



УДК 631.3.02  
DOI: 10.53083/1996-4277-2025-254-12-69-75

**Е.Ю. Горшенина, Ю.Н. Шедько, В.К. Черных**  
E.Yu. Gorshenina, Yu.N. Shedko, V.K. Chernykh

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

### PREDICTING THE DURABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS TAKING INTO ACCOUNT REAL OPERATING CONDITIONS

**Ключевые слова:** долговечность, напряженно-деформированное состояние, эксплуатационная среда, износ деталей, моделирование, проектирование, коррозионный износ, сельскохозяйственные машины, ресурсосбережение, многокомпонентное нагружение, дефекты, виброустойчивость.

Прогнозирование долговечности деталей сельхозмашин, работающих в сложных условиях, требует разработки математических моделей, учитывающих как эксплуатационные нагрузки, так и агрессивные среды. Цель исследования – повышение экономичности, качества и конкурентоспособности техники, позволяющей комплексно прогнозировать реальную долговечность деталей сельскохозяйственных машин с учетом влияния всех эксплуатационных факторов. Анализируются существующие методы, включая снижение опасных напряжений и учет физических процессов усталости. Предложена математическая модель с идентифицированными коэффициентами для прогнозирования долговечности. Рассмотрено влияние эксплуатационных условий на нагрузки ходовой части и предложены методики формирования нагрузочных циклов. Показана необходимость анализа коррозионного износа и перераспределения внутренних напряжений. На основе анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) возможно оптимизировать конструкцию, снижая концентрацию напряжений. Для рассматриваемого элемента НДС изменяется под воздействием коррозионного износа и перераспределения усилий, обусловленного изменением жесткостных характеристик элементов. Важно учитывать влияние размеров и частоты

нагружения на износостойкость. Рекомендуется проектирование новой техники на основе детального анализа условий эксплуатации и реальных нагрузок, имитация нагрузок при испытаниях для выявления слабых мест. При определении долговечности использовались численные методы, апробированные в строительной механике. Долговечность 5-корпусного плуга оценивалась на основе анализа балок рамы. Численные расчеты проводились с использованием исправленного метода Эйлера и математической модели, учитывающей скорость коррозии и механическое напряжение. Результаты могут быть применены для повышения надежности и долговечности сельхозтехники, разработки эффективных стратегий технического обслуживания и ремонта.

**Keywords:** durability, stress-strain state, operating environment, wear of parts, modeling, designing, corrosive wear, agricultural machinery, resource saving, multi-component loading, defects, vibration resistance.

The prediction of durability of agricultural machinery parts operating in harsh conditions requires the development of mathematical models that consider operational loads and aggressive environments. The research goal is to improve the machinery economic efficiency, quality, and competitiveness. The existing methods are analyzed including reducing dangerous stresses and accounting for physical fatigue processes. A mathematical model with identified coefficients for durability prediction is proposed. The influence of operating conditions on the loading of chassis parts is considered, and methods for constructing load cycles are proposed. The ne-

cessity of analyzing corrosion wear and redistribution of internal stresses is shown. Based on the analysis of the stress-strain state (SSS), it is possible to optimize the design by reducing stress concentration. For the element under consideration, the SSS changes under the influence of corrosive wear and stress redistribution due to changes in the stiffness characteristics of the elements. It is important to consider the influence of dimensions and loading frequency on wear resistance. It is recommended to design new equipment based on a detailed analysis of operating conditions and real loads,

and to simulate loads during testing to identify weak points. Numerical methods tested in structural mechanics were used to determine durability. The durability of a five-furrow plow was estimated based on the analysis of frame beams. Numerical calculations were performed using the corrected Euler method and a mathematical model that took into account the corrosion rate and mechanical stress. The results may be applied to improve the reliability and durability of agricultural machinery and to develop effective maintenance and repair strategies.

**Горшенина Екатерина Юрьевна**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Вавиловский университет, г. Саратов, Российская Федерация, e-mail: ekaterina\_84\_07@mail.ru.

**Шедько Юрий Николаевич**, д.э.н., доцент, профессор, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: YNshedko@mail.ru.

**Черных Валентин Константинович**, директор, ООО «Первый универсальный институт», г. Энгельс, Саратовская обл., Российская Федерация, e-mail: mtt91@ya.ru.

**Gorshenina Ekaterina Yurevna**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, e-mail: ekaterina\_84\_07@mail.ru.

**Shedko Yuriy Nikolaevich**, Dr. Econ. Sci., Prof., Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: YNshedko@mail.ru.

**Chernykh Valentin Konstantinovich**, Director, ООО “Perviy universalnyy institute”, Engels, Saratov Region, Russian Federation, e-mail: mtt91@ya.ru.

## Введение

При проектировании современных сельскохозяйственных машин критически важно обеспечить их экономичность, качество и конкурентоспособность, гарантируя безопасность и коммерческую привлекательность. Проектирование требует дальнейшего совершенствования, включая оптимизацию параметров, внедрение инновационных решений и точное решение технических задач. При разработке проектов необходимо учитывать реальные условия эксплуатации техники. Оптимальное нормирование процесса проектирования повышает конкурентоспособность сельскохозяйственной техники. Согласно п. 4.5 [1]: «разработчик продукции проводит необходимые опытно-конструкторские и технологические работы, обращая особое внимание на обеспечение следующих требований:

- безопасности, охраны здоровья и окружающей среды, в том числе и в процессе эксплуатации продукции;
- ресурсосбережения;
- устойчивости к внешним воздействиям;
- взаимозаменяемости и совместимости составных частей и продукции в целом...»

Процесс создания новой единицы техники должен опираться на требования потребителей и на реальные условия, в которых техника будет эксплуатироваться. При прогнозировании долго-

вечности важно учитывать все факторы еще на стадии проектирования, независимо от способа прогнозирования, будь то математические модели (ручной расчет) или применение программного обеспечения (машины расчет).

На стадии проектирования уточняются или согласовываются ранее выбранные параметры [2, 3].

На стадии изготовления деталей и сборки механизмов существует такая проблема, как снижение ресурсов выпускаемых изделий, в том числе из-за обеспечения необходимой надежности деталей. Связано это, в том числе, и с заменой ГОСТов на СТП на ряде производств [4].

На стадии эксплуатации ресурс сельскохозяйственных машин на практике определяется исходя из ресурсов основных агрегатов, которые, в свою очередь, определяются исходя из заданных ресурсов [1].

Анализируется метод восстановления изношенных компонентов сельскохозяйственных машин и механизмов [5]. Этот метод предполагает восстановление деталей за счет использования сторонних источников материала и энергии.

Необходимость оптимизации процесса создания и эксплуатации деталей на всех стадиях ставит **целью** данного и последующих исследований разработку новых математических моде-

лей и в перспективе программного обеспечения, которые позволили бы комплексно прогнозировать реальную долговечность деталей сельскохозяйственных машин, т.е. с учетом влияния всех эксплуатационных факторов. При этом необходимо решить ряд задач, в том числе проанализировать существующие методы прогнозирования долговечности сельскохозяйственной техники с выявлением факторов, влияющих на износ деталей. Для прогнозирования долговечности деталей сельскохозяйственных машин с использованием численных методов необходимы адаптированные математические модели, позволяющие оценить эффективность различных способов снижения опасных напряжений в деталях.

### Материалы и методы

Одними из факторов, влияющих на износ деталей, являются опасные напряжения. Существует несколько способов уменьшения их значения, но все они должны включать одновременно такие составляющие, как:

- определение механических параметров;
- изменение геометрии деталей;
- исследование физических параметров и таких явлений, как усталость материала,
- исследование зависимости характера повреждений детали от вида нагружения.

Комплексное решение данных задач стало возможным с появлением технологий полунаучного эксперимента. Для решения задачи расчета эксплуатационных напряжений и анализа напряженно-деформированного состояния объ-

екта необходимо производить расчет температуры и напряжений в течение цикла нагружения. Для этого предложены методы математического моделирования, позволяющие учесть сложные геометрические формы объекта, неоднородность материалов и различные виды нагружения, в т.ч. динамическое, программное нагружение от воздействия эксплуатационной среды. Полученные результаты на основе анализа НДС позволяют выявить наиболее нагруженные участки, где присутствует наибольшая вероятность возникновения дефектов и разрушений. Эта информация критически важна для разработки эффективных стратегий технического обслуживания и ремонта, направленных на предотвращение аварийных ситуаций и продление срока службы.

В частности, анализ НДС позволяет оптимизировать конструкцию, снижая концентрацию напряжений в критических зонах и повышая общую прочность и надежность. Кроме того, результаты математического и компьютерного моделирования могут быть использованы для выбора наиболее подходящих материалов для ремонта и восстановления поврежденных участков, учитывая их прочностные характеристики, устойчивость к коррозии и адгезию к основному материалу.

Один из предложенных вариантов машинного расчета, а именно компьютерного моделирования, выполненного в ПО Matlab на основе численных методов авторами [6], представлен на рисунке 1.

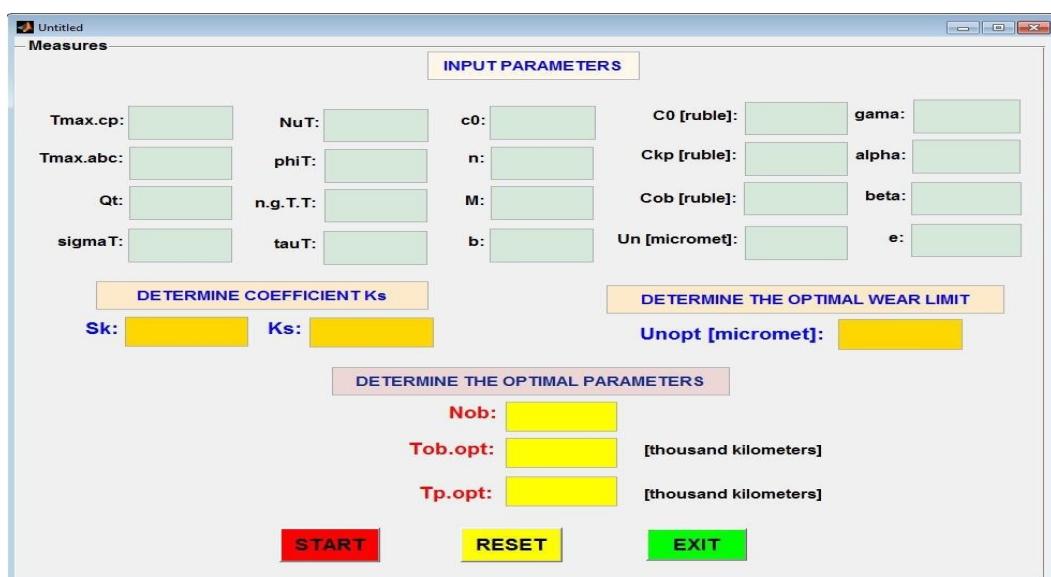


Рис. 1. Графическая программа расчёта оптимальных параметров

В рамках решения поставленных задач рассматривается методика расчета сварочных напряжений и деформаций, предложенная авторами [7].

Задача 1. Определение остаточных сварочных напряжений производили для оболочечных конструкций в штуцере, который вварен в отверстие в плите.

Исходные данные:

- размеры плиты:  $S = 20$  мм,  $D = 600$  мм;
- размеры штуцера:  $d = 180$  мм,  $H = 75$  мм;
- усиление шва  $h = 16$  мм;
- радиус перехода  $R = 1$  мм;
- кол-во проходов шва: 11.

Задача 2. Измерение остаточных сварочных деформаций проводили при сварке двух пластин.

Исходные данные:

- 2 стальные пластины  $100 \times 200 \times 8$  мм;
- кол-во проходов шва: 1;
- предварительно пластины закреплены в тисках (таким образом имитировали воздействие на пластины частей конструкции, не подвергающихся температурному расширению);
- проведен сравнительный анализ.

Результат практического решения задач 1 и 2:

расхождения между экспериментальными данными и расчетными данными 8%. Значение корректно. Результат представлен на рисунке 2.

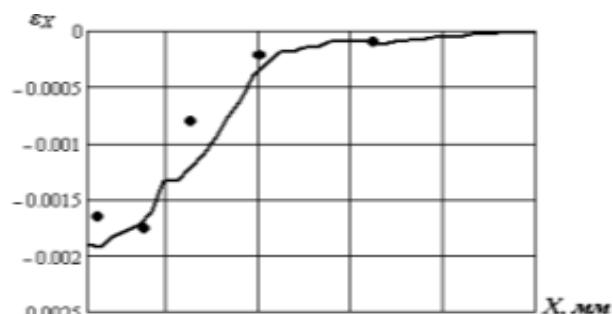


Рис. 2. Изменение остаточных деформаций по оси  $Ox$ :  
— — расчетные данные;  
• — экспериментальные данные [8]

#### Долговечность рабочих элементов лемешного плуга

Модели плуга	(ПБС-4)	(ПБС-5)	(ПБС-8)
Длина рабочего элемента, м	3,03	3,54	5,65
Главная балка	4,266	2,087	1,654
Продольная балка	4,114	4,114	4,065
Поперечная балка	3,982	3,982	3,856
Навеска	2,605	2,605	2,605

#### Результаты исследований

Для определения долговечности деталей и элементов сельскохозяйственной техники применялись численные методы, апробированные в строительной механике промышленных зданий. В данном исследовании в качестве объекта исследования принята конструкция лемешного плуга, а именно для трех вариантов (например, модели ПБС-4, ПБС-5, ПБС-8). На сайте производителя данной конструкции отмечены следующие отличительные особенности данной модели: «Высокие показатели плугов ПБС определяются конструктивной новизной, ... центральный брус рамы плугов выполнен из двух профильных труб (120x120x8 каждая), что значительно увеличивает надёжность конструкции ...» [9, 10].

Решение задачи долговечности проводилось двумя способами: с использованием исправленного метода Эйлера для численного решения системы и с применением математической модели вида:

$$d\delta/dt = v_0 \cdot 1 \cdot k\sigma$$

где  $v_0$  — начальная скорость коррозии;

$\sigma$  — механическое напряжение;

$k$  — коэффициент, учитывающий влияние напряжений;

$\delta$  — глубина коррозионного поражения.

Одной из первых моделей, в которой скорость коррозии линейно зависела от механических напряжений, была модель, предложенная В.М. Долинским [11].

Долговечность пятикорпусного плуга оценивалась на основе анализа балок рамы, при этом определяющими факторами были ограничения по устойчивости. Короткая длина балок обуславливала высокое начальное значение критического напряжения, что в сочетании с низкой скоростью роста напряжений приводило к высокой долговечности.

#### Таблица

Для поперечной балки рамы плуга критическим ограничением являлась потеря сплошности сечения вследствие коррозии, для главной балки – потеря устойчивости. Скорость потери массы и, как следствие, скорость роста напряжений в продольной и поперечной балках были высокими.

Как следует из анализа результатов, представленных в таблице, с течением времени может происходить значительное перераспределение внутренних усилий в главной, продольной и поперечной балках. При этом значения усилий могут как увеличиваться, так и уменьшаться, поэтому приближенное значение долговечности оказывается как больше, так и меньше эталонного.

На основании анализа результатов численных экспериментов можно сделать вывод о том, что характер и скорость изменения внутренних усилий в элементах лемешного плуга зависят от нескольких факторов: степени статической неопределенности конструкции плуга, числа элементов. Последний фактор, в свою очередь, зависит от параметров агрессивной среды, величины динамических нагрузок и коэффициента слитности сечений.

Стоит отметить, что скорость роста погрешности вычислений увеличивается при смещении номинального значения скорости коррозии  $v_0$  металлического элемента в сторону нуля. Преимущество математических моделей определяется удобством при решении конкретных практических задач, в том числе при получении аналитических формул долговечности нагруженных конструктивных элементов.

НДС рассматриваемого элемента изменяется под воздействием двух взаимозависимых процессов: коррозионного износа, приводящего к изменению геометрии сечений элементов, и последующего перераспределения внутренних усилий в конечно-элементной модели, обусловленного изменением жесткостных характеристик элементов.

### Выводы

1. Учитывать условия работы и проектировать технику на основе детального анализа условий эксплуатации для повышения экономичности и надежности. Полевые испытания и сбор данных о нагрузках обеспечат создание более долговечных машин.

2. Оптимизировать конструкцию: использовать анализ НДС для снижения концентрации напряжений и оптимизации геометрии деталей. Это увеличит устойчивость к усталости и разрушению, продлевая срок службы.

3. Прогнозировать износ: учитывать коррозию и перераспределение усилий при прогнозировании ресурса деталей. Разработка моделей, учитывающих комбинированное воздействие, позволит точнее определять остаточный ресурс.

4. Имитировать нагрузки: использовать реалистичные нагрузочные циклы при испытаниях для выявления слабых мест. Это позволит ускорить процесс оценки надежности и доработки конструкции.

5. Идентифицировать параметры: определять ключевые параметры (жесткость, массы и т.д.) и использовать их в моделях. Экспериментальные исследования повысят точность расчетных моделей и прогнозов.

6. Исследовать усталость: учитывать влияние размеров, частоты и асимметрии нагружения при снижении опасных напряжений. Использование современных материалов и технологий обработки повысит усталостную прочность.

### Библиографический список

1. ГОСТ 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки на производство. – Введ. 2017-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 40 с. – Текст: непосредственный.
2. Фасхиев, Х. А. Проектирование деталей транспортных средств по нормативной стендовой долговечности / Х. А. Фасхиев. – Текст: непосредственный // Вестник УГАТУ. – 2013. – № 4 (57). – С. 114-119.
3. Макаренко, Н. Г. Способы повышения долговечности сельскохозяйственных машин и механизмов / Н. Г. Макаренко, Ю. С. Яковleva, О. А. Михалевич. – Текст: непосредственный // ОНВ. – 2023. – № 3 (187). – С. 46-52.
4. Альтман, М. Б. Применение алюминиевых сплавов: справочник / М. Б. Альтман, Г. Н. Андреев, Ю. П. Арбузов [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1985. – 344 с. – Текст: непосредственный.
5. Мыльников, В. В. Циклическая прочность и долговечность конструкционных материалов: монография / В. В. Мыльников, О. Б. Кондрашов.

кин, Д. И. Шетулов. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. – 177 с. – Текст: непосредственный.

6. Бреки, А. Д. Использование обобщенного треугольника Паскаля для описания колебаний силы трения материалов / А. Д. Бреки, А. Е. Гвоздев, А. Г. Колмаков. – Текст: непосредственный // Материаловедение. – 2016. – № 11. – С. 3-8. – EDN WZRDIJ.

7. Абызов, А. А. Расчет ресурса деталей при случайному независимому многопараметрическому нагружению / А. А. Абызов, И. Я. Березин, О. С. Садаков. – Текст: непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственное машиностроение. – 2006. – № 11 (66). – С. 72-78.

8. Черных, В. К. Моделирование коррозионно-механического поведения многоэлементных металлических конструкций транспортных сооружений в реальных условиях эксплуатации / В. К. Черных. – DOI: 10.15862/22SATS319. – Текст: электронный // Транспортные сооружения. – 2019. – № 3. – URL: <https://t-s.today/PDF/22SATS319.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

9. Совершенствование эксплуатационно-ремонтного цикла двигателей КамАЗ / А. С. Денисов, Е. Ю. Горшенина, А. А. Гафиатуллин, В. С. Снарский. – Текст: непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVIII Международной научно-практической конференции, Оренбург, 15-17 ноября 2023 года. – Оренбург, 2023. – С. 118-126.

10. Горшенина, Е. Ю. Обеспечение работоспособности двигателей беспилотных транспортных средств / Е. Ю. Горшенина, А. С. Денисов. – Текст: непосредственный // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 20-25 ноября 2024 года. – Оренбург, 2025. – С. 121-128.

11. Навесные пятикорпусные обратные полувинтовые плуги PBS-4. – Текст: электронный // ПлугИПБС. – URL: [https://плугипбс.рф/stati/article\\_post/sravnitelnye-issledovaniya-plugov-pln-5-35-po-41-40k-i-pbs-4?ysclid=mi8hmzxd1w159280741](https://плугипбс.рф/stati/article_post/sravnitelnye-issledovaniya-plugov-pln-5-35-po-41-40k-i-pbs-4?ysclid=mi8hmzxd1w159280741) (дата обращения: 21.11.2025).

## References

1. GOST 15.301-2016. Sistema razrabotki i postanovki produktsii na proizvodstvo. Produktsiya proizvodstvenno-tehnicheskogo naznacheniya. Poryadok razrabotki i postanovki na proizvodstvo. – Vved. 2017-07-01. – Moskva: Standartinform, 2016. – 40 s.
2. Faskhiev, Kh. A. Proektirovaniye detaley transportnykh sredstv po normativnoy stendovoy dolgovechnosti / Kh. A. Faskhiev // Vestnik UGATU. – 2013. – № 4 (57). – S. 114-119.
3. Makarenko, N. G. Sposoby povysheniya dolgovechnosti selskokhozyaystvennykh mashin i mekhanizmov / N. G. Makarenko, Yu. S. Yakovleva, O. A. Mikhalevich // ONV. – 2023. – № 3 (187). – S. 46-52.
4. Altman, M. B. Primenenie aluminievых splavov: spravochnik / M. B. Altman, G. N. Andreev, Yu. P. Arbuzov [i dr.]. – 2-e izd., pererab. i dop. – Moskva: Metallurgiya, 1985. – 344 s.
5. Mylnikov, V. V. Tsiklicheskaya prochnost i dolgovechnost konstruktsionnykh materialov: monografiya / V. V. Mylnikov, O. B. Kondrashkin, D. I. Shetulov. – N. Novgorod: NNGASU, 2018. – 177 s.
6. Breki, A. D. Ispolzovanie obobshchennogo treugolnika Paskalya dlya opisaniya kolebaniy sily treniya materialov / A. D. Breki, A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov // Materialovedenie. – 2016. – № 11. – S. 3-8.
7. Abyzov, A. A. Raschet resursa detaley pri sluchaynom nezavisimom mnogoparametricheskem nagruzhenii / A. A. Abyzov, I. Ya. Berezin, O. S. Sadakov // Vestnik YUURGU. Seriya: Selskokhozyaystvennoe mashinostroenie. – 2006. – № 11 (66). – S. 72-78.
8. Chernykh, V. K. Modelirovaniye korrozionno-mekhanicheskogo povedeniya mnogoelementnykh metallicheskikh konstruktsiy transportnykh sooruzheniy v realnykh usloviyakh ekspluatatsii / V. K. Chernykh // Internet-zhurnal "Transportnye sooruzheniya". – 2019. – № 3. – URL: <https://t-s.today/PDF/22SATS319.pdf> (data obrashcheniya: 21.11.2025). – DOI: 10.15862/22SATS319.
9. Denisov, A. S. Sovrshennstvovaniye ekspluatatsionno-remontnogo tsikla dvigateley KaMAZ / A. S. Denisov, E. Yu. Gorshenina, A. A. Gafiyatullin, V. S. Snarskiy // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Orenburg, 2023. – Orenburg, 2023. – S. 118-126.

10. Gorshenina, E. Yu. Obespechenie rabotosposobnosti dvigateley bespilotnykh transportnykh sredstv / E. Yu. Gorshenina, A. S. Denisov // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XIX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Orenburg, 2025. – Orenburg, 2025. – S. 121-128.

11. Navesnye pyatikorpusnye oborotnye poluvintovye pligi PBS-4 // PlugIPBS. – URL: [https://plugipbs.rf/stati/article\\_post/sravnitelnyye-issledovaniya-plugov-pln-5-35-po-41-40k-i-pbs-4?ysclid=mi8hmzxd1w159280741](https://plugipbs.rf/stati/article_post/sravnitelnyye-issledovaniya-plugov-pln-5-35-po-41-40k-i-pbs-4?ysclid=mi8hmzxd1w159280741) (data obrashcheniya: 21.11.2025).



УДК 631.3:699.871

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-254-12-75-80

**А.А. Мельберт, О.В. Ударцева,  
М.Н. Вишняк, Е.А. Машенская  
A.A. Melbert, O.V. Udartseva,  
M.N. Vishnyak, E.A. Mashenskaya**

## ВОЗМОЖНОСТЬ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АПК, ВЫБОРОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

### POSSIBILITY OF IMPROVING ENVIRONMENTAL SAFETY OF MOBILE ENERGY SOURCES USED IN THE AGRICULTURAL SECTOR BY SELECTING COOLANT TEMPERATURE

**Ключевые слова:** двигатель, экологическая безопасность, окружающая среда, механизированное агропромышленное производство, температура, охлаждающая жидкость, мобильное энергетическое средство.

Изложены результаты исследования, направленного на улучшение показателей экологической безопасности мобильных энергетических средств путем минимизации вредных выбросов с отработавшими газами дизельных двигателей, применяемых в сельскохозяйственном производстве путем выбора температуры охлаждающей жидкости. Авторами исследования были изучены эти возможности по результатам стендовых испытаний дизельных двигателей размерности 15/18. В результате испытания обнаружено, что при снижении температуры охлаждающей жидкости с 90 до 70°C выбросы NO<sub>x</sub> снижаются на 12%. В то же время выбросы CO возрастают на

20,48%, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – на 8,3%, ТЧ – на 27,2%. Степень превышения допустимых оценочных выбросов при  $t_{охл}=90^{\circ}\text{C}$  по стандартам Stage 2 составила по NO<sub>x</sub> в 2,06 раза, по CO – в 3,24, по ТЧ – в 1,65; Stage 3а по NO<sub>x</sub> – в 3,09; по CO – в 3,24; по ТЧ – в 1,65; Stage 3б по NO<sub>x</sub> – в 6,18, по CO – в 3,4, по ТЧ – в 1,65; Stage 4 по NO<sub>x</sub> – в 30,88, по CO – в 3,24, по ТЧ – в 16,5; нормы России по NO<sub>x</sub> – в 2,06, по CO – в 3,24, по ТЧ – в 3,3 раза. Выявлено, что при изменении температуры охлаждающей жидкости с 90 до 70°C перспективы выполнения требований стандартов Stage и России имеются только по углеводородам.

**Keywords:** engine, environmental safety, environment, mechanized agricultural production, temperature, coolant, mobile energy source.

The research findings on improving the environmental safety of mobile energy sources by minimizing harm-