

УДК 665.6

## ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ УГЛУБЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

*В. А. Шаршунов, А. В. Червяков*

Рассмотрены и проанализированы показатели для сравнительной оценки технологического процесса углубленной обработки зерна при производстве комбикормов. Уточнена формула удельных приведенных затрат для различных классов технологических систем, в которой учитывается фактическая производительность, определяемая путем построения циклограмм с учетом коэффициента технической готовности. Внедрение технологий и оборудования для углубленной обработки фуражного зерна при производстве комбикормов требует их сравнительного комплексного анализа. Использование такого традиционного показателя, как энергоемкость не дает полного ответа на затраты энергии качественных изменений происходящих в зерне. Поэтому разработан комплексный энергетический показатель – энергоемкость качественных изменений, определяющий глубину изменений контролируемого параметра в обрабатываемом продукте и затрат энергии на эти изменения. Использование вышеприведенных показателей позволяет всесторонне и комплексно оценить эффективность технологического процесса углубленной обработки зерна при производстве комбикормов, как со стороны стабильности всей системы в целом, выполняющей заданные функции, так и со стороны удельных приведенных затрат и энергоемкости качественных изменений контролируемого параметра.

### Введение

Эффективность функционирования технологической системы производства комбикормов с использованием методов углубленной обработки зернового сырья определяется наиболее экономичным, качественным и интенсивным превращением сырья в конечный продукт – комбикорм.

Для оценки эффективности необходимы показатели, позволяющие комплексно оценить данный процесс как с экономической стороны, так и со стороны качественных изменений.

### Основная часть

При проведении системного анализа технологического потока, как системы, для его сравнительной характеристики используют различные показатели, среди которых важное значение имеют стабильность, целостность и надежность [2].

Важным показателем качества функционирования системы является ее надежность. Она представляет собой свойство системы выполнять свои функции в течение заданного промежутка времени без нарушения режима. С достаточной полнотой надежность характеризуется безотказностью системы, т.е. ее свойством сохранять работоспособность на заданном уровне в течение определенного периода ее работы.

Надежность системы непосредственно определяется надежностью ее элементов и подсистем. Поэтому повышение надежности системы достигается при условии выполнения следующих мероприятий:

1. Упрощением системы, уменьшением числа подсистем и элементов;
2. Повышением надежности элементов системы;
3. Оптимизацией параметров функционирования системы, а также ее элементов, т.е. индивидуальных технологических операций;
4. Созданием многофункциональных машин и аппаратов, выполняющих одновременно несколько технологических операций.

Показателем надежности системы служит коэффициент готовности [5]:

$$K_y(t) = \frac{\tau_o}{\tau_o + \tau_n}, \quad (1)$$

где  $\tau_o$  - продолжительность периода безотказной работы системы;  
 $\tau_n$  - продолжительность простоев.

$$\tau_n = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{ПР}}} \tau_{n_i}}{N_{\text{ПР}}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{ПР}}$  - количество простоев;

$\tau_{n_i}$  - продолжительность  $i$ -го вынужденного простоя.

Если наработка на отказ значительно больше среднего времени восстановления работоспособности подсистемы, то коэффициент готовности близок к единице, т.е. можно считать, что в определенный момент времени подсистема будет функционировать в соответствии с технологическим регламентом.

Поскольку технологическая система производства комбикормов является сложной функциональной системой, состоящей из нескольких подсистем, то коэффициент готовности такой системы в целом определится [2]

$$K_{\text{ГС}}(t) = \sum_{i=1}^k K_{\text{Г}_i}(t), \quad (3)$$

где  $K_{\text{ГС}}(t)$  - коэффициент готовности технологической системы;

$K_{\text{Г}_i}(t)$  - коэффициент готовности  $i$ -ой подсистемы;

$k$  - количество подсистем в системе.

Основной технологической характеристикой процессов производства является стабильность, как фактор целостности системы. Если устойчивость системы характеризует качество ее функционирования, то стабильность определяет уровень ее организованности, ее целостности, уровень ее развития. Данную меру можно использовать при исследовании стабильности технологических систем по качественной и количественной изменчивости продукта в процессе производства [2]. Теория информации предлагает для оценки стабильности системы использовать меру неопределенности, выражаемую следующей формулой:

$$\eta = \frac{H_{\text{max}} - H}{H_{\text{max}}} = 1 - \frac{H}{H_{\text{max}}}, \quad (4)$$

где  $\eta$  - стабильность процесса;

$H$  - энтропия соответствующая данному распределению значений величины показателя качества промежуточного или конечного продукта;

$H_{\text{max}}$  - максимально возможная энтропия, соответствующая закону равномерного распределения анализируемого фактора. Энтропия информации представляет собой вероятность присутствия случайной величины в заданном интервале [2]:

$$H = -P \log_2 P - (1-P) \log_2 (1-P) \quad (5)$$

где  $P$  - вероятность попадания случайной величины в заданный интервал.

Применительно к технологическим системам производства комбикорма и углубленной обработки зерна  $P$  - это вероятность (в долях единиц) протекания процесса в рамках, установленных технологическими или зоотехническими допусками. Или иными словами - вероятность попадания контролируемого параметра в заданный интервал допуска.

Анализируя выражение (5) следует отметить, что энтропия изменяется от 0 до максимального значения равного 1. Этого наибольшего значения энтропия достигает при равной вероятности отдельных наблюдений ( $P=0,5$ ), при этом распределении подсистема обладает полной неопределенностью, а стабильность ее равна нулю. В таких условиях

технологическая система равновероятно может вырабатывать продукцию, удовлетворяющую требованиям стандарта, так не удовлетворяющую им. В случае, когда вероятность  $P = 1$  неопределенности в подсистеме нет, подсистема обеспечивает требуемое качество, стабильность ее равна 1. Однако при  $P = 0$  стабильность также равна 1, но подсистема полностью обеспечивает качество, что является отрицательной стороной энтропии с целью оценки качества.

Для расчета энтропии технологического процесса в каждой подсистеме необходимо выделить контролируемые показатели (таблица 1), оказывающие существенное влияние на функционирование всей системы в целом. К ним можно относить показатели качества сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции, технические показатели процессов.

Также в конечном продукте определяется группа биохимических показателей (протеин, углеводы, жир, БЭВ, аминокислоты и др.).

Поскольку каждая подсистема оценивается несколькими контролируемыми показателями, то коэффициент весомости для каждого из них устанавливается экспертным путем [1]. Базовые и допустимые значения показателей принимаются из нормативной документации.

Стабильность технологической системы в целом складывается из оценки стабильности составляющих ее подсистем.

Для системы, состоящей из статически независимых подсистем (например, А, В, С, Д, Е и т.д.) уровень целостности определяется по формуле

$$\Theta = \lambda_E + \lambda_D + \lambda_C + \lambda_B + \lambda_A + \dots + \lambda_k - (k - 1) = \sum_{i=1}^k \lambda_i - (k - 1), \quad (6)$$

где  $\lambda_i$  - стабильность  $i$ -ой подсистемы;

$k$  - количество подсистем в системе.

Практически операции по приему сырья, его разгрузке не влияют на качество сырья. Поэтому для оценки уровня развития операции разгрузки и приема сырья можно принять производительность и сохранность сырья (величину потерь).

При хранении сырья контролируемые показатели являются: влажность зерна; температура зерна, отрубей, шротов, травяной муки; зараженность зерна вредителями хлебных запасов; токсичность зерна, отрубей, шротов, кормовых продуктов пищевых производств, дрожжей; обсемененность бактериями кормовых продуктов пищевых производств.

В подсистемах подготовки сырья к дозированию контролируются следующие параметры: модуль помола; наличие металломагнитных примесей в продукте; крупность продуктов; влажность компонентов.

Подсистема дозирования-смешивания имеет следующие контролируемые показатели: точность дозирования; однородность смешивания.

В готовой продукции определяются влажность; крупность, наличие металломагнитных примесей; активность ингибиторов трипсина и уреазы; обменная энергия [3].

Основным критерием качества технологии, как системы, следует считать уровень целостности всей системы, который надежно может быть измерен и который определяет направление дальнейшего развития данной технологии.

Основной целью углубленной обработки фуражного зерна является повышение эффективности использования энергетического и кормового потенциала зерна, заложенного в нем природой, в процессе его обработки и хранения.

Применяемые технологические операции по углубленной обработке зерна направлены на решение конкретных задач. Среди них – обеззараживание корма от антипитательных веществ (ингибиторов трипсина у ржи, сои, гороха и др.), декстринизации крахмала при производстве стартерных комбикормов, повышение энергетических показателей концентрированных кормов при вводе масла и жира, обеззараживание зерна от

патогенной микрофлоры и микотоксинов при переработке, хранении и т.д.

На выполнение любой технологической операции затрачивается время, энергия машин и механизмов, трудовые ресурсы, приобретается необходимое оборудование, различные виды материалов и компонентов. Поэтому при оценке эффективности применения той или иной технологии углубленной обработки фуражного зерна необходим всесторонний комплексный (подход) анализ.

Таблица 1 - Контролируемые показатели качества технологического процесса производства комбикорма

Название подсистем	Обозначение	Показатели
Прием сырья	Е	1. Производительность 2. Потери сырья
Складирование	Д	1. Влажность 2. Температура 3. Заряженность микотоксинами 4. Заряженность вредителями 5. Активность уреазы и ингибиторов трипсина 6. Обсемененность
Подготовка сырья к дозированию	С	1. Модуль помола 2. Наличие примесей 3. Качество шелушения 4. Активность уреазы и ингибиторов трипсина 5. Декстринизация крахмала 6. Обменная энергия
Дозирование и смешивание	В	1. Точность дозирования 2. Однородность смешивания
Получение готовой продукции	А	1. Крупность 2. Наличие металломагнитных примесей 3. Активность ингибиторов трипсина и уреазы 4. Обменная энергия 5. Группа биохимических показателей

В действующих типовых методиках оценки новой техники и технологий в качестве обобщающего показателя эффективности принимают удельные приведенные затраты, отнесенные к единице продукции или наработки. Критерием оценки является минимум этих затрат[3], т.е

$$\Pi = \frac{\mathcal{E} + E_k \cdot K}{Q} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}$  – прямые эксплуатационные затраты на единицу продукции, руб;

$E_k$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K$  – объем капитальных вложений, руб;

$Q$  – производительность технологической линии, т/ч.

Однако в реальных условиях фактическая производительность технологической системы значительно отличается от проектной, особенно в технологических системах производства комбикормов 1-го и 2-го классов.

Учитывая вышеизложенное, фактическая производительность технологических систем с использованием графоаналитического метода построения циклограмм [4] будет равна (для первого и второго классов технологических систем):

$$Q_{\Phi} = Q_B = \frac{G_{\Phi}}{T_{\Phi}} [T_{\Phi} - T_{\text{нц}} + 60(1 + t_{\text{см}})], \quad (8)$$

где  $Q_{\Phi}$  – фактическая производительность технологической линии, т/ч;  
 $Q_B$  – фактическая производительность подсистемы В (линии дозирования-смешивания);  
 $G_{\Phi}$  – фактическая загрузка смесителя, т/ч;  
 $T_{\Pi}$  – время одного (устоявшегося) цикла, мин;  
 $T_{\text{нц}}$  – время начального цикла, мин;  
 $t_{\text{см}}$  – время смены, ч.

Время начального и устоявшегося циклов определяется на основании построения циклограмм рассматриваемого технологического процесса, приближающих расчет к реальным условиям производства. Общая методика данного метода изложена [4].

В полученном выражении  $t_{\text{см}}$  является временем, при котором технологическая система работает без каких-либо простоев и отказов. В реальных условиях затрачивается время на техническое и технологическое обслуживание, а также простои по причине неисправности оборудования. Данное время учитывается коэффициентом технической готовности [5].

Учитывая вышеизложенное, формула 8 примет вид

$$Q_{\Phi} = Q_B = \frac{G_{\Phi}}{T_{\Pi}} [T_{\Pi} - T_{\text{нц}} + 60(1 + t_{\text{см}} K_{\text{ГС}})]. \quad (9)$$

Тогда прямые эксплуатационные затраты для технологических систем первого и второго классов будут равны:

$$\Pi_{1-2} = \frac{\Xi + E_k \cdot K}{\frac{G_{\Phi}}{T_{\Pi}} [T_{\Pi} - T_{\text{нц}} + 60(1 + t_{\text{см}} K_{\text{ГС}})]} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Для технологических систем нулевого класса

$$\Pi_0 = \frac{\Xi + E_k \cdot K}{Q_T K_{\text{ГС}}} \rightarrow \min, \quad (11)$$

где  $\Pi_0$  – прямые эксплуатационные затраты, руб,

$Q_T$  – теоретическая (паспортная) производительность технологической линии, т/ч.

Одним из основных направлений повышения эффективности использования фуражного зерна при производстве комбикормов является углубленная его переработка, в результате которой повышается энергетическая и питательная ценность, а следовательно, и конверсия корма животных. С этой целью применяют различные технологии и оборудование [5].

Для энергетической оценки всей системы используют показатель – энергоёмкость:

$$\Xi = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{Q_{\Phi}} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \bar{N}_{ij}}{Q_{\Phi}}, \quad (12)$$

где  $N_i$  – затраты энергии каждой  $i$ -ой подсистемой;

$\bar{N}_{ij}$  – затраты энергии  $j$ -ой машиной в  $i$ -ой подсистеме.

Рассматривая обобщенную модель (рис. 1) движения энергетических и материальных потоков в системе переработки зерна (производства комбикормов) видно, что при прохождении сырья  $\{a_i\}$  со свойствами  $\{x_i\}$  и подачей  $q_i$  через технологическую систему (ТС) производится продукт А с производительностью  $Q_{\Phi}$  и со свойствами  $\{X_i\}$ .

На производство продукта А, направлен поток энергии  $\sum N_i$ , позволяющий произвести углубленную обработку сырья и получить конечный продукт с качественно новыми свойствами. Для оценки эффективности воздействия направленного потока энергии и самой технологии использование выражения (1.12) невозможно, поскольку данный показатель не дает ответа на глубину качественных изменений в продукте и затрат энергии на эти изменения.

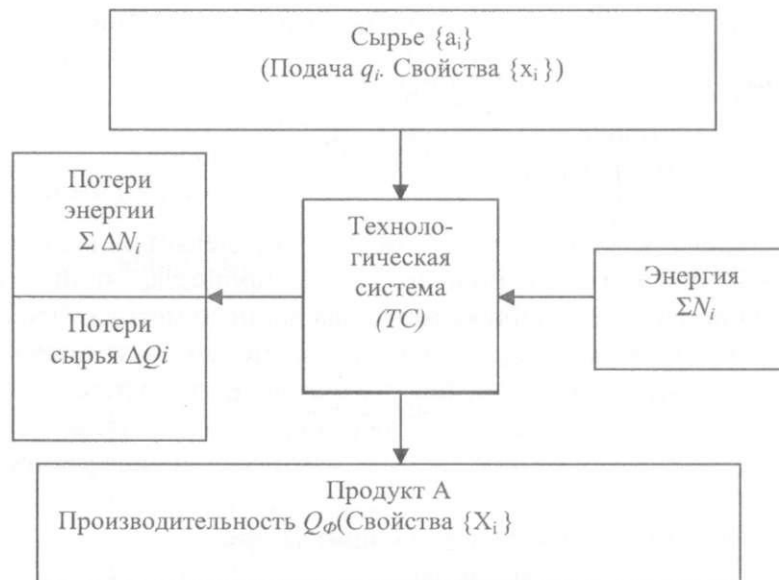


Рисунок 1 - Обобщенная модель энергетических и материальных потоков при переработке фуражного зерна

Учитывая вышеизложенное, введем понятие энергоёмкости качественных изменений  $\mathcal{E}_{ки}$ .

Тогда в обобщенном виде

$$\mathcal{E}_{ки} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta X_i} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \bar{N}_{ij}}{\Delta X_i Q_{\Phi}}, \quad (13)$$

где  $\Delta X_i$  - количественные изменения качественного показателя в перерабатываемом продукте.

Сущность данного показателя заключается в том, что он определяет затраты энергии на единицу качественных изменений контролируемого параметра в единице получаемого продукта.

### Заключение

Использование вышеприведенных показателей позволяет всесторонне и комплексно оценить эффективность технологического процесса углубленной обработки зерна при производстве комбикормов как со стороны стабильности всей системы в целом, выполняющей заданные функции, так и со стороны удельных приведенных затрат и энергоёмкости качественных изменений контролируемого параметра.

### Литература

1. Панфилов, В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств / В.А. Панфилов. – М: Агропромиздат, 1986. – 276 с.
2. Зубова, А.Ф. Надежность машин и аппаратов химических производств / А.Ф. Зубова. - Л.: Машиностроение, 1971. – 224 с.
3. Эксплуатация технологического оборудования ферм и комплексов / С.В. Мельников [ и др.]; под общ. ред. С.В. Мельникова. - М: «Агропромиздат», 1986. - 365 с.
4. Шаршунов, В.А. Основы расчета цехов для производства комбикормов. Курсовое и дипломное проектирование / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.А. Бортник - Горки, БГСХА, 2001. -62 с.
5. Механизация приготовления комбикормов / В.А. Шаршунов [и др.] - Минск: Экоперспектива, 2003. – 205 с.
6. Комбикорма и кормовые добавки: справ. пособие / В.А. Шаршунов, [и др.] - Минск: Экоперспектива, 2002. – 402 с.

Поступила в редакцию 26.05.2006