

Лекция 14

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПИТАТЕЛЬНОСТЬ КОРМОВ И РАЦИОНОВ

Лекция

Райхман А.Я.

План лекции:

1. Методы изучения энергетической питательности кормов
 - 1.1. Метод контрольных животных
 - 1.2. Метод балансовых опытов
 - 1.3. Метод меченых атомов
 - 1.4. Метод научно-хозяйственных опытов
2. Энергетическая питательность кормов
 - 2.1. Сенные эквиваленты
 - 2.2. Скандинавская кормовая единица
 - 2.3. Сумма переваримых питательных веществ
 - 2.4. Оценка питательности кормов по их продуктивному действию
 - 2.5. Оценка питательности кормов в овсяных кормовых единицах
 - 2.6. Оценка энергетической питательности кормов по обменной энергии
 - 2.7. Оценка по чистой энергии лактации (ЧЭЛ)
3. Расчетные методы определения общей и энергетической питательности кормов
 - 3.1. Расчет овсяной кормовой единицы
 - 3.2. Расчет содержания обменной энергии
 - 3.3. Расчет содержания чистой энергии лактации

Методы изучения энергетической питательности кормов:

1. Метод контрольных животных. Подбирают несколько групп животных по принципу аналогов и перед опытом из каждой группы убивают 1-2 животное и определяют во всех продуктах убоя содержание белка и жира. Оставшихся животных на протяжении опыта кормят исследуемыми кормами или рационами. В конце опыта из каждой группы убивают по 3-5 животных и по разнице в составе тела животных до и после опыта, определяют питательность съеденного корма. Метод этот не приемлем к высокоценным племенным животным, чаще используется на свиньях.

1.2. Метод балансовых опытов. Этот метод основан на учете поступления и выделения N, С и энергии.

Баланс азота = азот корма - азот, отложенный в теле животного - азот кала - азот мочи. Можно определить количество отложения белка в теле животного, а также количество углерода, отложенного в белке.

Баланс углерода = углерод корма - углерод продуктов дыхания - углерод кишечных газов - углерод кала - углерод мочи - углерод белка и жира. Зная отложение азота, можно судить об отложении углерода в теле в виде жира (углерод отложения – углерод белка = углерод жира).

Зная, что 1 г жира содержит 9,5 ккал, 1 г белка 5,7 ккал, 1 г углеводов- 4,2 ккал, можно определить баланс энергии в организме.

Не учитывают изменения содержания углеводов в теле животного из-за малого их количества, а также количество азота и углерода с потом. По балансу азота и углерода можно рассчитать количество отложившихся в организме белка и жира. Для того, что бы установить баланс азота в организме нужно знать количество азота поступившего с кормом и сколько выделилось с калом и мочой (у лактирующих животных и с молоком). По разнице между поступившим и выделившимся азотом устанавливают его отложение в теле. Если количество выделившегося азота превышает количество поступившего, то у животных наблюдается отрицательный его баланс; если выделение азота равно его поступлению, то баланс азота нулевой; в случае большего поступления и меньшего выделения азота наблюдается положительный баланс. В первом случае для покрытия дефицита азота организм вынужден разрушать резервные белки собственного тела и терять живую массу. Отрицательный баланс наблюдается на дефицитных по протеину рационах, а у высокопродуктивных коров за счет значительного синтеза молока молочной железой. Во втором случае весь азот корма расходуется на поддержание жизни и на синтез молока, без отложения в организме в виде резервов. Положительный баланс наблюдается у молодых растущих животных при достаточном поступлении протеина.

Углерод поступает в организм только с кормом, а выделяется с кишечными газами (метан, углекислота), с выдыхаемым воздухом, с калом, мочой и у лактирующих животных с молоком. Углерод выдыхаемого воздуха определяют в специальных респирационных опытах с использованием респирационной камеры открытого или закрытого типа. Они представляют собой герметизированные и теростатированные камеры, оборудованные для кормления, поения, доения животного, сбора мочи и кала, а так же имеющие устройства для точного учета количества вдыхаемого воздуха и выдыхаемого углекислого газа, и точного учета пропорциональных проб. По разнице между поступлением углерода с кормом и его выделением определяют баланс углерода.

Питательная ценность кормов рациона может быть определена в опытах по изучению баланса азота и углерода (в респирационных опытах). Для определения питательной ценности отдельного вида корма необходимо провести два

последовательных опыта (во втором опыте изучаемого корма скармливают больше) и по разнице между балансом азота и углерода в первом и втором опытах определяют жиросотложение. По балансу азота можно судить об отложении в организме белка (обезжиренный и обезвоженный белок мяса содержит около 16,37 % азота) и количестве углерода, пошедшего на этот же процесс (52,54 %). По балансу углерода и с учетом того, сколько его пошло на синтез белка, определяют отложение жира в организме (в жире содержится 76,5 % углерода). Пересчитав белок в жир по калорийности ($\times 60$ % (5,7/9,5 ккал)) и суммировав его с отложившимся жиром (рассчитанным по балансу углерода) можно найти величину жиросотложения или продуктивное действие корма. Известно, что 1 овсяная (советская) кормовая единица (1 кг овса) равна по жиросотложению 150 г. Таким образом, разделив расчетное значение жиросотложения на жиросотложение 1 кормовой единицы, можно определить питательность изучаемого корма в ОКЕ. Азот и углерод выделяются также с продукцией: с молоком — у лактирующих животных, с яйцами — у несушек.

Баланс может быть положительным (когда поступает больше, чем выделяется), отрицательным (когда поступает меньше, чем выделяется) и нулевым (когда количество поступившего азота равно выделенному). Положительный баланс обычно бывает у растущих животных при достаточном обеспечении их кормами. Отрицательный баланс возникает при голодании животных, когда в организме разрушается больше веществ, чем потребляется с кормами.

Нередко отрицательный баланс бывает у высокопродуктивных коров, особенно в период раздоя. Отрицательный баланс возможен также при неудовлетворительном качестве протеина — недостатке незаменимых аминокислот, при дефиците минеральных веществ, необходимых для нормального использования протеина.

Таблица 1. Данные о балансе веществ в опыте

Показатель	Азот	Углерод
Принято и изучаемым кормом, г	49	501
Выделено, г:		
в кале;	19	198
в моче;	9	122
в газах;	-	51
Всего выделено, г	28	371
Баланс, г	+21	+ 130

Пример. Определить продуктивное действие 1 кг корма по балансу азота и углерода (см. табл. 1). Для этого вначале определяют отложение белка и жира у

животного от основного рациона, затем дополнительное отложение этих веществ за счет добавки 1 кг изучаемого корма.

Для расчетов необходимо знать, что в белке мяса содержится 16,67 % азота и 52,54 % углерода, в жире содержание углерода составляет 76,5 %.

Расчет.

1. Определяем количество отложенного белка по пропорции

100 г белка — 16,67 г азота x г белка — 21 г азота $x = 126$ г.

2. Определяем содержание углерода в белке по пропорции

100 г белка — 52,54 г углерода 126 г белка — y г углерода $y = 66,2$ г.

3. Определяем количества углерода, израсходованного на образование жира:

$130,0 - 66,2 = 63,8$ г.

4. Определяем количество отложенного жира по пропорции

100 г жира — 76,5 г углерода x г жира — 63,8 г углерода $x = 83,4$ г.

Так, за счет 1 кг изучаемого корма в организме животного отложилось 126 г белка и 83,4 г жира. Чтобы найти суммарное жиросотложение, необходимо приравнять по калорийности белок к жиру. В 1 г белка содержится 5,7 ккал, в 1 г жира — 9,5 ккал. Следовательно, если принять калорийность жира за 1, то калорийность белка составит $5,7/9,5 = 0,6$. Отложенный белок в пересчете на жир составит $126 \cdot 0,6 = 75,6$ г. Суммарное жиросотложение составит $83,4 + 75,6 = 159$ г.

Таким образом, продуктивное действие 1 кг изучаемого корма составляет по жиросотложению 159 г.

1.3. Метод меченых атомов. Метод основан на введении в организм с кормом радиоактивных изотопов. Наиболее широкое распространение получил при изучении использования минеральных веществ кормов. Метод основан на введении в организм с кормом радиоактивных изотопов. По окончании эксперимента определяют содержание этих изотопов в организме, выделениях, молоке и других продуктах. При расчетах допускается, что усвоение организмом изучаемого элемента происходит пропорционально усвоению его изотопов.

1.4. Метод научно-хозяйственных опытов. По нему определяют использование питательных веществ корма на производство единицы продукции. Например: на 1 кг молока, на 1 кг прироста живой массы или 10 шт. яиц с/х птицы. При этом считается — чем меньше расход корма на продукцию, тем выше использование питательных веществ кормов рациона. Этот опыт получил широкое распространение у экономистов.

2. Энергетическая питательность кормов

Обеспеченность животных энергией является одним из основных факторов, определяющих уровень их жизни и продуктивности. Из истории науки о

кормлении животных известно несколько способов оценки энергетической питательности кормов:

- сенные эквиваленты,
- скандинавская кормовая единица,
- сумма переваримых питательных веществ - СППВ,
- крахмальные эквиваленты, овсяная кормовая единица,
- чистая энергия, обменная энергия.

2.1 Сенные эквиваленты. Краеугольный камень в развитии учения о питательности кормов и нормированном кормлении с.-х. животных был заложен работами известного немецкого агронома и почвоведа Альберта Тэера (1752-1828). А.Тэер был выразителем идеи суммарной питательности кормов. К началу XIX в. производство кормов стали переводить с луга на пашню. Появились новые корма: клевер, люцерна, картофель, кормовая свекла, зерно. Надо было выяснить, в каких размерах эти новые корма могут заменять традиционный корм – луговое сено. В 1809 г. А.Тэер опубликовал таблицы взаимной замены кормов по отношению к селу и предложил первые нормы кормления КРС, основанные на «сенных эквивалентах», оценивая питательность кормов путем сравнения их продуктивной ценности с селом среднего качества. По его данным 1 кг сена соответствовали: 5 кг клевера, 5 кг свеклы, 2 кг картофеля, 0,5 кг овса. Поскольку сено может обладать различной питательностью, получались разные результаты при скармливании, поэтому появилось много поправочных коэффициентов.

2.2. Скандинавская кормовая единица. В научно-хозяйственных опытах определили **сравнительную питательность** разных кормов, путем замещения ими смеси зерна (овес + ячмень). При этом определяли какое количество того или иного корма эквивалентно по питательности 1 кг замененной смеси – животное не теряет живую массу и не снижает продуктивность. Позднее было предложено за эталон взять 1 кг ячменя. Выяснили, что 1 кг ячменя равен 1,2 кг овса, 4 кг картофеля, 2,5 кг сена лугового, 4 кг соломы и т.д.

Оценка кормов по сенным эквивалентам и скандинавским кормовым единицам устанавливает соотношение между потреблением корма и величиной продуктивности путем установления для всех кормов единицу сравнительного измерения (эквивалент) их питательной ценности. Истинное питательное достоинство сена или смеси ячменя и овса в то время было неизвестно, поэтому оба способа оценки питательности были эмпирическими.

2.3. Сумма переваримых питательных веществ.

Благодаря развитию органической химии в середине 19 в. и появлению работ **Либиха**, началось изучение химического состава растений и содержание в них различных групп питательных веществ. Развитие методов химического анализа органических веществ позволило немецкому ученому Эмилю Вольфу разработать

таблицы химического состава кормов.

В.Геннеберг и Ф.Штоманн установили, что решающее значение имеет не валовое содержание в нем питательных веществ, а лишь та часть корма, которая всасывается в организме животного. Была разработана методика определения переваримости питательных веществ животными. В результате последующих исследований по определению переваримости питательных веществ у молочных коров **Э.Вольф в 1874г опубликовал таблицы по содержанию переваримых питательных веществ и нормы кормления**, получившие большую известность.

Примерно в это же время Юлиус Кюн ввел в учение о питательности понятие «углеводные единицы». Он принял питательность БЭВ за 1, жира за 2,4 и белка за 6. На основании КП и указанных оценочных показателей (1, 2,4, 6) переваримые вещества можно привести к общей величине. Идея Ю. Кюна об оценке разных питательных веществ (хотя и не вполне обоснованных) имела важное значение.

Понятие сумма переваримых питательных веществ (СППВ), как указывают Э.У.Кремpton и Л.Э.Харрис, начали использовать примерно с 1900г., когда Хилле предложил жир приравнять к углеводам путем умножения жира на 2,25. Спустя 10 лет Уолл и Хемфи прибавили еще переваримый протеин и создали термин «сумма переваримых питательных веществ».

Зная количество переваримых питательных веществ, можно установить сумму переваримых питательных веществ – СППВ.

$$\text{СППВ} = \text{Ппротеин} + \text{Пклетчатка} + \text{Пбэв} + \text{Пжир} * 2,25.$$

Положительная сторона – простота в применении и гораздо точнее характеризует питательность корма, чем его химический состав.

Недостатки – не берутся во внимание потери энергии с мочой, газами (для жвачных эти потери могут достигать до 20% валовой энергии); не отражается полная картина обмена энергии в организме, завышается питательность грубых кормов по сравнению с концентратами (более подробно см. предыдущую лекцию).

2.4. Оценка питательности кормов по их продуктивному действию.

Научные основы оценки питательности кормов были разработаны классиками зоотехнии (О.Кельнер и Г.Армсби) на основе работ физиолога Макса Рубнера, который исследовал законы физики применительно к животным организмам. Опираясь на законы термодинамики и основные положения Лавуазье, М. Рубнер доказал, что законы термодинамики применяются и к организмам животных (закон сохранения энергии) и установил, что все жизненные проявления организма могут быть измерены в единицах энергии и, следовательно, можно проследить количественное распределение всей поступающей энергии с кормом.

В мировой зоотехнической науке в конце XIX – начале XX века стали разрабатывать новые направления определения питательности кормов, были созданы 2 направления:

1) в Западной Европе (Германии) – по жируотложению;

2) в США – по содержанию в кормах «чистой» энергии, т.е. по энергии, отложенной в продуктах: мясе, молоке и др.

Крахмальные эквиваленты Кельнера. В 1905г. в опубликованной книге «Научное кормление с\х животных» Оскар Кельнер предложил новый показатель энергетической оценки кормов – крахмальный эквивалент.

В серии балансовых опытов им было определено отложение жира при скармливании взрослому волу различных питательных веществ – белков, жиров и углеводов в чистом виде. Серии балансовых опытов (около 100) проводились на волах в течение 18 лет.

Для этого последовательно изучали баланс веществ и энергии в начале на основном рационе, потом с добавкой 1-2 кг исследуемого вещества. Животным скармливали крахмал, целлюлозу озимой пшеницы, клейковину пшеницы и эмульсию масла земляного ореха. По изменению балансов определяли прибавку отложения жира и белка. Белок перечисляли на жир из расчета 1 г белка – 5,7 ккал и 1 г жира – 9,5 ккал.

Продуктивное действие питательных веществ он оценивал по тому количеству жира, которое откладывается в организме волов при сверх поддерживающем кормлении. Для упрощения, он выражал отложение жира не в единицах энергии, а в единицах массы (в граммах).

Кельнер установил следующее количество отложений жира:

из 1 кг переваримого белка – 235 г,

из 1 кг переваримого крахмала – 248 г,

из 1 кг переваримой целлюлозы – 248 г,

из 1 кг переваримого жира – 474-598 г

Эти цифры показывают продуктивное действие корма и получили название **«жировые константы Кельнера»**.

Однако для выражения питательной ценности кормов Кельнер выбрал более знакомый всем показатель или эквивалент питательной ценности - 1кг крахмала.

Взяв за единицу сравнения **1 кг переваримого крахмала**, О.Кельнер получил **крахмальные эквиваленты** для чистых питательных веществ:

1 кг переваримого белка = 235г: 248г= 0,94кэ

1 кг переваримой клетчатки=248г:248г=1кэ

1 кг переваримого жира 474; 526; 598 г (жир грубых кормов, жир зерновых и жир масличных культур). От (474;526;598): 284г=1,91-2,12-2,41кэ.

ТО, в кормовых таблицах О.Кельнер выражал продуктивное действие кормов не количеством отложенного жира, а количеством крахмала, которое дает такое же жируотложение как 100 кг корма (крахмальные эквиваленты).

Например, питательность рапсового жмыха составляет 56 крахмальных эквивалентов. Этот результат можно интерпретировать таким образом, что 100 кг

рапсового жмыха при скармливании сверх поддерживающего уровня дают организму столько же энергии, сколько ее содержится в 56 кг крахмала или 56% от ценности крахмала.

Крахмальный эквивалент (КЭ) корма может определяться и по отношению:

Масса отложенного жира на единицу корма, потребленного волом при сверх поддерживающем кормлении

Масса отложенного жира на 1кг переваримого крахмала

Например, при добавке к поддерживающему рациону 1кг овса откладывается 148150г жира. Следовательно, 1кг овса эквивалентен 0,6кг крахмала (148:248).

Однако проверка натуральных кормов в дальнейшем показала, что расчетные показатели жиросотложения этих кормов не совпадали с фактическим жиросотложением в теле животного. В большинстве случаев оно было ниже. Только для кукурузы и картофеля расчетные данные совпали с фактическим жиросотложением. Значительные расхождения были при скармливании грубых кормов (сена на 37% и соломы 80%). Кельнер объяснил это большими потерями в желудочно-кишечном тракте, особенно для кормов с высоким содержанием клетчатки и ввел поправки. О.Кельнер предложил уменьшать вычисленные значения расчетного жиросотложения на каждый 1кг сырой клетчатки для грубых кормов (сено и солома) на 143 г, для мякины – на 72 г, для зеленого корма:

при 14% клетчатки – на 131 г,

при 10-14% - на 107 г,

при 6-10%- на 82 г.

Для других кормов Кельнер установил коэффициент относительной ценности: для кукурузы и картофеля – 100%, ячменя – 99%, гороха - 0,98, жмыха -0,95, кормовой свеклы – 81%, отрубей пшеничных – 78%.

Непосредственно в опытах было изучено лишь 16 кормов. Зная содержание ППВ в корме, жировые константы Кельнера или крахмальные эквиваленты чистых питательных веществ, а также поправочные коэффициенты на содержание клетчатки в грубых кормах или коэффициенты относительной ценности других кормов можно вычислить энергетическую питательность корма в крахмальных эквивалентах.

Пример расчета крахмальных эквивалентов для рапсового жмыха (на 100кг):

Переваримый белок,кг $24,8 \times 0,94 = 23,3$ крахм. экв.

Переваримый жир,кг $6,3 \times 2,41 = 15,2$ крах. экв.

П.углеводы ,кг $20,5 \times 1 = 20,5$ крах. экв.

59,0 крах. экв.

Поправочный коэффициент на клетчатку 95%

Итого

56 крах. экв.

Оценка в крахмальных эквивалентах была широко распространена в Европе. Работа О.Кельнера – крупное достижение в разработке научных основ науки о кормлении. На основании поддерживающего рациона он соединил оценку по химическому составу и по суммарной (по современной терминологии энергетической) оценкой питательности кормов.

2.5. Оценка питательности кормов в овсяных кормовых единицах.

Оценка питательности кормов в овсяных кормовых единицах. В 1923 г. по предложению Елия Анатольевича Богданова в СССР была принята 1к.ед. - кормовая единица (овсяная). За 1 кормовую единицу приняли не питательное вещество, а 1 кг овса среднего качества, скормленного сверх поддерживающего рациона, который дает 150 г жиरोотложения. 1 к.ед. равна по питательности 0,6 крахмального эквивалента. ($1\text{к.ед.}/1\text{кэ}=150:248=0,6$). Указанное отношение можно находить на основе энергетической оценки: содержание чистой энергии отложенной у волов из 1кг переваримого крахмала составит 2356ккал (248г жира*9,5ккал), из 1кг овса 1414 ккал (148г жира*9,5ккал).

Оценка по кормовым единицам, основанная на крахмальном эквиваленте Кельнера, позволяет сравнивать между собой разные корма. Например: 1кг овса по энергетической питательности в кормовых единицах соответствует 10кг силоса, 2,5кг сена среднего качества, 1,3кг пшеничных отрубей и 0,83кг ячменя. Отсюда следует, что питательность ячменя выше питательности овса, а питательность других кормов – ниже.

Во Франции применяется ячменная кормовая единица. За эталон принят 1 кг ячменя, который при скормливании дает 175г жиरोотложения.

2.6. Чистая энергия (нетто). В 1915 г. в США Генри Армсби предложил оценивать энергетическую питательность кормов, так же как и О.Кельнер по жиरोотложению, только не в граммах жира, а рассчитав энергию жира. Он предложил оценивать энергетическую питательность кормов по чистой энергии (нетто). В качестве единицы измерения чистой энергии он использовал 1 терм (1000 ккал, или 4,1868 МДж) из расчета, что 1 г жира это 9,5 ккал.

Валовая энергия корма

Под валовой энергией корма подразумевают всю химическую энергию его питательных веществ. Для ее определения используют калориметрические установки (бомбы), в которых корм сжигается в чистом кислороде. Это двустенный сосуд, достаточно прочный, а между стенками находится вода. Внутри кладется навеска корма, которая сгорает в кислороде под давлением 25-30 атм., в результате вода между стенками нагревается, и по ее температуре определяются количество выделившейся энергии. Калория – это количество тепла, необходимого для повышения температуры одного грамма воды с 14,5 до 15,5 градусов.

Высвобожденная при этом и учтенная энергия и является валовой энергией корма.

Кроме того, количество валовой энергии корма рассчитывают на основе знания содержания в корме сырых протеина, жира, углеводов и их энергетической емкости:

$ВЭ \text{ (МДж/кг СВ)} = 0,0238П + 0,0397Ж + 0,0188К + 0,0175БЭВ$, где:
П – сырой протеин, г/кг СВ (1 г при сжигании выделяет 23,8 К Дж);
Ж – сырой жир, г/кг СВ (1 г выделяет 39,7 КДж);
К – сырая клетчатка, г/кг СВ (1 г выделяет 18,8 КДж)
БЭВ – безазотистые экстрактивные вещества, г/кг СВ (1 г выделяет 17,5 КДж).

Переваримая энергия корма:

(ПЭ) - энергия переварившихся питательных веществ, представляет собой ту часть валовой энергии, которая остается в организме после переваривания корма и определяется по разнице между валовой энергией корма (рациона) и энергией в кале, где:

$$ПЭ = ВЭ - Э_{\text{кала}}$$

$$ПЭ = 23,93 \times пП + 32,66 \times пЖ + 18,50 \times пКл + 17,00 \times пБЭВ$$

Энергия кала. Определение калорийности кала позволяет учесть потери при пищеварении и получить переваримую энергию (ПЭ).

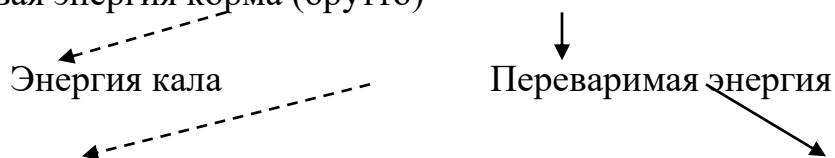
Энергия мочи. Энергия мочи (ЭМ) содержится в неокисленной части всосавшихся питательных веществ (мочевина и др.).

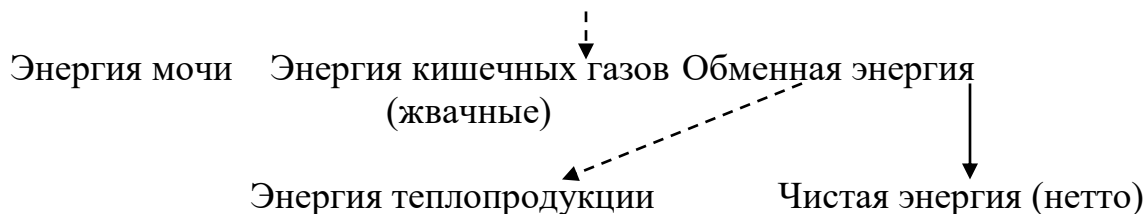
Энергия, выделенная с кишечными газами (ЭКГ). Кишечные газы образуются при ферментации корма. Метан представляет основную часть газов, в минимальных количествах присутствуя другие газы.

Под чистой энергией Г. Армсби понимал ту часть энергии, которая остается в организме после вычитания из валовой энергии корма энергии кала, мочи и кишечных газов, а также потерь энергии теплопродукции. Затраты энергии на усвоение – по дополнительному теплообразованию, вызванной дополнительной дачей испытуемого корма. Затраты энергии на усвоение для 1 кг СВ составляли от 800 до 1300 ккал, в среднем 1000 ккал.

Схема энергетического баланса по Армсби

Валовая энергия корма (брутто)





Непосредственно в опытах чистая энергия была определена лишь для 10 кормов, для большинства же была вычислена по средним константам из расчета, что 1г жира содержит 9,5 ккал.

2.7. Оценка энергетической питательности корма по обменной энергии.

Применение оценки питательности по продуктивному действию на протяжении более чем 50 лет не привели к значительному повышению продуктивности животных или к снижению расходов корма на 1 единицу продукции. Поскольку кормовая единица была выведена на откармливаемых волах, а затем автоматически ее стали использовать на других видах животных, эта оценка энергетической питательности кормов имеет ряд недостатков, потому что продуктивное действие корма не является величиной постоянной и зависит от вида животного, от обеспеченности организма животного комплексом питательных веществ и др. факторов.

В Англии и ряде стран, в том числе и в СССР, стала разрабатываться оценка энергетической питательности корма по обменной энергии примерно в конце 50-х – начале 60-х годов XX века. Эта система была предложена К. Блекстером в 1962 и была принята Сельскохозяйственным НИСоветом Великобритании в 1965).

В 1963г. состоялся 36 Пленум ВАСХНИЛ, который рекомендовал разработать оценку энергетической питательности по обменной энергии.

Из всех физиологических категорий обменная энергия является главной в обмене веществ. **Обменная энергия** - эта часть валовой энергии корма, используемая организмом для поддержания жизни и образование продукции. Обменная энергия измеряется Дж или в ЭКЕ –энергетических кормовых единицах. 1 ЭКЕ равна 2500 ккал или 10467кДж или ~ 10 МДж.

В соответствии с международной системой единиц СИ в качестве единицы обменной энергии в кормах принят 1 Дж.

1 кал = 4,1868 Дж и 1Дж=0,2388 кал.

1 кДж = 1 000 Дж или 1МДж = 1 000 000 Дж.

Обменная энергия (ОЭ) определяется в балансовых опытах:

Содержание ОЭ устанавливают в опытах по определению переваримости питательных веществ по разности содержания энергии в принятом корме и

выделенной в кале и моче. Для жвачных в респирационных камерах учитывают энергию газов, образующихся в ЖКТ.

$$\text{ОЭ жвачных} = \text{ВЭ}_{\text{корма}} - \text{Э}_{\text{кала}} - \text{Э}_{\text{мочи}} - \text{Э}_{\text{киш.газов}}$$

$$\text{ОЭ свиньи} = \text{ВЭ}_{\text{корма}} - \text{Э}_{\text{кала}} - \text{Э}_{\text{мочи}}$$

$$\text{ОЭ птиц} = \text{ВЭ}_{\text{корма}} - \text{Э}_{\text{помета..}}$$

В одном и том же виде корма содержание обменной энергии различается для разных видов животных. Содержание обменной энергии в корме для моногастричных животных будет несколько больше, чем для жвачных. У свиней практически нет потерь с кишечными газами, а потери с мочей не превышают 4%. В зависимости от вида корма, особенно для кормов с высоким содержанием клетчатки, разница в количестве ОЭ может составить 10-14%.

Обменная энергия (ОЭ) также может определяться расчетными методами:

ОЭ можно определить по СППВ, при этом эквивалент для жвачных – 15,4 кДж, для свиней – 17,1 и для птицы – 17,5 кДж. 1г СППВ содержит 18,43 кДж переваримой энергии.

ОЭ также можно определить по соотношению между переваримой и обменной энергией. Для жвачных количество ОЭ составляет 82%, для свиней – 96% от переваримой энергии.

Для пересчета переваримых питательных веществ в ОЭ для жвачных ранее широко использовали энергетические эквиваленты, предложенные Ж. Аксельсоном с учетом потерь энергии с метаном (4,% г метана на 100 переваримых углеводов).

Для свиней используют следующие эквиваленты: 18,8 кДж (4,5 ккал) для 1г пп, 38,9кДж (9,3 ккал) для 1г пж и 17,6 кДж (4,2 ккал) 1г переваримых углеводов.

Вычисление по формуле Аксельсона:

$$\text{ОЭ} = 0,73 \times 18,0 \times (\text{СВ} - \text{Кл} \times 1,05) \text{ или } \text{ОЭ} = 0,73 \times (\text{ВЭ в 1 кг СВ}) \times (\text{СВ} - \text{Кл} \times 1,05)$$

В настоящее время в нашей стране содержание обменной энергии в кормах можно рассчитать с использованием разработанных в ВИЖе регрессионных уравнений:

$$\text{ОЭ крс} = 17,46 \times \text{ПП} + 31,23 \times \text{ПЖ} + 13,56 \times \text{ПК} + 14,78 \times \text{ПБЭВ}$$

$$\text{ОЭ овец} = 17,71 \times \text{ПП} + 37,89 \times \text{ПЖ} + 13,44 \times \text{ПК} + 14,78 \times \text{ПБЭВ}$$

$$\text{ОЭ лошадей} = 19,46 \times \text{ПП} + 35,43 \times \text{ПЖ} + 15,47 \times \text{ПК} + 15,95 \times \text{ПБЭВ}$$

$$\text{ОЭ свиней} = 20,85 \times \text{ПП} + 36,63 \times \text{ПЖ} + 14,27 \times \text{ПК} + 16,95 \times \text{ПБЭВ}$$

$$\text{ОЭ птицы} = 17,84 \times \text{ПП} + 39,78 \times \text{ПЖ} + 17,71 \times \text{ПК} + 17,71 \times \text{ПБЭВ}.$$

При определении ОЭ в 1 кг сухого вещества корма в производственных условиях в формулу вводят показатели СВ (сухое вещество,кг) и Кл (содержание

клетчатки, кг); ОЭ рациона – суммарное количество в рационе СВ и клетчатки (кг). При полном химическом анализе кормов 18 МДж заменяют показателем фактического содержания валовой энергии в 1 кг сухого вещества корма. При этом используют следующие энергетические коэффициенты (МДж/кг): протеин – 23,9, жир – 39,8, клетчатка – 20,0, БЭВ – 17,51.

На основании обобщения данных об энергетической емкости переваримых питательных веществ и в зависимости от содержания в кормах сырой клетчатки и протеина рассчитаны уравнения для определения обменной энергии в кормах. Для крупного рогатого скота:

1. В сене и соломе:

$$\text{ОЭ (МДж/кг СВ)} = (41,304 - 0,026K + 0,03П) \times 0,0083\text{ВЭ};$$

2. В зеленой траве, силосе, сенаже и травяной муке

$$\text{ОЭ (МДж/кг СВ)} = (53,53 - 0,015K + 0,093П) \times 0,0086\text{ВЭ};$$

3. В корнеклубнеплодах и концентратах с содержанием менее 20 % протеина: ОЭ (МДж/кг СВ) = $(77,61 - 0,071 K + 0,03П) \times 0,0088\text{ВЭ}$,

4. В концентрированных кормах с содержанием сырого протеина свыше 20 %: ОЭ (МДж/кг СВ) = $(63,03 - 0,014K + 0,0375П) \times 0,008\text{ВЭ}$;

5. В кормах животного происхождения:

$$\text{ОЭ (МДж/кг СВ)} = (55,63 + 0,0426П) \times 0,008\text{ВЭ},$$

где ОЭ – обменная энергия, МДж/кг СВ;

К – сырая клетчатка, г/кг СВ;

П – сырой протеин, г/кг СВ;

ВЭ – валовая энергия, МДж/кг СВ.

Для расчета содержания обменной энергии в концентрированных кормах с низким уровнем клетчатки (менее 13 %) в сухом веществе, имеющих относительно стабильные коэффициенты переваримости питательных веществ, пользуются данными о процентном содержании сырых питательных веществ (СП – протеина, СЖ – жира, СК – клетчатки, СБЭВ – безазотистых экстрактивных веществ):

$$\text{ОЭ МДж/кг} = 0,12 \text{ СП}\% + 0,31 \text{ СЖ}\% + 0,05 \text{ СК}\% + 0,14 \text{ СБЭВ}\%$$

Общее количество обменной энергии рациона определяют путем суммирования энергии входящих в его состав кормов. Концентрация обменной энергии (КОЭ) характеризует содержание её в 1 кг сухого вещества корма или рациона и выражается в МДж/кг СВ.

Концентрация обменной энергии (КОЭ) – характеризует содержание обменной энергии в 1 кг сухого вещества корма или рациона и выражается в мегаджоулях (МДж) на 1 кг сухого вещества. Концентрация обменной энергии определяет качество кормов и эффективность использования питательных веществ на продукцию.

$$\text{КОЭ} = \text{ОЭ} / \text{СВ} \times 100\%$$

Во ВНИИ кормов проведен уточненный расчет концентрации обменной энергии кормов и рационов для крупного рогатого скота по следующей, удобной для производственного использования уравнения:

$$\text{КОЭ} = 13,43 - (14,1 \times \text{СК}), \text{ МДж, где:}$$

СК – количество сырой клетчатки (кг) в 1 кг СВ корма.

КОЭ – концентрация обменной энергии в 1 кг сухого вещества корма рациона, МДж/кг СВ.

Например, в 1 кг сухого вещества люцернового сена содержится 27% (0,27 кг) сырой клетчатки, следовательно, концентрация обменной энергии в 1 кг сухого вещества люцернового сена равна:

$$\text{КОЭ} = 13,43 - (14,1 \times 0,27) = 9,62 \text{ (МДж)}$$

Разработаны уравнения для расчета ОЭ для разных видов кормов по содержанию СВ и клетчатки:

Объемистые корма (сено, сенаж, силос): $\text{ОЭ} = 13,1 \times (\text{СВ} - \text{СК}_{\text{клетчатка}} \times 1,05)$.

Оценка энергетической питательности кормов по обменной энергии, по ЭКЕ и овсяным кормовым единицам имеют некоторые различия.

Концентраты и корне-клубнеплоды при оценке в ЭКЕ содержат на 10% меньше, чем в овсяных и кормовых единицах. Сено и солома содержат энергии на 20% больше, чем в кормовых единицах. Оценка энергетической питательности зеленых кормов и полноценных рационов совпадают.

3. Расчетные методы

ДОРАБОТАТ ЭТОТ РАЗДЕЛ

Таблица 1.18. Показатели продуктивного действия 1 г чистых питательных веществ

Переваримое питательное вещество	Количество жира и белка в пересчете на жир, отложенные в организме, г
Протеин	0,235
Жир грубых кормов	0,474
Жир зерновых и продуктов их переработки	0,526
Жир семян масличных и жмыхов	0,598
Крахмал и клетчатка	0,248

Таблица 1.19. Расчет продуктивного действия 1 кг овса

Переваримое вещество	Содержание в 1 кг, г	Константы Кельнера	Жиросотложение, г (столбец 2 х столбец 3)
1	2	3	4
Протеин	80	0,235	18,8
Жир	40	0,526	21
Клетчатка	30	0,248	7,4
БЭВ	450	0,248	111,6
Сумма			158,8

бого корма. Пример определения продуктивного действия овса приведен в табл. 1.19.

Из данных табл. 1.19 следует, что при скармливании 1 кг овса должно отложиться 158,8 жира и белка в пересчете на жир — расчетное жиросотложение. Если скормить 1 кг овса животному, отложится ли такое же количество жира? Совпадает ли фактическое жиросотложение с расчетным? Кельнер провел серию опытов, в которых определял фактическое жиросотложение кормов и сравнивал его с расчетным. Он изучил продуктивное действие 51 вида корма. Оказалось, что для зерен кукурузы, картофеля фактическое жиросотложение совпадало с расчетным. У других концентратов, корнеплодов фактическое жиросотложение было немного ниже. Для этих кормов Кельнер предложил коэффициент относительной ценности (полноценности) — отношение фактического жиросотложения к расчетному (К). В данном случае, $K_{\text{овса}} = 150 : 158,9 = 0,95$, где 150 г — фактическое, а 158,8 г — расчетное жиросотложение.

Однако для грубых кормов разница между фактическим и расчетным жиросотложением была значительной: для сена — 37 %, а для соломы — 80 %. Низкое жиросотложение от этих кормов Кельнер объяснял высоким содержанием клетчатки, которая требует значительных затрат энергии при переваривании.

Кельнер рассчитал, что каждые 100 г сырой клетчатки в грубых кормах снижают жиросотложение на 14,3 г.

За единицу питательности Кельнер предложил взять продуктивное действие 1 кг крахмала, равное 248 г жира. Таким образом, крахмальный эквивалент овса составит 0,6: 248 г жира — 1 150 г жира — x $x = 150:248 = 0,6$. Следовательно, 0,6 кг крахмала и 1 кг овса дают одинаковое жиросотложение, равное 150 г. Крахмальный эквивалент — это количество килограммов крахмала, равное (эквивалентное) по жиросотложению 1 кг корма.

Недостатки крахмальных эквивалентов базируются на ошибочном представлении о постоянстве продуктивного действия питательных веществ независимо от их состава, вида животных, направления продуктивности. Разные виды животных переваривают одни и те же корма неодинаково. Жвачные лучше переваривают грубые корма, чем моногастричные.

Оценка питательности по жиросотложению мало подходит для лактирующих животных. Результаты, полученные на волах, Кельнер механически перенес на все виды животных. Оценка питательности кормов по методу Кельнера является достаточно сложной. Ученые искали более простые способы оценки. Так, датский исследователь Фиорд и шведский — Гансон разработали способ оценки питательности в кормовых единицах. Каждая кормовая единица эквивалентна по продуктивному действию 1 кг концентратов. При этом питательность определяли в обычных опытах по кормлению, не изучая обмен веществ и энергии.

В 1915 г. в Копенгагене была принята общескандинавская кормовая единица, эквивалентная 1 кг ячменя или 1,1 кг сухого вещества корнеплодов, или такое количество всякого корма, которое равно по питательности 1 кг ячменя (0,7 крахмального эквивалента).

Оценка питательности в овсяных кормовых единицах. В 1922—1923 г. вопрос об оценке питательности кормов в СССР рассматривала комиссия во главе с профессором Е. А. Богдановым. Основой для предлагаемой единицы питательности было решено взять крахмальные эквиваленты, так как они имели основательное научное обоснование. Чтобы упростить понимание, ее несколько видоизменили, взяв за единицу питательную ценность не 1 кг крахмала, а 1 кг овса, поэтому назвали ее овсяной. Официально овсяная кормовая единица была утверждена 24 декабря 1933 г. По продуктивному действию овсяная кормовая единица равна 150 г жира, отложенного в теле взрослого крупного рогатого скота при скормливании 1 кг овса сверх поддерживающего кормления. Питательность остальных кормов была пересчитана по соотношению с крахмальным эквивалентом, учитывая, что 1 овсяная кормовая единица равна 0,6 крахмальных эквивалента. Например, в 1 кг сена 0,3 крахмальных эквивалента, следовательно, питательность сена в овсяных кормовых единицах составит 0,5 к. ед. (0,3:0,6). В 1 кг картофеля 0,18 крахмальных эквивалента, овсяных кормовых единиц—0,3;

(0,18:0,6). Слово «овсяная», как правило, опускают и называют просто кормовой единицей, сокращенно — к. ед.

Таким образом, за одну кормовую единицу (1 к. ед.) принята питательная ценность 1 кг овса, равная по жируотложению 150 г жира, что соответствует 5,92 МДж чистой энергии.

В последнее время оценка питательности кормов в кормовых единицах проводится на основе фактических данных их химического состава (см. табл. 1.19), т. е. в кормах определяют содержание протеина, жира, клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), умножают на коэффициенты переваримости этих веществ (КП) и получают переваримые питательные вещества (ППВ). Переваримые вещества умножают на показатели их продуктивного действия (константы Кельнера) и определяют ожидаемое жируотложение. Чтобы найти фактическое жируотложение, вычитают поправку на клетчатку или умножают на коэффициент полноценности. На 1 г содержащейся в корме сырой клетчатки уменьшают жируотложение: в сене, соломе — на 0,143 г, в мякине — на 0,072 г, в зеленых, силосованных кормах при 12,0-14,0 % клетчатки — на 0,131 г, при 10,0-11,9 — на 0,119; при 8-9,9 — на 0,107, при 6-7,9 — на 0,094, при 4-5,9 % — на 0,082 г.

Для концентрированных кормов и корнеклубнеплодов коэффициенты полноценности составляют, %: картофель — 100, кукуруза — 100, морковь — 87, соя — 98, свекла кормовая — 72, отруби пшеничные — 79, свекла сахарная — 76, отруби ржаные — 76, рожь, пшеница, овес — 95, жмых подсолнечный — 95, ячмень, горох, бобы — 97, молоко — 100.

Пример расчета питательности 1 кг клеверного сена

Вещество	в 1 кг сена, г	КП	ППВ,г (столбец 2 * * столбец 3)	Константы Кельнера	Расчетное жируотложение (столбец 4 х х столбец 5)
1	2	3	4	5	6
Протеин	101	53:100	53,5	0,235	12,6
Жир	12	57:100	6,8	0,474	3,2
Клетчатка	289	48:100	138,7	0,248	34,4
БЭВ	387	67:100	259,3	0,248	64,3
Всего					114,5

Жирупонижающее действие 289 г сырой клетчатки: 41,3 г (0,143 • 289). Фактическое жируотложение: 73,2 г (114,5 - 41,3). Так как 1 к. ед. по жируотложению равна 150 г жира, то питательность 1 кг сена составит 0,49 к. ед. (73,2 : 150).

Недостатки овсяных кормовых единиц те же, что и у крахмальных эквивалентов. Эта единица базируется на продуктивном действии переваримых питательных веществ, но разные виды животных, во-первых, неодинаково переваривают корма, во-вторых, по-разному используют переваримые вещества.

Жвачные, как уже отмечалось, лучше переваривают корма с большим содержанием клетчатки (грубые). Зато свиньи лучше переваривают корма богатые крахмалом, сахарами (концентраты, картофель, сахарная свекла). У жвачных с мочой и кишечными газами теряется около 18 % переваримых веществ, а у свиней — около 6 %. Эти различия овсяная кормовая единица не учитывает и питательность одного и того же корма в этих единицах одинакова для всех видов животных, что не соответствует действительности.

Оценка питательности кормов по обменной энергии. Учитывая недостатки овсяных кормовых единиц, на пленуме отделения животноводства Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук в 1963 г. было предложено оценивать питательность кормов по обменной энергии — в энергетических кормовых единицах (ЭКЕ). Чтобы понять сущность данной единицы питательности, рассмотрим схему баланса энергии у животных (рис. 1.6).

Пример расчета питательности в овсяных кормовых единицах приведен в табл. 1.20.

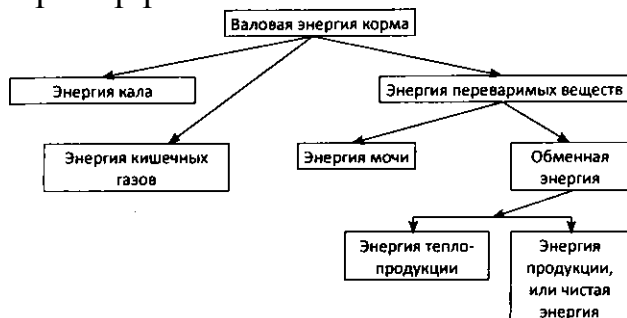


Рис. 1.6. Схема баланса энергии

Валовая энергия — это энергия всех питательных веществ корма или рациона, определяемая по теплоте сгорания.

Энергия переваримых веществ — это разница между валовой энергией потребленного корма и энергией кала.

Обменная или физиологически полезная энергия равна разности между валовой энергией корма и энергией, выделенной с калом, мочой и кишечными газами.

Энергия теплопродукции представляет разность между обменной энергией и энергией продукции и включает затраты энергии на поддержание жизненных функций организма: работу внутренних органов, поддержание температуры тела и т. д. Такая энергия в конце концов принимает форму тепла и может быть учтена по теплообразованию (теплопродукции).

Энергия продукции, или чистая энергия (отложенная в молоке, мясе, яйцах) равна обменной энергии за вычетом теплопродукции.

Американский ученый Г. Армсби в 1915 г., предложил оценивать питательность кормов по чистой энергии в термах. Один терм (от греч. грегте — тепло) равен 4,187 МДж или 1000 ккал чистой энергии, которая определялась в приросте массы бычков.

Для определения количества энергии в кормах и выделениях их навески сжигают в атмосфере чистого кислорода в специальных приборах — калориметрах. Выделившуюся при сгорании тепловую энергию пересчитывают на 1 г или 1 кг вещества и выражают в мегаджоу-лях (МДж), реже — в килокалориях (ккал).

Данные табл. 1.21 свидетельствуют о том, что питательность объемистых кормов для жвачных животных в ЭКЕ по обменной энергии выше, чем в овсяных кормовых единицах, а концентрированных кормов и корнеклубнеплодов — выше для свиней.

При составлении кормовых балансов в хозяйствах рекомендуется (для упрощения расчетов) выражать питательность кормов в ЭКЕ для крупного рогатого скота.

В Беларуси еще не принят стандарт на ЭКЕ, поэтому наряду с овсяными кормовыми единицами указывается питательность кормов в МДж обменной энергии.

Разделив количество мегаджоулей на 10, получим питательность корма в ЭКЕ. Оценка питательности кормов по обменной энергии успешно применяется на птицефабриках, свиноводческих комплексах, что позволило разработать полноценные кормовые смеси и значительно сократить затраты кормов на единицу продукции.

В США энергетическую питательность кормов выражают по сумме переваримых питательных веществ (СППВ) и чистой энергии (ЧЭ). Современные исследования в США показали, что оценка питательности кормов по чистой энергии в расчетах продуктивного действия кормов является более точной по сравнению с системой СППВ.

В Англии К. Л. Блекстером предложена система оценки кормов, объединяющая преимущества оценок питательности как по обменной, так и по чистой энергии.

В Германии разработана оценка питательности кормов, основанная на определении чистой энергии, выражаемой в энергетических кормовых единицах (ЭКЕ), которые рассчитываются отдельно для разных видов животных. При этом одна ЭКЕ для крупного рогатого скота приравнивается 2,5 ккал НЭЖ (нетто-энергии по жиरोотложению).

Оценка энергетической и протеиновой питательности кормов в системе NEL. Определение потребности дойных коров в энергии и протеине по системе NEL. Одной из современных систем энергетической и белковой оценки качества корма, а также потребностей дойных коров в энергии и протеине является система NEL (в переводе с немецкого Netto Energie Lactation — продуктивная энергия молокопродукции).

Данная система определяет ту часть валовой энергии (ВЭ) корма, которые коровы используют на продукцию молока и которая может быть отложена в виде запаса жира как энергетический резерв.

где ОЭ — обменная энергия, МДж; ВЭ — валовая энергия, МДж.

Количество обменной и валовой энергии (МДж) рассчитываются по формулам Л. Хоффмана[^]. Hoffman, 1971):

$ВЭ = 0,0239 \text{ сП} + 0,0398 \text{ сЖ} + 0,0201 \text{ сК} + 0,0175 \text{ БЭВ}$, где сП — сырой протеин, г/кг корма; сЖ — сырой жир; сК — сырая клетчатка, г/кг корма; БЭВ — безазотистые экстрактивные вещества, г/кг корма;

$ОЭ = 0,0312 \text{ пЖ} + 0,0136 \text{ пК} + 0,0147 (\text{пОВ} - \text{пЖ} - \text{пК}) + 0,0234 \text{ сП}$,

где пЖ — переваримый жир, г/кг корма; пК — переваримая клетчатка, г/кг корма; пОВ — переваримое органическое вещество, г/кг корма; сП — сырой протеин, г/кг корма.

Коэффициенты расчета валовой энергии и обменной энергии используются для всех кормов и выражаются в МДж NEL.

Пример 1. Рассчитать энергетическую ценность дерти ячменной в МДж NEL. В 1 кг дерти ячменной содержится 856 г органического вещества. 105 г сырого протеина, 20 г сырого жира, 46 г сырой клетчатки и 686 г БЭВ. Коэффициенты

Концентрация в кормах продуктивной энергии необходимой для образования молока (NEL) и потребность в ней молочных коров измеряется в МДж. Количество NEL в корме зависит от содержания в нем обменной энергии, а также от степени ее использования.

В системе NEL предполагается, что 57-60 % обменной энергии используется для продукции молока. Зная количество обменной энергии, можно рассчитать количество продуктивной энергии молокопродукции, которая определяется по формуле

$NEL \text{ (МДж)} = 0,6 \cdot ОЭ \text{ (МДж)}$.

Данная формула используется, если количество обменной энергии (ОЭ) составляет 57 % от валовой энергии, т. е. коэффициент $q = 57 \%$. Если коэффициент q больше или меньше, то степень использования обменной энергии на продукцию молока увеличивается или уменьшается на 0,4. В этом случае для расчета продуктивной энергии молоко-продукции NEL применяют другую формулу

$NEL \text{ (МДж)} = 0,6 \cdot [1 + 0,004 (q - 57)] \cdot ОЭ \text{ (МДж)}$.

Коэффициент использования обменной энергии q можно вычислить по формуле

Расчет энергетической ценности ячменной дерти в системе NEL

Питательное вещество корма	Значение	жир сырой	Коеффициент	Э, МДж/кг	li П	жир сырой	Коеффициент для	Э, МДж/кг
----------------------------	----------	-----------	-------------	-----------	------	-----------	-----------------	-----------

	О	и		m	Кс пере	li	li	О
Органическое вещество	ОВ	865	-	-	87	745	-	-
Общий белок	СП	105	0,0239	2,51	78	82	0,00234	0,19
Сырой жир	СЖ	20	0,0398	0,8	76	15	0,0312	0,47
Сырая клетчатка	СК	46	0,0201	0,92	46	21	0,0136	0,29
БЭВ	БЭВ	686	0,0175	12,01	91	624	-	-
ПОВ-ПЖ-ПК	-	-	-	-	-	709	0,0147	10,42
Итого				16,24				11,37

1. Находим коэффициент q:

$$11,37 \cdot q = 1 \pm L. 100 = 70. 16,24$$

2. Рассчитываем количество продуктивной энергии NEL:

$NEL = 0,6 (1 + 0,004 (70 - 57)) - 11,37 = 7,18$. Таким образом, энергетическая ценность 1 кг дерти ячменной составила 7,18 МДж энергии NEL.

Пример 2. Рассчитать количество полезного белка кишечника, доступного для усвоения животными. Оценка протеиновой ценности корма выражается количеством доступного общего белка (ОБп), поступающего в тонкий отдел кишечника из вышележащих отделов пищеварительного тракта. Доступный общий белок тонкого отдела кишечника (ОБп) представлен белком корма, неразложившимся в рубце, и белком микроорганизмов рубца, образовавшимся из той части кормового белка, который разложился под действием ферментов микроорганизмов при условии поступления необходимого количества энергии.

Для расчета количества полезного белка кишечника (ОБп), доступного для усвоения животным, применяются формулы, где БНР — белок, не расщепляемый в рубце; пОВ — переваримое органическое вещество; псЖ — переваримый сырой жир:

$$ОБп = [11,93 - (6,82 \cdot БНР / сП)] \cdot ОЭ + 1,03 \cdot БНР;$$

переваримости органического вещества, сырого протеина, сырого жира и БЭВ составили соответственно: 87; 78; 76 и 91 %.