

Министерство высшего и среднего специального образования
У С С Р

Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени
металлургический институт

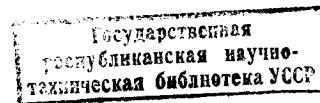
РГАСЧТИ 30.19.15:29.31.33

УДК 539.384.6:531.715.1

А. В. Сладковский

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ПРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ
ПОМОЩИ ДВУХЭКСПОЗИЦИОННОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ
ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Дел. 6 УкрНИИПИ 19.09.88



120

Днепропетровск, 1988

Голографическая интерферометрия - один из наиболее эффективных методов исследования полей перемещений различных конструкций. Этот аспект является общепризнанным и широко используется в дефектоскопии. Причем обычно величина перемещений при этом не определяется, достаточно получить интерференционный портрет контролируемой конструкции. Нерегулярность интерференционных полос будет характеризовать наличие дефекта. В настоящее время делаются попытки использования голографической интерферометрии для определения прочности реальных оболочечных конструкций [1]. Последовательность проведения исследований в данном случае следующая. Рассматриваемый реальный объект, имеющий различные неоднородности, включения, разнотолщинность и другие дефекты, не учитываемые на стадии проектирования, голографируется при нагрузках не превышающих 5-10% от разрушающих (определенных теоретически для идеальной конструкции, так как разрушающая нагрузка для реального объекта индивидуальна и заранее не известна). Все индивидуальные особенности объекта, влияющие на его прочность при воздействии данной нагрузки, сказываются на распределении поверхностных перемещений, которые используются для определения локальных усредненных механических характеристик, например, жесткости. Далее можно определить деформированное состояние объекта и, применяя прочностные критерии, экстраполировать его с какой-то долей вероятности на критические нагрузки. При этом необходимо также учесть характер деформирования материала изделия при высоком уровне нагрузок. Такой теоретико-экспериментальный подход несмотря на свою большую сложность и имеющуюся погрешность может быть все-таки эффективен, особенно для дорогостоящих и ответственных узлов и изделий.

Очевидно, что при описанном подходе необходимо знать поле перемещений. Его определение возможно при проведении расшифровки полученного интерференционного портрета объекта. Зная геометрию схемы, параметры источника излучения и абсолютный номер интерференционной полосы в какой-либо точке интерференционного портрета, можно вычислить перемещение в соответствующей точке поверхности объекта. Применение вычислительной техники типа комплекса АРМ позволяет автоматизировать расшифровку [2]. Следовательно, одним из основных вопросов при изучении поля перемещений поверхности объекта с помощью двухэкспозиционной интерферометрии является нахождение номера интерференционной полосы и ее знака. Известен ряд способов, позволяющих определить номер полосы, однако узнать знак смещения при помощи только голографических методов невозможно [3]. Для этого приходится применять какие-либо дополнительные условия или испытания.

Наиболее просто установить знак смещения, если из условий нагружения объекта априори известно направление смещений поверхности. Для некоторых изделий, например, из композиционных материалов, получение информации о поле перемещений поверхности достаточно затруднительно в связи с наличием большого числа участков с неясным знаком.

Существует ряд способов, позволяющих при помощи механических приспособлений или условий нагружения определить знак полос на интерферограмме исследуемого объекта. Способ [4] состоит в том, что к исследуемому участку поверхности объекта приклеивают упругий элемент ("мостик"), который соединен с базовым элементом. После нагружения объекта деформируют базовый элемент до замыкания полос на базовом элементе через упру-

гий элемент с полосами на исследуемом объекте, что позволяет установить знак интерференционных полос. Данный способ имеет тот недостаток, что за счет установки упругого элемента может появиться погрешность измерений, что особо существенно для тонкостенных объектов или изделий из низкомодульных материалов. При большом количестве участков с неясным знаком необходимость присоединения упругого элемента в каждой точке вызывает значительные трудности.

Способ измерения остаточных напряжений [5] позволяет обойтись без упругого элемента. По данному способу интерферограмма объекта наблюдается в реальном масштабе времени. Для компенсации остаточных напряжений к объекту прикладывается тестовая нагрузка. Так как направление ее известно, то можно по бегу интерференционных полос определить их знак.

Данный способ может в модифицированном виде применяться и для исследования полей перемещений оболочечных конструкций. Представим себе, например, следующий эксперимент. Идеальная шаровая оболочка записывается при нагружении внутренним давлением P_0 . В результате приращения давления ΔP на интерферограмме оболочки появляется система полос, представляющая из себя концентрические окружности. В том случае, если знак приращения ΔP не известен, то не известен также и знак интерференционных полос. Приложение тестовой нагрузки (надавливание) в центре окружностей вызовет бег полос, причем уменьшение диаметра окружностей будет говорить о том, что знак полос положительный, расширение – отрицательный.

Однако для объектов с более сложной интерференционной картиной подобный способ не является достаточным. Это связано с тем, что, вообще говоря, при надавливании в экстремаль-

ном участке (ЭУ) определяется не знак, а только характер экстремума: максимум или минимум. При этом знак полосы в максимуме может быть как положительный, так и отрицательный. Для эксперимента с шаром полученной информации было бы достаточно, так как максимум перемещений для идеального шара может иметь только знак плюс, а минимума - минус. Для сложных механических объектов типа сосуда давления предлагается следующая методика.

На двухэкспозиционной интерферограмме сосуда давления, полученной при давлениях P_0 и $P_0 + \Delta P$, определяются экстремумы поля перемещений. После чего дополнительно получается интерферограмма реального времени ЭУ при давлении P_0 . Далее в реальном масштабе времени наблюдается количество полос N , появившихся в ЭУ при повышении давления от P_0 до $P_0 + \Delta P$. Наблюдение осуществляется в том же положении интерферограммы, что и запись двухэкспозиционной интерферограммы. Номеру интерференционной полосы в наблюданной точке присваивается значение $+N$, если полосы в ЭУ расходились и $-N$, если сходились. Затем осуществляется приложение тестовой нагрузки (надавливание) в ЭУ и в реальном времени определяется характер экстремума поля перемещений. При увеличении количества полос поля перемещений в ЭУ имеет локальный минимум, при уменьшении - максимум. Окончательно, если в ЭУ минимум поля перемещений, то знак абсолютного номера интерференционной полосы должен быть изменен на противоположный, а если максимум - сохранен. Таким образом могут быть протестированы все участки с неясным знаком. Данная методика позволяет определить как номер интерференционной полосы на двухэкспозиционной интерферограмме, так и ее знак в том случае, если локализация O - полосы неизвестна.

В ряде случаев исследования оболочечных конструкций максимум информации об объекте несут радиальные перемещения,

которые обычно на порядок больше других компонент. Использование фронтальной схемы позволяет получить данные о поле радиальных перемещений. Для определения их знака может быть использовано приспособление [6]. Оно состоит из цилиндрического стержня и планки, закрепленной на стержне с возможностью свободного поворота вокруг оси. Конструкционно планка выполнена так, что центр тяжести планки лежит на оси. Приспособление работает следующим образом. Планку приводят в механический контакт с поверхностью объекта. Объект и планку записывают на голограмму, производят нагружение объекта, вновь записывают объект и планку на ту же голограмму и по наличию или отсутствию интерференционной картины на планке судят о знаке нормальных перемещений объекта. При наличии полос нормальные перемещения направлены к наблюдателю, при отсутствии – от наблюдателя. Положительную роль в работе приспособления оказывает трение на оси планки, которое всегда имеет место. Оно препятствует перемещению планки в случае наличия перемещений объекта, направленных от наблюдателя.

Для определения номера интерференционной полосы приспособление [6] должно применяться совместно с обычной упругой связью типа мостика. Предлагается также устройство для определения номера, которое не будет приклеиваться к поверхности объекта. Оно конструктивно совмещено с приспособлением [6]. На рис. I показана схема подобного устройства. На оси 2 вращаются две планки 3 и 4. Балансный грузик 5 позволяет выставить центр тяжести планки 3 на оси вращения, то есть планка 3 с грузом 5 – аналог приспособления [6]. Планка 4 пружиной 6 постоянно прижимается к поверхности объекта. Усилие прижима должно быть отрегулировано винтом 7. Конструкция планок тако-

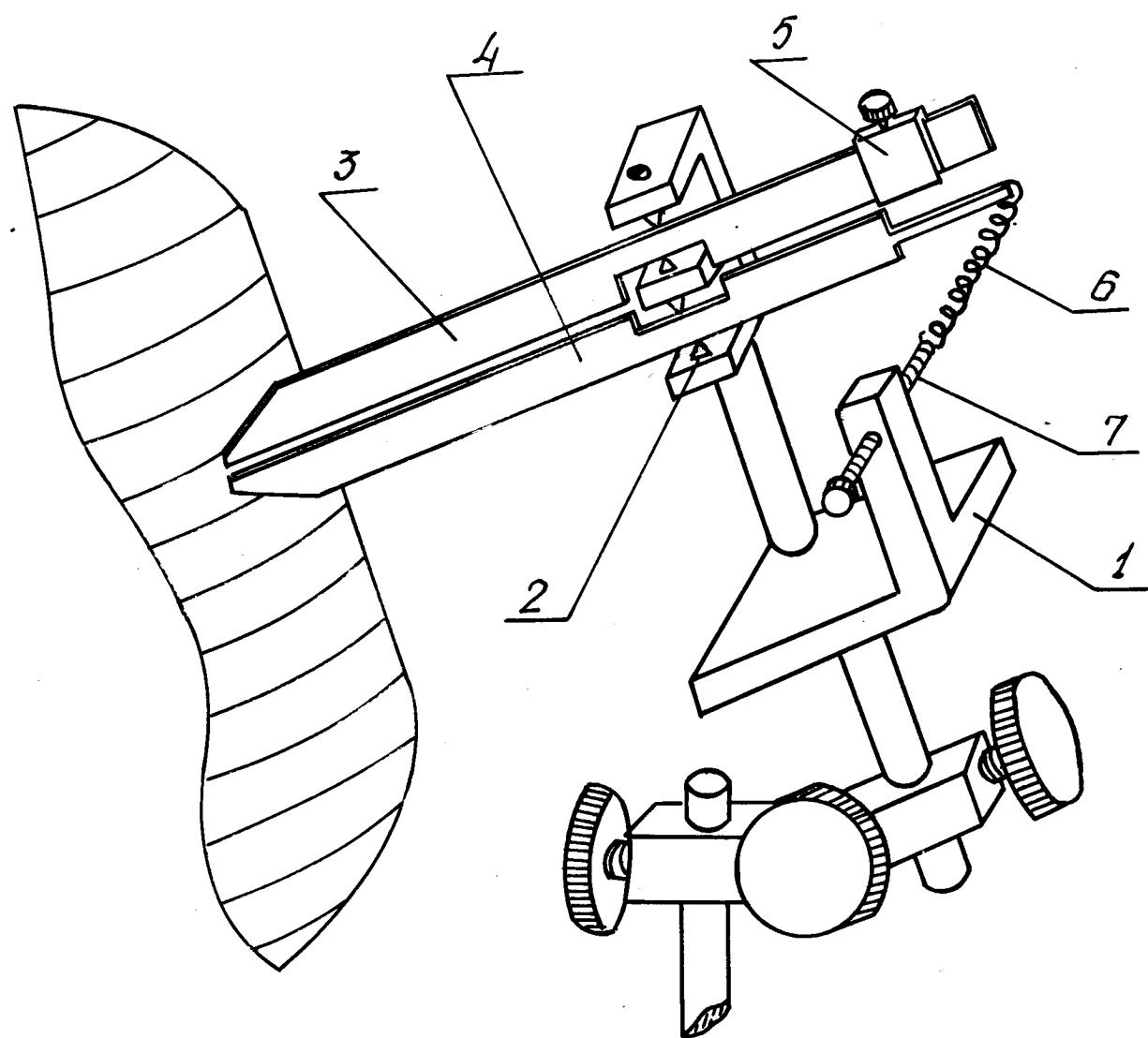


Рис. I. Устройство для определения номера и
знака интерференционных полос

ва, что ось вращения проходит через наружную их поверхность. Тогда для любой голографической схемы - O - полоса будет локализована на оси вращения. От нее же ведется отсчет полос.

Порядок проведения измерений следующий. Планки 3 и 4 приводятся в соприкосновение с поверхностью голографируемого объекта, находящегося в ненагруженном состоянии, таким образом, чтобы направление смещений планок в точке их контакта с поверхностью объекта совпадало с вектором чувствительности схемы. Затем записывается объект в ненагруженном и нагруженном состоянии совместно с планками. На интерферограмме отсчет номеров полос ведется при помощи планки 4, а определение их знака при помощи планки 3. Предложенное устройство позволяет обойтись без использования реального масштаба времени, что упрощает проведение измерений.

В качестве примера использования описанного устройства можно привести две интерферограммы (рис. 2 и 3). Рассматривается изгиб консольно защепленной по нижнему краю пластины. В точке верхнего края, смещенной к правой стороне, прикладывается сосредоточенная сила вызывающая изгиб. Перемещения пластины направлены либо к наблюдателю, либо в противоположном. Запись голограмм осуществляется при помощи фронтальной схемы. Верхняя и нижняя планки установлены таким образом, что направление перемещений в точке контактирования их с поверхностью пластины совпадает с вектором чувствительности схемы. Используя описанную выше методику можно определить, что на рис. 2 номер интерференционной полосы на краю нижней планки (отсчетной) равен +39, аналогично, на рис. 3 номер равен -29. Так как в данном тестовом примере локализация O -полосы на объекте известна (нижний край пластины), а также заранее было

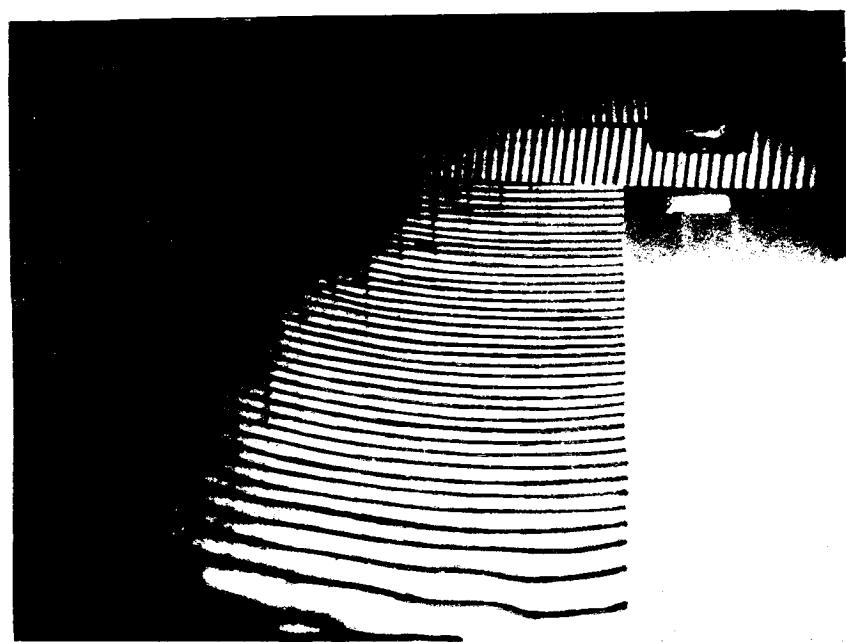


Рис. 2. Интерферограмма пластины, закрепленной по нижнему краю. Перемещения поверхности направлены к наблюдателю

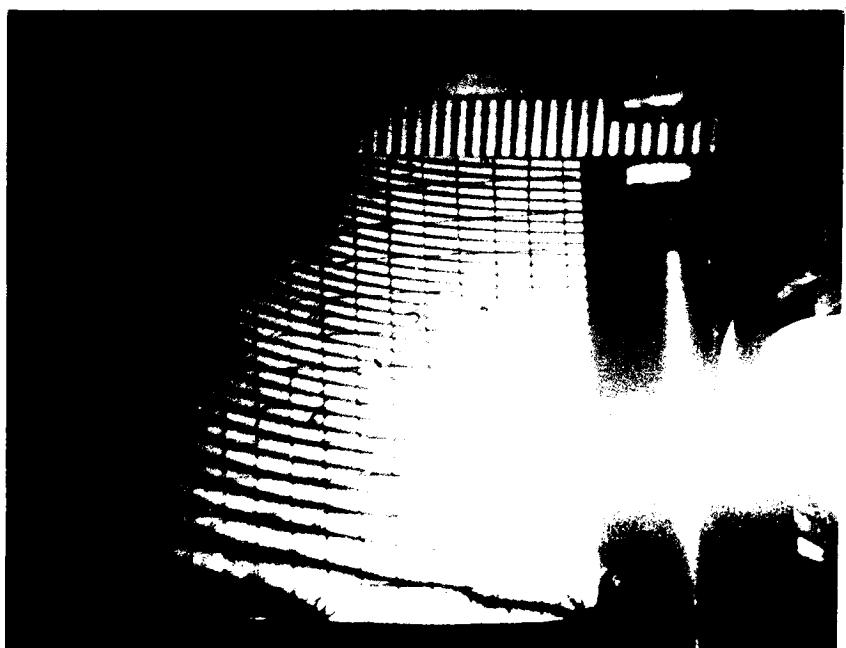


Рис. 3. Интерферограмма пластины, закрепленной по нижнему краю. Перемещения поверхности направлены от наблюдателя

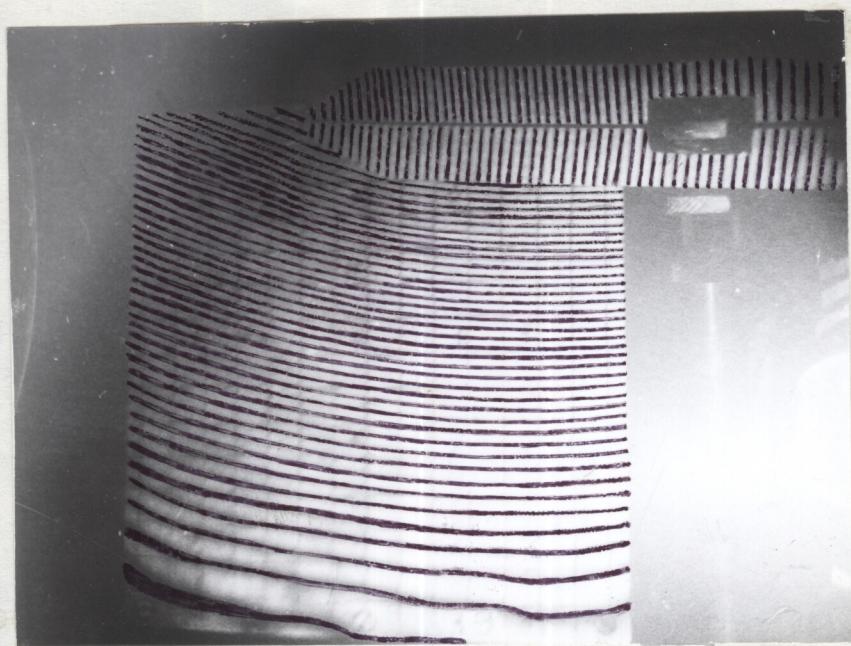


Рис. 2. Интерферограмма пластины, закрепленной по нижнему краю. Перемещения поверхности направлены к наблюдателю

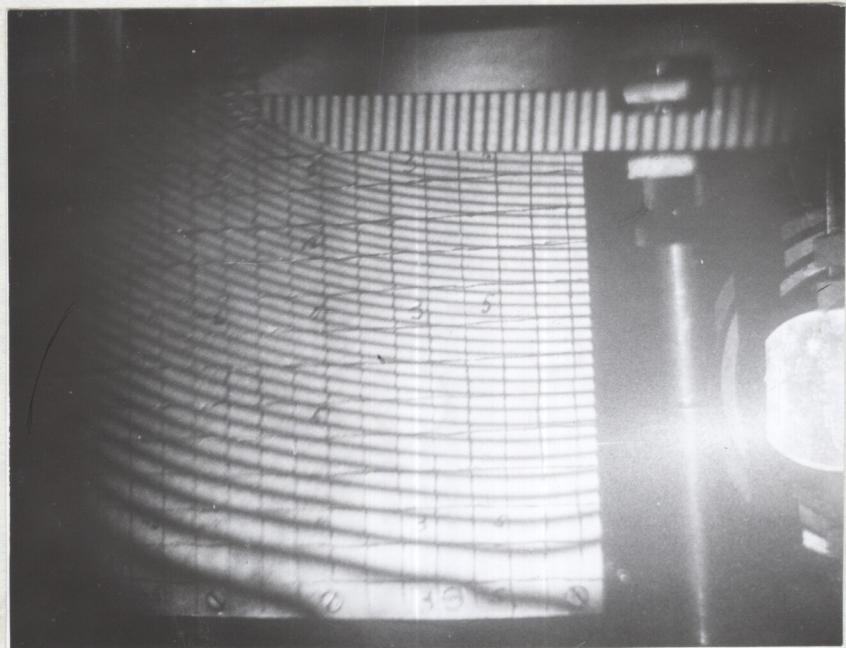


Рис. 3. Интерферограмма пластины, закрепленной по нижнему краю. Перемещения поверхности направлены от наблюдателя

известно направление перемещений пластины, то приведенные интерферограммы подтвердили достоверность полученных с помощью приспособления результатов. Особо следует остановиться на рис.

3. Возможно появление незначительного количества полос на верхней планке в силу погрешности эксперимента. В частности, возможен незначительный дисбаланс верхней пластины или какие-либо малые ее перемещения в процессе нагружения объекта, не связанные с перемещениями поверхности самого объекта. Этим объясняется наличие широких полос на планке (рис. 3). Данные погрешности эксперимента могут быть устранены при его подготовке.

Таким образом, предложенные методики и приспособления позволяют при помощи достаточно простых измерительных средств провести подготовительный этап расшифровки двухэкспозиционных интерферограмм сложных механических объектов, то есть найти как номер, так и знак интерференционных полос, а значит получить необходимую информацию для определения поля перемещений поверхности объекта. Указанные разработки могут быть рекомендованы для проведения голографических исследований оболочечных конструкций в лабораторных условиях.

II

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Петров В.В., Ларионова Е.А., Сладковский А.В. Теоретико-голографический подход к оценке прочности оболочек наддува из композиционных материалов // Методы и средства диагностики несущей способности изделий из композитов.- Рига: Зинатне, 1986.- С. 239-241.
2. Сладковский А.В., Забутная В.И., Цыганков С.В. Полуавтоматическая расшифровка интерференционных портретов при использовании голографических средств неразрушающего контроля // Современные проблемы строительной механики и прочности летательных аппаратов: Тез. докл. II Всесоюз, конф.- Куйбышев, 1986.- С. 142.
3. Вест Ч. Голографическая интерферометрия.- М.: Мир, 1982.
4. А.с. 630526 СССР, МКИ³ G 01 В II/I6. Способ измерения деформаций объекта / В.И. Гладырь и др. (СССР).- № 2400812/25-28; Заявлено 31.08.76; Опубл. 30.10.78. Бюл. № 40.
5. А.с. II196702 СССР, МКИ³ G 01 L I/08. Способ определения остаточных напряжений / В.Г. Бахтин и др. (СССР).- № 3729748/24-10; Заявлено 20.04.84; Опубл. 7.12.85. Бюл. № 45.
6. Решение ВНИИГПЭ от 31.07.87 г. о выдаче авт. свид. по заявке 4022954/25-28 (023051), МКИ⁴ G 01 В 9/021. Приспособление для определения знака нормальных перемещений к голографическим интерферометрам / А.В. Сладковский (СССР).- Заявлено 10.02.86.

ПЕЧАТАЕТСЯ В СООТВЕТСТВИИ С РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО
СОВЕТА ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА
ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ОТ 20 МАЯ 1988 ГОДА