Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Доктор технічних наук, професор Геннадій Голуб
(Національний університет біоресурсів і природокористування України).

Доктор технічних наук, професор Савелій Кухарець
(Поліський національний університет)

2024

Лекція 6. ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

1. **Сучасні тенденції розвитку технологій видалення та використання гною.**

2. **Сучасні тенденції розвитку біогазових установок.**

3. **Аналіз метаноутворення в біогазових установках.**

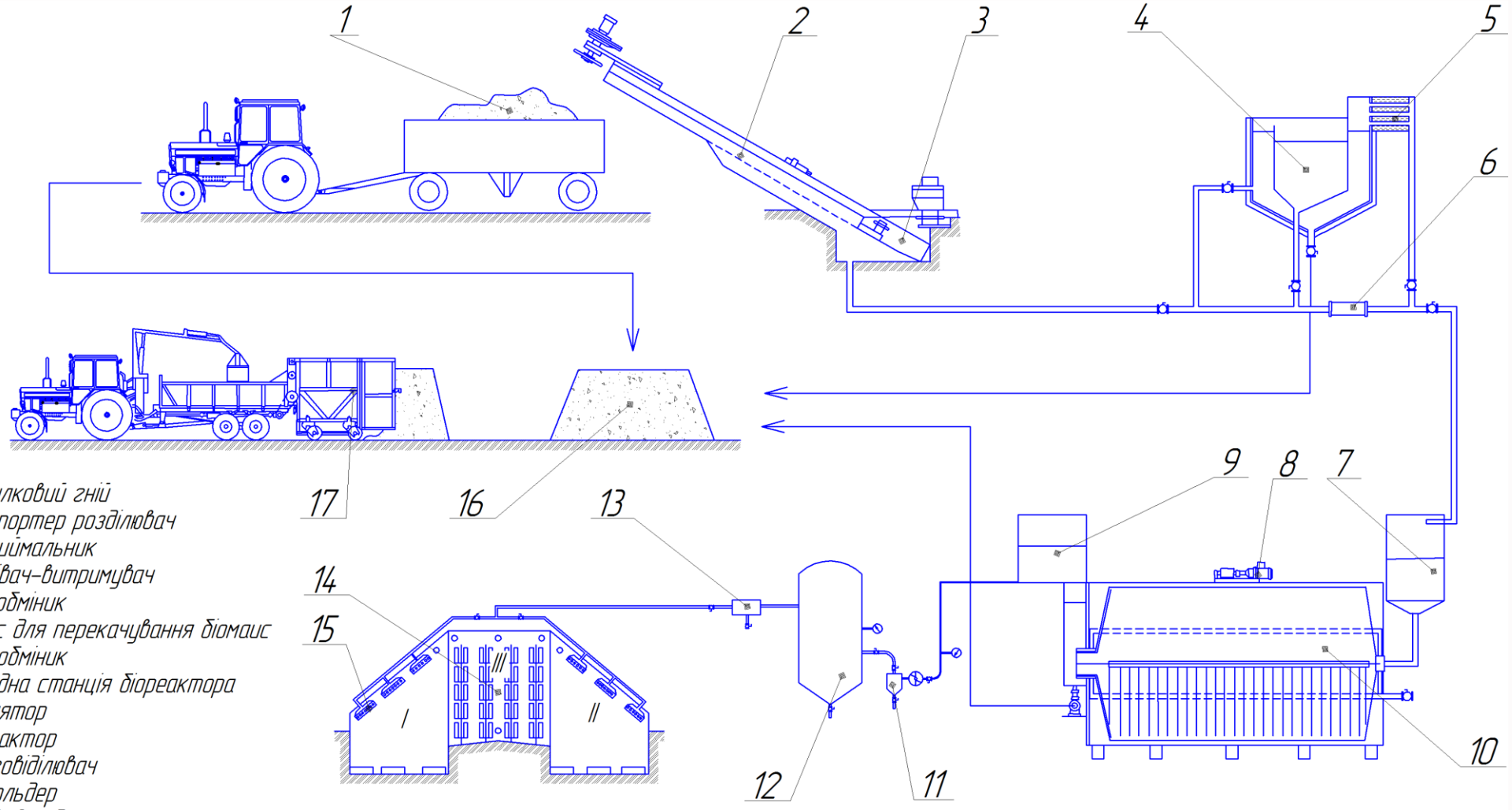
4. **Кінетика зброджування органічної маси в біогазових установках.**

5. **Розрахунок питомого виходу біометану.**

Лабораторна робота 6: Визначення параметрів похилого транспортера для зневоднення біомаси при підготовці до аеробного та анаеробного зброджування.

Практична робота 6: Розрахувати основні технологічні параметри біогазової установки для зброджування гною.

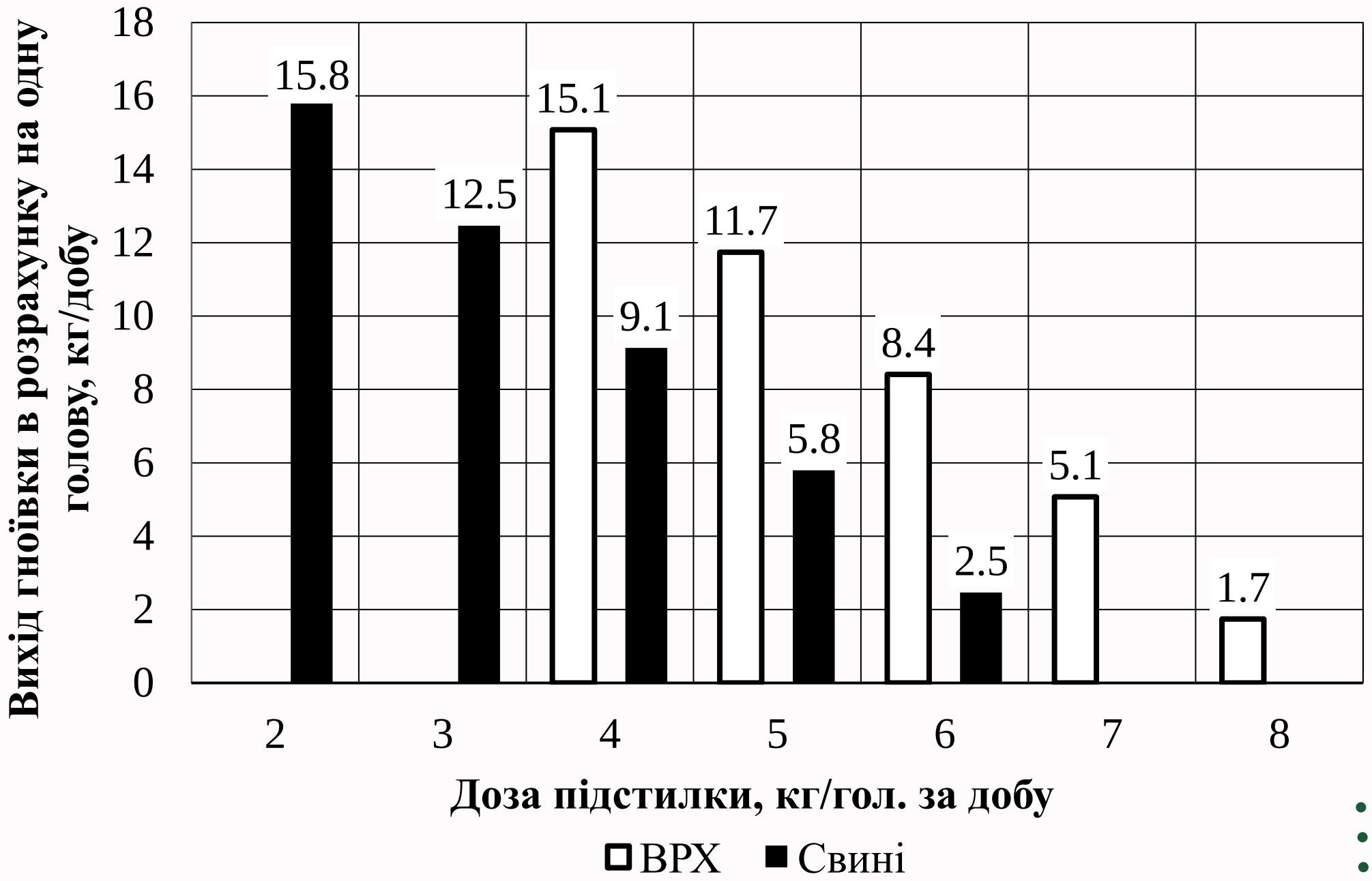
1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИДАЛЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ГНОЮ



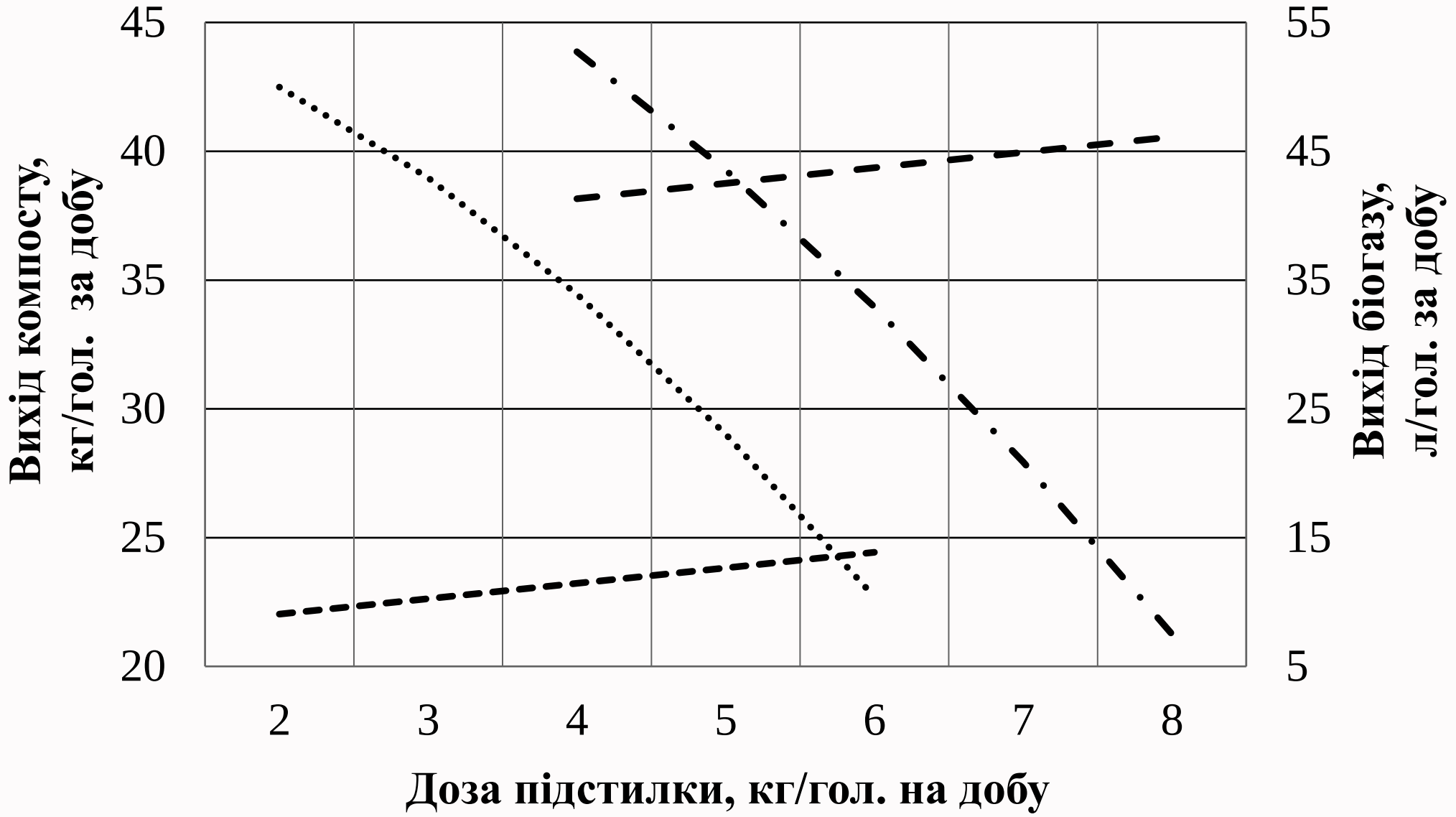
1 – Підстилковий гній
2 – Транспортер розділювач
3 – Гнієприймальник
4 – Підігрівач-витримувач
5 – Теплообмінник
6 – Насос для перекачування біомаис
7 – Теплообмінник
8 – Приводна станція біореактора
9 – Інокулятор
10 – Біореактор
11 – Вологовідділювач
12 – Газгольдер
13 – Газовий редуктор
14 – Теплиця, грибниця
15 – Інфрачервоний газовий пальник
16 – Компостний майданчик
17 – Агрегат для виробництва компосту в буртах

I – денне приміщення (теплиця-світлиця); II – нічне приміщення (теплиця-темниця); III – культиваційне приміщення для грибів.

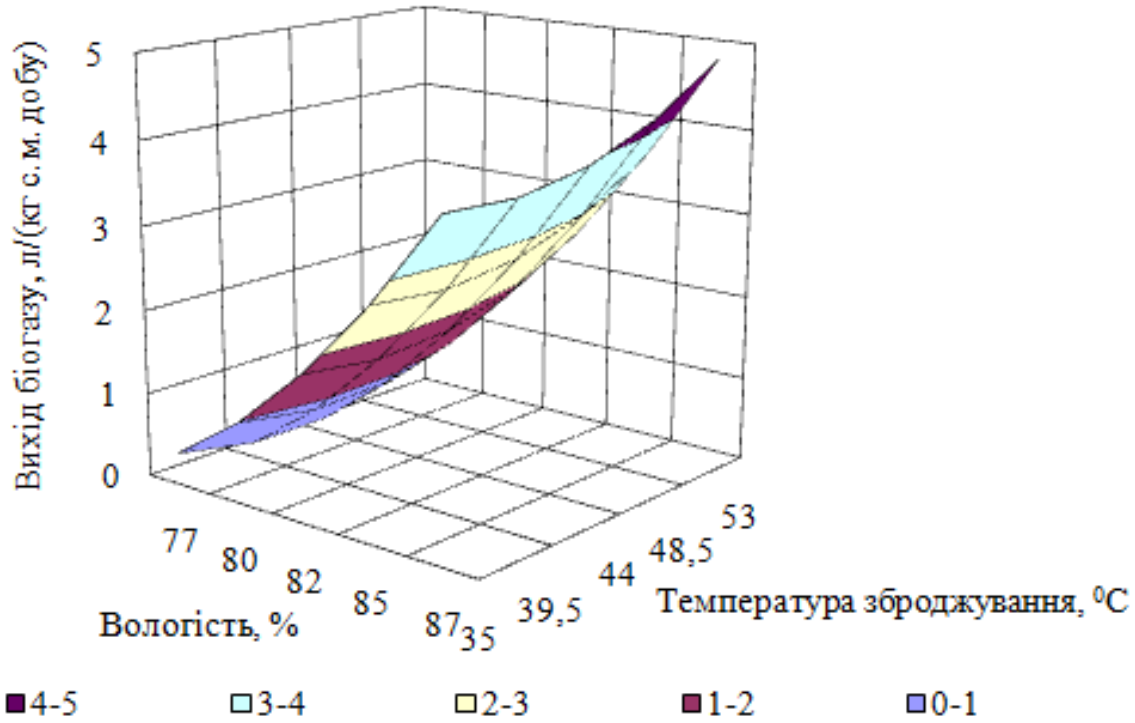
ЗАЛЕЖНІСТЬ ВИХОДУ ГНОЇВКИ ВІД ДОЗИ ПІДСТИЛКИ

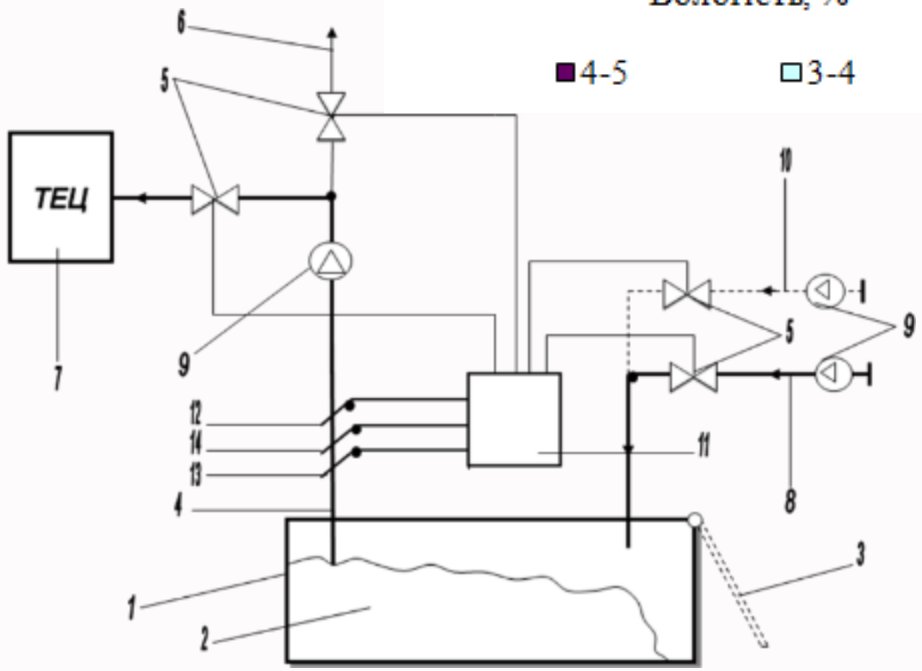


ВПЛИВ ДОЗИ ПІДСТИЛКИ НА ВИХІД БІОГАЗУ ТА КОМПОСТУ



2. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК





1 – ферментер; 2 – біомаса; 3 – завантажувально-розвантажувальний отвір; 4 – вихід біогазу; 5 – клапан; 6 – газопровід; 7 – блок ТЕЦ; 8 – лінія відпрацьованого газу ТЕЦ; 9 – вентилятор; 10 – лінія свіжого повітря; 11 – пульт управління; 12 – датчик метану; 13 – датчик концентрації вуглекислого газу; 14 – датчик для визначення об'ємної витрати біогазу

МЕТАНОУТВОРЕННЯ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

На першій стадії анаеробного зброджування під дією бактерій відбувається гідроліз субстрату з утворенням органічних кислот, спиртів, простих вуглеводів. На другій стадії утворюється оцтова кислота, водень та вуглекислий газ. Ці стадії анаеробного зброджування можуть бути узагальнені наступними рівняннями:

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 4H_2 + 2CO_2$$
$$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2$$
$$CH_3CHOHCOOH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2 + CO_2$$
$$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$$
$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$$
$$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH + 4H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 5H_2 + CO_2$$

де $C_6H_{12}O_6$ – глюкоза; CH_3CH_2OH – етанол; $CH_3CHOHCOOH$ – лактат; $CH_3CH_2CH_2COOH$ – масляна кислота; CH_3CH_2COOH – пропіонова кислота; $CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$ – валеріанова кислота; H_2O – вода; CH_3COOH – оцтова кислота; H_2 – водень;. CO_2 – вуглекислий газ.

180 кг $(C_6H_{12}O_6)$ = 48 кг (CH_4) + 132 кг (CO_2)
46 кг (CH_3CH_2OH) = 24 кг (CH_4) + 22 кг (CO_2)
90 кг $(CH_3CHOHCOOH)$ = 24 кг (CH_4) + 66 кг (CO_2)
88 кг $(CH_3CH_2CH_2COOH)$ + 18 кг (H_2O) = 40 кг (CH_4) + 66 кг (CO_2)
74 кг (CH_3CH_2COOH) + 9 кг (H_2O) = 28 (CH_4) + 55 кг (CO_2)
102 кг $(CH_3CH_2CH_2CH_2COOH)$ + 27 кг (H_2O) = 52 кг (CH_4) + 77 кг (CO_2)

МЕТАНОУТВОРЕННЯ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

Метаногенез відбувається за рахунок діяльності мікроорганізмів, які відновлюють вуглекислий газ до метану, а також таких, що розкладають в кінцевому підсумку оцтову кислоту на метан і вуглекислий газ

$$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$
$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

Складова частина біомаси	Вихід біометану, %:		Масовий вихід в перерахунку на 1 кг розкладеної біомаси	
	за рахунок розщеплення CH_3COOH	за рахунок відновлення CO_2	CH_4	CO_2
$C_6H_{12}O_6$	66,7	33,3	0,267	0,733
CH_3CH_2OH	66,7	33,3	0,522	0,478
$CH_3CHOHCOOH$	66,7	33,3	0,267	0,733
$CH_3CH_2CH_2COOH$	80	20	0,455	0,75
CH_3CH_2COOH	57,1	42,9	0,378	0,743
$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$	61,5	38,5	0,51	0,755
В середньому	**66,45**	**33,55**	**0,4**	**0,7**

Таким чином, мікробіологічний розклад під час анаеробної ферментації 1 кг органічної речовини супроводжується виділенням в середньому 0,4 кг метану та 0,7 кг вуглекислого газу.

СХЕМАТИЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ВИХОДУ БІОМЕТАНУ ТА БІОГАЗУ ІЗ РОЗКЛАДЕНОЇ ОРГАНІЧНОЇ МАСИ

РОЗРАХУНОК ЩІЛЬНОСТІ БІОГАЗУ

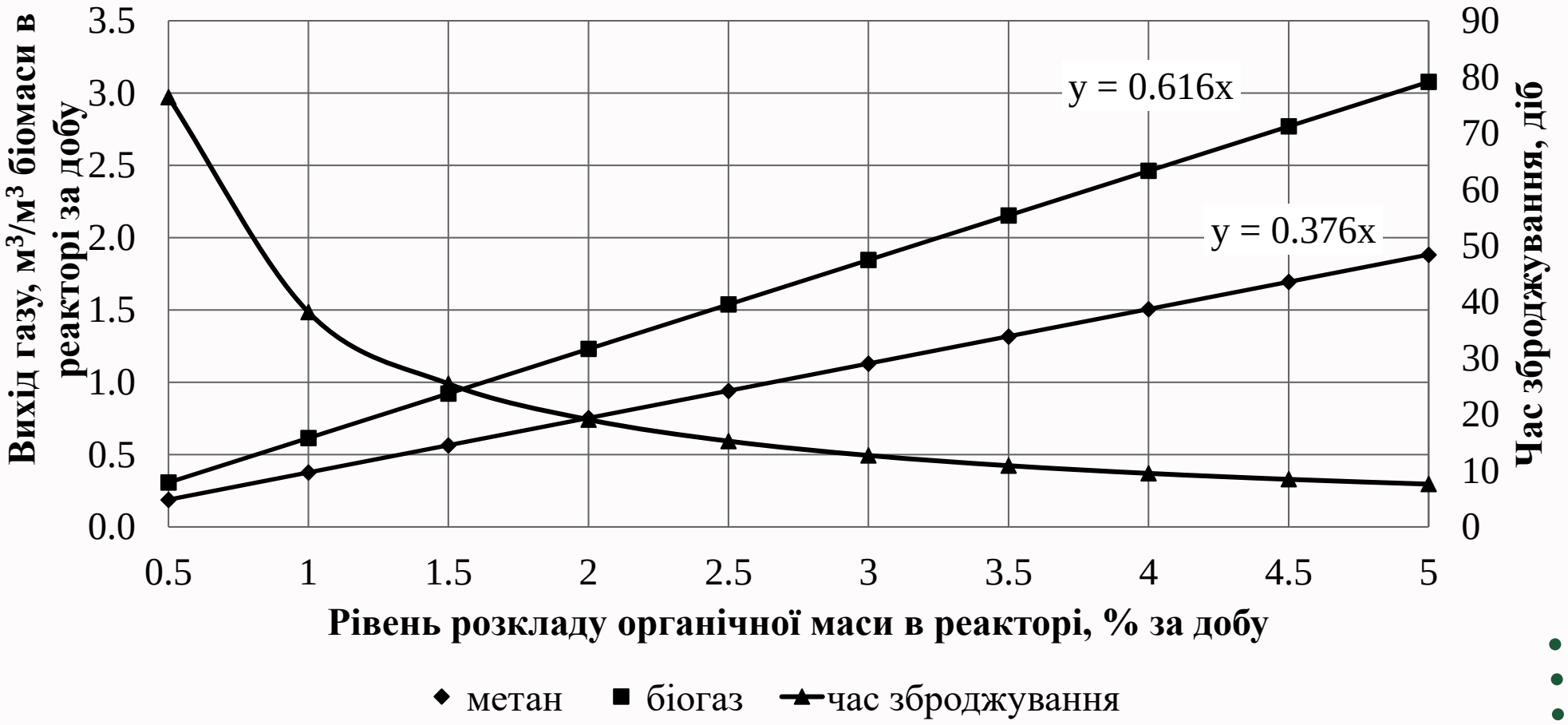
Показник	Од. виміру	CH_4	CO_2
Розрахунок при умовах роботи біогазового реактора			
Універсальна газова постійна	Дж/(кмоль К)	8314,41	
Молярна маса	кг/кмоль	16	44
Тиск біогазу	Па	102551	
Температура біогазу	^{0}C	37	
Щільність газу	кг/м^3	0,636	1,750
Об'ємний вихід на 1 кг розкладеної біомаси	м^3/кг	0,628	0,399
Концентрація газу в біогазі	%	61,1	38,9
Вага газу в 1 м^3 біогазу	кг/м$^3_{БГ}$	0,389	0,680
Щільність біогазу	**кг$_{БГ}$/м$^3_{БГ}$**	**1,069**	
Розрахунок при нормальних умовах			
Тиск біогазу	Па	101325	
Температура біогазу	^{0}C	0	
Щільність газу	кг/м^3	0,714	1,963
Вага газу в 1 м^3 біогазу	кг/м$^3_{БГ}$	0,436	0,763
Щільність біогазу	**кг$_{БГ}$/м$^3_{БГ}$**	**1,199**	

ПИТОМИЙ ВИХІД БІОГАЗУ ТА БІОМЕТАНУ

Показник	Позначення	Од. виміру	Значення
Густина біомаси	$\rho_{БМ}$	$кг_{БМ}/м^3_{БМ}$	1081
Вологість	$W_{БМ}$	%	87
Вміст води	m_B	$кг_B/кг_{БМ}$	0,87
Вміст сухої маси	$100\text{-}W_{БМ}$	%	13
	$m_{СМ}$	$кг_{СМ}/кг_{БМ}$	0,13
Вміст органічної маси	–	%	80
	$k_{ОМ}$	$кг_{ОМ}/кг_{СМ}$	0,8
Інтенсивність розкладу органічної маси	–	**% за добу**	**3,0**
	$k_{РОМ}$	**$кг_{РОМ}/кг_{ОМ}$ за добу**	**0,03**
	–	**$кг_{РОМ}/м^3_{БМ}$ за добу**	**3,373**
Вихід біогазу із розкладеної органічної маси за нормальних умов	$m_{БГ}$	$кг_{БГ}/кг_{РОМ}$	1,1
	$m_{БГ}/\rho_{БГ}$	$м^3_{БГ}/кг_{РОМ}$	0,92
Вихід біогазу із реактора за нормальних умов	$V_{БГ}$	**$м^3_{БГ}/м^3_{БМ}$ за добу**	**3,09**
Вихід біометану за нормальних умов	V_{CH_4}	**$м^3CH_4/м^3_{БМ}$ за добу**	**1,889**
Максимальний рівень розкладу органічної біомаси	–	%	30
	–	$кг_{РОМ}/м^3_{БМ}$	33,7
Час зброджування	τ	**діб**	**10**

ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ РОЗКЛАДУ ОРГАНІЧНОЇ МАСИ НА ПИТОМИЙ ВИХІД БІОМЕТАНУ, БІОГАЗУ ТА ЧАС ЗБРОДЖУВАННЯ

$$V_{БГ} = \rho_{БМ}\left(1-\frac{W_{БМ}}{100}\right)k_{ОМ}k_{РОМ}\frac{m_{БГ}}{\rho^{Н}_{БГ}},\ м^3_{БГ}/м^3_{БМ}\ за\ добу$$



ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

У реакторі через деякий час спостерігається розділення біомаси з утворенням шарів із-за різниці в щільності органічної та мінеральної складових, а також руху біогазу (флотації частинок біомаси).

Більша частина маси бактерій знаходиться в нижній частині реактора, а біомаса, яка розкладається у верхній, що обумовлено різницями у їх щільності. При цьому контакт бактерій із органічною біомасою порушується.

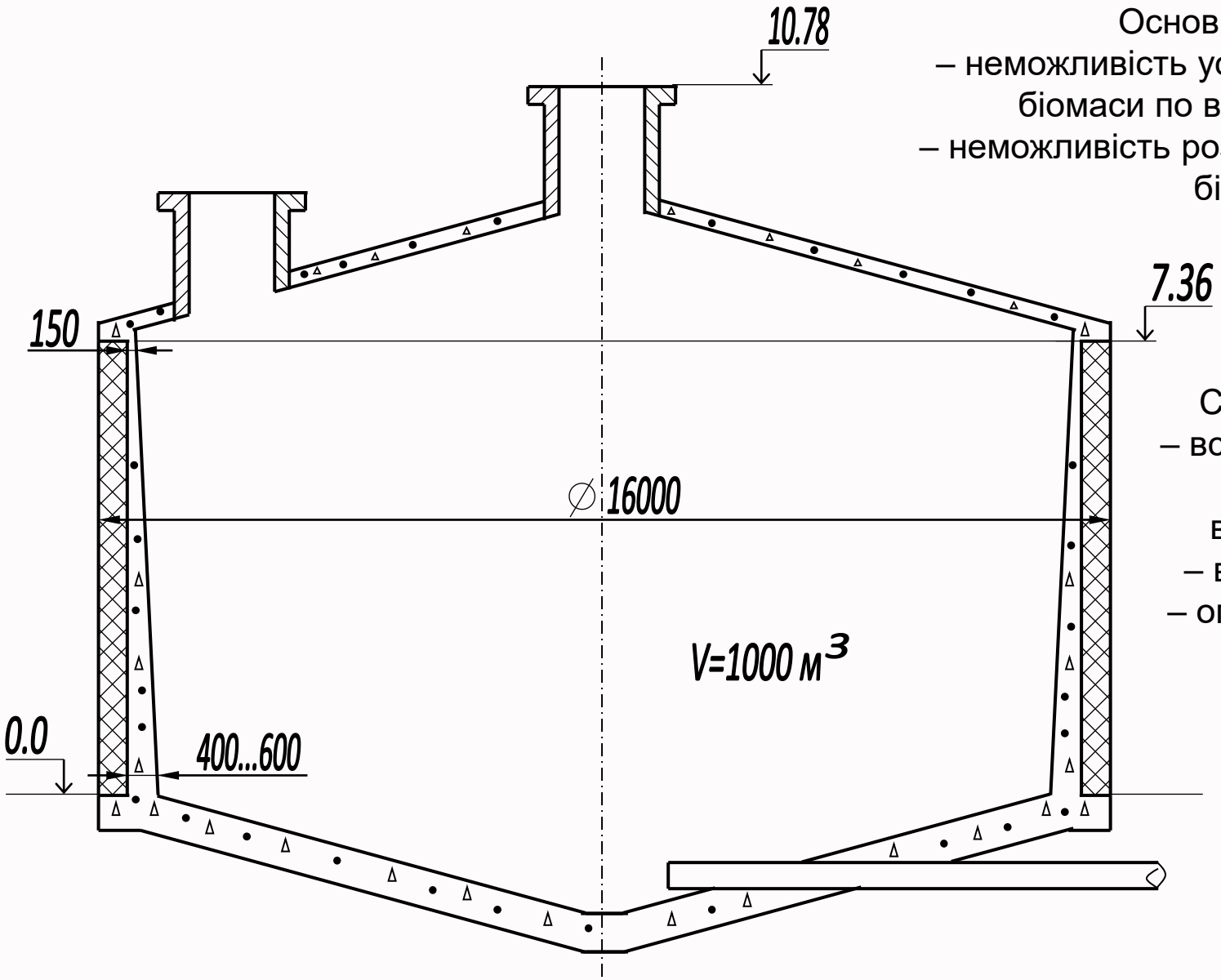
Органічна біомаса, що спливає утворює плаваючу кірку на поверхні, яка утруднює вихід біогазу із біомаси.

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.

Компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу.

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.

МЕТАНТЕНК ІЗ ПАРОВИМ РОЗІГРІВОМ БІОМАСИ ПО ТИПОВОМУ ПРОЕКТУ 902-2-228



Основні недоліки:
– неможливість усунення розшарування біомаси по висоті метантенка;
– неможливість розподілу тепла по об'єму біомаси.

Сучасні удосконалення:
– встановлення мішалок, що переміщуються у вертикальній площині;
– водяний нагрів біомаси;
– огороджуючі конструкції із сучасних матеріалів;
– еластичний купол-газозбірник.

БІОГАЗОВОВА УСТАНОВКА “КОБОС-1”

Технічна характеристика установки

Температурний режим зброджування – 43-47 ^{0}С

Загальний об'єм метантенків – 250 м^3 (2х125 м^3)

Встановлена потужність електрообладнання – 15 кВт

Добове завантаження біомаси – 20-25 м^3

Добовий вихід біогазу – 200-230 м^3 за добу

Біогаз на власні теплові потреби – 40 %

Маса – близько 50 т

Термін окупності – 4-5 років

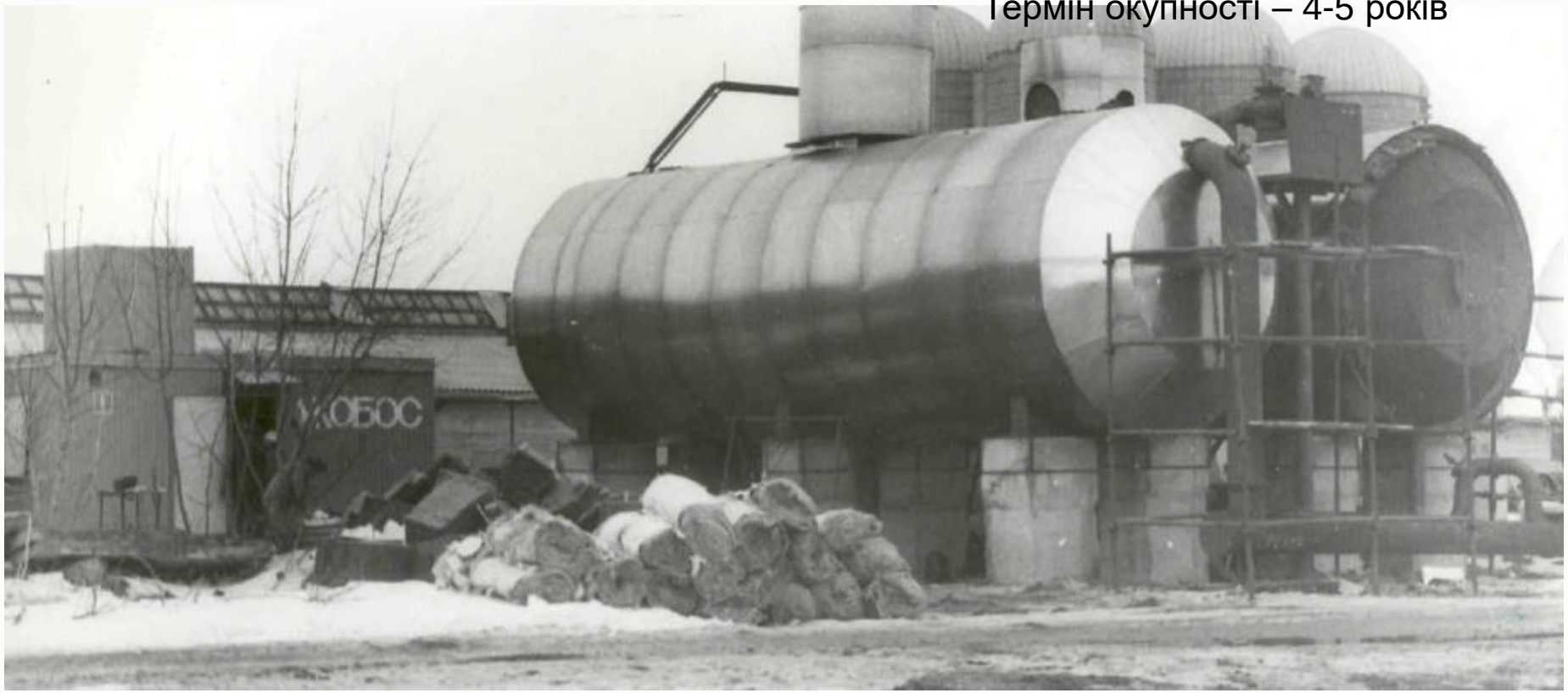
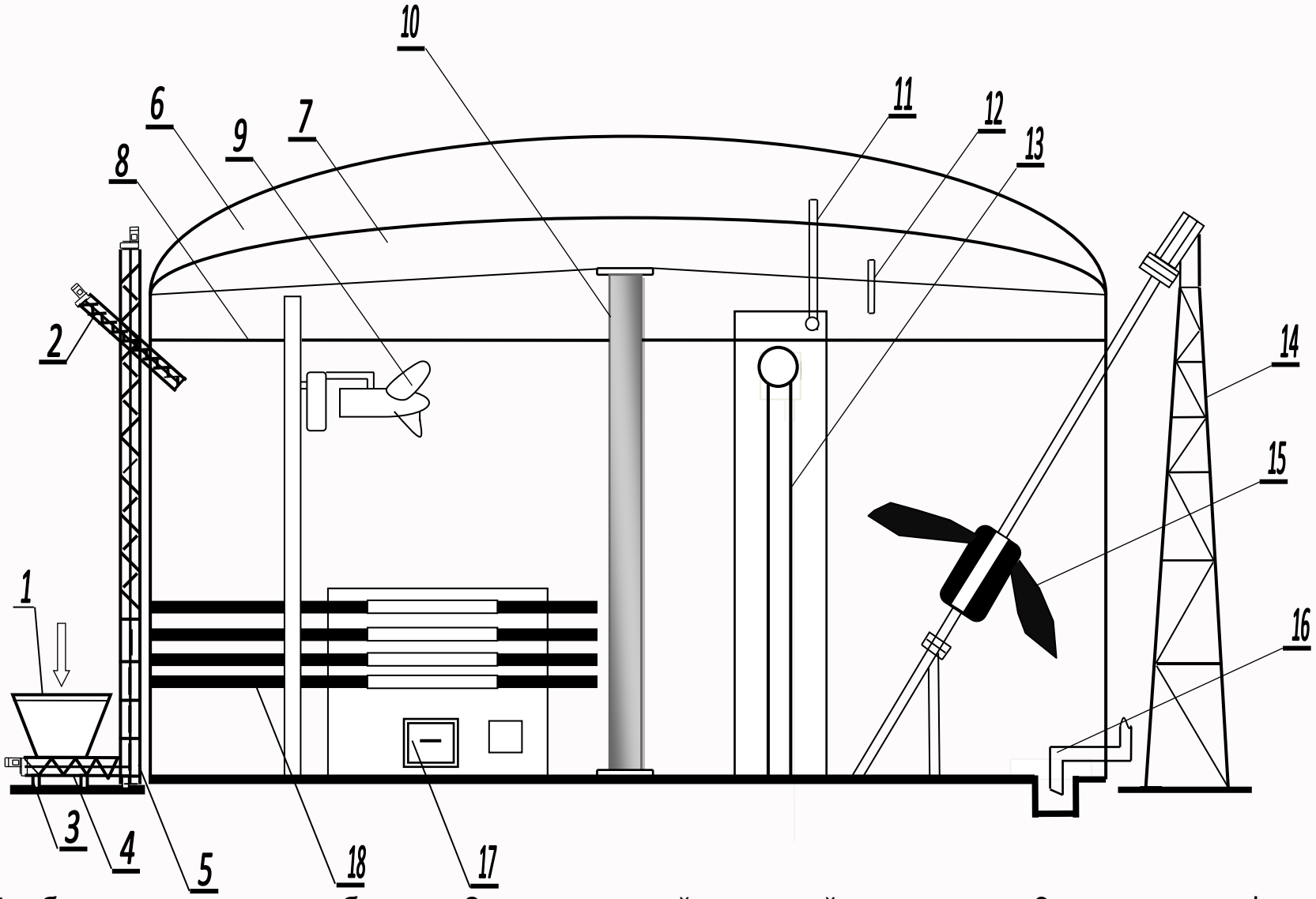


СХЕМА СУЧАСНОГО БІОГАЗОВОГО РЕАКТОРА ЄМНІСНОГО ТИПУ



1 – бункер для сипкого субстрату; 2 – подавальний гвинтовий транспортер; 3 – вагова платформа; 4 – гвинтовий нижній транспортер; 5 – піднімаючий гвинтовий транспортер; 6 – повітряний купол; 7 – біогазовий купол; 8 – рівень наповнення; 9 – вертикальна рухома мішалка; 10 – центральна опора; 11 – труба для подачі повітря; 12 – патрубок для біогазу; 13 – труба для подачі рідкого гною; 14 – опора для мішалки; 15 – похила мішалка; 16 – патрубок для відведення біомаси; 17 – система регулювання температури; 18 – система підігріву біомаси.

ВАРІАНТИ РЕАЛІЗАЦІЇ РІДКОФАЗНИХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

ПОКАЗНИКИ ДІЮЧИХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Підприємство	Рік введення в експлуатацію	Вид сировини	Об'єм, $м^3$	Потужність, МВт
Свиноферма "Запоріжсталь"	1993	Гній свиней	600	–
Свиноферма "Агро-Овен" Дніпропетровська обл.	2003	Гній свиней	2×1000	2×0,06
Зелений гай Херсонська обл.	2008	Силос кукурудзи	1150	2×0,125
"Еліта" Київська обл.	2009	Гній ВРХ та свиней	1500	0,25
"УМК" Київська обл.	2009	Гній ВРХ	3×2400+ 1×1000	0,625
Свиноферма "Даноша" Івано-Франківська обл.	2013	Гній свиней та силос кукурудзи	2×5500	1
Птахофабрика "Орель-Лідер" Дніпропетровська обл.	2013	Послід та силос сорго	10×3500	5
Глобинський цукровий завод Полтавська обл.	2014	Жом та силос	6×8000	16

НЕДОЛІКИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

СКРЕПЕРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИБИРАННЯ ГНОЮ З УДОСКОНАЛЕНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Міністерство аграрної політики та продовольства України

Державна наукова установа

«Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

ПРОТОКОЛ

державних приймальних випробувань дослідного зразка

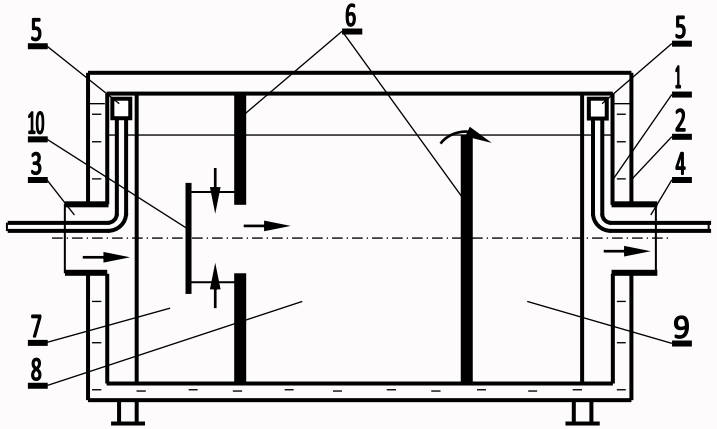
№ 01-36-2014

СКРЕПЕРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИБИРАННЯ ГНОЮ З УДОСКОНАЛЕНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

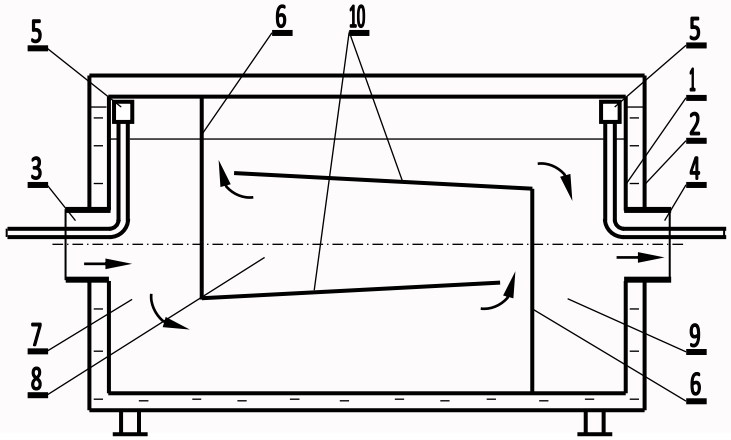
Дослідницьке 2014

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ МОДУЛЬНИХ МЕТАНТЕНКІВ З ОБЕРТОВИМ РЕАКТОРОМ



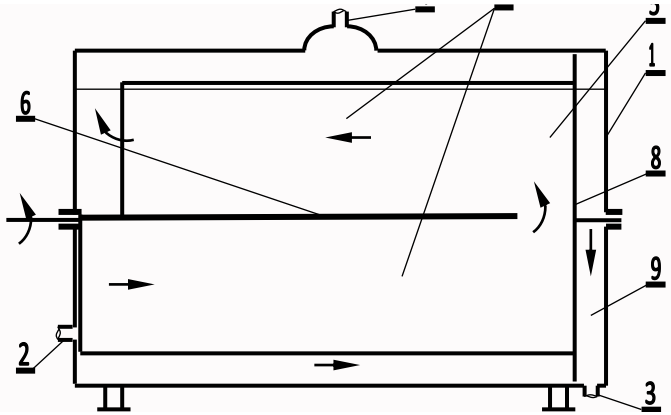
Патент на винахід 74718:

1 – циліндричний корпус; 2 – теплоізольований 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.



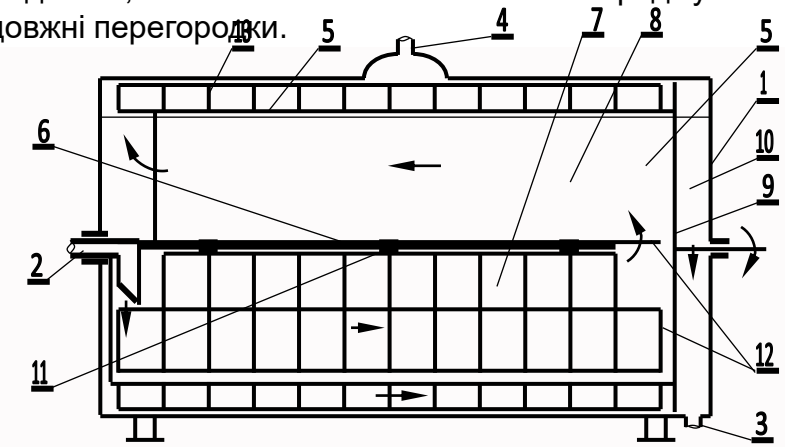
Патент на винахід 81154:

1 – циліндричний корпус; 2 – теплоізольований 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.



Патент на винахід 89305:

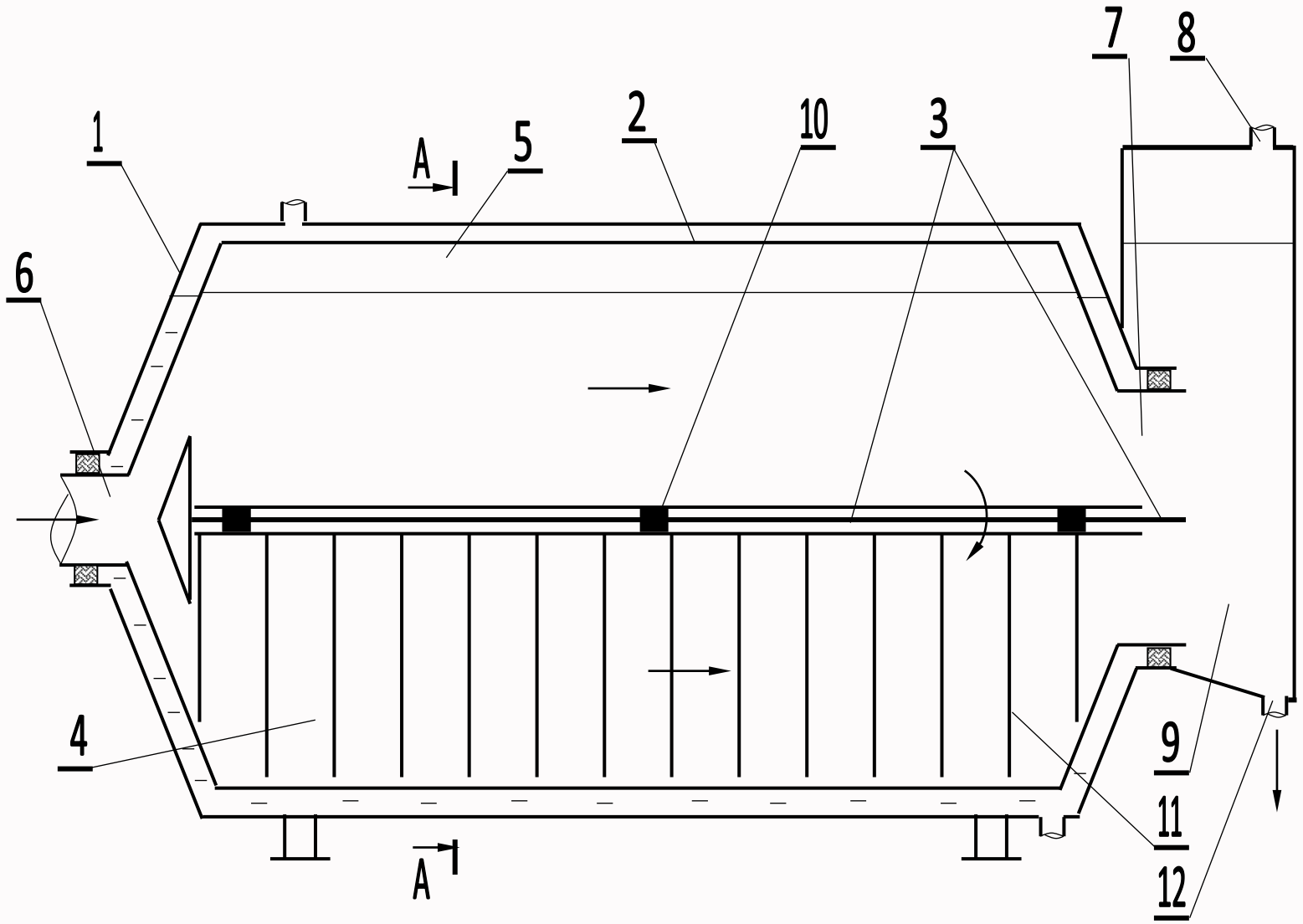
1 – циліндричний корпус; 2, 3 – патрубки для підводу й відводу органічної маси; 4 – патрубок біогазу; 5 – циліндричний перемішувальний пристрій; 6 – перегородка; 7 – камера зброджування; 8 – основа циліндричного перемішувального пристрою; 9 – вивантажувальна камера.



Патент на винахід 97995:

1 – циліндричний корпус; 2, 3 – патрубки для завантаження та вивантаження; 4 – патрубок для біогазу; 5 – циліндричний перемішувальний пристрій; 6 – перегородка; 7, 8 – камери зброджування; 9 – основа перемішувального пристрою; 10 – вивантажувальна камера; 11 – шарніри; 12, 13 – решітчасті

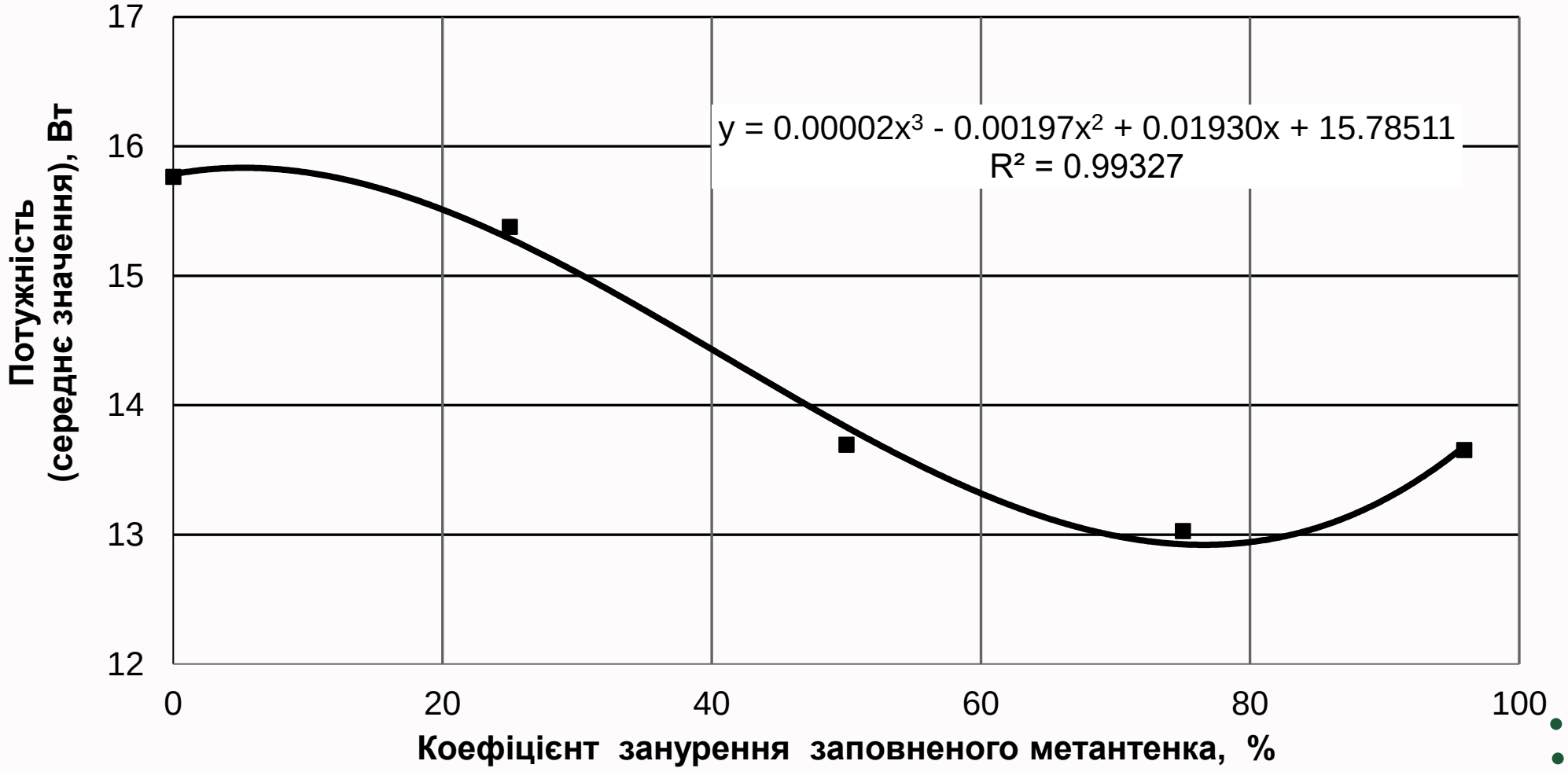
МОДУЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА (Патент на винахід 101226)



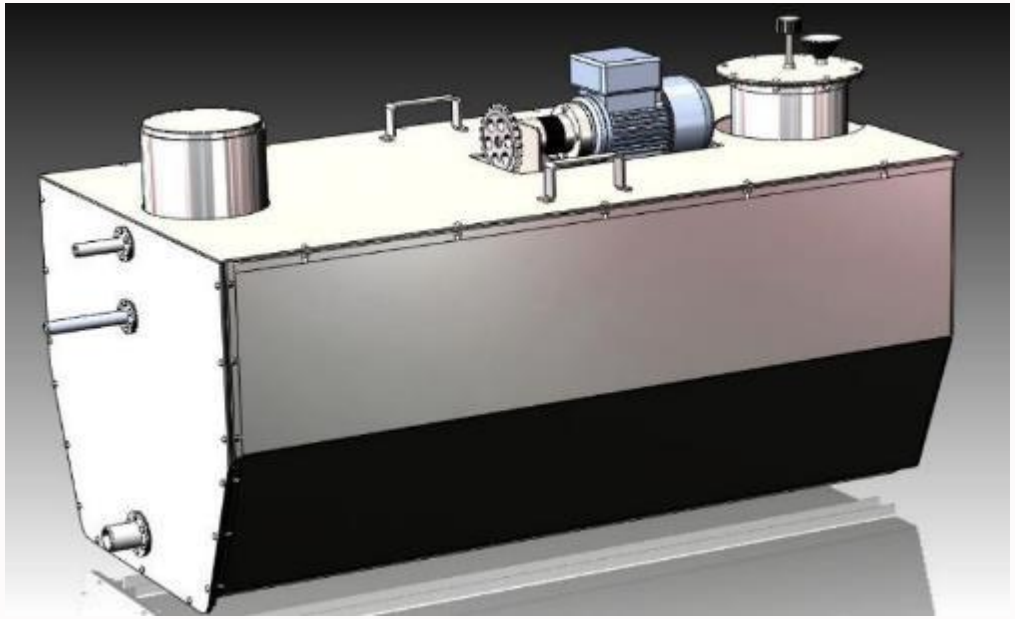
1 – горизонтальний зовнішній корпус наповнений рідиною; 2 – циліндричний обертовий реактор; 3 – повздовжня перегородка; 4, 5 – камери зброджування; 6, 7 – патрубки для підводу та відводу органічної маси; 8 – патрубок для відводу біогазу; 9 – вивантажувальна камера; 10 – шарніри; 11 – перемішувальні пальці; 12 – патрубок для відводу органічної маси

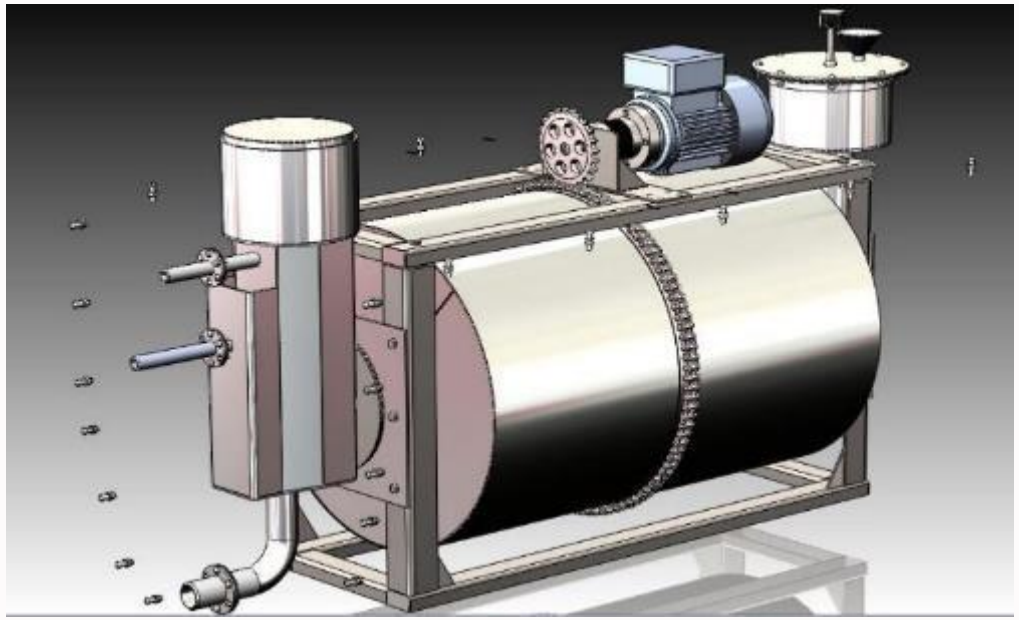
ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ЗАНУРЕННЯ ЗАПОВНЕНОГО ОБЕРТОВОГО МЕТАНТЕНКА НА ПОТУЖНІСТЬ ПРИВОДНОГО МЕХАНІЗМУ

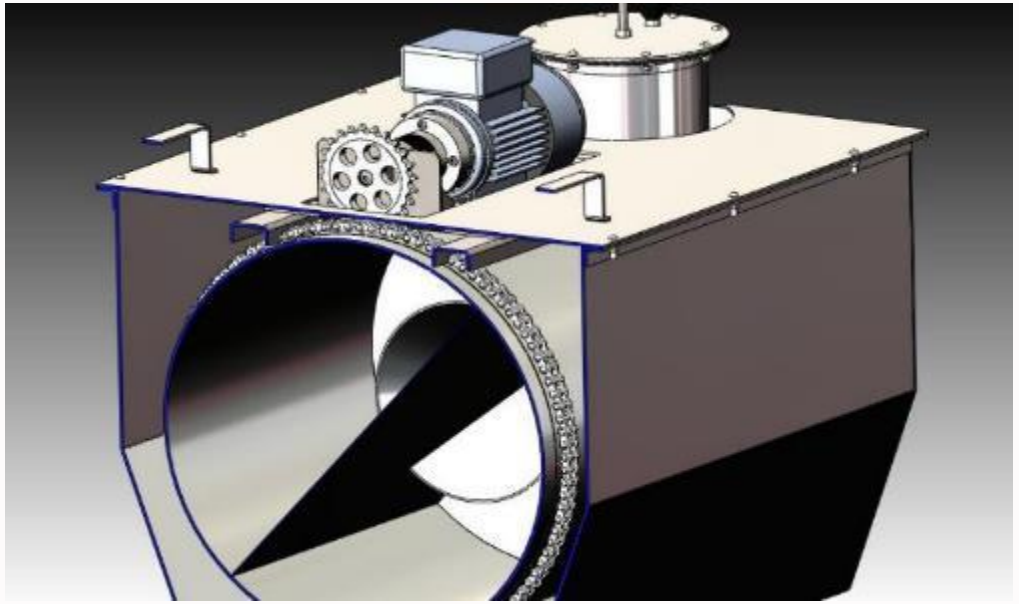
$$P = \left(P_{ОП} + P_{ВТЗ} + P_{ВТВ} + P_{ПБ} - P_{ОБ} + J\omega \frac{d\omega}{dt} \right) \left(\eta_{ЕД} \eta_{П} \cos\varphi \right)^{-1}$$

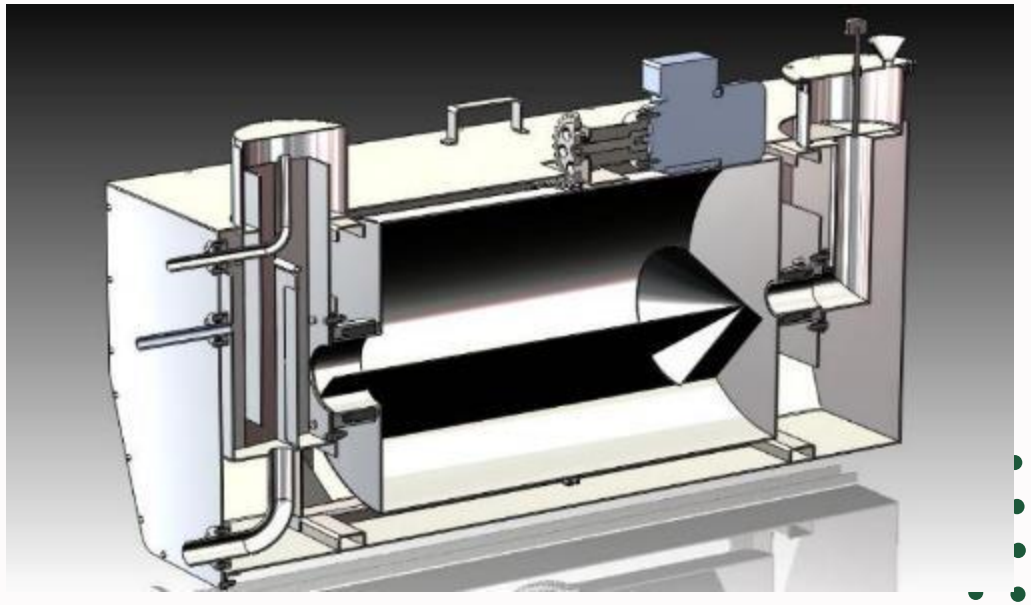


ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА МОДУЛЬНОГО ТИПУ З ОБЕРТОВИМ РЕАКТОРОМ



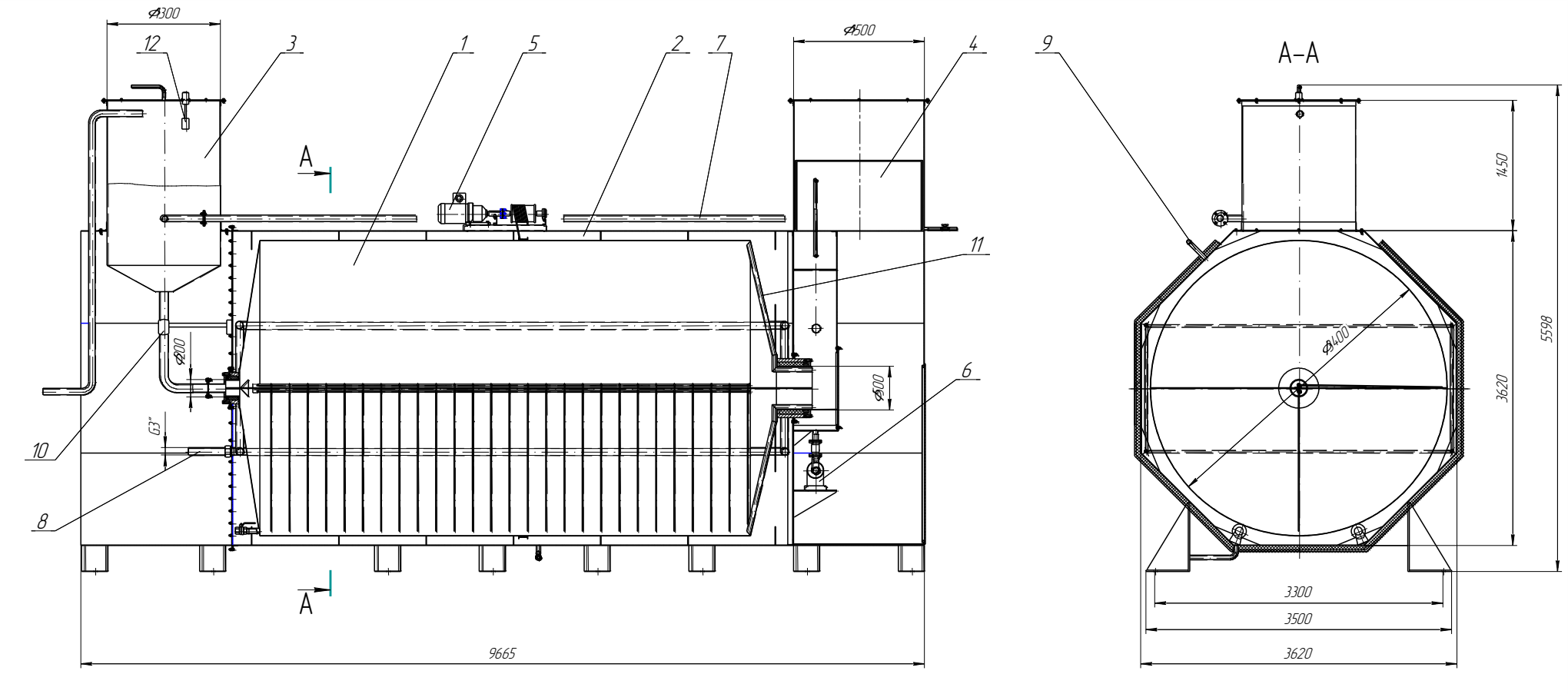






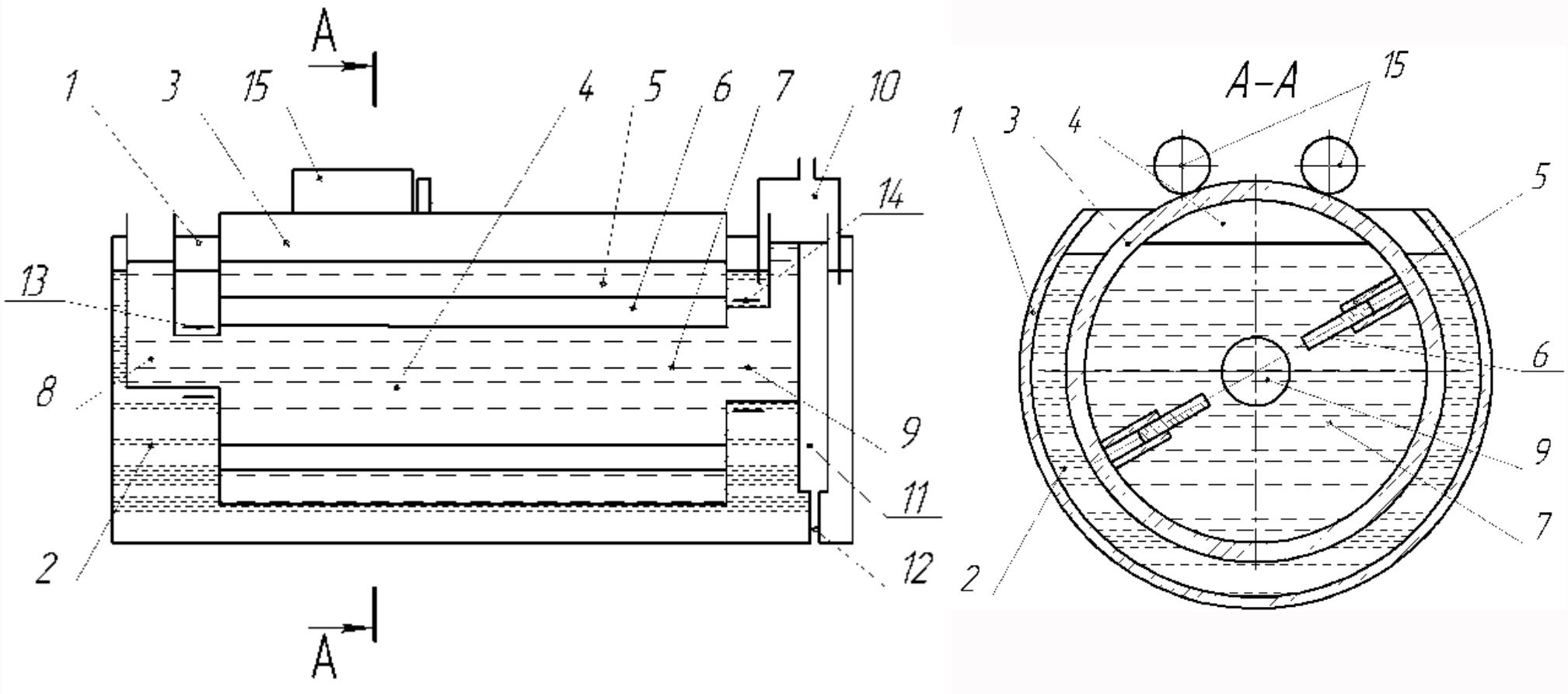
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА МОДУЛЬНОГО ТИПУ З ОБЕРТОВИМ РЕАКТОРОМ

УСТАНОВКА БІОГАЗОВА МОДУЛЬНОГО ТИПУ – 60 м^3



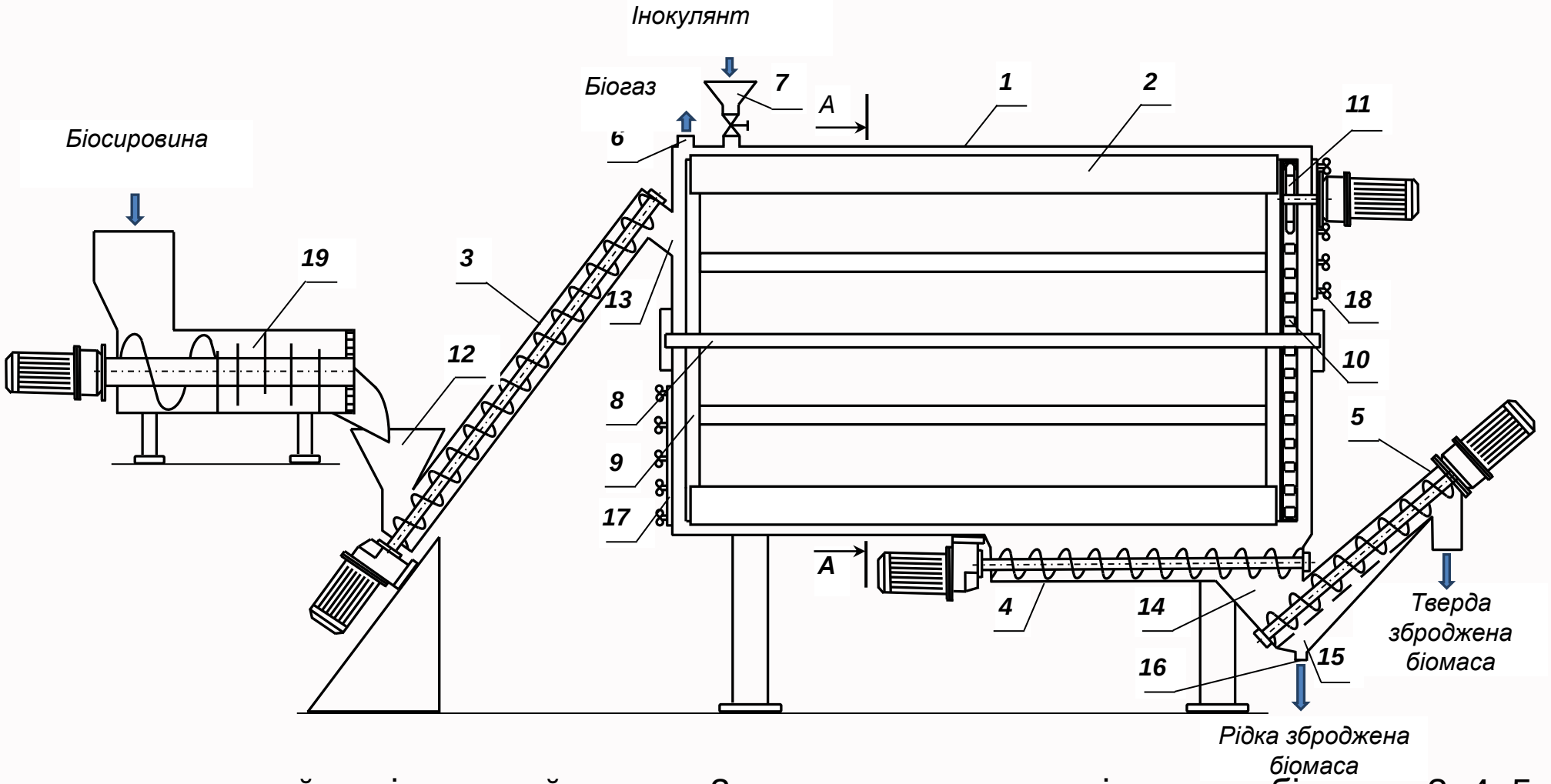
1 – біореактор; 2 – ємність; 3 – теплообмінник; 4 – інокулятор; 5 – привод біореактора; 6 – насос для перекачування біомаси; 7 – трубопровід для перекачування біомаси; 8 – трубопровід для подачі гарячої води; 9 – трубопровід для доливання води в ємність; 10 – механізм загрузки біомаси; 11 – труба для відведення газу із біореактора; 12 – датчик рівня рідини

МОДУЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА (Патент на винахід 110077)



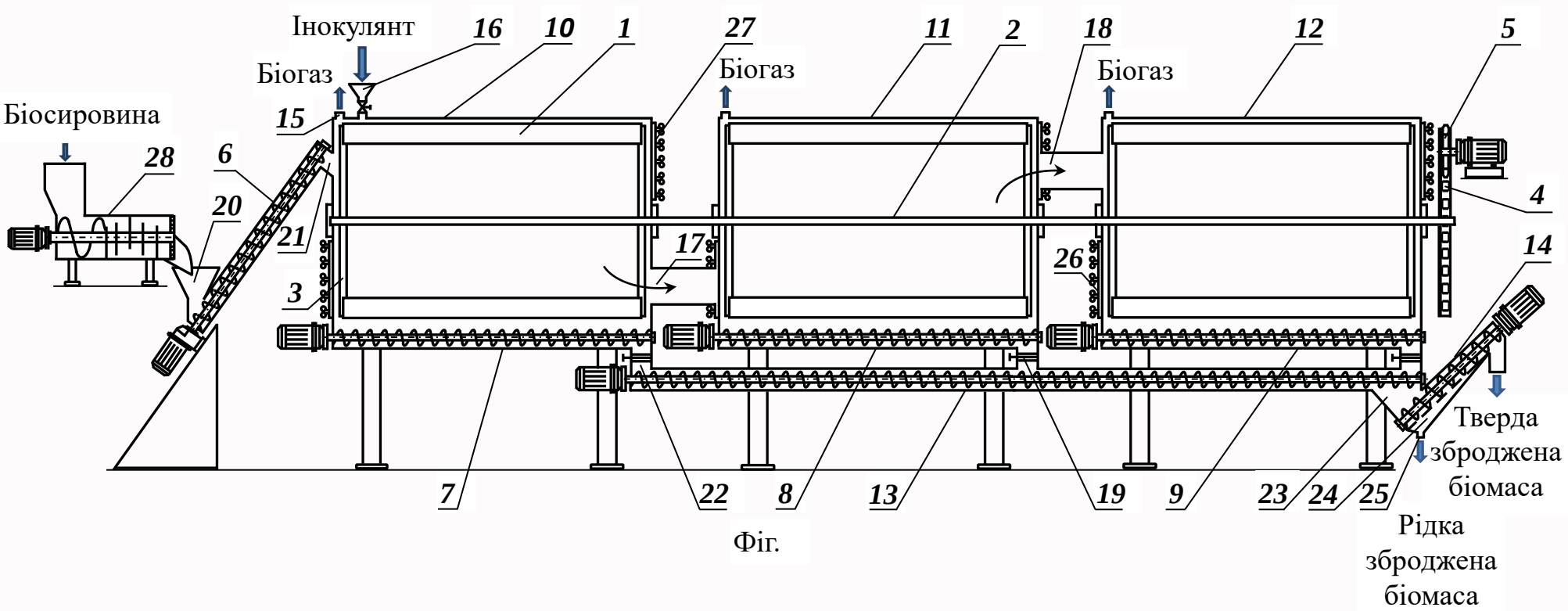
1 – горизонтальний зовнішній корпус; 2 – рідина; 3 – циліндричний реактор; 4 – камера зброджування; 5 – перегородка; 6 – рухомі пластини можливістю радіального переміщення; 7 – органічною масою; 8, 9 – патрубки для підводу та відводу органічної маси; 10 – патрубок для відводу біогазу; 11 – вивантажувальна камера; 12 – патрубок для вивантаження органічної маси; 13, 14 – підшипникові вузли; 15 – зовнішній привод

МОДУЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА (Патент на винахід 113264)



1 – горизонтальний циліндричний корпус; 2 – лопатки для перемішування біомаси; 3, 4, 5 – гвинтові транспортери; 6 – патрубок для відводу біогазу; 7 – пристрій для інокуляції біомаси; 8 – центральний горизонтальний вал; 9 – обертово-лопатевий механізм; 10 – кільцевий ланцюг;11 – привідна зірочка; 12 – бункер для завантаження біомаси; 13 – патрубок; 14 – перехідна камера; 15 – камера збору рідкої зброджeної фракції; 16 – патрубок видалення рідкої біомаси; 17, 18 – люки; 19 – подрібнювач біосировини

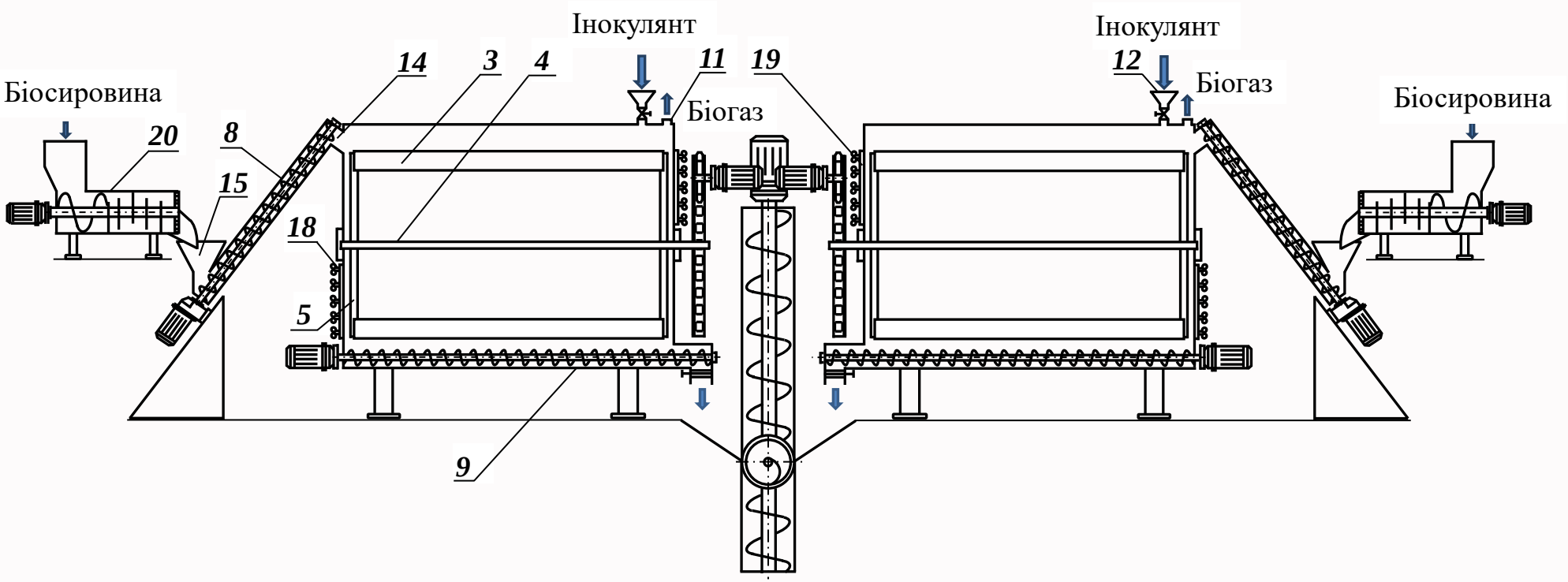
МОДУЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА (Патент на винахід 116509)



Фіг.

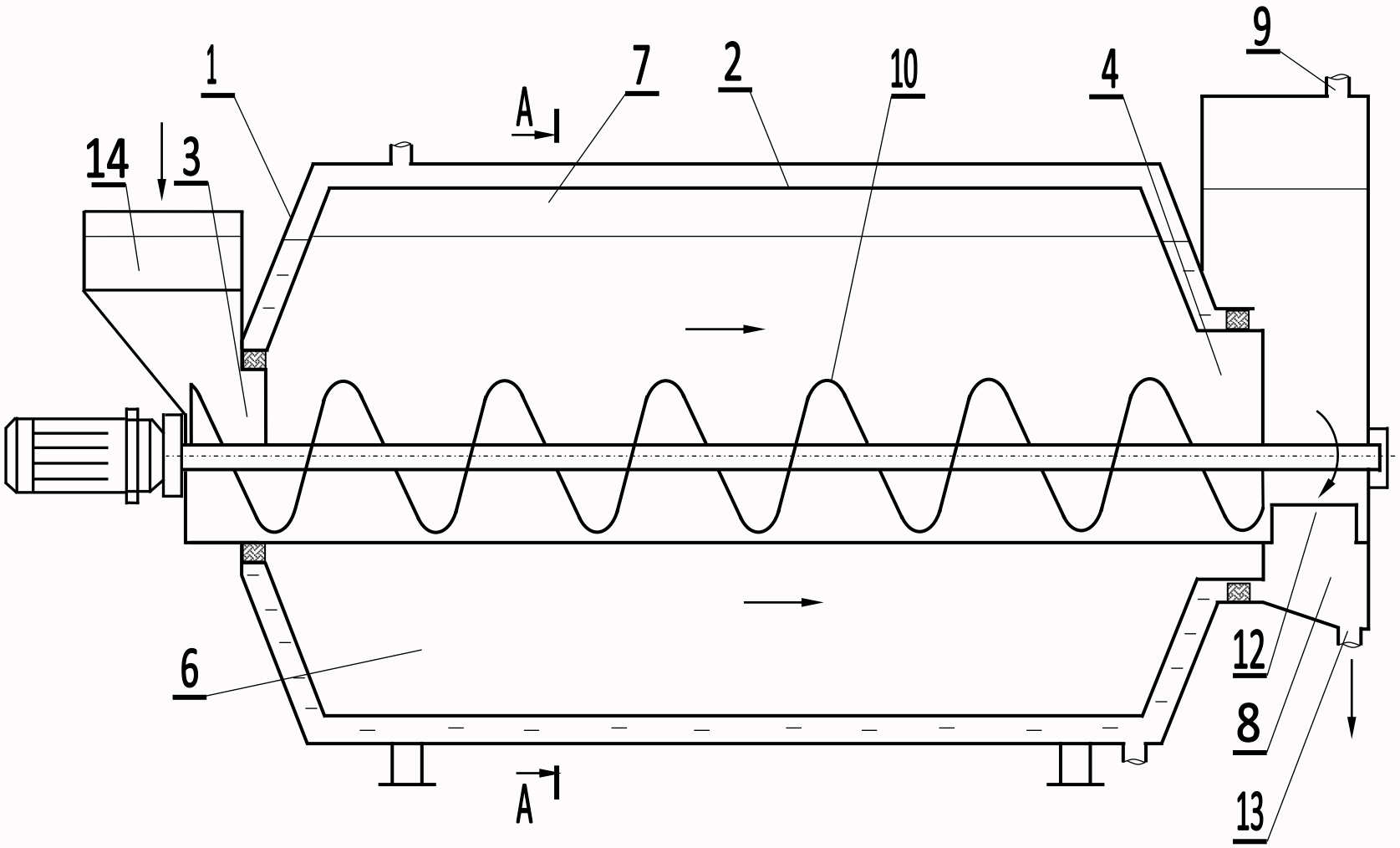
1 – лопатки для перемішування біомаси у вигляді рухомих пластин із можливістю радіального переміщення; 2 – центральний горизонтальний вал; 3 – обертово-лопатевий механізм; 4 – кільцевий ланцюг; 5 – привідна зірочка; 6 7, 8 та 9 – гвинтові транспортери; 10, 11 та 12 – ємності; 13 – загальний гвинтовий вивантажувальний транспортер; 14 – гвинтовий транспортер для вивантаження зброджeної біомаси з можливістю її розділення на тверду та рідку фракції; 15 – патрубок для відводу біогазу; 16 – пристрій для інокуляції біомаси; 17, 18 – нижній та верхній патрубки для переливу біомаси; 19 – регулювальна заслінка; 20 – бункер для завантаження біомаси; 21, 22 та 25 – патрубки; 23, 24 – камери; 26, 27 – люки; 28 – подрібнювач біосировини

МОДУЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА
(Патент на винахід 119842)



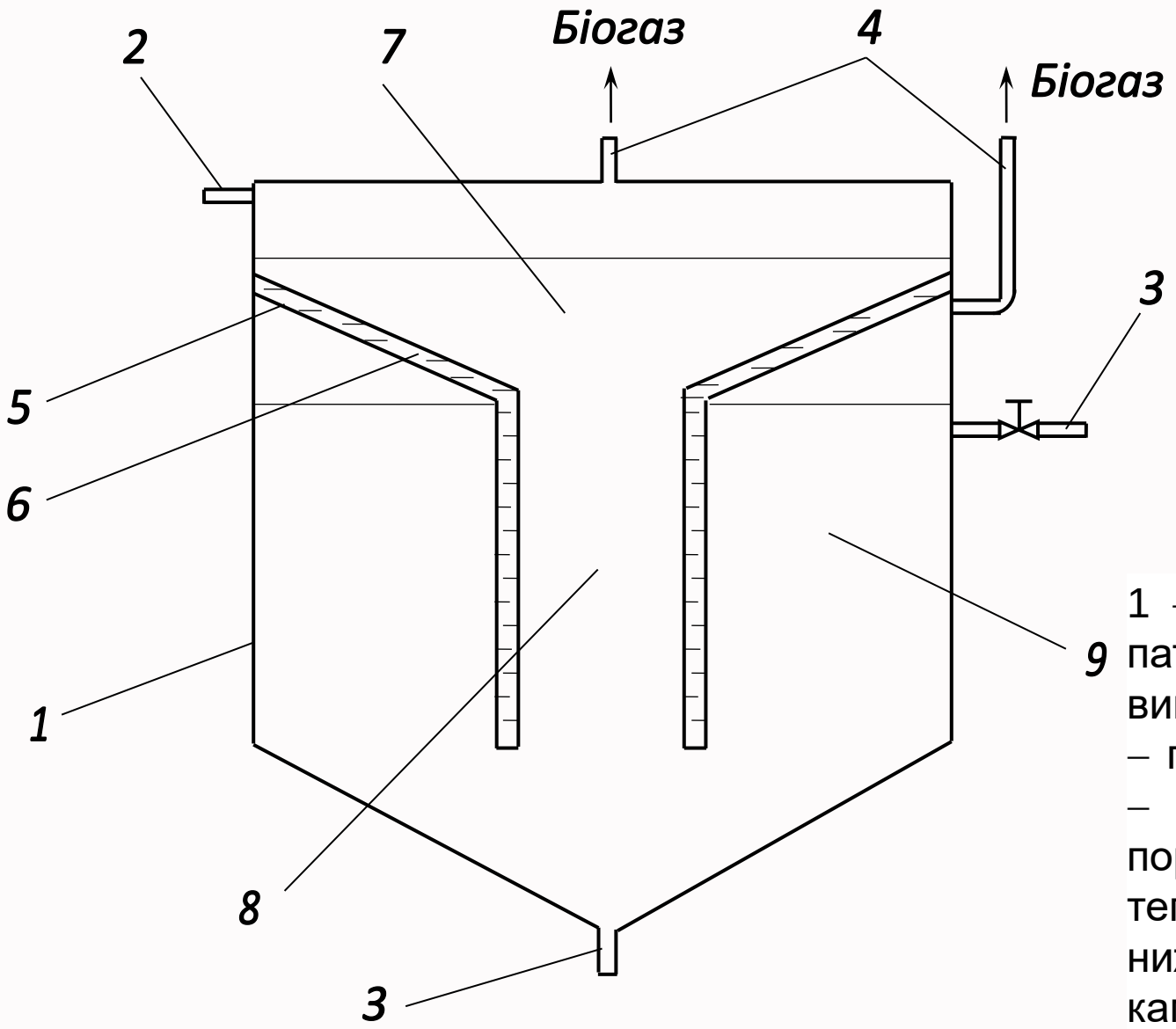
1 – попарно паралельно встановлені ємності; 2 – гвинтовий вивантажувальний транспортер; 3 – лопатки для перемішування біомаси; 4 – центральний горизонтальний вал; 5 – обертово-лопатевий механізм; 6 – кільцевий ланцюг; 7 – привідна зірочка; 8 – гвинтові транспортери для завантаження біосировини; 9, 10 – гвинтові транспортери для вивантаження збродженої біомаси; 11 – патрубок для відводу біогазу; 12 – пристрій для інокуляції біомаси; 13 – газозбірник; 14 – вивантажувальні горловини гвинтових конвеєрів; 15 – бункер для завантаження біомаси; 16 – камера збору рідкої збродженої фракції; 17 – патрубок для видалення рідкої біомаси; 18, 19 – люки; 20 – подрібнювач біосировини

МОДУЛЬНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА



1 – горизонтальний зовнішній корпус наповнений рідиною; 2 – циліндричний реактор; 3, 4 – патрубки для підводу й відводу органічної маси; 5 – лопатки; 6, 7 – паралельні камери зброджування; 8 – вивантажувальна камера; 9 – патрубок для відводу біогазу; 10 – гвинтовий транспортер; 11 – жолоб; 12 – вивантажувальний отвір; 13 – патрубок для відводу органічної маси; 14 – бункер для завантаження органічної маси

МОДЕРНІЗОВАНИЙ МЕТАНТЕНК ДЛЯ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОСАДУ В УСТАНОВКАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ АКВАКУЛЬТУРИ (патент на винахід 113249)



1 – вертикальний корпус; 2, 3 – патрубки для завантаження й вивантаження органічної маси; 4 – патрубок для відводу біогазу; 5 – подвійні перегородки; 6 – порожнина для подачі теплоносія; 7, 8 та 9 – верхня та нижня внутрішні та зовнішня камери

Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякуємо!

Геннадій Голуб

gagolub@ukr.net

Савелій Кухарець

kikharets@gmail.com