

УДК 536 (075.8):577.3

Долинский А.А.¹, Драганов Б.Х.², Мельничук М.Д.²

¹Институт технической теплофизики НАН Украины

²Национальный аграрный университет Украины

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Наведено основні положення ексергетичного методу аналізу необоротних процесів, що мають місце в біологічних явищах.

Приведены основные положения эксергетического метода анализа необратимых процессов, имеющих место в биологических явлениях.

We present the principal propositions of the exergy method of analysis of irreversible processes occurring in biological phenomena.

E – потоки эксергии;
 m – потоки массы;
 Π – потери эксергии;
 S – энтропия;
 T – температура;
 Q – потоки теплоты;

Ω – абсолютный коэффициент эксергетических потерь;
 ω – коэффициент эксергетических потерь.
Индексы
 $вх$ – входной;
 $вых$ – выходной.

Одной из задач термодинамического анализа является численное определение максимально полезной работы, которую может произвести система. Максимальная работа, которую может совершить термодинамическая система при переходе из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой, как известно, называется эксергией.

Примем, что система состоит из конечного количества элементов $i = 1, 2, \dots, n_0$. При аддитивности энтропии можно записать

$$\Delta S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta S_i, \quad (1)$$

тогда аналогично

$$\Delta \Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta \Pi_i. \quad (2)$$

Выражение для ΔS_i может быть записано в самом общем виде как алгебраическая сумма потоков энтропии и суммы приведенных теплот, подводимых (или отводимых) к i -му элементу в процессе взаимодействия системы с внешними телами (рис. 1).

$$\Delta S_i = \sum_{li=1}^{Li} m_{li} S_{li} - \sum_{ki=1}^{Ki} m_{ki} S_{ki} + \sum_{ri=1}^{Ri} \frac{Q_{ri}}{T_{ri}}. \quad (3)$$

Откуда

$$\Delta E_i = \sum_{li=1}^{Li} m_{li} E_{li} - \sum_{ki=1}^{Ki} m_{ki} E_{ki}, \quad (4)$$

где m_{ki} , m_{li} – количество потоков, входящих (k_i) в i -ый элемент и исходящих (l_i) из i -го элемента; $k_i = 1, 2, \dots, K_i$; $l_i = 1, 2, \dots, L_i$. В общем случае $k_i \neq l_i$; Q_{ri} – количество тепловых потоков, отводимых от i -го элемента (или подводимых к нему); $r_i = 1, 2, \dots, R_i$; T_{ri} – температурный уровень соответствующих тепловых потоков Q_{ri} .

Для учета влияния каждой отдельной необратимости, то есть влияния каждого конкретного элемента системы на общие потери в системе, могут быть записаны выражения для относительных коэффициентов эксергетических потерь (для i -го элемента, где $i = 1, 2, \dots, n$):

$$\omega_i = \frac{\Pi_i}{\sum_{i=1}^n \Pi_i} = \frac{\Delta S_i}{\sum_{i=1}^n \Delta S_i}, \quad (5)$$

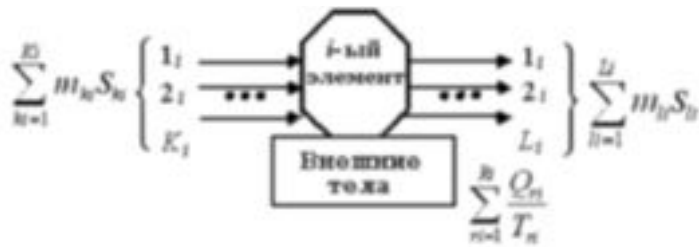


Рис. 1. Термодинамическая модель произвольного элемента энергопреобразующей системы.

$$\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 1. \quad (6)$$

Для учета влияния каждой отдельной необратимости на общие потери эксергии, имеющие место в системе, исходят из рассмотрения абсолютных коэффициентов эксергетических потерь:

$$\Omega_i = \frac{\Pi_i}{E_{ex}}, \quad (7)$$

где Ω_i — абсолютный коэффициент эксергетических потерь i -го элемента системы; E_{ex} — эксергия, которая вводится в систему (начальная эксергия).

Полный абсолютный коэффициент эксергетических потерь

$$\Omega = \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_i}{E_{ex}} = \Omega_1 + \Omega_2 + \dots + \Omega_n = \sum_{i=1}^n \Omega_i. \quad (8)$$

Эксергетический КПД рассмотренной энергетической системы

$$\eta_{ex} = \frac{E_{вых}}{E_{ex}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_i}{E_{ex}} = 1 - \Omega. \quad (9)$$

Если известны ΔS_i , Π_i для каждого элемента, то можно определить ω_i , Ω_i и η_{ex} для действующей системы в целом.

Схема эксергетического баланса растения приведена на рис. 2.

Эффективность процессов превращения энергии в биологических и биотехнических системах можно оценить при помощи эксергии. К примеру, критерием эффективности фотосинтеза служит доля солнечного излучения, попадающего на

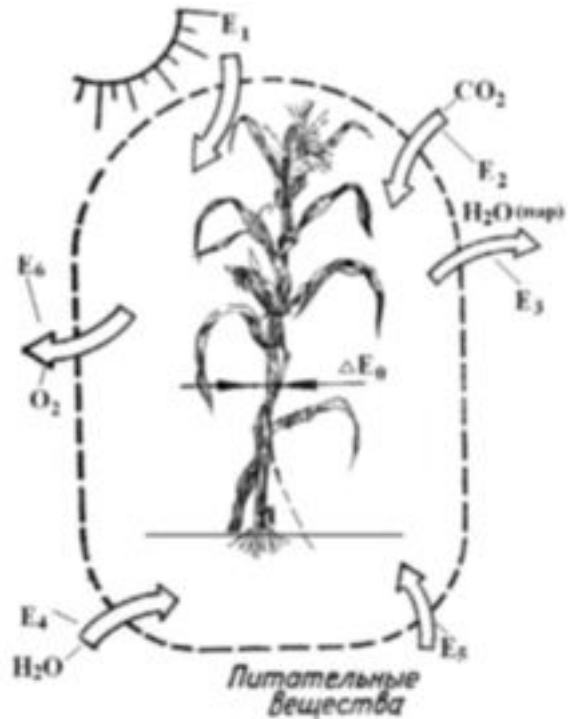


Рис. 2. Эксергетические балансы растения.

определенную площадь в единицу времени и запасаемого в биомассе, который определяется эксергией.

Эксергетический КПД процессов, протекающих в растениях, определяется из соотношения:

$$\eta_e = \frac{E_3 + E_6 + E_p}{E_1 + E_2 + E_4 + E_5}, \quad (10)$$

где E_p — приращение эксергии растений.

Эксергетический баланс и эксергетический КПД позволяют количественно оценить все этапы в процессе развития растения.

Анализ энергетических преобразований, имеющих место при вегетации растений, изложен в [1]. Авторы учитывают эксергию солнечного излучения E_c и эксергию атмосферных осадков E_6 . Приращение эксергии растений E_p обусловлено приращением их материала за данный промежуток времени. Баланс эксергии записывается так [2]:

$$E_c + E_6 = E_p \cdot \Pi. \quad (11)$$

Величина E_6 существенно меньше эксергии солнечного излучения, поэтому ею можно пренебречь. В таком случае эксергетический КПД вегетации растений:

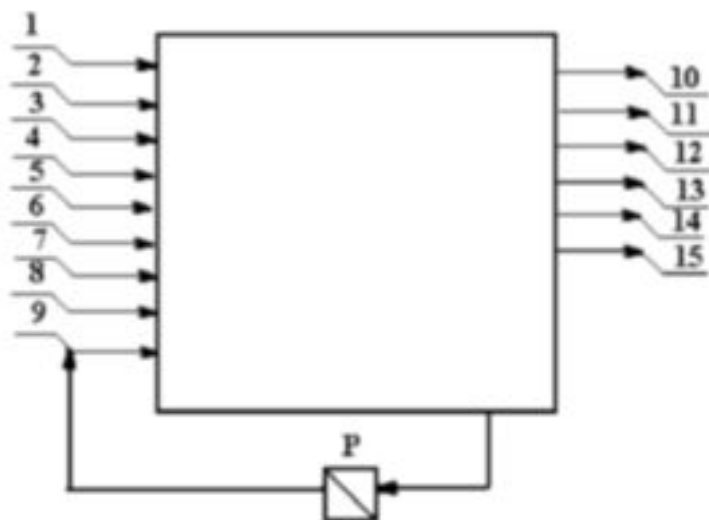


Рис. 3. Схема эксергетических потоков для животноводческой фермы.

$$\eta_e = \frac{E_p}{E_c} \quad (12)$$

В работе [3] изложен метод эксергетического анализа процессов теплообмена в птицеферме. Следует указать, что в этой работе не учтены все потоки эксергии, поступающей в помещение фермы и уходящей из него. Поэтому не записан полный эксергетический баланс фермы и полностью не учтено приращение эксергии для рассматриваемой системы. Схема эксергетического баланса для животноводческой фермы приведена на рис. 4.

В анализируемой системе имеют место следующие эксергетические потоки: 1 — E_k корма; 2 — E_g воды; 3 — $E_{o.э}$ освещения и электрооборудования; 4 — E_l теплового потока, поступающего в помещение вследствие солнечного излучения; 5 — $E_{от}$ системы отопления и вентиляции; 6 — $E_{жс}$ теплота, выделяемая животными; 7 — $E_{н.н}$ теплота, выделяемая навозом, поступающим в помещение; 8 — $E_{возоб}$ дополнительного теплового потока при использовании возобновляемых источников энергии; $E_{рег}$ — теплового потока, поступающего в помещение при регенерации теплоты вентиляционного воздуха, удаляемого из помещения (на схеме регенеративный теплообменник обозначен буквой P).

Эксергетические потоки из помещения фермы: 10 — $E_{орп}$ потери теплоты через ограждающие

конструкции; 11 — $E_{н.у}$ — навоза, удаляемого из помещения; 12 — E_{np} — прироста животных; 13 — E_{nm} — расхода энергии животными; 14 — $E_{воз}$ — воздуха, удаляемого из помещения; 15 — E_{15} — других потерь эксергии.

Эксергетический поток анализируемой энергетической системы

$$\eta_e = \frac{E_{10} + E_{11} + E_{12} + E_{13} + E_{14} + E_{15}}{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 + E_7 + E_8 + E_9} \quad (13)$$

Выполненный анализ можно рассматривать, если учесть потребляемый животными кислород (положительный поток эксергии) и удаляемую двуокись углерода (отрицательный поток эксергии).

По данным [1] эксергетический КПД, т. е. эффективность сельскохозяйственного производства, равен: для крупного рогатого скота $\eta_e = 0,59$, для свиней и птиц $\eta_e = 0,32$.

Путем изменения составляющих эксергетического баланса (увеличения термического сопротивления ограждающих конструкций; своевременного удаления навоза из помещения; создания комфортных условий содержания животных; повышения эффективности регенерации теплоты удаляемого воздуха из помещения) можно заметно повысить эксергетический КПД, а следовательно, энергетические показатели фермы.

Метод эксергетического анализа может оказаться весьма эффективным для исследования энергетических процессов, имеющих место в биообъектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Биотехнология. Принципы и применение* / Под ред. И. Хиггинса, Д. Беста, Д. Джонса. — М.: Мир, 1988. — 480 с.
2. *Ширгут Я., Петела Р. Эксергия*. — М.: Энергия, 1968. — 280 с.
3. *Драганов Б.Х., Попович Л.А. Термодинамический анализ птицевыращиваемых объектов с использованием эксергии* // Вісник аграрної науки. 1992. — № 12. — С. 34–35.

Получено 07.02.2006 г.