

**А.М. ЛЕКСОВСКИЙ**, д-р техн. наук, доцент

**Б.Л. БАСКИН**,

(Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

**А.В. УЛЫБИН**, аспирант

(Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет)

## **ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТЕНЗОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЙ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В настоящее время использование рентгеновской дифракции для определения напряжений в конструкционных материалах, особенно в новейших, а также в элементах конструкций авиа и космического назначения, т.е. в «высоких» технологиях, является нормой. В 80-х годах в Ленинградском Политехническом институте [1] была создана принципиально новая конструкция с двуханодной трубкой, что позволило в одной съемке иметь дифракционные линии на двух углах, что согласно теории позволяет вычислить изменение межплоскостных параметров кристаллической решетки, и, следовательно, напряжений. Конструктивно прибор разработан с регистрацией дифракционных линий на специальную фотопленку, что никак не обеспечивало оперативной обработки результатов измерений.

Применяемый в данной работе прибор в 1997-98 г. г. был существенно модернизирован в части применения вместо рентгеновской фотопленки специального, газонаполненного непроточного высокочувствительного координатного детектора с персональным компьютером on line и соответствующим, специально разработанным программным обеспечением.

Портативность прибора и отсутствие необходимости принудительного водяного охлаждения рентгеновской трубки (25 кВ, 50 Вт) делают его мобильным и безопасным (при соблюдении минимальных требований), что позволяет использовать этот прибор в самых сложных условиях реальной эксплуатации конструкций разного типа. На рис.1 показан вид дифракционных линий при рентгено-съемках. Область анализа формы дифракционных линий обозначена для каждого угла  $\Psi_0$  и  $\Psi_{50}$ .

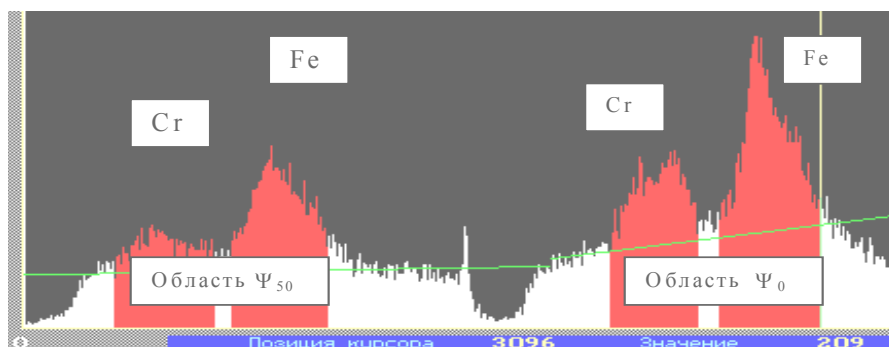


Рис.1. Вид дифракционных линий на рентгеновских съемках

На рис. 2 приведены данные "тестовых" рентгеновских измерений напряжений при деформировании плоского образца высокопрочной стали в машине Instron в пределах упругого нагружения. Разные символы экспериментальных точек относятся к «исходному» состоянию и после пластического деформирования на 0,2 %.

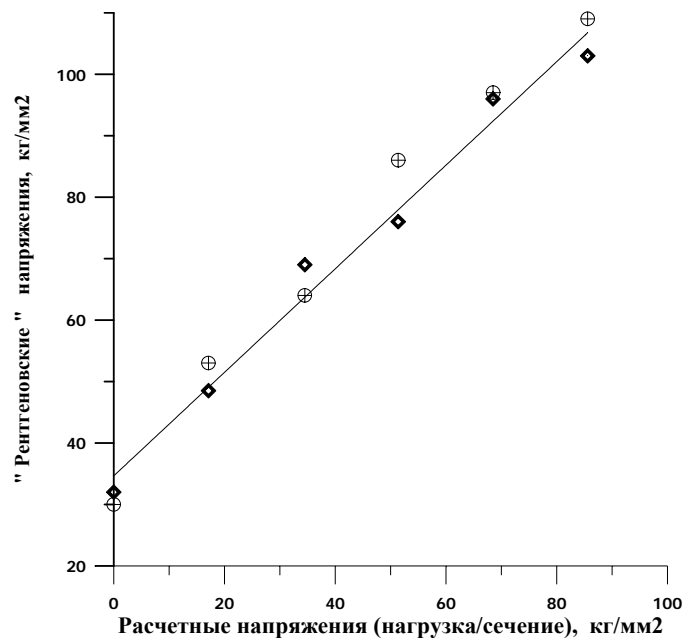


Рис. 2. Тестовые рентгеновские измерения напряжений при деформировании плоского образца высокопрочной стали

Из этих данных можно видеть, что в «исходном» состоянии (состоянии поставки) на поверхности образца действуют растягивающие напряжения на уровне 32 – 35 кг/мм². Эту величину необходимо вычитать из данных рентгеновских измерений при определении расчетных «инстроновских» напряжений (нагрузка / сечение) для данного образца конкретного происхождения.

### Определение напряженного состояния анкерных тяг

С целью определения объема ремонтно - восстановительных работ по заданию АО «ГТ Проект» данный дифрактометр был использован для экспертной оценки напряженно-деформированного состояния анкерных тяг диаметром 90 мм и длиной > 30 м после временной перегрузки причала № 3 порта в г. Вентспилс. На рис.3 приведено схематическое изображение одной из анкерных тяг в исходном состоянии, в промежуточном при перегрузке и после снятия перегрузки.

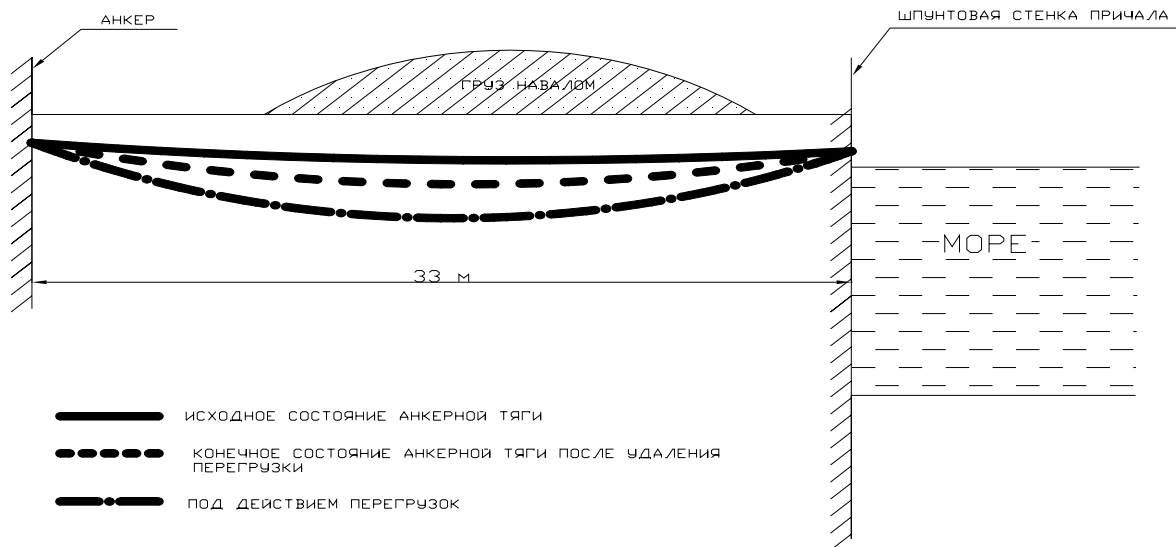


Рис.3. Схематическое изображение одной из анкерных тяг

Усредненные значения продольных ( $\sigma_1$ ) напряжений (по результатам 3-х измерений) на анкерных тягах в зоне максимального искривления лицевой стенки причала представлены в таблице. Наличие значительных продольных сжимающих напряжений в верхнем слое металла на некоторых тягах и растягивающих напряжений в нижней части является следствием прогиба в результате имевшей место значительной (недопустимой) перегрузки этого участка причала и последующей упругой отдачи грунта. Следует отметить, что измерение тех же продольных напряжений на свободном конце анкерной тяги, т.е. исходных (нулевых) напряжений, дает величину  $\sigma_1 \approx 10 \text{ кг/мм}^2$ , с учетом которых и приведены данные в таблице 1.

Таблица 1

| Анкерная тяга № 2   |                                    |                                    | Анкерная тяга № 6                  |                                    |                                    |                                    |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                     | $\sigma_1$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_2$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_3$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_1$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_2$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_3$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> |
| Точка № 1 (0, 85 м) | - 19                               | - 13                               | + 10                               | ~0 (2,0,-1,-2)                     | - 2                                | -----                              |
| Точка № 2 (1, 6 м)  | - 10                               | - 16                               | + 12                               | ~0 (-1,+2,0)                       | + 5                                | + 11                               |

| Анкерная тяга № 3  |                                    |                                    |                                    |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                    | $\sigma_1$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_2$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> | $\sigma_3$ ,<br>кг/мм <sup>2</sup> |
| Точка № 1 (1,0 м)  | + 6                                | -----                              | + 13                               |
| Точка № 2 (3,73 м) | - 2                                | + (14 ÷ 16)                        | -----                              |

Проведенные измерения продольных напряжений на верхней поверхности анкерных тяг свидетельствует о том, что некоторые тяги находятся отнюдь не в условиях однородного растяжения, а скорее всего в условиях растяжения с одновременным изгибом.

#### Определение методом рентгеновской тензометрии напряжений на шпунте.

В головной части пирса в пределах действовавшей в то время гермокамеры с рабочей глубиной 3 м ниже уровня моря были проведены измерения вертикаль-

ных и горизонтальных компонент напряжений в областях (точках), схематически показанных на рис. 4. Точки 1,3,7 и 9 отстояли по вертикали от оголовка верхней части пирса примерно на 70 см. Нижние точки 5 и 6 отстояли по вертикали на глубине ~2,8 м и от уровня непрерывно откачиваемой воды на дне гермокамеры ~ (15 ÷ 20) см..

Остаточные ("нулевые") значения напряжений на вырезанном ранее диске диаметром 14 см дали величину в 16 и 11 кг/мм<sup>2</sup> (растяжение). Эти величины учитывались при вычислении действующих соответствующих компонент напряжений.

Результаты измерений сведены в табл. № 2.

Уменьшение  $\sigma_v$  ( в 5÷6 раз ) при переходе от точек 1 и 3 к точкам 2, 5 и 4, 6 (при передвижении по глубине ) , свидетельствует о депланации вертикальной поверхности основной стенки шпунта (появлении выпуклости) вследствие давления грунта внутренней части пирса.

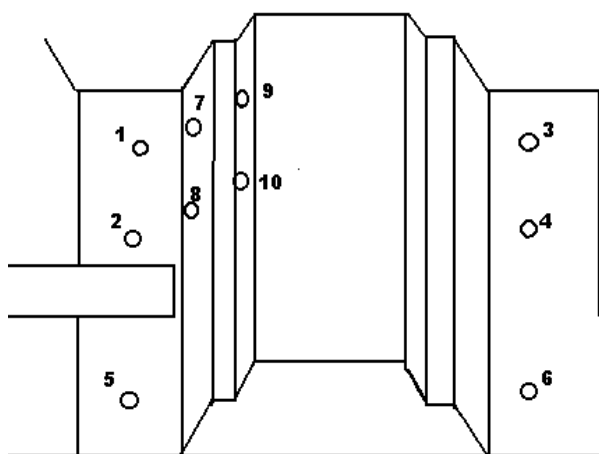


Рис.4. Расположение точек измерений

Таблица № 2

| Точки | Вертикальная компонента $\sigma_v$ , кг/мм <sup>2</sup> | Горизонтальная компонента $\sigma_g$ , кг/мм <sup>2</sup> |
|-------|---|---|
| 1     | - 36  | 4   |
| 2     | -8  | 4   |
| 3     | -30   | 4   |
| 4     | -8  | 4   |
| 5     | -6  | 5   |
| 6     | -6  | 6   |
| 7     | -10   | -7  |
| 8     | -8  | -6  |
| 9     | -14   | -8  |
| 10    | -16   | -10   |

## Заключение

Проведенная работа показала техническую возможность измерения напряжений с помощью метода рентгеновской тензометрии в реально действующих конструкциях в стесненных эксплуатационных условиях, как правило неприемлемых для применения прямых физических методов исследования и экспертных оценок напряженно-деформированного состояния.

Примененный метод позволил сделать оценку действующих компонент напряжений с точностью примерно  $\pm 2$  кг/мм<sup>2</sup>

На практике показана уникальная возможность анализа напряженного состояния неразрушающим методом любых компонент на плоскости и ухода этой плоскости из первоначального положения.

Результаты работы дают основание считать, что найдено решение проблемы **«точечное пятно» дифракции представительного физического объема** и достоверная, надежная информация о напряженно деформированном состоянии **макрообъема** элемента конструкции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.А. Методы и аппаратура практической рентгеновской тензометрии. Научно-технические ведомости №3 СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006.-с 125-134