

**СТАЛЕВІ СПІРАЛЬНО-ФАЛЬЦЕВІ КОНСТРУКЦІЇ У СКЛАДІ
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

STEEL SPIRAL-FOLD STRUCTURES IN BIOENERGY COMPLEXES

Пічугін С. Ф., доктор технічних наук, професор,
Оксененко К. О., аспірантка

*Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Україна*

Pichugin S. F., DSc, Professor,
Oksenenko K. O., graduate student

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

***Анотація.** Розглянуто види біомаси та варіанти її використання в різних біоенергетичних установках. Проаналізовано конструкції спіральньо-фальцевих ємностей та їх особливості. Описано особливості тріски деревини як твердого біопалива. Порівняно теплотворну здатність та викиди в атмосферу при спалюванні різних видів палива. Проаналізовано характеристики тріски деревини, як сипучого матеріалу. Наведено схеми котлів, котрі працюють на твердому паливі. Перераховано вимоги до складів, для зберігання тріски деревини. Наведені типи закритих складів, для зберігання тріски деревини та проаналізовані їх переваги та недоліки. Розглянуто приклади використання спіральньо-фальцевих конструкцій, як складу для зберігання біомаси в твердому вигляді, за кордоном та на території України. Наведено схему біогазової станції та перераховано її основні компоненти. Розглянуто визначення метантенка, типи та особливості конструкції. Перераховано недоліки залізобетонних резервуарів зброджування. Описано перший спіральньо-фальцевий метантенк із горизонтальним процесом ферментації. Розглянуто види спіральньо-фальцевих метантенків, їх технічні характеристики та особливості.*

***Abstract.** Types of biomass and variants of its use in various bioenergy installations are given. Designs of spiral-fold tanks and their features are considered. Features of wood chips as a solid biofuel are described. Relatively calorific value and emissions into the atmosphere during burning different types of fuel are compared. The characteristics of wood chips as a bulk material are*

analyzed. Schemes of boilers which run on solid biofuel are given. The requirements to warehouses for storage of wood chips are listed. The types of closed warehouses for wood chips are presented and their advantages and disadvantages are analyzed. Examples of the use of spiral-fold structures as storage of biomass in solid form, abroad and in Ukraine are considered. The scheme of the biogas plant is given and its main components are listed. The definition of digesters, types and features of its construction are considered. The disadvantages of reinforced concrete fermentation tanks are listed. The first spiral-fold digester with a horizontal fermentation process is described. Types of spiral-fold digesters, their technical characteristics and features are considered.

Біоенергетика – це галузь науки і техніки, яка займається вивченням питань перетворення енергії біомаси в електричну, теплову та інші види енергії, а також виробництвом з біомаси нових, більш зручних у використанні та екологічно чистих видів палива. Під визначенням «біомаса» слід розуміти «невикопну біологічно відновлювану речовину органічного походження у вигляді відходів лісового та сільського господарства (рослиництва і тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, що зазнає біологічного розкладу, а також складову промислових або побутових відходів, що здатна до біологічного розкладу» [1].

Однією з головних переваг біомаси для енергетичного використання є її універсальність та мультिवаріантність. Біомаса може бути використана у твердому вигляді, шляхом безпосереднього спалювання (дрова, тріска, тюки соломи, гранули та брикети з біомаси), перетворена і використана у рідкому (біодизель, біоетанол) чи газоподібному (біогаз, біометан) стані (рис.1).

Відходи тваринництва є одним з найперспективніших джерел отримання енергії. Наприклад, з однієї тони гною великої рогатої худоби виходить 50-65 м³ біогазу з вмістом метану 60%, максимальну кількість біогазу – 1300 м³ із вмістом метану до 87 % – можна отримати з тони жиру.

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямів розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, оскільки біомаса та біопалива можуть замінювати традиційні палива і енергоносії у виробництві теплової та електричної енергії.

Результатом впровадження технологій використання біомаси є створення нових екологічно чистих генеруючих теплових та електричних потужностей відновлюваної енергетики, які на відміну сонячних та вітрових електростанцій мають збалансовану генерацію з гарантованою потужністю.



Рис.1.Види біомаси та типи установок для її перетворення

Розвиток біоенергетики наряду залежить від інновацій у будівельній галузі. Всі процеси, які відбуваються на станціях, що отримують енергію з біомаси, висувають великі вимоги не тільки до якості технологічного обладнання, але й до конструкцій, в яких ці процеси відбуваються. Оскільки їх аварії призводять до значних наслідків, як економічних так і екологічних. Метою дослідження є обґрунтування застосування інноваційних легких емностей для зберігання біомаси – металевих конструкцій спіральнo-фальцевого типу, які є унікальними та надійними спорудами, в складі різних біоенергетичних комплексів.

Спіральнo-фальцевий силос має циліндричний корпус, який являє собою систему спірального з'єднання сталеві стрічки шляхом подвійного вальцювання. Ця технологія була винайдена німецьким вченим Ксавером Ліппом у 1968 р [8]. Унікальна технологія дозволяє безпосередньо на будівельному майданчику, без використання болтів і зварних з'єднань, вести компактний і швидкий монтаж емностей високої міцності [9].

Комплект обладнання для зведення спірального силосу складається з розмотчика рулонів, формуючого пристрою, вальцювального верстата і несучих рам.

Процес монтажу конструкції силосу дуже простий (рис. 2). Металеві бухти, обладнання та несучі рами доставляються на будівельний майданчик, де потім будується силос. Процес монтажу силосу швидкий, ефективний та

гнучкий. Унікальна технологія дозволяє компактно та швидко встановлювати високоміцні та герметичні силоси прямо на будівельному майданчику, без використання болтів та зварних з'єднань.

Сталевий спіральньо-фальцевий силос має низку переваг: 1) високий ступінь автоматизації, швидкість монтажу, висока точність; 2) повна герметизація, водонепроникність; 3) висока міцність сталі, економія сталі; 3) зменшення часу на монтаж і необхідну кількість монтажників; 4) економічність, повна відсутність болтових з'єднань.



Рис.2. Монтаж спіральньо-фальцевого силосу для тріски деревини, м. Полтава

Основна форма енергії з біомаси в Україні – тепла енергія. Зараз 81% сировини у виробництві теплової енергії – деревні види біомаси: дрова, тріски і деревні пелети; 17% – аграрна біомаса, тобто солома, стебла кукурудзи та лущиння соняшнику.

Особливості твердого біопалива. Подрібнена деревина у різних своїх формах, насамперед у вигляді тріски, є невід'ємним компонентом сучасної структури промислового виробництва та споживання. Щорічно на підприємствах лісопромислового комплексу утворюється близько 50 млн. м³ деревних відходів, а потенційно відходи можуть зрости до 200 млн. м³. Рациональній переробці піддається менш третини з них. Подрібнена деревина, представляючи собою продукт переробки круглих лісоматеріалів, у великих обсягах може використовуватись не тільки як сировинна основа для виробництва паливних брикетів, гранул та ін., а й як самостійне біопаливо [2].

Тріска деревини впевнено посіла провідне місце серед найпоширеніших видів біопалива. Спеціалісти пояснюють це її дешевизною і простотою виробництва. Використання тріски деревини як біопалива – екологічно і економічно виправданий шлях скорочення витрат на лісопромислових та інших підприємствах. Таке біопаливо не порушує природної рівноваги, оскільки вуглекислий газ, який виділяється при його згоранні, повністю поглинається зеленими насадженнями в процесі фотосинтезу. Зниження використання викопного палива (вугілля, мазут, газ) і перехід на біопаливо поліпшують екологічну обстановку, дозволяють досягти певного економічного ефекту. В табл.1 наведені дані теплотворної здатності та дані по викидах в атмосферу в залежності від виду палива [3].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика різних видів палива

Вид палива	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %	Вміст вуглекислого газу, кг/ГДж
Природний газ	35-38 МДж/м ³	0	0	57
Кам'яне вугілля	15-25	1-3	10-35	60
Мазут	42	1,2	1,5	78
Тріска деревини	10,5-12	0	2	0

Як видно з табл. 1, тріска є екологічно чистим паливом. Теплота згорання 1 кг деревної тріски відповідає 0,43 кг кам'яного вугілля, 0,31 кг залишків нафти та 0,5 кг сухого торфу.

Найважливішими якісними показниками деревного палива є вологість, фракційний склад, частка дрібних фракцій, вміст золи, питома вага, тепломісткість, наявність механічних домішок.

Тріска характеризується як однорідний сипучий матеріал. Структура тріски як сипучого тіла є найважливішим фактором, що визначає її механічні властивості. Для тріски характерні зв'язність частинок, їх рухливість, здатність змерзатись та злежуватись, ущільнюватись при статичних і динамічних впливах, утворювати склепіння при витіканні з бункерів і силосів. При вільному відсіпанні частинки тріски утворюють конусну купу з певним кутом до основи.

Як матеріал органічного походження, тріска гігроскопічна, схильна до ураження мікроорганізмами. Подібно іншим рослинним матеріалам, велика маса тріски володіє здатністю самозигріватись і при певних умовах самозайматися. Основними параметрами, що характеризують властивості тріски, є об'ємна маса, вологість, коефіцієнт повнодеревності, коефіцієнт ущільнення, кут природного ухилу, коефіцієнт внутрішнього тертя, початковий опір зрушенню, коефіцієнт тертя-ковзання по різній поверхні [4].

Об'ємна маса тріски характеризує щільність її укладання і визначається вмістом маси вологої деревини у виміряному обсязі тріски. Об'ємна маса залежить від щільності подрібнюваної деревини, вологості сировини, коефіцієнта повнодеревності тріски, а також ступеня її ущільнення і фракційного складу.

Переведення обсягу тріски в щільну деревну масу, визначається коефіцієнтом повнодеревності – найважливішою характеристикою в системі обліку вироблюваної тріски. Коефіцієнт залежить від гідротермічного стану тріски, умов її завантаження та дальності транспортування. Однак тріску у вільно насипаному стані можна вважати лише в момент відсіпання. Через нетривалий час під дією статичних навантажень від власної ваги тріска поступово самоущільнюється, змінюється її коефіцієнт повнодеревності. Значне ущільнення тріски спостерігається під впливом динамічних навантажень, що виникають, наприклад, при пневмозавантаженні або транспортуванні.

Значення коефіцієнта повнодеревності: для вільно насипаної тріски – $k = 0,36$; транспортування до 50 км – $k = 0,4$; перевезення понад 50 км – $k = 0,42$; в кінці транспортування на відстань від 500 км – $k = 0,43$

У залежності від фракційного складу, форми часток, ступеню наповненості пор вологою, ущільнення значення об'ємної маси одного й того ж матеріалу може відхилитися на 200-250%.

У табл. 2 наведена об'ємна вага вільно-насіпної тріски в залежності від її вологості [4, 5].

Таблиця 2. Об'ємна маса тріски у вільно-насіпному стані

Порода деревини	Об'ємна маса у вільно-насіпному стані, кг/м ³ , при вологості, %									
	12	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Сосна	187	213	231	245	260	274	292	306	321	335
Ялина	162	187	202	216	231	241	256	270	285	295
Модрина	239	277	295	317	335	357	374	396	414	436
Береза	234	263	285	303	321	339	360	378	396	414

Рухливість тріски характеризується кутом природного ухилу, коефіцієнтом внутрішнього тертя, початковим опором зрушенню, коефіцієнтом тертя по поверхні. Кут природного укусу утворюється площиною природного укусу вільно відсіпаної купи тріски з горизонталлю.

Величина кута природного укусу змінюється для тріски в межах 30-40° [4] і залежить від рухливості частинок. Чим більшою рухливістю вони

володіють, тим менше цей кут. Кут природного ухилу для тріски сосни фракції 20 мм в межах 39-49°, 10 мм – 36-46°, 5мм – 32-58°. При цьому експериментальні дослідження, проведені Бечериковим І. В. [6], доводять, що кут природного ухилу тріски може приймати значно більші значення.

Котельня, яка отримує енергію з біомаси, складається з котла та складу біомаси (рис.3). Більшу частину простору в приміщенні котельні займає саме склад біомаси. Якість роботи енергоустановки напряму залежить від безперебійної подачі сировини від складу в котел.

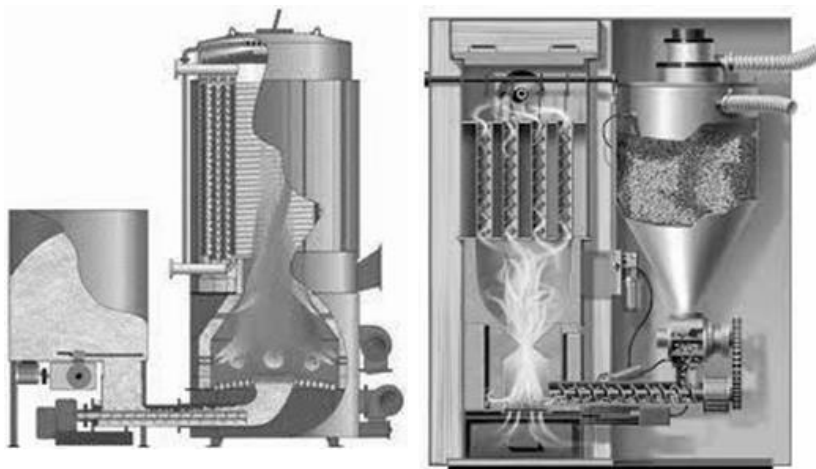


Рис.3. Схеми котлів, які працюють на твердому паливі

(<https://bio.ukr.bio/ru/boilers/model/38-HARGASSNER-Classic-kotel-na-pelletah/>)

Сучасний склад для зберігання тріски деревини повинен відповідати таким вимогам: повна автоматизованість, пожежна та екологічна безпека, економічність, велика місткість (запас матеріалу на 5-7 днів), можливість запобігання злежування та змерзання матеріалу. Тріска деревини характеризується різними властивостями, такими як гранулометричний склад, вологість, схильність до змерзання та злежування, наявність смол, гнилі. Всі ці характеристики призводять до того, що під час довгого зберігання в силосах збільшується сила зчеплення між частками, що зменшує їх рухливість та опір зсуву. Тому потрібно контролювати процеси всередині ємності та передбачати поведження матеріалу та його дію на конструкцію [7].

Склади для закритого зберігання біомаси в твердому вигляді поділяються на звичайні склади, бункери та силоси. Звичайний склад відрізняється від відкритої площадки наявністю огорожуючих конструкцій, що дозволяє захистити тріску від зовнішні опадів, але не вирішує проблем із завантаженням-вивантаженням та розвитком біологічних процесів. Як механізовані склади для зберігання сипучих матеріалів зарекомендували себе бункери та силоси, які співвідношенням висоти до розмірів в плані

Спірально-фальцеві конструкції, як компонент біоенергетичних установок. Конструкції спірально-фальцевих силосів для зберігання тріски деревини зарекомендували себе по всьому світу. Зокрема, італійська фірма BSP ENGINEERING SRL реалізувала ряд проектів для зберігання тріски деревини в різних країнах (рис. 4). Проекти включають в себе ємності для зберігання тріски деревини об'ємом до 10 000 м³, система розвантаження комплектується в залежності від технічних особливостей, гвинтовий генератор біомаси різної комплекції забезпечує безперебійне вивантаження матеріалу [10].

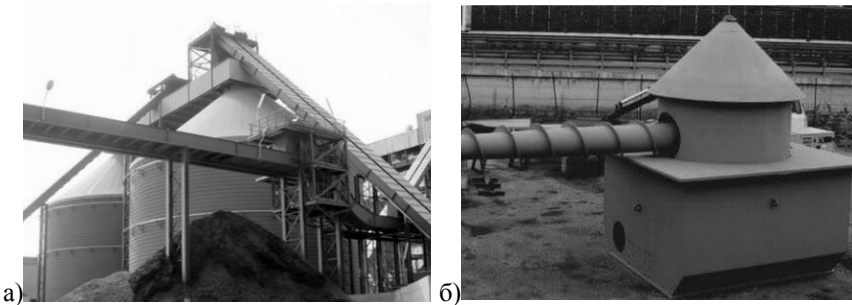


Рис.4. Продукція компанії BSP ENGINEERING SRL

(<https://www.lippel.com.br/>):

а) ТЕС, працююча на трісці деревини, Італія; б) гвинтовий генератор біомаси

На території України ці конструкції також починають набувати популярності. Вітчизняним підприємством ТОВ «КРЕАТИВ-АГРОМАШ» [11] було успішно реалізовано більше 10 спірально-фальцевих силосів для зберігання біомаси в твердому вигляді (рис. 5, 6) та більше 30 силосів для зберігання інших сипучих матеріалів, від зернових культур до цементу, а також резервуарів [12].



**Рис. 5. Котельня, працююча на лущинні соняшника,
м. Кривий Ріг**

Силосний склад для тріски деревини (рис. 6,б) є повністю автоматизованим, завантаження тріски відбувається за допомогою пневматичного обладнання, розвантаження – транспортерами, для попередження злежування та змерзання матеріалу всередині розміщений радіально-поворотний зачисний шнек, який забезпечує безперервне вивантаження (рис. 6,а). Система аспірації контролює викиди пилу під час завантаження силосу, система пожежогасіння, встановлена під покрівлю, попереджає самозаймання матеріалу.

Спірально-фальцеві конструкції в складі біогазових станцій. Біогазові установки мають суттєве значення у виробництві електроенергії і тепла від відновлюваних джерел енергії. В якості сировини для виробництва біогазу можуть використовуватися: відходи тваринництва, промислові та побутові відходи, тверді побутові відходи комунального господарства міст, рослинні залишки сільськогосподарського виробництва.

Метантенк, або ферментер (резервуар зброджування), займає центральне місце у будівництві біогазової установки і є другим етапом виробничого ланцюгу [13].



Рис. 6. Спірально-фальцевий силос для зберігання тріски:
а) м. Чернівці; б) м. Полтава

Біогазова станція складається з наступних основних компонентів: приймальний резервуар, метантенк, газосховище, резервуар-сховище дегістату (рис. 7).

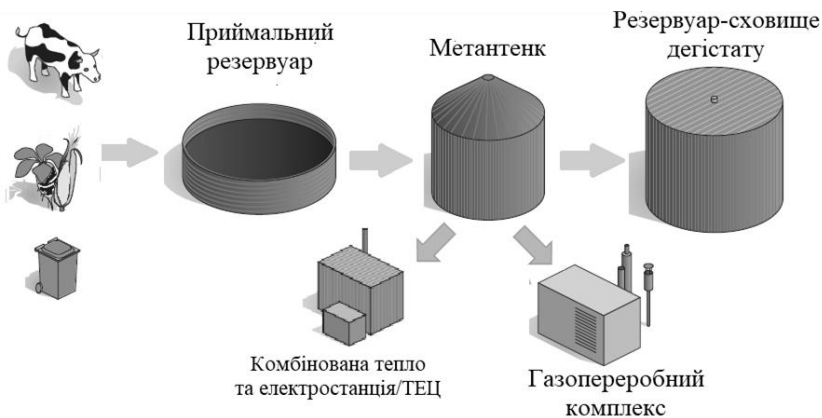


Рис 7. Схема біогазової станції

Метантенки – герметичні резервуари, що забезпечують зброджування осадів без доступу кисню повітря при підтримці оптимальної температури зброджуваного осаду. На відміну від двоярусних відстійників і освітлювачів-перегнивачів, у метантенках здійснюють підігрівання осадів

до 33 чи 53 °С, їх інтенсивне перемішування та утилізацію утворюваного біогазу [14].

Метантенки являють собою залізобетонні або металеві резервуари з теплоізоляційним покриттям. Резервуари можуть бути циліндричними з конусним днищем і конічним або сферичним перекриттям, а також можуть бути кулястої, яйцевидної форми. Часто, для кращої теплоізоляції, метантенки влаштовують заглибленими в землю або обволікають землею.

Метантенк – відповідальна споруда, до її конструкції висуваються жорсткі вимоги щодо надійності та міцності. Залізобетонні резервуари зброджування були досить розповсюдженими, однак вони мають свої недоліки: складність у виготовленні, велика вага та вартість. В зв'язку з процесами, які відбуваються всередині конструкції, утворення тріщин, протікання та корозія бетону були не рідкістю, і в крайніх випадках метантенки, які постраждали від цих проблем, доводилося зносити. Для попередження таких випадків у Німеччині були розроблені інструкції для сільськогосподарського будівельного сектора під назвою «Бетон для резервуарів на біогазових установках» [15].

Більш раціональними є металеві резервуари, для виготовлення яких використовуються рулонні смуги та сталеві листи, з'єднані зварюванням або болтами. Болтові з'єднання мають бути належним чином герметизовані. Герметизація болтових з'єднання – це довготривалий процес, що значно збільшує час на монтаж всієї конструкції.

Рішенням легкої та герметичної ємності метантенка є металеві резервуари спірально-фальцевого типу. Наприкінці 1980-х років Ксавер Ліпп розробив метантенк з горизонтальним процесом ферментації, з лопатевою мішалкою та гвинтовим конвеєром (рис. 8). Подальший розвиток та оптимізація метантенка призвели до створення чотирьох різних типів метантенків, кожен з яких підходить для різних сфер застосування

Подальший розвиток та оптимізація метантенка призвели до створення чотирьох різних типів метантенків (рис. 9), кожен з яких підходить для різних сфер застосування.

1. Модульний реактор KomBio із вбудованим газовим акумулятором (рис. 9,а). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 3000 м³; робочий тиск до 200 Ра. Реактор поєднує сучасний промисловий газовий акумулятор і високопродуктивний метантенк. Стаціонарна конструкція даху, що може бути утеплена, забезпечує захист мембрани газового акумулятора від атмосферних впливів і, отже, значно продовжує термін служби. Крім того, обігрів реактора KomBio знаходиться зовні ємності з нержавіючої сталі (Verinox), що забезпечує хорошу тепловіддачу по всій висоті ємності. Ізоляція до 200 мм дозволяє використовувати установку як у холодних, так і в гарячих регіонах по всьому світу. Додатковою особливістю KomBio

Reactor є запатентована технологія перемішувача, завдяки якій метантенк підходить для широкого спектру субстратів та забезпечує рівномірне перемішування ємності.



Рис. 8. Спірально-фальцевий метантенк із горизонтальним процесом ферментації

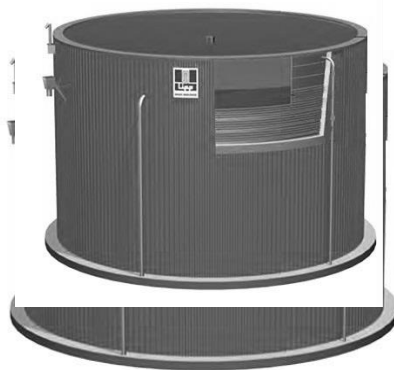
2. Універсальний метантенк з мембранним дахом (рис. 9,б). Технічні характеристики: об'єм від 200 м³ до 5000 м³; робочий тиск до 700 Ра. Універсальний метантенк призначений для використання на великих промислових та муніципальних підприємствах. Корпус виконаний із нержавіючої сталі (Verinox), що у поєднанні зі звареним мембранним дахом із нержавіючої сталі забезпечує найвищу якість внутрішньої частини ємності. Конструкція оснащена технологією зовнішнього нагріву, який завдяки гарній теплопровідності сталі забезпечує рівномірне нагрівання по всій висоті ємності. Гарна ізоляція стін та даху ємності зводить до мінімуму втрати тепла у процесі ферментації.

3. UniCentralmix – метантенк з зовнішнім нагрівом та центральним перемішувачем (рис. 9,в). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 7000 м³; робочий тиск до 3000 Ра. Центральне перемішування знижує потребу в енергії та забезпечує рівномірне перемішування субстрату. Гладкі внутрішні стінки також зменшують утворення відкладень у метантенку.

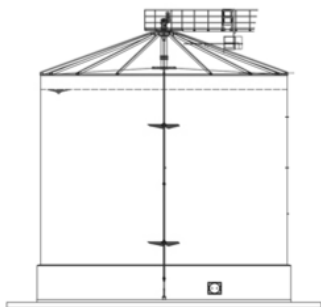
4. Метантенк EcoDigester (рис. 9,г). Технічні характеристики: об'єм від 100 м³ до 10 000 м³; робочий тиск до 700 Ра. Використовується для сільськогосподарського застосування, гнучка конструкція дозволяє працювати з різними субстратами та додатками. Метантенк може бути виконаний з газовим акумулятором або без нього в залежності від потреб

виробни
процесу.

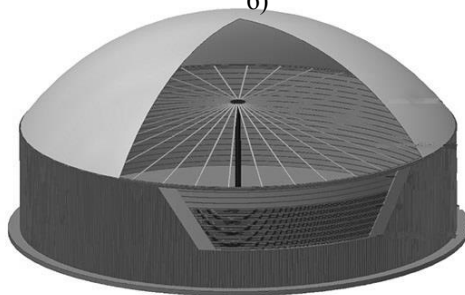
влі залежить від вимог виробничого



а)



б)



в)

г)

Рис. 9. Метантенки LIPP GMBH: а) модульний реактор KomBio; б) універсальний метантенк із мембранним дахом; в) uniCentralmix; г) ecodigester.

Метантенки фірми LIPP GMBH широко використовуються по всьому світі.

Біогазові потужності в Україні нарощуються. Ще на кінець 2014 р. в країні було 10 біогазових установок загальною потужністю 15 МВт, а станом

на кінець II кварталу 2018 року – 29 установок потужністю 41 МВт. Наразі станом на 1 липня 2020 року в Україні налічується 51 біогазова станція.

Висновки. Біоенергетика – перспективна галузь промисловості відновлювальної енергетики. Україна, серед інших країн світу, має значний ресурсний потенціал для виробництва біопалива, завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам та наявності сировинної бази. Розглянуті характеристики тріски деревини підтверджують, що її використання як біопалива, є екологічним та перспективним засобом розвитку біоенергетики країни. Технології використання біомаси характеризуються постійним розвитком, що дозволяє щороку скорочувати використання імпортованих енергоносіїв, зменшувати викиди шкідливих газів та створювати нові робочі місця. Прогрес біоенергетики напряму залежить від інновацій в будівельній галузі. Всі процеси, які відбуваються на станціях, що отримують енергію з біомаси, висувають великі вимоги не тільки до якості технологічного обладнання, але й до конструкцій, в яких ці процеси відбуваються, оскільки їх аварії призводять до значних наслідків, як економічних так і екологічних. Наведено типи складів та резервуарів, для зберігання біомаси в різному вигляді, перераховані їх переваги та недоліки. Обґрунтовано, що конструкції спіральні-фальцевого типу – це унікальні та надійні споруди, які можуть використовуватись на різних біоенергетичних комплексах.

Використані інформаційні джерела:

1. Біоенергетика: Курс лекцій. Частина 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Будько. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с.

2. Пічугін С., Оксененко К. Тріска деревини – екологічне паливо для біоенергетичних комплексів. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження*: зб. матеріалів II міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». м. Полтава, 2–3 груд. 2021 р. Полтава, 2021. С. 266–268.

3. Свистунова І. В., Глотова В. О., Філатова А. В. Тверде біопаливо в теплозабезпеченні села : Збірник наукових праць. 7/2011. С. 119–122.

4. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины: Учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 264 с.

5. Щільність тріски деревини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://elfa93.ru/raznoe/plotnost-shhhepy-drevesnoj-tablicza-plotnosti-shhhepy-i-opilok.html>

6. Бечериков И. В. Совершенствование функционирования закрытых складов древесных сыпучих материалов: дис. канд. техн. наук: 05.21.01 / Санкт-Петербург, 2017. 138 с.

7. Пічугін С. Ф., Оксененко К. О., Андрієвський Ю. В. Спірально-фальцевий силос – інноваційний склад для зберігання тріски деревини. *Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі: тези XIX міжнародної науково-практичної конференції*: м. Чернігів, 19–22 верес. 2021 р. Чернігів, 2021. С. 245–246

8. Xaver Lipp [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://xaver-lipp.com/>.

9. Pichugin S., Oksenenko K. Comparative analysis of design solutions of metal silos, *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 53(2), 54 -60 (2019).

DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1890>.

10. BSP ENGINEERING SRL [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.lippel.com.br/>

11. ТОВ «КРЕАТИВ-АГРОМАШ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.creative-silo.com/>

12. Пичугин С. Оксененко К. Использование спирально-фальцевых силосов на территории Украины. *ArCivE 2021*. 2021. С. 430–437.

13. Пічугін С., Оксененко К. Метантенк – металевий спірально-фальцевий резервуар – у складі біоенергетичних об’єктів. *Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022: зб. матеріалів I міжнародної науково-практичної конференції*: м. Полтава – Львів, 26–27 трав. 2022 р. Полтава, 2022. С. 483–485.

14. Поліщук В., Тарасенко С., Сергеева О. Конструктивні особливості метантенків // *Motol*. 2011. №13. С. 56–61.

15. Guide to biogas – from production touse – Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010. 232 с.