

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ ТВАРИН НААН УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ТВАРИННИЦТВА НААН УКРАЇНИ**

**РЕКОМЕНДАЦІЇ  
З ОЦІНКИ МЕТАНОГЕНЕЗУ І ЕМІСІЇ МЕТАНУ ВЕЛИКОЮ  
РОГАТОЮ ХУДОБОЮ**

**Київ 2011**

**ББК 45.28**

**Р 36**

**УДК 636.2:539.219.1:547.211**

Методичні рекомендації передбачають порядок визначення річних обсягів емісії метану великою рогатою худобою. Вони описують методичні підходи які використовуються нині в світі для оцінки метаногенезу та емісії метану худобою і пропонують експериментальні коефіцієнти для оцінки річних обсягів виділення метану в атмосферу великою рогатою худобою України.

Рекомендовано для використання працівниками Міністерства охорони навколишнього природного середовища, органів державної статистики, а також можуть бути корисні для фахівців наукових організацій та установ, що проводять дослідження в галузях екології, тваринництва, інших зацікавлених користувачів.

Розглянуто і схвалено на засіданні секції виробництва та переробки продукції тваринництва і птахівництва Науково-технічної ради Міністерства аграрної політики України (протокол № від 00.11.2011 р.), Вченою Радою Інституту біології тварин НААН України (протокол № \_\_\_ від \_\_\_ 2011 р.) та проблемною вченою радою НДІ тваринництва і водних біоресурсів Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № від 00.11.2011 р).

**Укладачі:** доктор сільськогосподарських наук, професор, академік УААН **Г.О. Богданов**; доктор ветеринарних наук, професор, академік НААН В.В. Влізло; доктор сільськогосподарських наук, професор В.І. Костенко; кандидат сільськогосподарських наук І.В. Лучка; кандидат біологічних наук О.В. Ільїнський;

Рецензенти:

ISBN

ББК 45.28

Р 36

© **Г.О. Богданов** і інші. Всі права охороняються. Жодна частина цього видання не може бути відтворена у будь-якій формі без письмової згоди авторів.

## ПЕРЕДМОВА

У процесі еволюції види тварин, що харчуються рослинними кормами набули властивостей, за допомогою мікроорганізмів, перетравлювати грубоволокнисті корми до речовин здатних всмоктуватися у кров і використовуватися на енергетичні і пластичні потреби. Найбільш адаптованими до споживання об'ємистих кормів є жуйні тварини, котрі мають складний шлунок. Ось чому основними джерелами метану в тваринництві є ферментація в травному каналі жуйних і тваринні відходи. Біля 20% загальної емісії метану в атмосферу зумовлено метаногенезом у рубці жуйних тварин.

Регуляція метаногенезу та емісії метану жуйними тваринами представляє собою важливу екологічну проблему. В літературі є конкретні дані відносно інтенсивності метаногенезу жуйними в окремих країнах земної кулі, де моніторингу його емісії в атмосферу надається належна увага і розробляються конкретні заходи його регуляції. Що ж стосується України, то хоча нею і підписаний серед 160-ти країн світу Кіотський Протокол (1997), про заходи по зменшенню викидів в атмосферу парникових газів і розробці шляхів його регуляції, робота в цьому напрямку фактично не ведеться. У зв'язку з цим науково-практичний інтерес становлять дослідження кількісної сторони метаногенезу та емісії метану в атмосферу великою рогатою худобою в різних зонах України, які істотно відрізняються за типом годівлі. Результати досліджень такого плану слугуватимуть основою державної системи моніторингу за емісією метану в атмосферу жуйними тваринами та заходів, скерованих на її обмеження.

Установлено, що кінцевими продуктами перетравлення вуглеводів рослинних кормів у рубці є: леткі жирні кислоти (ЛЖК), метан, вуглекислий газ, вода і аденозинтрифосфорна кислота (АТФ). Енергія перебродивших у рубці поживних речовин розподіляється на енергію ЛЖК, метану і теплоту бродіння. При цьому енергія метану являє собою прямі втрати енергії корму при його бродінні у складному шлунку, хоча є дані про те, що синтез метану

– це фізіологічно необхідний процес для зв'язування надлишку водню.

Утворення метану в рубці великої рогатої худоби супроводжується значною втратою енергії корму котра може досягати до 12 % і вважається однією із основних втрат при їх годівлі, оскільки на утворення кожної молекули метану з  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ , як основних попередників метану, затрачається енергія 4 макроергів.

Штучне пригнічення метаногенезу сприяє підвищенню ефективності використання енергії раціону. Одним із напрямків зниження метаногенезу в рубці жуйних тварин є застосування екзогенних речовин, які здатні впливати на протікання ферментативних процесів у ньому. Такими речовинами можуть бути природні сорбенти-алюмосилікати (цеоліт, вермикуліт, палигорскіт, сапоніт і ін.), що є складовою частиною гірських порід і мають різну структуру (кристалічну, аморфну або гелево-пористу). Їм притаманні високі адсорбційні та іонообмінні якості. Слід відзначити, що цеоліти містять понад 40 макро- та мікроелементів і при цьому коефіцієнт засвоєння цих сполук складає понад 99 %, що дозволяє використовувати їх у годівлі жуйних тварин. Досліди щодо застосування цих речовин у годівлі жуйних тварин показали їх високі радіоентеросорбуючі властивості, підвищення продуктивної віддачі корму, краще засвоєння азотистих речовин, зростання приростів маси тіла та продуктивності тварин. Що стосується впливу цих сполук на процеси метаногенезу то таких даних обмаль.

Важливим питанням є пошук шляхів корекції процесу метаногенезу у рубці жуйних тварин, кінцевою метою яких є зменшення утворення та емісії метану в атмосферу, зниження втрат енергії раціонів та підвищення їхньої продуктивності.

## 1. МЕТАНОГЕНЕЗ І ЕМІСІЯ МЕТАНУ

### 1.1. Особливості утворення і виділення газів у рубці

Дослідженнями у респіційних камерах було встановлено, що у молочних корів рубцеві гази мають такий склад:  $\text{CO}_2$  – від 46 до 77% (у середньому – 50-70%),  $\text{CH}_4$  (разом з азотом) – 23-50%. Було також визначено швидкість утворення газів „натошак” і після годівлі, яка склала від 0-40 до 1000-1100 мл/хв і у тому числі  $\text{CO}_2$  – від 22 до 766 мл/хв, а також загальну кількість газів, що виділилися за 12 годин – 150-310 л – залежно від складу раціону [1]. У дослідженнях Ажибекова М. [2] добове виділення газів через рубцеву фістулу склало 196-854 л залежно від складу раціону. На основі експериментальних даних [3] зробили висновок, що кількість метану, яка виділяється за підтримуючого рівня годівлі у великої рогатої худоби і овець можна визначити за рівнянням:

$$\text{CH}_4 (\% \text{BE}) = 3,67 + 0,062 \times \% \text{ перетравності сухої речовини корму.} \quad (1)$$

Дослідженнями встановлено, що швидкість виділення газів непостійна. Навіть при регулярному надходженні корму у рубець швидкість розщеплення у ньому вуглеводів значно варіює [4]. Суттєвий вплив на утворення газів у рубці має кратність згодовування концентрованих кормів. Так, при згодовуванні концентрованих кормів 2, 4 і 8 разів за добу утворення газів, яке вимірювалося між 6 и 20 годинами склало відповідно: 81,5, 58,6 та 58,7 мл/хв [5]. Збільшення частки концентрованих кормів у раціоні змінює целюлозолітичний тип бродіння у рубці на амілолітичний, що супроводжується зниженням рН рубцевої рідини і інгібуванням целюлозолітичної активності.

Вивчення складу рубцевих газів у дорослої великої рогатої худоби [6] після 33-годинної голодної витримки показало наявність у середньому 48,7%  $\text{CO}_2$  і 51,2%  $\text{CH}_4$ . При цьому співвідношення концентрацій  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  у рубці складало 2,17.

У дослідженнях [7] на голштинських коровах було показано, що рівень споживання сирого жиру, сирого протеїну і лігніну не мають впливу на

інтенсивність утворення метану. Істотним ( $r^2 = 0,67$ ) виявився зв'язок між рівнем виділення метану і споживанням безазотистих екстрактивних речовин (БЕР), геміцелюлози і целюлози, а також із кількістю перетравлених вищевказаних фракцій вуглеводів ( $r^2 = 0,74$ ). При цьому на 1 кг перетравленої целюлози виділялося у 5 разів більше  $\text{CH}_4$ , ніж на 1 кг перетравлених БЕР і у 3 рази більше, ніж на 1 кг перетравленої геміцелюлози. Відмічено також зв'язок між зростанням концентрації  $\text{CH}_4$  у респіраційній камері після споживання кормів і зменшенням рН в той же самий час.

## 1.2. Рівень годівлі і процеси метаногенезу у рубці

Вивчення впливу рівня годівлі на процеси рубцевого метаногенезу було оцінено у серії із 3 фізіологічних дослідів на бугайцях з фістулою рубця, що становило відповідно 197, 235 і 326 % від підтримуючого (табл. 1).

Таблиця 1. – Середньодобові значення показників рубцевого бродіння за різного рівня годівлі

Показник	M±m	M±m	M±m
Фактичний рівень годівлі, МДж/кг	1,085	0,749	0,691
Концентрація енергії, МДж/кг СР	11,83±0,022	10,46±0,013	10,78±0,003
Сирий протеїн, % СР	12,99±0,09	13,24±0,11	11,82±0,00
ЛЖК, мекв/100	9,36±0,30	9,33±0,03	5,80±0,09
Молярні частки, %, оцтова ( $\text{C}_2$ )	63,48±0,50	64,12±0,31	66,23±0,37
пропіонова ( $\text{C}_3$ )	17,11±0,36	17,27±0,47	18,61±0,25
масляна ( $\text{C}_4$ )	19,41±0,85	18,61±0,19	15,16±0,59
Рубцеві гази: $\text{CO}_2$ , %	53,03±1,94	57,41±1,62	49,11±4,49
$\text{CH}_4$ , %	27,93±0,17	25,32±1,07	22,36±2,37
Кг	1,90±0,06	2,27±0,07	2,22±0,11

Основним показником, який характеризує спрямованість процесів бродіння у рубці є динаміка і співвідношення концентрацій ЛЖК у рубцевій рідині. Інтенсивність накопичення ЛЖК, питома вага ацетату, пропіонату і бутирату – основних продуктів зброджування вуглеводів – свідчать, який субстрат у окремі періоди доби є основою мікробіальних процесів у рубці.

Дослідження засвідчили, що рівень годівлі суттєво впливав на інтенсивність і спрямованість процесів бродіння у рубці. Проте необхідно

зазначити, що при наближенні до максимального рівня споживання поживних речовин різниця між рівнями годівлі ставала несуттєвою, на противагу різниці між низьким і середнім рівнями. Встановлена різниця концентрації ЛЖК на раціонах з різними рівнями годівлі зберігалася впродовж усього часу доби. У перші години після годівлі спостерігали зростання концентрації ЛЖК у рубцевій рідині з наступним поступовим зниженням до величин характерних для даного рівня годівлі.

Оцінюючи динаміку молярного співвідношення окремих ЛЖК у рубцевій рідині слід зазначити, що рівень ацетату змінювався від 61,1 до 69,0%, при цьому максимальні величини характеризували низький рівень годівлі. Питома вага пропіонату більш високою була при низькому і середньому рівнях годівлі. Подібна залежність встановлена [8] при вивченні впливу рівня годівлі від 2,2 підтримуючого до 3,3 підтримуючого на концентрацію ЛЖК у рубці лактуючих корів.

Отже, за низького рівня годівлі легкозброджувані вуглеводи ферментуються впродовж перших годин після годівлі, а більшу частину доби відбувається ферментація важкозброджуємих вуглеводів і відповідно перерозподіл між співвідношенням молочнокислих і целюлозолітичних бактерій, простіших і інших мікроорганізмів, що заселяють рубець. У поєднанні із зміною рН рубцевої рідини все це призводить до змін у співвідношенні питомої ваги у складі ЛЖК: ацетату, пропіонату і бутирату.

Оцінюючи динаміку концентрації вуглекислого газу у рубцевих газах встановили, що вона знаходилася у прямій залежності від концентрації ЛЖК у рубцевій рідині та концентрації ацетату (оцтової кислоти). Так, за низького рівня годівлі при відносно низькій концентрації ЛЖК і питомій вазі ацетату концентрація  $\text{CO}_2$  була мінімальною у порівнянні з високим рівнем годівлі.

Концентрація ж  $\text{CH}_4$  за всіх рівнів годівлі характеризувалася близькими величинами і складала у середньому 23 – 27 %об. У результаті відношення концентрацій  $\text{CO}_2$  до  $\text{CH}_4$  (Кг) при низькому рівні годівлі знаходилося у межах 1,90, а на середньому і високому відповідно: 2,20 і 2,27

і не мало суттєвої різниці в динаміці. Проте за даними [9], при збільшенні рівня годівлі від 1 підтримуючого до 1,7 підтримуючого метаногенез на одиницю сухої речовини раціону зменшувався від 44,2 до 38,1 л/кг.

### **1.3. Концентрація енергії у сухій речовині раціону і процеси метаногенезу у рубці**

Оскільки основну масу поживних речовин рослинних кормів складають вуглеводи то концентрація енергії у сухій речовині раціону визначається, в першу чергу, співвідношенням легко- і важкорозчинних вуглеводів. Співвідношення цих груп поживних речовин у раціоні має головний вплив на процеси ферментації у рубці. Так, за даними [10] на висококонцентратних раціонах концентрація ЛЖК у рубцевій рідині складала 104,5 мМ/л проти 99,0 мМ/л на низькоконцентратному. У дослідях на бугайцях з використанням раціонів із різним співвідношенням (від 0 до 80%) плющеної кукурудзи і сіна встановили [11], що із збільшенням рівня концентрованих кормів у раціоні знижується перетравність сирої клітковини у рубці.

Вивчення змін рубцевого травлення залежно від концентрації енергії (від 8,88 до 11,74 МДж/кг) у сухій речовині раціону (КЕ) і однаковому рівні годівлі і концентрації "сирого" протеїну у сухій речовині раціону виконано нами у серії фізіологічних дослідів на бугайцях з фістулою рубця. Проби рубцевої рідини і рубцевих газів відбирали 27 разів впродовж доби з інтервалом від 30 хв (після годівлі) до 2 годин (у нічний час).

Результати інтенсивності травних процесів у складному шлунку залежно від концентрації енергії у сухій речовині раціону засвідчили деяке зниження (від 37,5 до 34,1%) надходження сирої клітковини до дуоденуму, що говорить про покращення забезпечення мікрофлори рубця енергією при зміні її концентрації у сухій речовині раціону від 8,9 до 11,7 МДж/кг і посилення целюлозолітичних процесів у рубці. Це підтверджує висновки [12].

У дослідженні встановлено (табл. 2), що за підвищення концентрації енергії (КЕ) від 8,88 до 10,8 МДж/кг СР середньодобова концентрація ЛЖК у рубцевій рідині підвищилася від 9,17 до 9,45 мекв/100 мл, а максимальні



Таблиця 2.– Середньодобові значення показників рубцевого бродіння за різної концентрації енергії у раціоні (% моль)

Показник	M±m	M±m	M±m
Концентрація енергії, МДж/кг СР	8,88	9,83	10,80
Сирий протеїн, %СР	13,05±0,03	11,71±0,00	13,55±0,00
ЛЖК, мекв/100	9,17±0,27	8,01±0,23	9,45±0,06
Молярні частки, %, оцтова (С <sub>2</sub> )	67,98±0,82	67,07±0,47	64,27±1,50
пропіонова (С <sub>3</sub> )	19,44±0,52	19,09±0,14	21,38±2,51
масляна (С <sub>4</sub> )	12,59±0,48	13,85±0,33	14,35±1,56
Рубцеві гази: СО <sub>2</sub> , %	52,23±3,87	63,25±2,87	57,89±2,86
СН <sub>4</sub> , %	20,13±0,18	23,63±0,77	25,02±0,88
Кг	2,60±0,21	2,67±0,04	2,31±0,03

постпрандіальні концентрації ЛЖК у трьох дослідах становили відповідно: 10,6; 10,4 і 12,2 мекв/100 мл. Це підтверджує результати досліджень [13], котрий встановив вірогідне зниження концентрації ЛЖК при збільшенні частки грубих кормів у раціоні та [14], які вказують, що збільшення частки крохмалю у раціоні корів від 8 до 32% зменшувало вміст ЛЖК у рубцевій рідині від 9,65 до 7,81 моль.

Молярна частка ацетату впродовж доби також мала суттєві коливання і при високих концентраціях доступної обмінної енергії (ДОЕ) у сухій речовині раціону мала вірогідно менші значення показника, ніж на безконцентратному раціоні. У нічні години, коли у рубці переважають целюлозолітичні процеси бродіння, концентрація ЛЖК і їх співвідношення на різних раціонах характеризувалося близькими величинами і не залежало від концентрації енергії у них.

Концентрація СО<sub>2</sub> і СН<sub>4</sub> залежала від концентрації енергії у сухій речовині раціону. З підвищенням ДОЕ середньодобова концентрація СО<sub>2</sub> зростала від 52,2 до 57,9 %об, а СН<sub>4</sub> – від 20,1 до 25,0%об (p<0,05), що свідчить про зростання інтенсивності процесів бродіння у рубці.

Особливу важливість для нас мав аналіз поєднуваності процесів утворення вуглекислого газу і метану. Впродовж більшої частини доби відношення вуглекислого газу і метану знаходилося на рівні 2-2,5:1, тобто на

одну частину метану припадало 2-2,5 частини вуглекислого газу. Проте у перші 4-6 годин після годівлі відношення  $\text{CO}_2$  до  $\text{CH}_4$  змінювалося від 2-2,5:1 до 3,5:1. Отже, при переважно целюлозолітичному бродінні у рубці це відношення складає 2-2,5:1, а при використанні мікроорганізмами у якості субстрату легкозброджуваних вуглеводів відношення  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  розширюється до 3-3,5:1. Це свідчить про те, що утворення метану пов'язано, в основному, із синтезом ацетату (оцтової кислоти) з пірвіноградної кислоти – проміжного метаболіту, який утворюється при зброджуванні гексоз. За таких умов у великій кількості виділяється вільний водень, який разом із  $\text{CO}_2$  є головними попередниками метану у рубці [15, 16]. Джерелами метану слугує також форміат, продуктами розщеплення якого є  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  хоча первинними продуктами такого розщеплення є все ж таки  $\text{H}_2$  і  $\text{CO}_2$ .

#### **1.4. Концентрація сирого протеїну у сухій речовині раціону і процеси метаногенезу у рубці**

Дослідження закономірностей метаногенезу у рубці виконані при концентрації сирого протеїну у сухій речовині раціону у межах від 8,69 до 15,2 %.

Оцінюючи перетворення поживних речовин у складному шлунку при зміні концентрації сирого протеїну у сухій речовині раціону в усіх випадках встановили різке підвищення концентрації суми ЛЖК у рубцевій рідині у перші години після годівлі.

Результати досліджень свідчать і про доволі чітке розмежування часу інтенсивності амілолітичних і целюлозолітичних процесів бродіння у рубці. Так, якщо концентрація пропіонату різко зростала у перші години після годівлі і досягала максимуму через 3 години, то максимальна інтенсивність целюлозолітичних процесів, відображуваних концентрацією ацетату, наставала лише після ферментації легкозброджуваних вуглеводів. Це свідчить, що при рубцевій ферментації впродовж доби має місце циклічний розподіл у часі амілолітичних і целюлозолітичних ферментативних процесів.

Отже, за однакового рівня годівлі і рівній концентрації доступної для обміну енергії (ДОВ) у сухій речовині раціону рівень концентрації сирого протеїну не мав вірогідного впливу на концентрацію ЛЖК у рубцевій рідині. У середньому за 24-годинний період за умов досліджуваної концентрації сирого протеїну у сухій речовині раціону, концентрація ЛЖК у рубцевій рідині складала відповідно: 8,56, 8,01 та 7,89 мекв/100мл (табл. 3). Разом з тим чітко видно, що за концентрації сирого протеїну на рівні 12,8% мало місце суттєве зниження концентрації ЛЖК у рубцевій рідині впродовж усього часу доби. Це підтверджує результати Hoover W.H. (1987) ферментації 57 раціонів де було встановлено, що у міру розширення вуглеводно-білкового співвідношення від 2,4 до 10,0 знижується ефективність діяльності рубцевої мікрофлори. У той же час, внесення у рубець розчинів амонійних солей

Таблиця 3.– Середньодобові значення показників рубцевого бродіння за різної концентрації сирого протеїну у раціоні, (% моль)

Показник	M±m	M±m	M±m
Концентрація енергії, МДж/кг СР	8,52	10,88	9,59
Сирий протеїн, % СР	8,2±0,03	11,7±0,00	13,9±0,00
ЛЖК, мекв/100	8,6±0,20	8,0±0,23	7,9±0,28
Молярні частки, %, оцтова (C <sub>2</sub> )	65,7±0,03	67,0±0,47	65,2±0,14
пропіонова (C <sub>3</sub> )	19,8±0,19	19,1±0,14	17,0±1,02
масляна (C <sub>4</sub> )	14,4±0,16	13,8±0,33	17,2±1,17
Рубцеві гази: CO <sub>2</sub> , %	51,1±3,91	63,2±2,87	57,2±1,66
CH <sub>4</sub> , %	25,1±1,17	23,6±0,77	26,2±0,18
Кг	2,0±0,07	2,7±0,04	2,2±0,08

[17] підвищувало абсолютну концентрацію ЛЖК рубцевого розчину.

Також встановлено, що за достатнього забезпечення мікрофлори рубця азотовмісними речовинами бродильні процеси у ньому протікають більш рівномірно.

Результати вивчення добової динаміки концентрації рубцевих газів засвідчили, що вміст вуглекислого газу знаходився в межах 55-65 %об і лише у окремі моменти виходив за межі вказаних величин. Це свідчить про те, що концентрація CO<sub>2</sub> у рубцевих газах підтримується на відповідному рівні,

тобто є певні механізми регуляції і перш за все за рахунок зміни інтенсивності всмоктування у кров.

Концентрація метану змінювалася у більш широких межах відносних величин від 19 до 32 %об. Різниця при цьому сягала 73,7 %. Зміни концентрації  $\text{CH}_4$  пов'язані, перш за все, з інтенсивністю його утворення у процесі ферментації поживних речовин у рубці особливо у перші години після годівлі.

Дослідження також засвідчили, що відношення концентрацій  $\text{CO}_2$  до  $\text{CH}_4$  у рубцевих газах змінювалося від 1,6 до 2,3, тобто, на один об'єм  $\text{CH}_4$  припадало від 1,6 до 2,3 об'єми  $\text{CO}_2$ . У дослідженнях [18] за згодовування висококонцентратних раціонів відношення концентрацій  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  коливалося від 1,8 до 7,4, а на раціонах з перевагою грубих кормів – від 0,6 до 1,7.

Слід зазначити, що динаміка концентрації метану у рубцевих газах значною мірою повторювала динаміку концентрації пропіонату у рубцевій рідині. Це повністю узгоджується з положеннями про місце утворення  $\text{CH}_4$  у ланцюзі ферментативних перетворень вуглеводів у рубці.

У результаті проведених досліджень доведено, що концентрація сирого протеїну у сухій речовині раціону має суттєвий вплив на концентрацію і співвідношення  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  у рубцевих газах. Зростання концентрації протеїну від 8,7 до 11,0% (тобто поповнення дефіциту азотовмісних речовин) вірогідно збільшувало концентрацію  $\text{CO}_2$ . Подальше зростання концентрації сирого протеїну не змінювало динаміки концентрації  $\text{CO}_2$  у рубцевих газах.

Стосовно концентрації у рубцевих газах метану то одержана вірогідна різниця між середнім і високим рівнями сирого протеїну у раціоні, тобто, за високої концентрації сирого протеїну у сухій речовині раціону концентрація  $\text{CH}_4$  у рубцевих газах була вірогідно вищою. Вказані особливості зумовили вірогідну різницю значенням Кг за низького і середнього рівня протеїну (2,04 -2,67) та середнього і високого (2,67 – 2,19) ( $p < 0,05$ ).

Таким чином, концентрація сирого протеїну у сухій речовині раціону має значний вплив на характер рубцевого бродіння (ферментації) поживних

речовин, що проявляється як у зміні співвідношення ЛЖК у рубцевій рідині, так і у зміні концентрації у рубцевих газах  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  та їх співвідношення.

## **2. СУЧАСНІ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ МЕТАНОГЕНЕЗУ І ЕМІСІЇ МЕТАНУ ХУДОБОЮ**

### **2.1. Порівняльна характеристика існуючих методів оцінки метаногенезу і емісії метану жуйними**

Кількість метану, що виділяється, без оперативного втручання можливо визначити за допомогою **респіраційного обладнання**. Тому, у наукових дослідженнях найнадійним методом вважають використання респіраційних камер, які дозволяють враховувати добову кількість виділяємих газів. Проте найпоширенішими методами обліку метану є **розрахунковий метод** в основу якого покладено оцінку спожитих тваринами кормів раціону на основі перетравності валової енергії. Але такий підхід вимагає детальних даних про кількість та вид спожитих тваринами кормів, а похибка такого методу може сягати до 20 %. Крім того він є непридатним для визначення емісії метану в польових умовах. Так, у дослідженнях Хангейта було вивчено стехіометричні відношення деяких проміжних і кінцевих етапів мікробіальної деградації вуглеводнів і вперше були запропоновані рівняння регресії для визначення продукції метану на основі кількості перетравлених у травному каналі сполук. Підсумкове рівняння, розроблено для оцінки втрат енергії з метаном:

$$\text{CH}_4 (\text{МДж}) = 1,837 + 1,142 \text{ ПРР} + 2,142 \text{ ПГ} + 5,828 \text{ ПЦ}, \quad (2)$$

де: ПРР – кг перетравних розчинних речовин,

ПГ – кг перетравної гемицеллюлози,

ПЦ – кг перетравної целюлози.

На підставі експериментальних досліджень також було зроблено висновок, що кількість метану, який виділяється за підтримуючого рівня годівлі у великої рогатої худоби й овець можна розрахувати за рівнянням:

$$\text{CH}_4 (\% \text{ВЭ}) = 3,67 + 0,062 \times \% \text{ перетравності СР корму} \quad (3)$$

Пізніше було запропоновано ряд рівнянь, які описують кількість

метану, що виділяється великою рогатою худобою залежно від складу раціону, маси тіла тварини та її надою. Так, Shibatu Masaki et. al. (1992) запропонували рівняння:

$$\text{CH}_4 (\text{л/день}) = 0,0305 \times \text{спожив. СР (г/день)} - 4,441. \quad (4)$$

Kirchgessner et.al. (1994) запропонували свої рівняння:

$$\text{CH}_4 (\text{Мкал/день}) = 0,76 + 1,05\text{СКл} + 0,13\text{БЕР} + 0,35\text{СП} - 2,81\text{СЖ} \quad (5)$$

для зеленої маси:

$$\text{CH}_4 (\text{г/день}) = 10 + 4,9 \times \text{надій (кг/день)} + 1,5 \times W^{0,75}. \quad (6)$$

Kirchgessner et.al. (2000) для силосу:

$$\text{CH}_4 (\text{г/день}) = 59 + 4,9 \times \text{надій (кг/день)} + 1,5 \times W^{0,75}. \quad (7)$$

Johnson, Ward (1996) запропонували своє:

$$\text{CH}_4 (\text{Мкал/день}) = 0,54 + 0,39\text{Цукор} + 0,08\text{Крохмаль} + 0,68\text{Клітковина стінок}, \text{ кг за день}. \quad (8)$$

Слід, однак, враховувати відносну точність і область застосування запропонованих закономірностей. Наприклад, розрахункова кількість виділеного за добу метану однією коровою, що одержує раціон з 14,5 кг силосу, 2,0 кг пшеничної соломи, 3,0 кг люцернового сіна і 1,5 кг комбікорму по запропонованих рівняннях складає від 195 до 386 л за добу (195, 253, 269, 277 і 386 л/добу, або 50,7; 65,8; 70,0; 72,1; 100,4 кг/гол/рік), а у середньому – 276 л/добу (71,8 кг/гол/рік), що пояснюється різними шляхами утворення метану при використанні у раціонах різних кормів.

Виходячи з уявлень про шляхи метаногенезу у шлунку жуйних, був проведений розрахунок обсягів синтезу метану (Wolin a Miller, 1988) на раціонах, що забезпечують різне співвідношення утворення оцтової, пропіонової і масляної кислот у рубцевій рідині, що є кінцевими продуктами бродіння й енергетичними метаболітами для жуйних (табл. 1. 4).

Розрахунок показав, що найбільший вплив на продукцію метану, а отже, і на втрати енергії корму, має співвідношення між оцтовою, масляною і пропіоновою кислотами, що призводить до утворення від 0,48 до 0,64 моль  $\text{CH}_4$  на моль ферментованих гексоз. Тобто, навіть розрахункові коливання

Таблиця 4.– Продукція метану за різного співвідношення у рубцевій рідині оцтової, пропіонової і масляної кислот

Молярне співвідношення C <sub>2</sub> :C <sub>3</sub> :C <sub>4</sub>	Молей CH <sub>4</sub> на 1 моль ферментованої гексози	Молярне співвідношення C <sub>2</sub> :C <sub>3</sub> :C <sub>4</sub>	Молей CH <sub>4</sub> на 1 моль ферментованої гексози
70:20:10	0,64	65:25:10	0,57
65:20:15	0,61	60:30:10	0,50
60:20:15	0,54	55:30:15	0,48

емісії метану при однаковому споживанні вуглеводів можуть досягати 33%.

**Третя методика – SF<sub>6</sub> трейсова технологія вимірювання емісії метану у жуйних тварин** має високу точність вимірювань та можливість проводити дослідження за різних умов годівлі й утримання тварин та безпосередньо від тварин як у дослідних, так і у виробничих та польових умовах. Методика запропонована К. Johnson, М. Huyler, Н. Westberg, В. Lamb, Р. Zimmerman [19], вченими з університету штату Вашингтон та Колорадо США (US EPA). Ця технологія передбачає проведення безпосереднього відбору газів від тварин, респіраційним методом, із використанням газу-мітки – SF<sub>6</sub> (інертний газ без кольору та запаху, кількість якого можна визначати у надмалих концентраціях за допомогою газового хроматографу з детектором іонізації у полум'ї.) та подальшим аналізом відібраних газів на газовому хроматографі.

Запропонована методика визначення емісії метану, на відміну від традиційно використовуваних методів респіраційних досліджень, дозволяє проводити вимірювання у місцях технологічного утримання худоби – пасовища, корівники тощо. Суть методики полягає у вимірюванні концентрації метану відносно концентрації газу маркеру, емісія якого відбувається у рубці тварин. Заздалегідь виміряна швидкість емісії SF<sub>6</sub> дозволяє досить точно вирахувати об'єм виділеного з рубця метану.

Капсулу з газом-міткою яка має напівпроникну мембрану вміщують

(вводять) у рубець тварин через ротову порожнину.

Вірогідність результатів SF<sub>6</sub> – слідової методики була перевірена авторами у ході її розробки. Для перевірки стабільності і передбачуваності дифузії SF<sub>6</sub> із випускаючої капсули швидкість дифузії з заряджених капсул вимірювали гравіметрично впродовж декількох місяців. Під час перевірки капсули постійно знаходилися при температурі 39<sup>0</sup>С у водяній бані з культурою рубцевих мікроорганізмів. Встановлено, що вимірювана за цих умов швидкість емісії SF<sub>6</sub> була постійною і передбачуваною.

Також не було відзначено впливу SF<sub>6</sub> на мікрофлору і фауну рубця та на показники рубцевого бродіння – концентрацію ЛЖК, рН, продукцію метану та вміст бактерій і найпростіших у рубцевій рідині.

Після того, як була отримана достовірна відсутність впливу SF<sub>6</sub> на процеси рубцевої ферментації, була проведена серія експериментів з порівняння оцінки емісії метану SF<sub>6</sub> – методом і вимірами за допомогою респіраційно камери відкритого типу. Обома методами була оцінена емісія метану в 11 бичків м'ясних порід при різному рівні годівлі і на різних раціонах. Після проведення 55 дослідів по SF<sub>6</sub>-методиці і 25 дослідів у респіраційних камерах між двома методиками не було виявлено вірогідної різниці. При застосуванні SF<sub>6</sub>- методики встановлена швидкість емісії метану складала 11,53±0,41 л/год, а у респіраційних дослідах – 12,36±0,33 л/год.

### **2.1.1. Матеріали та обладнання для оцінки емісії метану.**

Випускна капсула (ВК), респіраційний пристрій для відбору газів, балон із стислим азотом, редуктор, вентиль, манометри, мідні трубки, роз'єм газовий, вакуумний насос, тефлонова прокладка, сталева шайба, накидна гайка, щипці (плоскогубці), чистий SF<sub>6</sub> (х.ч.), шприц пластиковий, 60 мл із товстою ін'єкційною голкою — 2 шт, посудина Дюара, рідкий азот, блок пінопласту з отвором для ВК, скляні приймачі у водяній бані, азот (газ).

**1. Випускна капсула (ВК)** виготовляється з латуні (рис 1), де свердлується порожнина для SF<sub>6</sub> діаметром 4,77 мм і глибиною 25,4 мм.. З



відкритого кінця капсула прикривається тefлоною прокладкою, сталеву шайбою і притягується накладною гайкою. Товщина і тип тefлону визначають швидкість дифузії  $SF_6$ . Тefлон TFE товщиною 12 мм та капілярами 2 мкм забезпечує дифузію  $SF_6$  1000-2000 нг/год при 39 °С.

Випускнуну капсулу заповнюють шестифтористою сіркою. Для заповнення ВК шестифтористою сіркою знімається накладна гайка, сталевая шайба і тefлонова прокладка, тіло капсули опускається в охолоджувач, наприклад, рідкий азот. Охолоджену капсулу виймають і стежачи щоб в неї не попала волога, фіксують в блоці пінопласту. Потім порожнину ВК швидко заповнюють  $SF_6$ . Для цього газоподібну  $SF_6$  через редуктор, за допомогою товстої ін'єкційної голки, набирають у 2 пластикові шприци ємкістю 60 мл кожний. Потім кінець голки опускають на дно капсули і газ поршнем повільно видавлюють. Капсулу швидко накривають тefлоною прокладкою, сталеву шайбою і фіксують накладною гайкою. Для визначення кількості  $SF_6$  капсулу зважують.

Наповнені ВК поміщають у скляний приймач, розміщений у водянній бані при температурі 39 °С, яка продувається слабким струменем азоту для видалення надлишку  $SF_6$ . Для визначення швидкості дифузії  $SF_6$  через тefлонову прокладку кожна ВК щотижня зважується. Зазвичай для надійного визначення достатньо 5-6 тижнів. ВК після повернення з травного каналу тварини можна використовувати повторно. Для цього частіше всього достатньо замінити тefлонову прокладку.



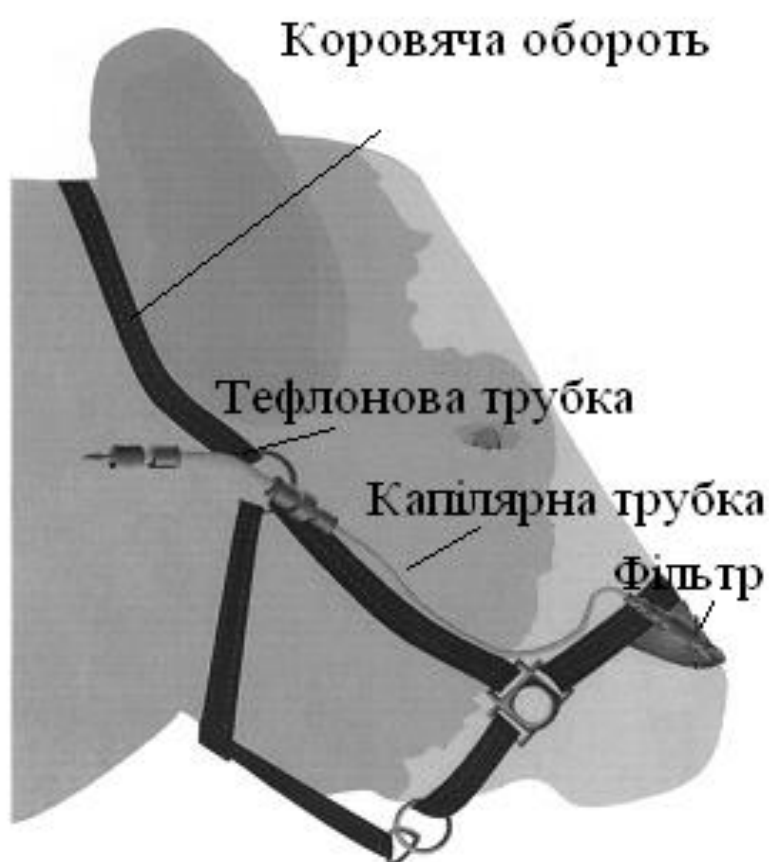
а) схема випускної капсули

б) фото випускної капсули

**Рис. 1. Випускна капсула**

**2. Респіраційний пристрій для відбору газів.** Пристосування для відбору проб газів складається з модифікованої вуздечки із (рис. 2) і ПВХ ємності (хомута), що розташовується довкола шиї тварини (рис. 4).

**А. Модифікована вуздечка.** Деталі: коров'яча обороть з регульованим ременем підборіддя — 1 шт, ремінець із заклепками — 1 шт, трубка Tigon, довжиною 2 см — 1 шт, трубка тефлонова — 1 шт, фільтр 50 мк — 1 шт, перехідники — 2 шт, сталевий капіляр, трубка тефлонова, роз'єм газовий, муфти і накидні гайки, ремінці, дріт.

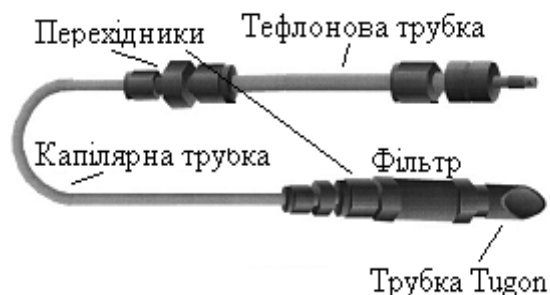


**Рис.2. Вуздечка із капілярною трубкою.**

*Вуздечка.* Розмір вуздечки відіграє головну роль у правильній фіксації вхідного отвору капіляра над ніздрями тварини для адекватного відбору проби. Загалом, якнайкращі результати дає використання великих вуздечок з ремінцем підборіддя. Для дрібних тварин потрібно пробити додаткові отвори

в ремінцях для зручного розташування носових ременів. Для фіксації впускної частини капіляра на шкіряних ременях за допомогою заклепок (або пришити) кріпиться носовий клапан.

*Капілярна трубка (рис. 3).* Довжина капілярної трубки регулює швидкість відбору проби. Сталева трубка з внутрішнім діаметром 0,127 мм і



**Рис. 3. Капілярна трубка**

зовнішнім — 1,59 мм служить для проведення і обмеження швидкості руху газу. При короткому періоді відбору проби (наприклад 1 год) необхідний короткий капіляр, для тривалого (наприклад 24 год) — довгий. При використанні короткої

капілярної трубки для її подовження і з'єднання використовують додатковий капіляр більшого діаметру — 1,59 мм на 0,76 мм. Для визначення швидкості пропускання капіляра потрібно під'єднати його до ПВХ хомуту з відкачаним повітрям і, поки він не заповниться, кілька разів вимірювати тиск газу в хомуті. Таким чином можна розрахувати швидкість пропускання газу через капіляр і його необхідну довжину. У кінці відбору проби ємність для відбору проби (хомут) повинна мати тиск близько 0,5 атм, що забезпечує постійну швидкість відбору.

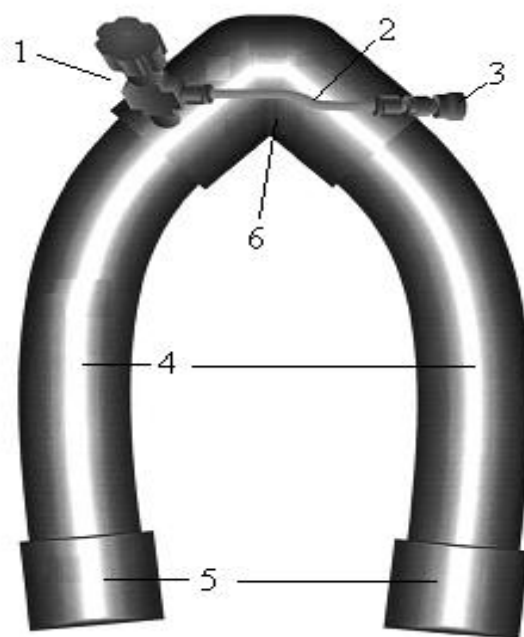
**Памятайте: капілярні трубки за внутрішнім діаметром сильно відрізняються між собою, що вимагає обов'язкової перевірки швидкості протікання газу для кожної з них.**

Вихідний кінець капіляра сполучають через перехідник з тefлоновою (PTFE) трубкою діаметром 3,17 мм, яка приєднується до роз'єму. Довжина тefлонової трубки залежить від довжини капіляра. Необхідно перевіряти щільність і підгонку всіх з'єднань. Капілярна трубка кріпиться до вуздечки за допомогою шматка дроту. Якщо капіляр довший за вуздечку, його надлишок необхідно скрутити кільцем.

**Б. ПВХ ємність (хомут) для відбору проб газу.** Деталі: труба ПВХ — 2 шт, заглушки — 2 шт, коліно 90° — 1 шт, клей ПВХ, вентиль газовий,

роз'єм газовий, тефлонова трубка і накидні гайки, плівка, балон із стисненим повітрям або азотом.

Для виготовлення ємності з відбору проб газів підходить ПВХ труба із зовнішнім діаметром 50-60 мм, що витримує тиск 13,6 атм. Щоб зібрати ємність необхідне ПВХ коліно зігнуте під кутом 90° і торцеві заглушки. При виготовленні ємності нарізують шматки ПВХ труби довжиною 51 см, миють зсередини і зовні мильним розчином і висушують. Так само поступають і з заглушками. Використовуючи ПВХ клей, склеюють всі деталі разом, висушують впродовж 12-24 год і поміщають у піч з  $t=120-135^{\circ}\text{C}$  на 5-10 хв до розм'якшення. Розм'якшену заготовку формують так, щоб вона відповідала розмірам шиї передбачуваної тварини. Зазвичай для корови відстань між ніжками хомута складає 20 см. Для установки на хомут газового вентиля в коліні просвердлюють отвір  $\text{Ø } 6,35 \text{ мм}$



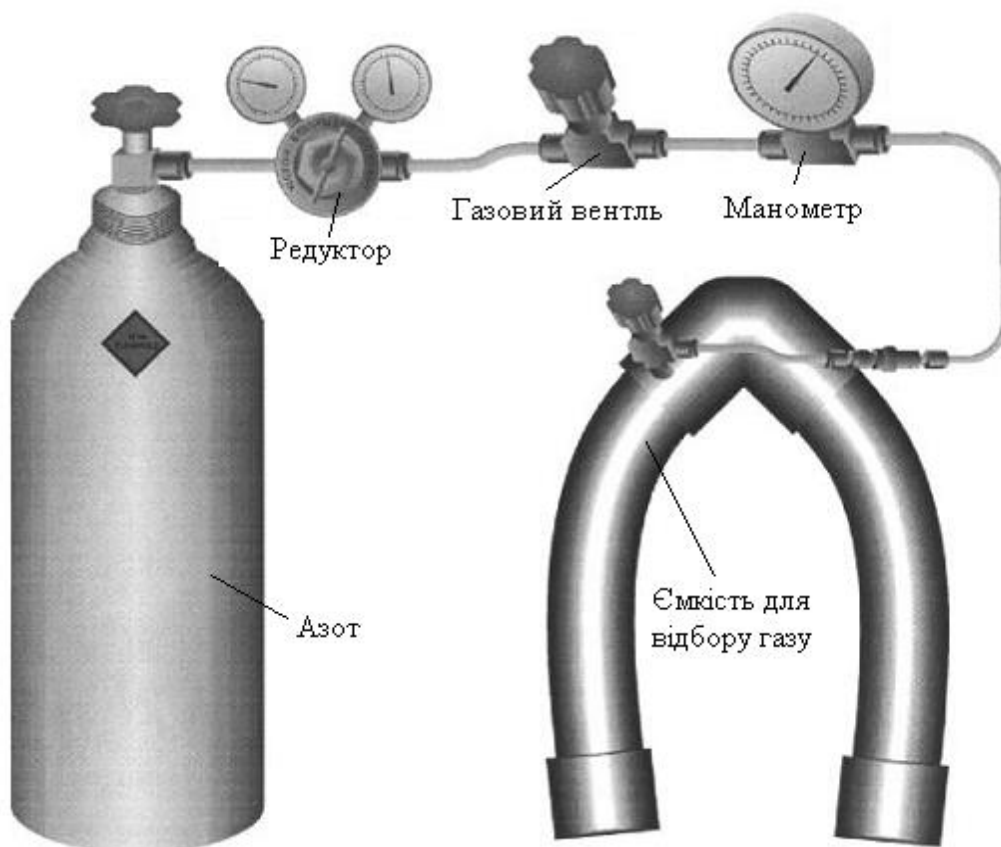
**Рис. 4. ПВХ ємність для відбору газу (хомут)**

1- вентиль газовий; 2 - тефлонова трубка; 3 - роз'єм газовий; 4 - труба ПВХ; 5 – заглушки; 6 – коліно.

і акуратно вкручують в нього вентиль. До нього приєднують тефлонову трубку довжиною 10,1 см та  $\text{Ø } 6,35 \text{ мм}$  для з'єднання з роз'ємом ( $\text{Ø } 6,35 \text{ мм}$ ). Для запобігання вибуху ніжки хомута обмотують плівкою. Після збирання

(виготовлення) у ємність нагнітають повітря або азот до 2,7 атмосфери та поміщають у воду для перевірки на герметичність.

**В. Підготовка ємності до відбору проб газів для аналізу:** Деталі: балон із стисненим азотом, редуктор, вентиль, манометри, мідні трубки, роз'єм газовий, вакуумний насос. Вакуумний насос необхідний для видалення газу з ємності; манометри — для вимірювання тиску в ємності після відбору проби газу, а система розведення (рис. 5) – для закачування в ємність з пробєю азоту. Перед відбором проби газ з ємності має бути видалений (відкачаний), для чого підходить будь-який вакуумний насос.



**Рис. 5 Система розведення**

### **1. Відбір проб газів для аналізу.**

1. Закріплюють респіраційний пристрій для відбору газів на тварині, як показано на рис. 6.

2. Поміщають випускную капсулу із SF<sub>6</sub> у рубець дослідної тварини шляхом заковтування, введення болюсовводжувачем або при наявності фістули на рубці тварини – через неї.



**Рис. 6. Тварина із респіраційним пристроєм для відбору газів.**

3. Відкривають газовий вентиль на ємності для відбору газів (хомуті) і проводять відбір газів для аналізу. Головним елементом даної методики є балон (ємність) для відбору проби повітря – хомут. З нього слід відкачати повітря до тиску  $-0,95$  атм. Різниця у тиску спонукає видихаєме твариною (навколишнього середовища) повітря рухатися у хомут крізь металевий капіляр та вентиль. Довжина та діаметр капіляру регулює швидкість

наповнення хомута. Перед дослідом тварин необхідно привчити до носіння хомута на шиї.

Після відбору проби ємність (хомут) приєднують до системи розведення і заміряють залишковий тиск, підключають азот і повільно збільшують тиск орієнтовно до 1,2 атм. Кінцевий тиск реєструють і розраховують коефіцієнт розведення. З позитивним тиском система готова для подачі газу для аналізів на газовому хроматографі (ГХ).

## **2. Аналіз газів.**

Через газовий роз'єм ємність із відібраними газами сполучають з ГХ і пробу газів пропускають через кран-дозатор хроматографа.

*Аналіз метану.* Концентрація метану в ємності визначається за допомогою газової хроматографії. Газовий хроматограф має бути оснащений краном-дозатором з петлею в 1 мл, сталевими колонками діаметром 3,17 мм і довжиною 1,22 м заповненими сорбентом Porapak N та полум'яно-іонізаційним детектором. Аналіз проводять при температурі 50 °С. Кондиціонування колонок проводять заздалегідь при 150 °С впродовж декількох годин. Кожен аналіз займає біля однієї хвилини, повторні паралелі дають розбіжність близько 2 %. Калібрування ГХ здійснюють за допомогою сертифікованих стандартних зразків газових сумішей.

*Аналіз шестифтористої сірки (SF<sub>6</sub>).* Концентрація шестифтористої сірки в ємності визначається за допомогою газового хроматографа, оснащеного краном-дозатором з петлею в 1 мл, сталевими колонками 3,17 мм на 1,83 м з сорбентом молекулярні сита 5А (40-60 меш) і детектором електронного захвату. Аналіз проводять при температурі 40-50 °С. Пік SF<sub>6</sub> виходить орієнтовно через 1 хв перед піком кисню. Калібрування ГХ здійснюють за допомогою стандартних газових сумішей SF<sub>6</sub> на рівні від 30 до 1000 ppt. Найбільш прийнятною для серійних аналізів ми рахуємо концентрацію на рівні 100 ppt.

*Розрахунки.* Метод газу-мітки SF<sub>6</sub> для розрахунку розбавлення повітря, що видихається, що оточує. Приймається, що емісія SF<sub>6</sub> аналогічна емісії

метану і розбавлення SF<sub>6</sub> пропорційно CH<sub>4</sub>. Таким чином, емісію CH<sub>4</sub> (Q CH<sub>4</sub>) можна розрахувати, виходячи з виміру концентрації CH<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub> і швидкості емісії SF<sub>6</sub> (Q SF<sub>6</sub>):

$$Q_{CH_4} = Q_{SF_6} \times [CH_4] / [SF_6] \quad (9)$$

Фонові концентрації CH<sub>4</sub> і SF<sub>6</sub> віднімаються з вимірних в ємності проб. Фонова концентрація SF<sub>6</sub> зазвичай дуже мала в порівнянні з вимірюваними величинами, проте, концентрації метану (близько 2 ppm) слід враховувати.

Одержані величини використовуються для визначення емісії метану в атмосферу (л на добу, кг на рік).

З використанням даної методики нами було проведено оцінку емісії метану у корів української чорно-рябої молочної породи (2 ялові та 2 – у першому триместрі тільності) масою тіла 450-600 кг. Раціон дослідних тварин складався з 15 кг зеленої маси кукурудзи та 1,5 кг люцернового сіна. На початку дослідного періоду тваринам у рубець були вміщені капсули з газом-міткою. Через 15 діб після цього впродовж двох суміжних діб було проведено вимірювання концентрацій SF<sub>6</sub> та CH<sub>4</sub> (табл. 5). Було визначено,

Таблиця 5. – Показники емісії метану у корів української чорно-рябої молочної породи

Кличка і № тварини	№ капсули	Емісія SF <sub>6</sub> ,		Концентрація у видихаємому повітрі, ppm		Розрахована кількість метану, л/год
		нг/хв	мг/добу	SF <sub>6</sub>	CH <sub>4</sub>	
Безрогая 3981	ZD	1065,0	1,534	0,2797	28,6	9,15
Синька 4369	ZB	1202,4	1,731	0,2215	25,1	11,45
Прима 4128	ZE	1084,2	1,561	0,2546	35,8	12,81
Темка 4231	ZC	1010,9	1,456	0,5360	55,4	8,78

що швидкість емісії метану у досліджуваних тварин була досить різною і



коливалася від 8,8 до 12,8 л за годину (211,2...307,4 л/добу), що в середньому складає 10,55 л/год або 253,2 л/добу (65,9 кг/гол/рік). Одержані матеріали дозволяють стверджувати, що дана методика дозволяє чітко розмежовувати різні рівні емісії метану окремими тваринами. Це досить важливо при проведенні наукових досліджень і розмежуванні різних раціонів за кількістю вироблюваного метану.

Подальші дослідження у 5 респіраційних та 3 фізіологічних дослідах на бичках з фістулою рубця засвідчили, що залежно від рівня доступної обмінної енергії у сухій речовині раціону (ДООЕ/кг СР МДж) – від 9,47 до 10,80 МДж, емісія метану складала від 146,3 л/добу до 241,7 л/добу (38,1 до 62,9 кг/гол/рік).

Після народження у травному тракті жуйних тварин спостерігаються морфо-функціональні зміни. Під час постнатального розвитку телят заселення рубця мікроорганізмами змінюється і в кількісному, і в якісному відношеннях, а разом з цим змінюється характер кінцевих продуктів метаболізму. Нами, у дослідженнях *in vitro*, з'ясовано інтенсивність метаногенезу у рубці телят на початкових етапах їх постнатального розвитку і залежність її від деяких субстратів (табл. 6).

Таблиця 6. – Утворення метану мікроорганізмами рубця і вплив на нього коротколанцюгових карбонових кислот (в мкМ)

Вік телят, міс.	Контроль	Субстрати		
		мурашина кислоти	оцтова кислота	пропіонова кислота
1	20±2	23±3	30±2	26±4
1,5	78±5	90±6	98±5	103±9
2	114±8	145±9	164±13	144±9
3	205±15	297±18	305±20	256±15
6	372±21	532±31	460±19	435±19
9	397±17	577±29	468±17	474±23
12	368±27	602±33	452±21	410±19

Як бачимо у перші місяці постнатального розвитку телят в їх рубці інтенсивність метаногенезу дуже змінюється. Якщо порівняти кількість метану, який утворюється метаногенними бактеріями у рубці 1-міс. і 6-міс. телят, то вона зростає більше, ніж у 18 разів. Основне зростання метаногенезу спостерігається в перші 3 міс. життя тварин, впродовж яких продукція метаногенезу зростає орієнтовно у 10 разів, а у наступні 3 місяці життя – лише в 1,8 рази. Після 6-міс. віку залишається практично на одному рівні. У подальшому вік тварини на метаногенез впливає мало.

Додавання до середовища інкубації коротколанцюгових карбонових кислот неоднаково впливає на синтез метану у рубці та залежить як від введеної в інкубаційне середовище хімічної сполуки, так і від віку тварини. Так, під дією мурашиної кислоти спостерігається вірогідне збільшення інтенсивності утворення метану, в основному, з 3-міс. віку телят і цей вплив у подальшому віці істотно зростає. Очевидно, у дорослих тварин ця кислота є важливим попередником метану, про що свідчать дані літератури.

З іншого боку, вплив оцтової кислоти на метаногенез у рубці телят в перші місяці життя, навпаки, є значно більшим, ніж у старшому віці

Що ж стосується пропіонової кислоти, то у наших дослідженнях при її додаванні на всіх досліджуваних вікових етапах постнатального розвитку телят виявлена тенденція до інтенсифікації метаногенезу, хоча і у цьому випадку вплив її був більш виражений у телят молодшого віку, ніж у старших тварин.

Дослідження з метою визначення емісії метану молодняком великої рогатої худоби старшим 6-міс. віку виконані у західному регіоні України, зокрема у господарствх Львівської і Івано-Франківської областей засвідчили, що інтенсивність емісії метану в атмосферу значною мірою залежить від типу годівлі і сезону року (табл. 7). Наші дослідження свідчать, що у зимовий період при стійловому утриманні коли тваринам згодовували раціон силосно-сінажного типу з добавкою комбікорму, емісія метану в навколишнє середовище становила 312 л на добу або 81,0 кг на одну тварину за рік.

Влітку, при пасовищному утриманні, коли тваринам згодовували зелену масу бобово-злакових трав і комбікорм, емісія метану становила 278 л на добу або

Таблиця 7. – Емісія метану великою рогатою худобою залежно від зони розведення і способу утримання

Сосіб утримання	Кількість тварин	Кількість досліджень	Емісія метану, л/добу	Емісія метану, кг/рік
<b>Львівська область (низинна зона)</b>				
Стійловий	3	6	312±9	81,0±2,3
Пасовищний	3	6	278±6	72,3±1,6
<b>Івано-Франківська область (передгірська зона)</b>				
Стійловий	3	6	275±4	71,5±1,8
Пасовищний	3	6	246±3	64,0±1,6

72,3 кг на рік, тобто продукція метану досліджуваними тваринами у літній період була на 10-12 % менша, ніж у зимовий період. Ці різниці свідчать про вплив типу годівлі, поживної і біологічної цінності кормів на продукцію метану в рубці великої рогатої худоби.

Оцінюючи інтенсивність емісії метану великою рогатою худобою залежно від географічної зони (Івано-Франківській область – передгірська зона та Львівська область – низинна зона) за різних способів утримання встановили, що за орієнтовно однакових раціонів у тварин обох зон інтенсивність емісії метану великою рогатою худобою є неоднакова. Так, тварини передгірської зони характеризуються більш низькими показниками метаноутворення в порівнянні з інтенсивністю продукції цього газу тваринами в низинній зоні.

Дослідження емісії метану молочними коровами було проведено на 3-х групах тварин аналогів по 5 голів у кожній. Дослідження виконані з використанням SF<sub>6</sub>– технології.

Отримані результати показали (табл. 8), що при пасовищному утриманні метаногенез молочних корів складав у середньому 332,31 л метану

на добу, або 86,40 кг метану на рік, тоді як кількість метану емітованого тваринами при стійловому утриманні була на рівні 369,69 л метану за добу або 96,12 кг/гол/рік. Середнє значення показника складе 91,26 кг/гол/рік.

Таблиця 8. – Емісія метану молочними коровами передгірської провінції

Спосіб утримання	Кількість тварин	Кількість досліджень	Емісія метану, л/гол/добу	Емісія метану, кг/гол/рік
Пасовищний	5	6	332,31±3	86,40±1,6
Стійловий	5	6	369,69±4	96,12±1,8

Дослідження емісії метану тваринами молочного стада проведені у колективних та у господарствах населення низинної провінції засвідчили (табл. 9) нижчий рівень утворення метану тваринами господарств населення

Таблиця 9. – Емісія метану молочними коровами в низинній провінції

Спосіб утримання	Кількість тварин	Кількість досліджень	Емісія метану, л/гол/добу	Емісія метану, кг/гол/рік
<b>Сільгоспідприємство</b>				
Пасовищний	3	6	366,4±5	95,3±1,4
Стійловий	3	6	396,35±7	103,2±2,1
<b>Господарства населення</b>				
Пасовищний	5	6	353,6±6	92,1±1,6
Стійловий	5	6	377,5±6	98,3±1,7

порівняно до колективними фермами, що на наш погляд пов'язано із деякою відмінністю складу раціонів, які використовують господарства населення і сільгоспідприємства. Середнім значенням показника для сільгоспідприємств можна вважати 99,25, а для господарств населення – 95,2 кг/гол/рік.

Оцінка емісії метану відгодівельним молодняком при стійловому та пасовищному утриманні засвідчила, що у пасовищний період їх метаногенез складає 270 л/гол/добу, або 70,53 кг/гол/рік тоді як у стійловий період

інтенсивність метаноутворення була нижчою і склала 258 л метану за добу і 67,3 кг за рік. Середньорічне значення показника складе 68,92 кг/гол/рік.

Таблиця 10. – Емісія метану молодняком великої рогатої худоби, що перебував на відгодівлі.

Спосіб утримання	Кількість тварин	Кількість досліджень	Емісія метану, л/гол/добу	Емісія метану, кг/гол/рік
Пасовищний	5	6	270,8±6	70,53±1,6
Стійловий	5	6	258,4±8	67,3±2,3

Дослідження метаногенезу у корів м'ясного напрямку продуктивності (табл. 11) засвідчило, що при пасовищному утриманні тварини за день продукують у середньому 280 л метану, а при стійловому його кількість зростає до 315 л.. За рік це складатиме відповідно: 72,8 і 81,9 кг метану на голову. Середньорічне

Таблиця 11. – Емісія метану коровами м'ясного напрямку продуктивності.

Спосіб утримання	Кількість тварин	Кількість досліджень	Емісія метану, л/гол/добу	Емісія метану, кг/гол/рік
Пасовищний	5	6	280±6	72,8±1,6
Стійловий	5	6	315±8	81,9 ±2,3

значення показника складе 77,35 кг/гол/рік.

Аналіз отриманих результатів показав, що інтенсивність емісії метану молочною і м'ясною великою рогатою худобою є неоднаковою. Тварини м'ясного напрямку продуктивності характеризуються нижчими показниками метаноутворення порівняно до продукції цього газу молочними тваринами. Таку різницю можна напевно пояснити деякою відмінністю метаболічних процесів, що відбуваються у тварин при травленні, а саме утворенні кінцевих продуктів ферментації [20,21,22]. Нижчий рівень утворення метану спостерігається при посиленні пропіоново-кислого бродіння, що спостерігаємо при зростанні рівня концентрованих кормів у раціонах, тоді як

при збільшенні рівня об'ємистих – спостерігається посилення оцтово-кислого бродиння [23].

## 2.2. Вплив мінеральних добавок до раціону худоби на метаногенез у рубці

Одним із основних завдань досліджень процесів метаногенезу у рубці жуйних є пошук факторів, які могли би знизити його продукцію і емісію без зменшення продуктивних якостей тварин. Нашими дослідженнями (табл. 12) встановлено, що добавка мікроелементів до раціону тварин стимулює емісію метану великою рогатою худобою і приводить до вірогідного збільшення його емісії в атмосферу. При аналізі цих даних слід мати на увазі, що в

Таблиця 12. – Метаногенез у рубці при додаванні до раціону тварин суміші мікроелементів

Групи тварин	Продукція метану, л/добу	Продукція метану, л/кг маси тіла	Продукція метану кг/рік	Маса тіла тварин, кг
Контрольна	312±9	1,39±0,04	81,0±2,3	225±4
1 дослідна - добавка мікроелементів	348±6	1,531±0,03	90,5±1,6	227±4
2 дослідна – добавка мікроелементів+(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	272±7	1,19±0,03	70,7±1,8	228±6

реакціях синтезу метану метаногенними бактеріями приймають участь ферменти, в складі яких є кобальт у вигляді фактора III. Крім цього, молекула фактора F<sub>430</sub> метансинтезуючої системи бактерій містить нікель, а гідрогенази, які приймають участь у забезпеченні синтезу метану воднем і відновними еквівалентами є Fe-, Mo-, Se- або Ni-залежними. Тому є всі підстави вважати, що мікроелементи, які додавали до раціону тварин стимулюють розвиток метаногенних архебактерій і посилюють синтез метану. Проте при додаванні до раціону тварин третьої групи разом з мікроелементами сульфату амонію інтенсивність метаногенезу у рубці

значно знижується. Причиною цього може бути те, що в рубці серед різних таксономічних груп мікроорганізмів є сульфатредуючі бактерії (*Desulfotomaculum ruminis*), які для відновлення сірчаноокислого аніону сульфатредуктазою використовують водень. Крім того, афінність відновних систем цих мікроорганізмів до водню є набагато вища, ніж афінність цих систем у метаногенів. Очевидно, додані сульфати стимулюють життєдіяльність сульфатредуючих бактерій, які конкурують з метаногенними архебактеріями за водень. Тому, з метою зниження емісії метану великою рогатою худобою до раціону необхідно включати разом з мікроелементами також сульфати.

Підводячи підсумок слід зазначити, що сільськогосподарські екосистеми є складними за своєю природою і результати різних досліджень можуть варіювати залежно від місця проведення через відмінності в кліматі, ґрунті або мінеральному складі кормів. Дане питання залишається відкритим і потребує більш детальних досліджень щодо регіональних відмінностей метаногенезу і емісії метану великою рогатою худобою.

Отримані коефіцієнти емісії дають можливість проводити облік метану, який виробляється великою рогатою худобою в Україні. При розрахунку кінцевих значень загальної емісії метану який продукують жуйні тварини потрібно використовувати статистичні дані Державного комітету статистики про поголів'я худоби різних вікових груп.

**У підсумку** слід вказати на деякі технічні та методичні ускладнення при проведенні досліджень за SF<sub>6</sub> – методикою. Вважаємо, що проведення досліджень за даною методикою у виробничих умовах потребує добрих навичок при підготовці та застосуванні вакуумного обладнання, вентилів та пластикового хомута з метою запобігання втрат герметичності системи. Використання газового хроматографа з детектором іонізації у полум'ї потребує високої кваліфікації оператора та стандартних газових сумішок (попередній пошук показав відсутність їх у межах СНД).

Певним обмеженням методики, на наш погляд, є неможливість її

використання у приміщеннях оскільки до складу проби повітря буде потрапляти метан з гною та від інших тварин, що напевне буде завищувати показники його концентрації. Крім того, методика не враховує метан, який утворюється у кишківнику (кишкові гази) і який складає 5-10% від загальної кількості виділяемого великою рогатою худобою метану.

У цілому ж SF<sub>6</sub> – методику можна кваліфікувати як добре придатну для польових досліджень з визначення середніх значень метаногенезу і емісії метану у навколишнє середовище при оцінці накопичення метану як парникового газу.

## **ВИСНОВКИ**

1. Найпростішим шляхом зниження метаногенезу у рубці є стимуляція ферментації і прискорення переходу кормових мас у кишківник, що сприяє зростанню утворення пропіонату і зменшенню продукції ацетату. Це знижує інтенсивність метаногенезу і підвищує ефективність використання енергії корму.

2. При збільшенні споживання корму абсолютна продукція метаногенезу зростає, але на одиницю корму кількість утвореного метану зменшується.

3. Стадія зрілості кормів, способи їх консервації, хімічна і фізична обробка (висушування, силосування) впливають на метаногенез у рубці жуйних. Метаногенез зростає при „старінні” грубих кормів і їх висушуванні. При силосуванні зелених кормів і хімічній обробці грубих кормів – зменшується.

4. Подрібнення кормів прискорює швидкість їх евакуації з рубця в кишківник і значно знижує метаногенез. Додавання до раціону 4-5% жиру суттєво інгібує метаногенез.

5. Зростання рівня концентрованих кормів у раціоні на 2-3% зменшує витрати енергії на утворення метану.

6. Для обрахунків емісії метану великою рогатою худобою можна використовувати такі орієнтовні значення коефіцієнтів: корови молочні – 91



кг/гол/рік (розрахунковий за формулами – 72 кг/гол/рік); телята до 6-міс. віку – ; молодняк 6-12 міс. – 65 кг/гол/рік; молодняк старший 1 року – 69 кг/гол/рік; корови спеціалізованих м'ясних порід – 77 кг/гол/рік.

## СПИСОК ЦИТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хренов И.И. О газах рубца. В кн. Кормление сельскохозяйственных животных. Л., Сельхозгиз, 1960.
2. Ажибеков М. Влияние состава рациона на бродильные процессы в рубце лактирующих коров. Вестн. Каракалп. филиала АН УзССР, 1970, N2 (40), 13-17.
3. Moe P.W., Tyrrell H.F., Methane Production in Dairy Cows in Proc. of 8 Symp. of Energy Metabolism, Cambridge, 1979, 59-62.
4. Mathers J., Walters D. Variation in methane production by sheep fed every two hours. J. Agr.Sc., 1982, 98, 3: 633-638.
5. Godeau J.M. et al. Ammonia concentration and gas production in the rumen related to food distribution. Wiss. Z. Wilhelm-Piek-Univ., Rostock Naturwiss. R.-1988 .-37, N2.
6. Tacu A., Thivend P. Proportia hidrogenului, biooxidului de carbon si metanului in gazemului, bioxidului de carbon sicec la taurine. "Lucr.Sti.cerc.crest. taurinel.- Corbeanca", 1979, 5, 61-75.
7. Кренев А.В. Вісник аграрної науки, Київ, 1993, N4.
8. Sutton J.D., Broster W.H., Schuller E., Napper D.J., Broster V. J., Bines J.A. Influence of plane of nutrition and diet composition on rumen fermentation and energy utilization by dairy cows. J.Agr.Sci., 1988, 110, 2, 261-270.
9. Newbold C.J., Moss A.R., Mollinson A.S. Methane production in cattle and sheep fed grass silage plus a barley - based concentrate. Anim. Prod., 1994, 58, 3, 459.
10. Focant M., Vanbelle M., Godfroid S. Comparative feeding behaviour and rumen physiology in sheep and goats. Word Rev. anim. Product. 1986. 22, 89-95.
11. Miller V.C., Muntifering R.V. Effect of forage: concentrate on kinetics of forage fiber digestion in vivo. J.dairy Sc. 1985, 68,1: 40-44.
- 12.Цюпко В.В., Берус М.В., Татузян Р.А., Шевченко Г.С., Климов В.А., Шишленко Л.Ф., Выходцева Т.Ф., Василевский Н.В. Переваримость клетчатки в преджелудках жвачных в зависимости от состава рациона // "Молоч.-мясн. скотоводство". -Киев, 1987. -№69. -С.37-40.
13. Flachowsky G., Matthey M., Ochrimenko W.I., Schneider M. Profile in isoacids in rumen fluid and influence of added isoacids on in sacco dry matter disappearance of 7- 8 untreated and ammonia treated wheat straw. Arch. anim. Nutrit. 1988. 38, 5: 431-439.
- 14.Цюпко В.В., Берус М.В., Шевченко Г.С., Василевский Н.В. Обоснование новой системы нормирования протеинового питания крупного рогатого скота // Науч.-технич. бюллет. №60.-Харьков, 1992.-С.25-32.

15. Hungate R.E., The Rumen and its Microbes. Academic Press, London and New York, 1966.
16. Пиатковский Б. Использование питательных веществ жвачными животными М., Колос, 1978.
17. Chase C.C., Hibberd C.A., Owens F.N. Buffer and ammonia additions to corn-supplement native grass hay diets for beef heifers. J. Anim. Sc., 1988. 66, 7: 1790-1799.
18. Kolling K. Studien über den Erutationsmechanismus beim Schaf. III. Die Zusammensetzung der eruktieren Pansengase bei unterschiedlicher Rationsgestaltung. "Zbl. Veterinarmed", 1975, A22, N 7, 597-604.
19. Johnson, D.E. et al., Persistence of methane suppression by propionate enhancers in cattle diets, in Energy metabolism of farm animals / Johnson, D.E. et al. // Proceedings of the 13th Symposium. EAPP Publication No. 76, Aquilera, J.J., Ed., — 1994, — P. 339.
20. Янович В. Г. Біологічні основи трансформації поживних речовин у жуйних тварин / Янович В. Г., Сологуб Л. І. — Львів. В-во "Тріада плюс". — 2000. — 384 с.
21. Kurihara M. Methane production and energy partition of cattle in the tropics / Kurihara M., Magner T., Hunter R. A., McCrabb G. J. // Brit. J. Nutr. — 1999. — Vol. 81. — P. 227.
22. Biochemical aspects of mitigation of methane emission in atmosphere by ruminants / Bogdanov G., Vlizlo V., Solohub L. [et. al.] // GGAA Conference, Christchurch – 26 – 29 November 2007. - P. 124.
23. Метан і парниковий ефект (екологічні, біохімічні і мікробіологічні аспекти) / Сологуб Л.І., Антоняк Г.Л., Богданов Г.О. [та ін.]. Львів: — ПАІС. — 2008. — 270 с.

## ЗМІСТ

Передмова.....	3
1. Метаногенез і емісія метану.....	5
1.1. Особливості утворення і виділення газів у рубці.....	5
1.2. Рівень годівлі і процеси метаногенезу у рубці.....	6
1.3. Концентрація енергії у сухій речовині раціону і процеси метаногенезу у рубці.....	8
1.4. Концентрація сирого протеїну у сухій речовині раціону і процеси метаногенезу у рубці.....	10
2. Сучасні методики оцінки метаногенезу і емісії метану худобою.....	13
2.1. Порівняльна характеристика існуючих методів оцінки метаногенезу і емісії метану жуйними.....	13
2.2.1. Матеріали та обладнання для оцінки емісії метану.....	16
2.2. Вплив мінеральних добавок до раціону худоби на метаногенез у рубці.....	30
Висновки.....	32
Список цитованої літератури .....	33