

**Дослідження енергетичної ефективності процесу анаеробної ферментації  
тваринницьких відходів**

**А. І. Чміль, доктор технічних наук, професор**

**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

E-mail: [a.chmil@ukr.net](mailto:a.chmil@ukr.net)

**Анотація.** *Аналіз проблеми енергозабезпечення аграрного виробництва показує, що існуючі у сфері труднощі обумовлені порушенням людиною біологічного закону біоенергетичної направленості живих систем, згідно з яким всі складові живої природи енергоекономні.*

*У той же час, ефект, який до теперішнього часу забезпечувався за рахунок використання певної кількості енергоносіїв, може бути отриманий і при меншій їх кількості, якщо при цьому здійснюються додаткові заходи щодо економії енергії та використовуючи нетрадиційні джерела енергії.*

*У зв'язку з вичерпанням запасів викопного палива і постійним поглибленням енергетичної та екологічної кризи значна увага приділяється поновлюваним і нетрадиційним джерелам енергії. Проте, незважаючи на те, що сама по собі ця енергія безкоштовна, обладнання, необхідне для утилізації та перетворення, коштує досить дорого. Головна перевага відновлюваних та нетрадиційних видів енергії - невичерпність останньої.*

*Той факт, що сільськогосподарські тварини погано засвоюють енергію рослинних кормів, і що більше половини цієї енергії використовується непродуктивно, дозволяє розглядати гній і послід не тільки як цінну сировину для органічних добрив і білкову добавку в корм тваринам, але і як потужне відновлюване джерело енергії в сільськогосподарському виробництві. Як теплоенергетична сировина гній тварин може використовуватись для виробітку горючого газу, який на 2/3 складається з метану - одного з найбільш цінних і висококалорійних видів палива. І хоча сучасні технологічні схеми з виробництва біогазу за економічними показниками ще поступаються традиційним природним джерелам, у більшості зарубіжних країн діє значна кількість біогазових установок, які забезпечують до 20-40 % потреб в енергії в сільському господарстві.*

*Ефективним способом утилізації тваринницьких є анаеробна ферментація в біогазових установках. При ферментації екскременти тварин значною мірою знезаражуються, гине патогенна мікрофлора, втрачає схожість насіння бур'янів і крім того, виділяється біогаз, утилізація якого дозволяє отримати додаткову енергію. Цей шлях утилізації гною за умов поступового виснаження і здороження традиційних джерел набуває особливого значення. Оскільки зброджування здійснюється в закритих спорудах, повністю ізольованих від оточуючого середовища, усувається можливість поширення інфекцій і газів з неприємним запахом та попадання необробленого гною в ґрунт, ґрунтові і підземні води. У*

результаті розкладання органічних речовин у збродженому продукті збільшується доля біогенних елементів, більша їх частина переходить в легкозасвоювані рослинами мінеральні речовини, а втрати азоту не перевищують 3-5 %.

Для визначення характеру газовиділення, глибини мінералізації органічної речовини залежно від режимно-конструктивних параметрів, а також з метою розробки на основі отриманих залежностей технологічних схем анаеробної обробки та утилізації відходів тваринницьких підприємств розроблена експериментальна установка.

**Ключові слова:** *тваринницькі відходи, анаеробна ферментація, енергетична ефективність*

**Актуальність.** Поступовий розвиток промислового і сільськогосподарського виробництва, його концентрація та індустріалізація в її теперішніх формах, перехід на більш концентровані джерела енергії обумовлюють неупорядкованість природних процесів, що протікають у всіх складових біосфери, підвищують екологічний ризик, а в деяких випадках спричиняють екологічні збитки та економічні втрати. Із всього багатогалузевого різноманіття аграрно-промислових комплексів тваринницькі комплекси на промисловій основі є найбільш небезпечними з точки зору їх негативної дії на навколишнє середовище.

Перехід тваринництва на промислову основу, висока концентрація поголів'я худоби на обмежених площах змінили технологію видалення гною з тваринницьких приміщень. На комплексах почали застосовувати системи гідрозмиву і самопливу, що призвело до утворення безпідстилкового гною, накопичення якого на обмежених територіях тваринницьких комплексів створило загрозу забруднення ґрунтово-рослинного покриву, ґрунтових вод і повітряного басейну різними шкідливими речовинами, спричинило підвищення захворювань людей і тварин, зниження врожайності сільськогосподарських культур і продуктивності тварин. Саме тому в практиці експлуатації тваринницьких комплексів стало очевидним, що питання використання гною перетворилось на проблему, не вирішивши якої не можна здійснювати їх подальше будівництво.

Аналіз хімічного складу тваринницьких стоків показує, що вміст у них мінеральних солей коливається в межах 3-6 г/л. Таку стічну воду використовувати для зрошення категорично заборонено, оскільки це призводить до засолення ґрунту.

На практиці мають місце випадки повторного використання стоків для гідрозмиву. Після 5-6 кратного застосування утворюється розчин з підвищеним вмістом солей, що посилює проблему його утилізації.

Значну небезпеку для людини, тварин і рослин створюють азот і мідь, серед яких особливе значення мають нітрати ( $N-NO_3$ ) та їх похідні. Шкідливий вплив нітратів пов'язаний з накопиченням їх у поверхневих і ґрунтових водах та забрудненням повітря аміаком, амінами й іншими речовинами, що неприємно пахнуть. Токсичною дозою для жуйних тварин при однократному введенні є 75-90 мг  $N-NO_3$ /кг маси тіла [2]. У районах інтенсивного тваринництва концентрація нітратів у ґрунтових водах може досягати 400-500 мг/л, у той час як гранично допустима концентрація дорівнює 10 мг/л.

Для нормального протікання процесу анаеробного розкладання тваринницьких відходів необхідно створити оптимальні умови життєдіяльності бактерій. На створення цих умов впливають такі фактори: властивість сировини, температура живильного середовища, навантаження на біореактор за органічними речовинами, рН середовища, анаеробні умови, тривалість зброджування, способи та ефективність перемішування[3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині є багато фактів, що підтверджують серйозну небезпеку щодо застосування відходів тваринництва. Забруднення водою тваринницькими стоками може відбуватись не стільки за рахунок великої кількості живої або мертвої органічної речовини, що надходить з дощовими чи ґрунтовими водами при використанні необроблених стоків, скільки через наявність у них ряду біогенних речовин, перш за все, фосфору і азоту. Надходження у водойми цих елементів, які в більшості випадків є лімітуючими для водної рослинності, викликає бурхливий ріст первинної біопродукції у водоймах і різко погіршує якість води.

Стоки тваринницьких комплексів є джерелом не тільки хімічного, але і біологічного забруднення, в результаті чого в ґрунт і водойми вноситься велика кількість мікроорганізмів, яєць глистів та інших біогенних забруднювачів, здатних викликати захворювання людей, тварин і рослин. Особливо небезпечним вважається

забруднення ґрунтових вод, які служать джерелом питної води для населення і тварин. Дослідженнями встановлено, що стоки тваринницьких ферм і комплексів у більшості випадків обсіяні патогенними мікроорганізмами і зародками гельмінтів. Зокрема, визначено, що 14,7-18,7 % загальної маси екскрементів великої рогатої худоби складають бактерії.

Залежно від строків зберігання і обробки тваринницьких стоків кількість мікроорганізмів може бути різною. Збудники бруцельозу зберігають свою життєздатність у рідкому гної протягом 108-174 діб, ящура - 42-192, сальмонельозу - 90-160, туберкульозу - 457 діб. Розбавлення гною водою перед зберіганням у співвідношенні 1:10 збільшує термін виживання патогенних бактерій, більше, ніж у 3 рази. При розділенні безпідстилкового гною на фракції 40 % бактерій потрапляють в рідку, а решта залишаються в твердій фракції.

Тривалі періоди виживання патогенної мікрофлори вказують на те, що навіть після тривалого зберігання залишається потенційна небезпека зараження тварин і людей, а тому потрібні спеціальні методи знезараження.

Патогенна мікрофлора, що міститься у тваринницьких стоках, є основною причиною інфекційних захворювань серед тварин. За даними ФАО, економічні збитки, спричинені хворобами худоби і птиці, становлять: у США - 15,4 %, Англії - 15,7 %, Італії – 19 % від річної вартості продукції тваринництва. До числа хвороб тварин, збудники яких передаються через гній належать: колібактеріоз, сальмонельоз, мастити, лептоспіроз, туберкульоз, бруцельоз, стовбняк, сибірка, ящур тощо [1].

**Мета досліджень** – встановлення енергетичної ефективності процесу анаеробної ферментації тваринницьких відходів.

**Матеріали та методи дослідження.** Проблема обробки та утилізації відходів не є нерозв'язною, проте принципове вирішення питання щодо придатності того або іншого методу, а також розробка ефективних технологічних схем вимагають аналізу відомих способів та експериментального їх дослідження.

У світовій практиці утилізації тваринницьких стоків застосовуються різні методи, які за призначенням кінцевих продуктів переробки можна поділити на такі

групи: приготування живильного середовища для вирощування кормових мас (мікродоростей, дріжджів, личинок мух, дощових черв'яків, гідропонне виробництво зелених кормів); виробництво горючих речовин; приготування органічних добрив; приготування кормових сумішок; знищення гною (спалювання, хімічне розкладання).

У процесі проектування систем видалення, обробки і утилізації гною, гноєвих стоків та посліду необхідно виходити з таких основних положень:

- наявності земельних угідь для використання всього об'єму гною;
- мінімальних витрат води на видалення гною і посліду з тваринницьких приміщень;
- вибору складу споруд з обробки гною і посліду, що забезпечують максимальне зберігання живильних речовин з метою використання їх як добрива;
- виключення можливості забруднення повітря, ґрунту, відкритих і підземних джерел води [3].

Для здійснення процесу анаеробного зброджування на практиці використовують різні технологічні схеми, від простих малогабаритних фермських установок до великих промислових підприємств з переробки гною в біогаз, які умовно можна поділити на низьконавантажувані і високонавантажувані реактори та установки другого покоління.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Ефективність зброджування гною залежить, перш за все, від конструкції біореактора і параметрів його робочих органів, які необхідно враховувати при проектуванні, будівництві та експлуатації біоенергетичних установок. Нині відомі біореактори різних конструкцій. З точки зору міцності, створення умов для перемішування субстрату (витрат енергії на перемішування), відведення осадка і руйнування плаваючої кірки, перевага надається біореакторам овальної форми.

Для підтримання постійної температури в біореакторі передбачається система термостабілізації. Враховуючи, що на нагрівання вихідної сировини до температури бродіння і компенсацію теплових втрат витрачається до 50-60 % енергії виділеного біогазу, доцільним є використання нагрівальних пристроїв з найбільш високим ККД,

а також утилізація теплоти видаленого ефлюента.

Підігрівання вихідного субстрату здійснюється або перед його завантаженням у метантенк, або безпосередньо в біореакторі. Найбільш поширеними пристроями для нагрівання є рекуперативні теплообмінники, вбудовані безпосередньо в стінку біореактора або виконані у вигляді змійовика. У цьому випадку вихідний субстрат доводять до температури бродіння безпосередньо в камері зброджування, при цьому можливий негативний вплив холодного субстрату на анаеробну мікрофлору в момент завантаження вихідної маси, особливо при разовій подачі великого об'єму субстрату. Недоліком такої системи термостабілізації є налипання на поверхню нагрівальних пристроїв твердих часток, у результаті чого ефективність нагрівання знижується. Температура теплоносія не повинна перевищувати 60 °С.

Більш перспективним є попереднє нагрівання вихідного субстрату в нагрівачах, розміщених перед біореактором. Компенсація неминучих втрат теплоти через стінки метантенка, а також з видаленим біогазом, здійснюється нагрівачами, розміщеними всередині реактора.

Для дослідження енергетичної досконалості процесу анаеробного зброджування складемо баланс енергії біоенергетичної установки (БЕУ):

$$E_{\text{заг}}^{\text{БЕУ}} = E_{\text{б}} + E_{\text{еф}} + E_{\text{п}} + E_{\text{ін}} \quad (1)$$

де  $E_{\text{заг}}^{\text{БЕУ}}$  - загальні витрати матеріальних та енергетичних ресурсів на БЕУ, ГДж;  $E_{\text{б}}$  - енерговміст утвореного біогазу, ГДж;  $E_{\text{еф}}$  - енерговміст ефлюента на виході з БЕУ, ГДж;  $E_{\text{п}}$  - теплота, що втрачається поверхнею біореактора, ГДж;  $E_{\text{ін}}$  - інші втрати енергії, ГДж.

Загальні витрати матеріальних та енергетичних ресурсів включають такі складові:

$$E_{\text{заг}}^{\text{БЕУ}} = E_{\text{с}} + E_{\text{т}} + E_{\text{об}} + E_{\text{еє}} + E_{\text{жп}}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{с}}$  - енерговміст гною та витрати на його доставку в БЕУ, ГДж;  $E_{\text{т}}$  - витрати теплоти на нагрівання гною і компенсацію теплових втрат БЕУ, ГДж;  $E_{\text{об}}$  - енерговитрати на обладнання, ГДж;  $E_{\text{еє}}$  - витрати електричної енергії, ГДж;  $E_{\text{жп}}$  - енерговитрати живої праці, ГДж.

Проаналізуємо складові рівняння енергетичного балансу БЕУ і визначимо їх

вплив на коефіцієнт біоенергетичної ефективності.

На лабораторних і пілотних установках досліджуються технологічні та режимні параметри БЕУ.

Аналіз численних експериментальних даних, проведених на лабораторних установках показує, що при будь-яких режимах роботи установок і використанні різної сировини найбільш ефективним з точки зору мінералізації органічної речовини і отримання біогазу є двостадійний процес з іммобілізацією мікрофлори, тому в подальшому використовувались саме ці установки.

У результаті обробки експериментальних даних отримано залежності енергетичного виходу біогазу, які представлені на рис. 1, 2, 3. На основі цих залежностей можна зробити висновок, що вихід біогазу суттєво залежить від трьох основних параметрів - температури субстрату ( $t_c$ ), його вологості ( $W$ ) і дози завантаження біореактора ( $d$ ) - і має явно нелінійний характер. Оптимальними можна вважати такі значення цих параметрів:  $t_c = 32-34$  °С для мезофільного режиму,  $t_c = 52-54$  °С для термофільного режиму,  $d=10-12$  % і  $W= 90-92$  %.

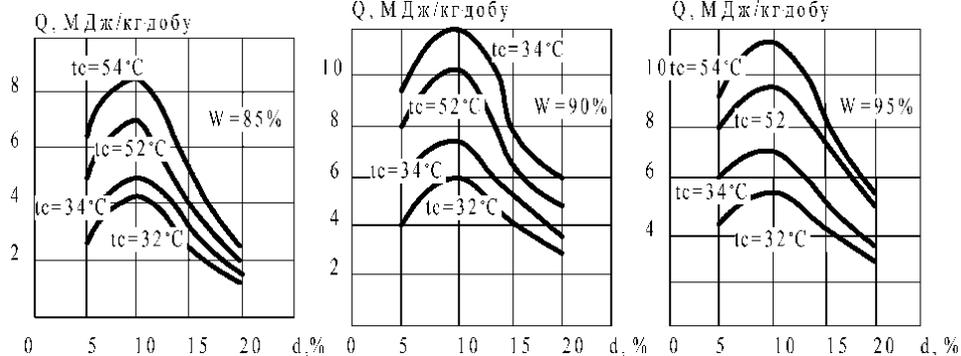


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

**Рис. 1. Залежність енергетичного виходу біогазу від температури субстрату і дози завантаження біореактора при вологості субстрату  $W= 85$  %**

**Рис. 2. Залежність енергетичного виходу біогазу від температури субстрату і дози завантаження біореактора при вологості субстрату  $W= 90$  %**

**Рис. 3. Залежність енергетичного виходу біогазу від температури субстрату і дози завантаження біореактора при вологості субстрату  $W= 95$  %**

За отриманими даними, збільшення вологості гною сприяє більшій мінералізації органічних речовин, виходу біогазу, крім цього, підвищується енергетична віддача одиниці сухої речовини. Проте, одночасно збільшуються енергетичні витрати на

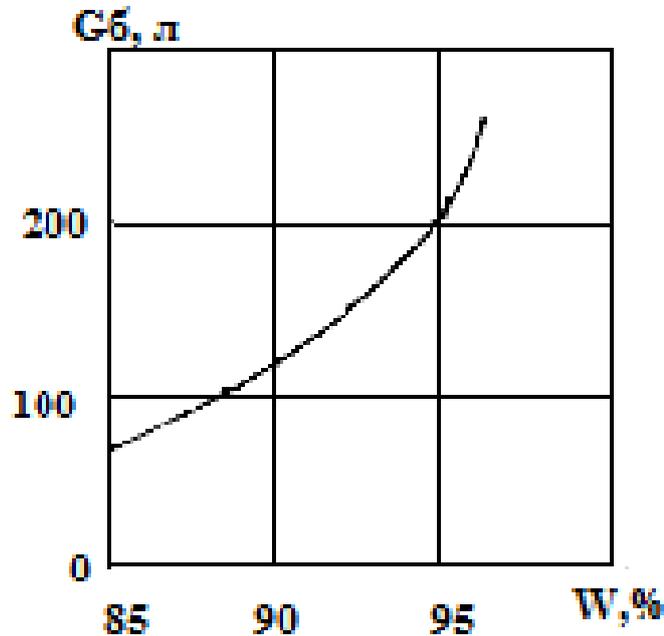
підігрівання зростаючого об'єму маси, її транспортування та утилізацію. Враховуючи, що витрати теплоти на нагрівання гною дорівнюють

$$Q_m = \frac{P_o C_H (t_2 - t_1)}{\eta}, \quad (3)$$

де  $P_o$  - маса нагрітого гною, кг;  $C_H = 4,06$  кДж/кг °С - теплоємність гною;  $t_2, t_1$  - температура відповідно збродженого та вихідного гною, °С;  $\eta$  - ККД нагрівальної установки, а вміст сухої речовини пов'язаний з вологістю субстрату залежністю

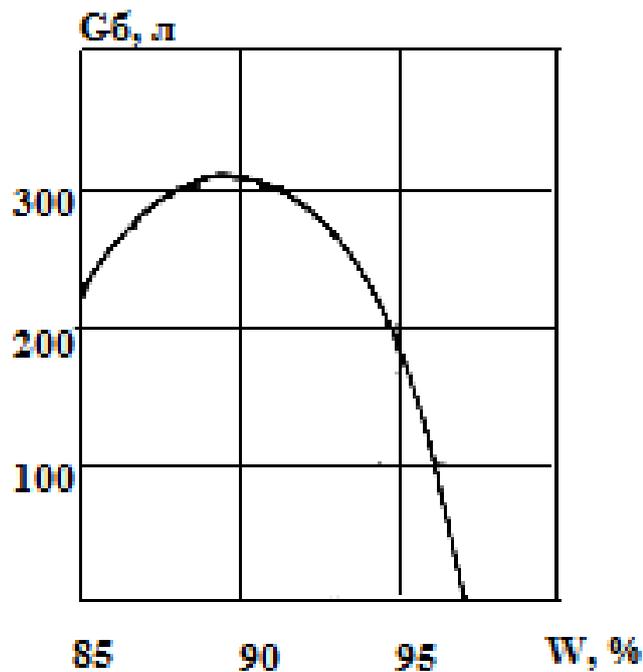
$$P_{аср} = \frac{P(100 - W)}{100}, \quad (4)$$

на рис. 4 побудовано залежність необхідної кількості біогазу на нагрівання 1 кг сухої речовини гною з 8 до 52 °С при різній вологості гною.



**Рис. 4. Залежність потрібної кількості біогазу на нагрів 1 кг сухої речовини від вологості гною ВРХ**

При порівнянні цієї залежності з даними, отриманими на двостадійній БЕУ з іммобілізацією мікрофлори, можна отримати залежність виходу товарного біогазу від вологості гною (рис. 5). Як видно з графіка, оптимальна вологість гною, що забезпечує максимальний вихід товарного біогазу, знаходиться в межах 90-92 %.



**Рис. 5. Вплив вологості гною ВРХ на вихід товарного біогазу з розрахунку на 1 кг сухої речовини**

Не менш важливою складовою рівняння балансу БЕУ є теплові втрати через огорожі конструкції біореактора, добова величина яких може бути визначена за формулою:

$$Q_{\text{п}} = \frac{F(t_2 - t_1)24}{R}, \quad (5)$$

де  $F = f \cdot V$  - поверхня біореактора,  $\text{м}^2$ ;  $f$  - питома поверхня біореактора,  $f = 0,45 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ;  $V$  - об'єм біореактора,  $\text{м}^3$ ;  $R$  - термічний опір огорожі,  $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

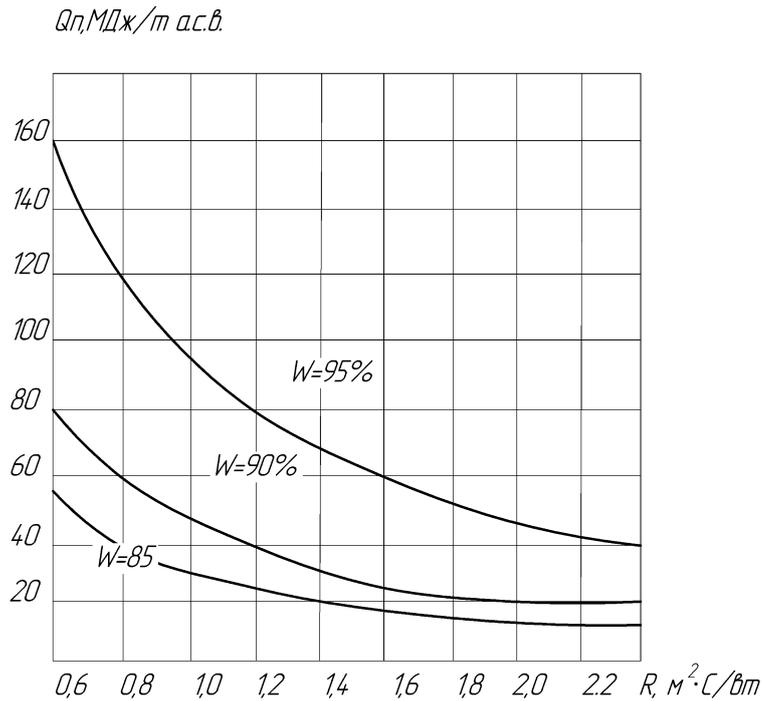
За рівняннями (4) і (5) побудовано залежність питомих теплових втрат від термічного опору і вологості субстрату (рис. 6), з якої видно, що збільшення вологості гною на 5 % призводить до зростання теплових втрат у 1,5-2,0 рази. З графіка також видно, що із збільшенням термічного опору теплові втрати знижуються, проте при цьому слід мати на увазі зростаючі енерговитрати на теплоізоляцію. З урахуванням цього величина енергетично доцільного термічного опору теплоізоляційного шару дорівнює

$$R_e = \sqrt{\frac{(t_2 - t_1)ZC_{\text{т}}}{\Delta C}} = \sqrt{\frac{(52 - 8)876 \cdot 1,2}{0,07 \cdot 10000 \cdot 278}} = 1,54 \text{ м}^2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \quad (6)$$

де  $z$  - тривалість роботи біореактора, год;  $C_{\text{т}}$  - питомі енерговитрати теплової енергії,

ГДж/ГДж;  $C_m$  - питомі енерговитрати матеріалів теплоізоляції, ГДж/т;  $\Delta$  - коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, Вт/м °С.

З урахуванням вищевикладеного проілюструємо застосовуваність моделі і пакету прикладних програм на прикладі розрахунку балансу енергії на двостадійній БЕУ з імобілізацією мікрофлори, яка використовується на комплексі з відгодівлі молодняку ВРХ на 12 тис. скотомісць. Витрати матеріальних і енергетичних ресурсів на БЕУ за рівнянням (2) приведені на рис.7.



**Рис. 6. Залежність питомих теплових витрат від термічного опору огорож і вологості субстрату**

При складанні діаграми приймали, що енерговміст гною та витрати на його доставку ( $E_c$ ) вже враховані у витратах на корми і воду, а тому тут не враховуються. Енерговитрати на нагрівання гною і компенсацію теплових втрат у кількості  $E_T = 0,622$  ГДж/ц можуть бути покриті за рахунок використання отриманого біогазу, а також застосуванням вихідних продуктів зброджування. Тоді загальні витрати енергетичних ресурсів становитимуть

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{об}} + E_{\text{еє}} + E_{\text{жп}} \quad (7)$$

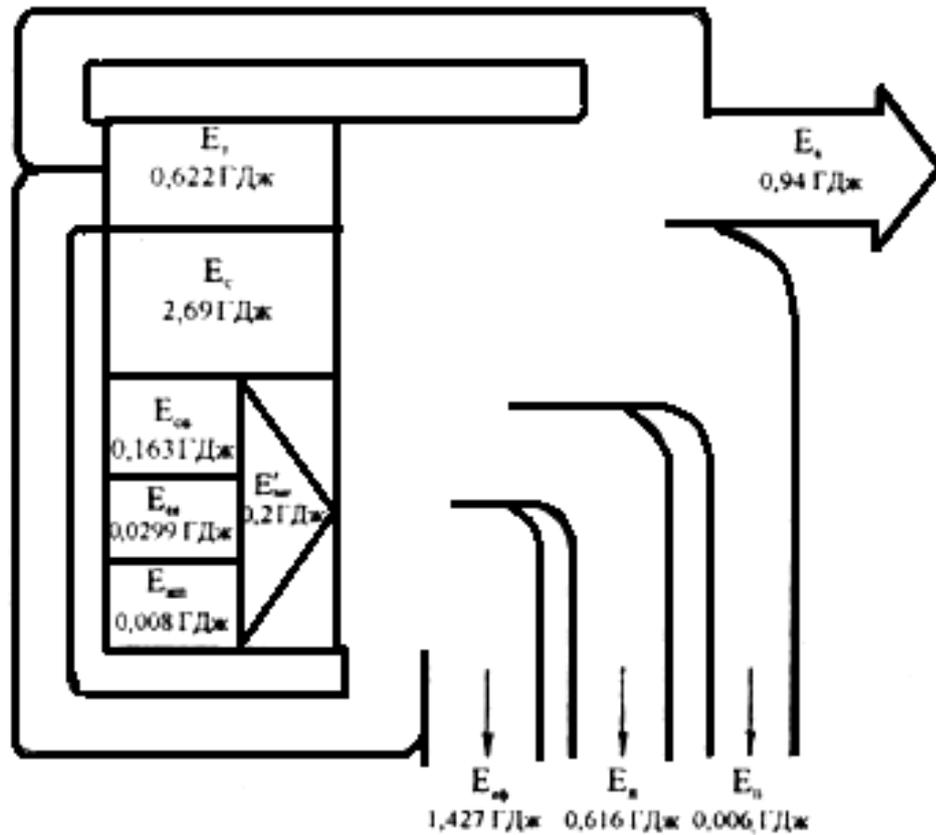


Рис. 7. Діаграма питомих потоків енергетичного балансу БЕУ

З діаграми видно, що попереднє нагрівання гною вихідними продуктами зброджування ( $E_{ef}$ ) дозволило підвищити коефіцієнт біоенергетичної ефективності БЕУ з 1,88 до 4,7, тобто в 2,5 рази.

Проте слід відзначити, що досягнути енергетичної досконалості біоенергетичної установки можна не лише на стадії проектування, але і в процесі експлуатації, тобто шляхом створення і впровадження автоматизованих систем управління біотехнічними процесами, заснованих на сучасних досягненнях теорії оптимального управління, застосуванні методів математичного моделювання.

**Висновки і перспективи.** Аналіз експериментальних даних показує, що при будь-яких режимах роботи установок і використанні різної сировини найбільш ефективним з точки зору мінералізації органічної речовини і отримання біогазу є двостадійний процес з іммобілізацією мікрофлори.

Вихід біогазу суттєво залежить від трьох основних параметрів - температури субстрату, його вологості і дози завантаження біореактора - і має явно нелінійний

характер. Оптимальними можна вважати такі значення цих параметрів:  $t_c = 32-34$  °С для мезофільного режиму,  $t_c = 52-54$  °С для термофільного режиму.

Збільшення вологості гною на 5 % призводить до зростання теплових втрат у 1,5-2,0 рази. Оптимальна вологість гною, що забезпечує максимальний вихід товарного біогазу, знаходиться в межах 90-92 %.

### Список використаних джерел

1. Новітні технології біоенергоконверсії: монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетука, [та інш.]. Київ: Аграр Медіа Груп, 2010. 326 с.
2. Чміль А. І. Енергетична ефективність і екологічна безпека замкнених еколого-біотехнічних систем в тваринництві: монографія. Київ: ЦК «Компринт», 2015. 163 с.
3. Чміль А. І. Дослідження енергетичної досконалості біотехнічних систем у тваринництві. Науковий вісник НУБіП України. 2015. Вип. 209, ч.2. С.58-63.

### References

1. Blyum. J. B., Geletuha, G. G. (2010). Novitni tehnologii bioenergokonversii: monografiya [Latest bioenergy conversion technologies]. Kyiv: Agrar Media Grup, 326.
2. Chmil, A. I. (2015). Enerhetychna efektyvnist i ekolohichna bezpeka zamknytykh ekoloho-biotekhnichnykh system v tvarynnytstvi [Energy efficiency and environmental safety of closed ecological and biotechnical systems in animal husbandry]. Kyiv: TsK «Komprynt», 163.
3. Chmil, A. I. (2015). Doslidshennya energetichnoi doskonalosti biotekhnichnih system u tvarinnosti [Research into the energy efficiency of biotechnical systems in animal husbandry]. Naukoviy visnik NUBiP Ukraini, 209 (2), 58-63.

## RESEARCH ON THE ENERGY EFFICIENCY OF THE ANAEROBIC FERMENTATION PROCESS OF ANIMAL WASTE

A. Chmil

**Abstract.** *Analysis of the problem of energy supply of agricultural production shows that the existing difficulties in the field are caused by human violation of the biological law of bioenergetic orientation of living systems, according to which all components of living nature are energy-saving.*

*At the same time, the effect that has been provided so far by using a certain amount of energy carriers can be obtained with a smaller amount of them, if additional measures are taken to save energy and use non-traditional energy sources.*

*Due to the depletion of fossil fuel reserves and the constant deepening of the energy and environmental crisis, considerable attention is paid to renewable and non-traditional energy sources. However, despite the fact that this energy itself is free, the equipment necessary for utilization and conversion is quite expensive. The main advantage of renewable and non-traditional types of energy is the inexhaustibility of the latter.*

*The fact that farm animals poorly absorb the energy of plant feeds, and that more than half of this energy is used unproductively, allows us to consider manure and droppings not only as a valuable raw material for organic fertilizers and a protein supplement to animal feed, but also as a powerful renewable source of energy in agricultural production. As a heat and energy raw material, animal manure can be used to produce combustible gas, which consists of 2/3 of methane - one of the most valuable and high-calorie types of fuel. And although modern technological schemes for biogas production are still inferior to traditional natural sources in terms of economic indicators, a significant number of biogas plants are operating in most foreign countries, which provide up to 20-40% of energy needs in agriculture. An effective way to utilize livestock manure is anaerobic fermentation in biogas plants. During fermentation, animal excrement is largely disinfected, pathogenic microflora dies, weed seeds lose their germination, and in addition, biogas is released, the utilization of which allows obtaining additional energy. This way of manure utilization under the conditions of gradual depletion and increase in the cost of traditional sources is gaining special importance. Since fermentation is carried out in closed structures, completely isolated from the environment, the possibility of the spread of infections and gases with an unpleasant odor and the ingress of untreated manure into the soil, ground and groundwater is eliminated. As a result of the decomposition of organic substances in the fermented product, the proportion of biogenic elements increases, most of them are converted into easily digestible mineral substances by plants, and nitrogen losses do not exceed 3-5%.*

*An experimental installation was developed to determine the nature of gas evolution, the depth of mineralization of organic matter depending on the regime and design parameters, as well as to develop technological schemes for anaerobic treatment and utilization of waste from livestock enterprises based on the obtained dependencies.*

**Key words:** *organic waste, anaerobic fermentation, energy efficiency livestock waste, anaerobic fermentation, energy efficiency*