

be attributed to the presence of vehicles in the granary, waiting for the weighing and process weighing and unloading of the body with the engine running. Second, the time the vehicle spends on the movement from field to granary, now caused by the large runs of vehicles and permissible speeds.

The possibility to improve fuel efficiency and environmental performance of the transport process during the harvesting of crops and transportation of silos, due to the choice of optimal parameters of the operation. Provided the calculation method gives the possibility of more accurately than known methods, to determine the fuel consumption and emissions of harmful substances from motor vehicles in particular operating conditions that will improve direct road transport and make them less costly and more effective.

Key words: *method, fuel efficiency, environmental performance, grain*

УДК 631.147:632.937.3

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕАКТОРІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

**О. А. Марус, кандидат технічних наук
Г. А. Голуб, доктор технічних наук
e-mail: gagolub@mail.ru**

Анотація. В роботі наведена актуальність і важливість виробництва із тваринницьких відходів альтернативних видів біопалива. Виконаний патентний пошук дозволив провести аналіз існуючих конструкцій горизонтальних циліндричних реакторів для переробки рідких та твердих органічних відходів в біогаз та біодобриво. Проведені дослідження по аналізу горизонтальних циліндричних реакторів дозволили виділити два типи ферментерів: обертові реактори і реактори з обертовою мішалкою. Аналіз конструкційних особливостей горизонтальних реакторів дозволив визначити переваги та недоліки наведених ферментерів і виділити основні вимоги до їх конструкційних параметрів та режимів, а саме: завантаження біомаси, якісне видалення біомаси, підтримання заданих температурних режимів, рівень продуктивності та ефективне перемішування, що дозволило в залежності від конкретних об'ємів, умов і завдань зробити вибір оптимального типу реактора для виробництва біогазу та біодобрив. До основних недоліків обертових реакторів

© О. А. Марус, Г. А. Голуб, 2016

було віднесено наявність проблем із видаленням біомаси та низьку продуктивність, до переваг – підтримання заданих температурних режимів та якість перемішування. До основних недоліків реакторів з обертовою мішалкою було віднесено недостатню точність підтримання заданих температурних режимів, а до переваг – високу якість перемішування та продуктивність процесу. Також проведені дослідження дозволили сформулювати класифікацію горизонтальних циліндричних реакторів, із зазначенням їх принципів відмінностей.

Ключові слова: *реактор, біогазова установка, біосировина, біогаз, біодобриво*

Постановка проблеми. Скорочення природних запасів традиційного палива спонукає суспільство замислюватись над проблемою пошуку альтернативних варіантів отримання біопалива. Переробка тваринних відходів на сьогоднішній день є одним із напрямків отримання додаткових енергетичних можливостей.

Вибір необхідного типу реактора залежить від технології, яку виробник обирає і від об'ємів сировини, яку потрібно переробити на біогаз та біодобриво. Якщо це рідкофазна ферментація то відповідно реактор має бути спроектований з урахування води, яка використовується для розрідження біомаси та доведення кислотності до відповідного рівня (рівень кислотності впливає на вихід біогазу) [1]. Якщо ферментація твердофазна, то тривалість процесу переробки біомаси зростає.

Аналіз останніх досліджень. Попередні на даний час дослідження були направлені на аналіз конструкцій реакторів для твердофазної ферментації, який показав, що при розробці реактора потрібно враховувати механічні властивості субстрату (вологість, густину, однорідність субстрату) та методи його підготовку до зброджування, при цьому необхідно забезпечувати ефективне перемішування, завантаження та видалення біомаси, безперервність процесу, стерильні умови упродовж процесу ферментації, підтримання заданих температурних режимів та вологості субстрату. Також було відмічено, що в найбільшій мірі задовольняють вимоги твердофазного зброджування горизонтальні циліндричні реактори з лопатками для перемішування [2]. Тому доцільно провести аналіз типів горизонтальних циліндричних реакторів для зброджування органічної біомаси з отриманням біогазу та біодобрив.

Метою досліджень є проведення аналізу конструкцій горизонтальних циліндричних реакторів для виробництва біогазу.

Результати досліджень. Патентний пошук показав, що розробка обертових горизонтальних реакторів для виробництва

біогазу є актуальною задачею [3, 4, 7]. На рис. 1 та рис. 2 зображені горизонтальні обертові реактори з фіксованими лопатками.

Наведенні метантенки вважаються реакторами періодичної дії, головна перевага їх полягає в тому, що обертовий барабан знаходиться в рідині, що значно зменшує енергетичні витрати на виробництво біогазу, які в основному направлені на перемішування субстрату. Недоліком таких реакторів являється складна система завантаження і вивантаження біосировини.

Горизонтальний циліндричний реактор з рухомими лопатками також був розроблений Голубом Г. А. та Кухарцем С. М. [5]. У цьому метантенку (рис. 3) лопатки для перемішування біосировини прикріплені до внутрішньої поверхні обертового реактора з можливістю виконання радіального переміщення.

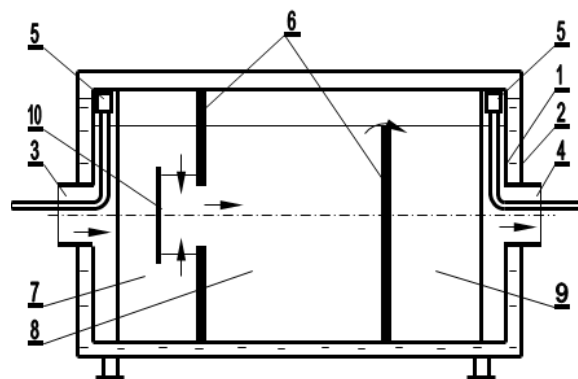


Рис. 1. Метантенк: 1 – циліндричний корпус; 2 – теплоізолюваний басейн; 3, 4 – горловини для завантаження та вивантаження; 5 – патрубки для біогазу; 6 – радіальні перегородки; 7, 8, 9 – камери попереднього, основного та залишкового зброджування; 10 – відбійна пластина.

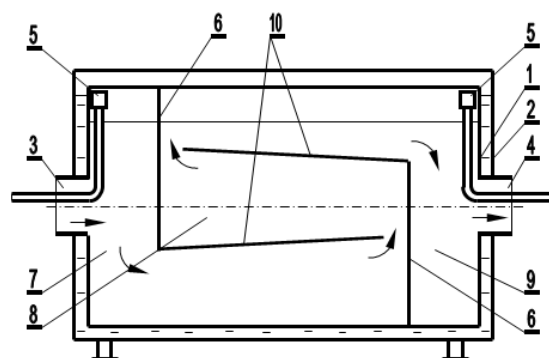


Рис. 2. Метантенк: 1 – циліндричний корпус; 2 – теплоізолюваний басейн; 3, 4 – горловини для завантаження та вивантаження; 5 – патрубки для біогазу; 6 – поперечні перегородки; 7, 8, 9 – камери попереднього, основного та залишкового зброджування; 10 – повздовжні перегородки.

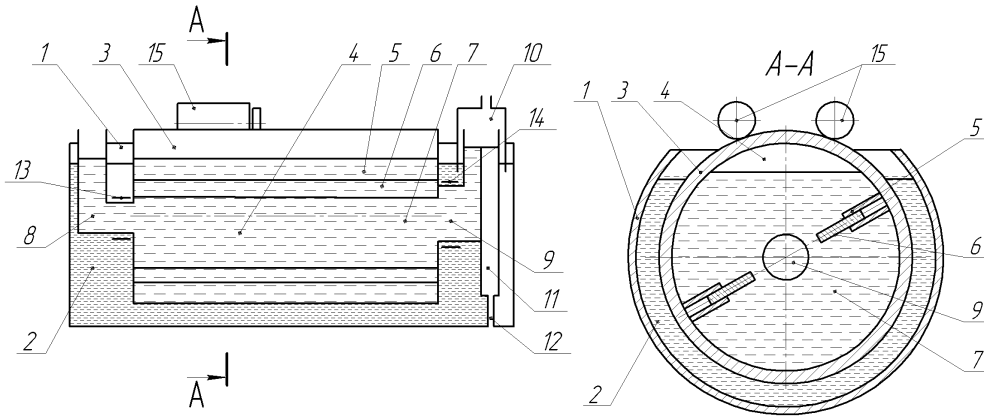


Рис. 3. Метантенк: 1 – горизонтальний зовнішній корпус; 2 – рідина; 3 – циліндричний реактор; 4 – камера зброджування; 5 – перегородка; 6 – рухома пластина; 7 – органічна маса; 8 – патрубок для підводу органічної маси; 9 – патрубок для відводу органічної маси; 10 – патрубок для відводу біогазу; 11 – вивантажувальна камера; 12 – патрубок для вивантаження органічної маси; 13, 14 – підшипникові вузли; 15 – зовнішній привід.

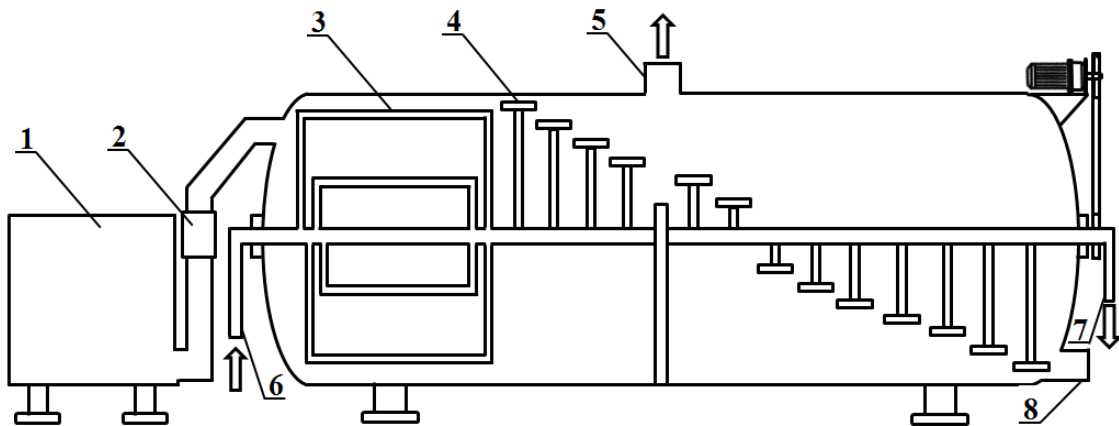


Рис. 4. Трубчастий ферментер: 1 – ємність для підготовки біосировини; 2 – насос; 3 – теплообмінник; 4 – трубкова мішалка; 5 – виведення біогазу; 6 – підведення теплоносія; 7 – виведення теплоносія; 8 – виведення біомаси.

При постійному обертанні реактора цей метод перемішування буде спрацьовувати, а якщо реактор буде працювати в режимі зупинок, тоді тверда фракція буде осідати на дно та бокові поверхні лопаток, що негативно вплине на процес перемішування і процес отримання біогазу. До того ж конструкція реактора не забезпечує вивантаження зброженої біомаси в повному обсязі за рахунок складної системи патрубків, в реакторі залишається піщаний осад, який забиває реактор і зменшує об'єм робочої камери при наступному зброджуванні. У Європі найбільш розповсюджені горизонтальні циліндричні реактори з обертовою мішалкою, де

лопатки розміщені по гвинтовій лінії (рис. 4) [6]. У даному реакторі привід мішалки знаходиться на верхній поверхні ферментера і за рахунок пасової передачі здійснюється її обертання. Відповідно, щоб запустити її в роботу та підтримувати постійний режим обертання потрібні значні енерговитрати. Такий тип реактора можливо ефективно використовувати при невеликих об'ємах переробки органічної сировини. Також існує циліндричний реактор для рідкофазної ферментації (рис. 5), який не містить перемішуючого пристрою, лише шнек, який використовується для руйнування поверхневої кірки [8]. Такий реактор можливо використовувати лише для однорідної маси, яка не розшаровується, з невеликим шаром інакше вихід біогазу буде незначним.

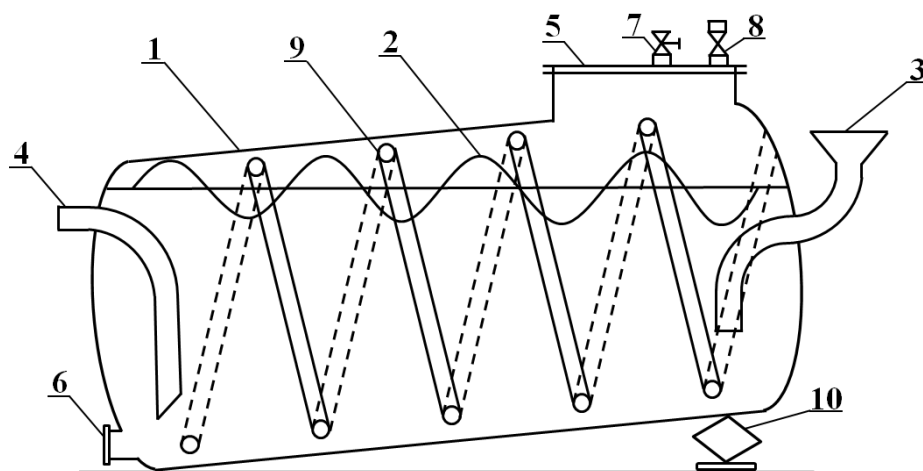


Рис. 5. Біогазовий реактор: 1 – резервуар; 2 – шнек; 3 – патрубок завантаження; 4 – патрубок розвантаження; 5 – верхній люк обслуговування; 6 – нижній люк обслуговування; 7 – скидний клапан; 8 – патрубок виходу біогазу; 9 – підігрівач; 10 – домкрат.

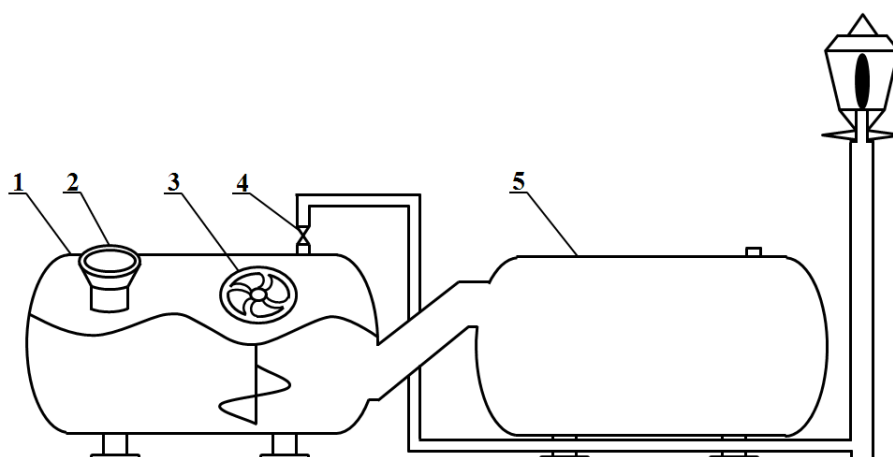


Рис. 6. Біогазова установка: 1 – корпус циліндричного реактора; 2 – патрубок для завантаження біомаси; 3 – перемішуючий пристрій; 4 – патрубок виводу біогазу; 5 – додаткова ємність для біомаси.

Один із практичних досвідів реалізації горизонтальних циліндричних реакторів з переробкою біомаси виконаний в зонах відпочинку та виходу собак (рис. 6). Біогаз одержуваний з собачих фекалій надходить до ретро-світильника, що стоїть поруч, і освітлює парк [9]. В даному реакторі перемішувач встановлений поперек осі реактора, процес перемішування відбувається за допомогою ручної мішалки, що негативно впливає на вихід біогазу, якщо такий тип реактора використовувати у промисловому виробництві. Позитивним такої реалізації біогазових установок є те, що одразу на місті можна використовувати перебродившу масу як добриво для квітників та лісових насаджень.

На рис. 7 наведена горизонтальна біогазові установка з поперечним перемішуванням [6].

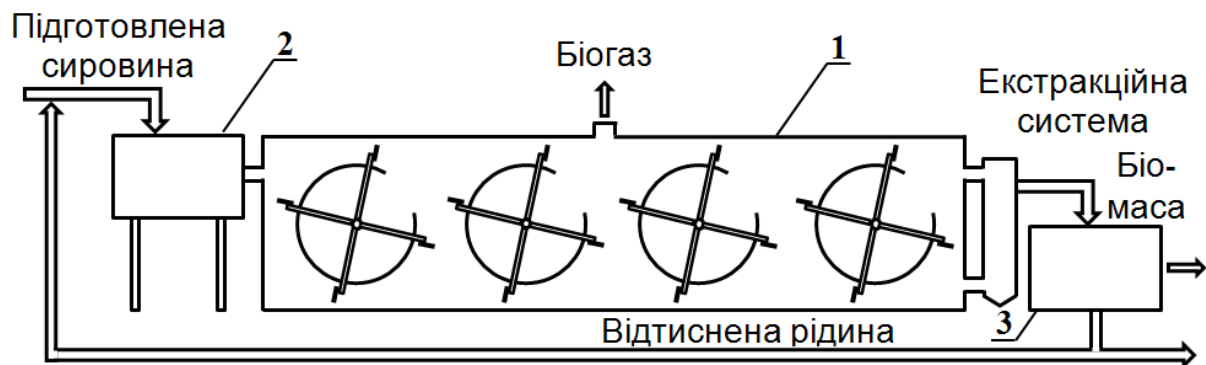


Рис. 7. Двофазний ферментер: 1 – циліндричний реактор; 2 – калібратор для підготовки біосировини; 3 – зневоднювач біомаси.

Досить вдало реалізований етап перемішування біомаси, оскільки загальновідомо, що упродовж періоду бродіння біосировини мікроорганізми знаходяться в нижньому шарі біомаси, а відповідно якісне перемішування призведе до збільшення виходу біогазу. Такий спосіб перемішування одночасно являється і недоліком, оскільки необхідно одночасно декілька електроприводів, що негативно вплине на енерговитрати. Також ця схема показує, що це двофазний ферментер, перша фаза використовується для доведення маси до однорідності та встановлення відповідного рівня кислотності, а друга – вже для самого бродіння. Двофазне бродіння прискорює процес переробки відходів. Також позитивним в такій схемі виробництва біогазу є етап віджимання рідини, яка частково перенаправляється на повторне зброджування.

Проведений аналіз існуючих конструкцій реакторів для переробки біосировини та отримання біогазу і біодобрива показав, що горизонтальні циліндричні реактори існують двох типів – це обертові та із обертовою мішалкою (рис. 8).



Рис. 8. Схема існуючих горизонтальних циліндричних реакторів.

1. Основні вимоги до горизонтальних циліндричних реакторів

Тип реактора	Вимоги до параметрів реакторів:					
	завантаження біомаси	якісне видалення біомаси	підтримання заданих температурних режимів	рівень продуктивності	ефективне перемішування	
Обертовий	Плаваючі у рідині	+	-	+	-	+
	Плаваючі у біомасі	+	-	+	-	+
	Стаціонарні із рухомими лопатками	+	-	+	-	-
	Стаціонарні із фіксованими лопатками	+	-	+	-	+
З обертовою мішалкою	Лопатеві із поперечним перемішуванням	+	+	-	+	+
	Лопатеві із повздовжнім перемішуванням	+	-	+	+	+
	Шнекові із поперечним перемішуванням	+	-	-	+	+
	Шнекові із повздовжнім перемішуванням	+	+	-	+	-

Обертові ферментери поділяються на плаваючі, які в залежності від середовища в якому вони знаходяться розділяються на плаваючі в рідині та в біомасі, що містять рухомі лопатки (виконують радіальний рух) та фіксовані. Інший тип горизонтального циліндричного ферментера – це реактор, що містить обертовий перемішувачий пристрій. Вони поділяються на реактори з лопатевим і шнековим робочим органом, які в свою чергу виконують поперечне або повздовжнє перемішування (табл. 1).

Висновок. Аналізуючи основні вимоги до горизонтальних циліндричних реакторів необхідно відмітити, що до основних недоліків обертових реакторів слід віднести наявність проблем із видаленням біомаси та низьку продуктивність, до переваг – підтримання заданих температурних режимів та якість перемішування. До основних недоліків реакторів з обертовою мішалкою слід віднести недостатню точність підтримання заданих температурних режимів, а до переваг – високу якість перемішування та продуктивність процесу.

Список літератури

1. Салюк А. И. Влияние водопотребления на эффективность метанового брожения куриного помета / А. И. Салюк, С. А. Жадан, Е. Б. Шаповалов, Р. А. Тарасенко // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – Научно-технический центр «ТАТА», 2015. – № 15-16 (179-180). – С. 53–58.
2. Марус О. А. Аналіз конструкцій реакторів для твердофазної ферментації / О. А. Марус, Г. А. Голуб // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2016. – Вип. 241. – С. 380–387.
3. Патент на винахід 74718 Україна. МПК (2006) C02F 11/04. Метантенк / Г. А. Голуб, Б. О. Рубан, О. В. Дубровіна (Україна). – Заявка № 20040503534 ; Заявлено 12.05.04 ; Опубл. 16.01.06.
4. Патент на винахід 81154 Україна. МПК (2006) C02F 11/04. Метантенк / М. К. Лінник, М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня, Б. О. Рубан, О. В. Дубровіна (Україна). – Заявка № а200511162 ; Заявлено 25.11.05 ; Опубл. 10.12.07.
5. Патент на винахід 110077 Україна. МПК (2006) C 02 F 11/04, C02F 3/28. Метантенк / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець (Україна). – Заявка № а201409259 ; Заявлено 19.08.14 ; Опубл. 10.11.15.
6. Сидоров Ю. І. Сучасні біогазові технології / Ю. І. Сидоров // *Biotechnologia acta*. – 2013. – Vol. 6, №1. – С. 46–61.
7. Патент на корисну модель 18101 Україна. МПК (2006) C02F 11/04. Біогазова установка / А. А. Мучак (Україна). – Заявка № u200605752 ; Заявлено 26.05.06 ; Опубл. 16.10.06.
8. Патент на корисну модель 69771 Україна. МПК (2006.01) C02F 11/04. Біогазовий реактор / В. М. Желих, Ю. В. Фурдас (Україна). – Заявка № u201113158 ; Заявлено 08.11.11 ; Опубл. 10.05.12.
9. <http://www.cre8tivez.org/otoplenie-teplosnabjenie-gazosnab/al-ternativne-opalennya-biogaz>.

References

1. Salyuk, A. Y., Zhadan, S. A., Shapovalov, E. B., Tarasenko, R. A. (2015). Vlyyanye vodopotreblenyya na effektivnost' metanovoho brozhenyya kurynoho pometa [The effect of water on efficiency of methane fermentation of chicken manure]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Alternative energy and ecology»*. – Nauchno-tekhnycheskiy tsentr «TATA», 15-16 (179-180), 53–58.
2. Marus, O. A., Holub, H. A. (2016). Analiz konstruktsiy reaktoriv dlya tverdofaznoyi fermentatsiyi [Analysis of designs of reactors for solid state fermentation]. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. K., Vyp. 241, 380–387.
3. Patent na vynakhid 74718 Ukrayina. MPK (2006) S02F 11/04. Metantenk [Digester] / H. A. Holub, B. O. Ruban, O. V. Dubrovina (Ukrayina). – Zayavka № 20040503534 ; Zayavleno 12.05.04 ; Opubl. 16.01.06.
4. Patent na vynakhid 81154 Ukrayina. MPK (2006) S02F 11/04. Metantenk [Digester] / M. K. Linnyk, M. D. Mel'nychuk, V. O. Dubrovin, H. A. Holub, V. S. Tarhonya, B. O. Ruban, O. V. Dubrovina (Ukrayina). – Zayavka № a200511162 ; Zayavleno 25.11.05 ; Opubl. 10.12.07.
5. Patent na vynakhid 110077 Ukrayina. MPK (2006) S 02 F 11/04, S02F 3/28. Metantenk [Digester] / H. A. Holub, S. M. Kukharets' (Ukrayina). – Zayavka № a201409259 ; Zayavleno 19.08.14 ; Opubl. 10.11.15.
6. Sydorov, Yu. I. (2013). Suchasni biohazovi tekhnolohiyi [Modern biogas technology] / Yu. I. Sydorov // *Biotechnologia acta*, Vol. 6, № 1, 46–61.
7. Patent na korysnu model' 18101 Ukrayina. MPK (2006) S02F 11/04. Biohazova ustanovka [Biogas plant] / A. A. Muchak (Ukrayina). – Zayavka № u200605752 ; Zayavleno 26.05.06 ; Opubl. 16.10.06.
8. Patent na korysnu model' 69771 Ukrayina. MPK (2006.01) S02F 11/04. Biohazovyy reaktor [Biogas reactor] / V. M. Zhelykh, Yu. V. Furdas (Ukrayina). – Zayavka № u201113158 ; Zayavleno 08.11.11 ; Opubl. 10.05.12.
9. <http://www.cre8tivez.org/otoplenie-teplosnabjenie-gazosnab/al-ternativne-opalennya-biogaz>.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

О. А. Марус, Г. А. Голуб

Аннотация. В работе приведена актуальность и важность производства из животноводческих отходов альтернативных видов биотоплива. Выполненный патентный поиск позволил провести анализ существующих конструкций горизонтальных цилиндрических реакторов для переработки жидких и твердых органических отходов в биогаз и биоудобрение. Проведенные исследования по анализу горизонтальных цилиндрических реакторов позволили выделить два типа ферментеров: вращающиеся реакторы и реакторы с вращающейся мешалкой. Анализ конструкционных особенностей горизонтальных реакторов позволил определить преимущества и недостатки приведенных ферментеров и выделить основные требования к их конструктивным параметрам и режимам, а именно: загрузка биомассы, качественное удаление биомассы, поддержание

заданных температурных режимов, уровень производительности и эффективное перемешивание, что позволило в зависимости от конкретных объемов, условий и задач сделать выбор оптимального типа реактора для производства биогаза и биоудобрений. К основным недостаткам вращающихся реакторов было отнесено наличие проблем с удалением биомассы и низкой производительностью, к достоинствам – поддержка заданных температурных режимов и качество перемешивания. К основным недостаткам реакторов с вращающейся мешалкой было отнесено недостаточную точность поддержания заданных температурных режимов, а к преимуществам – высокое качество перемешивания и производительность процесса. Также проведенные исследования позволили сформировать классификацию горизонтальных цилиндрических реакторов, с указанием их принципиальных различий.

Ключевые слова: реактор, биогазовая установка, биосырье, биогаз, биоудобрение

STRUCTURAL ANALYSIS OF HORIZONTAL CYLINDRICAL REACTOR FOR PRODUCTION OF BIOGAS

O. A. Marus, G. A. Golub

Abstract. *The paper shows the relevance and importance of animal production waste alternative biofuels. Made patent search has allowed an analysis of existing designs of horizontal cylindrical reactors for processing of liquid and solid organic waste into biogas and biofertilizers. The research on the analysis of horizontal cylindrical reactor allowed identifying two types of fermenters, rotating reactors and reactors with a rotating agitator. Analysis of structural features horizontal reactors possible to determine the advantages and disadvantages of these fermenters and identify the main requirements for their structural parameters and modes, namely downloading biomass quality removal of biomass, maintaining the set temperature, the level of productivity and effective mixing, allowing depending on the specific volumes, conditions and objectives to choose the optimum type of reactor to produce biogas and biofertilizers. The main disadvantages of rotating reactor was charged for problems with removing biomass and low productivity, the benefits – maintaining preset temperature and mixing quality. The main disadvantages of reactors with a rotating agitator were attributed insufficient accuracy to maintain the set temperature, and the advantages – high quality and performance mixing process. Also, studies have allowed forming classification horizontal cylindrical reactors with their fundamental differences.*

Key words: reactor, biogas plant, biomass, biogas, biofertilizers