

Технічні науки

УДК 636.631.223.018

Фесенко Сергій Вікторович

*кандидат технічних наук, асистент кафедри біотехніки та інженерії
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

Фесенко Сергей Викторович

*кандидат технических наук, ассистент кафедры биотехники и инженерии
Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"*

Fesenko Sergey

*Candidate of Technical Sciences,
Assistant of the Department of Bioengineering and Biotechnics
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІМКОГО РОСТУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ
АКТИВНОСТІ РОБОЧОЇ РІДИНИ У ГАЗЛІФТНОМУ
БАРБОТАЖНОМУ АПАРАТІ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРЕМИТЕЛЬНОГО РОСТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ГАЗЛИФТНОМ
БАРБОТАЖНОМ АППАРАТЕ
PROVIDING STRONG GROWTH OF THE ENERGY ACTIVITY OF
THE WORK LIQUID IN A GAZLIFT BARROWING APPARATUS**

Анотація. Вивчається можливість активізації зони пасивної енергетики придонних шарів та на периферії поблизу внутрішньої поверхні корпусу газліфтного барботажного апарату. Пропонується створення хвильового співпадання для забезпечення стрибка енергетичної активності

робочої рідини. Аналізується ймовірність забезпечення складного (сферичного) руху рідинної складової, яка знаходиться поза циркуляційної труби газліфтного барботажного апарату.

Ключові слова: енергетична активність робочої рідини, газліфтний барботажний апарат, сферичний рух рідини, аберація, зона каустики.

Аннотація. Изучается возможность активизации зоны пассивной энергетики придонных слоев и на периферии вблизи внутренней поверхности корпуса газлифтного барботажного аппарата. Предлагается создание волнового совпадения для обеспечения скачка энергетической активности рабочей жидкости. Анализируется возможность обеспечения сложного (сферического) движения жидкостной составляющей, которая находится вне циркуляционной трубы газлифтного барботажного аппарата.

Ключевые слова: энергетическая активность рабочей жидкости, газлифтный барботажный аппарат, сферическое движение жидкости, аберрация, зона каустики.

Summary. The possibility of activating the zone of passive energy on the bottom layers and on the periphery near the inner surface of the body of the gas lift carbine apparatus is studied. It is proposed to create a wave coincidence to provide a jump in the energy activity of the working fluid. The probability of providing a complex (spherical) motion of a liquid component located outside the circulation tube of a gas lift carbine apparatus is analyzed.

Key words: energy activity of the working fluid, gas lift shock absorber, spherical fluid motion, aberration, caustic zone.

Пропоноване технічне рішення відноситься до біотехнології, а саме до газліфтних барботажних апаратів (ГБА), і може бути використаний для

культивування мікроорганізмів в рідинних середовищах при виготовленні вакцин та біологічно-активних речовин.

Відома конструкція апарату для вирощування мікроорганізмів, яка містить ємкість з технологічними патрубками, розміщені в ємкості циркуляційний стакан і аератор, систему рециркуляції середовища, яка складається з відвідного трубопроводу, збудника розходу, 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 інтенсифікацію дріжжезростаючого процесу від'ємного зворотного зв'язку між газовістом культурального середовища в ємкості і інтенсивністю тепломасообмінних процесів в апараті загалом. Зазначений від'ємний зв'язок ліквідується за рахунок введення в конструкцію апарату відвідного патрубка піни в складі гідроциклона 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 поздовжньої осі апарату, а також наявність неминучих при цьому застійних зон в придонному прошарку та на периферії апарату (на внутрішніх бічних стінках), що окреслене обмеженими можливостями обраного технічного рішення.

Відомий також газліфтний барботаажний апарат (ГБА), який 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, газліфтний барботажний апарат обладнаний ззовні своєї бічної поверхні на спільній основі ультразвуковим перемішувачем, напрям проміння якого на означеній відстані і висоті регулюється кутами повороту випромінювача в горизонтальній і вертикальній площині. За рахунок більш рівномірного розподілення газу та підвищення його диспергування зростає продуктивність технологічного процесу. Для руху потоків газорідинної суміші використовується потенціальна енергія стиснутого повітря.

Процес культивування мікроорганізмів, як і більшість гетерогенних хімічних реакцій, безпосередньо залежить від кількості розчиненого в рідині газу і утворенням та накопиченням цільового продукту, зокрема, біомаси.

Підвищення ступеня розчинення газу в рідинній фазі реакції призводить також до скорочення його розходу та зменшення енерговитрат на аерацію.

Недоліком можна вважати відносно низьку продуктивність процесу, помірний тепломасообмін та недостатня енергетична активність робочої рідини по всьому об'єму апарата.

В основу пропонованої технічної реалізації поставлена задача підвищення продуктивності технологічного процесу шляхом інтенсифікації тепломасообміну робочої рідини по всьому об'єму апарата та підвищення енергетичної активності робочої рідини.

Поставлена задача вирішується тим, що в газліфтному барботажному апараті, який 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, газліфтний барботажний апарат обладнаний ззовні своєї бічної поверхні на спільній основі ультразвуковим перемішувачем, напрям проміння якого на означеній відстані і висоті регулюється кутами повороту

випромінювача в горизонтальній і вертикальній площині, спільна основа розміщується на горизонтальній осі, яка обладнана датчиком моменту.

Регулювання напрямку ультразвукового проміння має на меті визначити такий кут θ (пеленг) і кут ψ (кут місця) між променем і нормаллю до поверхні корпусу в даній точці, коли слід генеруємої в поверхні корпусу колової (вздовж паралелі) швидкості c_{II} і падаючої звукової хвилі співпадають, тобто має місце рівність

$$c_{II} = \frac{c_0}{\sin \theta},$$

яка окреслює умову народження резонансного стану, тобто, хвильового співпадання (c_0 - швидкість падаючої звукової хвилі). Це означає, що механічний імпеданс корпусу газліфтного апарату стає рівним нулю і відбувається трансляція енергії звукового випромінювання всередину барботажного апарату за повної відсутності дисипації енергії, так зване явище "акустичної прозорості". Причому, виникнення хвильового співпадання не залежить від частоти випромінювання і може виявитися тільки за наявності відповідного кута падіння θ [2]. При інших значеннях кута θ , звукопередача крізь корпус апарату миттєво знижується.

Ультразвукове випромінювання дозволяє докорінно збільшити хвильовий розмір внутрішньої циліндричної поверхні корпусу і забезпечити виконання обов'язкової нерівності $\frac{2\pi f}{c_0} R \gg 1$. Так, якщо матеріал корпусу сталь, радіус апарату $R=1$ м, швидкість звуку в повітрі $c_0 = 331$ мс⁻¹, а частота випромінювання $f = 42$ кГц, хвильовий розмір корпусу буде дорівнювати 176, тобто стане набагато більшим від одиниці [3]. За цих умов, колова швидкість c_{II} буде випромінювати в робочу рідину звукову хвилю, яка з вектором c_p швидкості звуку в рідині складе кут

$$\sin \alpha = \frac{c_p}{c_n} = \frac{1500}{6100} \approx 0,246; \quad \alpha = 14^{\circ}20' \text{ (явище аберації).}$$

В результаті, лєвова частка енергії звукової хвилі буде зосереджуватися в коловій циліндричній поверхні (зона каустики) радіуса

$$r = R \cos \alpha = 0,97 \text{ (м)},$$

тобто на відстані 3 см від внутрішньої поверхні корпусу.

Таким чином, зони пасивної енергетики придонних шарів та на периферії, тобто поблизу внутрішньої поверхні корпусу апарату, активізуються і приймають енергійну участь в процесі тепломасообміну по всьому об'єму апарату, внаслідок чого підвищується продуктивність і якість технологічного процесу.

Наявність великого хвильового розміру дає можливість максимального використання потужності звукового випромінювання випромінювача на генерацію звукових хвиль в робочій рідині.

Різде збільшення швидкості обертального руху робочої рідини в корпусі апарату буде слугувати інтенсивному росту кінетичного моменту усієї рідини в апараті, тобто \vec{H} кінетичного моменту рідини стане рівним

$$\vec{H} = I \cdot \Omega,$$

де I - момент інерції рідини відносно осі Z , Ω - кутова швидкість обертального руху рідини навколо осі Z .

Отже, повітряно-рідинна складова в середини циркуляційної труби апарату буде рухатися поступально до гори в напрямку осі Z . Робоча рідина, що знаходиться ззовні циркуляційної труби буде виконувати тільки обертальний рух навколо осі Z із швидкістю Ω .

Поява моменту \vec{M} , який формує датчик моменту, відповідно до теорєми Резаля, призведе до виникнення кутової швидкості руху ω_0 усієї конструкції, що призведе до появи гіроскопічного моменту \vec{M}_r –

$$\vec{M}_r = \vec{H} \cdot \omega_0,$$

який дорівнює моменту \vec{M} датчика момента, але направлений протилежно, тобто

$$\vec{M}_r = -\vec{M}.$$

Внаслідок цього, вся конструкція буде обертатися навколо горизонтальної осі Ox з кутовою швидкістю Ω_1 .

Відповідно до цього, рідинно-повітряна складова в циркуляційній трубі буде, на теперішній час, приймати участь у двох рухах – поступальному, вздовж осі циркуляційної труби, вгору, та обертального руху навколо осі x з кутовою швидкістю Ω_1 . Вихідний ламінарний рух повітряно-рідинної складової, таким чином, зміниться на турбулентний, з виникненням великих об'ємів повітря, внаслідок двох складових руху – поступального та обертального.

Рідинна складова, що знаходиться поза циркуляційної труби, у цьому випадку, буде приймати участь у двох обертальних рухах навколо осі Z з кутовою швидкістю Ω і навколо осі x з кутовою швидкістю Ω_1 , синтез цих двох рухів призведе до миттєво обертального руху навколо миттєвої осі OL з кутовою швидкістю

$$\Omega_2 = \Omega + \Omega_1,$$

положення якої весь час буде змінюватися, таким чином, що Ω_2 буде виконувати сферичний рух з нерухомою точкою в т. O .

Сферичний рух рідини, що знаходиться поза циркуляційної труби, таким чином, набуває складної структури і значно більшої насиченої енергетичної активності.

На рис. 1 схематично зображений ГБА, загальний вигляд; на рис. 2 – переріз А-А на рис. 1.

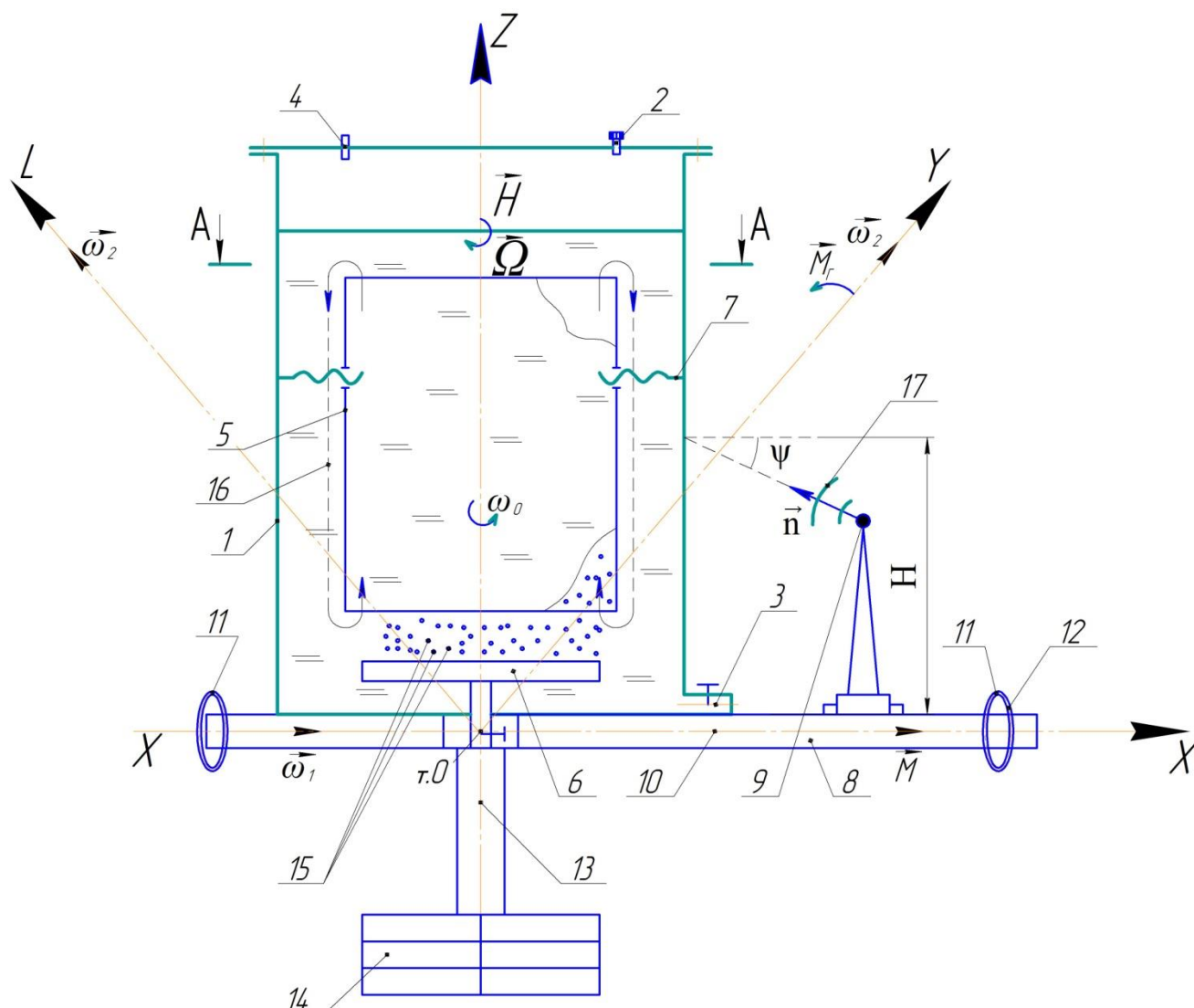


Рис. 1. Газліфтний барботажний апарат

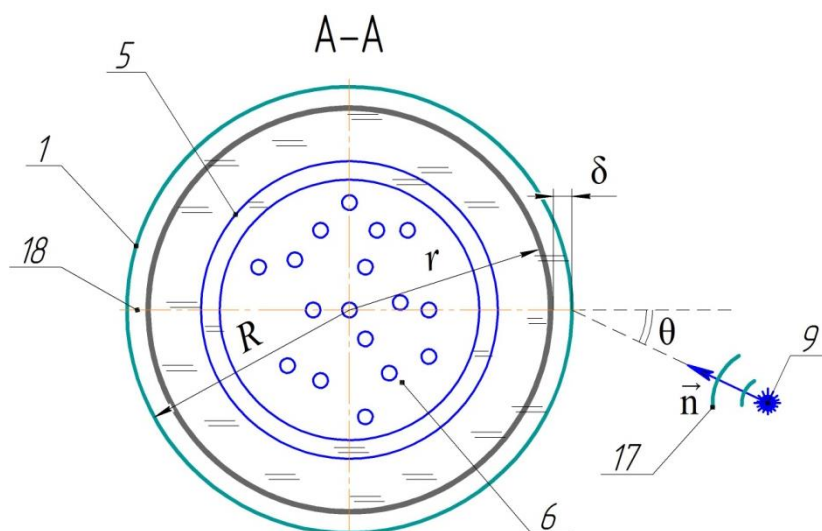


Рис. 2. Переріз А-А на рис. 1

Газліфтний барбота́жний апарат (рис. 1) містить вертикально розташований циліндричний корпус 1 з патрубком 2 для введення живильної рідини і посівного матеріалу (робоча рідина), патрубком 3 для видалення культуральної рідини та патрубком 4 для відведення відпрацьованого газу. В порожнині корпусу 1, співвісно з ним, з радіальним зазором δ встановлена циркуляційна труба 5, а під нею розміщується аератор 6. Від непередбачених технологічним процесом переміщень в корпусі 1 труба 5 забезпечена фіксаторами її положення, наприклад, радіально вгвинченими в неї шпильками 7, або іншими відомими способами (не показано). Корпус 1 розміщений на спільній основі 8 з ультразвуковим випромінювачем 9. Спільна основа 8 розміщується на горизонтальній осі 10, яка встановлюється в підшипниках 11 і обладнана датчиком моменту 12. Для забезпечення статичного балансування газліфтного барботажного апарату, до нижньої частини спільної основи 8 за допомогою стержня 13 прикріплюється противага 14.

Працює ГБА наступним чином. У попередньо простерилізований корпус 1 крізь патрубок 2 вводять робочу рідину, після чого через аератор 6 впускають стиснений газ (повітря) і одночасно включають ультразвуковий випромінювач 9. Стиснений газ у вигляді бульбашок 15 надходить в циркуляційну трубу 5 і утворює з робочою рідиною рідинно-повітряну суміш, яка набагато легша від робочої рідини, що знаходиться в зазорі " δ " між трубою і корпусом 1. Доки надходить повітря, різна щільність (питома вага) робочої рідини всередині циркуляційної труби і навколо неї буде породжувати висотну циркуляцію 16 рідинного середовища в корпусі 1. Відпрацьоване повітря через патрубок 4 видаляється в навколишнє середовище. Одночасно з цим, ультразвуковий випромінювач 9 починає опромінювати, з частотою нижчою за граничну, звуковим променем 17 бічну

поверхню корпусу 1 на відстані H від основи, штучно генеруючи в матеріалі корпусу колові хвилі.

Змінюючи кут θ і кут ψ між нормаллю до зовнішньої поверхні корпусу 1 і напрямом \vec{n} ультразвукового проміння, досягаємо хвильового співпадання у вигляді стрибка (стрімкого росту) енергетичної активності, завдяки підвищеній турбулентності робочої рідини в зоні циліндричної каустики 18, окресленої циліндром радіуса r , поблизу внутрішньої поверхні корпусу 1 в проміжку " δ " [4]. Різка концентрація звукової енергії зумовлена ефектом аберації генеруємої корпусом 1 в рідину звукової хвилі [5]. Зона каустики збільшує амплітуду коливань культуральної рідини і збагачує структуру її збудженого руху, інтенсивно турбулізуючи по всій висоті апарату та по всім напрямкам в придонному шарі та на периферії, що ефективно ліквідує застійні зони. Оскільки зони концентрації звукової енергії додатково призведуть до інтенсивного просторового перемішування робочої рідини, разом із висотною циркуляцією 16, інтенсивність процесу перемішування, і, відповідно, якість масообміну зростуть, штучне формування резонансного стану культурального середовища активізує роботу рідини, внаслідок чого зони пасивної енергетики робочої рідини в придонному прошарку і на периферії внутрішнього об'єму апарату щезнуть, а це прискорить ріст мікроорганізмів і підвищить продуктивність технологічного процесу.

Наявність великого хвильового розміру створює можливість максимального використання потужності звукового випромінювання випромінювача 9 на формування потужних звукових хвиль в робочій рідині. В свою чергу, різке збільшення швидкості обертального руху робочої рідини в проміжку " δ " між циркуляційною трубою та в корпусі апарату 1 приведе до різкого росту кінетичного моменту робочої рідини

$$\vec{H} = \vec{I} \cdot \vec{\Omega},$$

де \vec{I} - момент інерції рідини відносно осі Z , $\vec{\Omega}$ - кутова швидкість обертального руху рідини навколо осі Z .

Таким чином, повітряно-рідинна суміш циркуляційної труби апарату буде рухатися тільки поступально (простий поступальний рух), в гору, до кришки апарату 1, в напрямку осі Z . В свою чергу, робоча рідина, що знаходиться в проміжку "δ" між поверхнею циркуляційної труби і поверхнею корпусу 1, буде виконувати тільки обертальний рух навколо осі Z із швидкістю $\vec{\Omega}$.

Поява моменту \vec{M} , який формує датчик моменту 12, відповідно до теореми Резаля, призведе до виникнення кутової швидкості $\vec{\Omega}_0$ руху корпусу 1 з робочою рідиною усього газліфтного барботажного апарату, в наслідок чого гіроскопічний момент \vec{M}_r –

$$\vec{M}_r = \vec{H} \cdot \vec{\Omega}_0,$$

який дорівнює моменту датчика момента, але направлений протилежно, тобто

$$\vec{M}_r = -\vec{M}.$$

Внаслідок цього, вся конструкція ГБА буде виконувати обертальний рух навколо горизонтальної осі Ox з кутовою швидкістю Ω_1 .

Таким чином, елементи конструкції ГБА будуть приймати участь вже у двох рухах: циркуляційна труба – поступальний рух повітряно-рідинної суміші відносно труби і обертальний рух з кутовою швидкістю Ω_1 . Таким чином, має місце синтез двох рухів - поступального і обертального. Коли циркуляційна труба займе горизонтальне положення повітряні бульбашки будуть збиратися в середині труби і утворювати велику бульбашку. Надалі, поворот циркуляційної труби призведе до того, що ця велика бульбашка під дією Архимедових сил швидко підійметься вгору. Такий рух буде продовжуватися і надалі.

Робоча рідина в проміжку "δ" між корпусом і циркуляційною трубою.

Робоча рідина в даному випадку приймає участь у двох обертальних рухах навколо осей, що перетинаються в т. О. Обертальний рух з кутовою швидкістю Ω , обертальний рух із швидкістю Ω_1 . Синтез цих двох обертальних рухів породжує миттєво обертальний рух навколо миттєвої осі, яка, в свою чергу, описує конічну поверхню з вершиною в т. О.

Отже, складові ГБА – рідинно-повітряна та рідинна, замість простого руху виконують складний рух, що безумовно слугує більш якісному і ефективному тепломасообміну і, таким чином, підвищує якість виготовляемого продукту, забезпечить енергетичну активність робочої рідини по всьому об'єму, що кардинально підвищить продуктивність технологічного процесу.

Література

1. А.с. 1497208 А1 СССР, С12М1/04. Аппарат для выращивания микроорганизмов [Текст]/ Ю.Ф. Давыдов, В.М. Геллис, В.К. Погудкин, В.М. Крац, В.Н. Соловьев, С.П. Уткин (СССР). - № 4109725/28-13; заявл. 21.08.86; опубл. 30.07.89, Бюл. № 28. – 1 с.: ил.
2. Шендеров, Е.Л. Волновые задачи гидроакустики [Текст]/: моногр. Е.Л. Шендеров, – Л.: Судостроение, 1972. - 352 с.
3. Карачун В.В., Мельник В.Н. Возникновение резонанса в акустической среде подвеса поплавкового гироскопа / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. - № 1/7 (79). – С. 39-44.
4. Мельник В.М., Фесенко С.В. Дистанційне керування тепломасообміном у біореакторах технологічних ліній [текст] / Наукові вісті НТУУ "КПІ". - 2017. - №5. - С. 104-109; DOI - <https://dx.doi.org/10.20535/1810-0546.2017.5.10726>.

5. Карачун В.В., Мельник В.М., Фесенко С.В. Зниження технологічних ризиків льотної експлуатації штучним формуванням буферної зони проникаючому акустичному випромінюванню [Текст]/ Технологічний аудит та резерви виробництва. - №41(36). – 2017. – С. 19-24; DOI - <https://dx.doi.org/DOI: 10.15587/2312-8372.2017.108546>.