

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Кружилин Николай Владиславович*

эксперт объектов котлонадзора  
ООО ИКЦ «Мысль» Новочеркасского  
государственного технического университета  
г. Новочеркаск, Ростовская область

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ**

*Аннотация:* в статье рассматриваются вопросы работы цилиндрических горизонтальных автоклавов, работающих в условиях циклического нагружения. Раскрываются причины возникновения и способы учёта повышенной овальности при оценке технического состояния и расчёта параметров и сроков дальнейшей эксплуатации сосудов.

*Ключевые слова:* температурный режим, скорость обогрева, горизонтальный автоклав, овальность, параметры эксплуатации.

В условиях современного производства имеется большое количество оборудования, отработавшего свой срок службы. При этом большое количество оборудования в процессе эксплуатации подвергается действию циклических нагрузок. При проведении экспертизы промышленной безопасности (технического диагностирования) в процессе проведения неразрушающего контроля обычно большое внимание уделяется традиционным методам (ПВК (МД), УЗК сварных швов, УЗ толщинометрия, контроль твёрдости металла и гидравлические испытания). Измерительному контролю элементов уделяется не так много внимания. Однако при обследовании технического состояния такого оборудования выясняется, что его основные конструктивные характеристики могут значительно меняться. Тем не менее в соответствии с рекомендациями [4, с. 112], требуется при проведении технического диагностирования оборудования определять возможность его дальнейшей эксплуатации и остаточный ресурс.

В настоящей работе рассматриваются условия определения параметров дальнейшей эксплуатации сосудов, работающих под давлением, подвергающихся действию малоциклического нагружения. Параметры дальнейшей эксплуатации сосудов определяются на основании анализа условий эксплуатации, результатов технического диагностирования [3, с. 39; 5, с. 61] и прочностных расчётов [1, с. 79; 2, с. 50]. В рекомендациях [3, с. 39] представлены пять возможных критериев предельного состояния для оценки параметров дальнейшей эксплуатации, из которых в настоящее время используется в основном один – прогнозирование ресурса и параметров дальнейшей эксплуатации аппарата, подвергающегося действию коррозии (или эрозии). Впрочем, для сосудов под давлением, подвергающихся действию переменных (циклических) нагрузок, появляется необходимость определить параметры дальнейшей эксплуатации для оборудования, технические параметры которого незначительно отличаются от допускаемых норм.

В данной работе рассматриваются результаты технического диагностирования горизонтального автоклава, имеющего следующие параметры (таблица 1)

Таблица 1

№	Наименование	Сведения
1.	Тип сосуда	Автоклав СКП 0120.00.00.000
2.	Организация-изготовитель и ее адрес	ОАО «ЭМК-Атоммаш», 347360, г. Волгодонск, Ростовская обл.
3.	Дата изготовления	1999 г.
4.	Дата ввода в эксплуатацию	15.01.2005 г.
5.	Рабочая среда	Каменноугольный пек, пары воды
6.	Объем, м <sup>3</sup>	83
7.	Рабочее (расчётное) давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,6 (16,0)
8.	Рабочая температура среды, °C	300
9.	Диаметр, внутренний обечайки/толщина стенки, м	2,0/0,022
10.	Общая длина обечайки (корпуса), м	25,238
11.	Материал	Сталь 20К, ГОСТ 5520–79

После загрузки автоклава начинается его прогрев до рабочей температуры (+3000°C) наружными и внутренними системами обогрева высокотемпературным органическим теплоносителем (ВОТ) со скоростью разогрева (охлаждения) не более 2000°C в час [7, с. 109].

Следует отметить, что змеевики, предназначенные для разогрева автоклава располагаются в верхней его части, выше горизонтальной его оси по всей полуокружности. Автоклав опирается на подвижные опоры, расположенные равномерно по длине. Одна опора является неподвижной. Поэтому при прогреве, за счёт увеличения длины свободный конец автоклава перемещается вдоль уровня пола. Контроль за этим процессом осуществляют датчики температуры и ре перы. В некоторых случаях эксплуатации этот процесс может нарушаться (прогрев автоклава происходит в ускоренном режиме, что естественно сокращает время одного цикла). В результате возникают дополнительные изгибающие нагрузки в вертикальной плоскости, не предусмотренные конструкцией автоклава, что приводит к увеличению овальности автоклава в средней части.

В результате проведения технического диагностирования при измерении овальности (использовался нутромер микрометрический НМ 2500) максимальное её значение составило  $\alpha=1,05\%$ , что больше допускаемого её значения 1,0% [6, с. 42; 7, с. 109].

Параметры дальнейшей эксплуатации определяем в соответствии с рекомендациями [1, с.79; 2, с. 50; 5, с. 61].

1. Вначале проводим расчет допускаемого внутреннего давления обечайки по методике [3, с. 39] (п.2.3.1.1.) по известной формуле:

$$[P]=\frac{2\cdot\varphi\cdot[\sigma]\cdot(s-c)}{D+(s-c)},$$

где  $\varphi =0,9$  – коэффициент прочности сварного шва, табл. 20 [1, с. 79];  $[\sigma] = 119,0$  МПа – допускаемое напряжение для стали 20К ГОСТ 5520-79 при температуре 300 0C и толщине стенки до 160 мм, табл. 5 [1, с. 79];  $D = 2000$  мм – внутренний диаметр,  $P = 1,6$  МПа – расчетное внутреннее давление (табл. 1);

$C = 2,5$  мм – прибавка на коррозию [7, с. 109];  $S = 21,2$  мм и  $\alpha = 1,05\%$  – фактическая толщина стенки и максимальная овальность, определённая по результатам технического диагностирования.

Тогда  $[P] = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 1190 \cdot (212 - 2,5)}{2000 + (212 - 2,5)} = 1,98 \text{ МПа}$ , что больше допускаемого 1,6 МПа.

2. Уточняем внутреннее избыточное давление с учётом повышенной овальности по методике [2, с. 50]. Для обечак, имеющих отклонение от круговой формы по всему периметру поперечного сечения цилиндрической оболочки допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитывается по формуле (п. 2.1.1.1 [2, с. 50]):

$$[P] = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \times \lambda_0 = [P] \times \lambda_0 ,$$

где  $\lambda_0$  – поправочный коэффициент на отклонение от круговой формы (овальности), определяется по графику чертежей 5 [2, с. 50], в зависимости от значения овальности  $\alpha$  (%) и комплексного показателя:

$$\frac{D}{(s - c)} = \frac{2000}{21,2 - 2,5} = 107,0$$

Тогда, п. 2.1.1.1 [2, с. 50]:

$$[P]_{os} = 1,98 \times 0,88 = 1,74 \text{ МПа}, \text{ что также больше рабочего } 1,6 \text{ МПа.}$$

Таким образом, расчётное допускаемое внутреннее избыточное давление, с учётом отклонения овальности от рекомендуемых значений, уменьшилось в 1,14 раза, что может иметь существенное значение при приближении фактического значения толщины стенки к минимальному. Возможно, при расчёте сроков эксплуатации, необходимо также учитывать уменьшение давления за счёт коррозии толщины стенки.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность. – Введ. 1990–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 79 с.

2. ГОСТ Р 52857.11–2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность обечаек и днищ с учётом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек. – Введ. 2008–04–01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 50 с.

3. ДиОР-05. Методика диагностирования технического состояния и определения остаточного ресурса технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических производств. – Введ. 2006–01–13. – Волгоград: ВНИКТИ нефтехимоборудование, 2006. – 39 с.

4. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 г. №116, опубл. 22.09.2014 г., бюл. нормативных актов федеральных органов исполнительной власти №38. – 112 с.

5. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определения остаточного срока службы сосудов и аппаратов. – Вып.17. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 61 с.

6. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. – Введ. 2003-07-02. – Выпуск 39. – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 42 с.

7. СКП 0120.00.00.000 РЭ. Автоклав. Руководство по эксплуатации. – Волгодонск, 1998. – 109 л.