

У. В. Дубатовка, О. Н. Кузяков

**Использование метода,
моделирующего муаровый эффект,
для системы контроля деформаций**

Рассматривается электронно-проекторный метод, моделирующий муаровый эффект. Предлагается использование данного метода для измерения топологии поверхности и контроля деформаций металлических конструкций и оболочек. Приводятся графики зависимости шага муаровых полос от параметров накладываемых сеток. Предлагается аппаратная реализация системы контроля деформаций и графический интерфейс для оперативного управления параметрами видеосистемы.

Известно, что надежность технического объекта характеризуется такими свойствами, как безотказность, ремонтпригодность и долговечность [1, 5]. Надежность объекта можно также рассматривать как недопустимость самопроизвольных и нежелательных изменений его технического состояния, проявляющихся в ухудшении качества функционирования объекта.

В этой связи техническое состояние объекта — это совокупность свойств объекта, изменяющихся в процессе его эксплуатации. В качестве крайнего состояния здесь можно рассматривать возникновение аварийной ситуации.

Статистический анализ причин аварий на объектах транспорта и хранения нефти, выполненный на основе работ [6, 7], позволил сделать вывод, что доля аварий, вызванных группой дефектов, связанных с изготовлением и строительными-монтажными работами, в среднем составляет 0,32; доля аварий из-за коррозионных процессов — 0,28; доля аварий, вызванных внешними факторами, — 0,31. К внешним факторам можно отнести влияние техногенных процессов и случайные повреждения от сторонних организаций, а также влияние различных физико-геологических процессов [2].

В настоящее время развиваются и совершенствуются следующие методы контроля технического состояния объектов нефтяной и газовой промышленности: ультразвуковые, электромагнитные, акустические, оптические, дифференциального давления и др. Один из них — метод, основанный на использовании муарового эффекта [3, 4]. Суть эффекта связана с образованием муаровой картины в виде темных и светлых полос при наложении двух линейчатых сеток. Такая картина может служить качественной и количественной характеристикой процесса деформаций поверхности объекта.

В работе исследуются возможности разновидности указанного метода: электронно-проекторного метода с моделированием муарового эффекта. В данном методе один из накладываемых для создания муаровой картины растров является мнимым, т. е. виртуальным.

Известна аналитическая зависимость [3], связывающая шаги накладываемых сеток a_1 , a_2 с шагом образуемых муаровых полос S . Эта зависимость имеет вид

$$S = \frac{a_1 \times a_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2 \times a_1 \times a_2 \times \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}}, \quad (1)$$

где a_1 , a_2 — величины шагов для накладываемых сеток, которые могут быть выражены в мм, см, м; φ_1 , φ_2 — углы поворота сеток относительно координатной оси.

При малой разности углов, когда справедливо соотношение

$$\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \approx 1 - \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2}, \quad (2)$$

формула (1) принимает вид

$$S = \frac{\sqrt{a_1 \times a_2}}{\sqrt{\frac{(a_1 - a_2)^2}{a_1 \times a_2} + (\varphi_1 - \varphi_2)^2}}. \quad (3)$$

В результате вычислительного эксперимента были получены зависимости $S(a_1, a_2, \varphi)$ (рис. 1–3), где a_1 , a_2 —

шаги накладываемых линейчатых сеток, φ — угол поворота сеток относительно друг друга. При $a_1 \neq a_2$ ($a_1 = 0,01 — \text{const}$) и $\varphi = 1^\circ(\text{const})$ шаг муаровых полос описывается зависимостью, показанной на рис. 1.

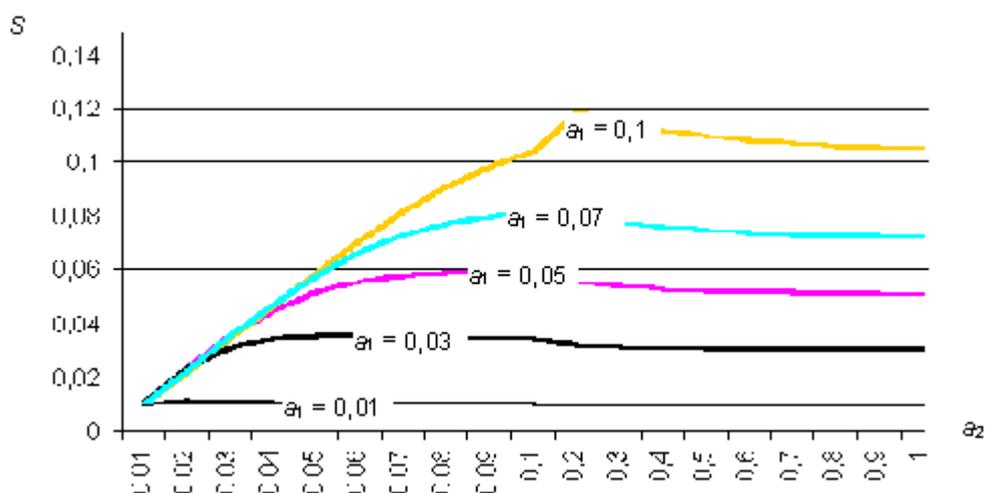


Рис. 1. Зависимость шага муаровых полос S при фиксированных шаге сетки a_1 и угле φ

Из рис. 1 видно, что линейное возрастание функции S на начальном участке соизмеримо со значением a_2 , а при увеличении угла φ при тех же a_1 и a_2 быстрота нарастания функции S на начальном участке замедляется.

При $a_1 \neq a_2$, $a_1 = 0,01 — \text{const}$ и $\varphi \in [1^\circ; 30^\circ]$ шаг муаровых полос описывается зависимостью, показанной на рис. 2.

Как видно из построенных графиков, при повороте линейчатых сеток относительно друг друга шаг муаровых полос будет периодически изменяться в широком диапазоне значений.

Изменения S наиболее существенны тогда, когда разность между шагами линейчатых сеток меньше единицы. Если $a_2 - a_1 \approx 1$ ($a_2 > a_1$), то значение функции $S \approx a_1$ (см. рис. 2).

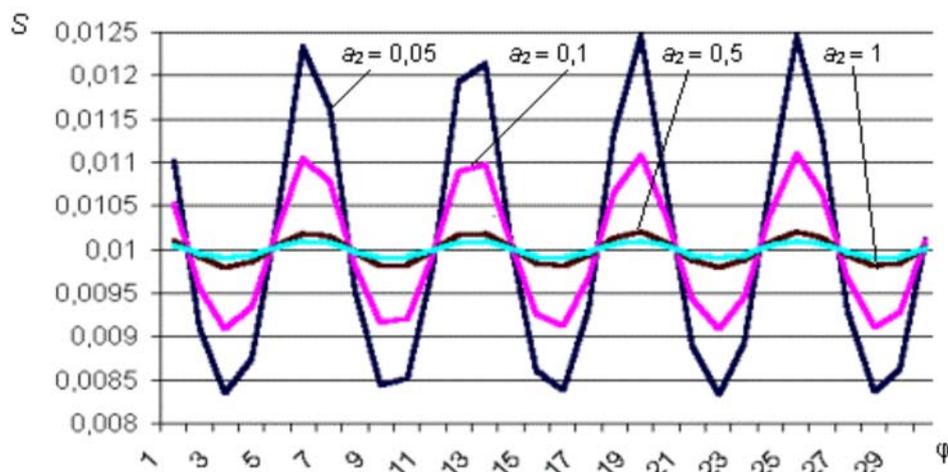


Рис. 2. Зависимость шага муаровых полос S от угла φ при фиксированном шаге сетки a_1

Если $a_1 = a_2$ и $\varphi \in [1^\circ; 30^\circ]$, то функция $S(a_1, a_2, \varphi)$ будет иметь вид, показанный на рис. 3.

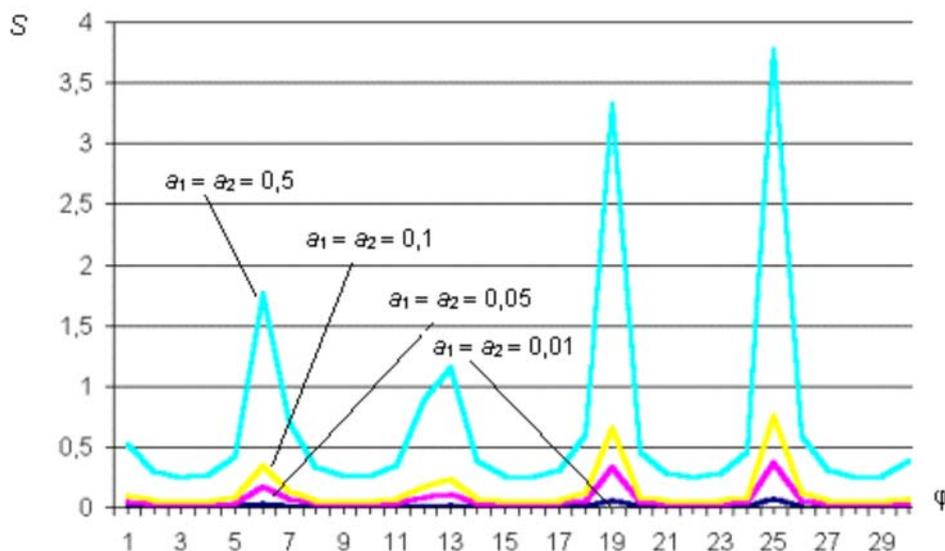


Рис. 3. Зависимость шага муаровых полос S от угла φ при $a_1 = a_2$

Из рис. 3 видно, что при увеличении шага линейчатых сеток происходит скачкообразное изменение значения функции S .

Чтобы повысить точность исследования топологии поверхности объектов, необходимо уменьшать шаг муаровых полос, поэтому целесообразно использовать линейчатые сетки с шагом $a_1 = a_2 \in [0,01; 0,1]$, а угол поворота φ в пределах $[1^\circ; 17^\circ]$. Если $a_1 \neq a_2$, тогда $a_2 - a_1 \approx 1$ ($a_2 > a_1$), т. е. $a_2 \in [0,8; 1]$, $a_1 \in [0,01; 0,05]$, $\varphi \in [1^\circ; 30^\circ]$. Или $a_1 \in [0,01; 0,02]$, $a_2 \in [0,01; 1]$, $\varphi \in [1^\circ; 5^\circ]$.

Этого можно добиться за счет синтеза проецируемой сетки в ПК с нужными параметрами, а также синтеза и перемещения мнимой сетки в направлении, перпендикулярном оси проецирования, учитывая при этом масштабный коэффициент.

На рис. 4 показана предложенная система исследования и контроля деформаций, предполагающая дистанционное управление.

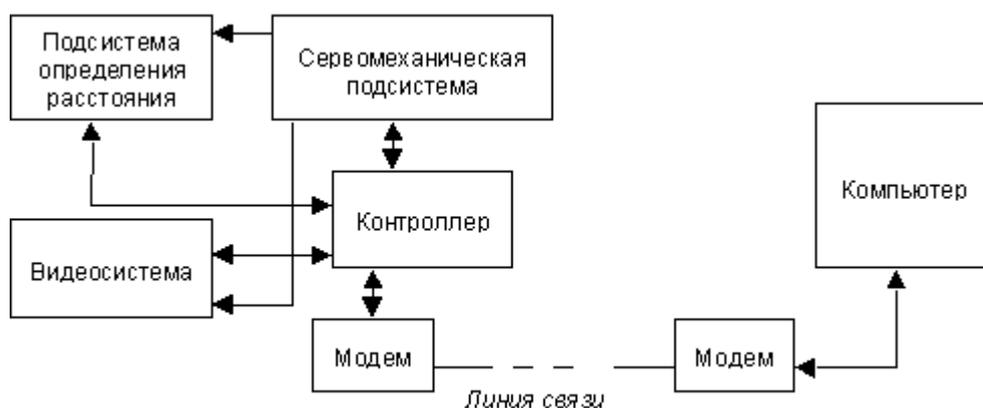


Рис. 4. Система контроля с дистанционным управлением

Центральной частью такой системы является компьютер, соединенный с контроллером через модем. При этом в качестве линии связи может быть как проводная линия связи, так и радиоканал.

«Интеллектуальные свойства» контроллера реализованы за счет встроенной ROM-DOS операционной системы, расположенной на Flash-диске емкостью 512 Кбайт. Контроллер Lagoon-3140 на базе микропроцессора AMD 188-40 МГц имеет 4 COM-порта (RS-232C и RS-485) для подключения к внешним устройствам, в качестве которых выступают сервомеханическая подсистема, видеосистема и подсистема

определения расстояния.

Управляющие сигналы генерируются компьютером и через модем поступают в контроллер, который осуществляет непосредственное управление внешними устройствами системы.

В случае использования радиоканала в качестве радиомодема предложено использовать модуль SST-2400EXT, который работает на частоте 2400 МГц и имеет диапазон для несущих частот 2426–2460 МГц с общим числом радиоканалов 8 и шириной канала по частоте 2 МГц.

Такой вариант связи между компьютером и другими частями системы предпочтителен в том случае, когда имеются трудности в организации проводного канала связи (например, сканирование внутренней поверхности протяженной оболочки).

Разработанный интерфейсный модуль для управления системой показан на рис. 5. В качестве объекта контроля выступает стальная конструкция буровой вышки. Оператор с экрана может производить включение-выключение системы, определение и изменение расстояния до объекта контроля, изменение угла поворота камеры, степени увеличения принимаемого изображения и фокусировку проекционной части видеосистемы.

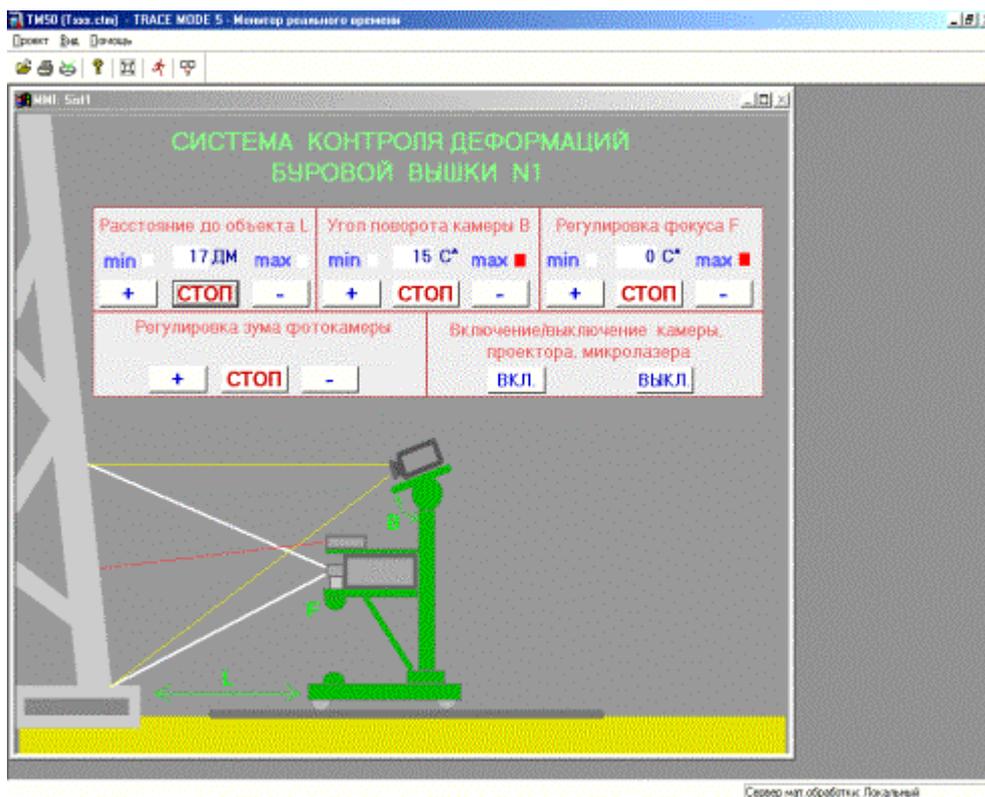


Рис. 5. Интерфейс управления для системы контроля

Таким образом, своевременный контроль состояния промышленного объекта в процессе его строительства и эксплуатации позволяет значительно повысить надежность функционирования за счет сокращения доли отказов, вызванных как коррозией, так и деформациями по различным причинам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов А. А., Мороз А. В. Надежность систем автоматического регулирования. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е, 1984. 216 с.
2. Гречищев С. Е., Чистотинов Л. В., Шур Ю. Л. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. М.: Недра, 1980. 383 с.
3. Кузяков О. Н., Кучерюк В. И. Методы и средства измерения топологии поверхности, перемещений и деформаций. Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. 172 с.
4. Сухарев И. П., Ушаков Б. Н. Исследования деформаций и напряжений методом муаровых полос. М.: Машиностроение, 1969. 208 с.
5. Половко А. М. Основы теории надежности. М.: Наука, 1964. 446 с.
6. Тарасенко А. А. Напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров при ремонтных работах. М.: Недра, 1999. 270 с.
7. Эксплуатация магистральных нефтепроводов. Трубопроводный транспорт нефти: Учеб. пособие / Авторы-составители: В. Н. Антипов, Ю. Д. Земенков, С. И. Перовицкий, О. Н. Кузяков и др. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. 264 с.

U. V. Dubatovka, O. N. Kuzyakov

**APPLICATION OF A METHOD SIMULATING MOIRÉ EFFECT
FOR A SYSTEM OF DEFORMATION CONTROL**

The paper considers an electronic-and-projection method simulating moiré effect. The author suggests applying this method to measure surface topology and to control deformation of metal constructions and shells. Enclosed, plots to show a step of moiré strips related to parameters of applied nets. The article suggests hardware realization of deformation control as well as a graphical interface for on-line management of videosystem's parameters.