

УДК 621.791.052.539.4.014

Г. А. БИГУС, д-р тех. наук, М. В. ЧЕРНЫХ, инж.

МГТУ им. Н. Э. Баумана

А. А. ЧУРИЛОВ, инж., А. Е. ЖУРАВЛЕВ, инж.

ООО "ИНТЕРЮНИС"

E-mail: chernykh@interunis.ru

## Определение индикаторных интервалов датчиков системы комплексного диагностического мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций

Определены индикаторные интервалы датчиков системы комплексного диагностического мониторинга.

Indicator intervals of sensors of complex diagnostic monitoring system are defined.

**Ключевые слова:** *ректификационная колонна, система мониторинга, индикаторные интервалы, напряженно-деформированное состояние, опасные зоны*

**Key words:** *rectification column, monitoring system, indicator intervals, strain-stress state, danger zones*

### ВВЕДЕНИЕ

С развитием численных методов расчета сложных конструкций и всесторонним внедрением в инженерную практику универсальных и специальных программных комплексов стало возможным рассчитывать напряженно-деформированное состояние (НДС) в любой точке объекта для определения зон с высокими напряжениями — опасных зон.

Однако при установке системы комплексного диагностического мониторинга (далее системы мониторинга) для контроля опасных зон требуется установить зависимость с показаниями установленных датчиков, а также определить индикаторные интервалы для каждого из них.

В [1, 2] на примере ректификационной колонны (далее колонна) были рассмотрены первые две из трех задач, решение

которых необходимо при установке системы мониторинга: определение наиболее опасных зон, а также анализ и выбор аппаратно-программных средств и методов контроля. В данной статье будет рассмотрена третья задача — определение индикаторных интервалов датчиков.

### Границы индикаторных интервалов

В [1] были определены наиболее опасные зоны в колонне:

- нижняя;
- максимальных напряжений;
- верхняя.

Рассмотрим в качестве примера зону максимальных напряжений с целью определения индикаторных интервалов, установленных на ней датчиков продольной деформации (тензодатчиков).

Согласно [3] п. 5.2.3, введены индикаторные интервалы:

красный — состояние недопустимо;

желтый — состояние требует принятия мер;

зеленый — состояние допустимо (хорошо, отлично).

На колонну действуют следующие нагрузки:

— собственный вес ( $G$ ):  $w > w_{расч}$ ,  $\sigma > [\sigma]$ ;

— температурное воздействие ( $T$ ):  $w > w_{расч}$ ,  $\sigma = [\sigma]$ ;

— избыточное внутреннее давление ( $P$ ):  $w = w_{расч}$ ,  $\sigma < [\sigma]$ ;

— ветровое давление ( $w$ ):  $w = 0$ ,  $\sigma < [\sigma]$ .

Основной нагрузкой, которая может привести к возможным сценариям негативного развития событий [1], является ветровое давление. Поэтому границы индикаторных интервалов определяются, исходя из действия нагрузок  $G$ ,  $T$ ,  $P$  при расчетных значениях и различном значении  $w$  (рис. 1) и возникших в колонне напряжений ( $\sigma$ ).

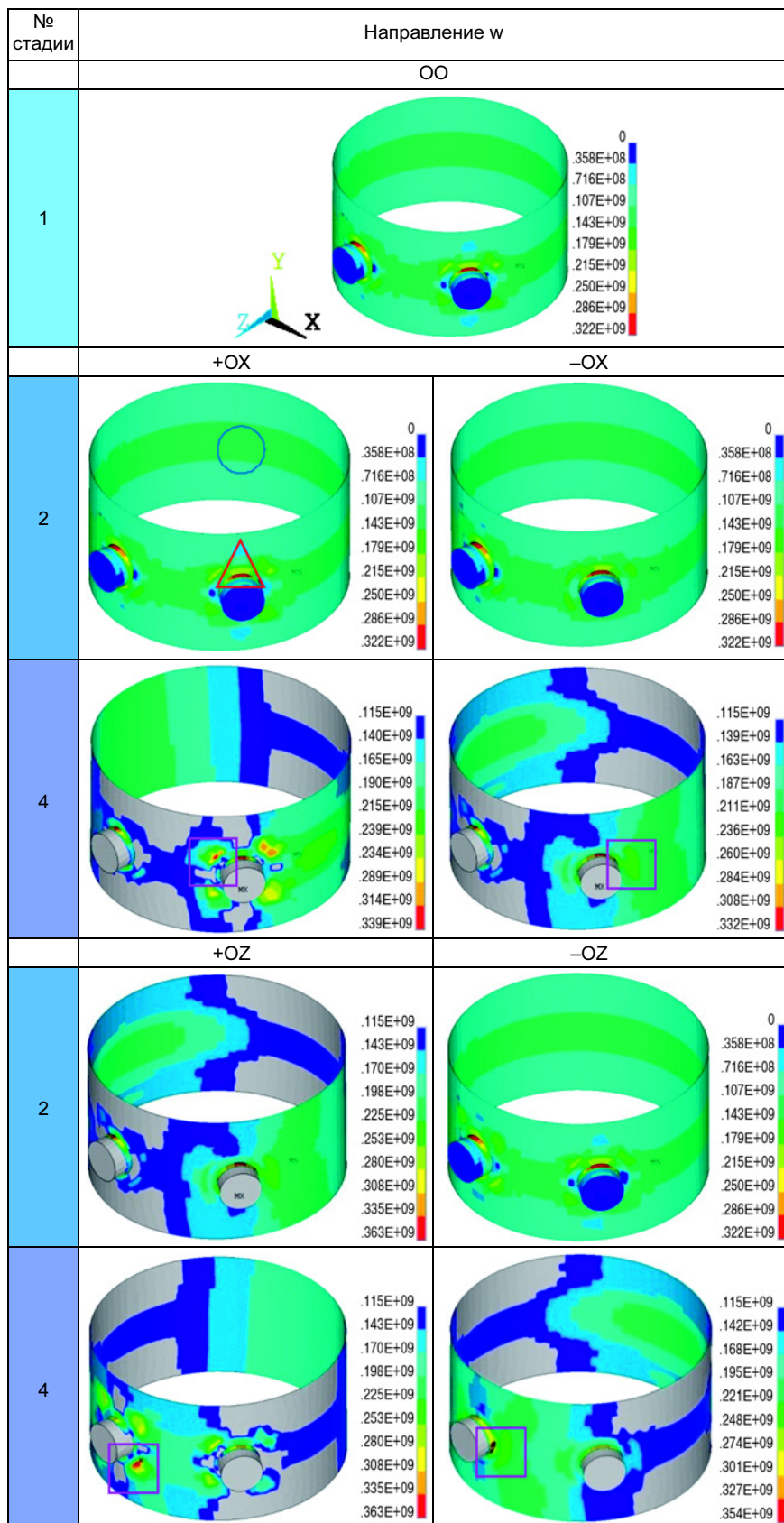


Рис. 1. Карты распределения SINT, Па: O — место с максимальными  $(\sigma)_1$ ; □ — место с максимальными  $(\sigma)_2$ ; Δ — место с максимальными  $(\sigma)_{RV}$

**Места с наибольшими напряжениями в опасных зонах**

Согласно [4], п. 1.2.15 приведенные напряжения, сопоставляемые с допускаемыми напряжениями, определяют по теории наибольших касательных напряжений. В зависимости от рассчитываемой зоны и вида нагрузений, используются различные категории приведенных напряжений ([4], табл. 5.2), где

$(\sigma)_1$  — группа приведенных напряжений, определяемая по составляющим общих мембранных напряжений ([4], п. 2.27);

$(\sigma)_2$  — группа приведенных напряжений, определяемая по суммам составляющих общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений ([4], п. 2.28);

$(\sigma)_{RV}$  — максимальный размах приведенных напряжений, определяемый по суммам составляющих общих или местных изгибных, общих температурных напряжений и напряжений компенсации в оборудовании ([4], п. 2.35)

Для определения мест с наибольшими эквивалентными напряжениями каждой категории были построены карты распределения эквивалентных напряжений (SINT) (рис. 1) при стадиях нагружения № 2 и 4 (табл. 1) и различном направлении  $w(OO, +OX, -OX, +OZ, -OZ)$ . Из карт распределения видно, что максимальные:

—  $(\sigma)_1$  ярко выражены при стадии нагружения № 2 — напряжения распределены на одной окружности с патрубками. Увеличение  $(\sigma)_1$  возникает из-за отсутствия рефракционных тарелок, придающих обечайке дополнительную жесткость;

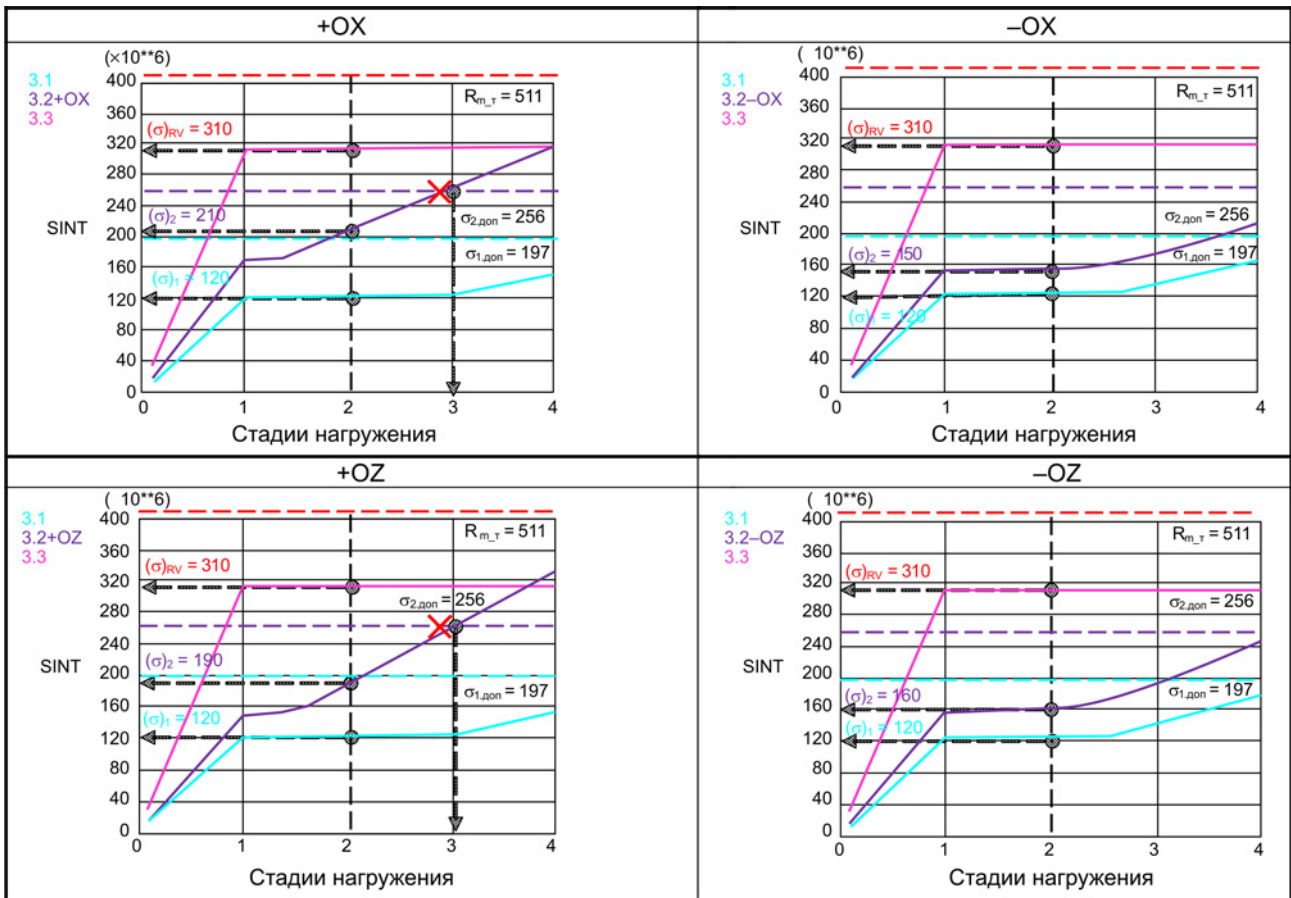


Рис. 2. Граф 1. Зависимость SINT от стадий нагружения, Па: — (σ)<sub>1</sub>; — (σ)<sub>2</sub>; — (σ)<sub>RV</sub>

— (σ)<sub>2</sub> ярко выражены при стадии нагружения № 4 — напряжения возникают на краях усиливающей накладке;

— (σ)<sub>RV</sub> ярко выражены при стадиях № 2 и 4 — напряжения возникают в месте соединения патрубка с обечайкой.

Значения напряжений в местах наибольших напряжений при расчетных нагрузках

Согласно [4] п. 1.2.4 и п. 3.4 определяются допускаемые напряжения через характеристики материала и соответствующие запасы прочности.

Согласно [4] п. 5.4 были рассчитаны допускаемые напряжения для (σ)<sub>1</sub>, (σ)<sub>2</sub> и (σ)<sub>RV</sub>:

$$\begin{aligned} \sigma_{1, \text{доп}} &= 197 \text{ МПа;} \\ \sigma_{2, \text{доп}} &= 256 \text{ МПа;} \\ \sigma_{RV} &= 511 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Таблица 1

№ стадии	G	T	P	w	
				значение	направление
1				$w = 0 \times w_{\text{расч}}$	00
2				$w = 1 \times w_{\text{расч}}$	+OX
					-OX
					+OZ
3 (промежуточная)	расчетное значение			$w = 2 \times w_{\text{расч}}$	+OX
					-OX
					+OZ
4				$w = 3 \times w_{\text{расч}}$	+OX
					-OX
					+OZ

В выбранных местах с наибольшими эквивалентными напряжениями каждой категории был построен граф (рис. 2) зависимости SINT от стадий нагружения (№ 1—4) при различном направлении w(+OX, -OX, +OZ, -OZ).

По граф. 1 (рис. 2) были определены максимальные (σ)<sub>1</sub>, (σ)<sub>2</sub>, (σ)<sub>RV</sub> при расчетных нагрузках (стадия нагружения № 2) (рис. 3).

Из граф. 1 и диаг. 1 следует:

- максимальные SINT возникают при w в направлении -OX;
- максимальные (σ)<sub>2</sub> зависят от направления w;
- при w в направлении +OX и +OZ (σ)<sub>2</sub> превышает допускаемые напряжения.

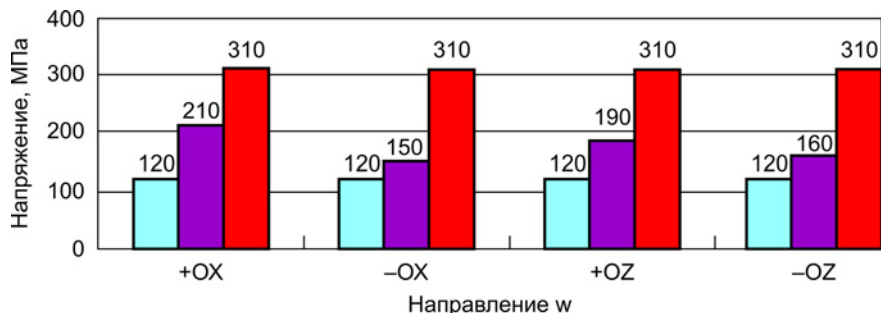


Рис. 3. Диаг. 1. Значения максимальных SINT при расчетных нагрузках: ■ — (σ)<sub>1</sub>; ■ — (σ)<sub>2</sub>; ■ — (σ)<sub>RV</sub>

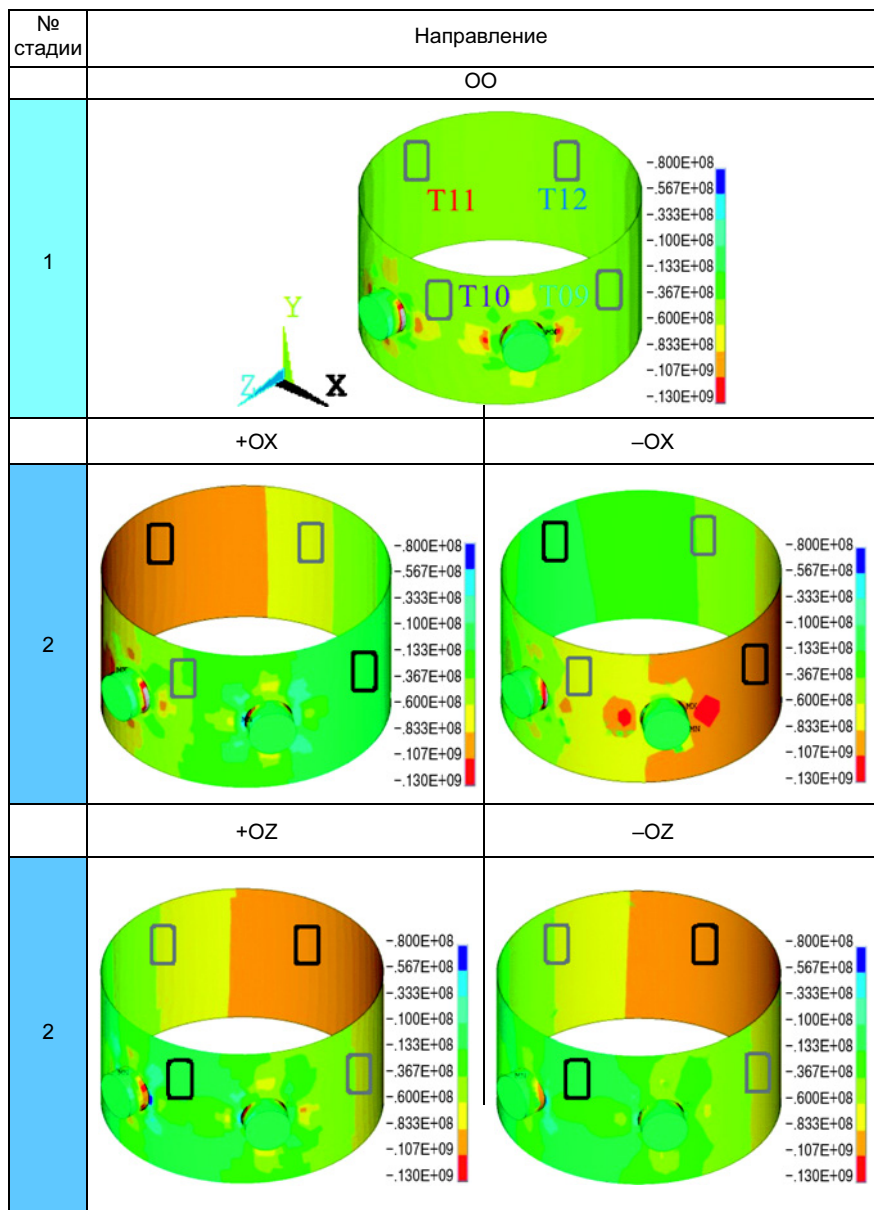


Рис. 4. Карты распределения SY, Па:  /  — расположение тензодатчиков без/откликом на w

### Показания тензодатчиков при начальных и расчетных нагрузках

Для нахождения индикаторных интервалов требуется определение начальных (стадия нагружения № 1), расчетных (стадия нагружения № 2) и критических значений (превышение (σ)<sub>2</sub> допустимых напряжений) SY в местах установки тензодатчиков T09—T12 (рис. 4).

Для определения начальных и расчетных значений SY был построен граф 2 (рис. 5).

По граф. 2 (рис. 5) были определены SY для каждого тензодатчика при начальных и расчетных нагрузках (стадии нагружения № 1, 2) при различном направлении w(OO, +OX, -OX, +OZ, -OZ) (диаг. 2) (рис. 6).

### Показания тензодатчиков при критических нагрузках

Так как (σ)<sub>2</sub> (граф. 1) достигает допустимых напряжений при меньшем значении w, чем остальные категории напряжений, то для определения критических значений SY была построена зависимость SY от (σ)<sub>2</sub> (граф. 3, рис. 7).

По граф. 3 (рис. 7) были определены SY для каждого тензодатчика при критических нагрузках при различном направлении w(+OX, -OX, +OZ, -OZ), (диаг. 3, рис. 8).

### Определение индикаторных интервалов

Для каждого тензодатчика были установлены индивидуальные индикаторные интервалы (диаг. 4, рис. 9).

Граница зеленого индикаторного интервала определялась разностью расчетных и начальных значений SY в местах установки тензодатчиков.

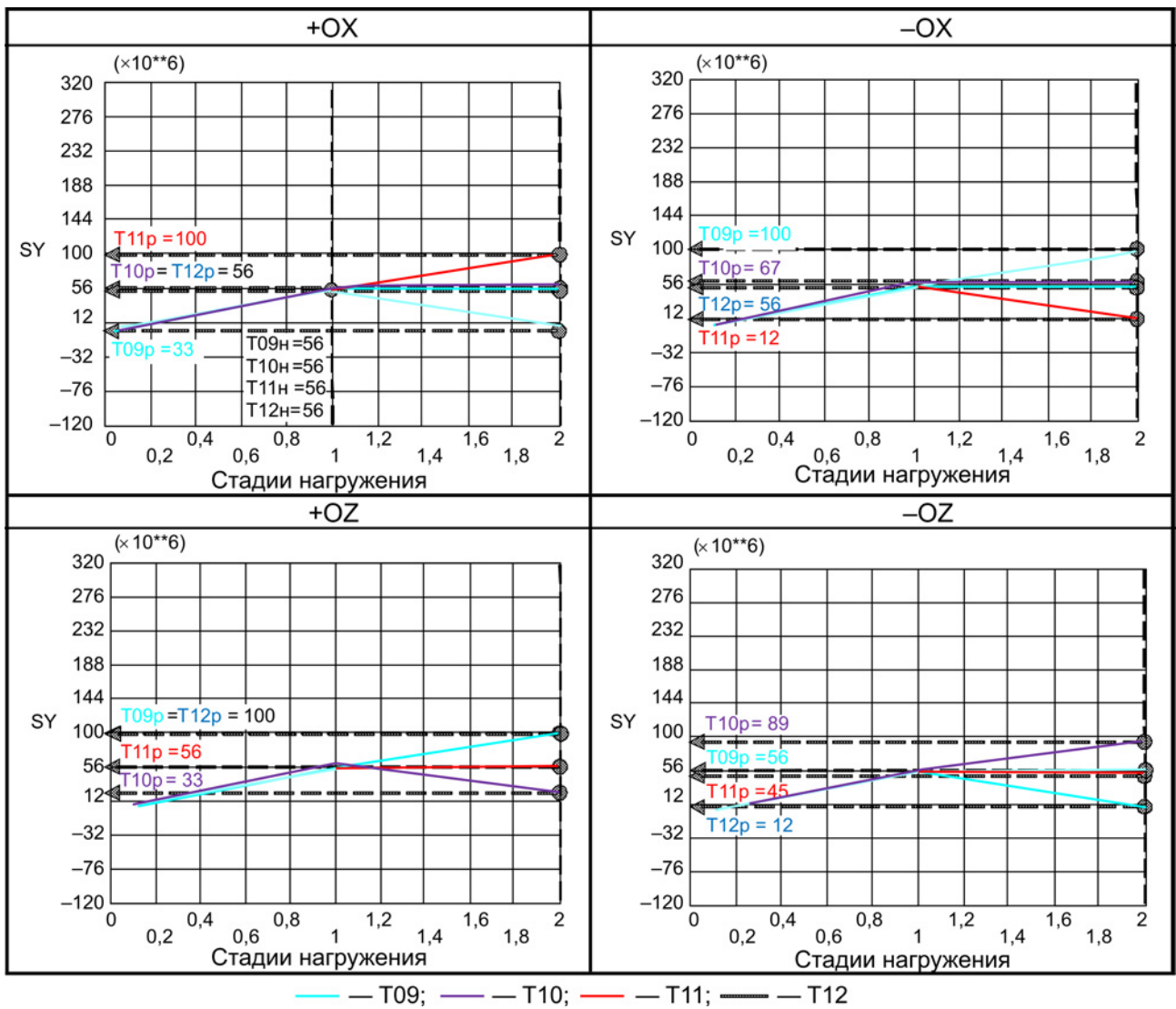


Рис. 5. Граф 2. Зависимость SY от стадий нагружения, Па.

\* где индексы: н — начальная стадия нагружения; р — расчетная стадия нагружения

Граница желтого индикаторного интервала определялась разностью критических и начальных значений SY в местах установки тензодатчиков.

За нулевое положение было принято сочетание нагрузок при первой стадии нагружения, поэтому, установив индикаторные интервалы для датчиков системы мониторинга, необходимо обнулить их значения при работающем аппарате и отсутствии ветра.

Применение системы комплексного диагностического мониторинга позволяет контроли-

ровать напряжения в наиболее опасных зонах и сигнализировать при достижении напряжениями допускаемых значений,

превышение которых может привести к остаточным деформациям, изменению геометрии формы и снижению прочности.

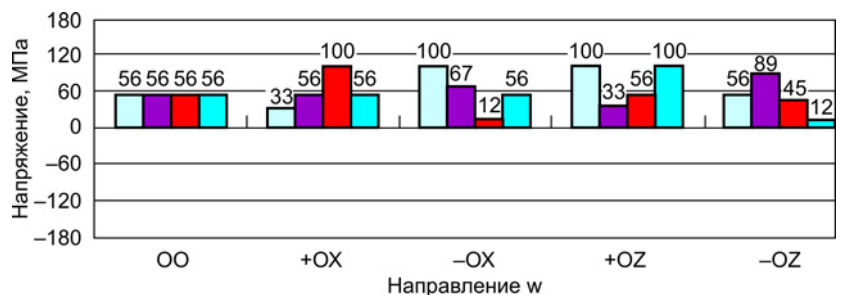


Рис. 6. Диаг. 2. значения SY при начальных и расчетных нагрузках: — T09; — T10; — T11; — T12

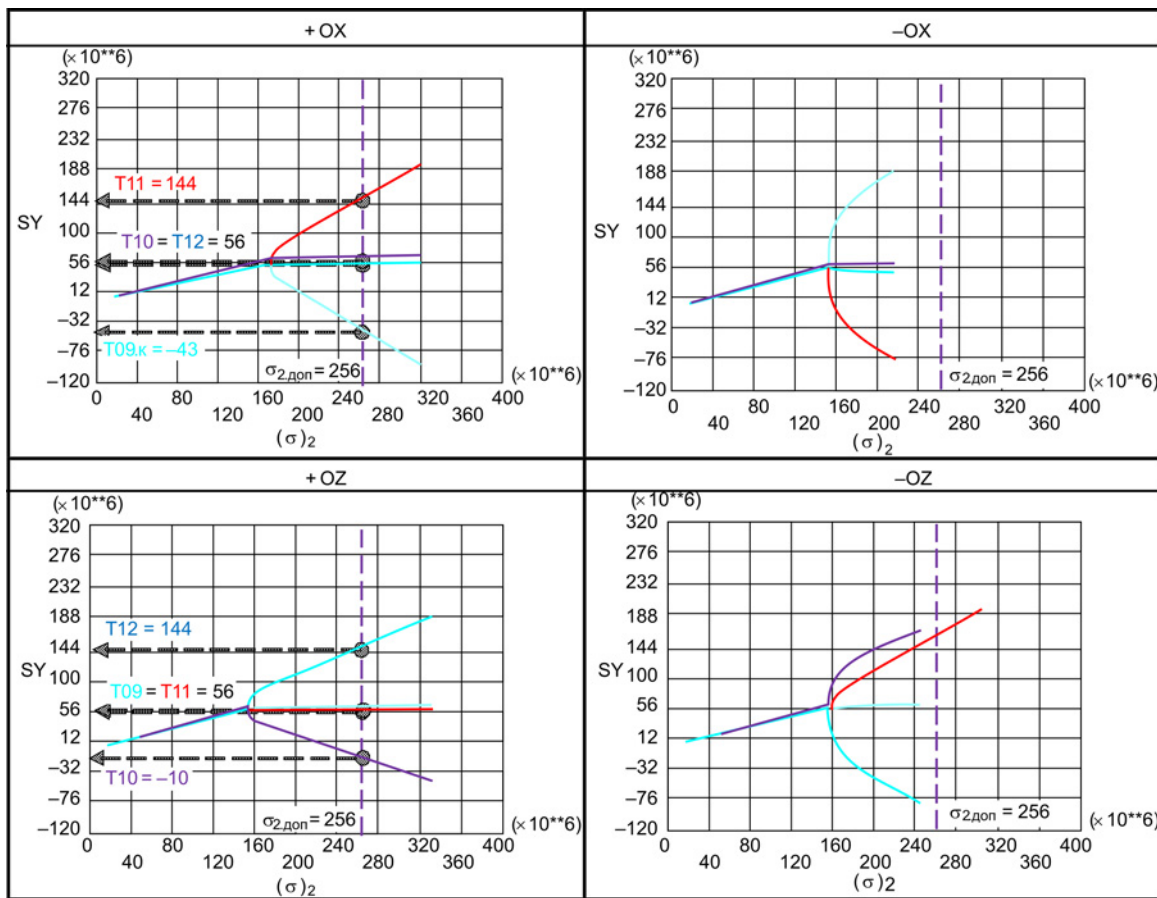


Рис. 7. Граф. 3. Зависимость SY от SINT, Па/Па: — T09; — T10; — T11; — T12

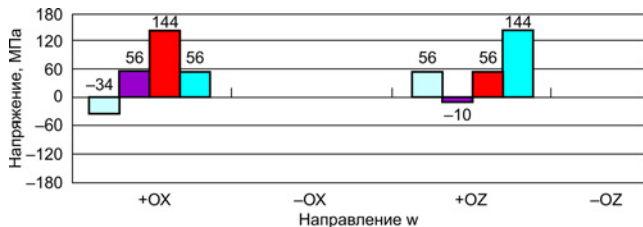


Рис. 8. Диаг. 3. Значения SY при критических нагрузках: — T09; — T10; — T11; — T12

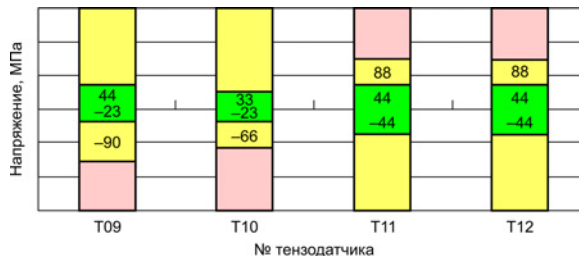


Рис. 9. Диаг. 4. Значения индикаторных интервалов тензодатчиков: — зеленый, желтый, красный индикаторные интервалы

**ВЫВОДЫ**

В результате проведенной работы было установлено:

- по показаниям датчиков, установленных в определенных местах, расчетными методами можно получить информацию о НДС колонны в опасных зонах;
- введение индикаторных интервалов позволяет создать критерии для принятия реше-

ний в случае достижения показаниями датчиков определенных значений.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бигус Г. А., Черных М. В. Определение наиболее опасных зон аппаратов колонного типа для установки датчиков системы мониторинга // Сварка и Диагностика. 2014. № 2. С. 42—45.
2. Бигус Г. А., Черных М. В., Чурилов А. А., Журавлев А. Е. Анализ и выбор аппаратно-программных средств системы комплексного диаг-

ностического мониторинга для контроля опасных зон аппаратов колонного типа // Сварка и Диагностика. 2015. № 1. С. 45—50.

3. ГОСТ Р 53564—2009. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. Введ. 01.01.2011. М.: "Стандартинформ", 2010. 20 с.
4. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭГ-7-002—86) / Госатомэнергонадзор СССР. М.: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.