

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) =Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина (междисциплинарный). – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2024. -№ 3 (122). - С. 64-74.- ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

[doi.org/ 10.51452/kazatu.2024.3\(122\).1768](https://doi.org/10.51452/kazatu.2024.3(122).1768)

УДК 62–192:631.372

Обзор исследований и разработка модели оптимизации надежности тракторов

Гуляренко А.А.¹ , Бембенек М.² , Искаков Р.М.¹ , Шаймуратова Э.С.¹ , Дешко Т.А.³ 

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина,
Астана, Казахстан

²AGH Университет в Кракове, Краков, Польша

³ТОО «Fleetbook», Караганда, Казахстан

Автор-корреспондент: А.А. Гуляренко: Gulyarenko@mail.ru

Соавторы: (1:МБ) bembenek@agh.edu.pl; (2:РИ) rus.iskakov79@mail.ru

(3:ЭШ) emi_2009@mail.ru (4:ТД) deshko.t.work@gmail.com

Получено: 12-09-2024 **Принято:** 24-09-2024 **Опубликовано:** 30-09-2024

Аннотация

Предпосылки и цель. Предпосылкой для исследования послужила гипотеза о существовании взаимосвязи между затратами ресурсов на производство тракторов и затратами на их обслуживание и ремонт, а также убытками предприятий в случае простоя тракторов из-за поломок. Исследования в данном направлении ведутся авторами данной публикации с 2007 года. В статье представлен обобщенный обзор международных исследований в рамках научного направления «life cycle engineering». Цель исследования – повышение рентабельности сельскохозяйственного производства за счет сокращения продолжительности выполнения механизированных процессов и затрат ресурсов.

Материалы и методы. Методом экспертных оценок выявлены наиболее весомые факторы, влияющие на надежность процесса использования тракторов в растениеводстве. Дана оценка согласованности мнений экспертов.

Результаты. Проведен анализ факторов, влияющих на эффективность эксплуатации сельскохозяйственных тракторов. Дана оценка весомости факторов и выявлены ключевые составляющие для разработки математической модели оптимизации затрат при использовании тракторов.

Заклучение. Повышение заводской надёжности тракторов снижает потери, но увеличивает их стоимость, поэтому важно определить рациональные показатели, при которых общие затраты будут минимальными.

Ключевые слова: безотказность; затраты ресурсов; машиностроение; проектирование жизненного цикла; ремонтпригодность; метод экспертных оценок.

Введение

Цель покупки тракторов – это реализация их потребительских свойств при выполнении технологических операций на сельскохозяйственных предприятиях. Основными параметрами оценки машин и тракторов является качество эксплуатации, что обусловлено, главным образом, уровнем готовности и качеством технологических процессов при производстве продукции растениеводства [1, 2]. Таким образом, задача поддержания их работоспособности приобретает ключевое значение с точки зрения использования ресурсного потенциала и временных затрат [3]. Очевидно, что это создает серьёзное несоответствие с покупательскими ожиданиями.

Основные факторы, влияющие на эксплуатационные затраты:

Продолжительность агротехнических операций;

Качество выполнения технологических процессов;

Трудоёмкость ремонтно-эксплуатационных работ;

Дифференциация уровня надёжности и ремонтпригодности тракторов [4, 5].

Оптимизация данных аспектов возможна за счёт использования тракторов разной надёжности в составе агрегатов, что способствует более эффективному использованию ресурсов. В международной практике данный подход относится к научному направлению «инжиниринг жизненного цикла», которое занимается оптимизацией затрат на протяжении всего жизненного цикла технических объектов. Важным показателем здесь является «Общая стоимость имущества». Данная цифра учитывает, что затраты на топливо, техническое обслуживание (ТО) и ремонт указанных транспортных средств существенно превышают первоначальные затраты на приобретение и ввод оборудования в эксплуатацию [3]. Эти затраты становятся еще выше, если учесть потери на холостом ходу, особенно для сельскохозяйственных тракторов.

Однако в настоящее время эти вопросы не решены в достаточной степени. В частности, до сих пор используется ГОСТ Р 53056-2008 [6], который в основном воспроизводит правила, действовавшие во времена плановой экономики, например, ГОСТ 23729-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специализированных машин». В результате сегодня в Казахстане современных методик комплектования машинотракторных агрегатов для заданных условий по показателям надёжности, производительности, экономичности, просто нет, а сельскохозяйственные предприятия при комплектовании машинотракторного парка выбирают технику интуитивно, т.е. обоснованный подход с целью минимизации затрат и повышения рентабельности просто отсутствует.

Более точные методические указания по учету различных затрат, например, по стоимости тракторов можно узнать, в статье, опубликованной в 1997 году, в Университете штата Канзас (Kansas State University) [7]. Публикация представляет собой подробное практическое руководство по проведению соответствующих расчетов и содержит богатый справочный материал. Подобные подходы к оценке стоимости владения и эксплуатации сельскохозяйственных тракторов описаны в исследовании Университета штата Айова 2009 года [8], а также в краткой и прагматичной публикации Университета Южной Дакоты (USD) [9]. Подобные методы можно встретить и в других работах зарубежных специалистов аграрного дела.

Таким образом, для расчета оптимального уровня надёжности оборудования, идентификация ключевых узлов должна основываться на прогнозировании изменения технических параметров машины в течение ее длительного срока службы. Этот вывод подтверждается в упомянутых зарубежных исследованиях [7–9]. Актуальность исследования также определяется возможностью обобщения и адаптации существующего зарубежного опыта применительно к сельскохозяйственным предприятиям Северного Казахстана, а также в использовании имеющихся разработок отечественных ученых, в том числе у авторов данной публикации [10–14]. Первая публикация [1], посвященная теме исследования, опубликована Гуляренко А.А. в 2008 году, мониторинг информации по теме ведется с 2007 года, за этот период опубликовано более 50 публикаций. Анализ литературных источников показывает, что аналогичные исследования проводятся и в других странах [3–9], но данные исследования содержат лишь статистические данные и разрозненные математические зависимости, в них нет целостного решения оптимизационной задачи для конкретных отдельно взятых предприятий, тем более сельскохозяйственных, следовательно гипотеза и идея исследования оригинальны и актуальны не только для Казахстана. Кроме того, в рамках исследования планируется дойти до автоматизации процесса расчета математической модели вплоть до разработки специализированного программного обеспечения, которое позволит адаптировать расчеты для различных сельскохозяйственных предприятий Республики Казахстан.

Одним из ключевых факторов повышения эффективности сельскохозяйственного производства является увеличение объема и улучшение качества производимой продукции. Производители по всему миру стремятся обеспечить высокое качество своей продукции, чтобы удовлетворить спрос потребителей и повысить её конкурентоспособность. Важно отметить,

что качество напрямую влияет не только на спрос, но и на конечную цену продукта. Для того чтобы обеспечить рост как количества, так и качества продукции, необходимо иметь научно обоснованную технологию возделывания; надежную и высокопроизводительную технику; высококвалифицированный персонал.

В Казахстане на сегодняшний день существует широкий модельный ряд тракторов, отличающихся по показателям наработки на отказ и трудоемкости ремонтно-технических воздействий. Кроме того, повышение рентабельности как мелких, так и крупных сельскохозяйственных предприятий окажет значительный эффект в целом на столь важный для Казахстана аграрный сектор экономики.

Материалы и методы

Методологической основой работы является идея о наличии взаимосвязи между стоимостью машины, потерями продукции при её эксплуатации и затратами на ремонт и обслуживание при выполнении полевых работ. Изучение и обобщение существующих зависимостей позволит решить данную оптимизационную задачу для конкретных условий сельскохозяйственных предприятий Республики Казахстан.

Учитывая значительную номенклатуру влияющих факторов на начальном этапе, исследования следует выявить наиболее весомые факторы, влияющие на надежность реализации процесса использования тракторов. Многофакторность и сложность процесса основная проблема при решении оптимизационной задачи расчета надежности сложных технических систем. В данном случае эффективно решить проблему большого количества факторов можно применяя известный метод экспертных оценок. Метод экспертных оценок часто используется при разработке новых стандартов, особенно когда присутствует большое количество разнообразных и разрозненных факторов. Метод экспертных оценок и стандартизация тесно связаны, поскольку оба инструмента используются для повышения эффективности процессов, продуктов и услуг.

На основании специально разработанного опросника методом экспертных оценок был проведен опрос. Опросник содержал перечень обобщенных факторов, оказывающих наибольшее влияние (по нашему мнению) на надежность реализации механизированных технологических процессов на сельскохозяйственных предприятиях. Каждому эксперту объяснялось значения факторов, а в случае возникновения вопросов давались разъяснения. Задача эксперта заключалась в том, чтобы оценить значимость каждого фактора и ранжировать их по важности.

Точность опроса зависит также от количества экспертов. Естественно, что по мере уменьшения количества участников точность оценки снижается, поскольку результаты опроса начинают чрезмерно зависеть от мнения каждого эксперта. С другой стороны, если экспертов слишком много, достичь консенсуса сложно, поскольку уникальные суждения, отличающиеся от мнения большинства, могут быть важными, но незамеченными. Найти оптимальный размер группы экспертов непросто, но существуют способы решения этой проблемы [15-16]. Расчеты показывают, что для достижения требуемой точности и достоверности необходимо участие не менее 25 экспертов. Для практических целей при допустимых уровнях достоверности (0,8% и 20% соответственно) достаточно от 12 до 15 экспертов. В нашем исследовании были опрошены 35 экспертов для оценки влияния отдельных факторов на надежность механизированных процессов.

В результате выявлено 8 основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на производительность машинно-тракторного агрегата при проведении механизированных технологических процессов: Уровень заводской надёжности трактора (цена) (X1); Качество технического обслуживания (расходы на обслуживание) (X2); Качество ремонта (расходы на ремонт) (X3); Уровень материально-технологической базы для обслуживания и ремонта (X4); Загрузка (X5); Квалификация тракториста (X6); Хранение и качество ТСМ (X7); Неблагоприятные факторы внешней среды (X8).

После опроса мы обработали результаты методами математической статистики, чтобы убедиться, что ответы экспертов не были случайными. Для этого использовался показатель, указывающий степень согласованности мнений. Важным показателем согласованности мнений является коэффициент согласия (коэффициент конкордации) [16-19]. Результаты экспертного опроса представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспертного опроса

Эксперт	От 0 до 1,0 весомость							
	Уровень заводской надёжности трактора (X1)	Качество ТО (X2)	Качество ремонта (X3)	Уровень материально-технической базы для обслуживания и ремонта (X4)	Загрузка (X5)	Квалификация тракториста (X6)	Хранение и качество ТСМ (X7)	Неблагоприятные факторы внешней среды (X8)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7
2	0,6	0,8	0,8	0,7	0,2	0,4	0,3	0,2
3	0,9	0,8	0,6	1,0	0,9	0,5	0,5	0,4
4	0,7	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,2	0,1
5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,4	0,3	0,4	0,3
6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,2
7	0,8	0,6	0,5	0,7	0,8	0,4	0,5	0,7
8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6
9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,9	0,6	0,9	0,7
10	0,6	1,0	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
11	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,8	0,5	0,6
12	0,9	1,0	1,0	0,2	0,5	0,4	0,5	0,3
13	0,8	0,9	0,9	0,4	0,7	0,5	0,6	0,5
14	1,0	0,6	1,0	0,5	0,8	0,8	0,5	0,0
15	0,9	1,0	0,8	0,6	0,5	0,6	0,4	0,2
16	1,0	0,5	0,5	0,2	0,5	0,8	0,5	0,7
17	0,8	1,0	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3
18	0,6	1,0	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,4
19	0,6	1,0	0,8	0,6	0,3	0,7	0,5	0,5
20	0,9	0,9	0,6	0,5	0,8	0,5	0,6	0,7
21	0,9	0,8	0,8	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4
22	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5
23	0,8	0,9	0,8	0,5	0,5	0,7	0,5	0,2
24	0,8	1,0	1,0	0,6	0,6	0,8	0,6	0,2
25	0,8	0,9	0,8	0,9	0,5	0,9	0,5	0,3
26	1,0	0,8	0,9	0,7	0,6	0,4	0,4	0,0
27	0,7	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	0,5
28	1,0	0,5	0,7	1,0	0,3	0,7	0,9	0,5
29	0,9	0,3	0,3	0,4	0,2	0,5	0,5	0,2
30	0,7	1,0	0,5	0,7	0,8	0,4	0,5	0,2
31	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,2
32	1,0	0,4	0,8	0,8	0,6	0,3	0,6	0,2
33	0,9	1,0	0,6	0,8	0,2	0,4	0,4	0,2
34	0,7	0,8	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,4
35	1,0	0,6	0,5	1,0	0,7	1,0	0,4	0,3

Вычисление коэффициента конкордации. Сначала находим сумму рангов по факторам $\sum_{j=1}^m X_{ij}$, по данным экспертов, далее вычисляем разность суммы с средней суммой рангов (\bar{X}) по зависимости

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^m X_{ij} - \bar{X}. \quad (1)$$

По уравнению 2 вычисляем среднюю сумму рангов:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}}{n}, \quad (2)$$

где n – количество факторов; m – количество экспертов.
Вычисляем сумму квадратов отклонений S :

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m X_{ij} - \frac{1}{2}m(n+1) \right)^2. \quad (3)$$

Пиковое значение величины S будет в случае, когда большинство экспертов высоко оценивают фактор.

Рассчитываем коэффициент конкордации для оценки сходимости:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (4)$$

где

$$T_j = \sum_{j=1}^J t_j^3 - t_j, \quad (5)$$

где J – число групп связанных рангов; t_j – количество одинаковых рангов в j -м ряду.

Используя критерий Пирсона, рассчитаем оценку значимости коэффициента конкордации W :

$$x_p^2 = \frac{S}{\frac{1}{2}mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j}. \quad (6)$$

Согласованность мнений экспертов можно считать достоверной, так как соблюдаются следующие условия, вычисленное значение критерия больше табличного [20], определяемого уровнем доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ и числом степеней свободы $f = n - 1$.

Результаты и обсуждение

Результаты расчета согласованности ответов экспертов после оценки воздействия отдельных факторов на уровень надежности реализации механизированного технологического процесса, даны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета согласованности ответов экспертов

Показатель согласованности мнений экспертов	Весомость фактора, проставленная i-м экспертом в пределах от 0 до 1,0							
	Уровень заводской надёжности трактора (X1)	Качество ТО (X2)	Качество ремонта (X3)	Уровень материально-технической базы для обслуживания и ремонта (X4)	Загрузка (X5)	Квалификация тракториста (X6)	Хранение и качество ТСМ (X7)	Неблагоприятные факторы внешней среды (X8)
Сумма рангов X_{ij}	78	101	136	152	164	202	185	240
Отклонения от средней суммы рангов	-79	-56	-21	-5	7	45	28	83
Квадраты отклонений S	6241	3136	441	25	49	2025	784	6889
Показатель связанных рангов Ti	2923	1368	1272	1128	1197	1764	1860	1428
Весомость фактора φ	0,82	0,76	0,67	0,62	0,58	0,50	0,55	0,36

Результаты, полученные в ходе опроса экспертов:

Уровень заводской надёжности тракторов ($\varphi = 0,82$);

Качество обслуживания техники (ТО) ($\varphi = 0,76$);

Качество ремонта ($\varphi = 0,67$).

В дальнейших исследованиях приоритет следует отдавать именно этим ключевым факторам.

Анализ мирового опыта и многолетние исследования авторов данной публикации позволяют сделать вывод, что в общем случае можно использовать данную формулу 7 оптимизации затрат.

$$\sum C = C_3 + C_{рем} + C_{ТО} + C_{ЗП} + C_{ТСМ} + C_{пр} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где C_3 – цена машины (косвенные затраты первого порядка на производство изготовление, сборку и прочие затраты на изготовление машины на заводе, тенге; $C_{рем}$ – расходы на ремонт из-за поломок, тенге; $C_{ТО}$ – затраты на техническое обслуживание и хранение машины, тенге; $C_{ЗП}$ – заработная плата тракториста, тенге; $C_{ТСМ}$ – расходы на ТСМ, тенге; $C_{пр}$ – комплексные убытки от потерь продукции (урожая) и простоев, в том числе и недоиспользования труда механизатора, тенге.

Анализ материалов исследований [19-24] и результаты экспертного опроса позволяют заключить, что для сельскохозяйственных предприятий данную функцию можно урезать и использовать в упрощенном виде, ограничившись лишь 3 составляющими:

$$\sum C = C_3 + C_{РОВ} + C_{пр} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Графическое представление функции оптимизации дано на рисунке 1.

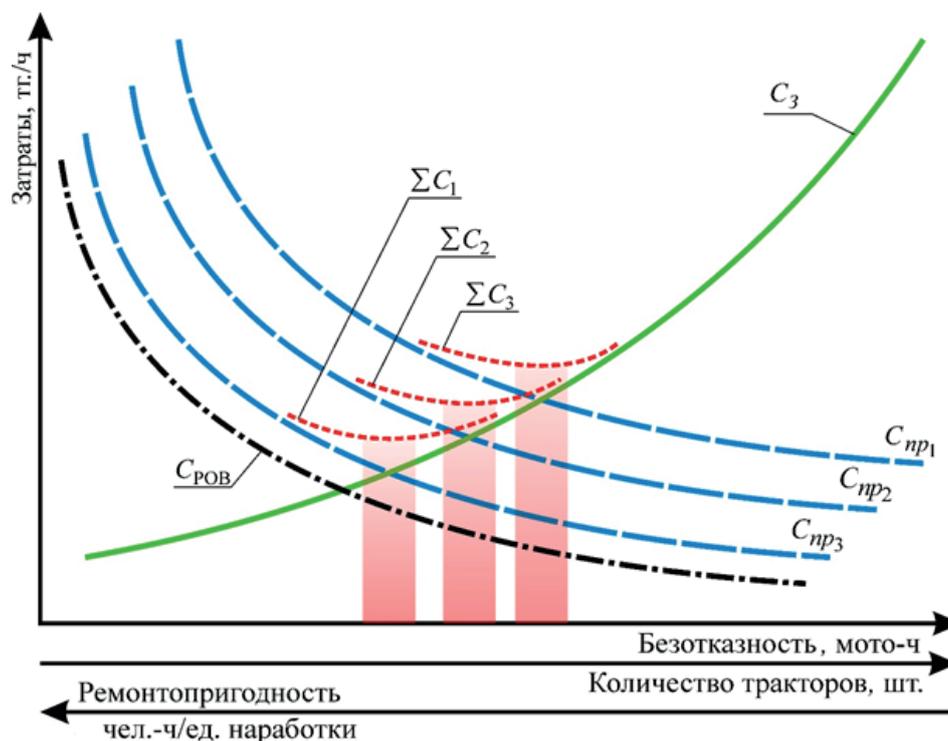


Рисунок 1 – Графическое представление функции оптимизации

Главный фактор повышения рентабельности сельскохозяйственного производства и получения прибыли ($\Sigma C \rightarrow \min$). Для внедрения данной функции оптимизации безусловно требуется подробный анализ всех составляющих рисунка 1. Однако уже на данном этапе исследования можно привести наглядный пример с сельскохозяйственным предприятием. Например, предприятие использует тракторы с различным уровнем надёжности, и наша задача заключается в минимизации затрат на их эксплуатацию с учётом предложенной математической модели. Мы определили три ключевых показателя: уровень заводской надёжности, затраты на техническое обслуживание и ремонт, которые влияют на частоту поломок и убытки от простоев. Применение модели показывает, что при повышении уровня заводской надёжности тракторов на 10%, приведет к снижению общих эксплуатационных расходов достигает 15%, что способствует повышению рентабельности предприятия. Пример демонстрирует, как можно использовать модель для условий конкретного хозяйства, учитывая его особенности и ресурсные ограничения.

Заключение

Повышение рентабельности сельскохозяйственных предприятий за счёт снижения потерь продукции в результате повышения уровня заводской надёжности безусловно повышает финансовые затраты завода-изготовителя и цену тракторов. Однако потери продукции зависят от объёма работ, от урожайности и множества других факторов. Для оценки надёжности тракторов во время эксплуатации можно использовать различные показатели, такие как частота поломок, показатели по техническому обслуживанию и так далее, то есть любые показатели, характеризующие надёжность. По нашему мнению, эти значения могут существенно отличаться для тракторов одного класса, но разных производителей, но функция оптимизации, полученная в нашем исследовании, может применяться для любых тракторов и машин, вне зависимости от производительности и марки.

Вклад авторов

АГ: Концепция исследования, анализ и литературный обзор работ в рамках научного направления «life cycle engineering». Систематизация знаний и подготовка заключения. МБ: работа над разделом «материалы и методы», планирование экспертного опроса и обработка

результатов. РИ: Оформление исследования, подготовка рукописи, верстка, вычитка отправка в редакцию. ЭШ и ТД: Сбор статистических данных, проведение экспертного опроса. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках проекта: AP23487301 «Повышение эффективности производства сельскохозяйственной продукции путем создания и апробации математической модели дифференцирования показателей надежности тракторов» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

- 1 Гуляренко, АА. (2008). Влияние заводской надёжности на процесс обеспечения безотказности тракторов в составе машинно-тракторных агрегатов. *Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета*, 53, 31-35.
- 2 Babchenko, LA, Gulyarenko, AA. (2020). Data Control for Reliability of Agricultural Tractors. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 49, 900-906. DOI: 10.3103/s1052618820100039.
- 3 Архипов, ВС. (2014). Оценка стоимости жизненного цикла тракторов. *Тракторы и сельхозмашины*, 5, 3-9.
- 4 Плаксин, АМ, Шепелев, СД, Власов, ДБ, Кравченко, ЕН. (2022). Результаты расчетно-экспериментального метода установления показателей использования и надежности агрегатов в растениеводстве. *АПК России*, 29(1), 54-61.
- 5 Плаксин, АМ, Качурин, ВВ, Власов, ДБ, Недоводин, МА. (2016). Методика расчета, основные направления повышения технической готовности агрегатов в растениеводстве. *АПК России*, 23(2), 408-416.
- 6 Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р 53056 - 2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки специализированных машин.
- 7 Kastens, T. (1997). Farm Machinery Cost Calculations. Kansas State Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service MF-2244.
- 8 Edwards, W. (2015). Estimating Farm Machinery Costs. Iowa State University, 1-11.
- 9 Dietmann, P. (2017). *Figuring the Cost to Own and Operate Farm Machinery*. University of Wisconsin-Extension.
- 10 Gulyarenko, AA. (2018). Calculation method of the reasonable reliability level based on the cost criteria. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 47(1), 96-103. DOI: 10.3103/s1052618817060085.
- 11 Goryk, O., Buchynskiy, A., Romanyshyn, L., Nurkusheva, S., Bembenek, M. (2024). Evaluation of the State of Innovative Activity of Machine-Building Enterprise. *Management Systems in Production Engineering*, 32(1), 1-11. DOI: 10.2478/mspe-2024-0001.
- 12 Искаков, РМ. (2016). Учебное пособие «Инженерное проектирование». *Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина*.
- 13 Шаймуратова, ЭС, Бабченко, ЛА. (2013). Уровень безотказности энергонасыщенных тракторов. *Международный научный журнал-приложение Республики Казахстан «Поиск»*, (4), 46-47.
- 14 Панталева, НС, Бакенов, АА, Дешко, ТА. (2022). Исследование факторов, влияющих на показатели качества газопламенных покрытий, *Инновации в технологиях и образовании*, (1), 131-134.
- 15 Государственный стандарт Союза ССР. ГОСТ 23554.0-79. Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Основные положения.
- 16 Государственный стандарт Союза ССР. ГОСТ 24294-80. Определение коэффициентов весомости при комплексной оценке технического уровня и качества продукции.
- 17 Liaskos, S., Khan, SM, Mylopoulos, J. (2022). Modeling and reasoning about uncertainty in goal models: a decision-theoretic approach. *Software and Systems Modeling*, 21(6), 1-24. DOI: 10.1007/s10270-021-00968-w.

18 Hanea, AM, Hemming, V. Nane, GF. (2021). Uncertainty quantification with experts: Present status and research needs. *Risk Analysis*, 42(2), 254-263. DOI: <https://doi.org/10.1111/risa.13718>.

19 Bhise, VD. (2023). Designing complex products with systems engineering processes and techniques, 2nd edition. *CRC Press*. DOI: 10.1201/9781003263357.

20 Dhillon, BS. (2021). Applied reliability for engineers. *CRC Press*. DOI:10.1201/9781003132103.

21 Vitiuk, AV, Smetaniuk, OA. (2020). Economic interaction of agricultural development and agricultural machine-engineering. *The Problems of Economy*, 4(46), 134-145. DOI: 10.32983/2222-0712-2020-4-134-145.

22 Mileusnić, Z., Tanasijević, M., Miodragović, R., Dimitrijević, A., Urošević, M. (2019). Tractor Lifetime Assessment Analysis. *Journal of Agricultural Sciences*, 25(2), 197-204. DOI: 10.15832/ankutbd.403823.

23 Биткина, ЕЕ, Редреев, ГВ. (2023). Управление качеством функционирования технических систем: постановка проблемы. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*, 4(35).

24 Efremov, AA, Sotskov, YN, Belotzkaya, YS. (2023). Optimization of selection and use of a machine and tractor fleet in agricultural enterprises: A case study. *Algorithms*, 16(7), 311. DOI: 10.3390/a16070311.

References

1 Gulyarenko, AA. (2008). Vliyanie zavodskoj nadyozhnosti na process obespecheniya bezotkaznosti traktorov v sostave mashinno-traktornyh agregatov. *Vestnik CHelyabinskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta*, 53, 31-35. [In Russ].

2 Babchenko, LA, Gulyarenko, AA. (2020). Data Control for Reliability of Agricultural Tractors. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 49, 900-906. DOI: 10.3103/s1052618820100039.

3 Arhipov, VS. (2014). Ocenka stoimosti zhiznennogo cikla traktorov. *Traktory i sel'hozmashiny*, 5, 3-9. [In Russ].

4 Plaksin, AM, Shepelev, SD, Vlasov, DB, Kravchenko, EN. (2022). Rezul'taty raschetno-eksperimental'nogo metoda ustanovleniya pokazatelej ispol'zovaniya i nadezhnosti agregatov v rastenievodstve. *APK Rossii*, 29(1), 54-61. [In Russ].

5 Plaksin, AM, Kachurin, VV, Vlasov, DB, Nedovodin, MA. (2016). Metodika rascheta, osnovnye napravleniya povysheniya tekhnicheskoy gotovnosti agregatov v rastenievodstve. *APK Rossii* 23(2), 408-416. [In Russ].

6 Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. GOSTR 53056-2008. Tekhnika sel'skohozyajstvennaya. Metody ekonomicheskoy ocenki specializirovannyh mashin. [In Russ].

7 Kastens, T. (1997). Farm Machinery Cost Calculations. Kansas State Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service MF-2244.

8 Edwards, W. (2015). Estimating Farm Machinery Costs. Iowa State University, 1-11.

9 Dietmann, P. (2017). *Figuring the Cost to Own and Operate Farm Machinery*. University of Wisconsin-Extension.

10 Gulyarenko, AA. (2018). Calculation method of the reasonable reliability level based on the cost criteria. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 47(1), 96-103. DOI: 10.3103/s1052618817060085.

11 Goryk, O., Buchynskiy, A., Romanyshyn, L., Nurkusheva, S. Bembenek, M. (2024). Evaluation of the State of Innovative Activity of Machine-Building Enterprise. *Management Systems in Production Engineering*, 32(1), 1-11. DOI: 10.2478/mspe-2024-0001.

12 Iskakov, RM. (2016). Uchebnoe posobie «Inzhenernoe proektirovanie». Kazahskij agrotekhnicheskij universitet imeni S.Sejfullina.

13 SHajmuratova, ES, Babchenko, LA. (2013). Uroven' bezotkaznosti energonasyschennyh traktorov. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal-prilozhenie Respubliki Kazahstan «Poisk»*, (4), 46-47. [In Russ].

14 Pantileeva, NS, Bakenov, AA, Deshko, TA. (2022). Issledovanie faktorov, vliyayushchih na pokazateli kachestva gazoplammennyh pokrytij, *Innovacii v tekhnologiyah i obrazovanii*, (1), 131-134. [In Russ].

15 Gosudarstvennyj standart Soyuzu SSR. GOST 23554.0-79. Sistema upravleniya kachestvom produkcii. Ekspertnye metody ocenki kachestva promyshlennoj produkcii. Osnovnye polozheniya. [In Russ].

16 Gosudarstvennyj standart Soyuza SSR. GOST 24294-80. Opredelenie koefitsientov vesomosti pri kompleksnoj ocenke tekhnicheskogo urovnya i kachestva produktsii. [In Russ].

17 Liaskos, S., Khan, SM, Mylopoulos, J. (2022). Modeling and reasoning about uncertainty in goal models: a decision-theoretic approach. *Software and Systems Modeling*, 21(6), 1-24. DOI: 10.1007/s10270-021-00968-w.

18 Hanea, AM, Hemming, V. Nane, GF. (2021). Uncertainty quantification with experts: Present status and research needs. *Risk Analysis*, 42(2), 254-263. DOI: 10.1111/risa.13718.

19 Bhise, VD. (2023). Designing complex products with systems engineering processes and techniques, 2nd edition. *CRC Press*. DOI: 10.1201/9781003263357.

20 Dhillon, BS. (2021). Applied reliability for engineers. *CRC Press*. DOI: 10.1201/9781003132103.

21 Vitiuk, AV, Smetaniuk, OA. (2020). Economic interaction of agricultural development and agricultural machine-engineering. *The Problems of Economy*, 4(46), 134-145. DOI: 10.32983/2222-0712-2020-4-134-145.

22 Mileusnić, Z., Tanasijević, M., Miodragović, R., Dimitrijević, A., Urošević, M. (2019). Tractor Lifetime Assessment Analysis. *Journal of Agricultural Sciences*, 25(2), 197-204. DOI: 10.15832/ankutbd.403823.

23 Bitkina, EE, Redreev, GV. (2023). Upravlenie kachestvom funkcionirovaniya tekhnicheskikh sistem: postanovka problemy. *Elektronnyj nauchno-metodicheskij zhurnal Omskogo GAU*, 4(35). [In Russ].

24 Efremov, AA, Sotskov, YN, Belotzkaya, YS. (2023). Optimization of selection and use of a machine and tractor fleet in agricultural enterprises: A case study. *Algorithms*, 16(7), 311. DOI: 10.3390/a16070311.

Тракторлардың сенімділігін оңтайландыру моделін жасау және зерттеулерге шолу

А.А. Гуляренко, М. Бембенек, Р.М. Искаков, Э.С.Шаймуратова, Т.А.Дешко

Түйін

Алғышарттар және мақсат. Зерттеудің алғы шарты тракторларды өндіруге жұмсалатын ресурстық шығындар мен оларға техникалық қызмет көрсету мен жөндеуге жұмсалатын шығындар, сондай-ақ тракторлардың істен шығуы салдарынан тоқтап қалуы кезіндегі кәсіпорындардың шығыны арасында өзара байланыс бар деген гипотеза болды. Бұл бағыттағы зерттеулерді осы басылымның авторлары 2007 жылдан бері жүргізіп келеді. Мақалада «өмірлік цикл инженериясы» ғылыми бағыты аясындағы халықаралық зерттеулердің жалпылама шолуы берілген. Зерттеудің мақсаты – механикаландырылған процестердің ұзақтығын және ресурс шығындарын қысқарту арқылы ауыл шаруашылығы өндірісінің рентабельділігін арттыру.

Материалдар мен тәсілдер. Сараптамалық бағалау әдісін қолдана отырып, өсімдік шаруашылығында тракторларды пайдалану процесінің сенімділігіне әсер ететін маңызды факторлар анықталды. Сарапшылардың пікірлерінің сәйкестігіне баға беріледі.

Нәтижелер. Ауыл шаруашылығы тракторларының жұмыс тиімділігіне әсер ететін факторларға талдау жүргізілді. Факторлардың салмағын бағалау берілген және тракторларды пайдалану кезінде шығындарды оңтайландырудың математикалық моделін жасаудың негізгі компоненттері анықталған.

Қорытынды. Тракторлардың зауыттық сенімділігін арттыру шығындарды азайтады, бірақ олардың құнын арттырады, сондықтан жалпы шығындар минималды болатын ұтымды көрсеткіштерді анықтау маңызды.

Кілт сөздер: ақаусыз жұмыс; ресурстық шығындар; машина жасау; өмірлік циклді жобалау; техникалық қызмет көрсету; сараптамалық бағалау әдісі.

Review of research and development of a model for optimizing tractor reliability

A.A. Gulyarenko, M. Bembenek, R.M. Iskakov, E.S.Shaimuratova, T.A.Deshko

Abstract

Background and purpose. The premise for the study was the hypothesis of a relationship between the resource costs of tractor production and the costs of their maintenance and repair, as well as losses to enterprises in the event of tractor downtime due to breakdowns. The authors of this publication have been conducting research in this area since 2007. The article presents a generalized review of international studies within the framework of the scientific direction "life cycle engineering". The purpose of the study is to increase the profitability of agricultural production by reducing the duration of mechanized processes and resource costs.

Materials and methods. The method of expert assessments revealed the most significant factors affecting the reliability of the process of using tractors in crop production. An assessment of the consistency of expert opinions is given.

Results. An analysis of the factors affecting the efficiency of agricultural tractors was carried out. An assessment of the weight of the factors is given and key components for the development of a mathematical model for optimizing costs when using tractors are identified.

Conclusion. Increasing the factory reliability of tractors reduces losses, but increases their cost, so it is important to determine rational indicators at which the total costs will be minimal.

Keywords: failure-free operation; resource costs; mechanical engineering; life cycle design; maintainability; expert assessment method.