

DOI: 10.31319/2519-2884.42.2023.5

УДК 532.5

Романюк О.Д.¹, к. т. н., доцент, ORCID 000-0003-1931-5507,

e-mail: oleksandrromaniuk5@gmail.com

Романюк Я.О.¹, аспірант, e-mail: romaniuk.yaroslav1987@gmail.com

Часов Д.П.¹, к. т. н., доцент, ORCID 0000-0003-3830-693X, e-mail: 0969995009@ukr.net

Теліпко Л.П.¹, к. т. н., доцент, ORCID 0000-0003-3165-3920, e-mail: leo46din@gmail.com

Серілко Д.Л.², к. т. н., доцент, ORCID 0000-0001-5881-2413

Заїка В.В.¹, зав. лаб. кафедри ГМБ

¹Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

²Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Romaniuk Oleksandr¹, Candidate of technical sciences, Associate professor of the Department of Industrial Engineering Department

Romaniuk Yaroslav¹, postgraduate student

Chasov Dmytro¹, Candidate of technical sciences, Associate professor of the Department of Mechanical Engineering and Welding Technology Department

Telipko Leonid¹, Candidate of technical sciences, Associate professor of the Department of Industrial Engineering Department

Serilko Dmytro², Candidate of technical sciences, Associate professor of Construction, Road, Land Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment Department

Zaika Volodymyr¹, Head of the laboratory department of Industrial Engineering Department

¹Dnieper State Technical University, Kamianske

²National University of Water and Environmental Engineering, Rivno

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОКАВІТАЦІЙНОГО ЗМІШУВАЧА В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

Запропоновано схему гідрокавітаційного змішувача із застосуванням генератора кавітації особливої конструкції, яка не тільки генерує поля кавітаційних мікробульбашок, які зумовлюють при схлопуванні інтенсифікацію процесів масообміну і хімічне перетворення, а й посилює кавітаційно-кумулятивний ефект вихровим турбулентним перемішуванням суміші, що підвищує ступінь гомогенізації та диспергування. Схема забезпечує чотирьохступінчасту технологію утворення тонкодисперсної водо-мазотної емульсії, повноцінне спалювання якої збільшує коефіцієнт корисної дії котла, обумовлює економію мазуту та зменшення викиду в атмосферу канцерогенних речовин.

Ключові слова: кавітація; гідрокавітаційний змішувач; генератор кавітації; водо-мазотна емульсія; диспергування.

The developed scheme of a hydro cavitation mixer, with the use of a cavitation generator of a special design, which not only generates fields of cavitation microbubbles, which cause an intensification of mass transfer and chemical transformation processes during collapse, but also enhances the cavitation-cumulative effect by vortex turbulent mixing of the mixture, which increases the degree of homogenization and dispersion, implements a four-stage technology for the formation of a finely dispersed water-oil emulsion. Full combustion of which increases the efficiency of the boiler, saves fuel oil and reduces the emission of carcinogens into the atmosphere.

Keywords: cavitation; hydro cavitation mixer; cavitation generator; water-oil emulsion; dispersion.

Постановка проблеми

З метою покращення техніко-економічних та екологічних характеристик об'єктів агропромислового комплексу стає все більш актуальним використання водопаливних емульсій. Особливо це важливо стосовно мазутів, які використовуються для одержування теплової енергії середньої та малої потужності, що є характерним для агропромислового комплексу. Слід мати на увазі, що, з одного боку, при глибокій переробці нафти має місце зміна низки фізико-хімічних властивостей кінцевого продукту — мазуту; а з іншого боку, при зберіганні та підігріві мазуту споживач отримує обводнений мазут. Отже, такого роду мазут містить тверді фракції, має підвищену температуру спалаху та інші відхилення від норм, які порушують режим горіння, забруднює поверхню нагріву, підвищує недопал палива, утворює відкладення вогнетривких частинок коксу по газовому тракту. Всі ці фактори призводять до обриву факела та аварійної зупинки обладнання.

Комплексним рішенням вище перерахованих проблем може бути створення однорідно розподіленої дрібнодисперсної фракції вологи та руйнування квазікристалічних структур, що знаходяться у складі мазуту, за допомогою квітаційних апаратів різного типу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Принцип дії квітаційних апаратів полягає у тому, що при обтіканні квітатора потоком рідини утворюється каверна, яка замикається безпосередньо у потоці. Нестационарна хвостова частина каверни генерує поля квітаційних мікробульбашок, які при схлопуванні інтенсифікують процеси масообміну в апараті та хімічні перетворення. Визначальними технологічними факторами ефекту є кількість та розміри квітаційних бульбашок, що утворюються за кавернами. Щоб отримати квітаційні бульбашки, оптимальних за технологічним впливом розмірів, необхідно створювати каверну з відповідним характером нестационарного руху в її хвостовій частині [1—3].

Моделювання гідродинамічної течії потоку з метою утворення квітації здійснюється безрозмірним параметром χ ,

$$\chi = 2 \frac{P - P_H}{\rho V^2},$$

де P — гідродинамічний тиск потоку, що набігає, Па; P_H — тиск насичених парів рідини за певної температури навколишнього середовища, Па; ρ — густина середовища, кг/м³; V — швидкість потоку при вході до системи, м/с.

Таким чином, відмінність квітаційних апаратів від ультразвукових та інших [4], що використовують явище квітації для інтенсифікації технологічних процесів, полягає в тому, що необхідна кількість квітаційних мікробульбашок заданих розмірів генерується самою каверною і практично не залежить від фізичних параметрів рідини, тобто від кількості квітаційних зародків і часу дії розтягувальних напружень [5, 6].

Однак, схлопування квітаційних бульбашок зазвичай не буває симетричним і супроводжується утворенням ударів кумулятивних мікро цівок, які обумовлюють руйнівний ефект квітаційної ерозії елементів гідросистем, а розвинена некерована квітація часто призводить до зриву робіт насосів, турбін та інших гідравлічних машин. Тому питання захисту робочих поверхонь квітаційних апаратів залишається актуальним.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка схеми гідроквітаційного змішувача для створення однорідно розподіленої дрібнодисперсної фракції вологи та руйнування квазікристалічних структур, що знаходяться у складі мазуту, за допомогою гідродинамічних параметрів рухомих рідин. Основою схеми складає генератор квітації особливої конструкції, яка забезпечує відведення квітаційних бульбашок, які схлопуються, в центр потоку, що істотно мінімізує квітаційну ерозію елементів гідросистеми.

Виклад основного матеріалу

В основу вирішення поставленої проблеми було покладено принцип використання гідродинамічних параметрів рідин, що рухаються [7, 8] для утворення тонкодисперсних емульсій мазутів різних марок із застосуванням розробленого на базі генератора квітації [9, 10] гідроквітаційного змішувача (рис. 1).

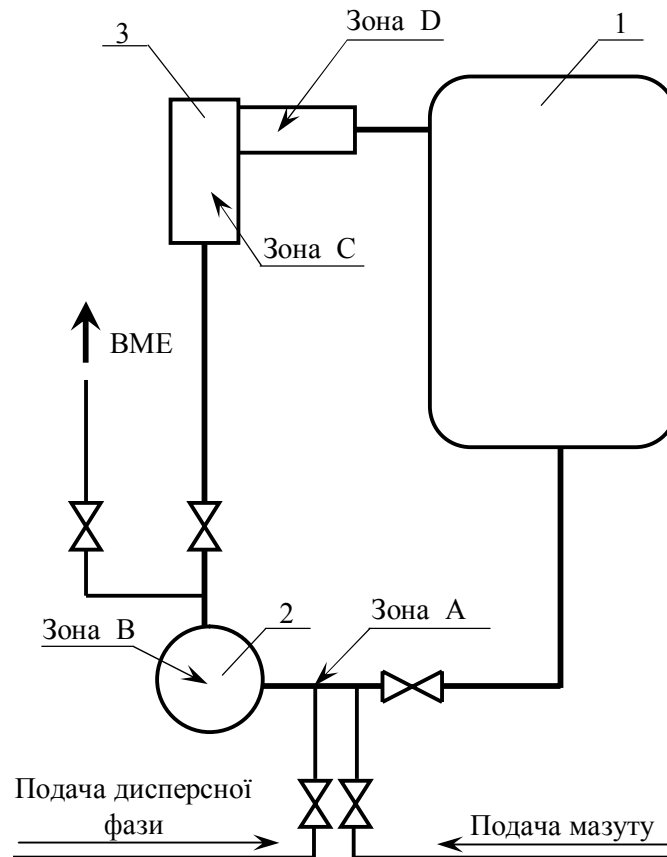


Рис. 1. Принципова схема гідрокавітаційного змішувача

Генератор кавітації 3 (рис. 1), що складається з робочої камери у вигляді двох з'єднаних циліндричних поверхонь різної кривизни і генератора вихрового потоку у вигляді двох спіралей Архімеда, що обтікаються, розташованих всередині робочої камери, забезпечує необхідні умови гідродинамічної течії потоку з метою утворення кавітації. Зміна напрямку потоку на 90° і утворення вихрового турбулентного потоку за обтічною спіраллю Архімеда в скидній магістралі зумовлює відведення кавітаційних бульбашок, які схлопуються, в центр потоку, що істотно мінімізує кавітаційну ерозію елементів гідросистеми.

Розроблена схема гідрокавітаційного змішувача забезпечує чотирьохступінчасту технологію утворення тонкодисперсної водо-мазотної емульсії (ВМЕ), суть якої полягає в наступному.

Попередньо розігрітий до температури не нижче 45°C мазут з накопичувального резервуара 1 забирається відцентровим насосом 2, в результаті чого забезпечується певний ламінарний потік рідкого мазуту в трубопроводі, в який під певним тиском подається дисперсна фаза (вода, технічна вода або інші рідкі паливні відходи) в середню зону ламінарного потоку мазуту, зона А (рис. 1, рис. 2), де певним чином розсіюється.

Утворена груба водо-мазутна суміш усереднюється за допомогою відцентрових сил насоса, зона В (рис. 1, рис. 2).

Відцентровий насос забезпечує певні гідродинамічні параметри руху усередненої суміші для подачі на кавітаційний генератор 3, які описуються рівнянням Новье – Стокса

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = (\vec{V} \cdot \nabla) \cdot \vec{V} + \nu \Delta \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla P + \vec{F},$$

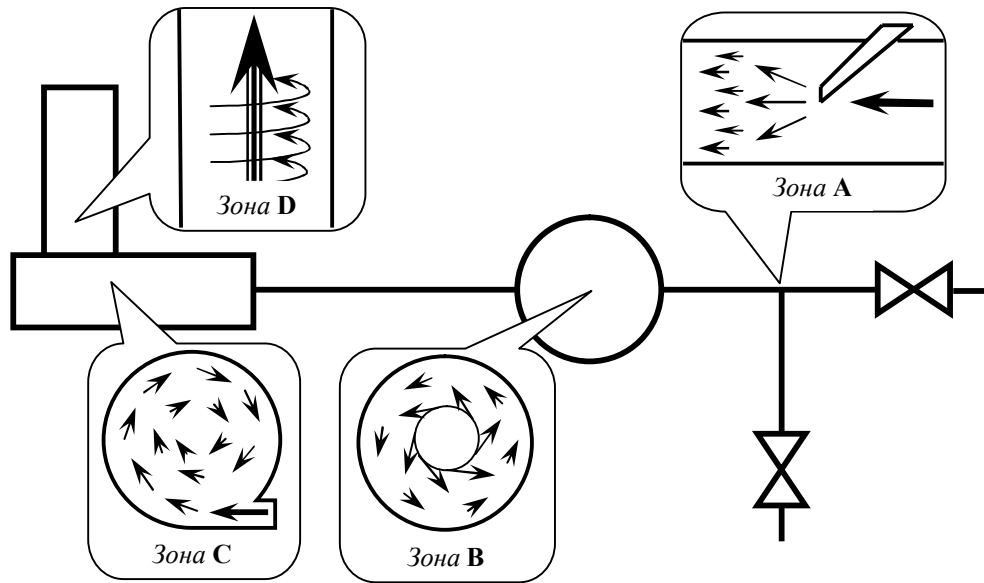


Рис. 2. Зони технологічного процесу утворення тонкодисперсної водо-мазутної емульсії

де $\vec{V} = (V^1, \dots, V^n)$ — векторне поле швидкості, m/c ; t — час, c ; ∇ — оператор Гамільтона, $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$; ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості усередненої суміші, m^2/c ; Δ — векторний оператор Лапласа, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$; ρ — густина усередненої суміші, kg/m^3 ; P — тиск, Pa ; \vec{F} — векторне поле масових сил, H .

У даному рівнянні P, \vec{V} — є функціями t і координат $x \in \Omega$, де $\Omega \subset R^n$, $n = 2, 3$ — площа або тривимірна область руху рідини.

Зміна швидкості, напрямку руху і тиску усередненої суміші призводить до утворення каверни, зона С (рис. 1, рис. 2), нестационарна хвостова частина якої генерує поля кавітаційних мікро бульбашок. Останні при схлопуванні інтенсифікують процеси масообміну в апараті та хімічні перетворення, забезпечуючи рівномірний розподіл змішуваних компонентів у загальному об'ємі.

У зоні схлопування кавітаційної бульбашки спостерігається різке локальне підвищення тиску (від 10 до 1000 атмосфер) та температури (від 100 до 900 градусів). Кавітаційно-кумулятивний ефект посилюється вихровим турбулентним перемішуванням суміші, зона D (рис. 1, рис. 2), що підвищує ступінь гомогенізації та диспергування, відповідно рівнянню вихору турбулентної рідини

$$helm\psi = \nabla \times [c \times \omega + c(\nabla \cdot c) + F] + \frac{1}{\rho^2} [\nabla \rho \times (\nabla P - \rho \nabla c^2)],$$

де $helm\psi \equiv \frac{\partial \omega}{\partial t} + (V \cdot \nabla)\omega - (\omega \cdot \nabla)V + \omega(\nabla \cdot V)$ — гельмгольціан, векторний лінійний диференціальний оператор; ψ — аксіональний вектор повного вихору швидкості, m/c ; c — вектор швидкості турбулентного перенесення, m/c ; ω — ротор швидкості, $\omega \equiv rot V \equiv \nabla \times V$.

Крім того, підвищення швидкості течії бульбашкового потоку над швидкістю звуку в 2-фазному середовищі призводить до виникнення ударних хвиль, зона С (рис. 1, рис. 2), фізична сутність яких полягає в тому, що на фронті ударної хвилі, що переміщається, зазнають роз-

риву всі параметри потоку суміші — тиск, густина, швидкість. Тобто, має місце різка зміна величини параметра. Відповідні зміни тиску, густини та швидкості зумовлюють інтенсивне диспергування та змішування компонентів. Ефективність впливу ударних хвиль дуже значна та суттєво посилює кумулятивні дії. Відбивання хвиль від твердих поверхонь кавітаційного генератора викликає їх суперпозицію і загальна ефективність процесу диспергування та змішування ще більше зростає.

Отримана відповідним чином водо-мазутна емульсія має високу стійкість до розшарування та характеризується наступними параметрами:

– *Мікроструктура*. 80 % води у вихідному мазуті міститься у вигляді крапель розміром 100 — 50 мкм. У водо-мазутній емульсії вся вода міститься у краплях діаметром менше 20 мкм, а практично 75 % — 80 % у краплях діаметром від 12 мкм до 1 мкм [7];

– *Зміна якості*. У зоні кавітаційного потоку, під впливом перерахованих вище факторів, відбуваються процеси розкладання води на водень і радикальні групи *H* та *OH*, а також зміни структури складних органічних молекул і сполук мазуту, що покращує процес спалювання водо-мазутної емульсії;

– *Коефіцієнт спалювання*. Згідно технічним характеристикам форсунки, дисперсність водо-мазутної емульсії, що розпилюється становить близько 0,1—1 мм. Якщо в такій краплі палива знаходяться включення дрібніших крапель води (з дисперсністю 1—15 мкм), то при нагріванні відбувається закіпання таких крапельок з утворенням водяної пари. Водяна пара розриває краплю мазуту, збільшуючи дисперсність палива, що подається в зону горіння. В результаті збільшується поверхня контакту палива з повітрям, покращується якість паливно-повітряної суміші;

– *Коефіцієнт тепловіддачі*. Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням продуктів згорання ВМЕ (водністю від 15 % до 25 %) збільшується приблизно на 10 %, [7]. Це пояснюється тим, що ступінь чорноти водяної пари і вуглекислого газу залежить від парціального тиску цих газів, їх температури та товщини випромінюючого шару. Температура газів залежно від вологості палива змінюється не суттєво, а товщина шару, що випромінює, не змінюється взагалі. За рахунок зростання вмісту води в паливі з певною дисперсністю збільшується парціальний тиск водяної пари в продуктах згорання. Парціальний тиск вуглекислого газу в той же час падає. Проте зростання та падіння значень згаданих величин такі, що сумарний ступінь чорноти продуктів згорання збільшується, а разом з ним зростає загальний коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням трьохатомних газів;

– *Економічність та екологічність*. Розроблений принципи обробки мазутів чотирьохступінчастою технологією зумовлює повноцінне спалювання водно-мазутної емульсії та зниження викидів в атмосферу канцерогенних речовин, збільшує ККД котлів на 2,4 %, а також забезпечує 25 %—30 % економії мазуту [7, 11]. В якості дисперсної фази можуть бути використані не тільки вода, а й рідкі паливні відходи, технічні води або їх суміші, що знижує витрати на їх утилізацію.

Розроблений гідрокавітаційний змішувач у порівнянні з відомими апаратами ультразвукової кавітації має ряд переваг:

- простота конструкції та обслуговування;
- гнучка система підключення до існуючих об'єктів;
- відсутність кавітаційного зносу деталей;
- низька вартість апарату завдяки відсутності складного електронного обладнання.

Крім того, на основі розробленої схеми гідрокавітаційного змішувача можна створювати мобільні пересувні установки для обводнення мазуту на віддалених об'єктах. З'являється також можливість пастеризації харчових продуктів за рахунок явища «холодного кипіння» (за умови виготовлення генератора кавітації з відповідного матеріалу). Перераховане визначає доцільність використання запропонованого змішувача на аграрних підприємствах.

Слід також відмітити інноваційність поєднання гідроаеродинамічних параметрів рухомих середовищ із кінетостатичними параметрами рухомих середовищ подрібнювача, комбінованого із шнековим транспортером [12], з метою проектування апаратів для отримання різноманітних високоякісних пастоподібних та сипких сумішей.

Висновки

Незважаючи на руйнівний ефект кавітаційної ерозії елементів гідросистем, гідродинамічна кавітація може ефективно використовуватися для інтенсифікації технологічних процесів у різних галузях промисловості, зокрема на аграрних підприємствах, за умови використання генератора кавітації, який мінімізує вплив кавітації на конструктивні елементи змішувача.

Чотирьохступінчаста технологія з використанням гідроаеродинамічних параметрів рухомих середовищ забезпечує утворення тонкодисперсної водо-мазутної емульсії, спалювання якої суттєво поліпшує техніко-економічні та екологічні характеристики об'єктів одержання теплової енергії середньої та малої потужності, що є найпоширенішими в агропромисловому комплексі.

Список використаної літератури

1. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация: М.: Мир, 1974. 678 с.
2. Иванов А.Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений: Л.: Судостроение, 1980. 237 с.
3. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности: Теоретич. основы пр-ва избыточной энергии, расчет и конструирование кавитационных теплогенераторов: К.: АО «ОКО», 2000. 898 с.
4. Шевчук Л.І., Афтаназів І.С., Строган О.І., Старчевський В.Л. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : Львів : в-во Львівської політехніки, 2013. 176 с.
5. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: монографія : Тернопіль : в-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. 224 с.
6. Шевчук Л.І., Старчевський В.Л. Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти : Львів: в-во Львівської політехніки, 2014. 376 с.
7. Романюк А.Д. Факторы эффективности использования водо-мазутных эмульсий. *Сборник научных трудов Керченского государственного морского технологического университета «Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий»*. 2007. Вып. 8. С. 76–80.
8. Романюк А.Д. Технологические принципы получения водо-мазутных эмульсий. *Сборник научных трудов Керченского государственного морского технологического университета «Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий»*. 2007. Вып. 8. С. 81–84.
9. Генератор кавітації: пат. 64225 Україна: МПК7 F02M33/00. № 2003043076; заявл. 08.04.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл. № 3. 4 с.
10. Генератор кавітації: пат. 5962 Україна: МПК7 F02M33/00. № у 2005 01005; заявл. 04.02.2005; опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3. 24 с.
11. Романюк Я.А., Романюк А.Д. Экономическое обоснование использования водно-мазутной эмульсии. *Математичні проблеми технічної механіки–2018*: матеріали міжнар. наук. конф., м. Київ, Черкаси, Кам'янське, 16–19 квітня 2018 р. Київ, Черкаси, Кам'янське, 2018. С. 28.
12. Часов Д.П., Бейгул В.О., Молчанов В.Ф., Коляда Б.І., Бобров В.В., Тарасюк О.С. Дослідження параметрів подрібнювача комбінованого із шнековим транспортером. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2022. № 41(2). С. 83–88.

FEASIBILITY OF USING A HYDRO-CAVITATION MIXER IN AGRICULTURAL COMPLEXES

Abstract

At present, the issue of using water-fuel emulsions in order to improve the technical, economic and environmental characteristics of various objects is becoming increasingly relevant in agro-industrial complexes. This is especially true in relation to fuel oils, which are used to obtain thermal

energy of medium and low power, which takes place in agro-industrial complexes. As a rule, fuel oil contains moisture, solid fractions, has an increased flash point and other deviations from the norms that violate the combustion regime, contaminate the heating surface, increase fuel underburning, and form deposits of unburned coke particles along the gas path.

A complex solution to these problems can be the creation of a uniformly distributed fine fraction of the moisture present in fuel oil and the destruction of quasi-crystalline structures that are part of fuel oil using various types of statutory devices, which, in order to obtain cavitation bubbles of optimal size in terms of technological impact, generate a cavity with a certain nature of unsteady motion in its tail section, which unfortunately leads to the destructive effect of cavitation erosion of hydraulic system elements.

The solution to the problem was based on the principle of using the hydrodynamic parameters of moving liquids to form fine emulsions of fuel oils of various grades using a special design developed based on a cavitation generator, which ensures the removal of collapsing cavitation bubbles to the center of the flow, which significantly minimizes cavitation erosion of hydraulic system elements, hydro cavitation mixer.

The developed scheme of the hydro-cavitation mixer provides the principle of processing fuel oils with a four-stage technology, which leads to the full combustion of the water-oil emulsion and the reduction of emissions of carcinogenic substances into the atmosphere, an increase in the efficiency of boilers by 2,4% and provides 25% -30% fuel oil savings. As a dispersed phase, not only water can be used, but also liquid fuel waste, industrial water, or mixtures thereof, which reduces the cost of their disposal.

The developed hydro cavitation mixer is of particular interest for agro-industrial complexes, since it can be used for pasteurization of food products using the “cold boiling” phenomena, provided that the cavitation generator is made from the appropriate material.

References

- [1] Knapp R., Daly J., & Hammit F. (1974). *Kavitatsiya [Cavitation]*. M.: World [In Russian].
- [2] Ivanov A.N. (1980). *Gidrodinamika razvityih kavitatsionnyih techeniy [Hydrodynamics of developed cavitation flows]*. L.: Shipbuilding [In Russian].
- [3] Fedotkin I.M., & Gulyi I.S. (2000). *Kavitatsiya, kavitatsionnaya tehnika i tehnologiya, ih ispolzovanie v promyshlennosti: Teoretich. osnovyi pr-va izbytochnoy energii, raschet i konstruirovaniye kavitatsionnyih teplogeneratorov [Cavitation, cavitation equipment and technology, their use in industry: Theoretical basis of production of excess energy, calculation and design of cavitation heat generators]*. K.: JSC “OKO” [In Russian].
- [4] Shevchuk L.I., Aftanaziv I.S., Strogan O.I., Starchevsky V.L. (2013). *Nizkochastotni vibrorezonansni kavitatori [Low-frequency vibroresonant cavitators]*. Lviv: Lviv Polytechnic Institute [In Ukrainian].
- [5] Vitenko T.M. (2009). *Gidrodinamichna kavitatsiya u masoobminnih, himichnih i biologichnih protsesah [Hydrodynamic cavitation in mass transfer, chemical and biological processes]*. Ternopil: TDTU im. I. Pulyuya [In Ukrainian].
- [6] Shevchuk L.I., & Starchevsky V.L. (2014). *Kavitatsiya. Fizichni, himichni, biologichni ta tehnologichni aspekti [Cavitation. Physical, chemical, biological and technological aspects]*. Lviv: Institute of Lviv Polytechnic [In Ukrainian].
- [7] Romaniuk A.D. (2007). Faktoryi effektivnosti ispolzovaniya vodo-mazutnyih emulsiy [Factors of efficiency in the use of water-oil emulsions] *Sbornik nauchnyih trudov Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tehnologicheskogo universiteta «Mehanizatsiya proizvodstvennyih protsessov rybnogo hozyaystva, promyshlennyih i agrarnyih predpriyatij» [Collection of scientific papers of the Kerch State Marine Technological University “Mechanization of production processes in fisheries, industrial and agricultural enterprises”]*. (Issue. 8) (pp. 79–80). [In Russian].
- [8] Romaniuk A.D. (2007). Tehnologicheskie printsipy polucheniya vodo-mazutnyih emulsiy [Technological principles for obtaining water-oil emulsions] *Sbornik nauchnyih trudov Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tehnologicheskogo universiteta «Mehanizatsiya proiz-*

- vodstvennyih protsessov rybnogo hozyaystva, promyshlennyih i agrarnyih predpriyatiy» [Collection of scientific papers of the Kerch State Marine Technological University “Mechanization of production processes in fisheries, industrial and agricultural enterprises”]. (Issue. 8) (pp. 81–84). [In Russian].*
- [9] Generator kavitatsiyi [Cavitation generator] (2004). Pat. 64225 Ukraine: MPK7 F02M33/00. No. 2003043076; dec. 08.04.2003; publ. 16.02.2004, Bull. No. 3. 4 p. [In Ukrainian].
- [10] Generator kavitatsiyi [Cavitation generator] (2005). Pat. 5962 Ukraine: MPK7 F02M33/00. No. u 2005 01005; dec. 04.02.2005; publ. 15.03.2005, Bull. No. 3. 24 p. [In Ukrainian].
- [11] Romaniuk Ya. A., & Romaniuk A.D. (2018). *Ekonomicheskoe obosnovanie ispolzovaniya vodno-mazutnoy emulsii [Economic justification for the use of water-oil emulsion]. Matematichni problemi tekhichnoyi mehaniki–2018: materiالي mlzhnar. nauk. konf. Mathematical problems of technical mechanics–2018: materials of the intern. Sciences. Conf., Kiev, Cherkasy, Kamjanske, April 16–19, 2018 Kiev, Cherkasy, Kamjanske [In Russian].*
- [12] Chasov D., Beihul V., Molchanov V., Koliada B., Bobrov V., Tarasiuk O. (2022). Doslidzhennia parametriv podribniuvacha kombinovanoho iz shnekovym transporterom [Investigation of the parameters of the combiner crusher with a screw conveyor] *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) [Collection of scientific works of the Dniprovsky State Technical University (technical sciences)]. (Vols. 41(2)). (pp. 83–88).*

Надійшла до редколегії 09.03.2023