

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

УДК: 636.084.52

ПРОГНОЗУВАННЯ ГАЗОВОГО ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДЛЯ ЖУЙНИХ ТВАРИН

А. Т. ЦВІГУН, доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, [https://orcid.org/ 0000-0002-1214-1113](https://orcid.org/0000-0002-1214-1113)

E-mail: agroargument2@ukr.net

О. А. ЦВІГУН, кандидат ветеринарних наук, доцент,

[https://orcid.org/ 0000-0002-7978-1609](https://orcid.org/0000-0002-7978-1609)

E-mail: tsvigunoleg@ukr.net

Подільський державний університет

[https://doi.org/10.31548/dopovid6\(106\).2023.014](https://doi.org/10.31548/dopovid6(106).2023.014)

***Анотація.** Встановлення механізму впливу на організм тварин зовнішніх факторів має дуже важливе значення для зоотехнічної науки. Класичними методами, за допомогою яких протягом двох століть намагаються пояснити їх вплив, є вивчення перетравності і балансу поживних речовин та окремих органічних і мінеральних елементів. Для жуйних тварин найбільш точним є складання енергетичного балансу як інтегрального показника всіх обмінних процесів*

Мета роботи є розробка методики розрахунку балансу енергії на основі обліку валової енергії раціону і теплопродукції.

Знаючи кількість спожитої валової та обмінної енергії, з великою точністю, можна визначити кількість перетравної енергії.

Таким чином, визначивши в респіраційних дослідженнях величину теплопродукції та розрахувавши енергетичну цінність продукції, визначають кількість обмінної енергії.

Кількість валової енергії не дає об'єктивної оцінки кількості енергії, доступної тварині. Наприклад, в сухій речовині соломи міститься майже така ж кількість валової енергії, як в сухій речовині зерна злаків (16,7-18,8 МДж), але енергія зерна легкодоступна тваринам, в той же час як більша її в соломі залишається не використаною. Енергію перетравних поживних речовин кормів і раціонів визначають для конкретного виду тварин.

Таким чином, можна рекомендувати дві системи рівнянь для оцінки вмісту обмінної енергії в кормах і раціонах.

Перша система рівнянь для визначення ОЕ через сирі поживні речовини і коефіцієнт перетравності енергії.

Друга система рівнянь для визначення вмісту обмінної енергії через перетравні поживні речовини з використанням коефіцієнтів перетравності поживних речовин встановлених в експериментах або взятих з довідника.

Ключові слова: теплопродукція, дихальний коефіцієнт, валова енергія, обмінна енергія, чиста енергія продукції, протеїн, жир, клітковина

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

Актуальність. Світовий досвід розвитку тваринництва свідчить, що прогрес в підвищенні продуктивності і зниженні собівартості продуктів тваринництва приблизно на 35 % визначається досягненнями генетики та селекції. Основна частка підвищення продуктивності досягається за рахунок організації раціональної годівлі тварин. Зарубіжні і вітчизняні вчені вважають, що поживна цінність корму на 50-60 % зумовлена вмістом в ньому енергії, приблизно на 20-30 % наявністю перетравних азотистих речовин і на 20-30 % вмістом інших складових частин [1]. Ось чому важливим завданням у питанні забезпечення повноцінного живлення тварин є об'єктивне оцінювання обмін енергії в організмі тварин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Встановлення механізму впливу на організм тварин зовнішніх факторів має дуже важливе значення для зоотехнічної науки. Класичними методами, за допомогою яких протягом двох століть намагаються пояснити їх вплив, є вивчення перетравності і балансу поживних речовин, окремих органічних і мінеральних елементів [2, 3]. На жаль, в більшості випадків пояснення зводяться до констатації фактів типу: перетравність підвищується, баланс позитивний і краще засвоюється, що не завжди дає можливість зрозуміти механізм дії того чи іншого чинника на обмін речовин і енергії.

У жуйних тварин проходить складна трансформація поживних речовин в рубці мікроорганізмами з руйнуванням одних і синтезом інших речовин, що не дозволяє зробити баланс і визначити об'єктивно перетравність поживних речовин. Для жуйних тварин найбільш точним є складання енергетичного балансу як інтегрального показника всіх обмінних процесів [1].

Протягом багатьох років нами відпрацьована методика дослідження газоенергетичного обміну у тварин [4, 5, 6] масковим методом 5-хвилинними сеансами за 1-2 год. до ранкової та через 3-4 год. після кожної годівлі два суміжних дні підряд, міняючи наступного дня черговість тварин при проведенні сеансів на протилежну. Зворотній порядок проведення сеансів респіраційних досліджень дає змогу частково усунути вплив фактору часу. Так роблять тому, що на одну тварину витрачається 7-8 хвилин (включаючи закріплення і зняття обладнання, перехід від однієї тварини до іншої), а для 9-12 тварин витрачається від 1,0 до 1,5 годин.

Разом з тим результати останніх досліджень, крім методичних та екологічних (викиди парникових газів) аспектів виконання експериментів, визначаються практичною складовою проблематики, пов'язаною із менеджментом годівлі тварин. Зокрема, у дослідженні данських

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

вчених [7] вивчався вплив заміни кукурудзяного силосу свіжими або силосованими цукровими буряками на засвоюваність поживних речовин, ферментацію рубця та мікробний синтез, а також кишкову емісію метану у молочних корів. Для цього експерименту використано метод, описаний А. L. F. Hellwing та ін. [8], за якого для вивчення газообміну використано модифіковану систему для непрямой калориметрії з відкритим контуром. Специфіка полягала в тому, що для зниження витрат конструкція камери та система кондиціонування були простішими, краще враховувалися вимоги до благополуччя піддослідних корів.

У іншій роботі для вивчення енергетичної цінності раціонів з маніокою на дійних коровах також використано метод непрямой калориметрії [9]. Під час фізіологічного дослідження споживання кисню, вуглекислого газу та вироблення метану кожною твариною вимірювали за допомогою системи дихальної камери головної камери відповідно до методики Т. Suzuki та ін. [10]. Дана система складалася з головної клітки, блоку відбору та аналізу газу, блоку збору й обробки даних. Корови тримали голови в спеціальних капюшонах і мали доступ до кормових лотків і води постійно, а також можливість лягти на гумовий килимок. Концентрацію кисню, вуглекислого газу та метану в лініях входу та відтоку вимірювали за

допомогою газоаналізаторів. Вимірювання респіраторного газообміну проводили з інтервалом 7,5 хвилин у відповідний часовий період доби, щоб визначити розподіл енергії та споживання упродовж останніх трьох днів періоду обліку дихання. Виробництво тепла розраховувалося за методом E. Brouwer [11].

У дослідженні шведських вчених [12] за вивчення впливу поступової заміни ячменю вівсом на кишкові викиди метану, бродильні процеси у рубці, виробництво молока та використання енергії у молочних корів використано систему GreenFeed (C-Lock Inc.) для вимірювання викидів метану, вуглекислого газу та споживання кисню, яка описана у роботі P. Huhtanen та ін. [13].

Отже, наявні роботи щодо вивчення газообміну та енергетичного балансу жуйних тварин, не дивлячись на схожі принципи методології, відрізняються методичними та інструментальними аспектами обліку та вимірювань, спрямованими на вирішення проблеми спрощення процедур, забезпечення благополуччя піддослідних тварин, точності вимірювань та мінімізації втрат. Все це обумовлює необхідність продовження вивчення даної проблематики та розроблення удосконалених методів дослідження.

Мета і завдання. Мета роботи полягає у розробці методики

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

розрахунку балансу енергії на основі обліку валової енергії раціону і теплопродукції.

Матеріали та методи. На основі респіраційних досліджень визначають вентиляцію легень, кількість видихуваного тваринами повітря із врахуванням коефіцієнту перерахунку, величина якого залежить від температури і барометричного тиску (до барометричного тиску 760 мм рт. ст. і

$$\text{ТП} = \text{O}_2 (15,986 + 5,144 \text{ ДК}), \text{ або}$$

$$\text{ТП} = \text{O}_2 [15,986 + 5,144 (\text{CO}_2 : \text{O}_2)],$$

де ТП – теплопродукція, кДж;
 O_2 – кількість спожитого твариною кисню за певний проміжок часу, л;
 CO_2 – кількість виділеного вуглекислого газу, л;
 ДК – дихальний коефіцієнт – відношення CO_2 до O_2 .

Баланс енергії у загальноприйнятому варіанті у вітчизняних дослідженнях

температури 0 °С); кількість спожитого кисню – різницю кількості кисню і виділеного вуглекислого газу, дихальний (респіраційний); глибину і частоту дихання; утилізацію кисню тощо.

Загальну теплопродукцію розраховують за кількістю спожитого кисню та його калорійною цінністю залежно від величини дихального коефіцієнта у відповідності до рівнянь 1 або 2:

$$(1)$$

$$(2)$$

визначається орієнтовно (табл.). Крім кормів і калу, решту показників розраховують або через кількість азоту, або у відсотках від перетравної енергії. Так, енергію газів визначають розрахунковим шляхом, найчастіше залежно від кількості перетравної енергії, коефіцієнта її перетравності. Теплота ферментації у більшості дослідів не обчислюється взагалі.

Традиційний баланс енергії в організмі великої рогатої худоби.

Показник	Спосіб визначення
Валова енергія	Хімічний склад або калориметрія
Енергія калу	Хімічний склад або калориметрія
Енергія перетравних речовин	Розрахунок
Енергія сечі	Розрахунок
Енергія газів	Розрахунок
Теплота ферментації	Не враховується або розрахунок
Обмінна енергія	Розрахунок
Енергія продукції	Розрахунок
Теплопродукція	Розрахунок

Таким чином, перетравна, обмінна та чиста енергія визначається

у балансових дослідях із значною часткою вірогідних помилок і

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

неточностей.

Результати та обговорення. На основі аналізу існуючих модифікацій вивчення енергетичного обміну жуйних пропонується методика розрахунку балансу енергії на основі обліку валової енергії раціону і теплопродукції, оскільки це два

$$BE = 23,95 \times СП + 39,77 \times СЖ + 20,05 \times СК + 17,46 \times СБЕР, \quad (3)$$

де BE – валова енергія;

СП – сирий протеїн;

СЖ – сирий жир;

СК – сира клітковина;

СБЕР – сирі безазотисті екстрактивні речовини.

Для визначення енергетичної

$$EG_T = 0,963 \times (СК + СБЕР), \quad (4)$$

$$EG_d = 1,675 \times (СК + СБЕР), \quad (5)$$

де: EG_T – енергія газів у телят;

EG_d – енергія газів у дорослих тварин.

$$TФ_T = 0,385 \times (СК + СБЕР), \quad (6)$$

$$TФ_d = 0,670 \times (СК + СБЕР), \quad (7)$$

де $TФ_T$ – теплота ферментації у телят;

$TФ_d$ – теплота ферментації у

$$EC = 3,592 \times СП,$$

де EC – енергія сечі,

СП – сирий протеїн.

Знаючи кількість спожитої валової та обмінної енергії, з великою точністю, можна визначити кількість перетравної з використанням вище наведених формул.

$$OE = TP + ЧЕ_{пр.}, \quad (9)$$

де: OE – обмінна енергія;

TP – теплопродукція;

$ЧЕ_{пр.}$ – чиста енергія продукції.

об'єктивних показники – початковий і кінцевий результат взаємодії корм - організм.

Визначивши теплопродукцію в експерименті, а вона може складати від 80 до 100 % обмінної енергії, енергія кормів і раціону розраховується досить точно за рівнянням регресії 3:

цінності калу користуються цим же рівнянням, помноженим на 1,054. Більш точно їх можна визначити шляхом прямої калориметрії.

Енергію, виділену з газами визначають за рівняннями 4 і 5:

Енергію, яка виділяється в результаті ферментації у рубці за рівняннями 6 і 7:

дорослих тварин.

Енергію, виділену з сечею визначають за рівнянням 8:

Таким чином, визначивши в респіраційних дослідженнях величину теплопродукції та розрахувавши енергетичну цінність продукції, визначають кількість обмінної енергії за рівнянням 9:

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

Складання енергетичного балансу розрахунковим методом.

Величину теплопродукції можна визначити і розрахунковим методом за рівнянням 10:

$$ТП = 41,37 + 0,1346 \times M + 31,97 \times \Delta M - 5,853 \times КОЕ, \quad (10)$$

де: M – жива маса, кг;

ΔM – середньодобовий приріст, кг;

КОЕ – концентрація обмінної енергії в 1 кг сухої речовини, МДж.

$$ЧЕ_{пр. (б)} = (220,73 \times \Delta M + 28,64 \times \Delta M^2) \times M^{0,75}, \quad (11)$$

$$ЧЕ_{пр. (т)} = (234,59 \times \Delta M + 52,96 \times \Delta M^2) \times M^{0,75}, \quad (12)$$

де: $ЧЕ_{пр. (б)}$ – чиста енергія приросту тіла бугайців;

$ЧЕ_{пр. (т)}$ – чиста енергія приросту тіла теличок;

$$ЧЕ_{акт} = 0,42 \text{ кДж/год/кгМ},$$

де: $ЧЕ_{акт}$ – чиста енергія активності;

M – жива маса.

$$ЧЕ_{під} = 5,67 + 0,06 \times M, \quad (14)$$

де: $ЧЕ_{під}$ – чиста енергія підтримання.

Використання балансового методу при прогнозуванні енергетичної цінності кормів і раціонів для великої рогатої худоби.

Загальний вміст енергії в кормі (валова, потенційна, бруutto-енергія) визначають при спалюванні зразку в кисневому середовищі калориметра або на основі хімічного складу кормових засобів за рівнянням 3 чи іншими.

В 1 кг сухої речовини більшості рослинних кормів міститься

Енергію приросту живої маси визначають за рівняннями ARC (1984) [15]:

ΔM – середньодобовий приріст живої маси.

Витрати енергії на рухову активність визначали за формулою:

$$(13)$$

Енергію підтримання визначали за формулою ARC (1984) [15]:

приблизно 17-18,5 МДж валової енергії.

Кількість валової енергії не дає об'єктивної оцінки кількості енергії, доступної тварині. Наприклад, в сухій речовині соломи міститься майже така ж кількість валової енергії, як в сухій речовині зерна злаків (16,7-18,8 МДж), але енергія зерна легкодоступна тваринам, в той же час як більша її в соломі залишається не використаною. Енергію перетравних поживних речовин кормів і раціонів визначають для конкретного виду тварин. Для великої рогатої худоби рекомендується використовувати наступне рівняння 15:

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

$$ПЕ = 0,02424 \times ПП + 0,03412 \times ПЖ + 0,0185 \times ПК + 0,017 \times ПБЕР, \quad (15)$$

де кількість ПЕ виражається в МДж, а перетравні поживні речовини (протеїн, жир, клітковина, БЕР) в грамах.

При оцінці якості кормів в лабораторіях, визначенні вмісту перетравної, обмінної, чи чистої енергії продукції користуються довідковими коефіцієнтами перетравності, що приводить до значних неточностей в розрахунках вмісту вищезгаданих енергій. Це пов'язано з тим, що довідкові коефіцієнти перетравності поживних речовин встановлювались в багатьох дослідах різних за умовами їх проведення (рівень годівлі, повноцінність годівлі, тип годівлі і інші). Часто перетравність визначалась на вівцях або волах і отримані результати механічно переносились на всі статеві та вікові групи великої рогатої худоби.

В Україні у відділах з контролю якості кормів використовують при розрахунках коефіцієнти перетравності поживних речовин із «Довідника поживності кормів» за редакцією М.М. Карпуся [14]. В передмові до цього видання сказано: «Для визначення поживності кормів коефіцієнти перетравності взяті із книг М.Ф. Томме, Р.В. Мартиненко, К. Нерінг, Н.П. Платіканов і інших джерел». М.Ф. Томме (1964) в передмові до книги «Корма ССРСР» [2] вказує, що «більшість коефіцієнтів взяті із вітчизняних робіт, частково

запозичених із книги Шнейдера «Корма мира» (1947), з німецьких робіт Клінга, Франка і інших. Інколи користувались розрахунковими таблицями перетравності зеленого корму і сіна при різному вмісті клітковини».

Це свідчить про те, що коефіцієнти перетравності в довідниках слід розцінювати, як дуже приблизні. Так, за даними різних авторів перетравність енергії зерна кукурудзи 74-91 %. Ще більша різниця між перетравністю окремих поживних речовин цього корму.

Частина помилок пов'язана з дослідженням хімічного складу кормів і калу. Кал великої рогатої худоби після висушування і помелу являє собою пил з дуже малим розміром частинок, які проникають через фільтр діаметром до 0,1 мм, що передбачено методикою визначення сирової клітковини. У калі неможливо визначити вміст зв'язаних з кальцієм жирних кислот класичним методом екстрагування. При висушуванні в звичайних умовах вивітрюється частина сполук азоту та ін. Все це, вочевидь, призводить до значних неточностей у визначенні хімічного складу калу. Тому найбільш точною буде калориметрія кормів і калу, що робиться дуже рідко.

У вітчизняній довідковій літературі перетравність поживних речовин тільки деяких кормів представлена в залежності від фази

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

вегетації, в більшості випадків є тільки назва корму, що безумовно, призводить до помилок при визначенні величини перетравності поживних речовин конкретних кормів, а отже їх енергетичної оцінки та оцінки раціонів.

Точніше буде визначати коефіцієнти перетравності одного

$$\text{КПЕ} = 88,9 + 0,015 \times \text{СП} - 0,1 \times \text{СК}, \quad (16)$$

де СП і СК, г/СР.

Для прогнозування перетравності енергії трави, силосу і

$$\text{КПЕ} = 88,9 + 0,020 \times \text{СП} - 0,085 \times \text{СК}, \quad (17)$$

У соломі і полові всіх культур перетравність енергії можна визначити за рівнянням 18:

$$\text{КПЕ} = 88,9 + 0,035 \times \text{СП} - 0,17 \times \text{СК}, \quad (18)$$

Для коренеплодів, зернових, кормів тваринного походження, відходів олійно-екстракційної промисловості слід користуватись довідковими даними, оскільки кореляційні зв'язки між КПЕ та СП і СК недостовірні.

Ці рівняння дозволяють відносно точно визначати коефіцієнти перетравності енергії і можуть успішно використовуватись в

$$\text{КПЕ} = 88,9 + 0,020 \times \text{СП} - 0,09 \times \text{СК}. \quad (19)$$

Таким чином, вміст перетравної енергії в кормі чи раціоні слід визначати за рівнянням 20:

$$\text{ПЕ} = \text{ВЕ} \times \text{КПЕ}. \quad (20)$$

Оскільки не вся енергія поживних речовин потрапляє в внутрішнє середовище організму у вигляді доступних для окислення продуктів, а частково втрачається з

показника – енергії ніж чотирьох. Коефіцієнт перетравності енергії в траві, силосі, сінажі бобових трав і бобово-злакових сумішок, а також в сіні і трав'яному борошні виготовленому з будь-якої сировини можна визначити за формулою 16:

сінажу із злакових трав і злаково-бобових сумішок рекомендуємо рівняння 17:

практичній роботі при визначенні поживності кормів за перетравною і обмінною енергією. При цьому не треба використовувати довідникові коефіцієнти перетравності, а визначають їх в залежності від хімічного складу корму, що більш об'єктивно і зручно в роботі.

Коефіцієнти перетравності енергії раціону можна визначити за рівнянням 19:

газоподібними продуктами бродіння, то доступна для обміну енергія буде менша за перетравну.

Обмінна енергія (метаболічна, фізіологічно корисна, кінетична

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

енергія засвоєних речовин) –
визначається як:

$$OE = BE - (EK + EC + EG). \quad (21)$$

В Україні прийнято визначати великої рогатої худоби за рівнянням
вміст обмінної енергії в кормах для 22:

$$OE = 0,01746 \times \text{ПП} + 0,03123 \times \text{ПЖ} + 0,01365 \times \text{ПК} + 0,01478 \times \text{ПБЕР}. \quad (22)$$

У Великобританії
використовується рівняння (ARC,
1984) [15]:

$$OE = 0,0152 \times \text{ПП} + 0,0342 \times \text{ПЖ} + 0,0128 \times \text{ПК} + 0,0159 \times \text{ПБЕР}, \quad (23)$$

де обмінна енергія в МДж, а
перетравні поживні речовини в
грамах.

В прийнятому в Україні рівнянні
калориметричні коефіцієнти для
протеїну і клітковини вищі тому в

$$OE = 0,81 \times \text{ПЕ}$$

Тобто кількість ОЕ в кормі або
раціоні становить 81 % від
перетравної.

Наявність констант означає, що
існує постійний взаємозв'язок між
ПЕ і ОЕ, що не вірно. В той час коли
ще в дослідях О. Кельнера доведено,
що продуктивна дія корму тим
нижча, чим більше в ній міститься
сирої клітковини.

Втрати енергії з газами залежать
від багатьох факторів, і в першу
чергу, від кількості СК та
легкоперетравних вуглеводів в
раціоні. В наших дослідженнях вони
складають біля 12 % ВЕ з
коливаннями 8-15 % і їх відносно
об'єктивно можна спрогнозувати за
рівняннями 4 і 5.

$$OE = BE \times \text{КПЕ} - EG - EC \quad (25)$$

$$BE = 0,0238 \times \text{СП} + 0,0397 \times \text{СЖ} + 0,0188 \times \text{СК} + 0,0175 \times \text{СБЕР} \quad (26)$$

$$\text{КП} = 88,9 + 0,020 \times \text{СП} - 0,090 \times \text{СК} \quad (27)$$

об'ємистих кормах завищений вміст
обмінної енергії, особливо в сінажі і
соломі.

Крім приведенного рівняння
визначення вмісту ОЕ в нормах ARC
(1984) [15] рекомендує таке:

$$(24)$$

Якщо втрати енергії з газами
можна досить точно визначити,
знаючи перетравність поживних
речовин, то втрати енергії з сечею
дуже слабо корелюють з сухою
речовиною. Найбільш тісний зв'язок
існує між рівнем СП в раціоні і
втратами енергії з сечею ($r=0,819$) які
можна визначити за рівнянням 8.

Таким чином, можна
рекомендувати дві системи рівнянь
для оцінки вмісту обмінної енергії в
кормах і раціонах.

Перша система рівнянь для
визначення ОЕ через сирі поживні
речовини і коефіцієнт перетравності
енергії:

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

або інше рівняння в залежності від виду корму, або довідкові дані:

$$ЕГ = 0,00544 \times СК + 0,00222 \times СБЕР \quad (28)$$

$$ЕС = 0,0238 \times СП + 0,15 \text{ або } ЕС = 0,00357 \times СП. \quad (29)$$

У цих рівняннях ВЕ, ОЕ, ЕГ, ЕС визначається в МДж, сирі поживні речовини в грамах в натуральному кормі за виключенням визначення КПЕ, де СП і СК в г/СР.

Друга система рівнянь для визначення вмісту обмінної енергії

$$ОЕ = ПЕ - ЕГ - ЕС \quad (30)$$

$$ПЕ = 0,02424 \times ПП + 0,03412 \times ПЖ + 0,01851 \times ПК + 0,017 \times ПБЕР \quad (31)$$

$$ЕГ = 0,00988 \times ПП + 0,0022 \times ПБЕР \quad (32)$$

$$ЕС = 0,02424 \times ПП \times 0,25 = 0,00606 \times ПП \quad (33)$$

У цих рівняннях ОЕ, ПЕ, ЕГ і ЕС виражені в МДж, сирі і перетравні поживні речовини в грамах в натуральному кормі.

Висновки і перспективи.

Проведена порівняльна оцінка використання різних способів визначення вмісту обмінної енергії свідчить на користь визначення її за рекомендованими рівнянням. Експериментальна перевірка, яка проведена в багатьох дослідах, підтверджує надійність і точність цих рівнянь.

Запропоновано методику розрахунку балансу енергії на основі

Список використаних джерел

1. Богданов Г. О. Годівля сільськогосподарських тварин. Київ : Вища школа, 2007. 731 с.
2. Гноєвий І. В. Годівля і відтворення поголів'я сільськогосподарських тварин в Україні. Харків : Магда LTD, 2006. 400 с.
3. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві: навч.

через перетравні поживні речовини з використанням коефіцієнтів перетравності поживних речовин встановлених в експериментах або взятих з довідника:

обліку валової енергії раціону і теплопродукції, систему рівнянь для визначення обмінної енергії через сирі поживні речовини і коефіцієнт перетравності енергії, систему рівнянь для визначення вмісту обмінної енергії через перетравні поживні речовини з використанням коефіцієнтів перетравності поживних речовин.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні порівняльних експериментальних досліджень різних методів визначення енергетичного балансу жуйних тварин.

посіб. / за ред. І. І. Ібатулліна, О. М. Жуковського. Київ : Аграрна наука, 2017. 328 с.

4. Цвігун А.Т. Обоснование энергетического питания молодняка крупного рогатого скота при различных типах кормления: дисс. ... докт. с.-х. наук: 06.02.02. Санкт-Петербург. Пушкин, 1993. 546 с.

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

5. Цвігун А. Т., Блюсюк С. М., Цвігун О. А. Биологические и методические аспекты распределения и использования энергии в организме животных: сборник научных трудов. Том 46. Часть 2. РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». Жодино, 2011. С. 188-194.

6. Цвігун А. Т., Цвігун О. А. Залежність споживання сухої речовини кормів молодняком великої рогатої худоби молочних і м'ясних порід. Науковий вісник НУБіП України. Серія «ТВППТ». 2013. Вип. 190. С. 198-203.

7. Olijhoek D. W., Lamminen M., Hellwing A. L. F., Larsen M., Weisbjerg M. R., Bach Knudsen K. E., Lund P. Effect of substituting maize silage with fresh or ensiled sugar beets on nutrient digestibility, rumen fermentation and microbial synthesis, and enteric methane emission in dairy cows. (2023) *Animal Feed Science and Technology*, Vol. 303, Article number 115715. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115715>.

8. Hellwing A. L. F., Lund P., Weisbjerg M. R., Brask M., Hvelplund T. Technical note: test of a low-cost and animal-friendly system for measuring methane emissions from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2012. Vol. 95 (10). P. 6077-6085. URL: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5505>.

9. Gunha T., Kongphitee K., Binsulong B., Sommart K. Net Energy Value of a Cassava Chip Ration for Lactation in Holstein-Friesian Crossbred Dairy Cattle Estimated by Indirect Calorimetry. *Animals*. 2023. Vol. 13. 2296. URL: <https://doi.org/10.3390/ani13142296>.

10. Suzuki T., Phaowphaisal I., Pholsen P., Narmsilee R., Indramanee S., Nitipot P., Chaokaur A., Sommart K., Khotprom N., Panichpol V. et al. In vivo nutritive value of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) hay by a novel indirect calorimeter with a ventilated hood in Thailand. *Japan Agric. Res. Q.* 2008. Vol. 42. P. 123-129.

11. Brouwer E. Report of subcommittee on constants and factors / Energy Metabolism of Farm Animals, 3rd.; Blaxter, K.L., Ed.; EAAP. London, UK: Academic Press, 1965. P. 441-443.

12. Ramin M., Fant P., Huhtanen P. The effects of gradual replacement of barley with oats on enteric methane emissions, rumen fermentation, milk production, and energy utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2021. Vol. 104. P. 5617-5630. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19644>.

13. Huhtanen P., Cabezas-Garcia E.H., Utsumi S., Zimmerman S. Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. *J. Dairy Sci.* 2015. Vol. 98 (25771050). P. 3394-3409. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9118>.

14. Карпусь М. М., Карпович С. І., Прокопенко Л. С. та ін. Довідник поживності кормів: посібник. Київ: Урожай, 1978. 260 с.

15. ARC. Energy allowances and feeding systems for ruminants. London, 1984. 85 p.

References

1. Bogdanov, G. O. (2007). Feeding of agricultural animals. Kyiv: Higher School.

2. Gnoevy, I. V. (2006). Feeding and reproduction of agricultural livestock in Ukraine. Kharkiv: Magda LTD.

3. Ibatullin, I. I., Zhukorskyi, O. M. (Eds.). (2017). Methodology and organization of scientific research in animal husbandry: manual. Kyiv: Agrarian Science,

4. Tsvygun, A. T. (1993). *Justification of energy nutrition of young cattle with different types of feeding*: (Doctoral dissertation, St. Petersburg. Pushkin).

5. Tsvygun, A. T., Blyusyuk, S. M., Tsvygun, O. A. (2011). Biological and methodological aspects of the distribution and use of energy in the animal organism: *Collection of scientific works*, Vol. 46. Part 2, RUP "Scientific and practical center of the National Academy of Sciences of Belarus for animal husbandry" Zhodino.

6. Tsvygun, A. T., Tsvygun O. A. (2013). Dependence of feed dry matter consumption by young cattle of dairy and meat breeds. *Scientific Bulletin of NUBiP of Ukraine. "TVPPPT" series*, 190, 198-203.

7. Olijhoek, D. W., Lamminen, M., Hellwing, A. L. F., Larsen, M., Weisbjerg, M. R., Bach Knudsen, K. E., Lund, P. (2023). Effect of substituting maize silage with fresh or ensiled sugar beets on

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

nutrient digestibility, rumen fermentation and microbial synthesis, and enteric methane emission in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 303, 115715. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115715>.

8. Hellwing, A. L. F., Lund, P., Weisbjerg, M. R., Brask, M., Hvelplund, T. (2012). Technical note: test of a low-cost and animal-friendly system for measuring methane emissions from dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 95 (10), 6077-6085. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5505>.

9. Gunha, T., Kongphitee, K., Binsulong, B., Sommart, K. (2023). Net Energy Value of a Cassava Chip Ration for Lactation in Holstein-Friesian Crossbred Dairy Cattle Estimated by Indirect Calorimetry. *Animals*, 13, 2296. <https://doi.org/10.3390/ani13142296>.

10. Suzuki, T., Phaowphaisal, I., Pholsen, P., Narmsilee, R., Indramanee, S., Nitipot, P., Chaokaur, A., Sommart, K., Khotprom, N., Panichpol, V. et al. (2008). In vivo nutritive value of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) hay by a novel indirect calorimeter

with a ventilated hood in Thailand. *Japan Agric. Res. Q.*, 42, 123–129.

11. Brouwer, E. (1965). Report of subcommittee on constants and factors. In *Energy Metabolism of Farm Animals*, 3rd.; Blaxter, K.L., Ed.; EAAP Academic Press: London, UK, 1965. P. 441–443.

12. Ramin, M., Fant, P., Huhtanen, P. (2021). The effects of gradual replacement of barley with oats on enteric methane emissions, rumen fermentation, milk production, and energy utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 104, 5617–5630. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19644>.

13. Huhtanen, P., Cabezas-Garcia, E.H., Utsumi, S., Zimmerman, S. (2015). Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. *J. Dairy Sci.*, 98 (25771050), 3394-3409. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9118>.

14. Karpus, M. M., Karpovych, S. I., Prokopenko L. S. etc. (1978). *Feed Nutrition Handbook: A Guide*. Kyiv: Harvest.

15. ARC. (1984). *Energy allowances and feeding systems for ruminants*. London.

PREDICTION OF GAS AND ENERGY BALANCE FOR RUMINANTS

A. T. Tsvigun, O. A. Tsvigun

Abstract. Establishing the mechanism of influence on the body of animals by external factors is very important for zootechnical science. The classic methods, which have been used for two centuries to explain their influence, are the study of the digestibility and balance of nutrients and individual organic and mineral elements. For ruminants, it is most accurate to draw up an energy balance as an integral indicator of all metabolic processes

The purpose of the work is to develop a methodology for calculating the energy balance based on accounting for the gross energy of the ration and heat production.

Knowing the amount of consumed gross and exchangeable energy, with great accuracy, it is possible to determine the amount of digestible energy.

Thus, after determining the amount of heat production in respiratory studies and calculating the energy value of the products, the amount of exchangeable energy is determined.

The amount of gross energy does not provide an objective estimate of the amount of energy available to the animal. For example, the dry matter of straw contains almost the same amount of gross energy as the dry matter of cereal grain (16.7-18.8 MJ), but the energy of the grain is easily available to animals, while most of it in straw remains unused. The energy of digestible nutrients of feed and rations is determined for a specific animal species.

Цвігун А. Т., Цвігун О. А.

Thus, it is possible to recommend two systems of equations for estimating the content of exchangeable energy in feeds and rations.

The first system of equations for determining OE through raw nutrients and energy digestibility.

The second system of equations for determining the content of exchangeable energy through digestible nutrients using digestibility coefficients of nutrients established in experiments or taken from a handbook.

Key words: *heat production, respiratory coefficient, gross energy, exchangeable energy, net energy of products, protein, fat, fiber*