



Обменная энергия в сырье. Сравнение значений, полученных с помощью опытных данных или уравнений для птицы

Автор: **Адхемар Оливейра** (Adhemar Oliveira)

Часть 2, начало статьи читайте в журнале «Корма и Факты» №8/2016

4. Уравнения для определения содержания ОЭ в кормовом сырье для птицы

Для расчета содержания энергии в зависимости от химического состава кормовых ингредиентов используются уравнения простой или множественной регрессии. В этих уравнениях многие питательные вещества, такие как протеин, эфирный экстракт (жир), сырая клетчатка и зола имеют положительную или отрицательную корреляцию с содержанием обменной энергии. Данные уравнения могут быть получены с помощью пошаговой процедуры обратного исключения.

Этот метод позволяет исключить независимые переменные, которые не имеют значимого влияния на значение обменной энергии. Выбор наиболее подходящих уравнений основывается на значениях квадрата коэффициента корреляции (R^2).

Во многих рекомендациях по питательности рационов используется уравнение прогноза, опубликованное в работе Janssen (1989). Например, для многих видов растительного сырья может быть использовано уравнение, представленное ниже.

$$\text{КОЭп (ккал/кг)} = 4,31 * \text{пер. СП} + 9,29 * \text{пер. Ж} + 4,14 * \text{пер. БЭВ},$$

где:

КОЭп = кажущаяся обменная энергия с поправкой на баланс азота (ккал/кг)

пер. СП = переваримый сырой протеин (г/кг)

пер. Ж = переваримый жир (г/кг)

пер. БЭВ = переваримые безазотистые экстрактивные вещества (г/кг)

При этом для того, чтобы правильно определить КОЭп нужно знать содержание переваримого сырого протеина, жира и безазотистых экстрактивных веществ. Однако переваримость разных питательных веществ не всегда известна. Поэтому в основном уравнения были составлены с учетом использования тех питательных веществ, которые можно проанализировать в условиях лаборатории комбикормового завода, включая эфирный экстракт, сырую клетчатку, сырой протеин, золу, кальций и фосфор. Существуют уравнения, в которых использованы показатели НДК (нейтрально-детергентная клетчатка), КДК (кислотно-детергентная клетчатка), лигнина, крахмала и сахаров, но их реже определяют в лабораториях. В качестве примера можно привести следующее уравнение:

$КОЭн = 5167,2 - 8,62 * СП - 131,97 * СК - 183,43 * Зола - 14,71 * Крахмал$ (Rodrigues, 2000),

В этом уравнении все показатели (СП = сырой протеин; СК = сырая клетчатка) даны в виде сырых питательных веществ, а их переваримость не учитывается.

Уравнения по расчету содержания обменной энергии можно разделить на следующие группы в зависимости от вида корма, для которого они разработаны:

- Уравнения для комбикормов;
- Уравнения для групп кормового сырья;
- Уравнения для отдельных видов сырья.

В целом, уравнения для отдельных видов кормового сырья лучше, чем для групп кормовых ингредиентов или готовых комбикормов (Larbier и Leclercq, 1994). Однако качество и надежность уравнений для отдельных видов кормового сырья сильно зависят от количества использованных для их разработки образцов. Чем шире диапазон химического состава образцов кормового сырья для создания уравнения, тем выше точность расчетных значений обменной энергии.

4.1. Уравнения по расчету обменной энергии в литературе

Проведено несколько исследований по разработке уравнений с использованием набора различных видов кормового сырья (кукуруза, кукурузный глютен, пшеница), так как это увеличивает различия между значениями химического состава и улучшает R²-значение. Главной проблемой большинства уравнений является то, что при их применении к образцу сырья, который нехарактерен для референсного набора, используемого для составления уравнения, снижается точность расчета содержания энергии. Уравнение может дать более высокие или более низкие значения содержания энергии и еще больше увеличивать расхождение с фактическим значением. Именно эта особенность ограничивает использование уравнений для расчета содержания энергии. В Таблице 4 представлены значения КОЭн разных образцов кукурузы, определенными с помощью биологического исследования и опубликованными Rostagno и соавт. (2005) и Rodrigues (2000), а также значения, рассчитанные с использованием разных уравнений, разработанных Rostagno и соавт. (2005), Rodrigues (2000)

и Janssen (1989). Например, уравнение 1 позволяет довольно точно рассчитать значение обменной энергии для кукурузы 1 (3881 по сравнению с 3879). Это объясняется тем, что уравнение 1 было разработано Rostagno и соавт. (2005) на основе состава кукурузы 1 из таблицы этого же автора, используемой для разработки уравнения. С другой стороны, при использовании уравнения 1 для расчета содержания обменной энергии в образцах кукурузы 2, 3 и 4, расчетные и наблюдаемые значения различаются на 143, 334 и 287 ккал/кг соответственно. Эти образцы кукурузы не входили в набор, используемый Rostagno (2005) для создания уравнений. В действительности, образцы кукурузы 2, 3 и 4 использовались в исследовании Rodrigues (2000), в ходе которого автор определил КОЭ с помощью биологических исследований, а затем разработал уравнения для расчета содержания энергии в кукурузе. Использование уравнения 1 (Rostagno и соавт., 2005) для расчета содержания энергии в других образцах кукурузы (2, 3 и 4) из эксперимента Rodrigues (2000), не позволило получить приемлемые значения КОЭ, если сравнить расчетные и наблюдаемые значения (см. Таблицу 4).

Различия между содержанием энергии, полученным с помощью биологического исследования для этих образцов кукурузы (кукуруза 1 = 3 881; кукуруза 2 = 3 699; кукуруза 3 = 3 529; кукуруза 4 = 3 647 ккал/кг) можно объяснить особенностями методики: например, более молодая птица в анализе Rodrigues (2000) по сравнению с Rostagno (2005). Интересно, что и средние расчетные значения содержания энергии, полученные с помощью трех уравнений, существенно различались. Еще одним интересным фактом, который можно увидеть в таблице 4, является то, что значения, полученные с помощью уравнения 2, были ниже, чем те, которые были рассчитаны с использованием уравнения 1, что логически следует из использования различных коэффициентов для одних и тех же питательных веществ. Значения КОЭн, полученные с помощью уравнения 3, напротив, были существенно выше. Причиной может быть то, что аналитическая ошибка определения уровня крахмала, включенного в уравнение 3, была выше по сравнению с ошибкой определения сырого протеина и жира.

Различия в расчетных значениях КОЭн для четырех образцов кукурузы меньше, чем различия в результатах био-

Таблица 4. Значения КОЭн для кукурузы: табличные и рассчитанные с помощью уравнений (на основе сухого вещества)

Ингредиенты	Табличные значения КОЭн	Значения КОЭн, рассчитанные с помощью уравнений		
	Биологический анализ	Уравнение 1	Уравнение 2	Уравнение 3
Кукуруза 1	3,881	3,879	3,787	4,208
Кукуруза 2	3,699	3,842	3,747	4,169
Кукуруза 3	3,529	3,863	3,769	4,240
Кукуруза 4	3,647	3,934	3,842	4,253
Среднее значение (ккал/кг)	3,689	3,880	3,786	4,218
SD (ккал/кг)	146	39	41	37
CV (%)	4	1	1	1

Табличное значение КОЭн – кажущаяся обменная энергия с поправкой на баланс азота, определенная с помощью биологических анализов.

Значение КОЭн кукурузы 1 было получено из таблицы питательности кормового сырья Rostagno и соавт. (2005). Значения КОЭн кукурузы 2, 3 и 4 взяты из работы Rodrigues (2000).

Уравнение 1 - $КОЭн = 39,78 * СП + 69,68 * Жир + 35,40 * БЭВ$ (Rostagno и соавт., 2005).

Уравнение 2 - $КОЭн = 36,21 * СП + 85,44 * Жир + 37,26 * БЭВ$ (Janssen, 1989).

Уравнение 3 - $КОЭн = 4887,3 - 5,42 * СП - 32,74 * НДК - 127,52 * Зола - 8,15 * Крахмал$ (Rodrigues, 2000).

SD – стандартное отклонение; CV (%) – коэффициент вариации; СП = сырой протеин; БЭВ = безазотистые экстрактивные вещества

Таблица 5. Уравнения по определению содержания энергии в некоторых видах сырья растительного происхождения для птицы

Вид сырья	Уравнение	Основа для пересчета на СВ	Автор
Просо	$KOЭn = 36,20 \cdot СП + 69,68 \cdot СЖир + 38,09 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 39,78 \cdot СП + 69,68 \cdot СЖир + 35,40 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)
Кукуруза	$KOЭn = 4887,3 - 5,42 \cdot СП - 32,74 \cdot НДК - 127,52 \cdot СЗола - 8,15 \cdot Крахмал$	100	Rodrigues (4) (2000)
	$KOЭn = 5167,2 - 8,62 \cdot СП - 131,97 \cdot СКлетчатка - 183,43 \cdot СЗола - 14,71 \cdot Крахмал$	100	Rodrigues (5) (2000)
	$KOЭn = 36,21 \cdot СП + 85,44 \cdot СЖир + 37,26 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 37,05 \cdot СП + 85,47 \cdot СЖир + 38,21 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)
Сухая барда	$ИОЭn = 2957,1 + 43,8 \cdot СЖир - 79,1 \cdot СКлетчатка$	86	Batal и Dale (1) (2006)
	$ИОЭn = 2582,3 + 36,7 \cdot СЖир - 72,4 \cdot СКлетчатка + 14,6 \cdot СП$	86	Batal и Dale (2) (2006)
	$ИОЭn = 2732,7 + 36,4 \cdot СЖир - 76,3 \cdot СКлетчатка + 14,5 \cdot СП - 26,2 \cdot СЗола$	86	Batal и Dale (3) (2006)
Зародыши кукурузы	$KOЭn = 21,12 \cdot СП + 87,23 \cdot СЖир + 32,29 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
Кукурузный глютен 60 СП	$KOЭn = 40,95 \cdot СП + 88,26 \cdot СЖир + 33,12 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 40,08 \cdot СП + 88,26 \cdot СЖир + 40,57 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)
Сорго	$KOЭn = 31,03 \cdot СП + 77,11 \cdot СЖир + 37,69 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 44,12 - 90,43 \cdot КДК$	100	Moir и Connor (1977)
	$KOЭn = 3152 - 357,79 \cdot Таниновые\ кислоты$	100	Gous и соавт. (1982)
Пшеница, пшеничная крупка, зародыши пшеницы	$KOЭn = 34,92 \cdot СП + 63,10 \cdot СЖир + 36,42 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 4754,02 - 48,38 \cdot СП - 45,32 \cdot НДК$	100	Nunes (1) (2000)
	$KOЭn = 4536,71 - 29,55 \cdot СП - 89,17 \cdot СКлетчатка + 40,30 \cdot СЖир - 231 \cdot СЗола$	100	Nunes (2) (2000)
	$KOЭn = 4222,41 + 67,10 \cdot СЖир - 473,46 \cdot СЗола$	100	Nunes (3) (2000)
	$KOЭn = 3994,87 - 48,82 \cdot НДК (R2 = 0,91)$	100	Nunes (4) (2000)
Тритикале	$KOЭn = 34,49 \cdot СП + 62,16 \cdot СЖир + 35,61 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 37,32 \cdot СП + 62,24 \cdot СЖир + 35,31 \cdot БЭВ$		Rostagno и соавт. (2005)
Рапсовый шрот	$KOЭn = 32,76 \cdot СП + 83,52 \cdot СЖир + 13,25 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 31,46 \cdot СП + 69,60 \cdot СЖир + 12,75 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)
СШ, ПС, СПО, МС, соя JS	$KOЭn = 1822,76 - 99,32 \cdot СКлетчатка + 60,50 \cdot СЖир + 286,73 \cdot СЗола - 52,26 \cdot Крахмал$	100	Rodrigues (1) (2000)
	$KOЭn = 2822,19 - 90,13 \cdot СКлетчатка + 49,96 \cdot СЖир$	100	Rodrigues (2) (2000)
	$KOЭn = -822,33 + 69,54 \cdot СП - 45,26 \cdot КДК + 9,81 \cdot СЖир$	100	Rodrigues (3) (2000)
СШ 45СП	$KOЭn = 37,50 \cdot СП + 46,39 \cdot СЖир + 14,9 \cdot БЭВ$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 39,61 \cdot СП + 46,45 \cdot СЖир + 12,63 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)
СПО	$KOЭn = 2769 - 59,10 \cdot СКлетчатка + 62,10 \cdot СЖир$	100	Janssen (1989)
	$KOЭn = 37,50 \cdot СП + 79,34 \cdot СЖир + 19,46 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)
Соя экструдированная	$KOЭn = 38,79 \cdot СП + 87,33 \cdot СЖир + 18,22 \cdot БЭВ$	100	Rostagno и соавт. (2005)

Кукурузный глютен – с содержанием сырого протеина 60 %. Зародыши кукурузы с содержанием сырого жира 20%, СШ – соевый шрот, ПС – полножирная соя, соя JS – соя Jet Sploder, СПО – соя полножирная обжаренная, МС – микронизированная соя, БЭВ = безазотистое экстрактивное вещество; НДК = нейтрально-детергентная клетчатка; КДК = кислотно-детергентная клетчатка; СП = сырой протеин

Таблица 6. Уравнения по определению содержания энергии в некоторых видах сырья животного происхождения для птицы

Ингредиент	Уравнения	Основа СВ	Автор
МКМ 38СП	$KOЭn = 33,95 \cdot СВ - 45,79 \cdot СЗола + 60,02 \cdot СЖир$	Без пересчета	Janssen (1989)
	$KOЭn = 4,31 \cdot Пер.СП + 9,29 \cdot Пер.Жир$	100	Rostagno и соавт. (2005)
	$KOЭn = -2021,65 + 56,08 \cdot СП + 66,49 \cdot СЖир$	100	Vieites (1999)
Рыбная мука	$KOЭn = 35,89 \cdot СВ - 34,10 \cdot СЗола + 42,11 \cdot СЖир (60-67\% \text{ от СП})$	Без пересчета	Janssen (1989)
Перьевая мука	$KOЭn = 2928,39 + 75,5209 \cdot СЗола - 676,968 \cdot Са + 600,986 \cdot СГД$	100	Nascimento и соавт. (2002)
	$KOЭn = 3553,27 + 124,254 \cdot СЗола - 307,156 \cdot Р$	100	Nascimento и соавт. (2002)
	$KOЭn = 3041,64 + 7,67521 \cdot СЖир - 469,885 \cdot Са + 544,717 \cdot СГД$	100	Nascimento и соавт. (2002)
Субпродукты	$ИОЭn = 2904 + 65,1 \cdot СЖир - 54,1 \cdot СЗола$	92	Dale и соавт. (1993)
	$ИОЭn = 1728 + 77,9 \cdot СЖир - 40,7 \cdot СЗола + 6,0 \cdot СП$	92	Dale и соавт. (1993)
	$KOЭn = 4592,56 - 45,6345 \cdot СЗола - 135,306 \cdot Са + 273,728 \cdot Р - 844,303 \cdot СГД$	100	Nascimento и соавт. (2002)
	$KOЭn = 4723,02 - 60,5854 \cdot СЗола - 1040,3 \cdot СГД + 10,1511 \cdot ПЕП$	100	Nascimento и соавт. (2002)
	$KOЭn = 7669,37 - 55,154 \cdot СП - 78,2412 \cdot СЗола - 264,726 \cdot Са + 471,567 \cdot Р$	100	Nascimento и соавт. (2002)

* (ПП) - переваримость при расщеплении пепсином (0,02 %) выше 80 %.
 МКМ = мясокостная мука, СП = сырой протеин, СГД = средний геометрический диаметр, Са = кальций, Р = фосфор, Пер.Жир = переваримый жир
 Пер.СП = переваримый сырой протеин, СВ = сухое вещество, ПЕП = переваримость при расщеплении пепсином 0,002 %.

Таблица 7. Пример практического использования уравнений по расчету содержания энергии для корректировки табличных данных содержания питательных веществ в сырье для расчета рационов для бройлеров

Питательное вещество	СПО Таблица Rostagno и соавт. (2005)	СПО Новый образец / проанализированные питательные вещества*	Разница
Сырой протеин	37,0	36,0	-1,0
Жир	17,86	16,86	-1,0
Сырая клетчатка	6,20	7,20	+1,0
КОЭп – таблица кормовых ингредиентов	3,281	-	
КОЭп – значение, рассчитанное с помощью уравнений ¹	3,512*	3,390*	122
Скорректированное значение КОЭп	-	3,159	

КОЭп = кажущаяся обменная энергия с поправкой на баланс азота (ккал/кг).

СПО – соя полножирная обжаренная.

* Новый образец (используемый на одном комбикормовом заводе) – снижение содержания сырого протеина и эфирного экстракта на 1%, увеличение содержания сырой клетчатки на 1%.

¹ Уравнение по материалам Janssen (1989) - КОЭп = 2769 – 59,10 * Сырая клетчатка + 62,10 * Жир.

логического исследования. Эти небольшие различия дают низкое стандартное отклонение для прогнозируемых значений, указывая на то, что анализ химического состава не позволяет правильно определить содержание обменной энергии. Кроме того, на расчет содержания энергии в кормовом сырье, очевидно, влияют и другие факторы. Например, компонентный состав крахмала (отношение амилопектина к амилозе) и физические характеристики кукурузы влияют на их энергетическую ценность (Barbarino, 2001).

Для широкого спектра сырья существует довольно много уравнений. В Таблицах 5 и 6 представлены некоторые из них, опубликованные в литературе для кормового сырья растительного и животного происхождения. Все параметры вводятся в уравнения в г/кг.


4.2. Практическое использование уравнений по расчету содержания энергии

Как указано выше, существуют уравнения для расчета содержания КОЭп и ИОЭп. Вопрос заключается в том, как правильно применять их в повседневной деятельности. Ниже приведены рекомендации о том, как использовать уравнения для корректировки значений КОЭп и ИОЭп кормового сырья при расчете рационов (см. Таблицу 7).

Приведенный пример демонстрирует то, как можно скорректировать табличные значения с помощью уравнений. Для этого необходимо выполнить шесть шагов, используя, например значения КОЭп:

1. Взять из таблицы питательности кормового сырья, используемой в качестве справочного материала при расчете рационов, данные химического состава и значения КОЭп нужного кормового сырья. Например, возьмем полножирную сою (СПО) из таблицы Rostagno и соавт. (2005); значение КОЭп составляет 3281 ккал/кг.
2. Выбрать одно из уравнений для расчета КОЭп, представленных в Таблице 5. В нашем примере мы используем уравнение Janssen (1989). КОЭп рассчитывается с ис-

пользованием данных химического состава сои, приведенного в таблице питательности кормового сырья. Расчетное значение КОЭп составит 3 512 ккал/кг.

3. Необходимо провести химический анализ нового образца из исследуемой партии сои для определения содержания питательных веществ, которые нужны для уравнения энергии, например, сырой клетчатки и жира.
4. Применить уравнение для расчета содержания энергии данной конкретной партии полножирной сои. В примере расчетное содержание КОЭп составило 3390 ккал/кг.
5. Определить разницу между значениями КОЭп, рассчитанными по табличным данным и проанализированному химическому составу. В нашем примере эта разность составляет 122 ккал/кг (3512 – 3390).
6. Скорректировать значение КОЭп для сои, указанное в таблицах, с учетом разницы -122 ккал. В примере скорректированное значение КОЭп составляет 3159 ккал/кг (3281 – 122). На данном последнем этапе допускается возможность корректировки различных партий сои с учетом фактического химического состава, но с использованием табличного значения в качестве стандартного. Данный пример демонстрирует, что содержание КОЭп в полножирной сое, рассчитанное с помощью табличных значений, превышает значение КОЭп, полученное из таблицы состава. Это подтверждает расхождение количественных показателей, прямо или косвенно определяемых с помощью уравнений, как указано выше в статье (см. Таблицу 4). Необходимо упомянуть, что данная корректировка учитывает только различия в составе питательных веществ ингредиентов в сравнении с табличными значениями. Таким образом, разница 231 ккал/кг (3512 расчетное – 3281 наблюдаемое) или 7% еще раз подтверждает, что значения КОЭп, рассчитанные с помощью уравнений, необходимо использовать с осторожностью. Однако, как демонстрирует пример, представленный в Таблице 7, уравнения могут быть полезными для корректировки табличных данных содержания питательных веществ при расчете рационов. 



EVONIK
INDUSTRIES

ООО «Эвоник Украина»
01001, г. Киев, ул. Эспланадная, д. 32-в
тел.: +380 44 451 83 18