

УДК 662.767.2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІШАЛОК МЕТАНТЕНКА БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

В. М. Поліщук, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В. В. Ільтьо, головний інженер Рокитнянського біогазового заводу

e-mail:iltyo.v@gmail.com

Анотація. *Актуальність дослідження обумовлена все більшим використанням біогазових установок (БГУ) в Україні. Метою досліджень є встановлення конструктивно-технологічних параметрів мішалок метантенка біогазової установки. Проаналізовані заглиблені механічні мішалки субстрату та мішалки поверхневого типу. Наведені методичні засади для розрахунку діаметру пропелерної мішалки та її окружної швидкості, а також втрати потужності мішалки при перемішуванні субстрату. Обґрунтовані конструктивно-технологічні параметри мішалок метантенка біогазової установки Рокитнянського цукрового заводу для можливої їх заміни у випадку виходу із ладу.*

Ключові слова: *біогазова установка, субстрат, перемішуючі пристрої, конструктивно-технологічні параметри*

Актуальність. Як відомо, однією з необхідних умов безперервного протікання процесу метаногенерації та підвищення її інтенсивності в біогазових установках, є перемішування. Субстрат в метантенку перемішують по кілька разів на день, у результаті чого забезпечується: перемішування свіжого субстрату із затравочною порцією з метою переселення і розмноження в новому матеріалі активних бактерій; розподіл тепла з метою утримання, наскільки можливо, рівномірного розподілу температури у ферментаторі; руйнування утвореної кірки; поліпшення обміну речовин у бактерій через виведення бульбашок біогазу і подачу нових поживних речовин.

Необхідні інтервали перемішування визначаються для кожної біогазової

установки індивідуально експериментальним шляхом. Після запуску БГУ перемішування субстрату здійснюється частіше, ніж у звичайному режимі, і зменшується після того, як вже можна розрізнити утворення плаваючої пробки. Бактерії ростуть колоніями і утворюють грудки. Швидке помішування їх розбиває і заважає бактеріям розвиватися, тому оптимальним є повільне перемішування [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для перемішування субстрату в метантенку використовуються перемішувачі пристрої (мішалки), які можуть бути механічними, гідравлічними та пневматичними.

Для зменшення утворення осаду і унеможливлення виникнення плаваючої кірки необхідно забезпечити турбулентність у всіх зонах реактора. Тому такі мішалки можуть ефективно використовуватись лише в невеликих реакторах. Проте, якщо йдеться про субстрати малої в'язкості, що містять мало речовин, схильних до осадження або утворення плаваючої кірки, то механічні перемішувачі пристрої виявляються ефективними і у відносно крупних реакторах. Для простих невеликих установок з незначним виходом біогазу механічні мішалки є прийнятним рішенням [2].

Останнім часом для перемішування субстрату в метантенках часто застосовуються заглиблені механічні мішалки. Заглиблена мішалка (рис. 1) з точки зору технологічності процесу перемішування є специфічним обладнанням, оскільки її розміщення в різних ємностях сприяє підтримці гідродинамічних потоків різноманітної орієнтації. На відміну від перемішувачів поверхневого типу, потоки яких направляються від поверхні рідини до днища ємності, заглибні мішалки здатні здійснити гідродинамічні потоки рідини різного типу (рис. 2).



Рис. 1. Заглиблена мішалка [3]

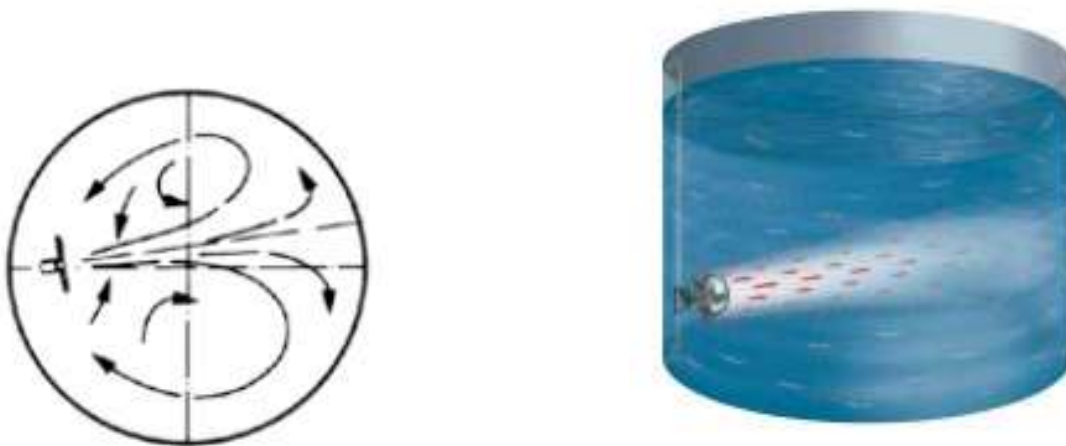


Рис. 2. Схема перемішування субстрату в метантенку круглого перерізу заглибленою пропелерною мішалкою [4], [5]

Для перемішування субстрату в метантенку в підвішеному стані зазвичай встановлюються електромеханічні мішалки.

У метантенках можуть бути реалізовані два гідродинамічних принципи перемішування, назовемо їх умовно: «зонний» і «карусельний» [6].

При зонному принципі передбачає одна мішалка нездатна обслужити довгий метантенк, і обмежена максимально-можливою довжиною зони перемішування [6]:

$$L_{пер} = 2,5 \cdot (B - d_M), \quad (1)$$

де $L_{пер}$ – довжина зони перемішування, м; B – ширина або глибина, м;

d_M – діаметр лопаті мішалки.

Нездатність обслуговування довгих споруд викликана геометрією поперечного перерізу метантенка. Природне бажання будь-якого технолога «поставити мішалку потужнішу і перемішувати ефективніше» обмежено рамками позначеної залежності (1).

Карусельний принцип передбачає потужну міжкоридорну рециркуляцію субстрату за допомогою мішалки: $Q_{реци} \sim (40 \dots 200) \cdot Q_{вих}$, що забезпечує обслуговування суміжних об'ємів.

Двигуни мішалок можуть бути виконані у відповідності із захистом IP54 або IP68.

Захист IP54 передбачає, що двигун не стаціонарний, але в достатній мірі протистоїть пилу і дощу. Мішалки на базі такого двигуна, як правило, з довгим вертикальним валом, рис. 3. Перемішуючі потоки зазвичай спрямовані вертикально до днища. Для установки одиничного обладнання потрібно забезпечити умову співвідношення $L/B \leq 2/1$ [6].



Рис. 3. Мішалки з вертикальним валом виробників: Invent (Німеччина), GSD (Тайвань), Xylem-ITT Flygt (Швеція) [6]

Захист IP68 – двигун занурений, тому звичайно цей варіант називають «занурюваними мішалками». Вал при цьому короткий, потоки перемішування в

більшості випадків горизонтальні. Цей варіант заслужив найбільшу популярність.

Занурювальні мішалки в класичному вираженні поділяються на:

– високооборотисті безредукторні, які забезпечуються прямим приводом і високою швидкістю обертання $\sim 360-1400$ об/хв., залежно від діаметра робочого колеса ($\sim 0,8-0,14$ м) і потужності двигуна ($\sim 0,4-30$ кВт);

– низькооборотисті редукторні з лопатями великого діаметру $1,2-2,75$ м, при швидкості обертання $\sim 17-98$ об/хв., і потужності двигуна $\sim 0,5-7,5$ кВт;

– середньооборотисті, як правило, редукторні, що займають проміжне положення (фірми-виробники по-різному класифікують їх функціональну зону).

Із середини 1970-х років з'явилося обладнання, здатне здійснювати роль рециркуляторів мулової суміші – мішалки, що забезпечені занурювальним електродвигуном (IP68), які в метантенках з успіхом впроваджуються для забезпечення принципу поздовжньої рециркуляції, рис. 4 [6].



Рис. 4. Занурювальні мішалки [4]

Трохи пізніше, на базі тих же мішалок були розроблені рециркуляційні осьові насоси для забезпечення міжзонної рециркуляції.

При розміщенні занурювальних мішалок в резервуарах потрібно дотримуватися основних розмірів глибини установки мішалки і її позиціонування по відношенню до стінок резервуара [6]. Передбачається, що

мішалка буде розміщена на направляючій, встановленій біля стінки метантенка (рис. 5). Схема перемішування субстрату в метантенку буде здійснюватися відповідно до рис. 2.

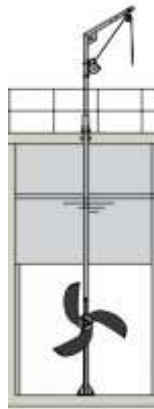
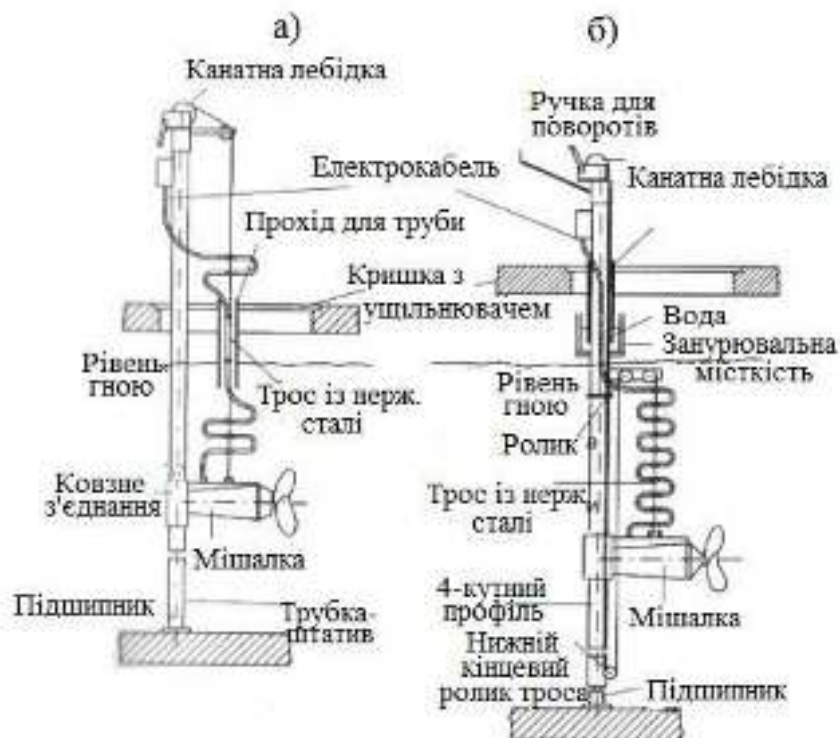


Рис. 5. Схема розміщення мішалки в метантенку [7]

Перемішування субстрату буде здійснюватися по всій вертикалі метантенка за рахунок руху мішалки по направляючій, як показано на рис. 6.



**Рис. 6. Пересувні занурювальні мішалки для біогазових установок [1]:
а – з можливістю змінювати висоту, без поворотів; б – з можливістю змінювати висоту, з поворотами**

Мета досліджень – встановлення конструктивно-технологічних параметрів мішалок метантенка біогазової установки для можливої їх заміни у випадку виходу з ладу.

Матеріали та методи дослідження. Діаметр пропелерної мішалки визначається за формулою [8]:

$$d_M = (0,1-0,5)D, \quad (2)$$

де d_M – діаметр мішалки, м; D – діаметр метантенка, м.

Якщо вибираємо швидкісну мішалку, то коефіцієнт у формулі (2) буде становити 0,1.

Тому розрахунковий діаметр пропелерної мішалки за формулою (2) становить:

$$d_M = 0,1 \cdot 3,3 = 0,33 \text{ м.}$$

Приймаємо пропелерну мішалку з профілем криловидної форми (рис. 7), конструктивні параметри якої наведені в табл. 1.

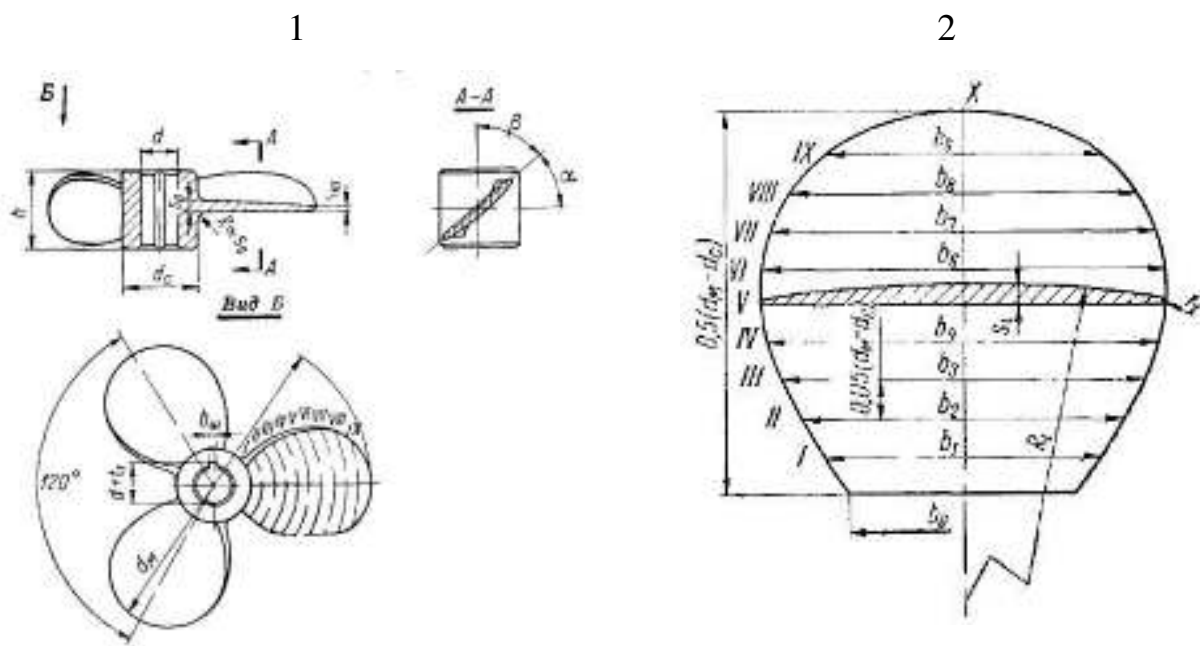


Рис. 7. Пропелерний переміщуючий пристрій з профілем криловидної форми [9]: 1 – конструкція; 2 – розгортка лопаті

1. Параметри пропелерного перемішуючого пристрою [9]

d_m	d	d_c	h	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	$b_5=b_6$
360	70	112	90	86	112	130	144,5	145	160,5

Продовження табл. 1

b_7	b_8	b_9	b_{10}	$d+t_1$	s_0	s_{10}
154	138	106	20	77,4	10,5	4

Результати досліджень та їх обговорення. Окружна швидкість мішалки встановлюється за [10]:

$$\omega = n \cdot \pi \cdot d_M, \quad (3)$$

де ω – окружна швидкість перемішуючого пристрою, м/с; n – частота обертання валу перемішуючого пристрою, об/хв.

Пропелерна мішалка відноситься до високооборотистих, тому приймаємо, що частота обертання валу мішалки становить 900 об/хв.

Тоді за формулою (3) окружна швидкість мішалки становить:

$$\omega = 900 \cdot 3,14 \cdot 0,33 = 15,5 \text{ м/с, або } 15 \text{ об/с.}$$

Втрати потужності мішалки на перемішування визначаються залежно від відцентрового числа Рейнольдса, значення якого визначається за формулою [10]:

$$Re_{ВЦ} = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d_M^2}{\mu_c}, \quad (4)$$

де $Re_{ВЦ}$ – відцентрове число Рейнольдса; μ_c – динамічна в'язкість середовища, що перемішується, Па·с; ρ_c – щільність середовища, що піддається перемішуванню, кг/м³; n – частота обертання валу мішалки, с⁻¹.

Щільність субстрату на основі гною ВРХ становить $\rho_c = 1050$ кг/м³, динамічна в'язкість – $\mu_c = 0,21$ Па·с.

Тоді $Re_{ВЦ}$ за формулою (4) становить:

$$Re_{вц} = \frac{1050 \cdot 15 \cdot 0,33^2}{0,21} = 8148.$$

Якщо $Re_{вц} > 1000$, то виникає турбулентна зона перемішування [10].

У цьому випадку потужність, що споживається на перемішування мішалкою, розраховується за формулою [10]:

$$N_M = K_N \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_M^5, \quad (5)$$

де N_M – потужність, що затрачається на перемішування, Вт; K_N – критерій потужності.

У роботі [9] представлені графіки для визначення критерію потужності K_N для пропелерних перемішувачів пристроїв залежно від величини відцентрового числа Рейнольдса. Згідно з ним, для $Re_{вц} = 8148$, $K_N = 0,1$.

Тоді за формулою (5) потужність, що споживається на перемішування мішалкою, становить:

$$N_M = 0,1 \cdot 1050 \cdot 15^3 \cdot 0,33^5 = 1376 \text{ Вт.}$$

Оскільки промисловістю випускаються стандартні занурювальні мішалки, для перемішування в метантенку вибираємо мішалку згідно проведеного конструктивно-технологічного розрахунку.

Приймаємо стандартну мішалку Wilo-EMU TR 39.95-6/8 (рис. 8) без редуктора. Технологічні параметри мішалки наведені в табл. 2, конструктивні – в табл. 3 та табл. 4.

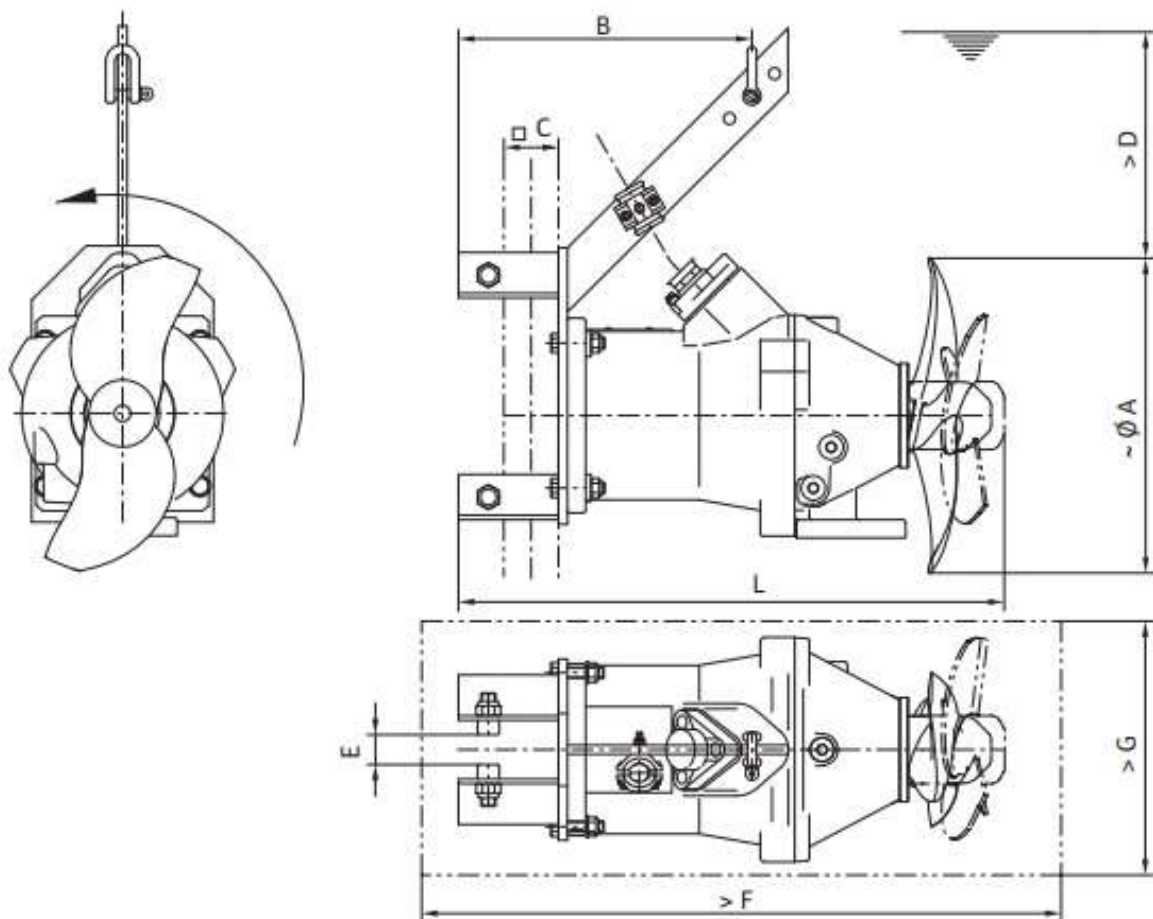


Рис. 8. Загальний вигляд занурювальної мішалки Wilo-EMU TR 39.95-6/8 [11]

2. Технологічні параметри занурювальної мішалки Wilo-EMU TR 39.95-6/8 [11]

Потужність, кВт	Частота обертання вала мішалки, об/хв.	Передаточне число редуктора	Максимальна сила тяги, Н
1,4	915	1	380

3. Конструктивні параметри занурювальної мішалки Wilo-EMU TR 39.95-6/8 [11]

A	B	C	D	E	F	G	L	Маса, кг	Макс. маса*, кг
360	320	60	500	33	740	560	590	61	95

* враховуючи приналежності

4. Параметри пропелерної мішалки з профілем криловидної форми [9]

d_m	d	d_c	h	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	$b_5=b_6$
360	70	112	90	86	112	130	144,5	145	160,5

Продовження табл. 4

b_7	b_8	b_9	b_{10}	$d+t_1$	s_0	s_{10}
154	138	106	20	77,4	10,5	4

Схема розміщення мішалки Wilo-EMU TR 39.95-6/8 в метантенку наведена на рис. 9.

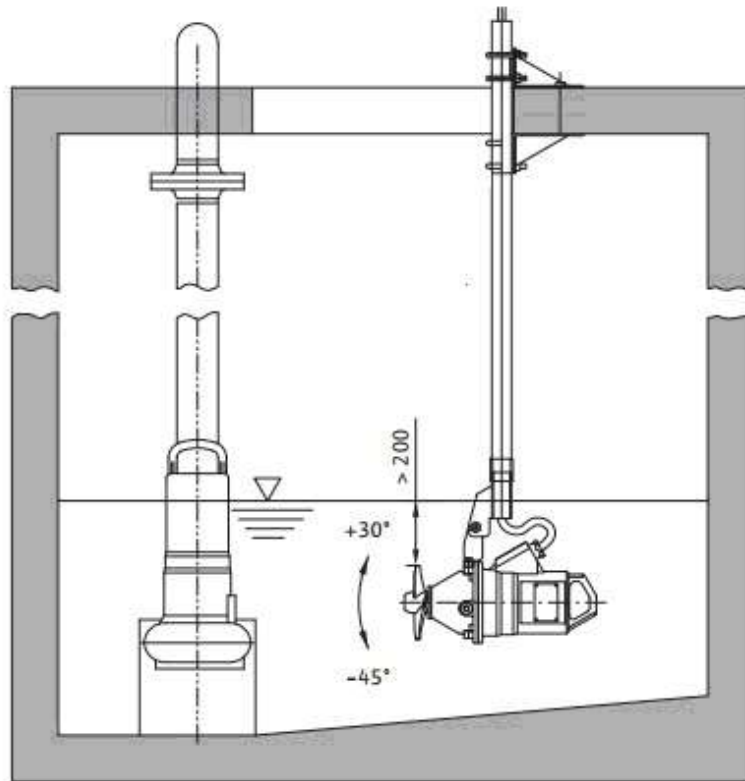


Рис. 9. Схема розміщення занурювальної мішалки Wilo-EMU TR 39.95-6/8 в удосконаленому метантенку [11]

Висновки і перспективи. На основі застосування запропонованої методики обґрунтовані конструктивно-технологічні параметри мішалок метантенка

біогазової установки Рокитнянського цукрового заводу для можливої заміни у випадку виходу їх із ладу. У подальшому отримані результати досліджень можуть бути ефективно використані при проектуванні перспективних біогазових установок.

Список літератури

1. Эдер Б. Биогазовые установки: практическое пособие / Б. Эдер, Х.Шульц. М.: Колос, 2006. – 240 с.
2. Альтернативна енергетика: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук та ін. К: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.
3. Мішалка занурю вальна // ZORGBIOGAS [Електронний ресурс]. URL: <http://www.zorgbiogas.ru/equipment/mixer-submersible?lang=ua> (дата доступу: 10.06.2018).
4. Перекачивание бурового раствора. Погружные насосы и мешалки ITT Flight: каталог. Flight. 6 с.
5. Погружные мешалки типа RW: каталог. ABS. – 9 с.
6. Баженов В.И. Погружные мешалки, как перспективное направление научно-исследовательских работ / В.И.Баженов, С.М. Божьева // Инженерный вестник. – 2015. – №7. – С. 19-28.
7. Погружные мешалки: Каталог. Wilo. 24 с.
8. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини для захисту рослин від шкідників і хвороб: навч. посібник / П.М. Заїка // Харків: Око, Т.1, Ч. 4. 2002. – 384 с.
9. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
10. Перемешивание в химической промышленности / З.Штербачек, П. Тауск Л.: ГНТИ хим. литературы, 1963. – 416 с.
11. Погружные мешалки Wilo. Оборудование для очистки воды: Каталог. Wilo. – 232 с

References

1. Eder, B., Schultz, H. (2006) Biogazovyye ustanovki: prakticheskoye posobiye [Biogas installations: a practical manual]. Moscow: Kolos, 240.
2. Melnichuk, M.D., Dubrovin, V.O., Mironenko, V.G. Grigoryuk, , I. P., Polishchuk, V. M. et al (2011). Alternatyvna enerhetyka [Alternative energy]. Kyiv: Agrar Media Group, 612.
3. Mishalka zanuriuvalna [Mixer submersible]. ZORGGBOGAZ. Avalable at: <http://www.zorgbiogas.ru/equipment/mixer-submersible> lang = ua (access date: 10.06.2018).

4. Perekachivaniye burovogo rastvora. Pogruzhnyye nasosy i meshalki ITT [Transfer of drilling mud. Submersible pumps and mixers ITT]. Flieght: catalog. Flieght, 6.
5. Pogruzhnyye meshalki tipa RW: katalog [RW submersible mixers: catalog]. AIB, 9.
6. Bazhenov, V. I, Bozhiev, S. M. (2015) Pogruzhnyye meshalki, kak perspektivnoye napravleniye nauchno-issledovatel'skikh rabot [Submersible mixers as a promising area of research]. Engineering bulletin, №7, 19-28.
7. Pogruzhnyye meshalki: Katalog [Submersible stirrers: Catalog]. Wilo, 24.
8. Zaika, P.M. (2002) Teoriia silskohospodarskykh mashyn. Mashyny dlia zakhystu roslyn vid shkidnykiv i khvorob [The theory of agricultural machines. Machines for protecting plants from pests and diseases: teach manual]. Kharkiv: Oko, Vol.1, Part. 4, 384.
9. Lashchinsky, A. A, Tolchinsky, A. R (1970). Osnovy konstruirovaniya i rascheta khimicheskoy apparatury: spravochnik [Fundamentals of design and development of chemical equipment: a reference book]. Leningrad: Mashinostroyeniye, 752.
10. Sternbach, Z., Tausk, P. (1963). Peremeshivaniye v khimicheskoy promyshlennosti [Mixing in the chemical industry]. Leningrad: GNTI chem. Literature, 416.
11. Pogruzhnyye meshalki Wilo. Oborudovaniye dlya ochistki vody: Katalog [Submersible mixers Wilo. Water purification equipment: Catalytic]. Wilo, 232.

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ МЕШАЛОК МЕТАНТЕНКА БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ**
С. А. Шворов, В. Н. Полищук, В. В. Ильто

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена возрастающим использованием биогазовых установок (БГУ) в Украине. Целью исследований является установление конструктивно-технологических параметров мешалок метантенка биогазовой установки. Проанализированы погружные механические мешалки субстрата и мешалки поверхностного типа. Приведены методические основы расчета диаметра пропеллерной мешалки и ее круговой скорости, а также потери мощности мешалки при перемешивании субстрата. Обоснованы конструктивно-технологические параметры мешалок метантенка биогазовой установки Рокитнянского сахарного завода для возможной их замены в случае выхода из строя.

Ключевые слова: *биогазовая установка, субстрат, перемешивающие устройства, конструктивно-технологические параметры*

**SUBSTANTIATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF STRAINERS METHANETIC OF BIOGAS
INSTALLATION**

S. Shvorov, V. Polischuk, V. Iltyo

Abstract. *The relevance of the study is due to the increasing use of biogas plants (BSU) in Ukraine. The aim of the research is to determine the design and technological parameters of the agitators of the biogas plant methane. Submersible mechanical agitators of a substrate and a surface type mixer were analyzed. The methodological basis for calculating the diameter of the propeller stirrer and its circular velocity, as well as the power loss of the stirrer with the substrate being mixed, are given. The design and technological parameters of the agitators of the methane tank of the biogas plant of the Rokytnyansky sugar refinery for possible replacement in case of failure are substantiated.*

Key words: *biogas plant, substratum, mixing devices, design and technological parameters*