



УДК 631.3:360.172.21

**DIAGNOSTICATING OF THE TECHNICAL STATE OF MACHINERY AND
PROGNOSTICATION OF REMAINING RESOURCE****ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МАШИН С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА****Karabinesh S.S. / Карабинеш С.С.****Gordina D.N. / Гордина Д.Н.***Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Киев, Украина*

Аннотация. В статье приведена методика и результаты диагностики технического состояния деталей, а затем и прогнозирования остаточного ресурса машин, которое базируется на данных, полученных голографическими методами.

Ключевые слова: вал, диагностика, голография, контроль, метод, микродеформация, надёжность, прогнозирование, ресурс, техническое состояние.

Введение. Из теории о надёжности машин известно [1], что основной причиной потери работоспособности деталей и машин в целом является потеря прочности их поверхностных слоев. В большинстве случаев, разрушение деталей начинается из этих слоев, а прочность и стойкость к изнашиванию и другим видам повреждения отмечается их качеством. Наличие в этом(поверхностному) слое материала, который несет основные контактные нагрузки, дефектов, повреждений уменьшает прочность, стойкость к изнашиванию и усталости, приводит к появлению отказов, а также в целом уменьшает эксплуатационную надёжность машин.

Для определения технического состояния(выявление скрытых дефектов) машин применяют девять основных методов контроля : магнитный, акустический, радиоволновой, радиационный, вихревой, оптический, электрический, тепловой, а также проникающими веществами

Установлено, что нет достаточно универсального, эффективного метода контроля качества деталей сельскохозяйственных машин, который мог бы давать комплексную оценку не только состоянию одной поверхности или ее части, а изучать всю деталь или смежные в блоке, узле или машине в целом [3, 6]. Анализ теоретических разработок, направленных на изучение технического состояния деталей показал, что одними из методов, которые могут удовлетворить требования производства и ремонт оптические и их самое современное проявление: голография - компьютерная и спекл-интерферометрия [6].

При чем, установлено, что использование этих методов, позволяет с достаточной мерой точности определять наличие скрытых дефектов и повреждений и в то же время, фиксировать изменение технического состояния поверхности во времени, как изменение микродеформационного поля. Результаты измерений служат базой для прогнозирования остаточного ресурса деталей и машин в целом.

Цель. Разработка принципов прогнозирования остаточного ресурса машин, на основе результатов измерения величин микродеформаций при помощи голографических методов.

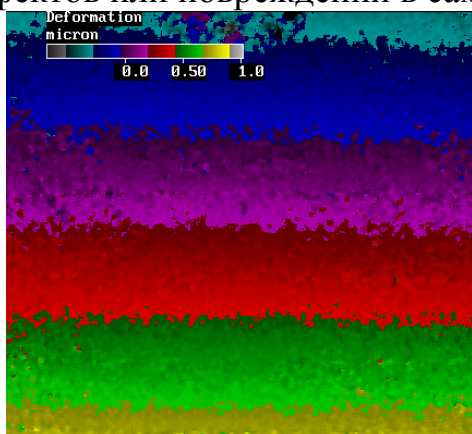


Результаты. Диагностика технического состояния машин с помощью голографии построена на принципе сравнительной оценки двух состояний, полученных из одного и того же объекта в разные моменты времени (до нагружения и после) при помощи системы ОПТОКАТ. Исследование проводилось по двум направлениям: изучение быстротекущих процессов, которые сопровождаются, в большинстве случаев, разрушением поверхностных слоев или всей детали – при реализации спекл-интерферометрии – голограмму фиксируют на пленке. Медленно текущих процессов – применения компьютерной голографии, когда деталь совместно с интерферометрическими полосами наблюдают на мониторе компьютера в реальном времени.

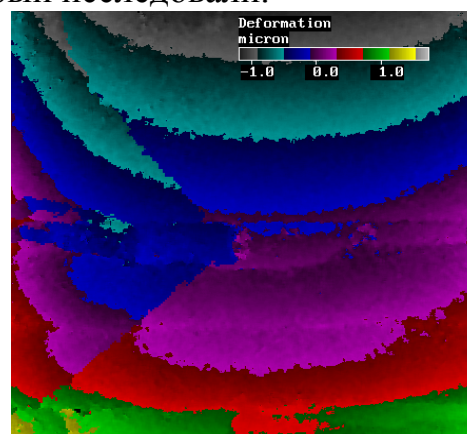
Компьютерную голограмму получают при двойной экспозиции поверхности детали, сначала без нагрузки - одна картина, которая фиксируется в памяти компьютера, а потом с приложением нагрузки - вторая картина. Путем складывания их возникает интерференция, которую, сначала, возможно наблюдать в реальном времени, а потом в виде цветных полос.

Голограмма - это изображение поля микродеформации детали в виде цветных полос (черт. 1 и 2). Каждому цвету или оттенку отвечает определенный уровень микродеформации. На голограмме приведены масштабы, где указаны величины микродеформирования и соответственно цвет.

В процессе проведения диагностики корпуса насоса опрыскивателя ОВТ – 1 была получена серия голограмм, примеры, которые приведены на черт. 1 и 2. В первом случае, голограмму получили из эталона (машина не была в эксплуатации, а во втором случае – отработал два сезона полевых работ, наработка составила - 148 гектаров). Как видно из черт. 1, интерференционные полосы на нем, размещены без аномалий в определенном порядке, который свидетельствует о пригодности этого узла к непосредственной эксплуатации. В другом случае (см. черт. 2) – интерференционные полосы имеют выраженное аномальное размещение на голограмме, которая свидетельствует о наличии дефектов или повреждений в самом узле, который исследовали.



Черт. 1



Черт. 2

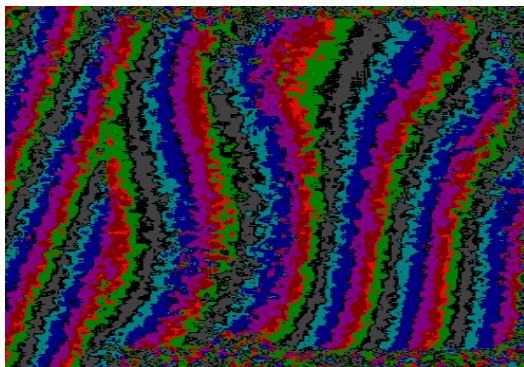
Установлено в процессе проведения экспериментальных исследований, что применение голографии дает возможность снизить количество неправильно забракованных и пригодных к последующей эксплуатации деталей,



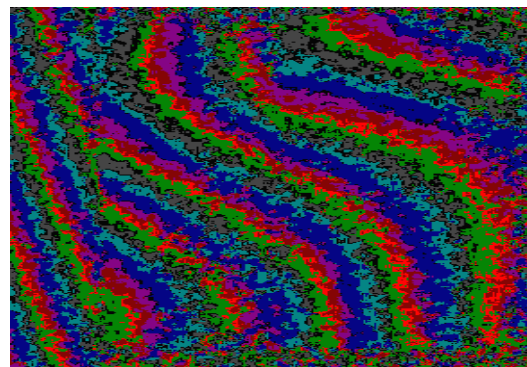
соответственно: $n_{\text{эксп}} = 9,66 \%$; (бывшие в эксплуатации) $n_{\text{н}} = 6,60 \%$ (новые), а также, неправильно принятых пригодными: $m_{\text{эксп}} = 10,83 \%$; $m_{\text{н}} = 6,97 \%$ (тоже самое). Голография повышает качество контроля и, соответственно, надежность сельскохозяйственной техники за счет уменьшения ошибок при дефектации и контроле.

Результаты прогнозирования посредством голографирования базировались на исследовании изменения микродеформационных полей при смене параметров технического состояния, например – изнашивании. Развязать задачу оценки и прогнозирования остаточного ресурса возможно, если есть возможность для периодического измерения ресурсного параметра, достижение которым предельного состояния приводит к отказу – разрушение поверхностного слоя и невозможность дальнейшей эксплуатации.

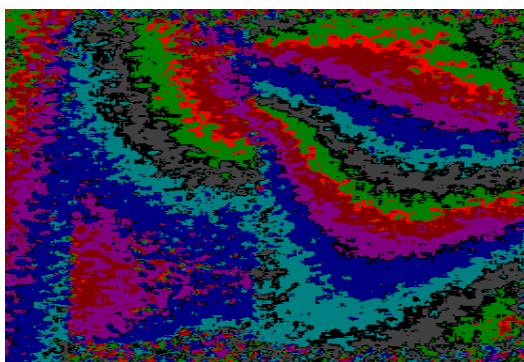
В процессе эксплуатации, при изнашивании поверхностных слоев деталей, происходит и изменение конфигурации полей микродеформирования (см. черт. 3 - 6). На приведенных чертежах представлены голограммы, которые получены с детали в моменты исследований: без изнашивания - черт. 3; изнашивание составляло 0,08 мм – черт. 4; соответственно 0,14 мм и 0,19 мм – черт. 5 и 6. Исследования проводили с разборкой машин в конкретно установленные моменты времени, что характеризовались величинами наработок: без наработки, 800, 1600 и 2400 мото-часов, соответственно.



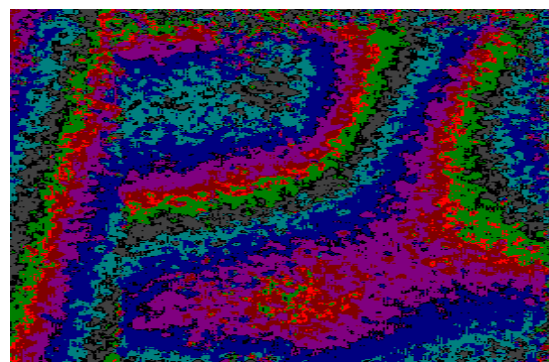
Черт. 3



Черт. 4



Черт. 5



Черт. 6

В результате проведенных исследований был разработан методический аппарат, что позволило определять величины микродеформирования поверхностей деталей в их каждой точке. Исследование голограмм



приведенных на черт. 3–6, показало, что при увеличении наработки и, соответственно, величины износа, увеличивается кривизна интерферометрических полос, (их аномальность) – увеличивается микродеформация. Её величина и служит фактором, за которым и проводят прогнозирование остаточного ресурса.

Установлено, что микродеформирование на первом этапе (среднеарифметическое значение по всей поверхности) составляет: в первом случае – 0,08 мкм; во втором – 0,14 мкм; в третьем – 0,19 мкм, а в четвертом – 0,23 мкм. Вид полос интерференции на приведенных голограммах свидетельствует о прохождении физических процессов в деталях во время эксплуатации, которые изменяют их техническое состояние детали и машины.

Корреляционные уравнения (2 – 4) показывают распределение величины микродеформации на исследованной поверхности в зависимости от координат, нанесенных на голограммы, полученные с реальной деталей и имеющих одинаковые размеры. Уравнения использованы для определения математического ожидания микродеформации в начальный момент исследования, текущий и предельный для характерных координатных точек поверхности, соответствующих их экстремальным значениям. Они, в дальнейшем, использованы при прогнозировании остаточного ресурса (уравнение 14).

Вал без износа

$$U_1 = 28,6684 + 103,0374/x - 28,1669 \cdot \ln y - 1037,61643/x^2 + 8,5665 \cdot (\ln y)^2 - 6536(\ln y)/x - 2867,1826/x^3 + 0,8153(\ln y)^3 - 8,4263(\ln y)^2/x + 464,0501(\ln y)/x \quad (2)$$

Вал – 800 мото-часов эксплуатации

$$U_2 = 0,4527 - 0,0812 x + 33,8361/y + 0,0013 x^2 + 0,5749 x/y - (1,5741 e-06) x^3 + 689,6874 / y^3 + 5,6835 x/y^2 - 0,0143 x^2 / y \quad (3)$$

Вал – 1600 мото-часов эксплуатации

$$U_3 = 10,3158 - 2,489158x + 0,19267x^2 + 0,0067x^3 + 0,0002 x^4 - (6,5708e-07)x^5 + 0,1675 y - 0,01521736y^2 - (1,2826e-05)y^3 - (1,2826e-05) y^4 + (8,7639e-08) y^5 \quad (4)$$

Вал – 2400 мото-часов эксплуатации

$$U_4 = -2,1858 - 2,2858 x + 0,1582 x^2 + 0,00489097 x^3 + (6,891e-05) x^4 - (3,6e-07) x^5 + 2,9644y - 0,2242y^2 + 0,00767y^3 - 0,00012y^4 + (7,069e-07)y^5 \quad (5)$$

Величины микродеформирования изменяются по отношению к износу поверхности детали в процессе эксплуатации, что было установлено экспериментальным путем. Проведенные экспериментальные исследования дают возможность использовать их результаты при прогнозировании остаточного ресурса, установив зависимость интенсивности микродеформирования в зависимости от изнашивания и наработки (черт. 7, 8).

Остаточный ресурс – это наработка от момента определения параметров технического состояния к моменту времени, когда наступает необходимость в исполнении ремонтно-обслуживающих работ или списании техники. Как показывает практический опыт и анализ литературных источников [3, 4, 5], наиболее рациональным и достоверным есть прогнозирование на основе



результатов диагностики параметров состояния главных элементов машин, которые получили изменения за время увеличения времени наработки. В соответствии с этим и была построена методика проведения экспериментальных исследований, частично приведенная выше.

При условии возможности его определения, проводить предварительные экспериментальные исследования на базе не менее 25 опытов (деталей каждого вида с их голографированием и исследованием голограмм). Установлено, что колебание фактических значений параметра прогнозирования имеет место в широком диапазоне. Замеры проведены 25 –ти кратной повторностью.

Базой прогнозирования является изучение реального процесса изменения технического состояния элемента машины (вала) с выявлением влияния комплекса факторов: микродеформирование, величина изнашивания, наработка, а также периодичности контроля – диагностики с установлением технического состояния элемента машины и др. Для машины или ее элемента, который является определяющий и отвечает за исправное состояние, например, двигателя или трансмиссии, а выход их из строя приведет к ее потере, время безотказной работы (ресурс) определится из зависимости:

$$M(T_{pec}) = \min[M(t_1); M(t_2); M(t_3); \dots; M(t_{n-1}); M(t_n)], \quad (6)$$

где $M(T_{pec})$ – математическое ожидание ресурса или средняя наработка на отказ, ч.;

$M(t_1); M(t_2); M(t_3); \dots; M(t_{n-1}); M(t_n)$ – математическое ожидание времени безотказной работы элементов машины, час.

При условии, когда необходимо определить ресурс многокомпонентной системы, у которой выход из строя определенного элемента не ведет к потере работоспособности всего изделия, ресурс или время безотказной работы определится по формуле:

$$M(T^1_{pec}) = \min\{M(t_1); M(t_2); \max(M(t_3); M(t_4); M(t_5); \dots; M(t_{k-1}); M(t_k))\}; \dots; t_{n-1}; t_n\}, \quad (7)$$

Установлена зависимость величины ресурса машин или их элементов от величины компонентов вектора микродеформирования ($U; Y; Z$), которые, в свою очередь, зависят от технического состояния объекта. Установление технического состояния детали и всей машины при голографировании проходит на микроскопическом уровне и дает возможность предотвратить развитие разрушительных процессов. При реализации голографических методов определяют величины микродеформирования для трех (спеклоинтерферометрия) или два (компьютерная) компонентов вектора микродеформирования, что другими методами является практически невозможным. Зная не только скалярную величину вектора микродеформирования, а также и его пространственное направление, есть возможность установить направления разрушительных усилий и моментов и провести модернизацию машины. Тогда зависимости 5 и 6 примут вид:

$$M(T_{pec}) \cong \min[M(U_1); M(U_2); M(U_3); \dots; M(U_{n-1}); M(U_n)], \quad (8);$$

$$M(T_{pec}) \cong \min[M(Y_1); M(Y_2); M(Y_3); \dots; M(Y_{n-1}); M(Y_n)], \quad (9);$$



$$M(T_{pec}) \cong \min[M(Z_1); M(Z_2); M(Z_3); \dots; M(Z_{n-1}); M(Z_n)], \quad (10);$$

$$M(T^1_{pec}) \cong \min \left\{ \begin{array}{l} [M(U_1); M(U_2); \max(M(U_3); M(U_4); M(U_5); \dots; M(U_{k-1}); M(U_k))] \\ M(t_{n-1}); M(t, n) \end{array} \right\}, \quad (11);$$

$$M(T^1_{pec}) \cong \min \left\{ \begin{array}{l} [M(Y_1); M(Y_2); \max(M(Y_3); M(Y_4); M(Y_5); \dots; M(Y_{k-1}); M(Y_k))] \\ M(t_{n-1}); M(t, n) \end{array} \right\}, \quad (12);$$

$$M(T^1_{pec}) \cong \min \left\{ \begin{array}{l} [M(Z_1); M(Z_2); \max(M(Z_3); M(Z_4); M(Z_5); \dots; M(Z_{k-1}); M(Z_k))] \\ M(t_{n-1}); M(t, n) \end{array} \right\}, \quad (13)$$

Следует отметить, что чувствительность оптической системы дает возможность фиксировать сверхмалые изменения в поверхностных слоях, а это в свою очередь позволяет оценивать техническое состояние машин в любой произвольно выбранный момент времени.

На основе величины диагностированного параметра в момент прогнозирования расчет математического ожидания величины остаточного ресурса определяют по формуле:

$$T_{ост.} = M(T_{нач.}) \left\{ \frac{M(\partial_{np.})}{M(\partial_i)} - 1 \right\}^{1/\alpha}, \quad (14)$$

где $M(T_{ост.})$ – математическое ожидание величины остаточного ресурса, ч.;

$M(T_o)$ – математическое ожидание величины начального ресурса, на момент исследования, ч.;

$M(\partial_{np.})$ – математическое ожидание величины изменения микродеформации в предельных условиях, мкм., когда последующая эксплуатация машины технически невозможна или экономически невыгодная, мкм.;

α – коэффициент, который характеризует скорость изменения параметра диагностирования.

С помощью уравнений регрессии, что получено для конкретной детали, необходимо определить координаты точек, для которых значение величины микродеформирования будет максимальным. Предложен метод определения остаточного ресурса дает возможность прогнозировать его с помощью определения одного параметра – величины микродеформирования в момент проведения диагностики. Среднестатистическое значение начального и предельного параметров определяют на базе комплекса экспериментальных исследований или по техническим условиям. Проведенные экспериментальные исследования позволили использовать математические зависимости в расчетах остаточного ресурса.

Выводы. Таким образом, предложен метод прогнозирования остаточного ресурса машин с помощью голографии при реализации компьютерных технологий. Рациональное использование неразрушающих оптических методов



контроля позволяет повысить надежность и качество продукции, предотвращает аварии сложных агрегатов и дает производству огромные экономические преимущества.

Литература

1. Карабинёш С.С. Определение величины микродеформации нагруженного тела голографическим методом.- М.:Контроль. Диагностика. № 4. 2008. –С.35-41.

Abstract. *A method and results of diagnosticating of the technical state of machinery is resulted in the article, and after and prognostications of remaining resource, which are based on information, that it is got holographic methods.*

Keywords: *billow, diagnostics, holography, control, method, microstrain, reliability, prognostication, resource, technical state*