

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

МЕТОДИКА
ресурсных испытаний режущих элементов
сельскохозяйственных машин
для животноводства и кормопроизводства

Москва
2025

УДК 620.16:631.3
ББК 40.72
М 545

Рецензенты:

Кирсанов В.В. – чл.-корр. РАН, доктор техн. наук, профессор, зав. отделом механизации и автоматизации животноводства (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

Голубев И.Г. – доктор техн. наук, профессор, зав. отделом, главный научный сотрудник отдела научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК (ФГБНУ «Росинформагротех»).

Коллектив авторов:

**М 545 Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Скороходов Д.М.,
Чупятов Н.Н., Павлов А.С., Самуков Н.Д.**

Методика ресурсных испытаний режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства и кормопроизводства / М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, Д.М. Скороходов [и др.]. – М.: МЭСХ, 2025. – 28 с.

ISBN 978-5-6052635-2-4

Методика относится к ускоренным ресурсным испытаниям на коррозионно-механический износ режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства и кормопроизводства.

Методика ускоренных ресурсных испытаний предназначена для оценки ресурса испытуемого образца изделия (режущего элемента) до достижения заданного предельного значения установленного параметра или оценки значения этого параметра, соответствующего заданной наработке изделия в нормальном режиме; позволяет оценивать эффективность упрочняющих технологий.

Для магистров, аспирантов, научных и научно-педагогических работников высших учебных заведений и сотрудников научно-исследовательских институтов, проводящих исследования по ресурсным испытаниям на коррозионно-механический износ режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства и кормопроизводства.

Методика ресурсных испытаний режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства и кормопроизводства утверждена и внедрена 7 мая 2025 года ФГБУ «Государственный испытательный центр» и ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

УДК 620.16:631.3
ББК 40.72

ISBN 978-5-6052635-2-4

© Коллектив авторов, 2025

Оглавление

1. Сущность методики.....	4
2. Общие положения.....	4
3. Требования к безопасности.....	5
4. Оборудование и субстрат для ресурсных испытаний режущих элементов.....	5
5. Экспериментальные и эталонные образцы (режущие элементы).....	11
6. Подготовка к испытаниям.....	12
7. Проведение испытаний.....	13
8. Обработка результатов исследований.....	14
Список использованных источников.....	20
Приложения.....	21

1. Сущность методики

1.1. Сущность методики в определении степени коррозионно-механического воздействия на режущий элемент субстратом, имитирующим физико-химические свойства растительной среды, при осуществлении процесса резания и установленных режимах испытаний посредством измерения геометрических параметров лезвий, методом снятия оттисков профиля с контролируемых участков и последующим увеличением изображения оптическими приборами, а также определение степени поражения поверхности коррозионными пятнами, с целью выявления показателей коррозионно-механической стойкости.

1.2. Методика позволяет испытывать упрочненные лезвия испытуемых режущих элементов, с целью определения эффективности упрочняющих технологий. В качестве упрочнения используются современные методы и средства повышения долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин.

1.3. Методика предусматривает два этапа испытаний:

стендовые ускоренные ресурсные испытания (этап 1) – испытания с периодическим форсированием режима проводятся на установке, при воспроизведении процесса резания субстрата, имитирующего физико-химические свойства растительной среды. Методика применяется для общей сравнительной оценки коррозионно-механической стойкости режущих элементов;

эксплуатационные испытания (этап 2) – испытания проводятся в условиях эксплуатации конкретных машин для измельчения кормов (смесители-кормораздатчики) с использованием в качестве образцов режущих элементов.

1.4. При проведении испытаний для получения сопоставимых результатов исследуемые образцы испытываются одновременно с серийно-выпускаемыми режущими элементами сельскохозяйственных машин для животноводства.

2. Общие положения

2.1. Испытания режущих элементов проводятся в полном объеме исполнителем, который отвечает за соблюдение требований настоящей методики и объективность полученных данных.

2.2. На каждой операции испытания проводятся оператором без какого-либо вмешательства в его работу.

2.3. Установка для ресурсных, ускоренных испытаний режущих элементов должна быть в исправном состоянии, по прочности и точности отвечать требованиям технической документации (паспорт).

3. Требования к безопасности

3.1. Общие требования безопасности к конструкции установки для ресурсных испытаний режущих элементов по ГОСТ 12.2.003–91.

3.2. Требования к упаковке, транспортировке, хранению и в том числе безопасности электрооборудования установки по ГОСТ 19348–82.

3.3. Расположение установки в помещении не должно затруднять доступ к органам управления и техническому обслуживанию рабочей камеры.

3.4. Уровень шума установки не должен превышать 85 дБ по ГОСТ 12.1.003–83.

3.5. В установке должна быть предусмотрена экстренная блокировка вращения вала с испытуемыми режущими элементами при открытии загрузочного и выгрузочного окна, а также при снятии крышки служащей для монтажа и демонтажа вала с держателями.

3.6. Окраска загрузочного окна и крышки установки по ГОСТ 12.4.026–2015. На загрузочном окне и крышке установки должны быть нанесены стрелки, указывающие направление вращения вала с испытуемыми рабочими органами и предупреждающая надпись «Вращающиеся ножи».

3.7. Вращающиеся детали приводного механизма (ременная передача) должны быть закрыты специальным ограждением в соответствии с ГОСТ 12.2.062–81.

4. Оборудование и субстрат для ресурсных испытаний режущих элементов

4.1. Ускоренные ресурсные испытания проводятся на установке (рис. 1, 2).

Установка обеспечивает:

– резание субстрата с линейной скоростью испытуемого режущего элемента $\approx 3,7$ м/с;

– проведение испытаний режущих элементов с упрочненной рабочей поверхностью различными методами упрочнения, с целью определения рационального и эффективного метода упрочнения;

– проведение испытаний режущих элементов в субстрате, имитирующем растительную среду (древесные опилки, мелкий песок, кислотные добавки).

4.2. Эксплуатационные испытания режущих элементов проводятся в условиях эксплуатации сельскохозяйственных машин, предназначенных для измельчения кормов, с использованием сбалансированной кормовой смеси из растительных компонентов с добавлением премиксов (смеси витаминов, минералов и других биологически активных веществ, предназначенных для обогащения традиционных кормов и компенсации их недостатка в рационе животных).

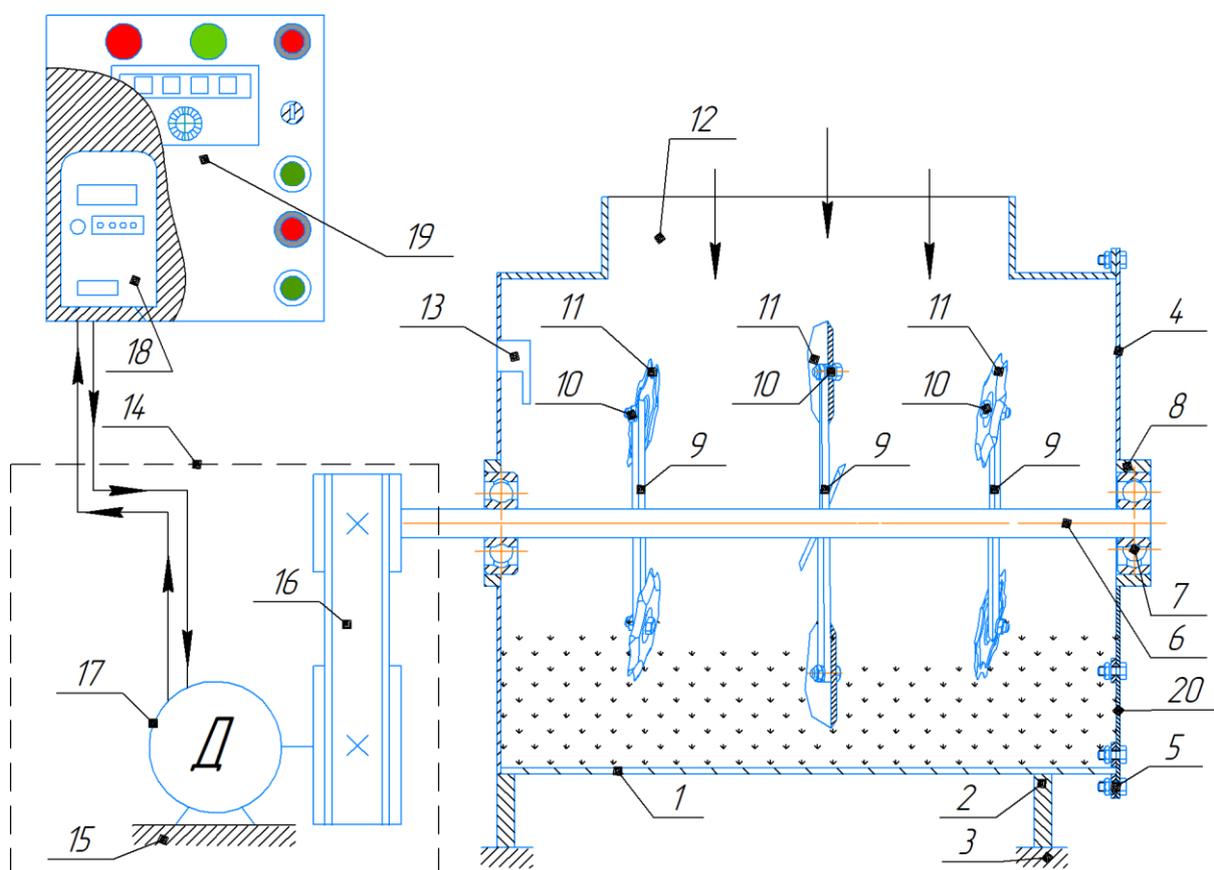


Рис. 1. Схема установки для ускоренных испытаний на коррозионно-механический износ режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства и кормопроизводства:

1 – корпус; 2 – стойка; 3, 15 – опора; 4 – крышка; 5, 10 – болтовое соединение; 6 – вал; 7 – подшипник качения; 8 – втулка; 9 – пластина; 11 – испытуемые режущие элементы; 12 – загрузочное окно; 13 – датчик влажности; 14 – приводной механизм; 16 – ременная передача; 17 – электродвигатель; 18 – частотный преобразователь; 19 – модуль управления; 20 – выгрузное окно

4.3. Устройство установки: корпус установки 1, стойки 2 устанавливаемые на опоре 3, крышка 4 закрепленная при помощи болтового соединения 5 на корпусе установки 1, обеспечивающая монтаж и демонтаж вращающегося вала 6, закрепляемого в подшипниках 7, устанавливаемых во втулках

8, к вращающему валу 6 под углом 90° друг к другу приварены держатели 9, к их краям при помощи болтового соединения 10 закреплены испытуемые режущие элементы 11, загрузочного окна 12, датчика влажности 13, приводного механизма 14 установленного на опоре 15 и включающего в себя ременную передачу 16 и электродвигатель 17, регулировка частоты вращения вала 6, осуществляется частотным преобразователем 18, установленным в модуле управления 19, выгрузное окно 20.

4.4. Общий вид установки для ускоренных испытаний на коррозионно-механический износ режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства представлен на рис. 2.



Рис. 2. Установка для ускоренных испытаний на коррозионно-механический износ режущих элементов сельскохозяйственных машин для животноводства и кормопроизводства

4.5. Крепление испытуемых режущих элементов: испытуемые режущие элементы при помощи болтового соединения неподвижно закрепляются на держателях, как показано на рис. 3.

В левой и правой рабочей зоне испытуемые режущие элементы крепятся на держатели, таким образом, что рабочая поверхностью направлена к стороне средней рабочей зоне. В рабочей зоне два испытуемых режущих элемента крепятся на держатели, расположенные под углом 180° друг к другу, рабочей поверхностью направленной в сторону правой рабочей зоне, другие два – аналогичным образом, но рабочей поверхностью направленной в сторону левой рабочей зоне.

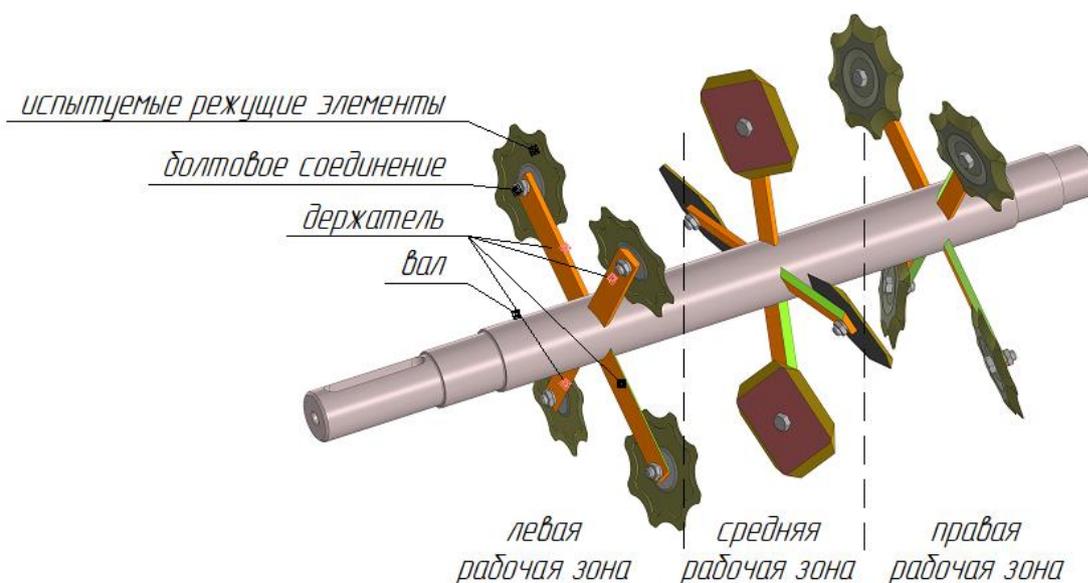


Рис. 3. Крепление испытываемых режущих элементов на валу установки

Такое крепление испытываемых режущих элементов позволит обеспечить смешивание абразива приближая испытания к реальным условиям.

4.6. Модуль управления (рис. 4) установкой обеспечивает включение, регулировку частоты вращения испытываемых режущих элементов, изменение направление вращения (прямое и обратное) вала стеновой установки и выключение.

Модуль управления установкой дополнительно оснащен кнопкой «СТОП» для экстренного торможения и кнопкой «СТОП ВРАЩЕНИЕ» обеспечивающей плавную остановку вращения вала установки.

4.7. Принцип работы установки: включают приводной механизм установки 14 и испытываемые режущие элементы 11 начинают вращение. Через загрузочное окно 12 загружается субстрат, имитирующий растительную среду. Регулировка скорости резания производится изменением частоты вращения электродвигателя 17 при помощи частотного преобразователя 18, установленного на модуле управления 19. Испытуемые режущие элементы 11 прорезают и смешивают субстрат заданное время, согласно методике испытаний. Для контроля уровня влажности в корпус установки 1 встроен датчик влажности 13. Периодическая замена субстрата осуществляется через выгрузное окно 20 при отключённом от сети установки.



Рис. 4. Модуль управления стеновой установкой

4.8. Субстрат, загружаемый в установку, должен имитировать растительную среду, обеспечивающую коррозионно-механическое изнашивание, и содержать в себе следующие компоненты:

– древесные опилки крупной фракцией (от 3,0 до 5,5 мм). Опилки содержат до 70 % углеводов (целлюлоза и гемицеллюлоза) и до 30 % лигнина. Химический состав опилок: до 50 % углерод, до 6 % водород, до 44 % кислород и около 0,1 % азот.

– мелкозернистый кварцевый песок (от 0,1 до 0,25 мм). Согласно ГОСТ 22551–2019, мелкозернистый кварцевый песок должен содержать: диоксида кремния (SiO₂) – не менее 95 %; глины – не более 1 %; железа – до 1 %.

– кислотные добавки:

1. Молочная кислота (пищевая добавка для животных, состоящая из 75 % собственно молочной кислоты и 15 % её ангидрида). Является основным консервантом силоса, способствует повышению кислотности и подавлению патогенной и гнилостной микрофлоры.

2. Уксусная кислота (этановая кислота, метанкарбоновая кислота) – слабая одноосновная органическая кислота, относящаяся к классу предельных карбоновых кислот. Уксусная кислота играет важную роль в поддержании стабильности силоса, препятствуя его согреванию. Корм с высоким содержанием уксусной кислоты (больше 3 % к сухому веществу) хуже поедается коровами, и в результате сокращается общая молочная продуктивность.

3. Масляная кислота (бутановая кислота) – слабая химическая органическая кислота, относящаяся к классу предельных карбоновых кислот. В хорошем силосе масляная кислота отсутствует, однако присутствие ее в корме свидетельствует о загрязнении корма и начавшемся процессе распада белка, который провоцирует появление неприятного запаха и быструю порчу силоса.

– вода, обеспечивающая повышению влажности среды и в целом субстрата.

4.9. Влажность среды должна находиться в пределах от 10 до 90 %, а фракционный состав – соответствовать наличию частиц до 5,5 мм древесных опилок и до 0,25 мм мелкозернистого кварцевого песка.

4.10. Контроль уровня влажности осуществляется с помощью гигрометров.

4.11. Контроль кислотности осуществляется рН-метром.

4.12. Контроль геометрических параметров исследуемых изделий осуществляется контактными методами измерения (штангенциркуль).

4.13. Контроль массы исследуемых режущих элементов осуществляется при помощи высокоточных лабораторных весов с точностью 0,0001 г.

4.14. Для анализа изменения геометрии лезвия режущего элемента в процессе коррозионно-механического изнашивания с его профиля снимают оттиски на свинцовые, медные или алюминиевые пластинки. Схема приспособления для получения оттисков профилей лезвий приведена на рис. 5.

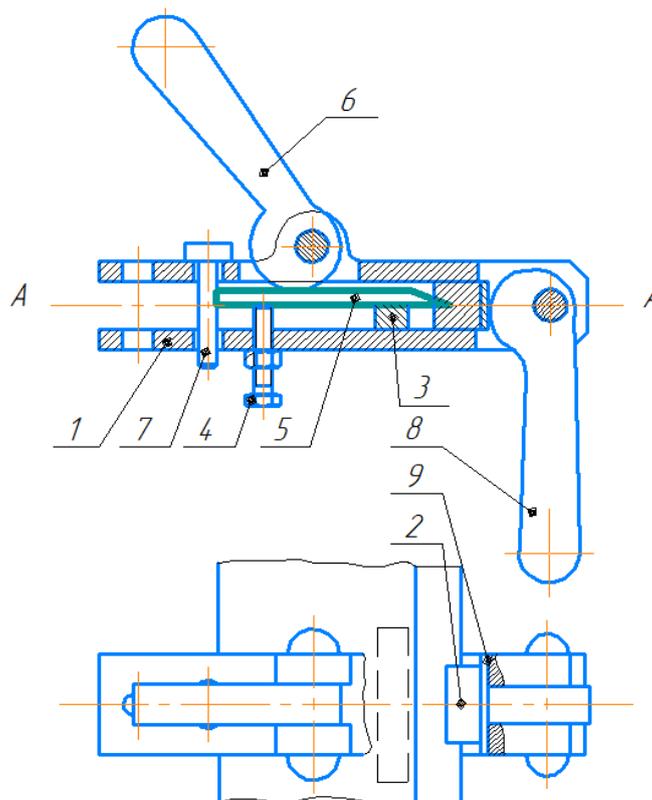


Рис. 5. Схема приспособления для получения оттисков профилей лезвия:

- 1 – направляющая; 2 – пластинка; 3 – упор; 4 – регулировочный болт;
5 – режущий элемент; 6 – установочный эксцентрик; 7 – опорный палец;
8 – натяжной эксцентрик; 9 – стальная пластина

Режущий элемент 5 устанавливается в приспособление параллельно оси А–А с помощью упора 3 и регулировочного болта 4 и фиксируется в таком положении при помощи установочного эксцентрика 6 и опорного пальца 7.

При вращении натяжного эксцентрика 8 стальная пластина 9 по направляющим 1 перемещается и вдавливает пластинку 2 лезвия ножа. В результате на пластинке получается оттиск фактической конфигурации лезвия.

Применяемые для этих целей методы и оборудование должны обеспечивать получение четкого и неискаженного профиля, позволяющего при последующем увеличении проекционными оптическими приборами измерять геометрические параметры лезвия с погрешностью не более 10 % при доверительной вероятности 0,7–0,95.

5. Экспериментальные и эталонные образцы (режущие элементы)

5.1. Экспериментальные образцы (режущие элементы) могут быть изготовлены по индивидуальным геометрическим параметрам, но не должны превышать *max* и *min* значений по диаметрам и длине от центра крепления их к держателю: $D_{\max} = L_{\max} = 100$ мм, $D_{\min} = L_{\min} = 65$ мм. Рекомендуемые геометрические параметры экспериментальных режущих элементов приведены на чертеже (рис. 6).

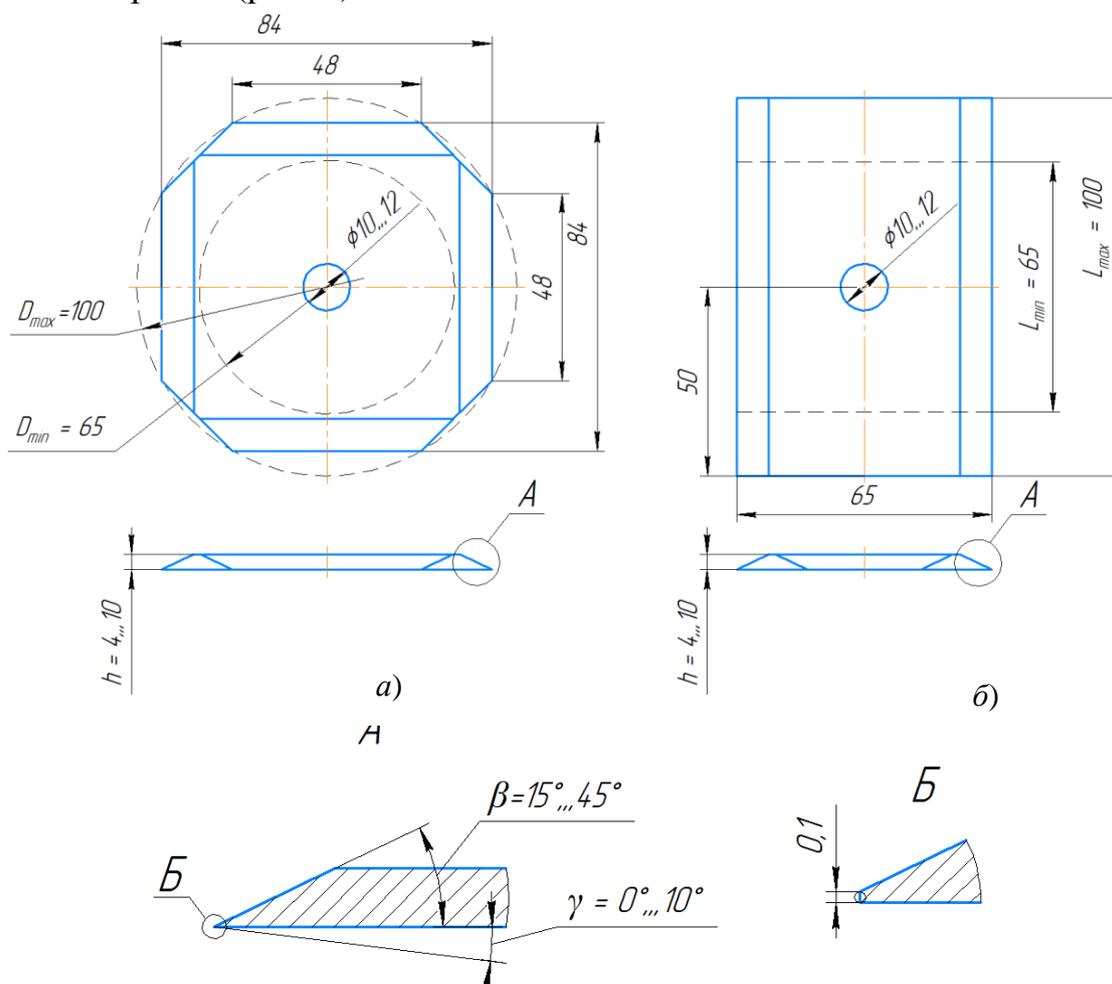


Рис. 6. Рекомендуемые геометрические параметры испытуемых режущих элементов:
а) круглой и квадратной формы; б) прямоугольной формы

5.2. Материал режущих элементов и их исполнение выбирают в зависимости от поставленной задачи, при этом исследования позволяют выявить наиболее подходящую марку стали для рабочих органов, эксплуатируемых в определенных условиях с заданными параметрами.

5.3. Эталонными образцами являются оригинальные режущие элементы рабочих органов горизонтальных смесителей кормораздатчиков компаний DeLaval, Celikel, KUHN и др. (рис. 7), геометрические параметры которых позволяют установить в испытательную установку.

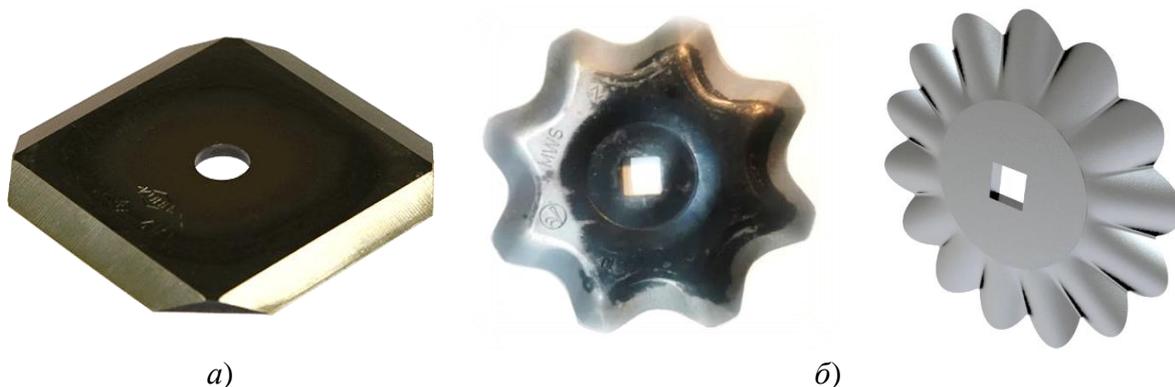


Рис. 7. Эталонные режущие элементы рабочих органов горизонтальных смесителей кормораздатчиков:

а) сегмент квадратной формы; *б)* сегменты звездообразной формы

5.4. Конструктивные параметры стендовой установки позволяют обеспечить проведение ускоренных ресурсных испытаний режущих элементов треугольной формы (рис. 8*а, б*), в том числе треугольной изогнутой формы (рис. 8*в*) используемых чаще всего во фрезерных агрегатах самоходных смесителей-кормораздатчиков. Для этого на установке необходимо предусмотреть места для крепления таких режущих элементов на держателе установки.

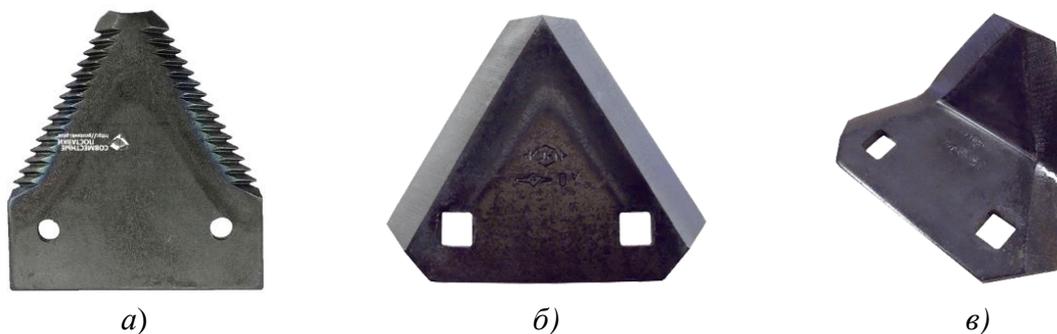


Рис. 8. Режущие элементы рабочих органов фрезерных агрегатов самоходных смесителей-кормораздатчиков:

а) зубчатый треугольный; *б)* треугольный; *в)* треугольный изогнутый

5.5. Рабочая поверхность (режущая часть) режущих элементов может быть упрочнена различными современными технологиями, с целью повышения коррозионно-механической стойкости. При этом испытания, на установке, позволяют выявить наиболее эффективный метод упрочнения рабочей поверхности при заданных условиях эксплуатации.

6. Подготовка к испытаниям

6.1. Испытуемые режущие элементы маркируют на нерабочей поверхности с помощью лазерного гравировщика по металлу.

6.2. Проверяют эталонные и испытуемые образцы на наличие коррозионных пятен. При их обнаружении удаляют коррозионные пятна механической обработкой, если удалить не получается, то считают количество коррозионных пятен и заносят данные в первичный протокол исследований (приложение 1).

6.3. Снимают оттиски и измеряют исходные геометрические и физические параметры: максимальный диаметр (D_{\max} , мм) или длину (L_{\max} , мм), толщину (h , мм) и массу (m , г). Результаты измерений заносят в первичный протокол исследований (приложение 1).

6.4. В зависимости от этапа испытаний испытуемые образцы устанавливают соответственно на машине (этап 2) или в установку (этап 1), при этом держатели установки имеют собственную нумерацию, что позволяет фиксировать крепление испытуемых образцов в специальный протокол (приложение 2).

6.5. При испытании образцов, согласно этапу 2, устанавливают необходимую частоту вращения вала установки с закрепленными на нем ножами.

6.6. Загружают в бункер субстрат: 1 – древесные опилки крупной фракцией (от 25 до 40 % объема бункера); 2 – мелкозернистый кварцевый песок (10 % от объема смеси в бункере); 3 – вода (от 1 до 5 л); кислоты (молочной от 0,5 до 1 %; уксусной от 5 до 10 % и масляной от 5 до 10 %) от объема воды.

7. Проведение испытаний

7.1. Режимы испытаний по второму этапу (эксплуатационные испытания) выбирают согласно условиям эксплуатации машин для смешивания и измельчения кормов.

7.2. При ускоренных ресурсных испытаниях запускают установку через модуль управления (рис. 4) путем проворачивания ключа «Замок включения». Кнопка «Вращение вперед» задает обороты вращения вала соответствующему вращению по часовой стрелке. Важно при остановке вращения вала кнопкой «Стоп вращение» дождаться полную остановку вращения. При необходимости кнопкой «Вращение назад» возможно задать направление вращения вала в обратную сторону, соответствующую направлению вращения против часовой стрелки. Через установленные промежутки времени, соответствующие определенной наработке ножей, испытуемые образцы поочередно снимают со стендовой установки, удаляют с них остатки субстрата, измеряют массу (m_{l-n} , г), снимают оттиски профиля лезвий (β_{l-n} , град.), измеряют износ по толщине (h_{l-n} , мм), износ по диаметру (D_{l-n} , мм) или износ по длине (L_{l-n} , мм) образца. Результаты заносятся в промежуточный протокол испытаний (приложение 3).

7.3. На каждом этапе испытаний измеряют кислотность среды pH и ее влажность (ϕ , %), заносая данные в промежуточный протокол (приложение 1).

7.4. По окончании испытания выключают установку проворачиванием в обратную сторону ключа «Замок включения». Дожидаются полной остановки вращения вала с ножами.

7.5. В каждом опыте испытанию подвергаются опытные и эталонные образцы одновременно. Для получения сопоставимых данных испытаний в каждом опыте продолжают до определенного выбранного предельного износа эталонного образца.

7.6. В случае, когда предельный износ возникает первый у эталонного образца, возможно продолжить испытания испытуемых образцов до наступления их предельного износа, с целью выявления сравнительных ресурсных испытаний (наработки ножей).

7.7. Согласно данной методике предельным износом, эталонных и испытуемых рабочих органов, является износ их рабочей (режущей) части. В случае самозатачивания рабочего органа, предельным износом считать износ 70 % площади режущего элемента.

7.8. Нарботка образцов в процессе испытания в производственных условиях учитывается в физических единицах произведенного продукта. При ускоренных ресурсных испытаниях наработка учитывается в циклах нагружения лезвий при резании.

8. Обработка результатов исследований

8.1. По результатам взвешивания испытуемых образцов до и после испытаний на коррозионно-механическое изнашивание в определенных условиях эксплуатации, определяется средняя потеря масс образцов из эталонного материала $m_{\text{ЭТ}}$ и средняя потеря массы образцов из исследуемого материала $m_{\text{№1}}$:

$$\begin{aligned}m_{\text{Э}} &= \sum_n^n m_{\text{Э}i}, \\m_{\text{№1}} &= \sum_n^n m_{\text{№1}i}, \\m_{\text{№}i} &= \sum_n^n m_{\text{№}i-i},\end{aligned}$$

где $m_{\text{Э}}$, $m_{\text{№1}}$, $m_{\text{№}i}$ – потеря массы для отдельных испытаний эталонных и испытуемых образцов, г.

Интенсивность износа, г/мин., определяем по формуле:

$$\begin{aligned}t_{m_{\text{Э}}} &= \frac{m_{\text{Э}}}{t}, \\t_{\text{№1}} &= \frac{m_{\text{№1}}}{t}, \\t_{\text{№}i} &= \frac{m_{\text{№}i}}{t},\end{aligned}$$

где $t_{m_{\text{Э}}}$, $t_{\text{№1}}$, $t_{\text{№}i}$ – соответственно интенсивность износа испытаний эталонных и испытуемых образцов, г/мин., t – общая продолжительность испытаний, мин.

Относительную износостойкость исследуемого материала определяют:

$$U_{\text{э}} = t_{m_{\text{э}}} \cdot \rho_{\text{э}},$$

$$U_{\text{№1}} = \frac{t_{m_{\text{э}}} \cdot \rho_{\text{э}}}{t_{\text{№1}} \cdot \rho_{\text{№1}}},$$

$$U_{\text{№i}} = \frac{t_{m_{\text{э}}} \cdot \rho_{\text{э}}}{t_{\text{№i}} \cdot \rho_{\text{№i}}},$$

где $\rho_{\text{э}}$, $\rho_{\text{№1}}$, $\rho_{\text{№i}}$ – соответственно плотность эталонного и исследуемого материалов, г/см³.

Условия проведения испытаний (характеристики материалов, режимы испытаний) и результаты измерений записывают в протокол испытаний (приложение 3).

По полученным результатам строят графические зависимости сравнительных испытаний относительной износостойкости испытуемых эталонных и опытных образцов с указанием кривой интенсивности износа, позволяющих оценить износостойкость опытных образцов в сравнении с эталонным образцом в зависимости от наработки.

8.2. После испытания образцов для анализа изменения геометрии лезвия в процессе изнашивания и распределения линейного износа на поверхности лезвия строят сетку изнашивания. Сетка изнашивания профиля, а также схема изменения толщины режущей кромки 2ρ , износа по ширине ΔC и угла заточки β двухслойных (исполнение I) и однослойных (исполнение II) лезвий представлена на рис. 9.

С учетом расстояния C_k^i или износа образца по ширине ΔC_k^i совмещают изображение профилей лезвия, полученные для определенных наработок T_k образца. Затем проводят линии изнашивания, ортогональные профильным кривым поверхностей трения лезвия (на рис. 9 они представлены пунктирными линиями).

Линейный износ в точках лезвия измеряют как части дуг линий изнашивания, заключенных между соответствующими профильными кривыми.

В случае неравномерного изнашивания лезвия по его длине для выполнения измерений необходимо выбрать такие постоянные для всех образцов участки лезвия, где разность в изнашивании наименьшая.

Средние значения результатов измерения геометрических параметров лезвия и износа образцов подсчитываются по формулам:

– толщина режущей кромки образца $2\rho_k$, мм:

$$2\rho_k = \frac{\sum_{i=1}^n 2\rho_k^i}{n},$$

где $2\rho_k^i$ – толщина режущей кромки образца i -го размера; n – число замеров ($n \geq 4$).

– износ образца по ширине (по нормали к лезвию) ΔC_k , мм:

$$\Delta C_k = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta C_k^i}{n},$$

где ΔC_k^i – износ по ширине образца при наработке T_k , $\Delta C_k^i = C^i - C_k^i$; n – число замеров ($n = 10-20$);

– угол заточки β_k , град.:

$$\beta_k = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_k^i}{n},$$

где β_k^i – угол заточки образца i -го размера; n – число замеров ($n \geq 4$).

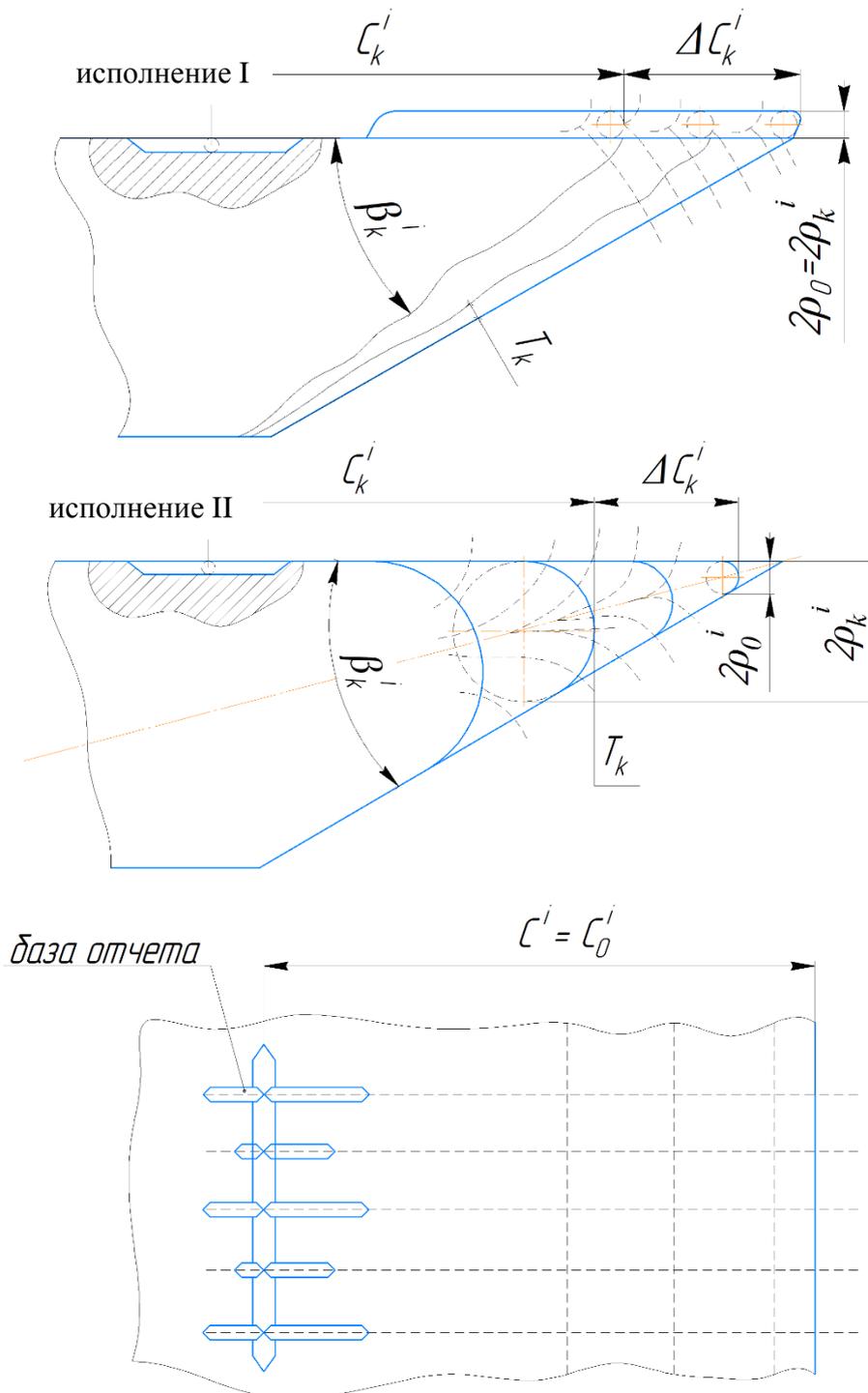


Рис. 9. Сетка изнашивания профиля и схема измерения толщины режущей кромки режущего элемента

Полученные результаты измерений износа режущих элементов по толщине режущей кромки, ширине (по нормали к лезвию) и углу заточки заносят в протокол испытаний (приложение 4).

По полученным результатам испытаний для опытных и эталонных образцов строят графические кривые зависимости геометрических и износных характеристик типа «толщина режущей кромки – наработка», «износ по нормали к лезвию – угол наклона лезвия» и др., позволяющие оценить износостойкость и самозатачиваемость одно и двухслойных лезвий.

В тех случаях, когда описать с требуемой точностью профильные кривые дугами окружностей не удастся, следует привести масштабное изображение сравниваемых профилей (с нанесенной сеткой изнашивания), полученных путем усреднения четырех и более фактических профилей для каждого из последовательных наработок режущего элемента. Изображения профилей используют для описания изнашивания лезвия.

8.3. После испытания образцов для анализа изменения геометрических параметров по диаметрам или длине от центра крепления их к держателю: D , L мм и высоты H мм, а также толщине h мм, режущего элемента на его поверхности строят сетку изнашивания.

Сетка изнашивания диаметра ΔD (для круглых режущих элементов), длины ΔL , высоты ΔH , а также схема изменения толщины Δh режущего элемента представлена на рис. 10.

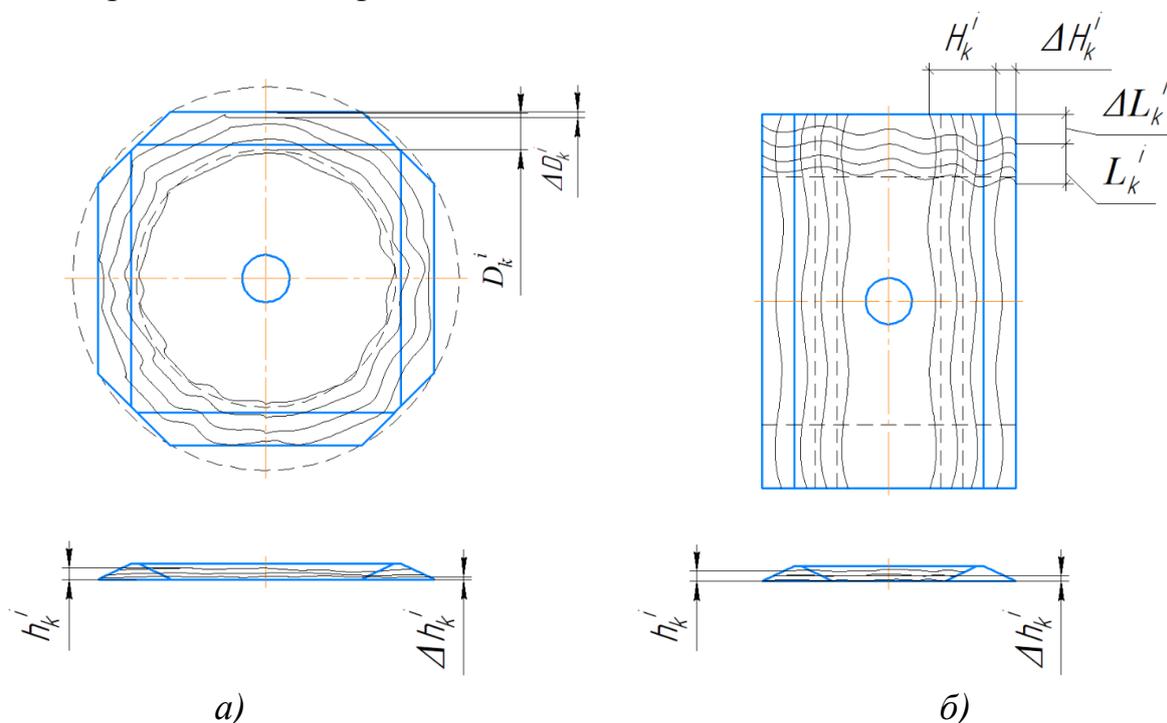


Рис. 10. Сетка изнашивания геометрических параметров режущего элемента:
а) круглой формы; б) прямоугольной формы

Средние значения результатов измерения геометрических параметров режущего элемента подсчитываются по формулам:

износ по толщине режущего элемента Δh_k , мм

$$\Delta h_k = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta h_k^i}{n},$$

где Δh_k^i – износ по толщине режущего элемента при наработке T_k , $\Delta h_k^i = h^i - h_k^i$; n – число замеров ($n = 10-20$).

8.4. Показателем коррозионной стойкости при коррозии пятнами является время (t_p) достижения допустимой степени поражения поверхности (по ГОСТ 9.908–85).

Показатели коррозионной стойкости определяют из временной зависимости соответствующего интегрального показателя коррозии графическим способом, приведенным на схеме (рис. 11), или аналитически из его эмпирической временной зависимости $y = f(\tau)$, находя для допустимого (заданного) значения $y_{\text{доп}}$ соответствующую величину $\tau_{\text{доп}}$.

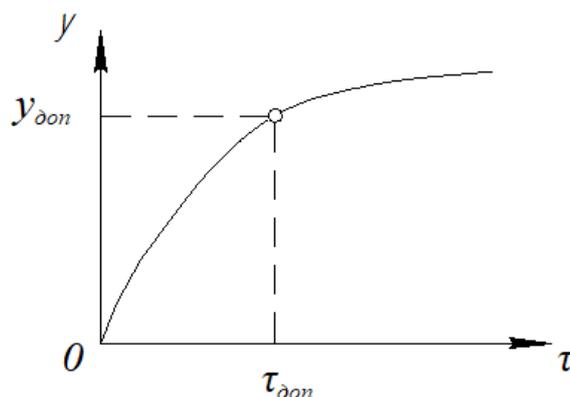


Рис. 11. Схема зависимости коррозионного эффекта (интегрального показателя) y от времени (ГОСТ 9.908–85)

Результаты исследований по коррозионной стойкости при коррозии пятнами записываются в протокол исследования (приложение б), где указывается количество пятен i -го измерения и определяется степень поражения поверхности металла коррозией пятнами (G).

Площадь каждого пятна определяют планиметром. При невозможности такого измерения пятно очерчивают прямоугольником и вычисляют его площадь. Степень поражения поверхности металла коррозией пятнами (G) в процентах вычисляют по формуле

$$G = \frac{\sum_{i=0}^n S_i}{S} \cdot 100,$$

где S_i – площадь i -того пятна, м; n – количество пятен; S – площадь поверхности образца, м.

Допускается при коррозии пятнами определять степень поражения поверхности коррозией с помощью сетки квадратов.

Металлографический метод оценки коррозионных поражений определяется по с.7 ГОСТ 9.908–85.

8.5. Исследование кислотности pH проводятся по ГОСТ 33776–2016.

8.6. По общим результатам исследований формируют итоговый протокол исследований (приложение 7). В нормативно-технической документации, устанавливающей требования к коррозионно-механическому изнашиванию режущих элементов, работающих в растительных средах, а также в протоколах испытаний необходимо ссылаться на настоящую методику с описанием условий и режимов испытаний, например:

«В результате испытаний на первом этапе (*стендовые ускоренные ресурсные испытания*) установлены: относительная износостойкость по сравнительным данным масс режущих элементов в 1,5 раза выше у испытуемых образцов № 4, 7 и 12, выполненных из марки 09Г2С с упроченной рабочей поверхностью методом сверхвысокочастотного индукционного нагрева с применением борсодержащей пасты, толщина режущей кромки $2\rho = 0,3$ мм, износ по нормали к лезвию $\Delta C = 1,1$ мм, угол заточки $\beta = 15^\circ$, износ режущего элемента по высоте $\Delta H_k = 5$ мм, износ по ширине образца $\Delta C_k^i = 5$ мм, которые получены при резании субстрата: древесные опилки крупной фракцией (5,5 мм), мелкозернистый кварцевый песок (0,15 мм), воды объемом 1 л, и кислот (масляной – 0,5 %, молочной – 5 % и уксусной – 5 %) от объема воды, влажность 80 %, кислотность pH = 4,7, скорости резания $\vartheta = 20$ м/с, угле наклона лезвия $\alpha = 45^\circ$ и наработке 10 ч».

Список использованных источников

1. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания режущих элементов в растительных средах: методические указания МУ 105-0-068–83 / А.И. Бойко, П.И. Прокопцев, М.Н. Ерохин, Б.Д. Платонов. М.: ВНИИживмаш, 1984. 15 с.
2. Методика производственных испытаний режущего инструмента по оценке эффективности упрочняющих технологий / С.Н. Постников, А.Е. Силуанов, Е.Б. Райкова, Н.В. Герасимова. Нижний Новгород: Ротапринт Горьковского ЦНТИ, 1989. 15 с.
3. Ерохин М.Н., Григорьев А.В. Методика прогнозирования ресурсных опытных деталей приводов сельскохозяйственных машин. М.: МСХА, 1993. 11 с.
4. ГОСТ 23.205–79. Обеспечение износостойкости изделий. Ускоренные ресурсные испытания с периодическим форсированием режима. М., 1979. 8 с.
5. ГОСТ 9.908–85. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. М., 1985. 17 с.
6. ГОСТ 12.2.003–91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2008. 11 с.
7. ГОСТ 19348–82. Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические требования. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1991. 11 с.
8. ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 12 с.
9. ГОСТ 12.4.026–2015. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. М., 2016. № 614-ст. 95 с.
10. ГОСТ 12.2.062–81. Система стандартов безопасности труда оборудование производственное ограждения защитные. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008. 4 с.
11. ГОСТ 27674–88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. М., 1989. 21 с.
12. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. М., 2022. 46 с.

ПРОТОКОЛ ПЕРВИЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ № _____ « ____ » _____ 20__ г.
ресурсных испытаний на коррозионно-механический износ режущих элементов
сельскохозяйственных машин для животноводства

ФИО _____

Форма режущего элемента _____

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Тип режущего элемента	Упрочненная рабочая поверхность / метод упрочнения	m, г	Коррозионно-механический износ				
			Наличие пятен коррозии	Кол-во пятен коррозии	Средняя площадь пятна коррозии, мм	Наружный диаметр, D_{max} , мм., или длина, L_{max} , мм.	Толщина, h_{max} , мм
Эталонный образец № 1							
Испытуемый образец № 1							
Эталонный образец № 2							
Испытуемый образец № 2							
.....							
.....							
n-n							

Исполнитель _____

Подпись _____

Дата _____

ПРОТОКОЛ № _____ « _____ » _____ 20__ г.
 крепления испытуемых режущих элементов в установку перед началом испытаний

Схема крепления	Нумерация держателя	Испытуемый / эталонный образец	Материал	Упрочненная рабочая поверхность / метод упрочнения
	1	Эталонный образец № 1		
	2	Испытуемый образец № 1		
	3	Испытуемый образец № 2		
	4	Испытуемый образец № 3		
	5	Эталонный образец № 2		
	6	Испытуемый образец № 4		
	7	Испытуемый образец № 5		
	8	Испытуемый образец № 6		
	9	Эталонный образец № 3		
	10	Испытуемый образец № 7		
	11	Испытуемый образец № 8		
	12	Испытуемый образец № 9		

Исполнитель _____

Подпись _____

Дата _____

ПРОТОКОЛ № _____ «__» _____ 20__ г.

испытаний на износостойкость материалов по результатам сравнительных данных по массе режущих элементов

Характеристика материалов

Режущий элемент	Материал	Упрочненная рабочая поверхность / метод упрочнения	ГОСТ, ТУ	Термообработка	Твердость, HV	Плотность материала, г/см ³	ГОСТ, ТУ
Эталонный образец № 1							
Испытуемый образец № 1							
.....							
Испытуемый образец № n-i							

Субстрат		
Песок	Вода	Кислоты

Режим испытаний

Частота вращения, мин ⁻¹	Продолжительность испытаний, мин	Кол-во остановок, раз	Продолжительность остановок, мин	Общая продолжительность испытаний, мин

Результаты испытаний

Режущий элемент	Материал	Номер испытаний	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Износ, г	Средний износ, г	Интенсивность износа, г/мин	Относительная износостойкость	Общая продолжительность испытаний, мин
Эталонный образец № 1									
Испытуемый образец № 1									
Испытуемый образец № n-i									

Исполнитель _____

Подпись _____

Дата _____

ПРОТОКОЛ № _____ « _____ » _____ 20__ г.

анализа изменения геометрии лезвия в процессе изнашивания и распределения линейного износа на поверхности лезвия

Результаты исследований

Режущий элемент	Материал	Номер испытаний	Толщина режущей кромки образца <i>i</i> -го размера ($2\rho_k^i$)	Толщина режущей кромки образца $2\rho_k$, мм	Износ по ширине образца при наработке T_k ; $\Delta C_k^i = C^i - C_k^i$	Износ образца по ширине (по нормали к лезвию) ΔC_k , мм	Угол заточки образца <i>i</i> -го размера β_k^i	Угол заточки β_k , град.	Масштабное изображение сравниваемых профилей (с нанесенной сеткой изнашивания)
Эталонный образец № 1									
Испытуемый образец № 1									
Испытуемый образец № n-i									

Исполнитель _____

Подпись _____

Дата _____

ПРОТОКОЛ № _____ « _____ » _____ 20__ г.
анализа изменения геометрических параметров режущего элемента

Результаты исследований

Режущий элемент	Материал	Номер испытаний	Износ по толщине режущего элемента Δh_k , мм	Износ режущего элемента по длине ΔL_k , мм	Износ по ширине образца при наработке T_k ; $\Delta C_k^i = C^i - C_k^i$	Износ режущего элемента по диаметру ΔD_k , мм	Угол заточки образца i -го размера β_k^i	Износ режущего элемента по высоте ΔH_k , мм	Масштабное изображение сравниваемых профилей (с нанесенной сеткой изнашивания)
Эталонный образец № 1									
Испытуемый образец № 1									
Испытуемый образец № n-i									

Исполнитель _____

Подпись _____

Дата _____

ПРОТОКОЛ № _____ «____» _____ 20__ г.
 коррозионной стойкости при коррозии пятнами

Результаты исследований

Тип рабочего органа	Материал	Упрочненная рабочая поверхность / метод упрочнения	Коррозионно-механический износ			Фото исследования
			Наличие пятен коррозии	Кол-во пятен коррозии	Степень поражения поверхности металла коррозией пятнами (G)	
Эталонный образец № 1						
Испытуемый образец № 1						
Эталонный образец № 2						
Испытуемый образец № 2						
.....						
.....						
n-n						

Исполнитель _____

Подпись _____

Дата _____

ИТОГОВЫЙ ПРОТОКОЛ № _____ « _____ » _____ 20__ г.
ресурсных испытаний на коррозионно-механический износ режущих элементов
сельскохозяйственных машин для животноводства

ФИО _____

Загружаемый субстрат _____

Время испытаний _____

Опилки, % загрузки _____

Песок, кг _____

Вода, л _____

Форма режущего элемента _____

Кислоты, %:

 молочная _____

 уксусная _____

 масляная _____

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Тип рабочего органа	Материал	Упрочненная рабочая поверхность / метод упрочнения	Кислотность, рН	Влажность, ф, %	Коррозионно-механический износ						
					Степень поражения поверхности металла коррозией пятнами (G)	Толщина режущей кромки образца 2 _{рк} , мм	Угол заточки β _к , град.	Износ образца по ширине (по нормали к лезвию) ΔC _к , мм	Износ по наружному диаметру, D, мм	Износ по толщине образца, h, мм	Относительная износостойкость
Эталонный образец № 1											
Испытуемый образец № 1											
Эталонный образец № 2											
Испытуемый образец № 2											
.....											
.....											
п-п											

Заключение.

Руководитель подразделения _____ (ФИО)

Исследователь _____ (ФИО)

Научное издание

ЕРОХИН Михаил Никитьевич
КАЗАНЦЕВ Сергей Павлович
СКОРОХОДОВ Дмитрий Михайлович
ЧУПЯТОВ Николай Николаевич
ПАВЛОВ Александр Сергеевич
САМУКОВ Николай Дмитриевич

МЕТОДИКА

ресурсных испытаний режущих элементов
сельскохозяйственных машин
для животноводства и кормопроизводства

Издается в авторской редакции

Подписано в печать 14.05.2025. Формат 60×84/16.
Печ. л. 1,75. Тираж 300 экз. Заказ № 635.

Отпечатано в АНО Редакция журнала «МЭСХ»
127412, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44, корп. 2, e-mail: t_sams@mail.ru