачі, турбулізує всю рідинно-фазову складову вмісту корпусу апарату і примушує газові бульбашки рухатись без перешкод не тільки спрямовано вгору, але і в інших різноманітних напрямках, утримуючи їх довше в робочій рідині, збагачуючи тим самим суміш киснем і створюючи умови для інтенсивного росту клітин. Завдяки новим властивостям, забезпечується енергетична активність робочої рідини по всьому об'єму. Що суттєво підвищує продуктивність технологічного процесу і його якість.

6. Висновки

Штучне формування енергетичної активності робочої рідини ультразвуковим променем на резонансному рівні дозволяє ефективно керувати технологічним процесом, підвищувати продуктивність і якість вихідного продукту.

Технічна реалізація пропонуємого рішення не обтяжена визначаючим ростом матеріалоемкості, натомість, надає можливість для автоматизації всього технологічного процесу, забезпечення стерильності продукту, здійснення поточного керування енергетичним станом робочої рідини.

Література

1. А. с. 1708829 АІ СССР, С12М1/04. Газліфтний барботажный апарат [Текст] / Ю. Г. Куляшов, В. И. Горячкин, С. П. Уткин, Ю. Н. Тальзин, А. С. Васильев, В. М. Крац (СССР). — № 4612860/13; заявл. 01.12.88; опубл. 30.01.92, Бюл. № 4. — 1 с.
2. А. с. 147208 АІ СССР, С12М1/04. Апарат для выращивания микроорганизмов [Текст] / Ю. Ф. Давыдов, В. М. Геллис, В. К. Погудкин, В. М. Карц, В. Н. Соловьев, С. П. Уткин (СССР). — № 4109725/28-13; заявл. 21.08.86; опубл. 30.07.89, Бюл. № 28. — 1 с.

3. Пат. № 43558 на корисну модель, Україна, МПК (2009), С12М1/04. Газліфтний барботажний апарат [Електронний ресурс] / В. В. Карачун, М. С. Тривайло, В. М. Мельник, М. А. Руденко, Д. В. Литвиненко. — и 200901835; заявл. 02.03.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/2-43558-gazliftnij-barbotazhnij-aparat.html
4. Пат. № 40230 на корисну модель, Україна, МПК (2009), С12М1/04. Газліфтний барботажний апарат [Електронний ресурс] / М. С. Тривайло, В. В. Карачун, В. М. Мельник, О. Є. Резенчук, А. О. Заброта. — и 200813427; заявл. 20.11.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/2-40230-gazliftnij-barbotazhnij-aparat.html
5. Пат. № 78382 на корисну модель, Україна, С12М1/04 (2006.01) Газліфтний барботажний апарат [Електронний ресурс] / В. М. Мельник. — и 201213327; заявл. 22.11.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/5-78382-gazliftnij-barbotazhnij-aparat.html
6. Cremer, L. Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall [Text] / L. Cremer // Akust. Zeitschrift. — 1942. — V. 7. — P. 3–7.
7. Шендеров, Е. Л. Волновые задачи гидроакустики [Текст] : моногр. / Е. Л. Шендеров. — Л.: Судостроение, 1972. — 352 с.
8. Gösele, K. Zur Körperschallausbreitung in Wohubauten [Text] / K. Gösele // Körperschall in Gebäuden. — Berlin, 1960. — P. 24–24.
9. Heckl, M. Die Schalldämmung von homogenen Einfachwänden endlicher Fläche [Text] / M. Heckl // Acustica. — 1960. — V. 10. — P. 17–21.
10. Junger, M. C. Letter to the editor [Text] / M. C. Junger, P. W. Smith // Acustica. — 1955. — V. 5,1. — P. 43–46.

ИСКУССТВЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В БИОРЕАКТОРЕ НА РЕЗОНАНСНОМ УРОВНЕ

Приводится одно из возможных технических решений искусственного формирования энергетической активности рабочей жидкости в биореакторе с помощью ультразвукового луча. Устанавливаются условия возникновения волнового совпадения, которое сопровождается резким ростом энергетической активности наряду с минимальной диссипацией лучевых волн. Раскрывается природа дополнительной энергетической активности в зонах акустических поверхностей двумя типами волн.

Ключевые слова: энергетическая активность, волновое совпадение, акустические поверхности, граничная частота.

Мельник Вікторія Миколаївна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Карачун Володимир Володимирович, доктор технічних наук, професор, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: karachun11@i.ua.

Мельник Вікторія Николаевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Карачун Владимир Владимирович, доктор технических наук, профессор, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Mel'nick Viktorij, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Karachun Volodimir, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: karachun11@i.ua.

УДК 621.002:658.56

Трищ Р. М.,
Бурдейна В. М.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ КООРДИНОВАНИХ РОЗМІРІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТИПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ

В роботі представлені аналітичні залежності для розрахунку точності координованих розмірів для типових технологічних схем. Запропоновані залежності для визначення міжосьового розміру, розміру від бази, позиційного відхилення. Визначена питома вага складових геометричної похибки в схемах без направлення ріжучого інструменту та з направленням ріжучого інструменту. Визначені найбільші розрахункові значення сумарної похибки обробки з використанням технологічної оснастки агрегатних верстатів.

Ключові слова: розмір, схема, інструмент, відхилення, база, агрегат, похибка, допуск.

1. Вступ

Питання якості продукції та продуктивності праці нерозривно пов'язані між собою, і на практиці при вирішенні конкретних питань вдосконалення технологій, устаткування, обладнання, механізації та автоматизації повинні вирішуватися одночасно. Висока якість виробу при його виготовленні забезпечується такими виробничими факторами, як якість обладнання та інструменту,

фізико-хімічні та механічні властивості матеріалів і заготовок, досконалість технологічного прогресу, а також якість обробки і контролю. Якість отриманої після обробки деталі характеризується точністю обробки [1].

Під час процесу обробки великих партій заготовок, супроводжуваної досить інтенсивним зносом різального інструменту, при налаштуванні виникає завдання найбільш раціонального розташування кривої розсіювання в поле допуску з метою використання значної частини