

УДК 631.331.53

**В.В. Аулин, проф., д-р техн. наук, М.И. Черновол, проф., д-р техн. наук,  
А.А. Панков, доц., канд. техн. наук, докторант**  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький,  
Україна*  
*E-mail: aulinvv@gmail.com*

## Критерий эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевальными аппаратами

На основе эмпирически установленных закономерностей динамики развития удельного тягового сопротивления и удельной производительности зерновых сеялок обоснован критерий эффективности применения посевных машин, представляющий собой параметрическое соотношение, которое определяет эффективность производства и эксплуатации зерновых сеялок в отношении рационального использования энергии. Соотношение затрат энергии, выраженных удельным тяговым сопротивлением, к показателю удельной производительности является примером общего соотношения между издержками и эффективностью и показывает сравнительную эффективность посевной машины, а различные зерновые сеялки могут сравниваться на основе предложенного критерия.

**сеялка, сопротивление, производительность, критерий, эффективность, энергия, затраты**

**В. В. Аулін, проф., д-р техн. наук, М. І. Черновол, проф., д-р техн. наук, А. О. Панков, доц., канд. техн. наук, докторант**

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна*

### **Критерій ефективності застосування зернових сіялок з механічними висівними апаратами**

На основі емпірично встановлених закономірностей динаміки розвитку питомого тягового опору і питомої продуктивності зернових сіялок обґрунтовано критерій ефективності застосування посівних машин, що представляє собою параметричне співвідношення, яке визначає ефективність виробництва та експлуатації зернових сіялок щодо раціонального використання енергії. Співвідношення витрат енергії, виражених питомим тяговим опором, до показника питомої продуктивності є прикладом загального співвідношення між витратами і ефективністю та показує порівняльну ефективність посівної машини, а різні зернові сіялки можуть порівнюватися на основі запропонованого критерію.

**сіялка, опір, продуктивність, критерій, ефективність, енергія, витрати**

**Постановка проблемы.** Анализ результатов исследований показывает, что пока нет обобщающих теоретических разработок по методам снижения энергоемкости машин и механизмов, недостаточно обоснованы и критерии оценки эффективности применения машин. К основным недостатком используемых критериев относится то, что они определяют только конструктивное совершенство машин [1].

Кроме того, для сельскохозяйственных машин до сих пор не выявлены унифицированные критерии, зависимости и математические модели, определяющие единые пути и методы снижения энергоемкости конструкций и рабочего процесса [2].

Существующие методики оценки технического уровня машин несовершенны, не удовлетворяют в полной мере требованиям практики и более приемлемы для различных оценочных комиссий, чем для практической работы конструкторов [3].

**Анализ исследований и публикаций.** Для оценки технического уровня и эффективности применения машин предлагаются различные подходы, методы и критерии - структурные модели и циклограммы технического уровня [3], обобщенные показатели комплексной оценки на основе функции Харрингтона [4], широко известный показатель приведенных затрат [5]. Можно отметить, что все они являются разновидностями общего соотношения между издержками и эффективностью.

По мнению академика М.Е. Мацепуро, в основе решения вопросов, связанных с разработкой и обоснованием теорий, технологий и сельскохозяйственной техники, применения машин, механизацией сельского хозяйства должен лежать «Принцип оптимальной энергоёмкости технологических процессов и средств механизации», сущность которого заключается в минимальных затратах энергии на получение требуемой продукции [6].

Применительно к данному принципу предложено несколько критериев эффективности конструкций и применения сельскохозяйственных машин.

В работе [7] в качестве критерия оптимальности предлагается использование минимума удельных энергозатрат при рабочем ходе агрегата:

$$E \rightarrow \min \cdot \quad (1)$$

Анализируя единицы измерения данного критерия – Дж/м<sup>2</sup> (согласно[6]), установлено, что он соответствует такой физической категории, как жесткость  $k$ , кг/с<sup>2</sup>. Поэтому критерий можно интерпретировать как стремление к снижению «жесткости» процесса, выражаемой приращением непроизводительных энергозатрат в процессе.

Аналогичный критерий предлагается в работе [8], где рассматривается относительная удельная энергоёмкость работ, выполняемых машинными агрегатами:

$$\mathcal{E} \rightarrow \frac{N}{W}, \text{кВт}/(\text{га}/\text{ч}), \quad (2)$$

где  $N$  – эффективная мощность двигателя энергетического средства, кВт;

$W$  – производительность машинного агрегата, га/ч.

Приведя к системе СИ единицы измерения данного критерия, получим такую же физическую категорию, как и по предыдущему критерию, т.е. условную «жесткость».

В работе [9] рассматривается критерий, идентичный двум представленным выше – целевая функция, выражаемая соотношением:

$$\frac{\eta_m}{P_{y0}} \rightarrow \max \cdot \quad (3)$$

где  $\eta_m$  – тяговый КПД энергетического средства;

$P_{y0}$  – удельное сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м.

Приведя к системе СИ единицы измерения критерия целевой функции, получим величину, обратную жесткости, которая описывается единицей измерения (кг/с<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>. Иначе говоря, здесь выражается стремление к повышению условной величины, которая обратна условной «жесткости», или к снижению непроизводительных энергозатрат.

**Постановка задачи.** Целью исследований является обоснование критерия

ефективности применения зерновых сеялок с механическими высевальными аппаратами.

Задачами исследований являются оценка эффективности применения зерновых сеялок с механическими высевальными аппаратами на основе предложенного критерия, а также определение факторов, влияющих на динамику показателей эффективности конструкций и рабочего процесса зерновых сеялок.

**Изложение основного материала.** Одной из характеристик, определяющих технический уровень зерновых сеялок, является удельная производительность  $W_{y\delta}$ .

Исходными данными для определения динамики удельной производительности зерновых сеялок являются технико-экономические характеристики машин, разрабатываемых и выпускаемых в течение 50 лет (1960-2010гг.).

Исходя из характеристик машин, определены средние значения  $W_{y\delta}$  по десятилетиям, т.е. рассматриваемый период времени был разделен на промежутки, равные 10 лет (табл. 1), или на определенные стадии развития.

Таблица 1 – Средние значения удельной производительности  $W_{y\delta}$ .

Период, гг.	1960-е	1970-е	1980-е	1990-е	2000-е
№ периода	1	2	3	4	5
$W_{y\delta}$ , га/чм	0,645	1,007	1,152	1,116	1,105

Производительность пропорциональна полезно затраченной энергии [10], которую можно выразить затратами на преодоление тягового сопротивления машины. В табл. 2 представлены найденные средние значения удельного тягового сопротивления зерновых сеялок за период 1960-1980гг., согласно [11].

Таблица 2 – Средние значения удельного тягового сопротивления  $p_{y\delta}$ .

Период, гг.	1960-е	1970-е	1980-е
№ периода	1	2	3
$p_{y\delta}$ , кН/м	1,045	1,320	1,710

Показатели табл. 2 аппроксимированы с целью установления динамики их дальнейшего развития на период 1990-2000-х гг (табл. 3).

Таблица 3 – Средние значения удельного тягового сопротивления  $p_{y\delta}$  по результатам аппроксимации.

Период, гг.	1960-е	1970-е	1980-е	1990-е	2000-е
№ периода	1	2	3	4	5
$p_{y\delta}$ , кН/м	1,045	1,321	1,713	2,221	2,845

На рис.1 графически представлена динамика показателей табл.1 и табл.3. Исходя из графика на рис.1 предположим, что соотношение затрат энергии, выраженных удельным тяговым сопротивлением, к показателю удельной производительности, т.е.  $p_{y\delta}/W_{y\delta}$ , (Н/м/(га/чм)) покажет сравнительную эффективность применения посевных машин данного вида.

Определим физический смысл предложенного соотношения, приведя к системе СИ единицы измерения показателей:

$$H \cdot \frac{c}{2a} = m \cdot k_2 \cdot c^{-2} \cdot \frac{c}{m^2} = \frac{k_2}{c \cdot m} \quad (4)$$

Установленная единица измерения критерия соответствует коэффициенту динамической вязкости  $\mu$ . Исходя из определения вязкости, физический смысл предлагаемого критерия заключается в способности машины преодолевать сопротивление рабочему процессу с максимальной эффективностью, а конструктивные и технологические показатели машин могут сравниваться на основе данного критерия.

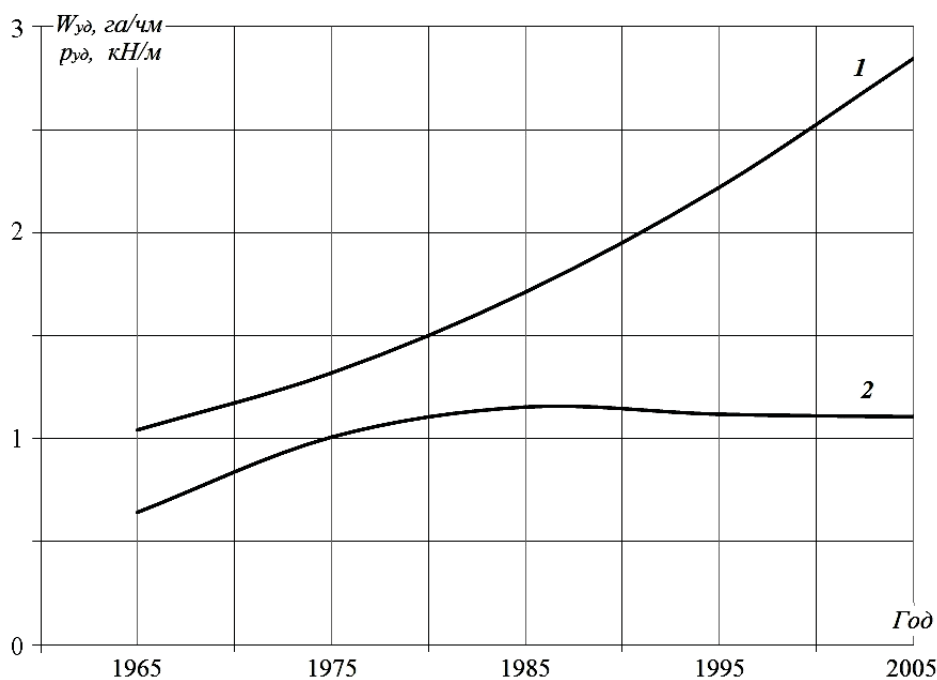


Рисунок 1 – Динамика изменения удельного тягового сопротивления  $p_{yd}$  (1) и удельной производительности  $W_{yd}$  (2) зерновых сеялок с механическими высевающими аппаратами

Следовательно, предлагаемый критерий эффективности можно записать в виде:

$$\frac{P_{yd}}{W_{yd}} \rightarrow \min \quad (5)$$

Как известно, величиной, обратной динамической вязкости  $\mu$ , является кинематическая вязкость  $\nu$ , т.е.:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ м}^2 / \text{с}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Исходя из формулы (6) можно сделать вывод, что единицы измерения кинематической вязкости соответствуют единицам измерения производительности, т.е. кинематический коэффициент вязкости  $\nu$  эквивалентен производительности  $W$ .

Заменив в формуле (6) величину  $\mu$  предлагаемым критерием эффективности и определив физический смысл условной плотности, получим величину производительности, соответствующую условной кинематической вязкости и предложенному критерию эффективности.

Как видим, формулы 1-6 находятся в отношении взаимно однозначного соответствия (изоморфизма) с классическими физическими категориями, т.е. они имеют одинаковую абстрактную структуру.

Определим значения предлагаемого критерия эффективности для различных периодов производства и применения зерновых сеялок с механическими катушечными высевальными аппаратами, исходя из данных табл.1-3: для 1960-х гг. – 1,62, для 1970-х гг. – 1,31, для 1980-х гг. – 1,48.

Для других периодов критерий оптимальности определим исходя из графика на рис.1 и табл.3: для 1990-х гг. – 2,00, для 2000-х гг. – 2,57

Например, для 40-рядной зерновой сеялки Astra-6, выпускаемой в настоящее время, при скорости движения  $V_{\partial} = 12 \text{ км/ч}$ , расчетное удельное тяговое сопротивление составит  $p_{y\partial} = 2,75 \text{ кН/м}$  при удельной производительности  $W_{y\partial} = 1,2 \text{ га/чм}$ . Следовательно, значение предлагаемого показателя эффективности для сеялки Astra-6 составит 2,29Нч/га. Соответственно, для 24-х рядной зерновой сеялки СЗ-3,6А, также выпускаемой в настоящее время, при скорости движения  $V_{\partial} = 15 \text{ км/ч}$ , расчетное удельное тяговое сопротивление составит  $p_{y\partial} = 2,60 \text{ кН/м}$  при удельной производительности  $W_{y\partial} = 1,5 \text{ га/чм}$ , а значение предлагаемого показателя эффективности для сеялки СЗ-3,6А составит 1,73Нч/га. Поэтому здесь логичной будет тенденция к повышению рабочих скоростей движения, которая уже имеет место в настоящее время для зерновых сеялок с пневматическими централизованными высевальными системами. Так, для зерновых сеялок Accord MSC 4 и MSC 6 рабочая скорость движения составляет 18км/ч, а для сеялки Horsch Pronto 6AS – 20км/ч.

В качестве граничного критерия эффективности эмпирически можно принять «золотое» сечение или «золотую» пропорцию, значение которой составляет 1,618, т.е.:

$$\frac{P_{y\partial}}{W_{y\partial}} = 1,618. \quad (7)$$

Так как кривая удельной производительности зерновых сеялок стабилизировалась после 1985 года со средним значением 1,111га/чм, то можно определить условный момент достижения граничного критерия эффективности по времени, который приходится приблизительно на 1985-1990гг.

Этот период времени коррелирует с исследованиями [12], где рассмотрены функциональные и временные модели сменной  $W_c$  и чистой  $W_v$  производительности для терминального прогноза динамики изменения производительности зерновых сеялок. По полученным моделям определен момент достижения сеялкой СЗ-3,6 максимальной производительности - 1990 год.

Исходя из рис.1 можно сделать заключение, что удельное тяговое сопротивление возрастает непропорционально удельной производительности, что влечет за собой прогрессирующее увеличение затрат при непропорционально снижающейся отдаче. Найденная закономерность является частным случаем закона убывающей производительности основных фондов [13], или общеизвестного закона убывающего плодородия. Согласно исследованиям [14] (рис.2), в общем случае в сельскохозяйственном производстве наблюдается уменьшение прироста выхода продукции в энергетических единицах  $E_{вых}$  относительно вложенной энергии  $E_{вх}$  при все более полной механизации и совершенствовании технологий. Рост потерь  $E_{пот}$  обусловлен неполным знанием механизмов явлений, неоптимальностью и неупорядоченностью процессов, отсутствием оперативного управления процессами и системного подхода при разработке технических средств.

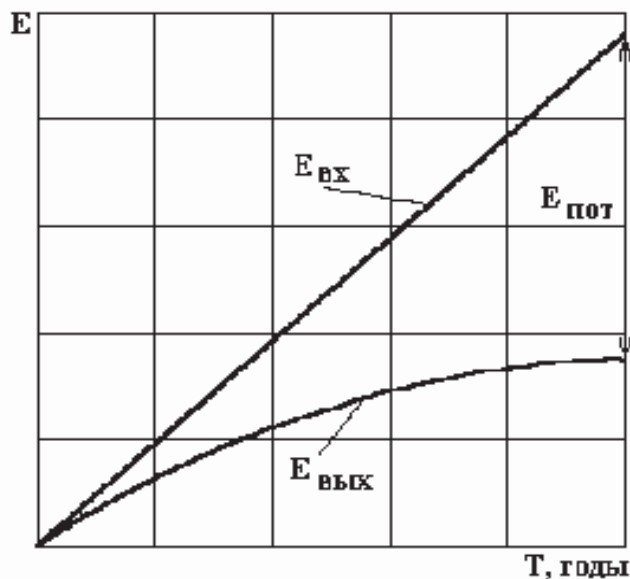


Рисунок 2 – Общие энергетические закономерности развития технологий: изменение соотношений между суммарной  $E_{ВХ}$  и выходной  $E_{ВЫХ}$  энергией системы «техника-технология» при увеличении потерь  $E_{Пот}$ .

В отношении зерновых сеялок с механическими высевальными системами эта закономерность выражается в том, что в настоящее время механические устройства все чаще становятся «узким местом» в сложных машинах. Это объясняется их недостаточной функциональной гибкостью, наличием трения, люфтов и упругостей в передачах, все возрастающей стоимостью изготовления [15].

Кроме того, как уже отмечалось, производительность машины пропорциональна полезно затраченной энергии. С другой стороны, чем больше передаваемая мощность (энергия), тем больше и ее потери. Происходит это вследствие следующих причин: морально и физически устаревшего принципа действия; пульсаций мощности при совершении технологического процесса, достигающих 10-40%, приводящих к дополнительному непроизводительному расходу энергии и необходимости резервирования энергоресурсов; увеличение передаваемой мощности требует повышения прочности элементов передаточных механизмов и сопряжено с возрастанием их габаритных размеров, а также потерь на холостой ход машин.

#### **Выводы:**

1. Удельное тяговое сопротивление посевных машин возрастает непропорционально их удельной производительности, что влечет за собой прогрессирующее увеличение затрат при непропорционально снижающейся отдаче, т.е. в настоящее время величина издержек превышает показатели эффективности конструкций и применения зерновых сеялок.

2. Соотношение затрат энергии, выраженных удельным тяговым сопротивлением, к показателю удельной производительности является критерием сравнительной эффективности конструктивно-эксплуатационных решений посевных и других машин, которые могут сравниваться на основе предложенного критерия.

3. С целью повышения эффективности применения зерновых сеялок, основываясь на предлагаемом критерии, необходимо снижение материало- и энергоемкости конструкций и рабочего процесса посевных машин, изыскание и применение новых принципов действия высевальных систем и других рабочих органов.

## Список литературы

1. Александров, И. К. Энергетический анализ машинных агрегатов [Текст] / И. К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. – 1994. – №3. – С. 2-5.
2. Александров, И. К. Проблемы энергосбережения в сельскохозяйственных машинах и агрегатах [Текст] / И. К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – №1. – С. 12-14.
3. Хорунженко, В. Е. Совершенствование методов анализа и технического уровня сельхозмашин [Текст] / В. Е. Хорунженко, Г. М. Пекерман, Л. И. Кондратец, А. М. Кругляков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – №7. – С. 6-8.
4. Маслов, Г. Г. Оценка технического уровня зерновых сеялок и посевных комплексов [Текст] / Г. Г. Маслов, В.Н. Плешаков // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – №6. – С. 19-22.
5. Степанянц, Э.Н. Определение оптимальных параметров пахотных агрегатов методом математического моделирования [Текст] / Э.Н. Степанянц // «Механизация и электрификация сельского хозяйства». – 1975. – №4. – С.31–32.
6. Пиуновский, И. И. Принцип оптимальной энергоёмкости технологических процессов и средств механизации в сельскохозяйственном производстве [Текст] / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко // Вестник БГСА (Горки). – 2016.– т.1, №1. – С. 98-101.
7. Зангиев, А. А. Оптимизация энергонасыщенности трактора с учетом уплотняющего воздействия на почву [Текст] / А. А. Зангиев // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – №2. – С. 34-36.
8. Яцкевич, В. В. О принципе модульного построения сельскохозяйственных мобильных агрегатов [Текст] / В. В. Яцкевич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – №10. – С. 11-14.
9. Агафонов, К. П. Рабочая скорость и энергетика машинно–тракторного агрегата [Текст] / К. П. Агафонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1979. – №5. – С. 12-15.
10. Александров, И. К. Сопоставление балансов энергопотребления машин непрерывного и периодического действия [Текст] / И. К. Александров // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – №5. – С.15-16.
11. Панков, А. А. Анализ динамики удельного тягового сопротивления рядковых сѣялок [Текст] / А. А. Панков, А.В. Щеглов // Наукові праці КНТУ. Техніка в с.–г. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2012. – Вип.25, ч.1. – С.61-68.
12. Жук, З. Я. Прогнозные исследования основных групп сельхозмашин [Текст] / З. Я. Жук, А. Ю. Победоносцев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – №12. – С.6-12.
13. Слепов, В. А. Экономические проблемы механизации сельского хозяйства [Текст] / В.А. Слепов, А.В.Рубцов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981. – №4. – С.1-3.
14. Коваль, В.Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники [Текст] / В. Я. Коваль // Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту. – Луганськ: Видавництво ЛСГІ, 1998. – С.23-29.
15. Подураев, Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение [Текст] : учеб, пособие для студентов вузов / Ю.В. Подураев. – М.: Машиностроение, 2006. – 256с.

**Victor Aulin, Prof., DSc., Mikhail Chernovol, Prof., DSc., Andrej Pankov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., doctoral student**

*Central Ukrainian national technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Criterion of efficiency of application of grain seeders with mechanical sowing devices**

The aim of the research is the substantiation of criterion of efficiency of the use of grain drills with mechanical sowing machines.

On the basis of empirically established regularities of the dynamics of development specific traction resistance and the specific productivity of grain drills justified criterion of the effectiveness of seeding machines, which is a parametric ratio, which determines the efficiency of production and operation of grain drills in relation to rational use of energy. The ratio of energy cost, expressed specific traction resistance, increased specific productivity is an example of the General relationship between costs and efficiency and compares the efficiency of the sowing machine, and various grain seeder can be compared on the basis of the proposed

Specific traction resistance of sowing machinery increases disproportionately to their relative productivity, which leads to a progressive increase in cost disproportionately with decreasing returns, i.e. present value of costs exceeds the performance of the construction efficiency and the use of grain drills. With the aim of increasing the efficiency of grain drills, based on the proposed criteria, it is necessary to reduce material consumption and energy consumption structures and workflow planting machines, research and application of new principles of operation of the sowing systems and other working bodies.

**criterion, seeder, resistance, performance, criterion, efficiency, energy, costs**

Получено 30.11.17