

ОЦЕНКА СЕБЕСТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

И. А. Старостин, С. А. Давыдова, А. В. Ещин, Е. Д. Дегтярева

Реферат. В настоящее время активно проводятся исследования по разработке беспилотным мобильных средств сельскохозяйственного назначения, способных в агрегате с различными сельскохозяйственными машинами выполнять комплекс различных операций. Одним из ключевых вопросов перспектив применения беспилотных мобильных средств является оценка экономической эффективности при их использовании. В результате анализа общепринятых методов расчета себестоимости эксплуатации мобильных средств выявлено, что себестоимость эксплуатации беспилотных мобильных средств зависит от их стоимости, годовой загрузки, мощности, производительности формируемых с ними сельскохозяйственных агрегатов и количества беспилотных мобильных средств, контролируемых одним оператором диспетчерского центра. Произведенная оценка себестоимости эксплуатации беспилотных мобильных средств показала, что применение беспилотных мобильных средств, создаваемых на базе серийно выпускающихся тракторов с сохранением существующей градации по тяговым классам и мощности позволяет снизить себестоимость мото-часа работы по сравнению с базовыми тракторами на 3...19% в зависимости от тягового класса. Применение работающих группой универсальных беспилотных мобильных средств малой мощности позволяет снизить себестоимость мото-часа работы относительно базового трактора только в тяговых классах 0,2–0,6, а беспилотных мобильных средств, создаваемых на базе из нескольких однотипных энергомодулей – только в тяговых классах 0,2–0,9. В ходе оценки максимальных экономически целесообразных затрат на переоборудование базового трактора при создании на его базе беспилотных мобильных средств, установлено, что с увеличением тягового класса увеличивается предел максимальных экономически целесообразных затрат на переоборудование, при этом доля затрат на переоборудование базового трактора в стоимости беспилотных мобильных средств снижается со 183% в тяговом классе 0,2 до 11% в тяговом классе 8. Таким образом установлено, что экономически целесообразно переоборудовать в беспилотные мобильные средства в первую очередь серийные тракторы наиболее высоких тяговых классов.

Ключевые слова: беспилотные мобильные средства, концептуальная модель беспилотных мобильных средств, оценка эффективности, себестоимость эксплуатации.

Введение. Одним из приоритетных направлений научно-технологического развития сельского хозяйства является переход к высокопродуктивному, экологически чистому агрохозяйству. Достижению поставленной цели способствует внедрение передовых цифровых, интеллектуальных производственных технологий и роботизированных систем в АПК, в частности использование роботизированных мобильных энергетических средств и комплексов сельскохозяйственных машин.

Наряду с созданием автоматизированных систем принятия оптимальных управленческих решений, планирования и прогнозирования хозяйственной деятельности большое внимание уделяется автоматизации, цифровому управлению и интеллектуализации сельскохозяйственной техники. Ведущие мировые ученые и лидеры в области сельскохозяйственного машиностроения ведут работы над созданием сельскохозяйственной техники будущего – сельскохозяйственных роботов и роботизированных систем [1].

Результаты исследований разрабатываемых робототехнических систем сельскохозяйственного назначения показывают, что наряду со специализированными и специальными роботами, предназначенными для выполнения одной или узкого перечня однотипных операций, разрабатываются универсальные (многофункциональные) роботы – беспилотные мобильные средства, способные в агрегате с различными сельскохозяйственными

машинами автономно выполнять комплекс различных операций [1].

Анализ тенденций развития разрабатываемых беспилотных мобильных средств показывает, что существует несколько концептуальных подходов к их созданию: 1) концептуальная модель А предусматривает создание универсальных беспилотных мобильных средств на базе серийно выпускающихся тракторов с сохранением существующей градации по тяговым классам и мощности, при этом сохраняется вся номенклатура и разнообразие навесной и прицепной сельскохозяйственной техники, входящей в существующую систему машин; 2) концептуальная модель В подразумевает создание универсальных беспилотных мобильных средств малой мощности, которые за счет групповой работы будут способны заменить всю номенклатуру применяющихся тракторов. В этом случае вся эксплуатирующаяся техника должна быть подстроена под один типоразмер, соответствующий тяговому усилию и мощности разрабатываемого мобильного средства; 3) концептуальная модель С предполагает формирование из нескольких однотипных энергомодулей беспилотных мобильных средств сельскохозяйственного назначения различной мощности и тягового усилия. Для агрегатирования с энергомодулями могут быть адаптированы серийно выпускающиеся сельскохозяйственные машины, имеющие различную ширину захвата, рабочую

скорость, потребляемую мощность, вместимость бункера и т.п.

На рисунке 1 представлен пример агрегатирования беспилотных мобильных средств

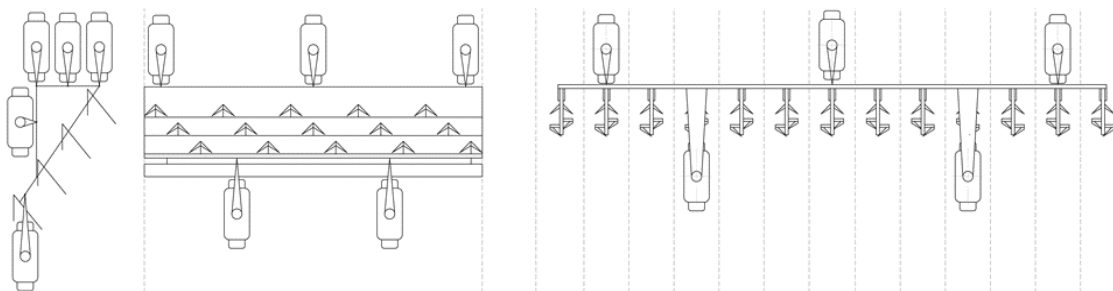


Рис. 1 – Агрегатирование беспилотных мобильных средств концептуальной модели С (энергомодулей) с плугом, культиваторами для сплошной обработки почвы и междурядной обработки пропашных культур

В настоящее время учеными и ведущими производителями сельскохозяйственной техники в равной степени прорабатываются описанные концепции. Для определения дальнейших перспектив развития предложенных концептуальных моделей беспилотных мобильных средств сельскохозяйственного назначения целесообразно проработать вопрос оценки эффективности их применения.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что применение беспилотных мобильных средств оказывает влияние в первую очередь на повышение производительности [2, 3, 4]. При этом в большинстве случаев вызывает вопросы экономическая эффективность применения данной техники [5]. Применение интеллектуальных технологий, микроэлектроники и цифровых систем в беспилотных мобильных средствах будет приводить к их удорожанию, что будет снижать их инвестиционную привлекательность по сравнению с используемыми в настоящее время тракторами, управляемыми операторами [6]. В связи с этим при оценке эффективности применения беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей целесообразно оценивать себестоимость их эксплуатации [7], в частности стоимость одного мото-часа эксплуатации мобильного средства [8], определять максимальную экономически эффективную стоимость каждой концептуальной модели и целесообразный объем затрат при их создании на базе серийной техники [9].

Цель исследований – разработать методические подходы к расчету приведенной себестоимости выполнения сельскохозяйственных работ при оценке эффективности различных концептуальных моделей беспилотных мобильных средств.

Условия, материалы и методы. Основные объекты испытаний – три концептуальные модели развития беспилотных мобильных средств: первая модель предусматривает создание универсальных беспилотных мобильных средств на базе серийно выпускающихся тракторов с сохранением существующей градации по тяговым классам и

концептуальной модели С (энергомодулей) с плугом, культиваторами для сплошной обработки почвы и междурядной обработки пропашных культур.

мощности; вторая модель подразумевает создание универсальных беспилотных мобильных средств малой мощности, которые за счет групповой работы будут способны заменить всю номенклатуру применяющихся тракторов; третья модель предполагает формирование из нескольких однотипных энергомодулей беспилотных мобильных средств сельскохозяйственного назначения различной мощности и тягового усилия.

При проведении исследований принимаем следующие параметры рассматриваемых концептуальных моделей в соответствии с ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы»: при реализации концептуальной модели А за базу принимаются серийно выпускающиеся сельскохозяйственные тракторы тяговых классов от 0,6 до 8, которые подвергаются соответствующей модернизации; при реализации модели В – мобильное энергетическое средство тягового класса 0,6 мощностью 28 кВт; при реализации концептуальной модели С – вновь создаваемый энергомодуль, соответствующий по своим тяговым характеристикам тракторам тяговых классов 0,2-0,6 мощностью 18,5 кВт.

При проведении исследований использовали общепринятые методики экономической оценки применения сельскохозяйственной техники, в частности описанные в ГОСТ Р 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки», литературные источники, а также нормативно-справочные материалы.

Результаты и обсуждение. Стоимость одного мото-часа эксплуатации мобильного средства определяется по формуле [10]:

$$S_{\text{ч}} = S_{\text{а}} + S_{\text{рто}} + S_{\text{тсм}} + S_{\text{з}} + S_{\text{в}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{а}}$ – сумма амортизационных отчислений, руб./мото-час; $S_{\text{рто}}$ – сумма отчислений на текущий ремонт и ТО, руб./мото-час; $S_{\text{тсм}}$ – затраты на топливо и смазочные материалы, руб./мото-час; $S_{\text{з}}$ – затраты на заработную плату оператора, руб./ч; $S_{\text{в}}$ – прочие вспомогательные расходы, руб./ч.

Величина амортизационных отчислений определяют по формуле:

$$S_a = (\Pi \cdot a_{mc}) / T_r, \quad (2)$$

где Π – стоимость беспилотных мобильных средств; a_{mc} – норма годовых амортизационных отчислений мобильного средства, в % к балансовой стоимости; T_r – годовая загрузка мобильного средства, ч.

В нашем случае при односменной работе годовая загрузка беспилотного мобильного средства i -го тягового класса будет равна годовой загрузке базового трактора i -го тягового класса. Величина отчислений на ремонт и ТО будет определяться по формуле:

$$S_{рто} = (\Pi \cdot a_{рто}) / T_r, \quad (3)$$

где $a_{рто}$ – норма годовых отчислений на ремонт и ТО, в % к балансовой стоимости.

Затраты на топливо и смазочные материалы $S_{тсм}$ определяются по формуле:

$$S_{тсм} = C_t \cdot q \cdot N_e \cdot 1,03 \cdot (k_{дв} \cdot (k_{дм} \cdot k_n - k_x) + k_x) \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где C_t – комплексная цена топлива, руб./кг; q – удельный часовой расход топлива, г/кВтч; N_e – эффективная мощность двигателя мобильного средства, кВт; $k_{дв}$ – коэффициент использования двигателя по времени; $k_{дм}$ – коэффициент использования двигателя по мощности; k_n – коэффициент, учитывающий изменение расхода топлива в зависимости от степени использования двигателя по мощности; k_x – коэффициент, учитывающий расход топлива на холостом ходу.

Поскольку применение беспилотных мобильных средств позволяет отказаться непосредственно от механизатора, то для осуществления дистанционного контроля за выполнением технологической операции и техническим состоянием мобильных средств предлагается создание диспетчерского центра и привлечение оператора, который способен одновременно осуществлять контроль за несколькими беспилотными мобильными средствами n_{mc} и составленными на их основе агрегатами. При проведении расчетов затрат на заработную плату оператора необходимо

учитывать, что тарифная ставка оператора и механизатора отличаются. Размер тарифной ставки целесообразно определять из текущей экономической ситуации и среднего размера оплаты труда механизаторов в отрасли и операторов диспетчерских центров на текущий момент. Удельные затраты на заработную плату оператора диспетчерского центра, приходящиеся на одно беспилотное мобильное средство будут определяться по формуле:

$$S_z = (\delta_n \cdot Z_o) / n_{mc}, \quad (5)$$

где δ_n – коэффициент, учитывающий начисления на зарплату; Z_o – часовая тарифная ставка оператора, руб.; n_{mc} – количество одновременно контролируемых оператором диспетчерского центра беспилотных мобильных средств, ед.

Прочие вспомогательные затраты определяются по формуле:

$$S_b \approx 0,05 (S_a + S_{рто} + S_{тсм} + S_z). \quad (6)$$

Проведенные теоретические исследования показывают, что снижения себестоимости выполнения работ при использовании беспилотных мобильных средств относительно серийно выпускающихся тракторов возможно достичь за счет распределения затрат на заработную плату оператора диспетчерского центра, одновременно контролирующего работу нескольких агрегатов, между несколькими беспилотными мобильными средствами.

Осуществлена сравнительная оценка себестоимости мото-часа работы базовых (серийно выпускающихся) тракторов различных тяговых классов и беспилотных мобильных средств концептуальных моделей А, В и С. При осуществлении расчетов стоимость базовых тракторов принята в соответствии с существующими рыночными ценами:

стоимость беспилотных мобильных средств концептуальных моделей А и В, исходя из условия, что предполагаемые затраты на роботизацию базовых тракторов для каждого тягового класса, – 1000 тыс. руб.;

стоимость беспилотного мобильного средства концептуальной модели С – 1000 тыс. руб. (табл. 1).

Таблица 1 – Принятые стоимости беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей и базовых тракторов соответствующих тяговых классов, тыс. руб.

Концептуальная модель	Тяговый класс									
	0,2	0,6	0,9	1,4	2	3	4	5	6	8
Модель А	1600	2000	2200	2600	4000	4800	7300	8200	10500	21700
Модель В	2000									
Модель С	1000									
Базовый трактор	Уралец 244	Агромаш 30ТК	Агромаш 50ТК	МТЗ-82	МТЗ-1221	Беларус-1523	Кировец К-4	Кировец К-5	Кировец К-7	Ростсельмаш 3575
	600	1000	1200	1600	3000	3800	6300	7200	9500	20700

При расчетах учитывали, что для создания агрегата, сопоставимого по тяговому усилию и мощности серийному трактору тягового класса 0,2 необходимо использовать одно беспилотное мобильное средство концептуальной модели С, тягового класса 0,6 – два мобильных средства; тягового класса 0,9 – два; тягового класса 1,4 – три; тягового класса 2 – 5; тягового класса 3 – 7; тягового класса

4 – 8; тягового класса 5 – 10; тягового класса 6 – 13; тягового класса 8 – 20 мобильных средств.

Принимаем, что при односменной работе годовая загрузка беспилотного мобильного средства определенного тягового класса будет равна годовой загрузке базового трактора того же тягового класса (табл. 2).

Таблица 2 – Годовая загрузка беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей и базовых тракторов соответствующих тяговых классов, ч

Концептуальная модель	Тяговый класс									
	0,2	0,6	0,9	1,4	2	3	4	5	6	8
Модель А	600	1000	1200	1600	1550	1500	1350	1400	1300	1300
Модель В	1000									
Модель С	1000									
Базовый трактор	600	1000	1200	1600	1550	1500	1350	1400	1300	1300

Амортизационные отчисления и отчисления на ТО и ремонт приняты в соответствии с существующими нормативами в зависимости от тяговых классов мобильных

средств (табл. 3).

При расчете затрат на топливо и смазочные материалы принята цена дизельного топлива – 52 руб./кг.

Таблица 3 – Норма амортизационных отчислений и отчислений на ТО и ремонт

Концептуальная модель	Тяговый класс									
	0,2	0,6	0,9	1,4	2	3	4	5	6	8
Норма амортизационных отчислений, %										
Модель А	12,5	12,5	12,5	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Модель В	12,5									
Модель С	12,5									
Базовый трактор	12,5	12,5	12,5	9,1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Норма отчислений на ТО и ремонт, %										
Модель А	7,0	7,0	9,9	9,9	11,4	11,4	11,4	9,3	9,3	9,3
Модель В	7,0									
Модель С	7,0									
Базовый трактор	7,0	7,0	9,9	9,9	11,4	11,4	11,4	9,3	9,3	9,3

Для расчета затрат на топливо и смазочные материалы по формуле (4) были вычислены значения эффективной мощности

установленных на беспилотных мобильных средствах и базовых тракторах двигателей и их удельный расход топлива (табл. 4).

Таблица 4 – Эффективная мощность установленных двигателей и удельный расход топлива

Концептуальная модель	Тяговый класс									
	0,2	0,6	0,9	1,4	2	3	4	5	6	8
Эффективная мощность установленных двигателей, кВт										
Модель А	18,5	28	44	62	95	130	150	190	280	460
Модель В	28									
Модель С	18,5									
Базовый трактор	18,5	28	44	62	95	130	150	190	280	460
Удельный расход топлива, г/кВт·ч										
Модель А	259	245	241	220	226	227	229	229	213	215
Модель В	245									
Модель С	259									
Базовый трактор	259	245	241	220	226	227	229	229	213	215

При расчетах значения коэффициентов использования двигателя по времени, использования двигателя по мощности, учитывающего изменение расхода топлива в зависимости от степени использования двигателя по мощности и учитывающего расход топлива при работе на холостом ходу приняли равными 0,9.

При осуществлении расчетов часовую тарифную ставку оператора диспетчерского центра,

дистанционно контролирующего работу беспилотных мобильных средств, приняли равной 400 руб., а часовую тарифную ставку механизатора, осуществляющего работу непосредственно на тракторе, – 285 руб.

Принимаем, что оператор диспетчерского центра способен одновременно контролировать работу 10 беспилотных мобильных средств. При реализации концептуальной

модели С предполагается, что оператор также контролирует работу непосредственно 10 агрегатов, каждый из которых может быть составлен из нескольких энергомодулей. Для оценки экономической эффективности применения беспилотных мобильных средств

произведена сравнительная оценка себестоимости мото-часа работы беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей по отношению к себестоимости мото-часа работы базовых тракторов соответствующих тяговых классов (табл. 5, рис. 2).

Таблица 5 – Себестоимость одного мото-часа работы мобильных средств, руб.

Тяговый класс	Модель А	Модель В	Модель С	Базовый трактор
0,2	826,84	785,61	485,59	853,97
0,6	785,61	785,61	911,03	949,24
0,9	979,75	1571,22	911,03	1152,13
1,4	1012,58	1571,22	1336,47	1256,27
2	1628,90	2356,82	2187,35	1852,31
3	2138,38	3142,43	3038,23	2356,96
4	2857,31	4713,65	3463,67	3059,25
5	3251,12	5499,26	4314,56	3474,75
6	4443,89	7070,47	5590,88	4656,38
8	7998,07	10212,91	8568,97	8210,56

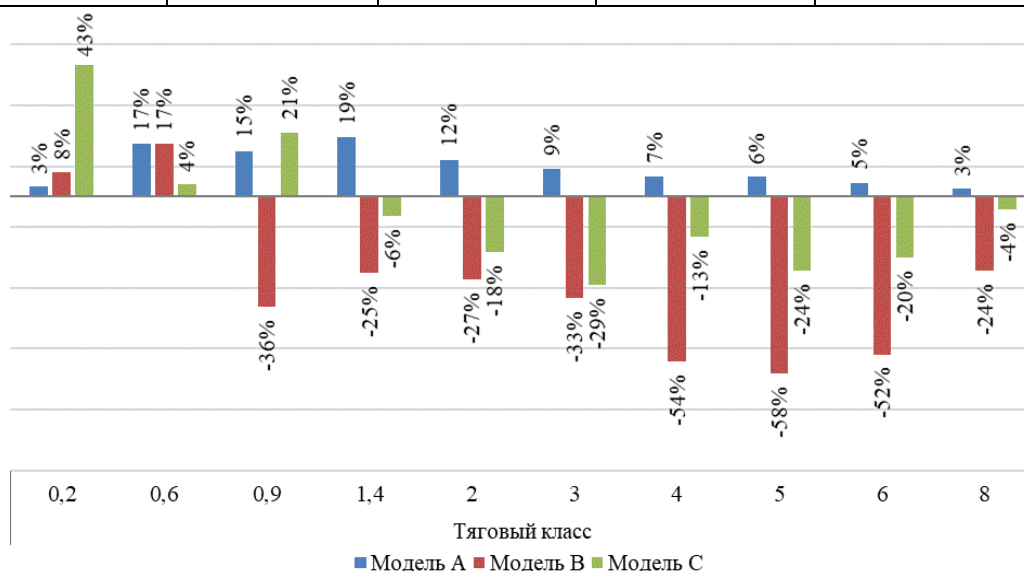


Рис. 2 – Сравнительная оценка себестоимости мото-часа работы при использовании беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей по отношению к базовым тракторам

Анализ результатов произведенных расчетов показывает, что только беспилотные мобильные средства концептуальной модели А позволяют снизить себестоимость мото-часа работы по сравнению с базовым трактором во всех тяговых классах. Значительного снижения себестоимости мото-часа (свыше 10%) данная концептуальная модель позволяет достичь в тяговых классах 0,6–2. Применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели В позволяет снизить себестоимость мото-часа относительно базового трактора в тяговых классах 0,2–0,6. Применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели С позволяет снизить себестоимость мото-часа в тяговых классах 0,2–0,9. Данные расчеты показывают, что при изначальном принятии значений стоимости

беспилотных мобильных средств концептуальных моделей В и С невозможно добиться снижения себестоимости выполнения работ по сравнению с базовыми тракторами соответствующих тяговых классов.

Для определения стоимости беспилотных мобильных средств каждой концептуальной модели, при которой данные средства позволят обеспечить снижение себестоимости выполнения технологических операций по сравнению с базовыми тракторами произвели расчет максимальной экономически целесообразной стоимости беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей по себестоимости мото-часа. Данный расчет осуществлялся исходя из условия обеспечения

одинаковой себестоимости мото-часа работы при использовании беспилотных мобильных средств и базовых тракторов.

Для осуществления расчета себестоимость мото-часа работы беспилотного мобильного средства S_q приравняем к себестоимости мото-часа работы базового трактора $S_{q\text{бт}}$: $S_q = S_{q\text{бт}}$.

Расписав составляющие себестоимости мото-часа работы и выразив из уравнения составляющие затрат на амортизацию, ремонт и ТО, включающие в себя стоимость беспилотных мобильных средств, выразим стоимость беспилотного мобильного средства:

$$\Pi = \frac{(S_{q\text{бт}} - S_{\text{тсм}} - S_3 - S_B) \cdot T_{\text{гб}} \cdot 100}{a_{\text{мс}} + a_{\text{ртомс}}} \quad (7)$$

По данной формуле произведены расчеты максимальной экономически целесообразной стоимости беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей различных тяговых классов, при которых их использование еще рентабельно по сравнению с базовыми тракторами аналогичных тяговых классов (табл. 6).

Таблица 6 – Максимальная экономически целесообразная стоимость беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей, руб.

Тяговый класс	Модель А	Модель В	Модель С
0,2	1696986	2363047	2828326
0,6	2799177	2799238	1093318
0,9	3079494	976632	1588826
1,4	4554431	1230944	869459
2	5541128	1178689	672773
3	6259148	1040990	524702
4	8513235	653334	753103
5	9744941	587494	589879
6	11863138	690000	648962
8	23063138	1247872	912501

Произведенные расчеты стоимости беспилотных мобильных средств концептуальной модели А показывают максимальную экономически целесообразную стоимость для мобильных средств каждого тягового класса, в то время как при определении предельной максимальной стоимости беспилотных мобильных средств концептуальных моделей В и С необходимо ориентироваться на наименьшее из полученных значений стоимости, поскольку данные концепции предусматривают групповое использование однотипных беспилотных мобильных средств во всех тяговых классах.

Согласно полученным данным максимальная экономически целесообразная стоимость беспилотных мобильных средств концептуальной модели В должна составлять не более 587494 руб., а для беспилотных мобильных средств концептуальной модели С – 524702 руб. Таким образом, для того чтобы применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели В стало экономически целесообразной во всех тяговых классах, необходимо чтобы их стоимость значительно снизилась относительно серийно выпускающихся в настоящее время тракторов тягового класса 0,6. Поскольку концептуальная модель А подразумевает использование в качестве базовых средств серийно выпускающихся тракторов, то необходимо оценить максимальные экономически целесообразные затраты на переоборудование серийных тракторов,

позволяющее реализовать беспилотное управление. Данные затраты будут определяться как разность максимальной экономически целесообразной стоимости беспилотных мобильных средств концептуальной модели А (Π) и стоимости базовых тракторов аналогичных тяговых классов (Π_6):

$$З_{\text{бсА}} = \Pi - \Pi_6 \quad (8)$$

где $З_{\text{бсА}}$ –затраты на переоборудование серийного трактора, позволяющее реализовать беспилотное управление, руб.

Для оценки максимальных экономически целесообразных затрат на переоборудование базового трактора в относительных величинах рассчитаем максимальное увеличение стоимости беспилотного мобильного средства концептуальной модели А относительно базового трактора:

$$\delta_{\text{бсА}} = (З_{\text{бсА}}/\Pi_6) \cdot 100. \quad (9)$$

Определение максимальной экономически целесообразной стоимости беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей по себестоимости одного мото-часа работы осуществлялось при условии обеспечения одинаковой себестоимости мото-часа работы при использовании беспилотных мобильных средств и базовых тракторов (табл. 7).

Таблица 7 – Максимальные экономически целесообразные затраты на переоборудование серийных тракторов, позволяющее реализовать беспилотное управление и переход к беспилотным мобильным средствам концептуальной модели А

Тяговый класс	Максимальные затраты на переоборудование базового трактора, руб.	Максимальная доля затрат на переоборудование относительно стоимости базового трактора, %
0,2	1096986	183
0,6	1799177	180
0,9	1879494	157
1,4	2954431	185
2	2541128	85
3	2459148	65
4	2213235	35
5	2544941	35
6	2363138	25
8	2363138	11

Таким образом, применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели А будет экономически целесообразным при условии увеличения их стоимости вследствие переоборудования на беспилотное управление на суммы не более чем приведенные расчетные значения в таблице 7.

Выводы. Анализ общепринятых методов расчета себестоимости эксплуатации мобильных средств показывает, что себестоимость эксплуатации беспилотных мобильных средств зависит от их стоимости, годовой загрузки, мощности, производительности формируемых с ними сельскохозяйственных агрегатов и количества беспилотных мобильных средств, контролируемых один оператор диспетчерского центра. На основании произведенного анализа разработана методические подходы к расчету приведенной себестоимости выполнения сельскохозяйственных работ при оценке эффективности различных концептуальных моделей беспилотных мобильных средств. Произведенная оценка себестоимости эксплуатации беспилотных мобильных средств показала, что применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели А позволяет снизить себестоимость мото-часа работы по сравнению с базовыми тракторами на 3...19%. Применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели В позволяет снизить себестоимость мото-часа относительно базового трактора только в тяговых классах 0,2–

0,6, а беспилотных мобильных средств концептуальной модели С – только в тяговых классах 0,2–0,9.

Разработаны методические подходы к расчету максимальной экономически целесообразной стоимости беспилотных мобильных средств различных концептуальных моделей по себестоимости мото-часа. Установлено, что применение беспилотных мобильных средств концептуальной модели В будет экономически целесообразным при стоимости не более 587494 руб., а беспилотных мобильных средств концептуальной модели С – 524702 руб.

В ходе оценки максимальных экономически целесообразных затрат на переоборудование базового трактора при создании беспилотных мобильных средств концептуальной модели А установлено, что с увеличением тягового класса увеличивается предел максимальных экономически целесообразных затрат на переоборудование, при этом доля затрат на переоборудование базового трактора в стоимости беспилотных мобильных средств концептуальной модели А снижается со 183% в тяговом классе 0,2 до 11% в тяговом классе 8.

Таким образом, наиболее целесообразно переоборудовать в беспилотные мобильные средства концептуальной модели А серийные тракторы наиболее высоких тяговых классов.

Литература

1. I A Starostin, A V Eshchin and S A Davydova Global trends in the development of agricultural robotics // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. №1138 (2023) 012042. DOI 10.1088/1755-1315/1138/1/012042
2. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Дорохов А.А. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 2 (31). С. 41–52.
3. Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2017. № 7. С. 2–6.
4. Сёмин А.Н., Набоков В.И., Скворцов Е.А. Принципы и факторы применения робототехники в организациях сельского хозяйства // Теория и практика мировой науки. 2017. № 9. С. 75–79.
5. Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector / K. Ragazou, A. Garefalakis, I. Passas, E. Zafeiriou // Energies. 2022. Vol. 15. No. 9.
6. Minimizing the cost of using tractors at agricultural operations / R. Zaynagabdinov, I. Gabitov, I. Bakiev [et al.] // Diagnostyka. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 41-49.
7. Модель определения эксплуатационных затрат машинно-тракторных агрегатов на посев с учетом продолжительности работ и размеров площадей / А. В. Старцев, Т. Е. Алушкин, С. В. Романов, И. И.

Сторожев // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 1. С. 82-87.

8. Пронин В.М., Прокопенко В.А. Методика оценки технико-экономических показателей сельскохозяйственной техники по критерию часовых эксплуатационных затрат // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 3. С. 10-14.

9. Сагадеева Э.Ф. Особенности экономикоматематического моделирования машинно-тракторного парка / Э.Ф. Сагадеева, Л.И. Султашина // Экономические науки. 2016. № 40-2. С. 48-52.

10. Иовлев Г.А., Зорков В.С. Экономическая эффективность использования зарубежного и отечественного трактора: сравнительный анализ // Теория и практика мировой науки. 2020. № 1. С. 13-16.

Сведения об авторах:

Старостин Иван Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий в АПК, e-mail: starwan@yandex.ru

Давыдова Светлана Александровна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий в АПК, e-mail: davidova-sa@mail.ru

Ещин Александр Вадимович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий в АПК, e-mail: eschin-vim@yandex.ru

Дегтярева Елена Дмитриевна – младший научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий в АПК, e-mail: alena-kozh@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ», г. Москва, Россия

ASSESSMENT OF THE OPERATING COST OF UNMANNED AGRICULTURAL UNITS

I. A. Starostin, S. A. Davydova, A. V. Yeschin, E. D. Degtyareva

Abstract. Currently, research is being actively carried out on the development of unmanned mobile agricultural equipment capable of performing a range of different operations when combined with various agricultural machines. One of the key issues regarding the prospects for using unmanned mobile devices is assessing the economic efficiency of their use. As a result of the analysis of generally accepted methods for calculating the cost of operating mobile vehicles, it was revealed that the cost of operating unmanned mobile vehicles depends on their cost, annual load, power, productivity of agricultural units formed with them and the number of unmanned mobile vehicles controlled by one dispatch center operator. An assessment of the cost of operating unmanned mobile vehicles showed that the use of unmanned mobile vehicles created on the basis of commercially produced tractors while maintaining the existing gradation of traction classes and power allows reducing the cost of a motor-hour of operation compared to basic tractors by 3...19%, depending on traction class. The use of low-power universal unmanned mobile vehicles working in a group allows reducing the cost of a motor-hour of operation relative to a base tractor only in traction classes 0.2-0.6, and unmanned mobile vehicles created on the basis of several similar energy modules - only in traction classes 0.2-0.9. In the course of assessing the maximum economically feasible costs for re-equipping a base tractor when creating unmanned mobile vehicles on its basis, it was found that with an increase in the traction class, the limit of the maximum economically feasible costs for conversion increases, while the share of costs for re-equipping the base tractor in the cost of unmanned mobile vehicles decreases from 183% in traction class 0.2 to 11% in traction class 8. Thus, it has been established that it is economically feasible to convert serial tractors of the highest traction classes into unmanned mobile vehicles first of all.

Key words: unmanned mobile vehicles, conceptual model of unmanned mobile vehicles, efficiency mark, operating cost.

References

1. Starostin IA, Eshchin AV, Davydova SA. [Global trends in the development of agricultural robotics]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2023; 1138. 012042. doi: 10.1088/1755-1315/1138/1/012042.
2. Izmaylov AYU, Godzhaev ZA, Grishin AP, Grishin AA, Dorokhov AA. [Digital agriculture (review of digital agricultural technologies)]. Innovations in agriculture. 2019; 2 (31). 41-52 p.
3. Izmaylov AYU, Shogenov YuKh. [Intensive machine technologies and equipment of a new generation for the production of the main groups of agricultural products]. Machinery and equipment for the village. 2017; 7. 2-6 p.
4. Semin AN, Nabokov VI, Skvortsov EA. [Principles and factors of robotics application in agricultural organizations]. Theory and practice of world science. 2017; 9. 75-79 p.
5. Ragazou K, Garefalakis A, Passas I, Zafeiriou E. Agriculture 5.0: A New Strategic Management Mode for a Cut Cost and an Energy Efficient Agriculture Sector [Energies]. 2022; Vol. 15. 9. 3113. doi: 10.3390/en15093113.
6. Zaynagabdinov R, Gabitov I, Bakiev I, Gafurov I, Kostarev K. [Minimizing the cost of using tractors at agricultural operations]. Diagnostyka. 2020; Vol. 21. 2. 41-49 p.
7. Startsev AV, Alushkin TE, Romanov SV, Storozhev II. [A model for determining the operating costs of machine-tractor units for sowing, taking into account the duration of work and the size of the areas]. Tractors and agricultural machines. 2020; 1. 82-87 p.
8. Pronin VM, Prokopenko VA. [Methodology for assessing technical and economic indicators of agricultural machinery by the criterion of hourly operating costs]. Agricultural machines and technologies. 2013; 3. 10-14 p.
9. Sagadeeva EF, Sultanina LI. [Features of economic and mathematical modeling of a machine and tractor park]. Economic sciences. 2016; 40-2. 48-52 p.
10. Iovlev GA, Zorkov VS. [Economic efficiency of using foreign and domestic tractors: comparative analysis]. Theory and practice of world science. 2020; 1. 13-16 p.

Authors:

Starostin Ivan Aleksandrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory for Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies in the Agro-Industrial Complex, e-mail: starwan@yandex.ru

Davydova Svetlana Aleksandrovna – Ph.D. of Technical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory for Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies in the Agro-Industrial Complex, e-mail: davidova-sa@mail.ru

Yeschin Alexander Vadimovich – Ph.D. of Technical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory for Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies in the Agro-Industrial Complex, e-mail: eschin-vim@yandex.ru

Degtyareva Elena Dmitrievna – junior researcher at the Laboratory for Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies in the Agro-Industrial Complex, e-mail: alena-kozh@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center “VIM”, Moscow, Russia.