

М. Л. ГУРАРИ, А. А. МАГОМЕДОВ, Г. И. РУКМАН, В. К. САХАРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА РАСТЕНИЙ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

(Представлено академиком Г. М. Франком 29 IV 1972)

Голография (¹) предоставляет уникальную возможность при исследовании нестационарных объектов. Эта возможность связана с получением голографической интерферограммы объектов, когда на одной фотопластине регистрируется две голограммы находящегося в разных состояниях объекта. При восстановлении голограммы обе волны, несущие информацию об объекте, накладываются и наблюдается интерференция. Расшифровка интерференционной картины позволяет определить произошедшие изменения.

Метод голографической интерферометрии уже нашел широкое применение во многих областях физики и техники, в частности в исследованиях поверхностных деформаций тел. Являясь одним из наиболее точных из существующих (измеряемая величина деформации сопоставима с длиной волны света $\lambda \approx 0,6 \mu$), данный метод в настоящее время достаточно легко осуществим.

В настоящей работе показана возможность применения голографической интерферометрии для исследования роста растений. Преимущество данного метода по сравнению с обычными (измерение газообмена, замедленная киносъемка), в том, что может исследоваться динамика роста растений, так как время экспозиции мало (порядка минуты), что позволяет практически непрерывно контролировать изменения скорости и «топографии» роста.

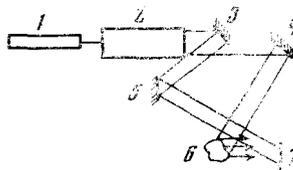


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Схема установки, использованной в экспериментах, приведена на рис. 1; это обычная двухлучевая голографическая схема. Луч He — Ne-лазера 1 проходит через коллимирующую систему 2 и делится зеркалами 3 и 4 на два равных по интенсивности луча. Луч, отраженный зеркалами 3 и 5, образует опорный волновой фронт, луч, отраженный зеркалом 4, падает на исследуемый объект 6; фотопластина 7, на которой фиксируется голограмма, находится в плоскости пересечения сигнального и опорного лучей. Все элементы схемы установлены на массивной плите, имеющей антивибрационную подвеску. Голографические интерферограммы получают с помощью двойного экспонирования. В качестве исследуемого объекта использовалась прорастающая в комнатных условиях луковица. Интервал между экспозициями варьировался в пределах 0,5–2 мин.

Фотографии восстановленных интерферограмм приведены на рис. 2. Простота полученных интерференционных картин позволяет расшифровать их и определить характер и величину деформации за время между экспозициями.

Расшифровка интерферограммы стебля. В этом случае интерференционная картина представляет собой систему полос, перпендикулярных направлению роста стебля. При сдвиге точек стебля на величину δy в плоскости фронта плоской волны, освещающей его, приращение

оптического пути dl из точки наблюдения O на голограмме до точки A на поверхности стебля (рис. 3) равно:

$$dl = \frac{d}{dy} \sqrt{D^2 + y^2} \delta y, \quad (1)$$

где y — координата точки A , D — расстояние между рассматриваемой поверхностью и точкой наблюдения O . При $y \ll D$

$$dl = \frac{y}{D} \delta y. \quad (2)$$

Параметром, измеряемым по интерферограммам, является расстояние Δ между соседними светлыми (или темными) полосами. Чтобы получить

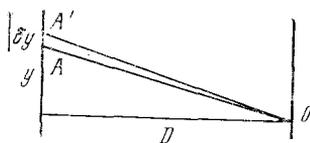


Рис. 3. Схема расчета сдвига стебля

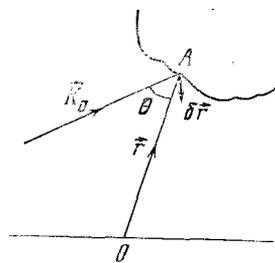


Рис. 4. Схема расчета деформации произвольной поверхности

соответствующую величину сдвига δy , выражение (2) необходимо приравнять длине волны излучения, используемого для голографирования. Тогда

$$\delta y = \lambda \frac{D}{\Delta}. \quad (3)$$

Обработка интерферограммы рис. 2а с помощью (3) показала, что скорость роста стебля луковницы составляет $1,5 \cdot 10^{-5}$ см/сек.

Расшифровка интерферограммы луковницы. На рис. 2б приведена интерферограмма на поверхности самой луковницы. Структура полос в этом случае более сложная, чем на стеблях. Нетрудно показать (см. рис. 4), что деформация δr поверхности произвольной формы приводит к фазовому сдвигу волны $\delta \varphi$ в точке наблюдения r на голограмме:

$$\delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{r \delta r}{|r|} - K_0 \delta r \right), \quad (4)$$

где K_0 — единичный вектор направления падающей волны. В работе (2) приведена общая методика определения величин и направлений локальных перемещений элементов поверхности объекта по виду интерференционной картины. Оценка деформации поверхности луковницы по рис. 2б с помощью (4) приводит к величине деформации $(6 \div 10)$ м за $\tau = 3$ мин. (τ — время между экспозициями).

Можно предполагать, что метод голографической интерферометрии окажется весьма полезным при исследовании динамики роста растений.

Всесоюзный научно-исследовательский институт оптико-физических измерений
Москва

Поступило
11 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Борн, Э. Вольф, Основы оптики, «Наука», 1970. ² Е. Б. Александров, А. М. Бонч-Бруевич, ЖТФ, 37, 360 (1967).