

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Л.М. Четошникова (г. Барнаул, Россия)

Индустриализация и интенсификация современного сельскохозяйственного производства связана с возрастанием энергоемкости технологий производства сельскохозяйственной продукции. Из общего энергобаланса страны на сельское хозяйство приходится примерно 17%, причем потребность в энергоресурсах удваивается через каждые 10-15 лет. Прирост сельскохозяйственной продукции на 1% требует увеличения расхода энергоресурсов на 2-3%.

Эффективность производственных процессов в сельском хозяйстве, основанных на широком использовании машинных технологий, оценивается традиционно денежными показателями. Но в последнее время все шире используется энергетическая оценка технологических процессов, позволяющая более объективно определять пути совершенствования технологических процессов.

На эффективность использования энергии в АПК значительное влияние оказывает степень учета локального кругооборота энергии в почве и живых организмах. Поэтому традиционные методы сопоставления затрат и отдачи живого и овеществленного труда необходимо совершенствовать на основе биоэнергетического содержания ресурсов, используемых при производстве сельскохозяйственной продукции.

В животноводстве и кормопроизводстве для повышения эффективности использования биоэнергетических ресурсов необходимо детально изучать потоки энергии, их взаимодействие между собой и с внешней средой. Биоэнергетический анализ представляет собой поэлементное рассмотрение потока энергии, расходуемого на производство продуктов питания. Для полной оценки этого потока необходимо знать энергетические эквиваленты единицы массы сельскохозяйственных зданий и сооружений, машин, кормов, биомассы и т.п.

Необходимость проведения биоэнергетической оценки технологий производства сельскохозяйственных

продуктов объясняется следующими особенностями:

1. в сельскохозяйственном производстве наряду с технической энергетикой исполь-

зуются и элементы биоэнергетики (земля, растения, животные). Поэтому методы оценки энергосистем в сельском хозяйстве отличаются от аналогичных методов в промышленности.

2. невозможность получить сравнимые результаты оценки сельскохозяйственного продукта, произведенного в разных природно-климатических условиях, с разным биоэнергетическим потенциалом, удельными энергозатратами, определяемыми территориальной удаленностью источников поставки производственных ресурсов и т.д. В связи с этим необходима дифференцированная биоэнергетическая оценка технологий производства.

3. при составлении полного энергобаланса сельскохозяйственного объекта в качестве входных потоков рассматриваются энергозатраты технической и биологической энергетики, а на выходе – энергосодержание готового продукта с учетом потерь и преобразования энергии. Кроме того, учитывается энергия, затраченная на обеспечение биологической защиты системы (например, пестициды, химические препараты в растениеводстве и вакцины, антибиотики в животноводстве).

Биоэнергетическая оценка осуществляется по показателям, характеризующим объект, технологию, технологический процесс и конечный продукт. К таким показателям относятся: совокупный годовой расход энергии в процессе производства продукции, технологическая энергоемкость, энергоотдача (полезное энергосодержание), биоэнергетический коэффициент эффективности технологического процесса, который оценивается по биоэнергетическому выходу конечного продукта.

Развитие промышленного животноводства характеризуется созданием искусственных антропогенных экотехнических систем, обладающих особенно высокой энергоемкостью. В таких системах не существует замкнутой цепи связей и их устойчивость зависит в основном от деятельности человека, а нормальное функционирование – от энергии, вносимой извне.

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

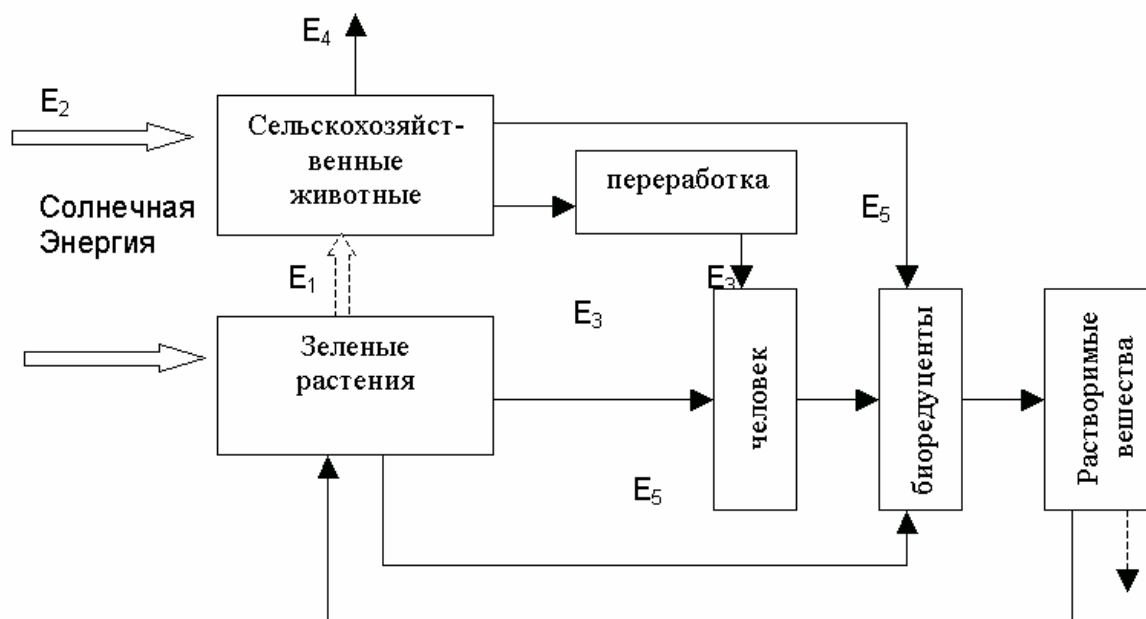


Рисунок 1 – Баланс энергии при производстве продукции животноводства

Баланс энергии в сельскохозяйственных объектах при производстве продукции животноводства (рисунок 1) можно представить в виде уравнения:

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4 + E_5, \quad (1)$$

где E_1 – энергия химических связей сложных органических соединений кормов; E_2 – внесенная извне электрическая, тепловая и другие виды энергии, необходимые для нормального функционирования системы; E_3 – энергия химических связей полученной от животных биомассы; E_4 – энергия, израсходованная на поддержание гомеостаза организма животных; E_5 – энергия, содержащаяся в отходах.

С точки зрения эффективности производства (увеличения валового продукта), следует стремиться к максимальному увеличению E_3 . Достичь этого можно, используя на комплексах высокопродуктивных пород животных и птицы.

Так как

$$E_3 = (E_1 + E_2) - (E_4 + E_5), \quad (2)$$

то поставленной цели можно также добиться, увеличивая $E_1 + E_2$ и уменьшая E_4 и E_5 , а также используя часть энергии отходов E_5 в виде E_1 или E_2 .

Перевод животноводства на промышленную основу позволил путем подбора особей, обладающих высоким генетическим потенциалом, достичь роста продуктивности

животных. Произошло также значительное увеличение количества вносимой извне в экосистему энергии, особенно E_2 .

В условиях неограниченных и дешевых энергоресурсов стремление увеличить E_3 за счет увеличения вносимой в экосистему энергии независимо от возрастания E_4 и E_5 было бы оправданно. Однако, исходя из требований рационального и экономного расходования энергоресурсов, этот путь неэффективен. Кроме того, высокая энергонасыщенность не приводит к росту полезного энерговыхода. Важный фактор повышения экономической эффективности промышленного животноводства – снижение удельного расхода энергии E_2 , являющейся суммарным показателем. Помимо тепловой, электрической и механической энергии, E_2 включает также энергию, заключенную в зданиях, сооружениях, стройматериалах, оборудовании и т.д. Такой комплексный подход к оценке E_2 указывает возможные пути снижения значительных удельных затрат энергии за счет перехода к менее материалоемким конструкциям, облегченным постройкам и т.п.

Любая технологическая деятельность человека сводится к процессу преобразования энергии с помощью некоторой технологической системы. Энергетическая модель такой системы представляет собой совокупность двух подсистем: 1) производство средств производства и 2) производство предметов потребления (рисунок 2)

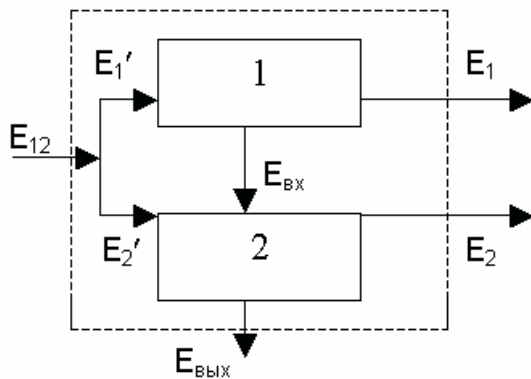


Рисунок 2 – Энергетическая модель технологической системы

Энергетический поток на входе в систему распределяется по двум подсистемам, т.е.

$$E_{\text{вх}} = E_1 + E_2, \quad (3)$$

где энергии E_1 и E_2 преобразуются с соответствующими коэффициентами полезного действия в средства производства с энергетическим эквивалентом E_{12} и полезную продукцию с энергетическим эквивалентом $E_{\text{вых}}$. Кроме того, часть энергии будет заключена в отходах E_1 и E_2 .

Обозначим суммарный энергетический выход системы $E_{\text{вых}\Sigma}$ как сумму собственно полезного выхода и энергетического эквивалента продукции подсистемы 1, т.е.

$$E_{\text{вых}\Sigma} = E_{\text{вых}} + E_{12} = \kappa E_{\text{вх}}, \quad (4)$$

где κ – коэффициент энергоконверсии, учитывающий энергетические потери с отходами.

Тогда

$$E_{\text{вх}} = \kappa E_{\text{вх}} - E_{12} \quad (5)$$

Энергетический КПД системы определится как

$$\eta = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}} = \frac{\kappa E_{\text{вх}} - E_{12}}{E_{\text{вх}}} = \kappa - \frac{E_{12}}{E_{\text{вх}}} \quad (6)$$

На рисунке 3 представлена зависимость выхода энергии техносистемы от ее энергонасыщенности.

Анализ зависимостей и графика показывает, что при низкой энергонасыщенности (примитивные технологии) затраты энергии на производство средств производства также незначительны. Рост энергонасыщенности (многоступенчатое сложное производство) требует значительных дополнительных энергозатрат, а, следовательно, увеличения энергетических потерь и снижения полезного энергетического выхода.

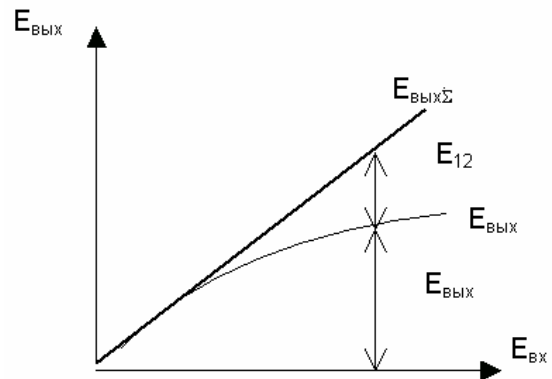


Рисунок 3 – Зависимость выхода энергии технологической системы от ее энергонасыщенности

Энергетический поток E_{12} , поступающий из подсистемы 1 в подсистему 2, можно выразить

$$E_{12} = \prod_{i=1}^i \kappa_i (E_{\text{вх}} - E_2), \quad (7)$$

где κ_i – коэффициент конверсии энергии в i -м технологическом процессе, протекающем в подсистеме 1.

Для подсистемы 2

$$E_{\text{вх}} = \prod_{n=1}^n \kappa_n E_2 + \prod_{m=1}^m \kappa_m m E_{12}, \quad (8)$$

где κ_n и κ_m – коэффициенты энергоконверсии в подсистеме 2; n и m – число ступеней энергоконверсии.

Применительно к отраслям АПК можно сказать, что их насыщение все новыми, более крупными дозами энергии, снижает относительную величину производимой сельскохозяйственной продукции. Чем больше ступеней энергоконверсии, тем меньше энергии на выходе системы. Таким образом, рост энерговооруженности АПК не ведет к увеличению выхода сельхозпродукции. Выход – в разработке и внедрении в практику сельского хозяйства новых энергосберегающих технологий, снижение энергоемкости производства продукции.

С биоэнергетической точки зрения выгодна такая технология, которая на единицу вложенной совокупной энергии обеспечивает наибольший выход энергии в продукции. Отношение энергии, содержащейся в продукции животноводства, к вложенной совокупной энергии определяется биоэнергетическим коэффициентом эффективности

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

$$\eta = \frac{V'}{E} \quad (9)$$

При этом различают коэффициенты биоэнергетической эффективности всей животноводческой продукции и ее основной части. К примеру, при производстве яиц энергосодержание основной части продукции V' включает в себя только составляющие энергосодержания выбракованной птицы и энергосодержание яиц [1].

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства необходимо стремиться к повышению η . Для этого необходимо оптимизировать взаимодействие потоков естественной и искусственной энергии. Например, в животноводстве действуют определенные энергетические закономерности. Выделяемая легкими скота и птицы углекислота и водяной пар являются конечными продуктами их жизнедеятельности. Корм "сжигается" в организме, оборачиваясь нужной человеку продукцией. Отсюда следует, что нужно как можно эффективнее использовать энергию корма, обеспечить условия для перехода наибольшей ее части в полезную продукцию, т.е., повысить усвояемость корма. Известно, что организм животных усваивает только 50-65% энергии корма, остальное теряется с естественными выделениями организма. Много энергии уходит на поддержание температуры тела животных и птицы.

В зоотехнии КПД организма животных оценивают по эффективности усвоения солнечной энергии, заключенной в кормах

$$\eta_{\text{жив}} = \frac{U \cdot V}{E_k} \quad (10)$$

где U – суммарная продуктивность животного в пересчете на сухое вещество, кг; V – энергосодержание 1 кг сухого вещества продукции, МДж; E_k – суммарная энергия кормов за период учета.

Баланс расхода энергии корма в организме животных показан на рисунке 4.

Энергия, заключенная в кормах, используется животными на процесс пережевывания и переваривания пищи, на создание необходимых комфортных условий жизни (поддержание гомеостаза), на мышечное движение. Наибольшая часть энергии уходит с отходами. Все, что остается – это запасенная энергия. Именно она расходуется на рост и воспроизводство и именно она полезна для человека, т.к. поступает к нему в виде мяса, молока, яиц, шерсти и т.д.

Таким образом, истинный коэффициент полезного действия животного или коэффициент биоконверсии – это отношение полезной энергии, полученной с продуктами животноводства, к той общей, которая включает затраты на все перечисленные процессы.

Формула (10) не отражает затрат энергии топлива, электроэнергии, затраченных на выращивание и затрат живого труда. Наиболее полно учитывает все затраты энергии формула, в которую входит совокупная энергия

$$\eta = \frac{V - E}{E_0 + E} \quad (11)$$

где V – энергосодержание сельскохозяйственной продукции, МДж; E_0 – солнечная энергия, приходящая в течение года на сельскохозяйугодья, с которых получают органическое вещество V , МДж; $E_0 + E$ – совокупная энергия, МДж.

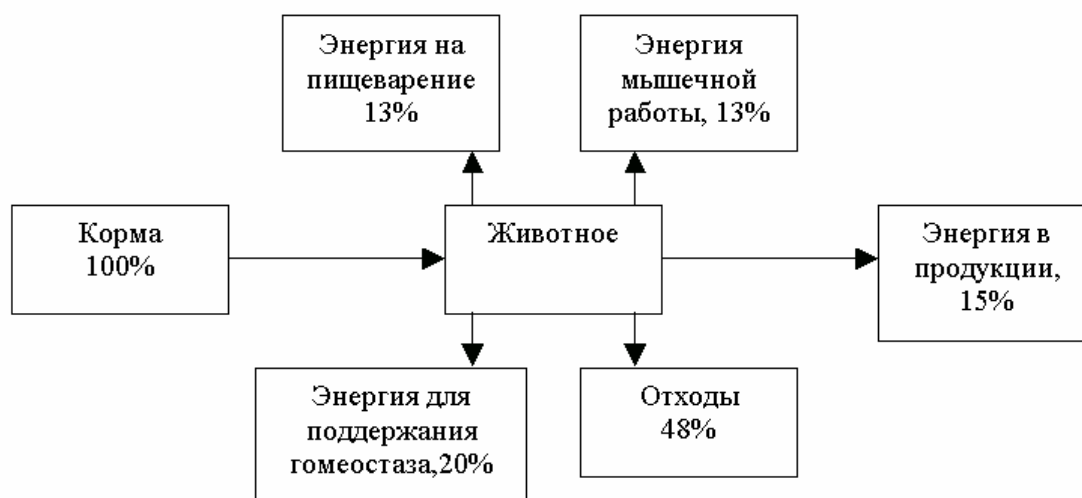


Рисунок 4 – Внутреннее использование энергии корма животным

Одна из составляющих, $\frac{V}{E_0 + E}$ представляет собой коэффициент использования солнечной энергии, вторая - $\frac{E}{E_0 + E}$ - доля оставшейся части энергии в общем расходе совокупной энергии. Таким образом, для повышения биоэнергетического коэффициента эффективности следует стремиться к увеличению первой составляющей и уменьшению второй.

Во всем мире на производство мяса, молока и яиц расходуется в среднем около 60% сбора зерна. Граничные цифры говорят сами за себя: в США используют в животноводстве 90% всей растениеводческой продукции, в Индии – только 20%. В наиболее отсталых странах животные вообще не пользуются услугами земледельца, они получают корм на естественных пастбищах. Одна энергетическая единица, вложенная в растениеводство, дает в США или Европе 1-5 энергетических единиц с растительной пищей. А чтобы получить 1 ккал животной пищи приходится затрачивать 10-20 ккал растений. Энергетически это разорительно.

Коэффициент усвояемости корма представляет собой отношение энергии, содержащейся в конечном продукте (V') к солнечной энергии, аккумулированной в корме

$$\alpha = \frac{V'}{V_{\kappa}}. \quad (12)$$

Так как отрасли кормопроизводства и животноводства тесно связаны между собой, то во второй составляющей следует учесть доли израсходованной энергии в той и другой отрасли.

Таким образом, выражение для биоэнергетического коэффициента эффективности принимает вид:

$$\eta = \alpha \frac{V}{E_0 + E} - \left[\left(\frac{E}{E_0 + E} \right)_{\kappa} + \left(\frac{E}{E_0 + E} \right)_{нф} \right], \quad (13)$$

где индексы κ и $нф$ означают соответственно “кормопроизводство” и “птицефабрика”.

Обозначив $V/E_0 + E = F_c$ – коэффициент использования солнечной энергии; $E_0 + E$ – совокупную энергию; $E/E_0 + E = \beta$, а $E/E_0 + E = \gamma$, запишем формулу в упрощенном виде

$$\eta = \alpha F_c - (\beta + \gamma) \quad (14)$$

Так как коэффициент эффективности зависит от продуктивности сельскохозяйственных животных, можно записать

$$\eta = \frac{V'}{E_c} = \frac{\Pi \cdot e}{E_c}; \quad (15)$$

При производстве бройлеров продуктивность выражается в килограммах массы.

В [2] дается зависимость изменения массы животного во времени

$$\frac{dN}{dt} = Nf(N, \mu), \quad (16)$$

где $N(t)$ – масса живого вещества; μ – некоторые параметры; $f(N, \mu)$ – относительная скорость роста.

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{k} \right), \quad (17)$$

где r – скорость роста биомассы в отсутствие каких-либо ограничений; k – “емкость среды”, т.е. максимально возможное стационарное значение биомассы.

Аналогично выразим прирост массы животного на единицу энергии:

$$\frac{dM}{dE} = \alpha M - \frac{r}{k} M^2, \quad (18)$$

где α – коэффициент усвоения энергии единицей биомассы M ; $r/k = p$ – коэффициент потерь энергии на единицу массы.

Уравнение вида

$$\frac{dN}{dt} = N(\alpha - \gamma N), \quad (19)$$

является логистическим и его решение записывается в виде:

$$N(t) = \frac{\alpha N_0 e^{\alpha t}}{\alpha + \gamma N_0 (e^{\alpha t} - 1)}. \quad (20)$$

Легко видеть, что $\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = \alpha/\gamma$, т.е. N не возрастает беспредельно, а ограничена сверху.

Решением уравнения будет

$$M = M_0 \frac{k \exp r(E_c - E_0)}{k - M_0 [1 - \exp r(E_c - E_0)]}. \quad (21)$$

Заменив массу энергетическим эквивалентом ($E = eM$ или $e\Pi = V$), получим

$$V' = E_0 \frac{ke \exp r(E_c - E_0)}{ke - E_0 [1 - \exp r(E_c - E_0)]}. \quad (22)$$

Соответственно биоэнергетический КПД системы можно выразить:

$$\eta = \frac{V'}{E_c} = \frac{E_0}{E_c} \cdot \frac{ke \exp r(E_c - E_0)}{ke - E_0 [1 - \exp r(E_c - E_0)]}. \quad (23)$$

В формулах E_0 – начальный или нулевой уровень энергонасыщения. Нетрудно видеть,

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

что равенство (22) геометрически интерпретируется логистической кривой, а (23) – гиперболой.

Из анализа приведенных зависимостей следует, что максимальный биоэнергетический коэффициент эффективности соответствует наименьшей энергонасыщенности (разведение животных и птицы в естественных условиях – на пастбищах и водоемах). В условиях промышленного содержания на величину коэффициента в значительной степени влияет удельная энергоемкость продукции. Кроме того, коэффициент тем выше, чем больше значение α (коэффициент усвояемости).

Продуктивность животного и птицы зависит от потребления корма (энергии) и времени содержания. В каждом новом цикле потребления в организме животного запасается энергия, которая со временем не исчезает до нуля, а частично накапливается в организме. Однако интенсивность “откладывания” потребленной энергии постепенно уменьшается. Со временем животное снижает и абсолютное энергопотребление и вскоре достигает стадии полной зрелости. Многочисленные исследования показали, что эффективность

отложения энергии – коэффициент биоконверсии (отношение запасенной энергии к затраченной) достигает максимума, когда масса животного составляет около четверти массы полностью взрослого животного, а затем она начинает снижаться. В этот момент жизни животного человек может получить наибольшую отдачу от своего труда при наименьших затратах.

Таким образом, биоэнергетический коэффициент эффективности или продуктивность сельскохозяйственных животных и птицы в значительной мере зависят от энергии, запасенной в кормах. Большую роль при этом еще играют условия содержания, среди которых на первом месте поддержание необходимых параметров микроклимата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кива А.А., Рабштына В.М., Сотников В.И. Биоэнергетическая оценка и снижение энергоемкости технологических процессов в животноводстве. – М.: Агропромиздат, 1990.
2. Свиричев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. – М., 1978.