

УДК 620.92

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОБЕРТОВОГО БІОГАЗОВОГО РЕАКТОРА

С. М. КУХАРЕЦЬ, к.т.н., e-mail: kikharets@gmail.com ; тел.: +38067-665-35-48.

Г. А. ГОЛУБ, д.т.н.

Національний університет біоресурсів та природокористування України

РЕЗЮМЕ

Мета досліджень. Встановити параметри, що забезпечують мінімальні енерговитрати на обертання реактора біогазової установки.

Методика досліджень. Експериментальне визначення впливу технологічних та конструкційних параметрів метантенка та параметрів субстрату на зміну споживання потужності при перемішуванні, було проведено із використанням модельного біореактора (внутрішній радіус $R=0,2$ м, робоча довжина $L=0,6$ м). В якості сировини використовувався субстрат на основі гною ВРХ та свиней.

Результати досліджень. Мінімальні енерговитрати $N_{дв}=8,4$ Вт, забезпечуються із коефіцієнтом заповнення метантенка біомасою $k_3=0,93$, що

відповідає проведенню теоретичним дослідженням. При значеннях коефіцієнта заповнення $k_3<0,93$, умова плавання забезпечується, проте нерационально використовується місткість метантенка, що призводить до підвищення питомих енерговитрат, а при $k_3\geq 0,93$ умова плавання не забезпечується, що призводить до різкого збільшення витрат енергії в підшипниках реактора.

Висновки. Встановлено, що заповнений на величину від 94 до 95 % обертовий метантенк з об'ємом завантаження біомаси $0,4$ м³ потребує мінімальної питомої потужності для приводу від 99,85 до 101,23 Вт/м³ при його зануренні у рідину на величину від 95 до 97 %.

Ключові слова: метантенк, реактор, біомаса, біогаз, перемішування, ефективність.

УДК 620.92

THE STUDYING ENERGY INDICATORS OF THE ROTATING BIOGAS REACTOR

S. KUKHARETS, Ph.D., e-mail: kikharets@gmail.com; tel.: + 38067-665-35-48.

G. GOLUB, Doctor of Technical Sciences,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

SUMMARY

The purpose of research. Install options that provide minimal energy consumption for rotation of the reactor biogas equipment.

The technique of research. The paper present the experimental determination of the effects of technological and constructive parameters on the changes in the power consumption under mixing. The research was conducted with the use of the simulation bioreactor (internal radius $R=0,2$ m, working length $L=0,6$ m). The substrate obtained from cattle and pig manure was used as a raw material.

The results of research. The minimal power inputs $N_m=8,4$ W are provided with the coefficient of the methane tank filling with biomass $k_f=0,93$ which corresponds to the theoretical research conducted.

When the coefficient valises of filling amount to $k_f<0,93$ the floatation condition is fully ensured, though the methane tank capacity is used irrationally which leads to the increase in the specific power inputs. In case the specific power inputs. In case the pilling efficienci amounts to $k_f>0,93$, the floatation condition is not ensured, thus resulting in in the rapid increase in power inputs in reactor bearings.

Conclusions. The found that filled the magnitude of 94 to 95% of rotating methane tanks with a volume of $0,4$ м³ load biomass requires minimum specific power to drive from 99,85 to 101,23 W/m when it is immersed in the liquid at a magnitude of 95 to 97 %.

Key words: methanetanks, reactor, biomass, biogas, mixing efficiency.

УДК 620.92

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ БИОГАЗОВОГО РЕАКТОРА

С. Н. КУХАРЕЦ, к.т.н., e-mail: kikharets@gmail.com; тел.: + 38067-665-35-48.

Г.А. ГОЛУБ, д.т.н.

Національний університет біоресурсів і природопольовання України

РЕЗЮМЕ

Цель исследований. Определить параметры, которые обеспечивают минимальные энергозатраты на вращение реактора биогазовой установки.

Методика исследований. Экспериментальное определение влияния технологических и конструктивных параметров метантенка и параметров субстрата на изменение потребления мощности при перемешивании, было проведено с использованием модельного биореактора (внутренний радиус $R=0,2$ м, рабочая длина $L=0,6$ м). В качестве сырья использовался субстрат на основе навоза КРС и свиней.

Результаты исследований. Минимальные энергозатраты $N_{дв}=8,4$ Вт, обеспечиваются с коэффициентом заполнения метантенка биомассой $k_3=0,93$,

что соответствует проведенным теоретическим исследованиям. При значениях коэффициента заполнения $k_3<0,93$, условие плавания обеспечивается, однако нерационально используется емкость метантенка, что приводит к повышению удельных энергозатрат, а при $k_3>0,93$ условие плавания не обеспечивается, что приводит к резкому увеличению расходов энергии в подшипниках реактора.

Выводы. Установлено, что заполненный на величину от 94 до 95 % вращающийся метантенк с объемом загрузки биомассы $0,4$ м³ требует минимальной удельной мощности для привода от 99,85 до 101,23 Вт/м³ при его погружении в жидкость на величину от 95 до 97 %.

Ключевые слова: метантенк, реактор, биомасса, биогаз, перемешивание, эффективность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Експлуатація біогазових установок показала, що сприяння контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату забезпечується за рахунок перемішування субстрату, однак при цьому інтенсивного перемішування слід уникати, оскільки це може призвести до припинення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу ацетогенних та метаногенних бактерій [1, 2, 3, 4]. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу [5]. У той же час, досвід експлуатації реакторів біогазових установок показав, що практично неможливо усунути розшарування біомаси в реакторі на мінеральний осад та органічну плаваючу біомасу, що вказує на недоліки в роботі систем перемішування біомаси [6, 7].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У результаті проведених нами наукових досліджень розроблено ряд запатентованих технічних рішень, які дозволяють у значній мірі усунути розшарування біомаси за рахунок

забезпечення перемішування шарів біомаси із використанням занурених обертових біогазових реакторів. Визначено також рівень занурення обертового метантенка в рідину (відстань від його центра обертання до рівня рідини, в яку він занурений), а також коефіцієнт його заповнення (відстань від центра обертового метантенка до рівня біомаси в ньому) від геометричних параметрів обертового метантенка та густини рідини, в яку занурений обертовий метантенк при забезпеченні його знаходження у завислому стані [8]. Нами також був запропонований метантенк (рис. 1) із оригінальною конструкцією перегородок [9].

Потужність, що витрачається на подолання моменту опору в підшипниках залежить від рівня органічної біомаси в ньому, ваги метантенка, характеристик біогазу та біомаси, оскільки це впливає на величину сили, що діє на підшипники, на яких встановлено метантенк [10, 11]. Потужність, що витрачається на перемішування біомаси залежить від характеристик біомаси (густини, вмісту сухої речовини, розміру частинок) та конструкційних характеристик метантенка (кутова швидкість, геометричні розміри, робоча довжина та розміщення лопаток).

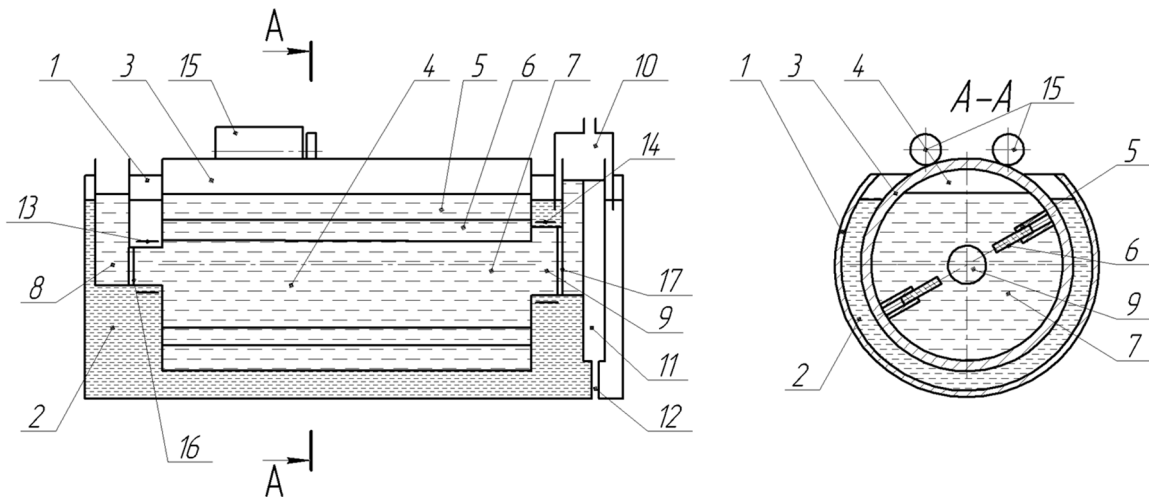


Рис. 1. Схема обертового біогазового реактора:

1 – горизонтальний зовнішній корпус; 2 – рідина; 3 – циліндричний реактор; 4 – камера збродження; 5 – перегородка; 6 – рухомі пластини; 7 – органічна маса; 8, 9, 12 – патрубки; 10 – газозбірник; 11 – вивантажувальна камера; 13, 14 – підшипникові вузли; 15 – зовнішній привід; 16, 17 – блок-ущільнення

Fig. 1. The diagram of the rotation biogas reactor:

1 – horizontal outer casing; 2 – liquid; 3 – cylindrical reactor; 4 – fermentation chamber; 5 – partition; 6 – movable plate; 7 – organic matter; 8, 9, 12 – tubes; 10 – gas storage; 11 – discharge chamber; 13, 14 – bearing assemblies; 15 – external drive; 16, 17 – seal block

Мета дослідження. Випробувати модель обертового метантенка та встановити параметри, що забезпечують мінімальні енерговитрати на обертання реактора.

Методика досліджень. Відповідно до методик [12, 13, 14, 15, 16], експериментальне визначення впливу технологічних та конструкційних параметрів метантенка й параметрів субстрату на зміну споживання потужності при перемішуванні, було проведено із використанням модельного біореактора (внутрішній радіус $R=0,2$ м, робоча довжина $L=0,6$ м), що був виготовлений у Науково-дослідному інституті техніки і технологій НУБіП України. В якості сировини використовувався субстрат на основі гною ВРХ та свиней [17, 18, 19, 20].

Дослідження проводились на спеціально сконструйованій дослідній установці (рис. 2), що складалася із обертового метантенка (1), частотного перетворювача Hitachi 3G3JX-A4075-EF (2), реєструючого пристрою (3) та цифрового вимірювача DMK-30 (4).

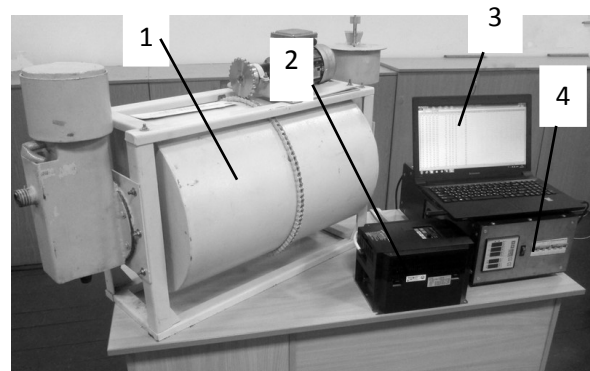


Рис. 2. Комплект обладнання для проведення дослідження енергетичної ефективності перемішування субстрату (зовнішній корпус не показано):

1 – обертовий метантенк, 2 – частотний перетворювач, 3 – цифровий вимірювальний пристрій; 4 – реєстратор

Fig. 2. The set of equipment for carrying out research related to the energy efficiency of the substrate mixing (the outer casing is not shown):

1 – rotating methanetank 2 – frequency converter 3 – digital measuring device; 4 – recorder

При проведенні досліджень метантенк встановлювався в зовнішній корпус, заповнювався субстратом у відповідності із встановленим діапазоном значень коефіцієнта заповнення k_z від 0,8 до 1. Зовнішній корпус заповнювався водою на рівень, що відповідав встановленому діапазону коефіцієнта зану-

рення k_{zn} від 0,8 до 1. Частота обертання приводного двигуна регулювалась за допомогою частотного перетворювача Hitachi 3G3JX-A4075-EF, що дало можливість отримати діапазон кутових швидкостей метантенка від 0,05 до 0,5 рад/с. Потужність споживана приводним двигуном визначалась за допомогою цифрового вимірювача DMK-30 та фіксувалась за допомогою спеціального програмного забезпечення на ресструючому пристрої (ноутбук на базі процесора Intel I5).

Результати досліджень. Проведені дослідження впливу коефіцієнта заповнення k_3 на потужність $N_{об}$, що споживається приводним двигуном дозволили, в результаті регресійного аналізу даних отримати коефіцієнти відповідної емпіричної залежності (з рівнем довірчої ймовірності за коефіцієнтом детермінації – $R^2=0,9664$):

$$N_{об} = 2179,2k_3^3 - 5538,5k_3^2 + 4649,5k_3 - 1278,1 \quad (1)$$

де $N_{об}$ – середня потужність двигуна на обертання метантенка, встановлена в резуль-

таті досліджень, Вт; k_3 – коефіцієнт заповнення метантенка субстратом.

Отримане рівняння регресії (1) дало можливість побудувати графічну залежність (рис. 3), аналіз якої на екстремуми дозволяє зробити висновок, що мінімальні енерговитрати $N_{об}=8,4$ Вт забезпечуються із коефіцієнтом заповнення метантенка біомасою $k_3=0,93$, що відповідає проведеним теоретичним дослідженням.

Також було проведено дослідження впливу коефіцієнта заповнення на глибину занурення обертового метантенка в зовнішньому корпусі. З практичних міркувань глибину занурення метантенка зручно виразити через коефіцієнт занурення k_{zn} :

$$k_{zn} = \frac{h_{zn}}{D_B} \quad (2)$$

де k_{zn} – коефіцієнт занурення реактора; h_{zn} – глибина занурення реактора, м; D_B – зовнішній радіус біореактора, м.

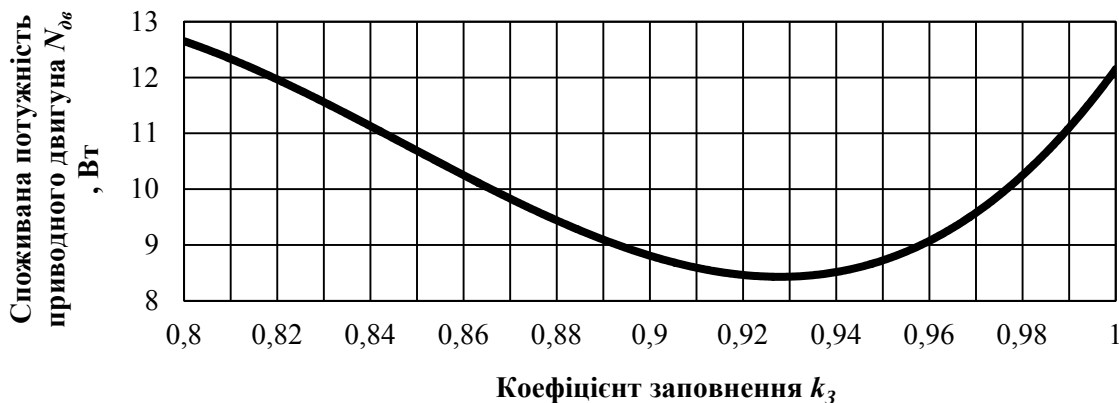


Рис. 3. Дослідна залежність потужності електродвигуна $N_{об}$, для забезпечення обертання біореактора від коефіцієнта заповнення k_3

Fig. 3. The experimental dependence of the electric motor capacity $N_{об}$ to ensuring the bioreactor rotation on the filling coefficient k_3

Проведені дослідження впливу коефіцієнта заповнення на коефіцієнт занурення дозволили отримати графічну залежність (рис. 4), аналіз якої дозволяє зробити висновок про те, що при значеннях коефіцієнта заповнення $k_3 < k_{зонт} = 0,93$, умова плавання забезпечується, проте при цьому нераціонально використовується місткість метантенка, що призводить до підвищення питомих енерговитрат, а при $k_3 > k_{зонт} = 0,93$ умова плавання не забезпечується, що призводить до різкого збільшення витрат енергії в підшипниках реактора.

Також проведено дослідження впливу коефіцієнтів заповнення k_3 та занурення k_{zn} на питому потужність N_{II} перемішування біомаси в реакторі, що дозволили, в результаті регресивного аналізу даних, отримати коефіцієнти відповідної емпіричної залежності:

$$N_{II} = 806,5312 - 1588,2848k_3 + 313,9577k_{zn} + 971,9074k_3^2 - 579,0525k_3k_{zn} + 114,5044k_{zn}^2 \quad (3)$$

де N_{II} – питома потужність перемішування біомаси в метантенку, Вт/м³.

Графічна інтерпретація рівняння регресії (3) приведена на рис. 5.

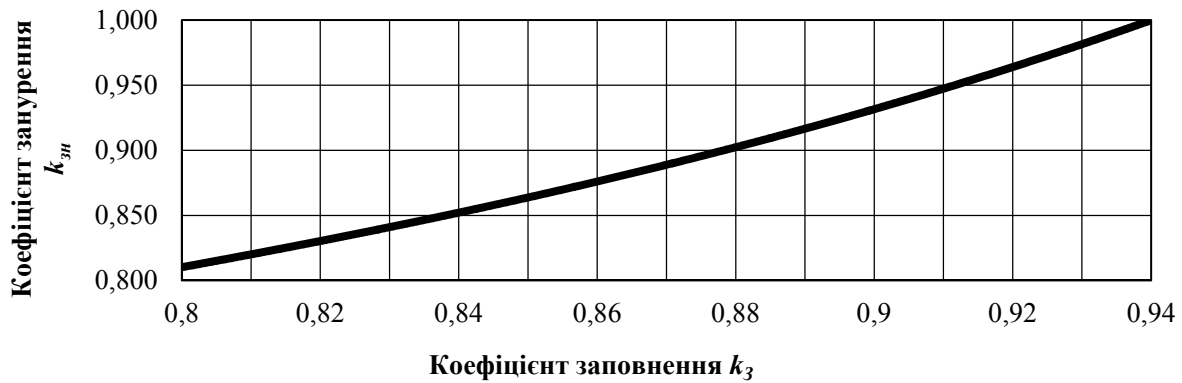


Рис. 4. Дослідна залежність коефіцієнта занурення k_{zn} від коефіцієнта заповнення k_z , при яких забезпечується плавання дослідного реактора

Fig. 4. The experimental dependence of submergence coefficient k_s on the filling coefficient k_f which provides for floatation of the reactor under study

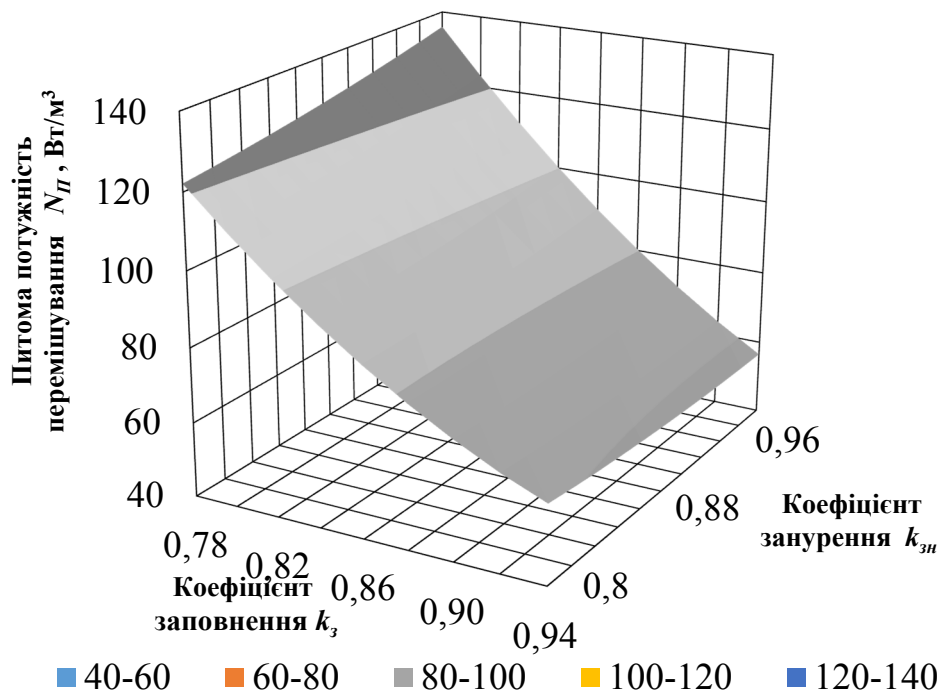


Рис. 5. Залежність питомої потужності N_p перемішування біомаси в реакторі від коефіцієнтів заповнення k_z та занурення k_{zn}

Fig. 5. The dependence of specific power inputs N_p of the biomass mixing in the reactor on the filling coefficient k_z and submergence coefficient k_{zn}

Аналіз дозволяє зробити висновок про те, що при значеннях коефіцієнта заповнення $k_z = k_{zopt} = 0,93$ забезпечуються мінімальні питомі енерговитрати на перемішування субстрату (обертання метантенка). При цьому, спостерігається повне занурення метантенка у рідину, тобто коефіцієнт занурення $k_{zn} = 1$.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що заповнений на величину від 94 до 95 % обертовий метантенк з

об'ємом завантаження біомаси $0,4 \text{ м}^3$ потребує мінімальної питомої потужності для приводу від 99,85 до $101,23 \text{ Вт/м}^3$ при його зануренні у рідину на величину від 95 до 97 %. Результати проведених досліджень свідчать про перспективність виробництва та впровадження біогазових установок на основі обертових метантенків.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Новітні технології біоконверсії: Монографія [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетука, І.П. Григорюк та ін.]. – К. «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.

2. Биомасса как источник энергии: Пер с. англ. / Под ред. С. Соуфера, О. Забарски. – М.: Мир, 1985. – 368 с.

3. Кухарець С.М. Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплив в агропромышленном комплексе / Кухарець С.М., Голуб Г.А., Драгнев С.В. // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Vol.15, No4, Lublin-Rzeszow, 2013. – P. 69-76.

4. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems [G. Golub, V. Dubrovin, S. Kukharets etc.] // Міжнародний електронний журнал «Біоресурси планети і якість життя». – 2013. – Вип. 4. – Режим доступу: <http://gcheraejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/146/112>.

5. Руководство по биогазу. От получения до использования / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 5-е издание. – Гюльцов: Германия, 2012. – 213 с.

6. Голуб Г.А. Технічне забезпечення виробництва біогазу / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, Б.О. Рубан, В.О. Войтенко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – С. 17-19.

7. Голуб Г. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Г. Голуб, В. Войтенко, Б. Рубан, В. Єрмоленко // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 2 (29). – С. 18-21.

8. Голуб Г.А. Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнта заповнення біомасою обортового метантенка / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК – К., 2012. – Вип. 170. – Ч. 2. – 387 с. – С. 55-61.

9. Пат. 96063 Україна, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Метантенк / Г.А. Голуб; С.М. Кухарець; заявка № u201409261; заявлено 19.08.2014; опубл. 12.01.2015; Бюл. №1. – 4 с.

10. Кухарець С.М. Обґрунтування енергетичних витрат на привод обортового реактора біогазової установки / Кухарець С.М., Голуб Г.А. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С.356-365.

11. Голуб Г.А. Особливості конструкції модульної біогазової установки з обортовим

реактором / Голуб Г., Кухарець С., Рубан Б. // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2014. – № 9 (60). – С. 10-14.

12. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обортовими реакторами / [Г.А. Голуб, О.В. Сидорчук, С.М. Кухарець та ін.; за ред. Г.А. Голуба] – К.:НУБіП України, 2014. – 106 с.

13. Мовсесов Г.Є. Основні положення технології біогазового (анаеробного метанового) зброджування органічних відходів / Мовсесов Г.Є., Ляшенко О.О. // Рекомендації Інституту механізації тваринництва НААН України. – Запоріжжя: ІМТ НААН України, 2010. – 29 с.

14. O. Hacke. Biogas von A bis Z./ O. Hacke, M. Helm// – Borsig Energy GmbH, 2001. – 47 p.

15. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ 61-ой установки по производству биогаза в Германии./[Геммеке Бурга, Крисста Ригер, Войланд Петер и др.]. – Гюльцов:FNR, 2010. – 118 с.

16. Голуб Г.А. Випробування гідрореактивного змішувача при виробництві дизельного біопалива / Голуб Г.А., Павленко М.Ю. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С.350-355.

17. Handreichung. Biogasgewinnung und – nutzung. / [Amon Tomas, fon Bredov Hartvig, Doeler Helmut etc.]. – Gulzow: FNR, 2010. – 234 p.

18. Tasneem Abbasi. Biogas Energy./ Tasneem Abbasi, S.M.Tauseet, S.A.Abbasi// – New York: Springer, 2012. – 169 p.

19. Баадер В. Биогаз:теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного.) / Баадер В., Доне Е., Бренндерфер // М. Колос, 1982 – 148 с.

20. Эдер Барбара. Биогазовые установки. Практическое пособие / Барбара Эдер, Хайнц Шульц // Zorg Biogas, 2008 – 268 с.

REFERENCES

1. Novitni tekhnologii biokonversii: Monografiia [Y.B. Blium, G.G. Heletukha, I.P. Gryhoriuk ta in.]. – K. «Agrar media grup», 2010. – 326 s.

2. Byomassa kak istochnyk energyy: Per s. angl. / Pod red. S. Soufera, O. Zabarsky. – M.: Myr, 1985. – 368 s.

3.Kukharets S.M. Obespechenye ratsyonalnoho yspolzovanyia syria dlia polucheniya byotoplyv v ahropromyshlennom komplekse / Kukharets S.M., Golub G.A., Dragnev S.V. // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Vol.15, No4, Lublin-Rzeszow, 2013. – R. 69-76.

4. Scientific bases of production and use of biofuel in agroecosystems [G. Golub, V. Dubrovin, S. Kukharets ets.] // *Mizhnarodnyi elektronnyi zhurnal «Bioresursy planety i yakist zhyttia»*. – 2013. – Vyp. 4. – Rezhym dostupu: <http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/index.php/ebql/article/view/146/112>.
5. *Rukovodstvo po byohazu. Ot polucheniya do yspolzovaniya / Spetsyalnoe ahentstvo vozobnovliaemykh resursov (FNR). 5-e yzdanye. – Hiultsov: Hermaniya, 2012. – 213 s.*
6. Golub G.A. *Tekhnichne zabezpechennia vyrobnytstva biohazu / G.A. Golub, O.V. Dubrovina, B.O. Ruban, V.O. Voitenko // Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky. – Vinnytsia, 2012. – Vyp. 10. – 186 s. – S. 17-19.*
7. Golub G. *Suchasni tendentsii rozvytku biohazovykh ustanovok / G. Golub, V. Voitenko, B. Ruban, V. Yermolenko // Tekhnika i tekhnolohii APK. – 2012. – № 2 (29). – S. 18-21.*
8. Golub G.A. *Obgruntuvannia rivnia zanurennia ta koefitsiienta zapovnennia biomasoiu obertovoho metantenka / G.A. Golub, O.V. Dubrovina // Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK – K., 2012. – Vyp. 170, ch. 2. – 387 s. – S. 55-61.*
9. Pat. 96063 Ukraina, MPK C02F 11/04, C02F 3/28. *Metantenk / G.A. Golub; S.M. Kukharets; zaiavka № u201409261; zaiavleno 19.08.2014; opublikovano 12.01.2015; Biul. №1. – 4 s.*
10. Kukharets S.M. *Obgruntuvannia enerhetychnykh vytrat na pryvid obertovoho reaktora biohazovoi ustanovky / Kukharets S.M., Golub G.A. // Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy: zbirnyk nauk. pr. / DNU UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. – Doslidnytske, 2014. – Vyp. 18 (32), kn. 2. – S.356-365.*
11. Golub G.A. *Osoblyvosti konstruktсии modulnoi biohazovoi ustanovky z obertovym reaktorom / Golub G., Kukharets S., Ruban B. // Tekhnika i tekhnolohii APK (Naukovo-vyrobnychiy zhurnal). – 2014. – № 9 (60). – S. 10-14.*
12. *Tekhnolohiia pererobky biolohichnykh vidkhodiv u biohazovykh ustanovkakh z obertovymy reaktoramy / [G.A. Golub, O.V. Sydorchuk, S.M. Kukharets ta in.; za red. G.A.Goluba] – K.:NUBiP Ukrainy, 2014. – 106 s.*
13. Movsesov H. Y. *Osnovni polozhennia tekhnolohii biohazovoho (anaerobnoho metanovoho) zbrodzhuvannia orhanichnykh vidkhodiv / Movsesov H.Y., Liashenko O.O.// Rekomendatsii Instytut mekhanizatsii tvarynnytstva NAAN Ukrainy. – Zaporizhzhia: IMT NAAN Ukrainy, 2010. – 29 s.*
14. O. Hacke. *Biogas von A bis Z./ O. Hacke, M. Helm// – Borsig Energy GmbH, 2001. – 47 p.*
15. *Byohaz na osnove vozobnovliayemoho syria. Sravnytelnyi analiz shestydesiaty odnoi ustanovky po proyzvodstvu byohaza v Hermanyy./[Hemmeke Burha, Kryssta Ryher, Voiland Peter y dr.]. – Hiultsov:FNR, 2010. – 118 s.*
16. Golub G.A. *Vyprobuvannia hidroreaktyvnoho zmishuvacha pry vyrobnytstvi dyzelnoho biopalyva / Golub G.A., Pavlenko M.Y. // Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy: zbirnyk nauk. pr. / DNU UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Doslidnytske, 2014. – Vyp. 18 (32), kn. 2. – S.350-355.*
17. *Handreichung. Biogasgewinnung und – nutzung. / [Amon Tomas, fon Bredov Hartvig, Doeler Helmut ets.]. – Gulzow:FNR, 2010. – 234 p.*
18. Tasneem Abbasi. *Biogas Energy./ Tasneem Abbasi, S.M.Tauseet, S.A.Abbasi// New York:Springer, 2012. – 169 p.*
19. Baader V. *Byohaz:teoriya y praktyka (Per. s nem. y predyslovye M. Y. Serebriano.) / Baader V., Done E., Brennderfer // M. Kolos, 1982. – 148 s.*
20. Eder Barbara. *Byohazovye ustanovky. Praktycheskoe posobyie / Barbara Eder, Khaints Shults // Zorg Biogas, 2008 – 268 s.*