

## МЕТОДИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСОВ МАШИН

**Кушнарев А.С. д.т.н., проф., Сербий В.К. асп.**

*Украинский научно-исследовательский институт прогнозирования и испытания техники и технологий имени Леонида Погорелого*

*Рассмотрен способ энергетической оценки комплексов машин. При выборе комплекса машин по функционалу наименьших приведенных энергозатрат, обозначена возможность устремления выбранного комплекса машин к критерию оптимизации наименьшей приведенной стоимости. Приведен новый показатель оценки энергетической эффективности организации выполнения сельскохозяйственных работ.*

**Постановка проблемы.** Острота топливно-энергетической проблемы обусловлена тем, что мировые разведанные топливные запасы невелики. Проблема энергетического обеспечения сельскохозяйственного производства в отличие от других отраслей народного хозяйства усугубляется не только необходимостью увеличения объема производства продукции в связи с ростом общей численности населения и его благосостояния, но и значительным сокращением рабочей силы в сельской местности. Сельское хозяйство стало крупным потребителем энергии, особенно нефтепродуктов. В агропромышленном комплексе в последнее время расходуется 15% всех энергозатрат и 40% нефтепродуктов [1].

Преимущество какому-либо сравниваемому элементу удобно давать, проводя их энергетический аудит. Каждый показатель представляется в виде его энергосодержания, полученного умножением на соответствующий энергетический эквивалент или коэффициент энергозатрат, связанных с его производством. Преимущество энергетической оценки перед денежной в том, что в первом случае оценка более справедлива из-за отсутствия влияния колебаний, связанных с ситуацией в экономике страны или соответствующей политикой ценообразования и отсутствия накруток на брэнд, а также энергетический анализ позволяет определить энергетическую эффективность оцениваемого агрегата или комплекса машин.

Тем не менее, перевод массы трактора в показатель энергоемкости путем умножения на коэффициент содержания энергии (прямой и косвенной) в единице массы трактора, на данный момент не отвечает действительности и требует доработки.

Один из путей – это прибавление энергозатрат, связанных с комплектованием трактора системами интеллектуализации и затратами, связанными с улучшением эргономичности, значительно повышающими энергозатраты трактора. А если оценку делать через массу, умножая на постоянный коэффициент, явного эффекта применения новых технологий в энергетическом выражении заметно не будет.

**Анализ публикаций.** Энергетический эквивалент – это энергосодержание продукта + энергозатраты на его производство [1, 2]. По А.С. Миндрину – суммарные затраты энергии (прямые и косвенные), израсходованные непосредственно на производство самого ресурса [3]. Академиком Россельхозакадемии В.Г. Сычевым было проведено обобщение и выделено шесть групп энергетических эквивалентов энергоресурсов и живого труда [4]. При исследовании энергетических потребностей сельского хозяйства необходимо определять энергоемкость производства сельскохозяйственных продуктов по единым для всего народного хозяйства методам и методикам с использованием сравнимых параметров, коэффициентов пересчета и т.п. Это позволит сравнивать результаты исследований топливно-энергетических затрат в сельском хозяйстве нашей страны и других стран. По методике разработанной ВАСХНИЛ в ВИМе В.А. Токаревым и соавторами, энергетическую оценку сельскохозяйственной техники и технологий предлагается проводить путем перевода натуральных величин умножением на коэффициенты энергосодержания и их энергетические эквиваленты. Причем используются коэффициенты общепринятые и утвержденные нормами ФАО.

**Цель исследований.** Выявить зависимость между критерием оптимизации наименьших приведенных энергетических затрат и функционалом наименьшей приведенной стоимости. Доказать необходимость применения единых энергетических эквивалентов. Привести методику расчета энергетической оценки сельскохозяйственной техники и технологий в растениеводстве.

**Результаты исследований.** Выбор технологического комплекса машин по критерию оптимизации наименьших приведенных энергозатрат проводится расчетом всех влияющих показателей.

Структура затрат использования техники следующая:

- прямые затраты: ГСМ, оплата труда,  $ТО$  и  $ТР$ ;
- косвенные затраты: амортизация.

При том что, функционал наименьших приведенных энергозатрат стремится к нулю, докажем что и в денежном выражении комплекс машин также будет иметь минимальную стоимость или стремиться к ней.

Наименьшие приведенные энергозатраты состоят из:

$$E = ГСМ + ЧТ + А + ТО + ТР, \quad (1)$$

где:  $ГСМ$  – затраты на горючесмазочные материалы, МДж;

$ЧТ$  – затраты на человеческий труд, МДж;

$А$  – амортизация, МДж;

$ТО$  – техническое обслуживание, МДж;

$ТР$  – технический ремонт, МДж.

По условию  $E = f(t) \rightarrow \min$ , значит  $t \rightarrow t_{opt}$ , при котором  $E$  гармонизировано таким образом, что имеет наименьшее значение.

Следовательно (рис. 1) каждая составляющая формулы 1 также, стремится к оптимальному значению.

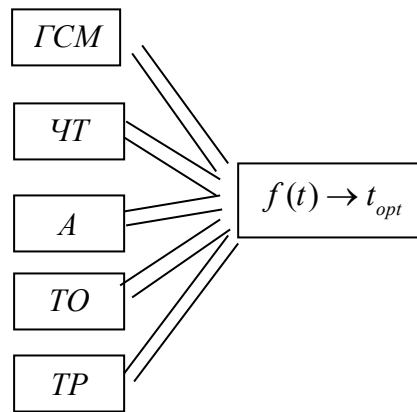


Рис. 1 – Структурная схема энергозатрат

Если сравнивать оценки, даваемые в МДж и грн., то окажется что разница между ними только в коэффициенте  $C_3$  перевода веса техники в ее стоимость. Коэффициенты  $K_1, C_1, K_2, C_2, K_3, K_4, C_4$  имеют постоянное значение для всех расчетных вариантов. Коэффициент  $C_3$  отражает стоимость килограмма трактора и если для расчетов в МДж эта величина – константа равная 86,4 МДж/кг, то для проведения денежной оценки это – переменная (грн./кг), зависящая от разных факторов и в частности от имени торгового бренда.

Таблица 1 – Коэффициенты перевода величин

МДж	Грн.
$m(ГСМ) \cdot K_1$	$m(ГСМ) \cdot C_1$
$t(ЧТ) \cdot K_2$	$t(ЧТ) \cdot C_2$
$t(m(Тр)) \cdot K_{3,A, TP, TO} \cdot K_4$	$t(m(Тр)) \cdot C_{3,A, TP, TO} \cdot C_4$

Таким образом технологический комплекс машин подобранный по критерию наименьших приведенных энергетических затрат с учетом поправок использования систем интеллектуализации и эргономичности, в цене также будет близок к минимуму или стремиться к нему, если цена лишена накруток на бренд. На рисунке 2 видно, что цена на трактор колеблется вокруг среднего значения цены 32,17 грн./кг в небольшом диапазоне. Но, все же энергетическая оценка не может быть полноценной заменой оценки в деньгах, она может служить лишь как дополнение к другим способам оценки.

По энергетической оценке легко судить об энергетической эффективности технологий или комплексов машин.

Составляющие формулы 1 рассчитываются следующим образом.

Прямые затраты энергии выраженные расходом топлива, МДж/га

$$ГСМ = H_m \cdot \alpha_m, \quad (2)$$

где:  $H_m$  – норма расхода топлива, кг/га;  
 $\alpha_m$  – теплосодержание топлива, МДж/кг.

Энергозатраты живого труда. Учет этой энергии проводится на основе норм ФАО.

$$CT = \frac{n_{\text{ч}} \cdot \alpha_{\text{жс}} + n'_{\text{ч}} \cdot \alpha'_{\text{жс}}}{W_{\text{см}}} \quad (3)$$

где:  $n_{\text{ч}}, n'_{\text{ч}}$  – число основных (трактористы, комбайнеры и т.д.) и вспомогательных (сеяльщики, грузчики и т.д.) рабочих, чел.;  
 $\alpha_{\text{жс}}, \alpha'_{\text{жс}}$  – соответствующие энергетические эквиваленты затрат живого труда, МДж/ч.;  
 $W_{\text{см}}$  – сменная производительность агрегата, га/ч.

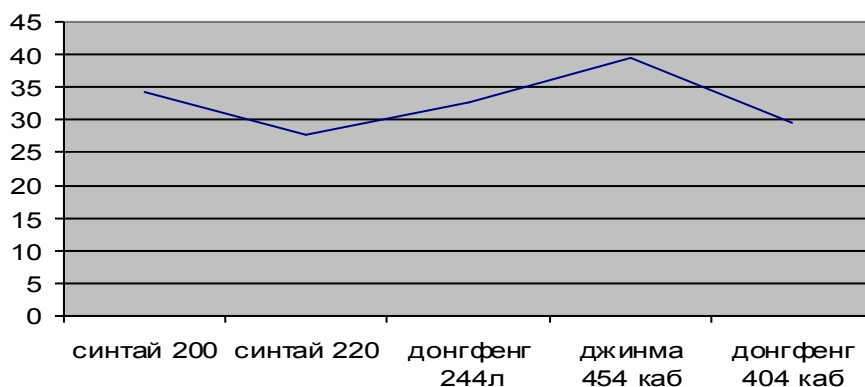


Рис. 2 – Значения удельной стоимости тракторов, грн./кг

Общая энергоёмкость силовой машины равна

$$E_m = \alpha_{mp} \cdot M_m, \quad (4)$$

где:  $M_m$  – масса трактора, кг;  
 $\alpha_{mp}$  – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг.

Энергоёмкость работы силовой машины, приходящаяся на 1 га обработанной площади, составляет

$$E_m = \frac{E'_m + A + TO + TP}{T_c \cdot W_{\text{см}}}, \quad (5)$$

где:  $A, TO, TP$  – затраты энергии на проведение капитального и текущего ремонтов, технического обслуживания, МДж.;  
 $T_c$  – срок службы силовой машины, ч.

Величину  $E_t$  ориентировочно можно определить следующим образом:

$$E_m = \frac{E'_m}{100} \left( \frac{a_m + a_{mk} + a_{mm}}{T_{nm}} \right) \cdot \frac{1}{W_{\text{см}}}, \quad (6)$$

где:  $a_t, a_{tk}, a_{tt}$  – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты трактора, %;  
 $T_{nm}$  – нормативная годовая загрузка трактора, ч.

Аналогичным образом определяется энергоёмкость машины и сцепки приходящейся на 1 га обработанной площади

$$E_m = \frac{M_m \cdot \alpha_m}{100} \left( \frac{a_m + a_{mm}}{T_{nm}} \right) \cdot \frac{I}{W_{cm}}, \quad (7)$$

$$E_c = \frac{M_c \cdot \alpha_c}{100} \left( \frac{a_c + a_{cm}}{T_{nc}} \right) \cdot \frac{I}{W_{cm}}, \quad (8)$$

где:  $M_m, M_c$  – масса машины, сцепки, кг;  
 $\alpha_m, \alpha_c$  – энергетические эквиваленты машин, сцепки, МДж/кг;  
 $a_m, a_c$  – отчисления на реновацию машины, сцепки, %;  
 $a_{mm}, a_{cm}$  – отчисления на текущий ремонт машины, сцепки, %;  
 $T_{nm}, T_{nc}$  – нормативная годовая загрузка машины, сцепки, ч.

Энергоёмкость автомобилей. В технологическом процессе наряду с тракторами и сельскохозяйственными машинами участвуют и автомобили, энергоёмкость которых определяют несколько иначе.

Расход бензина  $G_a$  (кг/т) рассчитывают по формуле

$$G_a = \frac{H_a L \gamma_b}{50 Q_a} \left( 1 + \frac{a_a}{100} \right), \quad (9)$$

где:  $H_a$  – линейная норма расхода топлива на 100 км пробега, л;  
 $a_a$  – увеличение линейной нормы в зависимости от категории дороги и других факторов, %;  
 $L$  – расстояние перевозки, км;  
 $\gamma_b$  – плотность бензина ( $\gamma_b = 0,72$  кг / л);  
 $Q_a$  – масса перевозимого груза (грузоподъёмность автомобиля), т.

Прямые затраты энергии на 1 га для автомобиля:

$$E_{na} = \frac{\alpha_a G_a}{H_y}, \quad (10)$$

где:  $\alpha_a$  – энергетический эквивалент бензина, МДж/кг;  
 $H_y$  – урожайность культуры.

Энергоёмкость автомобиля, приходящаяся на 1 км пробега:

$$E_a = \frac{\alpha_a M_a (a_{ap} + a_{ak})}{10^5}, \quad (11)$$

где:  $\alpha_a$  – энергетический эквивалент единицы массы автомобиля, МДж/кг;  
 $M_a$  – масса автомобиля, кг;  
 $a_{ap}, a_{ak}$  – отчисления на реновацию и капитальный ремонт автомобиля на 1000 км пробега, %.

Если автомобиль работает с прицепом, то энергоемкость прицепа на 1 км пробега определяют аналогичным способом:

$$E_{an} = \frac{\alpha_{an} M_{an} (a_{np} + a_{нк})}{10^5}. \quad (12)$$

При работе автомобиля на вывозке технологических грузов свеклы, картофеля или листостебельной массы энергозатраты транспортных средств необходимо отнести к 1 га возделываемой культуры:

$$E'_{an} = \frac{2 E_{an} L H_y}{Q_a}, \quad (13)$$

где:  $L$  – расстояние перевозки груза, км;  
 $H_y$  – урожайность культур, т/га;  
 $Q_a$  – грузоподъемность автомобиля, т.

Для оценки эффективности использования энергии затрачиваемой на выполнение технологической операции агрегатом, предложено использовать коэффициент полезного действия (КПД) использования энергии во время выполнения операции агрегатом.

Для расчета воспользуемся следующей зависимостью:

$$\eta = \frac{E_n}{E}, \quad (14)$$

где:  $E_n$  – полезная энергия, затраченная на выполнение рабочего хода, МДж;  
 $E$  – суммарная энергия, затраченная на выполнение всей технологической операции, МДж.

Также этот показатель можно использовать для оценки комплекса машин путем суммирования всех затрат энергии по всем механизированным операциям.

По показателю  $\eta$  можно судить о том, насколько эффективно организована работа. Его значение зависит от количества холостых ходов и суммарной длины. При их снижении, уменьшается время, затрачиваемое на развороты, при этом значение КПД увеличивается. Для роста  $\eta$  необходимо подбирать агрегаты с наименьшей кинематической длиной, минимальным радиусом поворота. Ширина агрегата также оказывает влияние, но в этом случае ширина захвата сельхозмашины должна соответствовать максимальной загрузке трактора, когда удельный расход топлива кг/л.с.ч оптимален.

**Выводы.** Подобранный технологический комплекс машин по критерию оптимизации наименьших приведенных энергозатрат [5] также стремится к наименьшей приведенной стоимости расходов на использование техники. Обозначена необходимость нахождения коэффициентов перевода систем интеллектуализации и применяемых элементов повышения эргономичности в энергосредствах в их энергосодержание для более точного проведения расчетов по оценке энергетической эффективности используемой техники или технологий.

Предложено использовать новый показатель – коэффициент полезного

действия (КПД) использования энергии агрегатом при выполнении операции и оценки комплекса машин. Он отражает правильность и рациональность организации рабочего процесса. Открывает пути к наглядному представлению способов улучшения и повышения эффективности создания техники и подбора комплексов машин.

### **Список использованной литературы**

1. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. /В.А. Токарев, В.Н. Братушков, А.Н. Никифоров, А.М. Афанасьев, М.М. Севернев, А.В. Викторов/. - М.: ВИМ, –1989.
2. Новоселов Ю.К., Харьков Г.Д., Шпаков А.С. и др. Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий выращивания кормовых культур. -М.: ВНИИ кормов, -1989. - 72 с.
3. Миндрин А.С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции. -М: ВНИИЭТУСХ, -1997. - 187 с.
4. В.Г. Сычев, А.М. Алиев. Методология энергетической оценки технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Сборник всероссийских трудов.- Т.1. -2010. –С. 139-144.
5. Колесник Г.О. Планування оптимального складу машинно-тракторного парку / Г.О. Колесник, Л.Н. Піддубна, П.І. Голубенко. – К.:Урожай, - 1977.-144 с.

### **Анотація**

#### **МЕТОДИКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ КОМПЛЕКСІВ МАШИН**

Кушнарьов А.С., Сербій В.К.

*Розглянутий спосіб енергетичної оцінки комплексів машин. При виборі комплексу машин по функціоналу найменших приведених енерговитрат, позначена можливість устремління вибраного комплексу машин до критерію оптимізації найменшої приведеної вартості. Приведений новий показник оцінки енергетичної ефективності організації виконання сільськогосподарських робіт.*

### **Abstract**

#### **METHOD OF POWER ESTIMATION OF COMPLEXES OF MACHINES**

A. Kushnarev, V. Serbiy

*The method of power estimation of complexes of machines is considered. At the choice of complex of machines on the functional of the least resulted power expenses, possibility of aspiration of the chosen complex of machines is marked to the criterion of optimization of the least resulted cost. The new index of estimation of power efficiency of organization of implementation of agricultural works is resulted.*