

**В. Б. Ловкис<sup>1</sup>, В. А. Колос<sup>2</sup>, В. А. Ружьев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: vlovkis@tut.by

<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

## **К ВОПРОСУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

*Аннотация.* В статье представлены методика и показатели, позволяющие дать исчерпывающую характеристику энергетической эффективности производства продукции растениеводства с использованием менее энергоемкого варианта технологии.

*Ключевые слова:* энергоемкость, энергозатраты, технология, ресурсы, урожайность, критерий, модель, потенциал энергосбережения.

**V. B. Lovkis<sup>1</sup>, V. A. Kolos<sup>2</sup>, V. A. Rouzhev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: vlovkis@tut.by

<sup>2</sup>FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>FSBEI "Saint Petersburg State Agrarian University"  
Saint Petersburg, Russian Federation

## **ON THE ISSUE OF ENERGY ASSESSMENT OF TECHNOLOGY EFFICIENCY CROP PRODUCTION**

*Abstract.* A methodology and indicators are presented that make it possible to give an exhaustive characteristic of the energy efficiency of crop production using a less energy-intensive technology option.

*Keywords:* energy intensity, energy consumption, technology, resources, yield, criterion, model, energy saving potential.

### **Введение**

Состояние отрасли растениеводства в Республике Беларусь определяет необходимость всестороннего совершенствования применяемых технологий и комплексов машин, обеспечивающих снижение материально-энергетических затрат. Глубокая проработка возможных путей снижения ресурсопотребления позволит значительно повысить эффективность как технологии в целом, так и отдельных технологических операций.

Для определения уровня энергетических затрат при производстве продукции растениеводства необходимо:

- провести дифференцированную оценку энергоемкости базового варианта с фиксацией составляющих прямых, овеществленных и совокупных энергозатрат;
- выполнить анализ структуры энергозатрат. Сначала исследуются наиболее энергоемкие составляющие затрат с целью оценки возможностей их снижения за счет применения различных энергосберегающих технических и технологических мероприятий, затем аналогичным образом рассматриваются остальные виды затрат. В первую очередь следует добиваться уменьшения

расхода топлива, исключать или заменять компоненты производства, отрицательно влияющие на его экологическую чистоту;

– разработать новый (ресурсоэнергосберегающий) вариант, в котором учтены конкретные способы сокращения энергозатрат по каждой составляющей и определены их новые количественные значения;

– провести оценку энергоемкости перспективного варианта;

– проанализировать эффективность предлагаемой разработки с помощью интегрального и частных коэффициентов энергетических затрат.

Основными направлениями снижения ресурсопотребления при производстве продукции растениеводства являются: повышение урожайности, унификация технологий (сокращение перечня операций), повышение технического уровня машин (производительности, надежности, снижение энергозатрат и материалоемкости), универсализация машин (сокращение их номенклатуры), специализация производства.

### Основная часть

Применяемые в настоящее время стоимостные методы оценки технологий производства сельскохозяйственных культур в ряде случаев неприемлемы, поскольку связаны с показателями, имеющими существенные колебания в связи с политикой ценообразования, и не позволяют определить уровень необходимых затрат энергии на производство продукции.

Выбор и обоснование энергосберегающего варианта технологии и соответствующего комплекса технических средств применительно к конкретным природно-производственным условиям позволят значительно сократить затраты материально-энергетических ресурсов и повысить эффективность их использования.

Допуская аналогию между структурой технологических операций производства продукции растениеводства и структурой больших систем, данный процесс можно рассматривать как сложную многопараметрическую систему, в которой критериальные свойства (информационные параметры) производственного процесса являются ее системообразующими элементами. Основой и стратегией таких систем служит системный анализ [1], позволяющий комплексно рассматривать все этапы их функционирования. При этом в качестве метода исследования используется математическое моделирование с применением вычислительной техники, а основным принципом является декомпозиция сложной системы на более простые подсистемы (принцип иерархии системы) [2]. Тогда формальная процедура комплексной оценки эффективности технологий производства продукции растениеводства (принятия решения или выбора оптимального варианта) на основе системного подхода может быть сведена к следующей математической модели [3]:

$$M_0 = \langle D_0; Y; F \rangle, \quad (1)$$

где  $D_0$  – описание цели оптимизации (интегральный критерий эффективности технологии производства продукции растениеводства);  $Y$  – системообразующие элементы (множество критериальных свойств производственного процесса;  $Y = y_1; \dots; y_n$ );  $F$  – функция выбора отношений между системообразующими элементами (метод классификации критериальных свойств производственного процесса с учетом  $D_0$  и  $Y$ ).

Для системной оценки эффективности технологий в соответствии с моделью (1) и обоснования выбора частных и обобщенных критериев этой оценки необходимо сначала разработать систему группировок свойств (параметров) технологии производства продукции растениеводства (ТППР) по установленному признаку, т. е. установить взаимосвязь критериальных свойств по некоторой заданной системе правил или принципов (методов классификации). С этой целью используют различные типы критериальных структур в зависимости от известности (определенности) взаимосвязи критериальных свойств.

В случае взаимосвязи критериальных свойств, имеющей четко выраженную многоуровневую структуру, применяют иерархическую структуру [4]. Такая критериальная структура классификации свойств характерна и для ТППР. При этом для каждого свойства ТППР введем иерархи-

ческое (многоуровневое) упорядоченное отношение степеней подробности его описания. На самом верхнем уровне находятся простые (дифференциальные) свойства, а свойства, находящиеся на нижестоящих  $(j - 1)$ -уровнях, определяются свойствами  $j$ -го уровня. Одновременный учет на нижестоящих уровнях групп агрегированных свойств, состоящих из совокупности свойств, находящихся на вышестоящем уровне с более подробной степенью их детализации, позволяет получить новое, более «качественное» свойство [5].

Таким образом, иерархическая классификация критериальных свойств ТППР может быть представлена в виде системы с иерархической структурой, состоящей из  $h$ -уровней [6]. При этом учтем следующие замечания.

1. Каждый уровень иерархии отражает степень сложности  $h$  (или подробности) описания свойств  $Y$ ;  $Y^h$  означает свойства  $Y$  в  $h$ -й степени сложности;
2. Свойства  $(j - 1)$ -уровня могут быть представлены в виде совокупности свойств более высокого  $j$ -го уровня.

Рассмотрим критериальную структуру ТППР более подробно на примере обобщенной (гипотетической) технологии, учитывающей все операции и задействованные в них машины и технические средства механизации. Иерархическая схема классификации критериальных свойств технологии представлена на рисунке. В основу построения этой схемы положен принцип энергетической оценки эффективности ТППР, поскольку экономия энергетических ресурсов, сырья и материалов в ограниченных условиях Республики Беларусь является актуальной задачей сельскохозяйственного производства.

В соответствии с вышеизложенным подходом и структурной схемой (см. рисунок) эффективность ТППР (уровень 0) характеризуется интегральным комплексным критерием  $D_0$ , в качестве которого мы приняли коэффициент энергозатрат  $K_{\varepsilon_0}$ .  $D_0$  определяется агрегированными группами (комплексами) свойств (уровень 1): коэффициентами энергозатрат прямых  $K_{\varepsilon_{1пр}}$  ...  $K_{\varepsilon_{1сп}}$  и овещественных  $K_{\varepsilon_{1ов}}$  ...  $K_{\varepsilon_{1с}}$ . Эти параметры являются выходными свойствами уровня 1, который определяет эффективность ТППР с учетом свойств, проявляемых на различных этапах:

$D_1 = \varepsilon_{п.п_1}$  – совокупные энергозатраты на этапе подготовки почвы ( $D_{11} = \varepsilon_{п_1}$  и  $D_{12} = \varepsilon_{п_2}$  – совокупные энергозатраты на этапе основной и предпосевной подготовки почвы соответственно);

$D_2 = \varepsilon_{в.у}$  – совокупные энергозатраты на этапе внесения удобрений;

$D_3 = \varepsilon_{п.к}$  – совокупные энергозатраты на этапе посева (посадки);

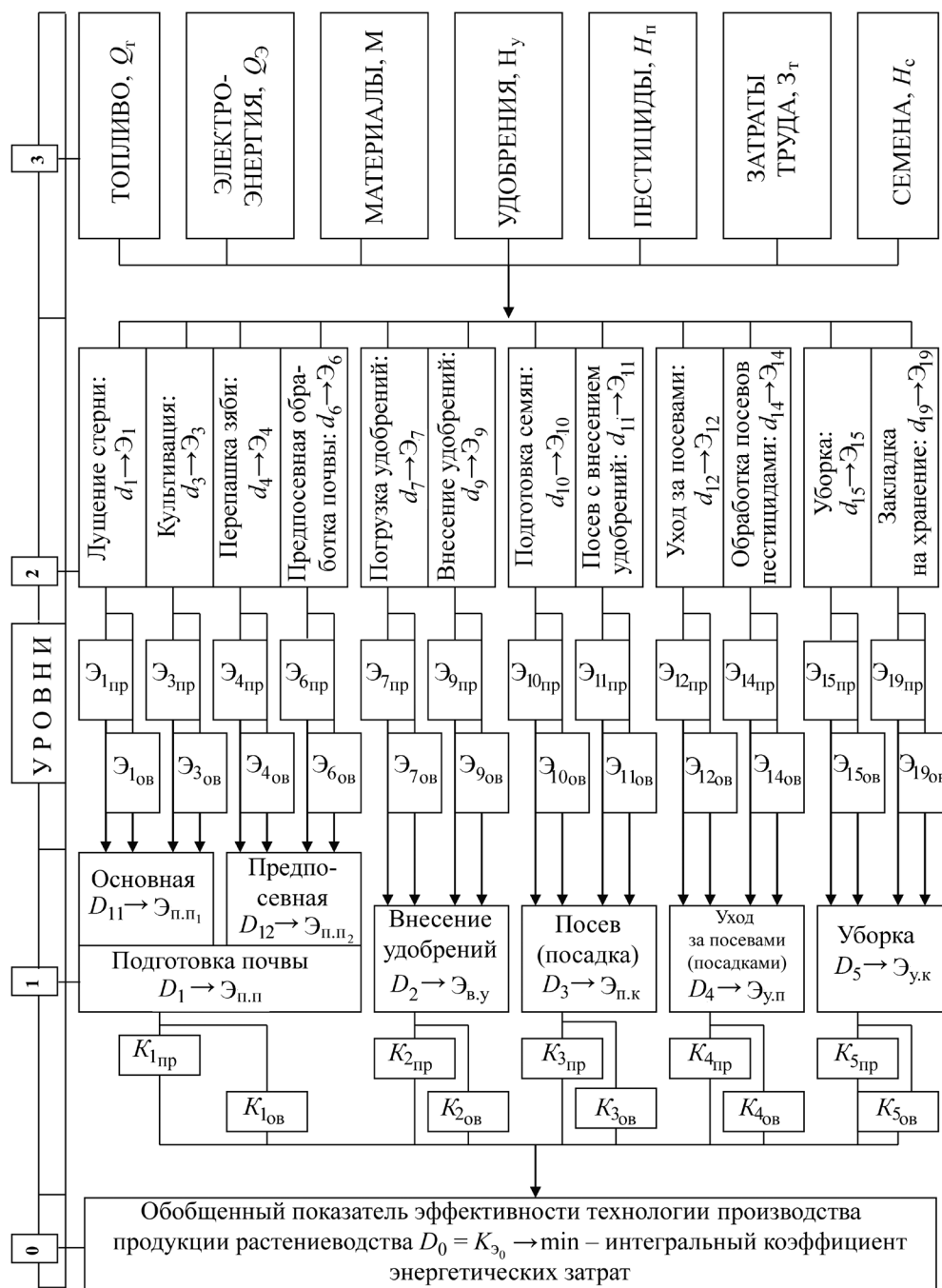
$D_4 = \varepsilon_{у.п}$  – совокупные энергозатраты на этапе ухода за посевами (посадками);

$D_5 = \varepsilon_{у.к}$  – совокупные энергозатраты на этапе уборки и послеуборочной обработки сельскохозяйственной культуры.

Подсистемные этапные критерии  $D_1 \dots D_5$  определяются соответствующими комплексами свойств  $\varepsilon_{1пр} \dots \varepsilon_{19пр}$  и  $\varepsilon_{1ов} \dots \varepsilon_{19ов}$ , являющихся выходными свойствами уровня 2 и проявляемых на различных технологических операциях, которые составляют конкретные этапы ТППР – от вспашки почвы, характеризуемой критерием  $d_1$ , до закладки на хранение, характеризуемой критерием  $d_{19}$ , включительно. В качестве операционных критериев  $d_1 \dots d_{19}$  мы выбрали совокупные энергозатраты  $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_{19}$ , состоящие из прямых  $\varepsilon_{1пр} \dots \varepsilon_{19пр}$  и овещественных  $\varepsilon_{1ов} \dots \varepsilon_{19ов}$  затрат, соответствующих технологических операций (см. рисунок).

На уровне 3 агрегированные группы свойств описываются с большей степенью детализации в виде перечня простых свойств: расхода топлива  $Q_t$ , потребления электроэнергии  $Q_э$ , нормы внесения удобрений  $H_y$ , расхода пестицидов  $H_p$ , материалоемкости  $M$ , затрат труда  $Z_t$ , расхода семян  $H_c$ . Параметры  $Q_t \dots H_c$  выбраны нами в качестве частных критериев эффективности ТППР, обуславливающих по принадлежности все нижестоящие свойства уровней 2...0. На уровне 3 иерархии находятся показатели простейших свойств, определяемые с помощью различных методов и имеющие в общем случае различную размерность. Эти показатели определяют частные критерии уровня 2.

Установив иерархию критериальных свойств ТППР, необходимо осуществить комплексную оценку эффективности технологии с учетом всех подсистем структуры его функционирования. В соответствии со структурной схемой (см. рисунок) эффективность ТППР полностью определяется



Иерархическая структурная схема определения энергоёмкости производства продукции растениеводства

энергетическими показателями (уровни 0...2), обусловленными частными критериями  $Q_t \dots H_c$  (уровень 3). Поэтому для ее количественной оценки на уровнях 0, 1 и 2 необходимо построить соответствующие им математические модели, устанавливающие детерминированные иерархические связи нижестоящих критериальных свойств с вышестоящими. Построение этих моделей в явном виде предполагает предварительное определение входящих в них неизвестных показателей энергозатрат:  $Q_t \dots H_c, \mathcal{E}_{1пр} \dots \mathcal{E}_{19пр}, \mathcal{E}_{1ов} \dots \mathcal{E}_{19ов}, K_{э1пр} \dots K_{э5пр}, K_{э1ов} \dots K_{э5ов}$ . На энергоёмкость производства сельскохозяйственных культур существенное влияние оказывает урожайность, поскольку ее рост связан с увеличением объемов внесения удобрений, уборочных и транспортных работ. К основным технологическим операциям, которые влияют на потребность в материально-энергетических ресурсах при изменении урожайности, относятся погрузка, транспортировка

и внесение минеральных и органических удобрений, уборка и транспортировка продукции, операции по послеуборочной обработке и закладке продукции на хранение [7].

### Заключение

Таким образом, энергетическая оценка, адекватная современным интенсивным агроэкосистемам с их высокими показателями энерговооруженности, энергообеспеченности и энергоемкости, мобилизует на экономию энергетических затрат, поиск энергосберегающих вариантов технологий, повышение их энергетической эффективности. Энергетическую оценку следует рассматривать в качестве мощного, дополнительного аналитического приема, существенно увеличивающего возможности экономического анализа, который раскрывает долю составляющих материальных затрат, наиболее полно характеризует научно-технический уровень производства и его возможности с учетом масштабного фактора.

Большие перспективы применения энергетического анализа открываются при решении оптимизационных задач, разработке ресурсо- и энергосберегающих технологий, технологических комплексов машин и других показателей эффективности сельскохозяйственного производства.

### Список использованных источников

1. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии / В. А. Колос, В. Б. Ловкис. – М. : Наука, 1986. – Т. 1–5.
2. Чулок, А. И. Системный анализ функционирования смазочно-охлаждающих жидкостей в условиях гибких производственных систем / А. И. Чулок. – М., 1986. – 48 с. : ил.
3. Ловкис, В. Б. Модель оптимизации технологии производства картофеля / В. Б. Ловкис, В. А. Колос // Научно-технический прогресс в инженерной сфере АПК России : тез. докл. – М., 1995. – С. 58–63.
4. Березовский, В. А. Бинарные отношения в многокритериальной оптимизации / В. А. Березовский, В. И. Борзенко, Л. М. Кемпнер. – М. : Наука, 1981. – 149 с.
5. Чулок, А. И. Комплексно-структурный метод классификации свойств и оценки качества СОЖ на основе системного подхода / А. И. Чулок // Эффективность и перспективы применения инструмента их сверхтвердых сплавов и керамики. – М. : ВНИИинструмент, 1985. – С. 104–116.
6. Колос, В. А. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В. А. Колос, В. Б. Ловкис // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2008. – Т. 42. – С. 13–19.
7. Методика расчета и минимизации энергоемкости продукции растениеводства / В. А. Колос, Ю. Н. Сапьян, В. Н. Дашков, В. Б. Ловкис // Агропанорама. – 2007. – № 4. – С. 10–15.