

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сергей Карабинеш

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Sergey Karabinyosh

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. В статье приведены теоретические и методические основы определения величин микродеформации и напряжений в деформируемых телах при исследовании состояния поверхности деталей сельскохозяйственной техники голографическими методами.

Ключевые слова: микродеформация, напряжение, деформируемое тело, поверхность, нагрузка, голограмма, сельскохозяйственная техника.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Во время эксплуатации сельскохозяйственная техника испытывает действия внешних и внутренних разнообразных нагрузок, которые служат причиной интенсивных износов рабочих поверхностей, усталости материалов, повреждению контактных поверхностей и т.д. [1, 3, 8, 11].

Особенно становится опасной ситуация, когда силовая нагрузка сопровождается совместным действием повышенных температур, асимметричного цикла нагружения и изменения режима смазки.

В большинстве случаев разрушение деталей начинается из поверхностных слоев и определяется их стойкостью к изнашиванию, а также величиной контактной нагрузки в рабочих зонах [1, 2, 8].

Все существующие мероприятия повышения надежности сельскохозяйственных машин оказываются неэффективными и несовершенными, если контроль качества изготовления и ремонта изделий будет организован не должным образом.

Наличие в деталях поверхностных и скрытых дефектов, повреждений, которые проявляют себя в виде внутренних отсло-

ений металла, межкристаллических и внешних трещин, искривлений кристаллических решеток, неметаллических включений, пор, свищей и т.д. приводит к потере работоспособности машины [6, 10].

Несвоевременная замена таких изделий с дефектными поверхностями безусловно приведет к появлению в эксплуатации условно исправной машины.

Вероятность выхода из строя таких машин представляет 50 % и зависит от времени, когда при „благоприятных условиях” (чрезмерная нагрузка, недостаточная смазка, нарушение правил эксплуатации и т. д.) обнаруженный дефект или повреждение разрушит деталь и выведет машину из строя.

Острой проблемой является рациональное использование отечественных материалов, производство которых налаживается предприятиями сельскохозяйственного машиностроения нашей страны.

Неправомерное использование материалов без научных обоснований и предварительных расчетов на прочность и усталость вызывает преждевременные отказы, потерю работоспособности и низкую надежность техники.

Особенно важным является задание: оценить остаточный ресурс изделия, определить величины параметров допустимого или предельного его состояний, установить значение внутренних и остаточных напряжений, нахождение и регистрация изменения технического состояния изделия под действием установленных нагрузок [3, 5, 7].

При этом создаются условия к изучению напряженного состояния деталей, установления местонахождения и величины концентраторов напряжений и тем самым прогнозирования остаточного ресурса машин.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу исследования напряженного состояния рабочих поверхностей деталей положены разработанные учеными Мюнхенского центра прикладной оптики (Германия), Гентского университета (Бельгия), Международного центра „Институт прикладной оптики” (Украина) при непосредственном участии автора. Анализ литературы [10, 11, 12, 19, 21] показал, что исследования процессов проходящих с разрушением поверхностей – предельное состояние, необходимо проводить в комплексном сочетании двух видов оптической интерферометрии (компьютерной голографии и двоимпульсной). Это связано с особенными возможностями применения каждого из отмеченных видов контроля для конкретного вида исследований. Компьютерная голография (основной вид проведенных поисковых работ) дает возможность регистрировать изменение поверхности при малых, не предельных нагрузках, которые проходят с небольшими скоростями изменения состояния поверхности. Образ деформированного тела, представленного в виде цветных интерференционных полей, фиксируют в памяти компьютера [8, 12, 17, 20]. При втором случае голографии, объект фиксируется в трехмерном изображенные на пленку или стеклянную фотографическую пластину вместе с интерференционными линиями [12, 19, 20, 21]. Применяют ее для исследования скоростных динамических процессов, порою связанных с разрушением поверхности или всей детали.

В основу принципа работы каждого из видов голографии положено метод двойной экспозиции [12, 14, 20], когда тело наблюдают до и после приложения нагрузки. При этом, измеряют изменения состояния поверхности детали путем сравнения каждого её участка с измененным ее состоянием [12, 20, 21]. Дефект или повреждение детали проявляется в местном аномальном размещении интерференционных полос. В случае компьютерной голографии - это цветные полосы (каждому цвету отвечает определенная величина деформации), в другом случае - это черные и белые полосы. В общем случае при голографировании, рекомендуют применять

такие виды нагрузки: механическое (растяжение, сжатие, скручивание, изгиб или их комплексное и совместное сочетание, термическое локальное (терморadiационное) или общее, акустическое возбуждение, нагружение давлением или вакуумом, а также для разрушения образцов нагрузки ударом. Их использование рекомендовано специальной литературой [12, 14, 19, 20].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований является установление целесообразности применения голографических методов для определения параметров технического состояния рабочих поверхностей деталей, узлов, агрегатов и сельскохозяйственных машин, выявления скрытых дефектов, повреждений, изучения напряженно-деформационного состояния и связанных с этим возможностей повышения надежности сельскохозяйственной техники.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установлен метод записи и восстановления голограмм созданных при двойной экспозиции. На них представлены детали совместно с интерференционными полосами – изохорами. Все точки на такой полосе имеют одинаковую величину деформации и направление в пространстве. При восстановлении голограмму необходимо освещать под тем же углом, что она была зафиксирована в момент опыта. Экспериментальные работы проводили с использованием разных по своим геометрическим параметрам образцами и деталями: плоские, объемные, сложной конфигурации и простые, изготовленные с разнообразными по своим физико-механическими свойствам: металлические, пластиковые, металлокерамические, углепластиковые, деревянные, бетонные, с покрытиями и без них и т.д. При этом учитывались такие материалы, которые чаще всего и больше всего используются при изготовлении и ремонте сельскохозяйственных машин. Установлены два метода испытаний с записью интерференционных полей: при полном разрушению изделия (предельные условия) и без *разрушения* с промежуточными этапами нагрузки (допустимые условия).

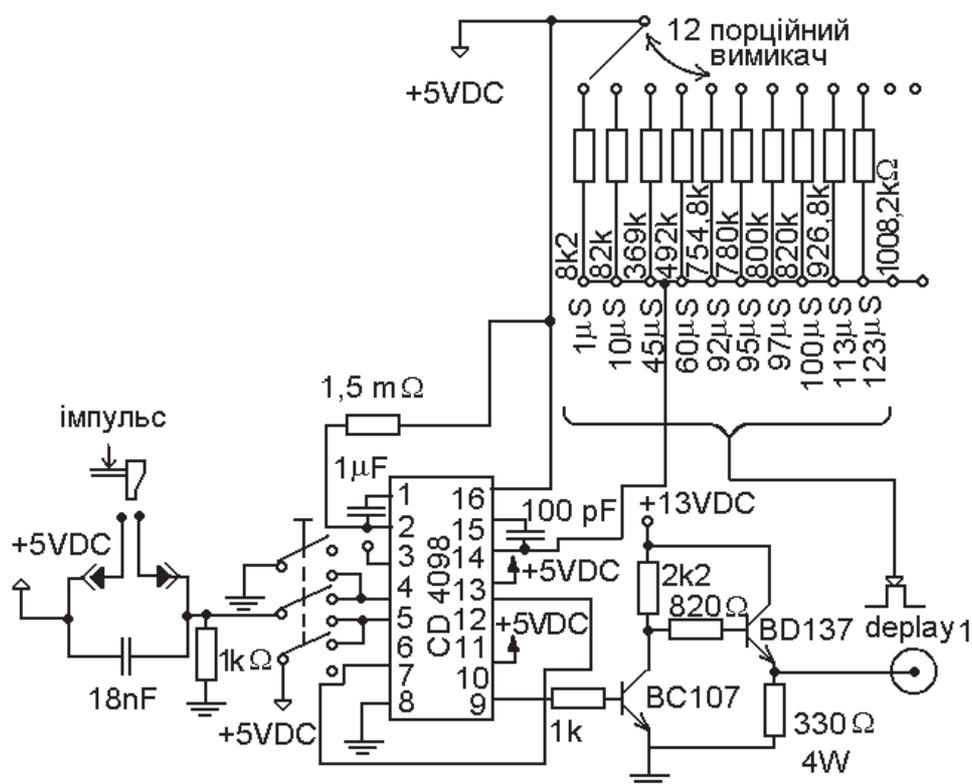


Рис. 1. Схема прибора для запуска лазера в установленные промежутки времени - „Trigger-system”

Fig. 1. Chart of device for the start of laser in the set intervals of time - "Trigger-system"

Для проведения исследований как материал образца использован полиэтилен низкого давления (представитель широкой номенклатуры деталей сельскохозяйственных машин), например труб: диаметр - 120 мм, толщина стенки - 10 мм, давление рабочей зоны – 0,3-0,4 МПа, температура изделия в момент проведения опыта составляла - 0°С. В зону инициирования закачивали охлажденный воздух. Разрушение инициировали копром-маятником. Для запуска лазера использовали блок-прибор „Trigger-system”, схема которого на рис. 1.

При чем, на расстоянии 100 мм от зоны инициирования устанавливали включатель, который подсоединяли непосредственно перед началом эксперимента к блок-прибору „Trigger-system”. Включатель являет собой серебряную проволоку натянутую между двумя электродами в зоне предсказуемого разрушения детали. При разрушении детали и развитии трещины вдоль ее со скоростью

500-560 м/с, проволоку разрывало и срабатывал замедлитель в блок - приборе настроен на определенное время задержки. Потом включался лазер и проводилась двойная фиксация разрушаемой детали. Интервал между двумя вспышками лазера был постоянным и составлял 20 нс.

Во время проведения опыта два волновых поля регистрировали последовательно в одной и той же голограмме - метод двух экспозиций или „замороженных полос”. Применяли импульсный рубиновый лазер HLS - 2 с длиной волны 694 мкм, а запись голограмм проводили на пленке AGFA чувствительной к красному свету.

Сущность метода интерпретации экспериментальных данных, которые были получены с помощью голографирования поверхностей деталей, заключается в определении трех составляющих вектора микродеформации с учетом их вероятностной природы распределения на поверхности изделия. Ве-

личины напряжений в каждой точке поверхности детали характеризуют ее техническое состояние и дают возможность установить её меру пригодности к дальнейшей эксплуатации. Тем самым, появляется возможность прогнозирования как доремонтного, так и межремонтного ресурса.

Следует заметить, что в первую очередь определяли статистические характеристики распределения микродеформирования на рабочих поверхностях деталей или образцов в момент разрыва ювенальных связей и выявления причин появления межкристаллических дефектов - трещин и несплошностей, которые всегда сопровождают разрушение деталей сельскохозяйственной техники.

Следующим этапом проведения работ было исследование с помощью голографии напряженных состояний разных деталей или образцов без их разрушения. Для записи голограмм использовали метод двойной экспозиции с фиксацией двух последовательных состояний изделия на одной голограмме. Исследования проводили на стальных, алюминиевых, пластиковых, металлополимерных образцах или реальных деталях без фиксации и установления величины нагрузки. Детали механически обрабатывали для создания поверхностей, с необходимой для голографирования шероховатостью. При такой величине шероховатости поверхностных слоев Rz 80, Rz 120, Rz 320, зеркальное отражение значительно малое и свет рассеивался практически равномерно во всех направлениях. Подобная ситуация типична для механически обработанных поверхностей сельскохозяйственных машин деталей. В этом и заключается основное достоинство голографического неразрушающего контроля сельскохозяйственной техники - каждый её элемент может быть – проверенным.

Примеры нагружения деталей приведены на рис. 2. Включали лазер в работу не в произвольно выбранные моменты времени, а в точно определенные для каждой партии исследованных объектов. Нагрузки проводили дискретно, устанавливая грузы (50, 100, 200 и т. д для металлических изделий и 5, 10, 20 Н для неметаллических) последовательно икратно повторяя нагрузку до появления четкой интерференционной картины.

В табл. 1 приведенные диапазоны нагрузок, при которых происходит процесс появления интерференционных полос, зависящий от налаживания оптической системы и возможностей компьютерного обеспечения. Приведенные диапазоны нагрузок охватывают области допустимых значений нагрузок. Для определения напряжений в предельных условиях нагрузки проводили следующим образом: сначала расчетный - аналитическим путем для выбранного материала и геометрических характеристик материала по зависимостям:

$$а) [\sigma_p] \leq \sigma_p \quad (2)$$

$$б) [\sigma_{32}] \leq \sigma_{32} \frac{M_{max}}{W_y}, \quad (3)$$

$$в) [\tau_{кр}] \leq \tau_{кр} \frac{M_{к}}{W_p}, \quad (4)$$

где: $[\sigma_p]$; $[\sigma_{32}]$; $[\tau_{кр}]$ - допустимые напряжения розтяжение, изгиб и кручение, Па; σ_p ; σ_{32} ; $\tau_{кр}$; - действительные напряжения на розтяжение, изгиб и кручение, Па; S – площадь сечения исследуемого объекта, м²; W_y – осевый момент сопротивления, Н/м²; W_p – полярный момент сопротивления, Н/м², рлтлм их значения проверяли в реальных условиях.

Формулы применяли при расчете напряжений : а) - при сжатии, розтяжении; б) - изгибе; в) – кручении. Результаты расчетов проверяли экспериментально, что дало возможность уточнить параметры режима голографирования. Как недостаток, приведенных выше методов, следует заметить, что опыты производятся в четко фиксированные дискретные моменты времени. Это не дает возможности исследовать интегральную картину изменения поля микродеформирования поверхности изделия во времени при изменении величины или характера нагрузки.

Недостатки метода неразрушающего контроля голографией, которые не уменьшают возможности ее применения. К ним относят: все виды работ должны выполняться только в затемненном помещении, габаритные размеры деталей ограничены действительными размерами пленки или фотопластинок; изделия необходимо красить до создания матовой поверхности (белой или серебряной краской), нужно применять защитные экраны и не существует возможности наблюдать за изделиями во время опыта в реальном времени.

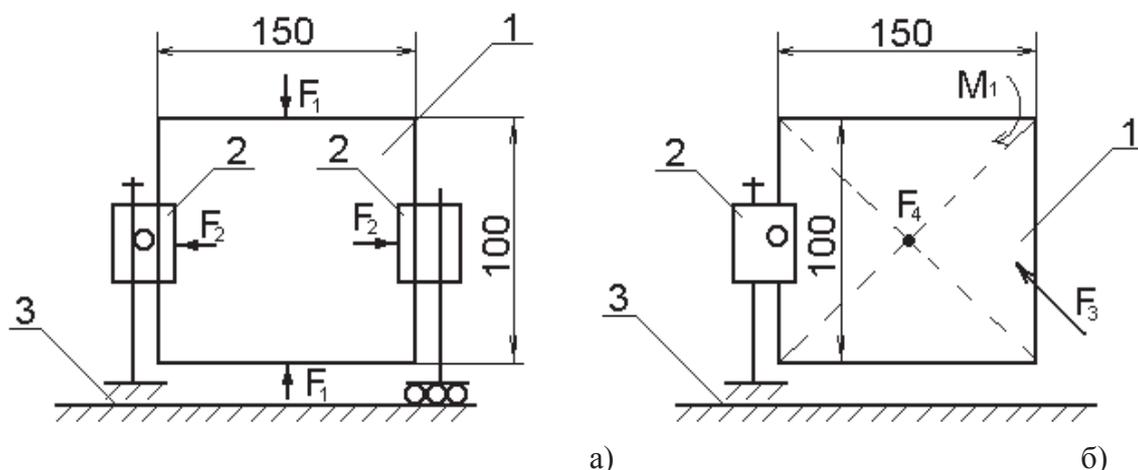


Рис. 2. Схема нагрузки образца а) F_1 – сжатие; F_2 – растяжение; б) F_3 – изгиб; M_1 – кручение; F_4 – термическое: 1 – образец; 2 – кронштейн зажим; 3 – рабочий стол.
Fig. 2. Chart of loading of standard of а) F_1 is compression; F_2 is tension; б) F_3 is bend; M_1 is twisting; F_4 – thermal: 1 is a standard; 2 is a bracket clamp; 3 is a workmount

Таблица 1. Механическая нагрузка при исследовании реальных деталей
Table 1. Mechanical loading at research of the real details

Наименование детали, материал	Вид механической нагрузки			
	Растяжение F , Н	Сжатие F , Н	Изгиб F , Н	Скручивание M , Нм
Блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания (ДВЗ)	-	400 - 500 (нагрузка приложена к перемычке между 2-м и 3-м цилиндром)	-	40 - 60 (нагрузка приложена к передней стенке около 1-го цилиндра)
Поршневой палец ДВЗ Сталь Х13	800-900	-	750-900	80 - 100
Поршень из алюминия АЛ-19	500-620	850 - 1100	-	-
Кран молочный- Сталь Х13Н9ТА	-	780 - 900	600-680	40 - 60
Кришка-полиамид ПА- 69	-	150 - 200	18 -22	-
Переходник соединитель - углепластик	25 - 27	30 -34	18 -20	-
Втулка переходная металлополимер	-	65 - 70	45 - 52	-

Следует заметить, что некоторые Приведены выше недостатки частично снижают эффективность от реализации спеклинтерферометрии - двоимпульсной голографии, но не устраняют ее полностью из гаммы современных методов неразрушающего контроля. При определенных условиях, правильно выбранной номенклатуре деталей, условиях опыта, а также комплексном сочетании с другими методами, например; компьютерной голографией, акустического, рентгенографического методов, возможно получить результаты, которые с высокой мерой точности отвечают реальным процессам, а полученные математические модели адекватно описывают физические явления, которые проходят в деталях сельскохозяйственной техники.

ВЫВОДЫ

Как было указано выше, голография, как метод контроля, решает целую гамму разнообразных проблем и позволяет значительно повысить уровень надежности сельскохозяйственной техники. Средства этого метода могут эффективно использоваться при реализации:

- конструктивного метода повышения надежности, при определении геометрических характеристик и параметров конструируемого объекта, его вероятностных прочностных свойств, допустимых пределов применения новых материалов, исследовании как отдельных элементов да и деталей, узлов и агрегатов в целом;

- технологического метода (определении параметров технологических процессов обработки и упрочнения поверхностей) выявления наличия дефектов, которые могут возникать при нарушении технологий изготовления деталей;

- ремонтного метода – выбора рационального (оптимального) метода или способа восстановления работоспособности деталей, их рабочих поверхностей, использования ремонтных материалов, определении основных и остаточных напряжений, которые возникают в процессе выполнения ремонтно – обслуживающих работ(

- эксплуатационного метода – правильности выбора режимов нагрузки машины, теплового режима работы машин, прогнозируемых сроков и объемов проведения технического обслуживания и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belokur I.P., Batyuk I.M., Zhdanov I.M. 1980: Kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya svarnykh konstruksiy. – K.: Znaniye. –24.
2. Boyko A.I., Karabinosh S.S., Novitskiy A.V., Sivolapov V.A. 2003: Zabezpechennya nadiynosti silskogospodarskikh mashin tekhnologichnimi metodami: Visnik KhDTUSG. – Kharkiv. – Vipusk 17. – 47-53.
3. Boyko A.I., Karabinosh S.S., Novitskiy A.V. 2004: Pidvishchennya nadiynosti silskogospodarskoi tekhniki shlyakhom zastosuvannya komp'yuternoi golografii: Zvit pro NDR (zaklyuchniy) / Natsionalniy agrarniy universitet; № DR 0101 U 003210; Inv. № 0205U002853. – K.: – 158.
4. Vosstanovleniye 2003: Vosstanovleniye detaley mashin: Spravochnik/ Panteleyenkov F.I., Lyalyakin V.P., Ivanov V.P., V.M. Konstantinov V.M./ – M.: Mashinostroyeniye. – 672.
5. Delone N.B.1989: Vzaimodeystviye lazernogo izlucheniya s veshchestvom. – M.: Nauka. – 280.
6. Dmitriyev N.N. 1998: Teoreticheskiye osnovy nerazrushayushchego kontrolya i diagnostiki sostoyaniya aerodromnykh pokrytiy teplovyim metodom: Dis... kand. tekhn. nauk: 05. 22. 11. – K.: – 296.
7. Gurey I., Pashchenko M., Gurey T. 1999: Vpliv termotsiklichnoi obrobki na napruzheniy stan metalevikh zyednan, utvorenikh kontaktim navantazhennyam. Zb. nauk. pr. KDTU – Kirovograd.: Konstruyuvannya, virobnitstvo ta yekspluatatsiya silskogospodarskikh mashin. – 72 - 76.
8. Molodik M. V., Karabinosh S.S., Molodik L.P. 2006: Priskoreni porivnyalni viprobuvannya vidnovlenikh detaley, v t. ch. rozroblennya nastanov. Zvit NDR, dogovir № 85 s/54 vid 01.07.05, u 2 tomakh. – Glevakha. – 96.

9. Nerazrushayushchiy 2005: Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika: Spravochnik./ Klyuyev V.V., Sosnin F.R., Kovalev A.V. / Pod obshch. red. V.V. Klyuyeva V.V. – M.: Mashinostroyeniye. – 656.
10. Nadezhnost 1972: Nadezhnost i dolgovechnost mashin i oborudovaniya. /Pod red. A.S. Pronikova – M.: Standart. – 406.
11. Nerazrushayushchiy 1986: Nerazrushayushchiy kontrol kachestva svarnykh konstruksiy. / T.A. Troitskiy, V.P. Radko, V.G. Demidko, V.G. Bobrov / – K: Tekhnika.–159.
12. Nerazrushayushchiy 1983: Nerazrushayushchiy kontrol relsov pri ikh ekspluatatsii i remonte. / Pod red. A.K. Gurvicha. – M.: Naukova dumka. – 318.
13. Pustevit V.N. 1992: Diagnostirovaniye i prognozirovaniye ostatochnogo resursa svarnykh metallokonstruksiy i detaley mashin: Dis. kand. tekhn. nauk: 01. 02. 06; 05. 02. 02 – Odessa. – 467.
14. Zatsepin N.N., Lukhvich A.A., Melduy M.A. 1979: Fizicheskiye metody nerazrushayushchego kontrolya. – Minsk: Nauka i tekhnika. – 88.
15. Skoblo T.S., Malakhov A.V. 1997: Issledovaniye nekotorykh parametrov defektov mikrostruktury stali s pomoshchyu ultrazvuka. Sb. nauch. tr. KhGTUSKh. – Kharkov. – 123 - 126.
16. Skovorodin V.Ya., Tishkin I.V. 1985: Spravochnaya kniga po nadezhnosti selskokhozyaystvennoy tekhniki. – L.: Lenizdat. – 204.
17. Shchadil Ya.S. 1999: Otsinka trishchinnostivnosti naybilsh navantazhenikh detaley vuzliv pidvisnikh mashin: Dis. kand. tekhn. nauk: 05. 20. 03 – Ternopil. – 125.
18. Birch K.G., Guen F.J. 1982: The application of computer - Holograms to Testing Optical Elements. J. Phys., D.: Appl. Phys., №5, – 250.
19. Karabinesh S.S. 2001: Non-distractive control glue-weed joining by computer holography// 111 International Research And Technical Conference (MOTROL). – Lublin: Agriculture University. – Volume 4. – 144-147
20. Karabinesh S.S. 2012: Structurally- technological methods providing of reliability of agricultural technique by computer holography. /S.Karabinesh// MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin. T.14 – №3.– 112-119.
21. Karabinesh S.S., Boyko A.I., Morgun A.V. 2003: Kompyuternaya golografiya kak metod obespecheniya nadezhnosti selskokhozyaystvennoy tekhniki. – Varshava, Melitopol: MOTROL, Kh-y Mezhdunarodnyy simpozium, „Ekologicheskiye aspekty mekhanizatsii rasteniyevodstva”. – 28-33.

**METHODS OF DETERMINATION
OF TENSIONS IN PARTS DURING
REALIZATION OF HOLOGRAPHIC
METHODS**

Summary. There are theoretical and methodical bases over of determination of sizes of microstrain and tensions are brought in the deformed bodies at research of the state of surface of details of agricultural technique by holographic methods in the article.

Key words: microstrain, tension, deformed body, surface, loading, hologram, agricultural technique