

УДК 636.085

**Ю. В. Обертюх, кандидат сільськогосподарських наук**

*Інститут кормів УААН*

## **ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА КОРМІВ ДЛЯ ЖУЙНИХ ТВАРИН**

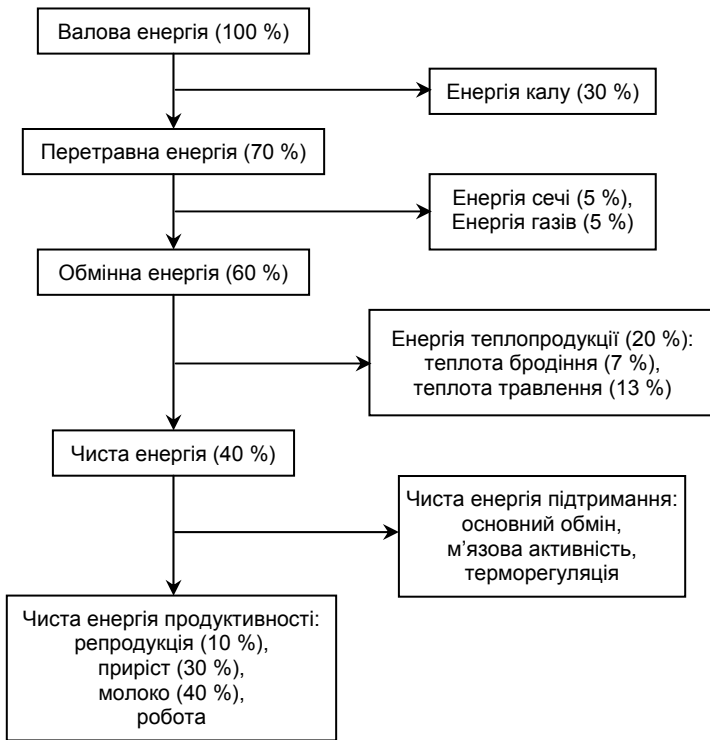
*Викладена сучасна енергетична оцінка поживності кормів, що застосовується у США, і враховує такий важливий показник як перетравна нейтрально детергентна клітковина.*

**Ключові слова:** *сума перетравних речовин, валова енергія, перетравна енергія, обмінна енергія, чиста енергія.*

Два термодинамічних закони керують потоками енергії в біологічних системах. Перший закон говорить про те, що енергія може бути перетворена з однієї форми в іншу (наприклад, енергія сонячного світла може бути перетворена рослинами шляхом фотосинтезу в хімічну енергію органічних сполук), але не може бути створена або знищена. Другий закон встановлює, що процеси перетворення енергії з однієї форми в іншу ефективні не на 100 %. Втрати енергії відбуваються при переході органічної речовини, що споживає тварина, в органічну речовину її власного тіла. Енергія корму втрачається твариною з калом, сечею, в результаті газовиділення та як термічна енергія при ферментації корму в рубці жуйних, у процесі основного обміну, терморегуляції, росту, репродукції, руху і створенню продукції, наприклад, молока (рис.).

Валову енергію (ВЕ) корму визначають у калориметричній бомбі де досліджуваний зразок корму спалюють у кисні, і за підвищенням температури води в калориметрі визначають кількість енергії, що утворилась. У різних кормах з однаковим вмістом валової енергії доступність її для тварин буде різною, це залежить, в основному, від перетравності структурних компонентів корму. Вміст валової енергії у вівсяній соломі, сінні із злакових трав, зерні кукурудзи і вівса відповідно становить 18,54, 18,88, 18,54 і 19,59 МДж/кг сухої речовини, а в складових корму жирі, цукрах, крохмалі, целюлозі та протеїні відповідно вона становить 39,6, 15,7, 17,7, 17,5 та 23,7 МДж/кг. В 1 кг сухої речовини більшості рослинних кормів міститься приблизно 18 МДж валової енергії [2, 9].

© Обертюх Ю. В., 2006



*Схема трансформації енергії корму*

Перетравну енергію (ПЕ) визначають за різницею між валовою енергією і енергією калу (ЕК) ( $ПЕ = ВЕ - ЕК$ ). Енергію калу також визначають у калориметричній бомбі. Слід зауважити, що до складу енергії калу входять не тільки неперетравні рештки корму, а й органічні речовини ендogenousного походження (травні ферменти, слиз, жовчні кислоти, епітеліальні клітини та ін.). Перетравна енергія в кормах коливається в широких межах, у грубих кормах її вміст становить 30 %, а в концентрованих до 90 % від валової енергії. В 1 кг суми перетравних речовин (СПР) міститься 18,4 МДж перетравної енергії [6; 13]. Сума перетравних речовин при підтримуючому обміні визначається за формулою [11, 16]:

$$\text{СПР}_{\text{IX}} (\%) = \text{прРНДК} (\%) + \text{прСП} (\%) + 2,25 \cdot \text{прЖК} (\%) + \text{прНДК} (\%) - 7. \quad (1)$$

Перетравність неструктурних вуглеводів на рівні підтримуючого споживання становить 98 %, а лактації – 90 %. Вміст перетравних неструктурних вуглеводів або розчинних у нейтральному детергенті компонентів (РНДК) можна розрахувати за формулою [11, 16]:

$$\text{прРНДК} (\%) = 0,98 \cdot (100 - \text{НДК} + \text{НДНСП} - \text{СП} - \text{СЖ} - \text{СЗ}) \cdot \text{ФО}, \quad (2)$$

де НДК – нейтрально детергентна клітковина, %

НДНСП – нерозчинний у нейтральному детергенті сирий протеїн, %

СП – сирий протеїн, %

СЖ – сирий жир, %

СЗ – сира зола, %

ФО – фактор обробки, впливає на перетравність крохмалю: подрібнене сухе зерно кукурудзи – 0,95, розмелене зерно кукурудзи – 1,00, розмелене вологе зерно кукурудзи – 1,04, кукурудзяні пластівці оброблені паром – 1,04, силос кукурудзяний – 0,94, силос кукурудзяний перезрілий – 0,87, меляса бурякова – 1,04, зерно вівса – 1,04, зерно ячменю плющене – 1,04, зерно пшениці плющене – 1,04, зерно сорго плющене – 0,92, зерно сорго оброблене паром – 1,04, інші корми – 1,00.

Перетравний сирий протеїн визначають за наступними рівняннями [11, 16]:

$$\text{прСП (для фуражу)} (\%) = \text{СП} \cdot \exp(-1,2 \cdot (\text{КДНСП}/\text{СП})), \quad (3)$$

$$\text{прСП (для концентратів)} = \text{СП} - 0,4 \cdot \text{КДНСП}, \quad (4)$$

де КДНСП – нерозчинний у кислотному детергенті сирий протеїн (недоступний протеїн), %.

Перетравні жирні кислоти (ЖК) є фракцією від сирого жиру склад якого непостійний (містить віск та ін. непоживні домішки) при вмісті сирого жиру до 3 % перетравність сирого жиру становить 95-100 %, якщо вміст сирого жиру менший ніж 1 % то прЖК = 0, розраховують за формулою [3, 11]:

$$\text{прЖК} (\%) = \text{СЖ} - 1. \quad (5)$$

Перетравна нейтрально детергентна клітковина розраховується за наступним рівнянням [11, 16]:

$$\text{прНДК (\%)} = 0,75 \cdot (\text{НДК} - \text{НДНСП} - \text{Л}) \cdot (1 - (\text{Л}/(\text{НДК} - \text{НДНСП}))^{0,667}), \quad (6)$$

де Л – лігнін, %.

Перетравну НДК можна також визначити *in vitro* при інкубації зразка корму із вмістимим рубця (штучний рубець) протягом 48 годин:

$$\text{прНДК (\%)} = (1 - ((100 - \text{IVТДПСР})/\text{НДК})) \cdot 100 \quad (7)$$

де IVТДПСР = *in vitro* дійсна перетравність сухої речовини, %

7 – процент обмінної СПР що виходить із калом.

Всі показники розраховуються на суху речовину.

Для кормів тваринного походження СПР при підтримуючому обміні розраховується за наступним рівнянням [11]:

$$\text{СПР}_{\text{IX}} (\%) = \text{КДПСР} \cdot \text{СП} + 2,25 \cdot \text{ЖК} + 0,98 \cdot (100 - \text{СП} - \text{СЗ} - \text{СЖ}) - 7, \quad (8)$$

де КДПСР – коефіцієнт дійсної перетравності сирого протеїну: кров'яне борошно – 0,75-0,86, гідролізне борошно з пір'я – 0,78, гідролізне борошно з пір'я з внутрішніми органами – 0,81, рибне борошно – 0,95, м'ясо-кісткове борошно – 0,80, м'ясне борошно – 0,92, сироватка – 1,00.

Для жирних добавок, що містять гліцерин (у середньому сирий жир містить 10 % гліцерину і 90 % жирних кислот), СПР при підтримуючому обміні розраховується за наступним рівнянням [11]:

$$\text{СПР}_{\text{IX}} (\%) = \text{СЖ} \cdot (2,025 \cdot \text{КПЖК} + 0,1). \quad (9)$$

Для жирних добавок, що не містять гліцерину, СПР при підтримуючому обміні розраховується за наступним рівнянням [11]:

$$\text{СПР}_{\text{IX}} (\%) = 2,25 \cdot \text{КПЖК} \cdot \text{СЖ}, \quad (10)$$

де КПЖК – коефіцієнт перетравності жирних кислот: кальцієві солі жирних кислот – 0,86, жирні кислоти тваринного походження –

0,79, тваринний жир – 0,68, частково гідрогенізований тваринний жир – 0,43, рослинна олія – 0,86.

Перетравна енергія калу розраховується за таким рівнянням [11]:

$$\text{ПЕ (кала)} = 7 \cdot 0,184 = 1,288 \text{ МДж/кг.} \quad (11)$$

Для більшості кормів перетравна енергія при підтримуючому обміні розраховується за рівнянням [11]:

$$\text{ПЕ}_{\text{IX}} \text{ (МДж/кг)} = 0,1758 \cdot \text{прРНДК} + 0,1758 \cdot \text{прНДК} + \\ + 0,2344 \cdot \text{прСП} + 0,3935 \cdot \text{ЖК} - 1,25. \quad (12)$$

Для кормів тваринного походження перетравна енергія при підтримуючому обміні розраховується за рівнянням [11]:

$$\text{ПЕ}_{\text{IX}} \text{ (МДж/кг)} = 0,1758 \cdot \text{прРНДК} + 0,2344 \cdot \text{прСП} + \\ + 0,3935 \cdot \text{ЖК} - 1,25. \quad (13)$$

Для жирових добавок, що містять гліцерин, перетравна енергія при підтримуючому обміні розраховується за рівнянням [11]:

$$\text{ПЕ}_{\text{IX}} \text{ (МДж/кг)} = \text{СЖ} \cdot (0,354 \cdot \text{КПЖК} + 0,017). \quad (14)$$

Для жирових добавок, що не містять гліцерин, перетравна енергія при підтримуючому обміні розраховується за рівнянням [11]:

$$\text{ПЕ}_{\text{IX}} \text{ (МДж/кг)} = 0,3935 \cdot \text{КПЖК} \cdot \text{СЖ.} \quad (15)$$

Перетравну енергію можна, також, розрахувати за сумою перетравних речовин [11]:

$$\text{ПЕ}_{\text{IX}} \text{ (МДж/кг)} = 0,18456 \cdot \text{СПР}_{\text{IX}} \text{ (%).} \quad (16)$$

При збільшенні рівня споживання корму вище підтримуючого обміну перетравність корму зменшується, однак суттєве зменшення спостерігається тільки при високій насиченості енергією корму, при рівнях 60 %  $\text{СПР}_{\text{IX}}$  і менше. Поправка дорівнює 1. Поправку можна розрахувати за наступним рівнянням [5, 11, 14, 15]:

$$\text{Поправка} = (\text{СПР}_{1X} - \text{РСК} \cdot (0,18 \cdot \text{СПР}_{1X} - 10,3)) / \text{СПР}_{1X} \quad (17)$$

де РСК – рівень споживання корму, виражений у кількостях корму на підтримку.

Наприклад, якщо корова споживає 21 кг сухої речовини корму в день, а на підтримуючий обмін використовує 7 кг сухої речовини корму, то РСК =  $21/7 - 1 = 2$  тобто ( $3X - 1X = 2X$ ).

Для визначення перетравної енергії на рівні продуктивного споживання корму необхідно перетравну енергію на підтримку помножити на Поправку:

$$\text{ПЕ}_{\text{прд}} = \text{Поправка} \cdot \text{ПЕ}_{1X} \quad (18)$$

Обмінна енергія (ОЕ) визначається як різниця між перетравною енергією і енергією сечі (ЕС) та газів (метан) (ЕГ) бродіння в рубці (ОЕ = ПЕ – ЕС – ЕГ). Для моногастричних тварин енергію газів не враховують. У більшості грубих кормів і їх суміші із зерновими концентратами відношення між обмінною і перетравною енергією становить у середньому 0,82, проте воно може зазнавати значних коливань, які залежать від рівня годівлі, виду корму і віку тварин (ОЕ =  $0,82 \cdot \text{ПЕ}$ ) [2.]. Обмінну енергію можна також розрахувати за наступним рівнянням [4, 11]:

$$\text{ОЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}) = 1,01 \cdot \text{ПЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}) - 1,88. \quad (19)$$

Якщо вміст сирого жиру перевищує 3 % то обмінну енергію визначають за наступною формулою [11]:

$$\text{ОЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}) = (1,01 \cdot \text{ПЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}) - 1,88) + 0,019 \cdot (\text{СЖ} - 3). \quad (20)$$

Для жирних добавок ОЕ становить [11]:

$$\text{ОЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}) = \text{ПЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}). \quad (21)$$

Обмінну енергію можна, також, розрахувати за сумою перетравних речовин [11]:

$$\text{ОЕ}_{1X} (\text{МДж/кг}) = 0,1864 \cdot \text{СПР}_{1X} (\%) - 1,88. \quad (22)$$

Чиста енергія (ЧЕ) являє собою обмінну енергію, що використовується в обміні речовин за різницею енергії теплопродукції (ЕТ) і виділяється у процесі перетравлення корму ( $ЧЕ = ОЕ - ЕТ$ ). Енергія теплопродукції складається з енергії яка утворюється під час ферментації корму мікроорганізмами рубця (для моногастричних тварин не враховують) і в процесі його травлення: споживання корму, пережовування, механічна активність травного тракту, виділення травних ферментів, всмоктування поживних речовин та ін. Чиста енергія може бути безпосередньо використана організмом на підтримання життя (основний обмін, рух м'язів, терморегуляція та ін.) та на забезпечення продуктивності (ріст репродуктивних органів і плоду, приріст живої маси, утворення молока, фізична робота, ріст шерсті та ін.). Чисту енергію лактації в кормі при підтримуючому обміні розраховують за наступною формулою [10, 11]:

$$ЧЕ_{л_{1x}} \text{ (МДж/кг)} = 0,703 \cdot ОЕ_{1x} \text{ (МДж/кг)} - 0,8. \quad (23)$$

Якщо вміст сирого жиру перевищує 3 % то чисту енергію лактації визначають за наступною формулою [4, 11, 12]:

$$ЧЕ_{л_{1x}} \text{ (МДж/кг)} = (0,703 \cdot ОЕ_{1x} \text{ (МДж/кг)} - 0,8) + \\ + (((0,097 \cdot ОЕ_{1x} \text{ (МДж/кг)} + 0,8)/97) \cdot (СЖ - 3)). \quad (24)$$

Для жирових добавок ЧЕЛ визначають за наступним рівнянням [11]:

$$ЧЕ_{л_{1x}} \text{ (МДж/кг)} = 0,8 \cdot ОЕ_{1x} \text{ (МДж/кг)}. \quad (25)$$

Чисту енергію лактації можна, також, розрахувати за сумою перетравних речовин [11]:

$$ЧЕ_{л_{1x}} \text{ (МДж/кг)} = 0,131 \cdot СПР_{1x} \text{ (\%)} - 0,52. \quad (26)$$

Розрахувати Поправку можна, також, за іншим рівнянням яке враховує чисту енергію лактації при підтримуючому обміні:

$$\text{Поправка} = (1,35 \cdot РСК)/(ЧЕ_{л_{1x}} + 0,52) - 0,18 \cdot РСК + 1. \quad (27)$$

Тоді, чисту енергію лактації на рівні продуктивного споживання розраховують за наступною формулою:

$$\text{ЧЕл}_{\text{прд}} = \text{Поправка} \cdot \text{ЧЕл}_{\text{ІХ}} \quad (28)$$

Розрахунок чистої енергії в кормі на підтримуючий обмін проводять за рівнянням [7, 11]:

$$\text{ЧЕл}_{\text{пд}} (\text{МДж/кг}) = 1,37 \cdot \text{ОЕ} (\text{МДж/кг}) - 0,033 \cdot \text{ОЕ}^2 + 0,0006 \cdot \text{ОЕ}^3 - 4,69. \quad (29)$$

Розрахунок чистої енергії в кормі на приріст проводять за рівнянням [11]:

$$\text{ЧЕпр} (\text{МДж/кг}) = 1,42 \cdot \text{ОЕ} (\text{МДж/кг}) - 0,042 \cdot \text{ОЕ}^2 + 0,0007 \cdot \text{ОЕ}^3 - 6,90. \quad (30)$$

Представлені формули для розрахунку енергетичної поживності кормів базуються на системі оцінки потреби в поживних речовинах для дійних корів NRC (2001), яка застосовується в США. Незважаючи на те, що розрахунок енергетичної поживності кормів дещо громіздкий і містить нелінійні залежності, все ж таки дана система оцінки є цілісною. Особливо слід відзначити те, що для оцінки енергетичної поживності грубих кормів використовується такий показник як нейтрально детергентна клітковина про значення якої докладніше викладено в статті [1]. Бобове сіно, наприклад, містить в середньому 50,7 % (діапазон 30-70 %) НДК і 38,0 % (діапазон 24-50 %) кислотно детергентної клітковини (КДК) на суху речовину, злакове 63,7 % (діапазон 51-80 %) НДК і 40,4 % (діапазон 32-52 %) КДК, тобто злакове сіно містить на 10,6 % більше геміцелюлози. Перетравність геміцелюлози становить 50 % (діапазон 20-80 %), целюлози – 70 % (діапазон 50-90 %), лігніну – 10 % (діапазон 0-20 %) [8]. Виходить, що перетравність злакового сіна буде нижчою у зв'язку з підвищеним вмістом геміцелюлоз. Лігнін зменшує перетравність НДК і його більше в бобовому сіні ніж у злаковому. Однак, бобове сіно перетравлюється швидше ніж злакове, тому з нього корова може отримати більше енергії за одиницю часу. Бобове сіно рекомендується згодовувати коровам на початку лактації, всередині – бобово-злакове, а в кінці лактації і в сухостійний період – злакове.

Представлені розрахунки енергетичної поживності базуються, в основному, на хімічних аналізах корму, дійсна енергетична поживність кормів залежить від багатьох факторів, які впливають на перетравність корму: це якість самого корму, наявність у ньому антипоживних речовин,



процес підготовки корму до згодовування, склад раціону і його збалансованість за протеїном, структурними і неструктурними вуглеводами, фізіологічний стан тварин та ін. Проте, викладена сучасна оцінка енергетичної поживності кормів є об'єктивною, вона максимально точно визначає енергію корму.

### Бібліографічний список

1. Обертюх Ю. В. Роль структурних і неструктурних компонентів рослинних кормів у годівлі жуйних тварин // Корми і кормовиробництво. – 2005. – Вип. 55. – С. 187-194.
2. Янович В. Г., Сологуб Л. І. Біологічні основи трансформації поживних речовин у жуйних тварин. – Львів: Тріада плюс, 2000. – 384 с.
3. Allen M. S. **Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle** // *J. Dairy Sci.* – 2000. – Vol. 83. – P. 1598-1624.
4. Andrew S. M., Tyrrell H. F., Reynolds C. K., Erdman R. A. **Net energy for lactation of calcium salts of long-chain fatty acids for cows fed silage-based diets** // *J. Dairy Sci.* – 1991. – Vol. 74. – P. 2588-2600.
5. Colucci P. E., Chase L. E., Van Soest P. J. **Feed intake, digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle** // *J. Dairy Sci.* – 1982. – Vol. 65. – P. 1445-1456.
6. Crampton E. W., Lloyd L. E., MacKay V. G. **The calorie value of TDN** // *J. Anim. Sci.* – 1957. – Vol. 16. – P. 541-552.
7. Garrett W. N. **Energy utilization by growing cattle as determined by 72 comparative slaughter experiments.** *Energy Metab./ Proc. Symp.* – 1980. – Vol. 26. – P. 3-7.
8. Linn J. G., Martin N. P. **Forage Quality Tests and Interpretations. Reviewed./ University of Minnesota Extension service.** – 1999.
9. Maynard L. A., Loosli J. K., Hintz H. F., Warner R. G. **Animal Nutrition.** / 7<sup>th</sup>. McGraw-Hill, Inc., New York, NY. – 1979.
10. Moe P. W., Tyrrell H. F. **The net energy value of feeds for lactation.** // *J. Dairy Sci.* – 1972. – Vol. 55. – P. 945-958.
11. National Research Council. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle.** / Natl. Acad. Press, Washington DC. – 2001. – 363 с.
12. Romo G. A., Casper D. P., Erdman R. A., Teter B. B. **Abomasal infusion of cis or trans fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows** // *J. Dairy Sci.* – 1996. – Vol. 79. – P. 2005-2015.
13. Swift B. W. **The caloric value of TDN** // *J. Anim. Sci.* – 1957. – Vol. 16. – P. 1055-1059.

14. Tyrrell H. F., Moe P. W. Effect of intake on digestive efficiency // J. Dairy Sci. – 1975. – Vol. 58. – P. 1151-1163.
15. Wagner D. G., Loosli J. K. Studies on the energy requirements of High-producing cows./ Memoir 400, Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. – 1967.
16. Weiss W. P., Conrad H. R., Pierre N. R. S. A theoretically based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates // Anim. Feed Sci. Technol. – 1992. – Vol. 39. – P. 95-110.