

**В.М. ДОЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**Л.Д. МИЩЕНКО**, канд. техн. наук,  
**В.Г. ИВАНОВ**, ОАО «УкрНИИхиммаш», г. Харьков, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕАКЦИОННЫХ ТРУБ ПЕЧИ РИФОРМИНГА ОДЕССКОГО ПРИПОРТОВОГО ЗАВОДА

Виконаний розрахунково-теоретичний аналіз дозволив визначити розподіл напружень по довжині труби і намітити зразки, на яких були виконані і металографічні дослідження і випробування металу на тривалу міцність.

Проведені випробування дозволили прогнозувати тимчасову експлуатацію печі риформінгу протягом 2-х років.

Выполненный расчетно-теоретический анализ позволил определить распределение напряжений по длине трубы и наметить образцы, на которых были выполнены и металлографические исследования и испытания металла на длительную прочность.

Проведенные испытания позволили прогнозировать временную эксплуатацию печи риформинга течение 2-х лет.

The carried out calculations and theoretical analysis allowed to determine the stress distribution along the pipe and to identify the samples, which were implemented and metallographic studies and tests of metal on the long-term strength.

The tests allowed to predict the temporary operation reforming furnace for 2 years.

Трубы устанавливаются в двенадцати лирах по 42 шт. в каждой и подвешиваются на пружинах (рис. 1).

Трубы подвергаются давлению газа  $P = 3,84$  МПа при этом температура стенки меняется вдоль длины трубы ( $x$ ) по экспериментально определенной зависимости (рис. 2). Трубы отработали гарантированный ресурс – около  $10^5$  часов. Трубы изготовлены из сплава Манурит ХМ, химический состав и механические свойства приведены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1

### Химический состав

Содержание химических элементов, %									
C	S	P	Cr	Ni	Si	Mn	Nb	Mo	Cu
0,40 – 0,45	≤ 0,03	≤ 0,03	23,0 – 27,0	32,0 – 35,0	≤ 2,0	≤ 1,5	≤ 1,0	≤ 0,5	≤ 0,25

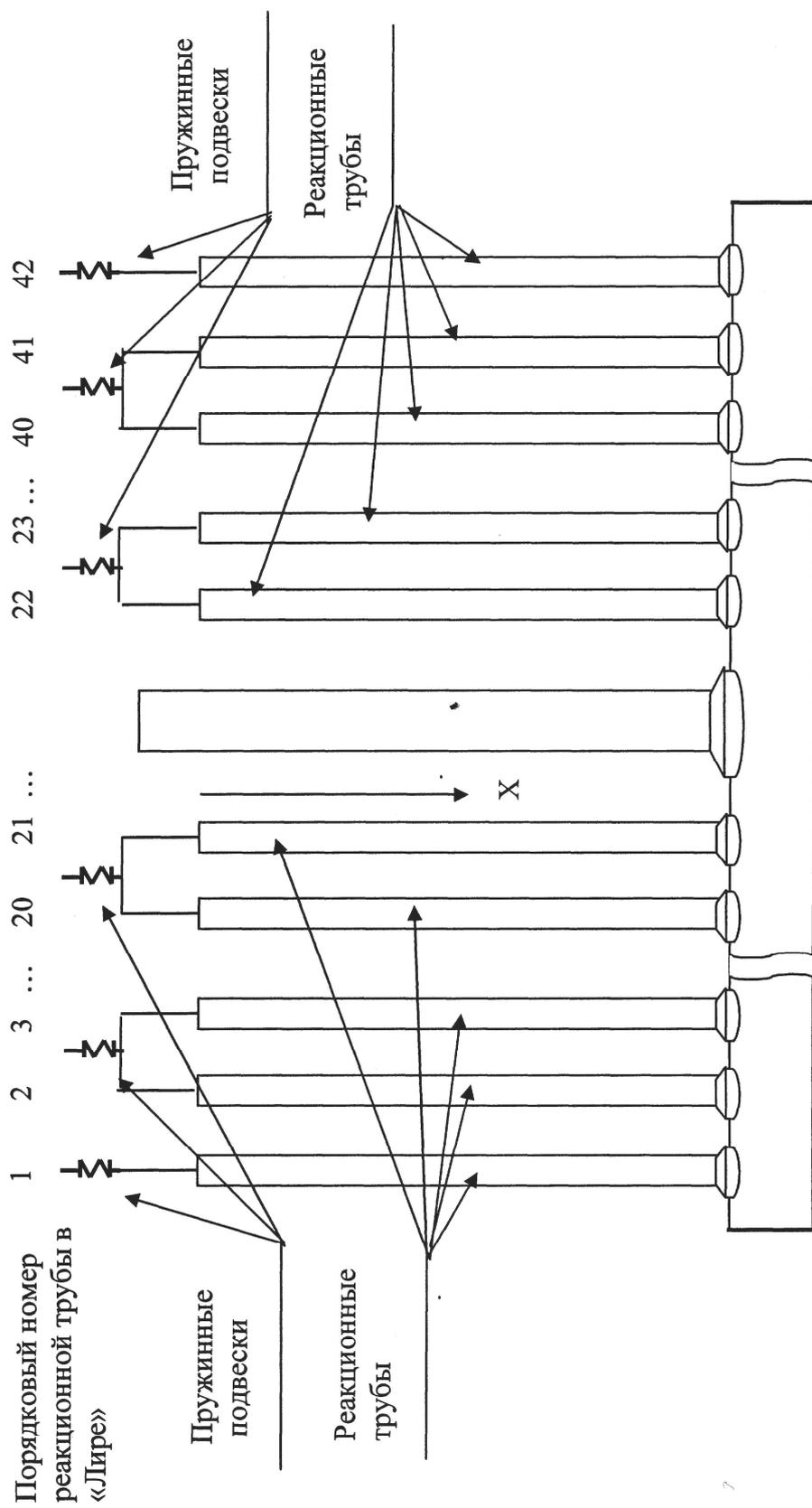


Рис. 1. Расположение реакционных труб в одной из «Лир»

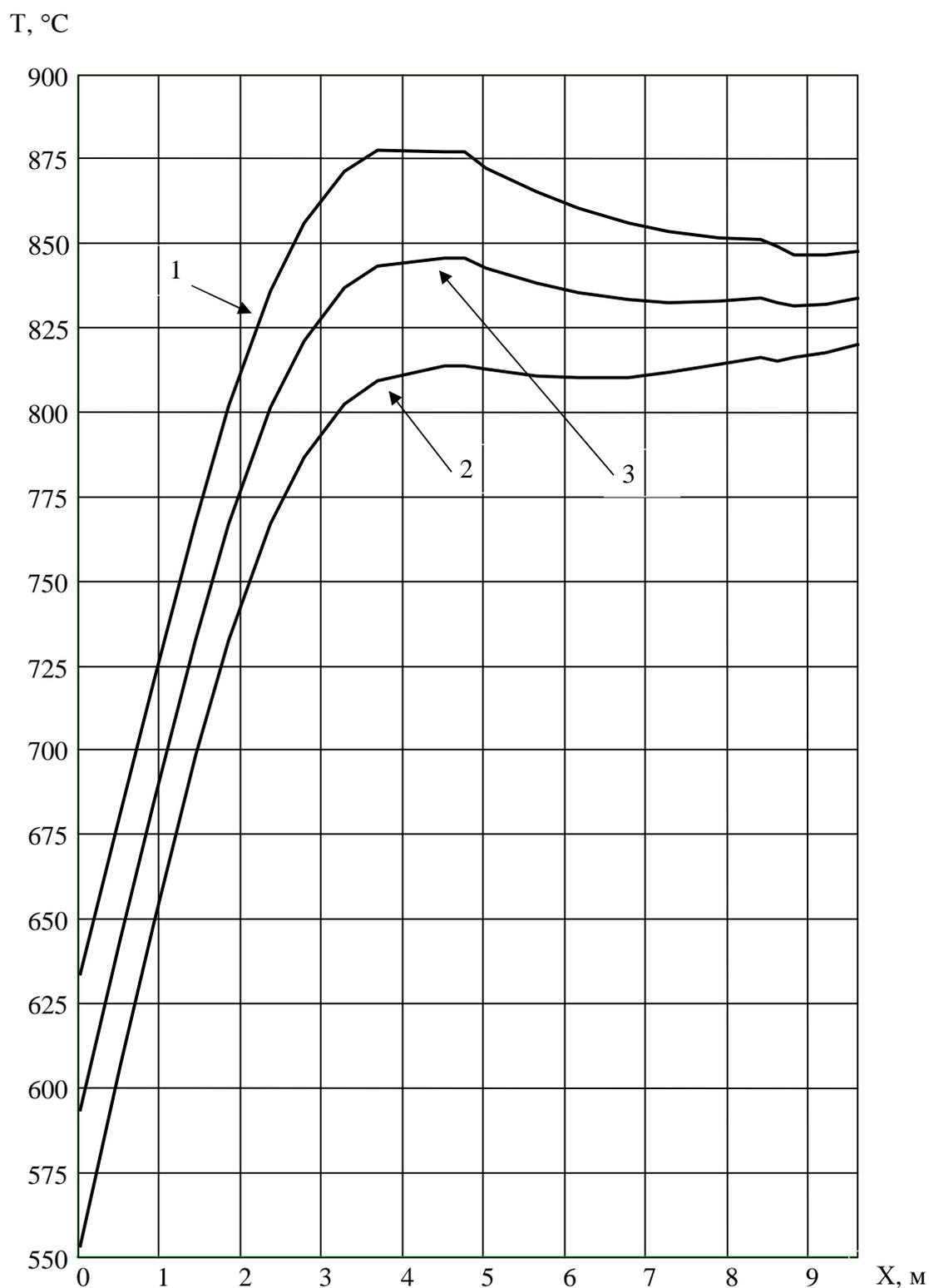


Рис. 2 Распределение температуры вдоль образующей на наружной (1), внутренней (2) поверхности реакционной трубы, средняя температура (3) по толщине трубы.

Результаты расчетного анализа позволили получить составляющие суммарных напряжений.

## Механические свойства

Кратковременная прочность при 20 °С		Длительная прочность при 850 °С за 10 <sup>4</sup> час, МПа	
R <sub>m</sub> , МПа	R <sub>0,2</sub> , МПа	минимальная	Средняя
≥ 450	≥ 250	44,7	52,6

Напряжения от давления среды на внутренней поверхности:

$$\sigma_{\theta p} = P \cdot \frac{r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{r_n}{r} \right)^2 \right]; \quad \sigma_{\theta p} = 10,4 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{rp} = P \cdot \frac{r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \left( 1 - \frac{r_n^2}{r^2} \right); \quad \sigma_{rp} = -3,84 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{xp} = P \cdot \frac{r_6^2}{r_n^2 - r_6^2}; \quad \sigma_z = 3,4 \text{ МПа},$$

где:  $\sigma_{\theta p}$ ,  $\sigma_{rp}$ ,  $\sigma_{xp}$  – окружные, радиальные и осевые напряжения от давления среды;  $r_n = 54$  мм,  $r_6 = 37$  мм – наружный и внутренний радиусы трубы;  $r$  – текущий радиус трубы;  $P = 3,84$  МПа – внутреннее давление среды.

Напряжения от теплоперепада по толщине [1].

$$\sigma_{\theta t} = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2 \cdot (1 - \mu) \cdot \ln \frac{r_n}{r_6}} \cdot \left[ 1 - \ln \frac{r_n}{r} - \frac{r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \left( 1 - \frac{r_n^2}{r^2} \right) \cdot \ln \frac{r_n}{r_6} \right],$$

$$\sigma_{rt} = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2 \cdot (1 - \mu) \cdot \ln \frac{r_n}{r_6}} \cdot \left[ \ln \frac{r_n}{r} + \frac{r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \left( 1 - \frac{r_n^2}{r^2} \right) \cdot \ln \frac{r_n}{r_6} \right],$$

$$\sigma_{zt} = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2 \cdot (1 - \mu) \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \left[ 1 - 2 \ln \frac{r_2}{r} - 2 \frac{r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} \cdot \ln \frac{r_n}{r_6} \right],$$

где:  $E$ ,  $\mu$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона;  $\Delta t$  – разность температур наружной и внутренней стенки трубы;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения.

Значения напряжений приведены на рис. 3.

Решающий вклад в суммарные напряжения вносят температурные напряжения, которые в условиях ползучести заметно релаксируют, при этом их уровень может значительно снизиться [2].

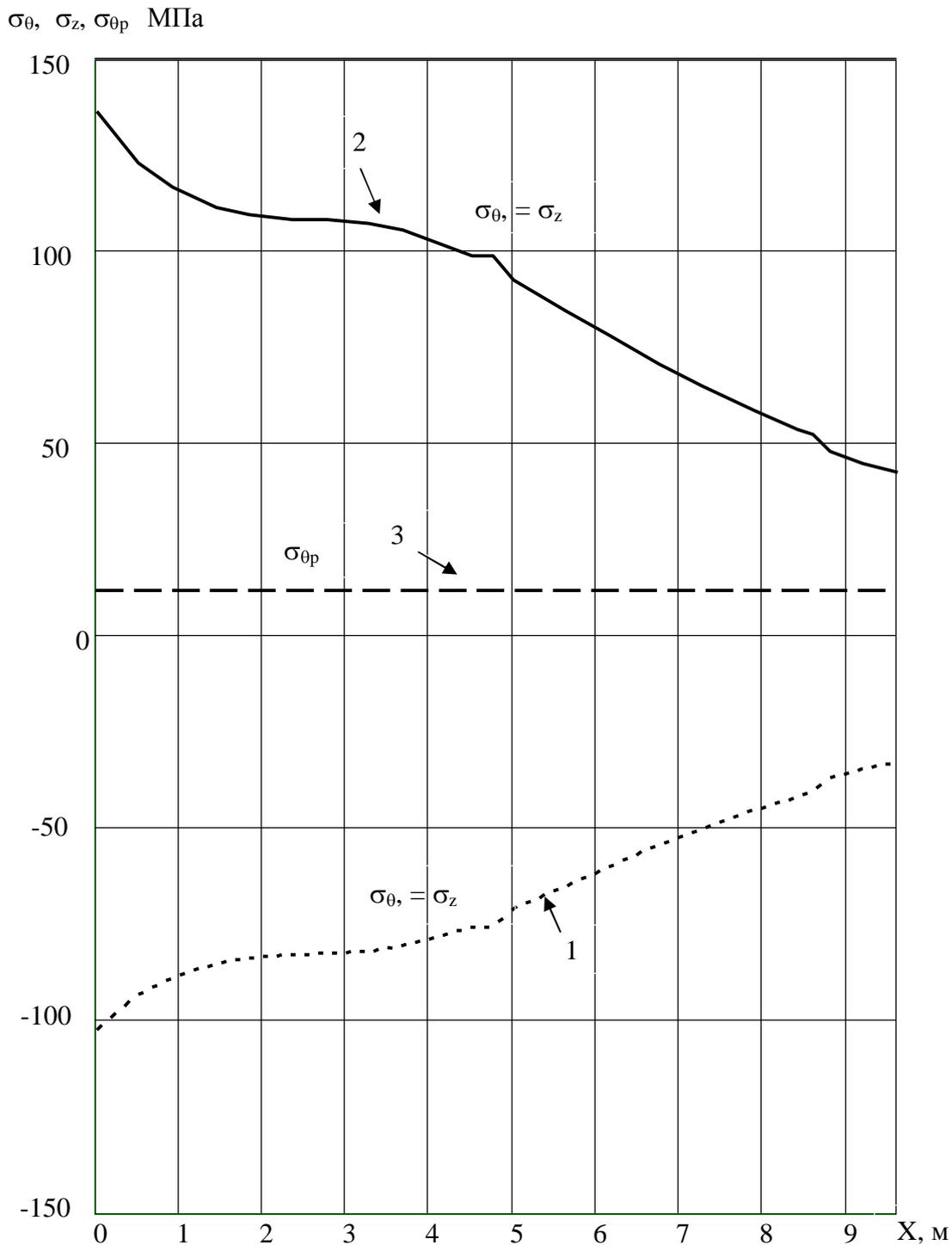


Рис. 3. Изменение кольцевых и осевых напряжений на наружной (1) и внутренней (2) поверхностях трубы от перепада температуры по толщине и от внутреннего давления (3)

Проведенные испытания на длительную прочность (рис. 4) дали относи-

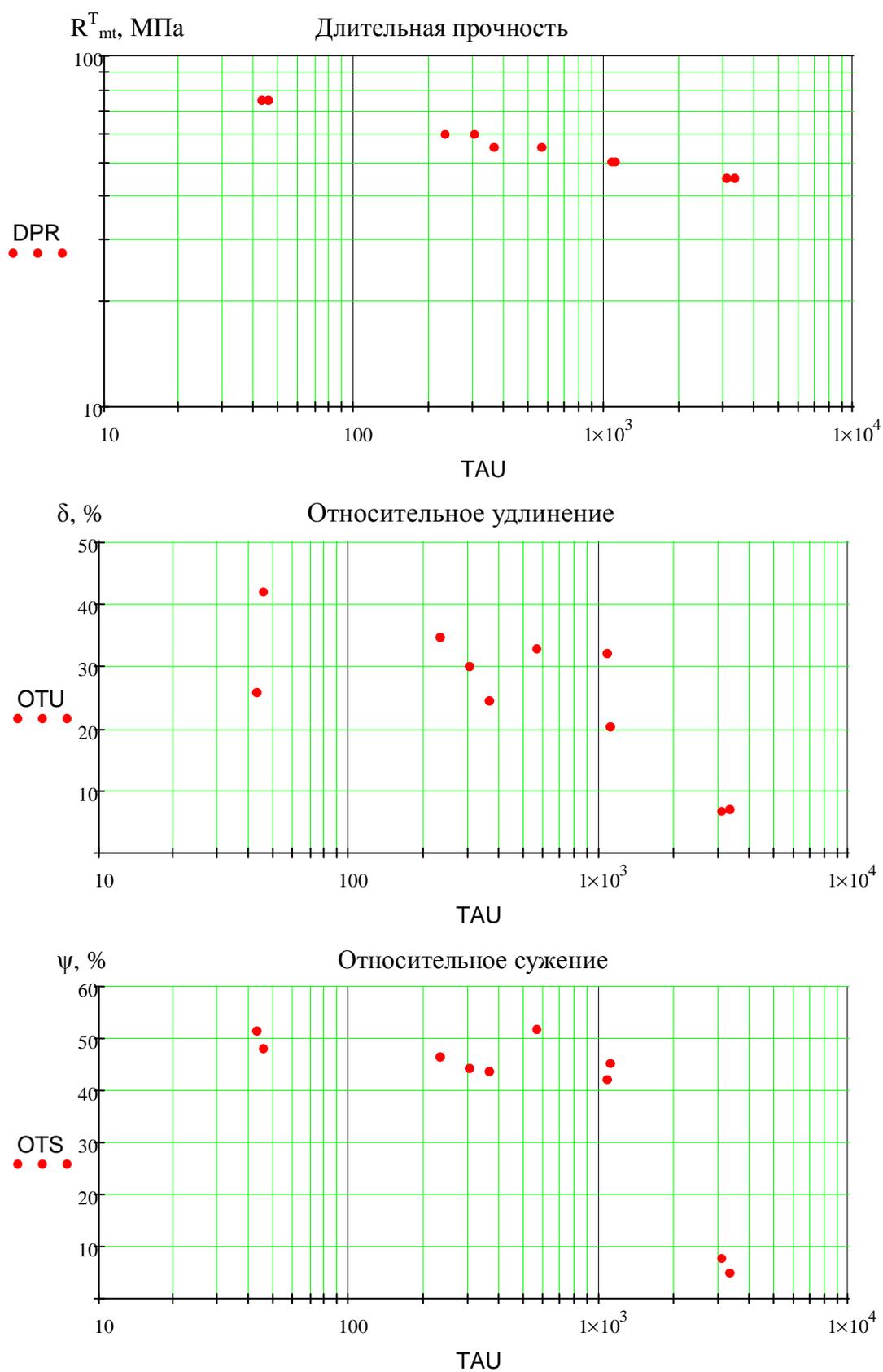


Рис. 4. Длительная прочность и длительная пластичность сплава Манурит ХМ при 850 °С

тельно высокие предварительные значения предела длительной прочности, однако уже при непродолжительных сроках испытания (порядка 3000 часов) проявилось резкое снижение пластичности металла.

При металлографических исследованиях были обнаружены микротрещины на внутренней поверхности трубы.

С учетом изложенного нами принято решение о возможности временной эксплуатации труб печи риформинга в течение двух лет с последующим анализом состояния и определением остаточного ресурса.

**Список литературы:** 1. *Бояринов С.В.* Основы строительной механики машин / С.В. Бояринов. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с. 2. *Малинин Н.Н.* Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1968. – 400 с.

*Поступила в редколлегию 25.03.10*

УДК 620.16.001.24

***В.М. ДОЛИНСКИЙ***, канд. техн. наук,

***В.И. ЧЕРЕМСКАЯ***, ОАО «УкрНИИхиммаш», г. Харьков, Украина

## **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОСУДОВ, ОТРАБОТАВШИХ УСТАНОВЛЕННЫЙ РЕСУРС**

Описані методи, що дозволяють оцінити роботоздатність посудин, які відпрацювали установленний ресурс та вміщують дефекти, що виникли і розвинулись в процесі експлуатації. Наведені приклади розрахунків посудин хімічних та нафтопереробних виробництв.

Описаны методы, позволяющие оценить работоспособность сосудов, отработавших установленный ресурс и содержащих дефекты, которые возникли и развились в процессе эксплуатации. Приведены примеры расчетов сосудов химических и нефтеперерабатывающих производств.

The methods are described, allowing to estimate serviceability of the vessels fulfilled the established resource and containing defects, arisen and developed while in service. Examples of calculations of vessels of chemical oil refining manufactures are resulted.

В соответствии с нормативными материалами [1, 2] продление ресурса требует обязательного расчета на прочность. В настоящее время отсутствует систематическая нормативная база по расчету на прочность оборудования,