

10. Определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Сокслета при получении спиртовой настойки из ягод клюквы / Б. Н. Федоренко, Д. М. Бородулин, М. В. Просин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 115-123. – DOI 10.21603/2074-9414-2020-1-115-123

11. Иванец, В. Н. Новые конструкции центробежных смесителей непрерывного действия для переработки дисперсных материалов / В. Н. Иванец, И. А. Бакин, Д. М. Бородулин // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2003. – № 4(275). – С. 94-97

12. Методика оценки безопасной эвакуации маломобильных граждан из зданий различного функционального назначения посредством уточнения параметров эвакуационного процесса / А. И. Фомин, Д. А. Бесперстов, И. М. Угарова [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 4. – С. 52-58

JUSTIFICATION OF INDIRECT METHODS FOR DETERMINING THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FOOD MEDIA

Oraevsky Saveliy Sergeevich, student of the Technological Institute, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: oraevskiy.ru@gmail.com

Makarova Anna Andreevna, Ph.D. tech. Sciences, senior lecturer of the Department of Processes and Processing Equipment, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: a.makarova@rgau-msha.ru

Donya Denis Viktorovich, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Processes and Processing Equipment, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, e-mail: doniadv@rambler.ru

Abstract: *rheological properties characterize the behavior of food masses under the influence of mechanical loads from the working parts of machines and can be used as controlled parameters in the creation of modern technological processes. The work identifies and analyzes the reasons for the low distribution of flow rheometers, and proposes a principle diagram of the operation of devices for monitoring changes in indirect rheological parameters.*

Key words: *rheology, structural and mechanical properties, rheometry, flow rheometry, food media mixers, quality.*

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА ЗУБЬЕВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРИ РАСЧЕТЕ ИХ НА ИЗГИБ

Попов Анатолий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры Мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: popov4116@yandex.ru

Плотников Константин Борисович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры Мехатроники и автоматизации технологических систем, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: k.b.plotnikov@mail.ru

Мехдиев Рауф Валех Оглы, аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: mehdiev23@mail.ru

Плотникова Ирина Олеговна, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры агроинженерии, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого», e-mail: plotnikova-io@mail.ru

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
Россия, г. Кемерово, e-mail: rector@kemsu.ru

Аннотация: статья содержит методологические подходы определения оценки прочности изношенных зубчатых передач, которые учитывают разнообразие условий эксплуатации и реальные физические процессы, происходящие в зубчатых передачах. Изменения в геометрии зуба при износе приводят к изменению распределения напряжений и его прочности. В результате проведенных исследований была получена зависимость изменения геометрического коэффициента по сечению зуба. Было установлено, что при износе зубьев до 17% можно пренебречь изменениями в изгибной прочности, что имеет практическое значение для оценки долговечности и надежности зубчатых передач.

Ключевые слова: износ, зубчатые передачи, предел прочности, сельскохозяйственная техника.

Механические передачи предназначены для преобразования механической энергии от привода (электрического или ДВС) к исполнительным механизмам. В сельскохозяйственной технике наибольшее распространение получили зубчатые передачи. Во время эксплуатации возникают различного рода факторы, которые напрямую влияют на прочность изношенных зубчатых передач. Например, в результате неравномерности износа, возможно образование дефекта материала, это является следствием воздействия различных нагрузок и температурных изменений - все это может значительно влиять на характеристики изношенных зубьев [1 - 3].

В результате работы зубчатых передач происходит их изнашивание что, в конечном счете, приводит к изменению распределения напряжений по

поверхности контакта зубьев, а также к изменению их прочности. Контроль над состоянием зубчатых передач в процессе эксплуатации позволяет выявлять и анализировать износ. На основе получаемых данных возникает возможность в более качественном обслуживании техники и повышении ее надежности.

На данный момент существует теоретическая база моделей для оценки прочности изношенных зубчатых передач, однако необходимо учитывать и широкий спектр внутренних внешних факторов влияющих на прочность зубьев. Исследования в данной области могут позволить повысить точность методов оценки состояния зубчатых передач и повысить качество контроля во время эксплуатации [4, 5]. Коэффициент износа [6] можно определить по следующему выражению:

$$K_u = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{W}{W'} = \left[\frac{a}{a'} \right], \quad (1)$$

где σ, σ' - напряжение, до и после износа

W, W' - момент сопротивления, до и после износа

a, a' - размер опасного сечения зуба, до и после износа

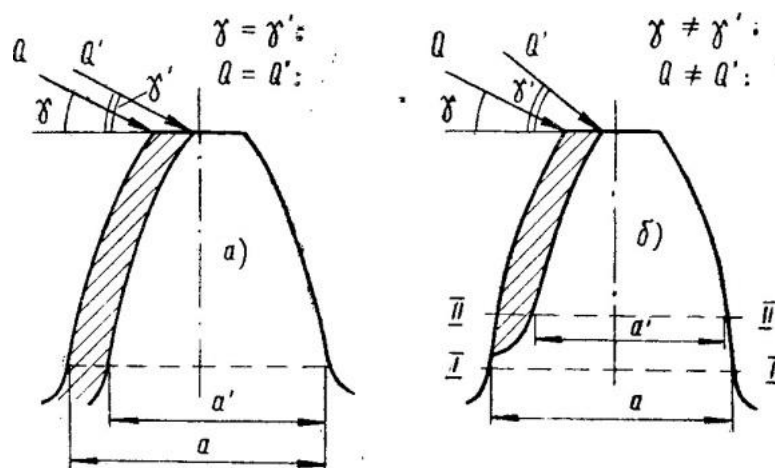


Рисунок 1 – Расчетные схемы зубьев:

а - по известному методу, б - по новому методу

На основе анализа коэффициента износа зубьев, возможно, судить о степени их износа. Данный коэффициент изменяется линейно в диапазоне от 15 до 30%. В период, когда износ зубьев достигает значения равного 15%, коэффициент износа становится равным 1,38. В данный момент времени превышение напряжения по сравнению с неизношенными зубьями составляет порядка 40%.

Профиль зуба в процессе работы претерпевает изменение, и он существенно отличается от изначального эвольвентного профиля, также происходит неравномерное изнашивание и по высоте зуба. Этот факт необходимо учитывать в расчетах на прочность, поскольку это может на прямую влиять на точность проводимых расчетов. Изнашивание приводит также и к

изменению угла под которым прикладываются силы нормального давления, в результате которого происходит перераспределение нагрузок и повышается скорость износа. Результатом данных геометрических изменений профиля зуба является тот факт, что происходит смещение опасного сечения в сторону головки зуба, меняется также и точка приложения нагрузки [7 - 10].

Экспериментальная часть исследований проводилась при варьировании параметров процесса при постоянных и переменных нагрузках. Также использовались различные типы смазок (жидкие, консистентные с абразивами и консистентные без абразивов). В качестве объекта исследований были выбраны эвольвентные зубчатые колеса разного модуля и числа зубьев с нулевой коррекцией. Зубчатые колеса принимались из различных материалов с целью анализа влияния твердости материала на искомые коэффициенты.

Учитывание перечисленных параметров является весьма сложной инженерной задачей, однако, это позволит разработать более точные методы, позволяющие следить за состоянием зубчатой передачи во время эксплуатации. На данный момент существуют упрощенные методы для определения прочности изношенных зубчатых колес, но стоит отметить, что они используют ряд допущений с целью упрощения их расчета, что в конечном итоге приводит к снижению точности определения искомой величины. Данный метод не учитывает концентрацию нагрузки, динамические аспекты и силы трения, что может привести к неточным результатам при анализе изгибной прочности подобных передач.

Напряжение в опасном сечении зуба можно определить по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{B \cdot m \cdot y'_i} \leq [\sigma], \quad (2)$$

где σ - напряжение в опасном сечении зуба I-I;

P - окружная сила;

B - ширина колеса;

m - модуль зацепления;

y'_i - коэффициент формы зуба, подсчитанный для опасного сечения I-I, при нагрузке, приложенной в вершине зуба;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение материала зуба на изгиб в соответствии циклу нагружения.

Значение коэффициента формы y'_i для сечения I-I определяется по формуле:

$$Y'_I = \frac{1}{\frac{m}{\cos \alpha} \left[\frac{6l \cos \gamma}{a^2} - \frac{\sin \gamma}{a} \right]}, \quad (3)$$

где: α - угол зацепления;

γ - угол давления;

a - размер зуба в опасном сечении;

l – плечо изгибающего момента.

Приняв

$$\frac{1}{\frac{6l \cos \gamma}{a^2} \frac{\sin \gamma}{a}} = y'_i \cdot \quad (4)$$

Получим из (3):

$$Y'_I = y'_i \cdot \frac{m}{\cos \alpha'} \quad (5)$$

На рисунке 1, б можно увидеть результаты исследований прочности зубьев, полученных из plexiglas xt на изгиб. В результате анализа полученных данных можно сделать вывод, что при износе более чем на 20%, линия излома проходит через зону II – II и не изменяет своего местоположения в дальнейшем до износа 30% и выше. Формула для определения прочности и долговечности изношенных зубьев примет вид:

$$\sigma_{I,II} = \frac{P}{B \cdot Y'_{I,II} \cos \alpha} \leq [\sigma], \quad (6)$$

Y'_{II} - геометрический коэффициент неизношенного зуба.

Y'_{uI} и Y'_{uII} - коэффициенты формы зуба для сечений I-I и II-II.

В результате расчета коэффициент Y'_{uI} было установлено, что в диапазоне износа зубьев от 0 до 15% наблюдается незначительное его изменение, до 5%. На рисунке 2 представлен график изменения геометрического коэффициента в сечении 1-1 при износе.

С целью упрощения расчетов введем упрощение заменив полученные значения отрезками АВ и ВС. Погрешность данного упрощения не велика и составляет 5% и 2% соответственно для участков АВ и ВС.

На основе графика $Y'_{uII} = f(\Delta S)$, получим следующее выражение, представленное ниже. При $\Delta S =$ от 0 до 15 %:

$$Y'_{uII} = Y'_{II} - 0,0013 \cdot \Delta S_u, \quad (7)$$

При $\Delta S =$ от 16 до 30%:

$$Y'_{uII} = Y'_{II} - 0,00155 \cdot \Delta S_u, \quad (8)$$

Формула 6 для расчетов изношенных зубьев, без принятия во внимание сил трения, примет следующий вид:

$$\sigma_{I,II} = \frac{P}{B \cdot Y'_{uI,II} \cos \alpha} \leq [\sigma], \quad (9)$$

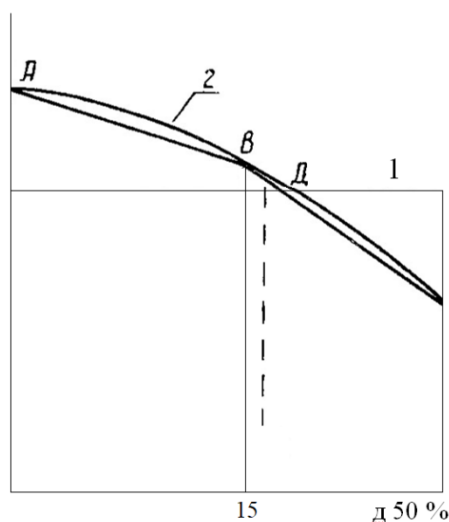


Рисунок 2 – Графики изменения геометрического коэффициента в сечении 1-1 при износе

При анализе данных представленных на графической зависимости (рисунок 2), можно сделать следующие заключения:

- При износе зубьев до 17% можно пренебречь изменениями в изгибной прочности, что имеет практическое значение для оценки долговечности и надежности зубчатых передач.

- Данные значения позволяют заложить основу для разработки скорректированных графиков планово-предупредительных ремонтов с учетом их реального износа, в конечном итоге это должно повысить эффективность работы техники в процессе ее эксплуатации.

- Повышение значения выше 17% приводит к возникновению существенных изменений в структурно-механических характеристиках передач, это требует более тщательного мониторинга в процессе работы техники.

Анализ влияния сил трения на прочность зубчатых передач необходимо проводить с учетом изменений условий контакта зубьев при их износе во время эксплуатации. Изменения геометрии зуба также приводят и к повышению сил трения в зоне контакта, что в результате приводит к ухудшению условий работы передачи. Эффект от сил трения зависит от многих факторов, как режимных, так и внешних. Это возможно при использовании комплексного подхода, который позволит определить реальное состояние передачи. Геометрический коэффициент можно определить с помощью приближенной эмпирической формулы. Формула представлена ниже:

$$Y = \frac{Y'}{1 \pm 0.02 \cdot \rho'} \quad (10)$$

где ρ - угол трения в $^{\circ}$.

Знак \pm в формуле 10, обозначает ведущие (+) и ведомое колесо (-).

Прочность изношенных зубьев прямозубых цилиндрических колес на

изгиб, с учетом основных факторов, можно определить по следующей формулой:

$$\sigma_{I,II} = \frac{P \cdot K_d \cdot K_{кнц}}{B \cdot Y'_{u I,II} \cos \alpha} \leq \left[\frac{\sigma_0}{n \cdot K_{\sigma I,II} \cdot K_{II} \cdot K_p} \right], \quad (11)$$

где K_d - динамический коэффициент;

$K_{кнц}$ - коэффициент концентрации нагрузки по длине зуба;

$K_{\sigma I,II}$ - эффективные коэффициенты концентрации напряжений в зоне I и

II,

K_{II} - коэффициент, учитывающий состояние рабочей поверхности зуба;

K_p - коэффициент, учитывающий повреждающее действие нагрузок, при которых изнашивался зуб (коэффициент потери резерва);

σ_0 - предел выносливости материала зуба при пульсирующем цикле;

n - коэффициент запаса прочности.

Повышение точности определения состояния зубчатых передач в период реальной эксплуатации возможно только при комплексном изучении коэффициентов K_d , K_p , $K_{\sigma I,II}$, K_{II} и $K_{кнц}$.

Заключение.

- Износ зубьев до определенного значения не приводит к резкому снижению их прочности на изгиб. При превышении данного значения в 15% для зубчатых колес и 20% для шестерен наблюдается снижение их прочности на изгиб вплоть до 40%.

- Недостаточная изученность данного вопроса, позволяет сделать вывод о необходимости дальнейших исследований, как в теоретической, так и в экспериментальной методике. Результатами таких исследований должны стать основой для разработки новых методик для контроля зубчатых передач.

Библиографический список

1. Сидоров В.Г., Козлов Д.С. Исследование износа и вибраций зубчатых передач в сельскохозяйственном оборудовании // Механика и машиностроение. - 2022. - №25. - С. 212-218.
2. Попов А.М., Мехдиев Р.В.О. Исследования износа и вибраций зубчатых передач в сельскохозяйственном оборудовании // Механики XXI века. - 2023. - №22. - С. 182-186.
3. Григорьев Д.Д., Чернов В.И., Карпов А.С. Воздействие износа от истирания на эволюцию зубчатых зацеплений // Журнал машиностроения и технических наук. - 2018. - Том 7. - С. 78-85.
4. Веселовский, А. А. Исследование износостойкости чугуновых прямозубых зубчатых колес с термодиффузионными карбидными покрытиями в закрытых передачах / А. А. Веселовский, В. В. Ерофеев // АПК России. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 508-515.

5. Тихомиров, П. В. Особенности технического сервиса коробок передач наземных транспортных средств / П. В. Тихомиров, А. Н. Заикин, В. В. Камынин [и др.]. – Брянск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный инженерно-технологический университет", 2020. – 160 с. – ISBN 978-5-98573-280-1.
6. Ишмуратов, Х. К. Оценка износостойкости зубьев шестерен открытой зубчатой передачи в условиях высокой запыленности / Х. К. Ишмуратов, Б. А. Иргашев // Трение и износ. – 2020. – Т. 41, № 1. – С. 112-119.
7. Оценка динамических показателей и повышение износостойкости эвольвентных зубчатых передач при использовании пленкообразующих смазочных материалов / С. А. Поляков, Л. И. Куксенова, Е. М. Кулешова, А. В. Медовщиков // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, № 1. – С. 76-84. – DOI 10.32864/0202-4977-2023-44-1-76-84.
8. Попович, А. Г. Применение критерия суммарного износа поверхностного слоя зубьев колес при определении геометрических параметров косозубой передачи / А. Г. Попович // Вестник машиностроения. – 2020. – № 9. – С. 20-27. – DOI 10.36652/0042-4633-2020-9-20-27.
9. Шапиро, Е. А. Прогнозирование долговечности передаточных механизмов / Е. А. Шапиро, А. И. Кузнецов, Д. А. Сафронов, А. Т. Спиридонов // Наука и инновации: исследование и достижения: Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 25–26 октября 2023 года. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2023. – С. 102-106.
10. Сафонов, К. В. Факторы, влияющие на качество обкатки агрегатов трансмиссии автомобилей / К. В. Сафонов, А. П. Канавичев, П. И. Сивуков // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием имени В.В. Михайлова, Саратов, 15–16 мая 2020 года. Том Выпуск 33. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2020. – С. 88-91.
11. Определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Сокслета при получении спиртовой настойки из ягод клюквы / Б. Н. Федоренко, Д. М. Бородулин, М. В. Просин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 115-123. – DOI 10.21603/2074-9414-2020-1-115-123
12. Design of Drum Type Apparatus for Processing of Bulk Materials / V. N. Ivanec, D. M. Borodulin, D. V. Sukhorukov [et al.] // Procedia Chemistry. – 2014. – Vol. 10. – P. 391-399.

METHOD FOR ASSESSING THE INFLUENCE OF WEAR OF AGRICULTURAL MACHINERY TEETH WHEN CALCULATING THEM FOR BENDING

Popov Anatoly Mikhailovich, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, e-mail: popov4116@yandex.ru

Plotnikov Konstantin Borisovich, Doctor of Engineering. Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, e-mail: k.b.plotnikov@mail.ru

Mehdiev Rauf Valeh Ogly, graduate student, Kemerovo State University, e-mail: mehdiev23@mail.ru

Plotnikova Irina Olegovna, Ph.D. tech. Sciences, Art. Lecturer, Department of Agricultural Engineering, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskova, e-mail: plotnikova-io@mail.ru

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo, e-mail: rector@kemsu.ru

Abstract: *the article contains methodological approaches for determining the strength rating of worn gears, which take into account the variety of operating conditions and real physical processes occurring in gears. Changes in tooth geometry during wear lead to changes in stress distribution and its strength. As a result of the studies, the dependence of the change in the geometric coefficient along the cross section of the tooth was obtained. It was found that when tooth wear is up to 17%, changes in bending strength can be neglected, which is of practical importance for assessing the durability and reliability of gears.*

Key words: *wear, gears, tensile strength, agricultural machinery.*

УДК 338.043:001

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОДУКТОВ МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Потупчик Александр Игоревич, аспирант Технологического Института, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», e-mail: sila@gmail.com

Бакин Игорь Алексеевич, д-р. техн. наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой процессов и аппаратов перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», e-mail: bakin@rgau-msha.ru

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва, e-mail: rector@rgau-msha.ru

Аннотация: перспективным побочным сырьем являются зародыши пшеницы. Они содержат функциональные ингредиенты, ненасыщенные липиды. Потеря биологической активности происходит при прогоркания, вследствие окисления ненасыщенных жирных кислот. Изучены кривые прогоркания зародышей в результате окислительного повреждения жиров. Полученные данные описаны логарифмической зависимостью.