

ENERGY DYNAMICS OF OSCILLATING FLAT SIEVES

V.A. Patrin, A. V. Patrin

Key words: flat sieve, grain medium, energy dynamics of the system «sieve – treated grain»

Summary. The paper suggests a new synergy method to describe grain medium behavior on flat oscillating sieves. Three equations are made up which allow to model the process of energy transmission from the sieve surface to the grain medium and to produce potential and free energy in the treated grain. It is proved that the system «flat sieve – treated grain» has the elements of self-arrangement and four replacing each other regimes of grain movement for a single half-period of oscillating. The first equation shows the balance of energy in the system, direction of its transition and transformation. The second equation determines regulations of energy intake from the working organ to the treated medium and reflects the process of the system self-arrangement. The third equation describes the equilibrium of actuating forces, inertia forces and resistance forces towards the shift of each elementary grain layer depending on its location in the loose body. The relationship of the oscillation half-period time and inertia force acceleration to the angular velocity of the flat sieve driving gear is identified. The directions are proposed to improve flat sieves at the expense of increased oscillation amplitude, reduced turns of the sieve driving gear crank, increased grain load on the sieve, increased coefficient of the sieve surface friction.

УДК 631.3.3–192

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

С. В. Субочев, аспирант

А. Е. Немцев, доктор технических наук

И. В. Коптева, инженер

Сибирский НИИ механизации и электрификации
сельского хозяйства Россельхозакадемии

E-mail: sibime@ngs.ru

Ключевые слова: эффективность зерноуборочных комбайнов, критерий эффективности, удельные суммарные затраты, экономико-математическая модель, безотказность, наработка на отказ, время восстановления

Реферат. Необходимость поддержания работоспособности зерноуборочных комбайнов в течение всего периода функционирования в связи с усложнением их конструкции за счет применения автоматических и гидравлических устройств, электроники, увеличением производительности повышает значимость любого отказа машины по техническим причинам. Приведена методика оценки эффективности зерноуборочных комбайнов с учётом их основных критериев надёжности – безотказности и ремонтпригодности, а также других показателей по удельным суммарным затратам на гектар убранной площади. Представлены сравнительные результаты эффективности отечественных и некоторых импортных зерноуборочных комбайнов. На примере комбайна ACROS-540 показаны зависимости удельных суммарных затрат от основных показателей надёжности, характеризующихся наработкой на отказ и временем восстановления, а также от других показателей, влияющих на их эффективность: балансовой стоимости комбайна, срока эксплуатации, стоимости реализации продукции, урожайности культуры и продолжительности уборки. Исследования надёжности и эффективности зерноуборочных комбайнов проведены в Краснозерском районе Новосибирской области. Полученные результаты могут применяться хозяйствами области при комплектовании комбайнового парка как отечественными, так и импортными моделями.

Существующая сельскохозяйственная техника, несмотря на её постоянное совершенствова-

ние, нуждается в поддержании работоспособности в течение всего периода функционирования.

Это достигается выполнением большого объема ремонтно-обслуживающих воздействий, который с ростом технической вооруженности, усложнением технических средств и применением автоматических устройств существенно возрастает. С повышением производительности возрастает и значимость любого отказа машины, что в условиях комплексного использования техники ведет к простоям сопряженных с ней машин, нарушению технологических процессов, потерям или ухудшению качества продукции. В полной мере это относится и к зерноуборочным комбайнам.

Поставкой зерноуборочных комбайнов в Россию занимается 8 фирм, которые поставляют машины 96 модификаций [1]. Кроме того, разными заводами производятся отечественные комбайны различных модификаций, что также увеличивает их номенклатуру. Это затрудняет выбор комбайнов для эксплуатации в конкретных хозяйствах.

На наш взгляд, развитие механизации должно базироваться на двух равноважных моментах – росте продукции в АПК и снижении её себестоимости. Комплектование комбайнового парка хозяйств отечественными или зарубежными машинами должно проводиться с учетом этих факторов, а также других требований сегодняшнего дня.

Глубокие исследования по оценке эффективности отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнов ведутся в ВИМ [2, 3].

Однако критерии оценки выбора машин с учетом параметров их надежности, определяющие эффективность функционирования парка в целом как системы, отсутствуют; их можно отнести к разряду условий, пригодных лишь для ориентировочной качественной оценки. Вместе с тем известно, что успешное решение задач прогнозирования развития технических систем зависит, прежде всего, от научной обоснованности метода решения, что очень актуально.

Цель настоящего исследования – разработка методики оценки эффективности зерноуборочных комбайнов при комплектовании парка хозяйства как отечественными, так и зарубежными машинами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – процесс функционирования зерноуборочных комбайнов основных марок, применяемых в регионах Сибири.

При выполнении исследований использовались методы анализа и синтеза производственных процессов, теории вероятностей, теории массового обслуживания, математического моделирования, теории надежности машин.

Исследования проводились в Краснозерском районе Новосибирской области.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки эффективности отдельного зерноуборочного комбайна по экономико-математической модели в качестве критерия оценки его эффективности приняты удельные суммарные затраты на уборку зерновых, которые можно представить в виде:

$$Z_y = A + Z_{\text{п}} + Z_{\text{тсм}} + Z_{\text{р}} + C_{\text{к}} + C_{\text{б}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{н}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Z_y – удельные суммарные затраты на уборку 1 га урожая, руб/га;

A – сумма амортизационных отчислений, руб/га;

$Z_{\text{п}}$ – заработная плата комбайнера и вспомогательных рабочих, руб/га;

$Z_{\text{тсм}}$ – затраты на топливно-смазочные материалы, руб/га;

$Z_{\text{р}}$ – затраты на техническое обслуживание, ремонт и хранение комбайна, руб/га;

$C_{\text{к}}$ – стоимость потерь урожая комбайном, руб/га;

$C_{\text{б}}$ – стоимость биологических потерь урожая, зависящих от сроков уборки, руб/га;

$C_{\text{пр}}$ – стоимость потерь урожая по техническим причинам, руб/га;

$C_{\text{н}}$ – затраты на отчисления и налоги, руб/га.

Подробное описание экономико-математической модели приведено в работе [4].

Особенностью этой модели является то, что в ней учитываются общие потери урожая, которые складываются из потерь урожая непосредственно комбайном ($C_{\text{к}}$) вследствие его технического несовершенства, из биологических потерь урожая ($C_{\text{б}}$), зависящих от сорта возделываемой культуры и сроков уборки, и потерь урожая по техническим причинам ($C_{\text{пр}}$) из-за простоев комбайна в связи с возникновением отказов. Остановимся на определении потерь урожая более подробно, поскольку определение первых четырех составляющих в формуле (1) затруднений не вызывает.

При проведении государственных испытаний новых комбайнов установлены нормативные по-

тери в пределах 2,5–3 % (принимая 2,75 %). Они включают потери за жаткой вследствие негерметичности, от недомолота и наличия свободного зерна в соломе при очистке.

Стоимость этих потерь (C_k) для разных марок отечественных комбайнов представим в виде выражения

$$C_k = K_{ком} \cdot Y_6 \cdot Ц, \quad (2)$$

где $K_{ком}$ – коэффициент потерь комбайном;

Y_6 – средняя биологическая урожайность, ц/га;

$Ц$ – закупочная (сдаточная) цена продукции, руб/ц.

Стоимость биологических потерь урожая (C_6) определяем по формуле

$$C_6 = \frac{K_6 \cdot Y_{max} \cdot Ц \cdot K_{по} \cdot S_T}{W_{дн}}, \quad (3)$$

где Y_{max} – максимальная урожайность в период полного созревания пшеницы, ц/га;

$K_{по}$ – коэффициент потерь за периодом полного созревания пшеницы, %;

K_6 – коэффициент биологических потерь урожая;

$W_{дн}$ – дневная производительность комбайна, га.

Стоимость потерь урожая по техническим причинам ($C_{пр}$) (из-за простоев комбайнов) за период уборки T составит:

$$C_{пр} = C_{пр} \cdot T_{пр}, \quad (4)$$

где $C_{пр}$ – стоимость 1ч простоя комбайна за период T , руб/ч;

$T_{пр}$ – время простоя комбайна за период T , ч.

В работе [5] стоимостные потери недобора урожая из-за отклонения выполнения работы от агротехнического срока по техническим причинам определены по формуле

$$C_{пр} = K_{п} \cdot Y_{опт} \cdot Ц \cdot D, \quad (5)$$

где $K_{п}$ – коэффициент учета потерь продукции (в долях) при растягивании срока выполнения работы от оптимального момента на единицу времени;

D – отклонение выполнения работы от оптимального агротехнического срока по техническим причинам, дней;

$Y_{опт}$ – значение урожайности, соответствующее выполнению работ в агротехнические сроки, ц/га.

Рассмотрим процесс работы машины в виде системы массового обслуживания, где в качестве аппарата рассматривается машина, от которой по-

ступает поток отказов, вызывающих вынужденные простои [6].

Тогда, поскольку продолжительность простоев по техническим причинам ($T_{пр}$) – величина случайная, среднее время простоя комбайна из-за отказов можно представить в виде:

$$T_{пр} = \frac{T \cdot \lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)^2} (1 - e^{-(\lambda + \mu)T}), \quad (6)$$

где λ – интенсивность отказов за период уборки T , 1/ч;

μ – интенсивность восстановления комбайна за период уборки T , 1/ч.

Для определения величины λ и μ необходимо знать наработку на отказ, среднее время восстановления и факторы, на них влияющие.

В общем случае время восстановления является величиной случайной и зависит от сложности отказавшего узла, агрегата, детали, наличия запасных частей, инструмента, организации процесса восстановления и т.д. Его можно определить на основании статистического материала по формуле

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^m t_{ei}}{m}, \quad (7)$$

где t_{ei} – время восстановления работоспособности комбайна после i -го отказа, ч;

m – количество отказов за период уборки.

Согласно экспериментальным исследованиям, закон распределения времени восстановления близок к экспоненциальному, а вероятность спроса на запасные части распределяется по пуассоновскому закону.

Наработка на отказ является основной величиной, характеризующей надежность машины, и определяется из выражения

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_{oi}}{m}, \quad (8)$$

где t_{oi} – наработка комбайна до i -го отказа.

Значения λ и μ являются обратными величинами наработки на отказ и времени восстановления, т.е.

$$\lambda = \frac{1}{T_o}; \quad (9)$$

$$\mu = \frac{1}{T_B}. \quad (10)$$

Поскольку величина D [см. формулу (5)] есть значение простоев машины, определенное по формуле (6), подставив их значение в формулу (5), получим [7]:

$$C_{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot Y_{\text{ф}} \cdot \Pi \left[\frac{T\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)^2} (1 - e^{-(\lambda + \mu)T}) \right], \quad (11)$$

Затраты на отчисления и налоги ($C_{\text{н}}$) включают: затраты на социальные отчисления ($З_{\text{соц}}$), страхование техники ($З_{\text{стр}}$), налоги ($H_{\text{о}}$), косвенные затраты ($З_{\text{к}}$) и определяются как

$$C_{\text{н}} = З_{\text{соц}} + З_{\text{стр}} + H_{\text{о}} + З_{\text{к}}. \quad (12)$$

Значение ($З_{\text{соц}}$) определяем по формуле

$$З_{\text{соц}} = \frac{З_{\text{п}}(O_{\text{п}} + O_{\text{м}} + O_{\text{соц}} + O_{\text{з}} + O_{\text{нс}})}{100}, \quad (13)$$

где $O_{\text{п}}$ – отчисления в пенсионный фонд, 20,6%;
 $O_{\text{м}}$ – отчисления на медицинское страхование, 2,9%;
 $O_{\text{соц}}$ – отчисления на социальное страхование, 3,4%;
 $O_{\text{з}}$ – отчисления в государственный фонд занятости, 1,5%;
 $O_{\text{нс}}$ – отчисления на страхование от несчастных случаев, 1,7%.

Затраты на страхование техники ($З_{\text{стр}}$):

$$З_{\text{стр}} = \frac{\Pi_{\text{б}} \cdot H_{\text{стр}}}{100 \cdot S_{\text{г}}}, \quad (14)$$

где $H_{\text{стр}}$ – норма страхования за год, % от балансовой стоимости.

Сумму налогов ($H_{\text{о}}$) определяем по формуле

$$H_{\text{о}} = H_{\text{гт}} + H_{\text{н}} + H_{\text{э}} + H_{\text{т}}. \quad (15)$$

где $H_{\text{гт}}$ – сборы, взимаемые инспекцией Гостехнадзора за регистрацию машин, выдачу номерного знака и паспорта, ежегодный технический осмотр самоходных машин, руб.;

$H_{\text{н}}$ – налог на имущество, руб.;

$H_{\text{э}}$ – экологический налог, руб.;

$H_{\text{т}}$ – транспортный налог, руб.

Сумму каждого вида налога определяют в соответствии с действующими нормативными актами. Величину налога ($H_{\text{о}}$) на единицу работ определяют исходя из среднегодовой выработки комбайна и средней величины налогов.

Косвенные затраты ($З_{\text{к}}$) складываются из общепроизводственных расходов – $P_{\text{опр}}$ и общехозяйственных – $P_{\text{ох}}$ и определяются по формулам

$$P_{\text{опр}} = (0,3 \div 0,8) З_{\text{п}}; \quad (16)$$

$$P_{\text{ох}} = (0,12 \div 0,6) З_{\text{п}}. \quad (17)$$

Подставив значения составляющих затрат в формулу (1), можно для зерноуборочных комбайнов разных марок определить удельные затраты на уборку 1 га или на 1 т бункерной массы и затем их сравнением определить марки наиболее эффективных комбайнов.

Для реализации экономико-математической модели введены следующие ограничения:

$T_{\text{min}} \leq T_{\text{ф}} \leq T_{\text{max}}$ (продолжительность уборки);

$Y_{\text{min}} \leq Y_{\text{n}} \leq Y_{\text{nmax}}$ (урожайность культуры);

$\lambda_{\text{min}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{max}}$ (интенсивность отказов);

$\mu_{\text{min}} \leq \mu \leq \mu_{\text{max}}$ (время восстановления);

$\Pi_{\text{min}} \leq \Pi \leq \Pi_{\text{max}}$ (закупочная (сдаточная) цена продукции);

$\Pi_{\text{бmin}} \leq \Pi_{\text{б}} \leq \Pi_{\text{бmax}}$ (балансовая стоимость комбайна);

$T_{\text{эmin}} \leq T_{\text{э}} \leq T_{\text{эmax}}$ (срок службы (возраст) комбайна).

Разработанная методика оценки зерноуборочных комбайнов с учётом их надёжности реализована на примере отечественных комбайнов применительно к условиям Краснозёрского района Новосибирской области.

Наработка на отказ по зерноуборочным комбайнам (в часах) составляла:

«Енисей-1200»	10
«Дон-1500»	30
PCM-101 «Вектор»	20
ACROS-540	50
«Полесье» КЭС-1218, КЭС-7,	
КЭС-812	100
CLAAS МЕГА-370	120
TUCANO-450	210
LEXION-570	220
JOHN DEERE-9660 (9670)	250

При этом среднее время восстановления комбайнов составило 3,6 ч.

Как видим, отечественные зерноуборочные комбайны по надёжности значительно уступают импортным.

На рис. 1–3 приведены зависимости периода уборки, времени простоев по техническим причинам и надёжности комбайнового парка от количества зерноуборочных комбайнов в хозяйстве.

Зависимости получены для хозяйства, имеющего объём работ 10 000 га, агротехнический срок проведения уборки 14 дней, продолжительность смены 18 ч. Из рис. 1 следует, что в агротехнические сроки уборка будет выполнена при наличии 24 комбайнов в хозяйстве, а при большем количе-

стве комбайнов будет проведена в ещё более сжатые сроки.

Из рис. 2 видно, что уборка будет проведена в агротехнические сроки 24 комбайнами с простоями, не превышающими 1,24 ч, 25 комбайнами с простоями, не превышающими 1,9 ч, и т.д.

Рис. 3 следует трактовать так, что для выполнения уборки в агротехнические сроки коэффициент готовности комбайнового парка при 24 шт. не должен быть менее 0,92, при 25 шт. – не менее 0,88 и т.д. (при 29 комбайнах – не менее 0,76).

Получены графики зависимости удельных суммарных затрат по каждой марке комбайнов от их основных показателей и характеристик: наработки на отказ и времени восстановления, характеризующих их надёжность с позиции безотказности и ремонтпригодности, а также других показателей, влияющих на их эффективность:

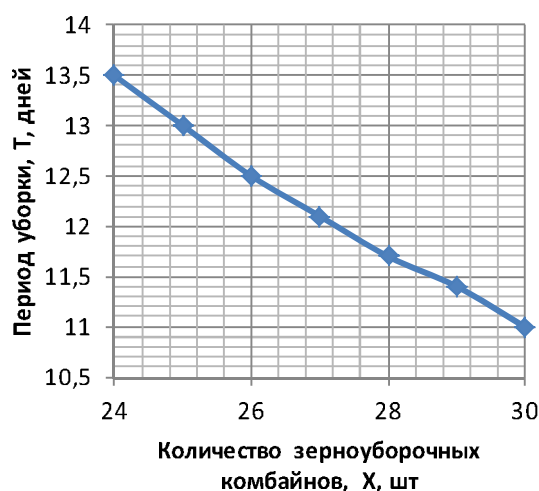


Рис. 1. Зависимость периода уборки от количества зерноуборочных комбайнов

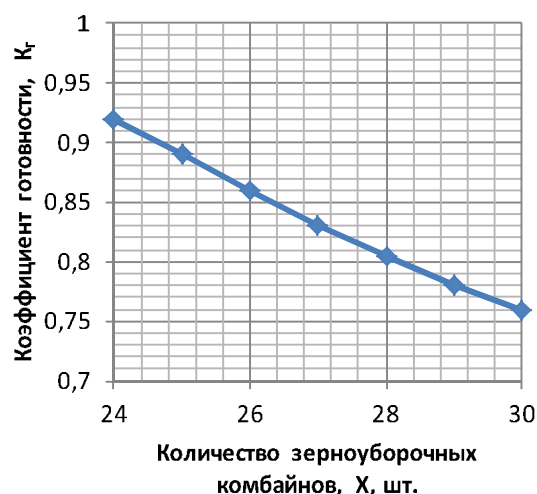


Рис. 3. Зависимость коэффициента готовности от количества зерноуборочных комбайнов

балансовой стоимости комбайнов, срока эксплуатации, цены реализации продукции, урожайности культуры и продолжительности уборки.

На рис. 4 и 5 приведены зависимости удельных суммарных затрат от наработки на отказ и времени восстановления комбайна ACROS-540, а на рис. 6–10 – соответственно зависимости удельных суммарных затрат от балансовой стоимости комбайна, от срока его эксплуатации, от стоимости реализации зерна, от урожайности пшеницы и от продолжительности уборки.

Зависимости, приведенные на рис. 4–10, получены по экономико-математической модели при изменяющихся переменных только по оси абсцисс и постоянных величинах остальных переменных. При расчётах все значения берутся применительно к конкретному хозяйству.

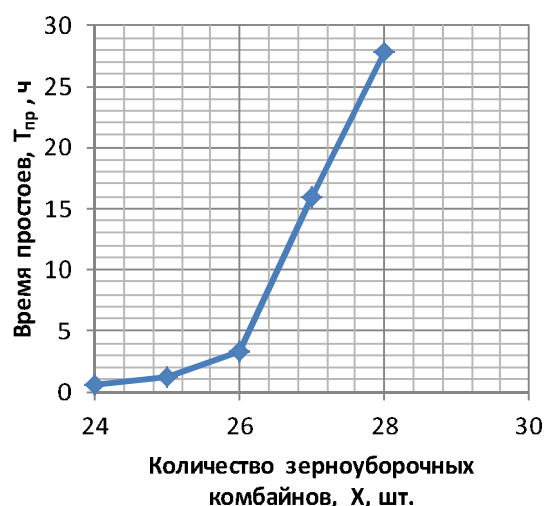


Рис. 2. Зависимость времени простоев по техническим причинам от количества зерноуборочных комбайнов

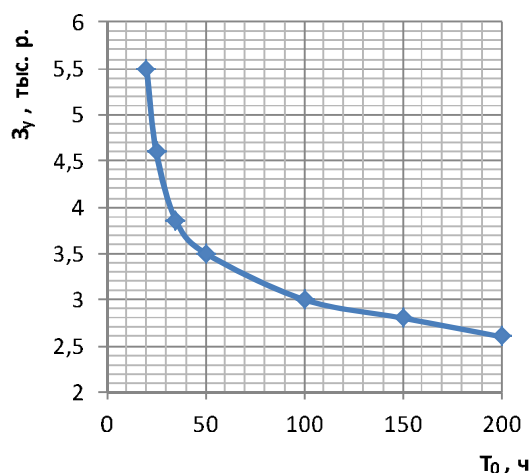


Рис. 4. Зависимость удельных простоев по техническим причинам от наработки на отказ комбайна ACROS-540

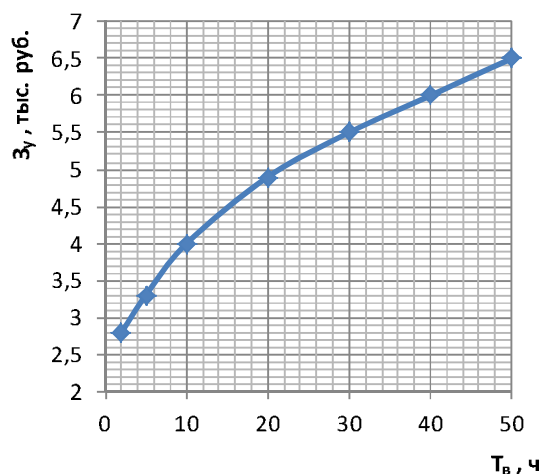


Рис. 5. Зависимость удельных суммарных затрат от времени восстановления комбайна ACROS-540

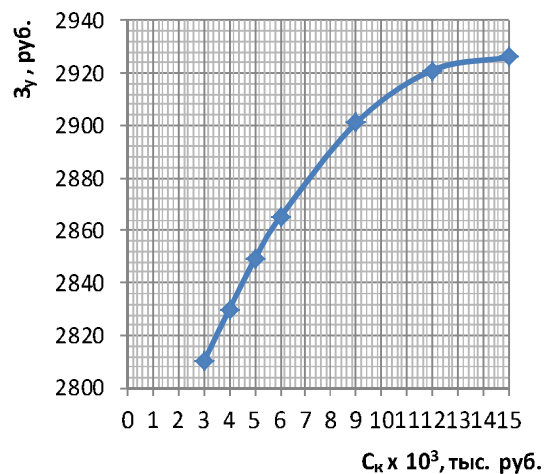


Рис. 6. Зависимость удельных суммарных затрат от балансовой стоимости комбайна ACROS-540

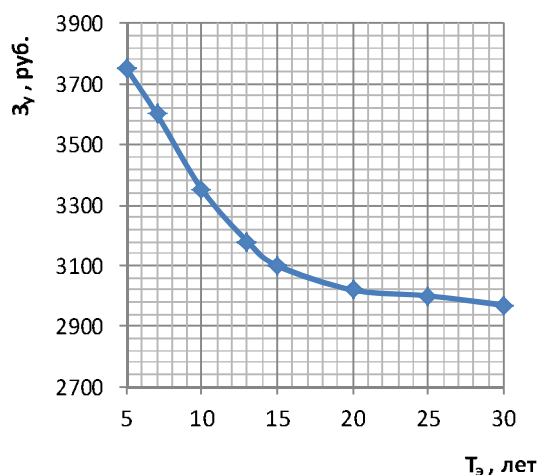


Рис. 7. Зависимость удельных суммарных затрат от сроков эксплуатации комбайна ACROS-540

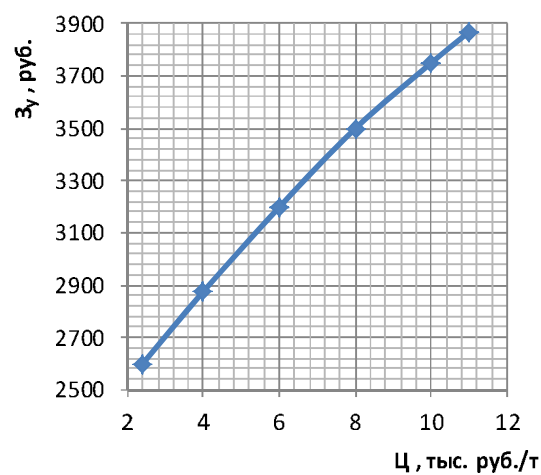


Рис. 8. Зависимость удельных суммарных затрат комбайна ACROS-540 от стоимости реализации зерна

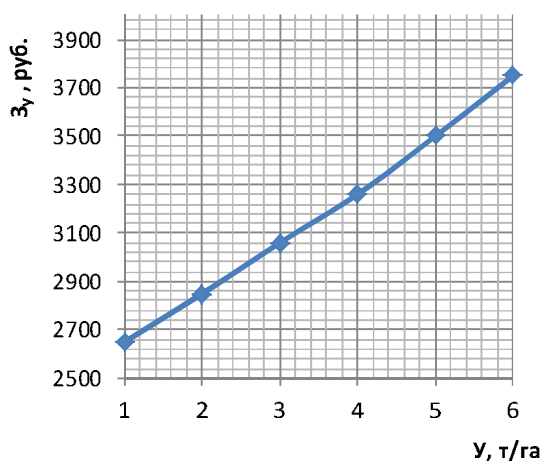


Рис. 9. Зависимость удельных суммарных затрат комбайна ACROS-540 от урожайности пшеницы

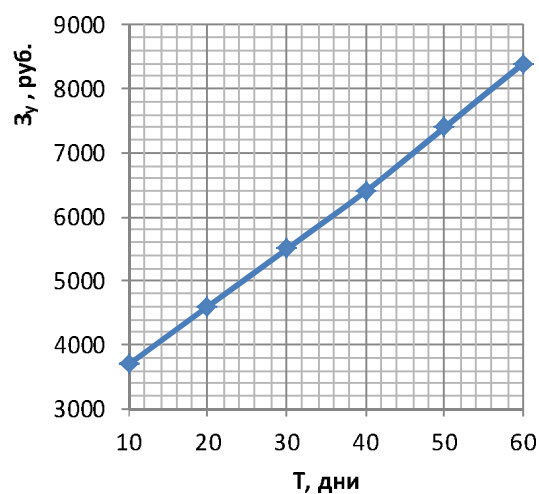


Рис. 10. Зависимость удельных суммарных затрат комбайна ACROS-540 от продолжительности уборки

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика оценки эффективности зерноуборочных комбайнов по удельным суммарным затратам на гектар убранной площади, реализованная на основе математико-экономической модели с учетом основных критериев надежности комбайнов и других показателей.
2. Отечественные зерноуборочные комбайны по надежности значительно уступают импортным. Так, наработка на отказ у отечественных комбайнов варьирует от 10 до 50, а у импортных – от 100 до 250 ч.
3. На основе разработанной методики хозяйства имеют возможность формировать рациональный парк зерноуборочных комбайнов с учетом основных показателей их надежности и других характеристик, в частности, стоимости комбайнов, срока их эксплуатации, стоимости реализации сельскохозяйственной продукции, урожайности, продолжительности уборки и др., что крайне важно в рыночных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мониторинг* состояния предприятий инженерно-технической инфраструктуры АПК по техническому обслуживанию и ремонту отечественной и импортной сельхозтехники / В.И. Черноиванов, Н.В. Краснощеков, С.А. Горячев [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 100 с.
2. Жалнин Э.В. Отечественные и зарубежные комбайны – как они есть // С.-х. машины и технологии. – 2008. – № 1 (2). – С. 39–43.
3. Жалнин Э.В. Отечественные и зарубежные комбайны – как они есть // С.-х. машины и технологии. – 2008. – № 2 (3). – С. 43–47.
4. Субочев С.В. Оценка эффективности зерноуборочных комбайнов с учетом их безотказности // Материалы регион. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов, посвящ. памяти М.А. Анфиногенова (12 ноябр. 2012 г.) / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2012. – С. 3–11.
5. Киртбая Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 320 с.
6. Новиков О.А., Уваров В.Н. Вероятные методы решения задач автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1969. – 136 с.
7. Немцев А.Е., Парфенов А.В. Определение потерь урожая от простоев машин по техническим причинам // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1991. – № 6. – С. 103–106.
1. *Monitoring* sostoyaniya predpriyatiy inzhenerno-tekhnicheskoy infrastruktury APK po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu otechestvennoy i importnoy sel'khoztekhniki / V.I. Chernov, N.V. Krasnoshekov, S.A. Goryachev [i dr.]. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2009. – 100 s.
2. Zhalnin E. V. Otechestvennye i zarubezhnye kombayny – kak oni est' // S.-kh. mashiny i tekhnologii. – 2008. – № 1 (2). – S. 39–43.
3. Zhalnin E. V. Otechestvennye i zarubezhnye kombayny – kak oni est' // S.-kh. mashiny i tekhnologii. – 2008. – № 2 (3). – S. 43–47.
4. Subochev S. V. Otsenka effektivnosti zemouborochnykh kombaynov s uchetom ikh bezotkaznosti // Materialy region. nauch.-prakt. konf. studentov i aspirantov, posvyashch. pamyati M.A. Anfinogenova (12 noyabr. 2012 g.) / Novosib. gos. agrar. un-t, Inzhener. in-t. – Novosibirsk, 2012. – S. 3–11.
5. Kirtbaya Yu.K. Rezervy v ispol'zovanii mashinno-traktornogo parka. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 1982. – 320 s.
6. Novikov O.A., Uvarov V.N. Veroyatnye metody resheniya zadach avtomobil'nogo transporta. – M.: Transport, 1969. – 136 s.
7. Nemtsev A. E., Parfenov A. V. Opredelenie poter' urozhaya ot prostoev mashin po tekhnicheskim prichinam // Sib. vestn. s.-kh. nauki. – 1991. – № 6. – S. 103–106.

THE INFLUENCE OF BASIC INDEXES OF RELIABILITY ON THE EFFICIENCY OF GRAIN HARVESTERS

S. V. Subochev, A. E. Nemtsev, I. V. Kopteva

Key words: efficiency of grain harvesters, efficiency criteria, specific summary costs, economic mathematical model, safety margin, time to failure, recovery time

Summary. The need to maintain the operability of grain harvesters during all the service period due to their construction complicated with automatic and hydraulic devices, electronics and increased productivity enhances the importance of any failure of the machine for technical reasons. The paper provides the technique to estimate the efficiency of grain harvesters taking into account their basic criteria of reliability, safety margin and suitability to be repaired as well as other indexes for specific summary costs per a hectare of the area harvested. It also presents the comparative data about the efficiency of home and some imported grain harvesters. By the example of ACROS-540 harvester the relationship of specific summary costs to the basic indexes of reliability characterized by time to failure and recovery time is shown. The relationship of specific summary costs to other indexes which affect their efficiency is also shown, they are: harvester book cost, operational life, the cost of realized produce, crop productivity and the time of harvesting. Examinations in reliability and efficiency of grain harvesters were carried out in Krasnoozersky area of Novosibirsk region. The data obtained can be used by the farms of Novosibirsk region when completing the fleet of harvesters with both home and import models.