



## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОСУДОВ С ВМЯТИНАМИ

**В. М. ДОЛИНСКИЙ**, канд. техн. наук, **В. Н. СТОГНИЙ**, **В. И. ЧЕРЕМСКАЯ**, инженеры  
(ПАО «УКРНИИХИММАШ», г. Харьков)

*Приведены данные расчетов и экспериментов несущей способности сосудов с вмятинами, выполненные сотрудниками УкрНИИХиммаш. Даны результаты расчетов ряда промышленных объектов, эксплуатирующихся на химических и нефтеперерабатывающих производствах. Выполнено сопоставление различных нормативных методик и даны рекомендации по их применению.*

*The paper gives the data of design and experiments on load-carrying capacity of vessels with dents, made by UkrNIChimmash. Results of design of a number of industrial facilities operated in chemical and petroleum-processing productions are given. Comparison of various normative procedures was made, and recommendations on their application are given.*

Вмятина представляет собой распространенный дефект конструкции. Рассмотрим протяженную вдоль оси сосуда вмятину, осевое сечение которой представлено на рис. 1.

Оценку работоспособности сосудов с вмятинами под действием внутреннего давления можно выполнить по различным нормативным документам [1–3]:

1. РД [1]:

$$\Delta \leq (G/2,21) [1,22/G^2 - 1]; \quad (1)$$

2. ГОСТ Р [2]:

$$\Delta \leq 0,5(1/G - 1/3) [1 + 10,9\gamma^2\eta G/(n_T^2 - 1)] \quad (2)$$

при  $n = \pi/(2\alpha)$ ;

3. СОУ [3]:

$$\Phi(\gamma, G, \Delta) \leq [\varepsilon], \quad (3)$$

где  $\Phi(\gamma, G, \Delta) = (1/2\gamma)\{1 - [\cos \alpha - (1 + A_1)^{1/2}]/[1 - \cos \alpha(1 + A_1)^{1/2} + 0,5A_1]\}$ ;

$A_1 = \{(G/[n_T])^2(\cos^2 \alpha + 1) - 2\}/\{(G/[n_T])(2\gamma - G/[n_T])\}$ ;

$\alpha = 2\arcsin(\Delta/4\gamma)^{1/2}$ ;  $\Delta = h/S$ ;  $G = \sigma_H/[\sigma]$ ;  $\gamma = D/2S$ ;  
 $\eta = [\sigma]/E$ .

Здесь  $D$ ,  $S$ ,  $h$  — диаметр, толщина стенки и глубина вмятины соответственно;  $\sigma_H$ ,  $[\sigma]$  — номинальные напряжения в сечении, не ослаблен-

ном вмятиной соответственно, и допускаемые [4] напряжения;  $E$  — модуль Юнга;  $[\varepsilon]$  — допускаемые деформации [5];  $G$  — степень нагруженности конструкции;  $\gamma$  — относительный радиус;  $[n_T]$  — нормативный коэффициент запаса прочности по пределу текучести;  $[n_T] = 1,5$  [4].

Результаты расчетов по РД [1] и по ГОСТ Р [2] представлены на рис. 2, по СОУ [3] — на рис. 3.

При этом использовались механические характеристики сосудов из углеродистой и низколегированной сталей при температурах от 0 до 300 °С в пределах изменения параметров:  $10 \leq \gamma \leq 500$ ;  $0 < \alpha \leq 30^\circ$ ;  $0,2 \leq G \leq 1$ .

Во всех случаях допускаемые значения глубины вмятины возрастают с уменьшением нагруженности  $G$  и с ростом относительного радиуса  $\gamma$ . При этом оказывается, что РД [1] и ГОСТ Р [2] содержат завышенные запасы прочности по сравнению с СОУ [3], несмотря на то, что в СОУ принят невысокий уровень допускаемых деформаций — 1 %.

Расчет ряда объектов, работающих в промышленности (рис. 4 и таблица), показывает, что из

**Сосуды с вмятинами**

Номер сосуда	Название сосуда или аппарата, предприятие	$\gamma$	$\Delta$	$G$
1	Цистерна ПС-100 зав. № 521271, ПАО «Лукойл-Одесский нефтеперерабатывающий завод»	83,8	1,39	0,798
2	Колонна К-5/6 зав. № 4525, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	151	1,51	0,352
3	Колонна К-8 зав. № 7232, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	90,9	0,814	0,280
4	Теплообменник Т-1/1 зав. № 12354, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	75,9	0,711	0,577
5	Колонна К-5 зав. № 62104, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	154	1,80	0,974
6	Колонна К-3 зав. № 222851, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	83,4	1,93	0,184
7	Резервуар для хранения серной кислоты $V = 330 \text{ м}^3$ , ОАО «Черкасское химволокно»	522	11,6	0,282
8	Колонна К-2 зав. № 5876, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	172	3,46	0,250
9	Колонна К-4 зав. № 62103, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	163	0,374	0,807
10	Колонна К-4 зав. № 62103, ПАО «УКРТАТНАФТА», г. Кременчуг	186	0,641	0,905

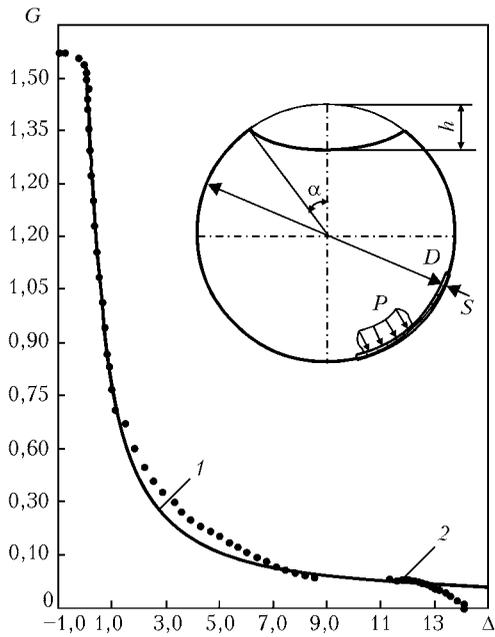


Рис. 1. Вмятина, протяженная вдоль оси сосуда: 1 — теоретическая кривая; 2 — экспериментальные точки

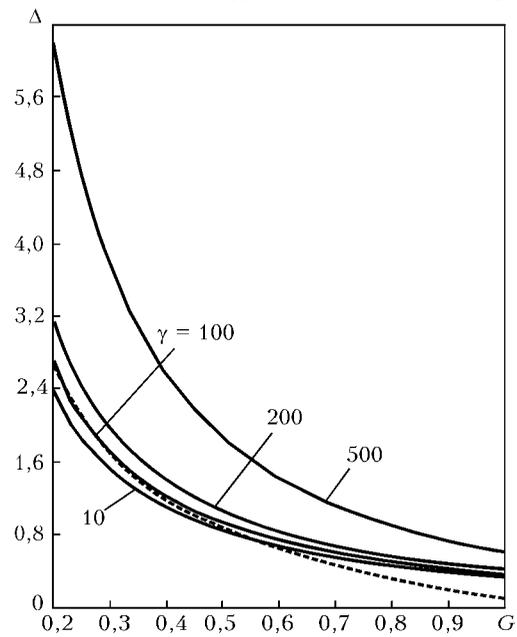


Рис. 2. Результаты расчетов по ГОСТ [2] и РД [1]: расчет по ГОСТ Р — сплошные линии; расчет по РД — пунктирные

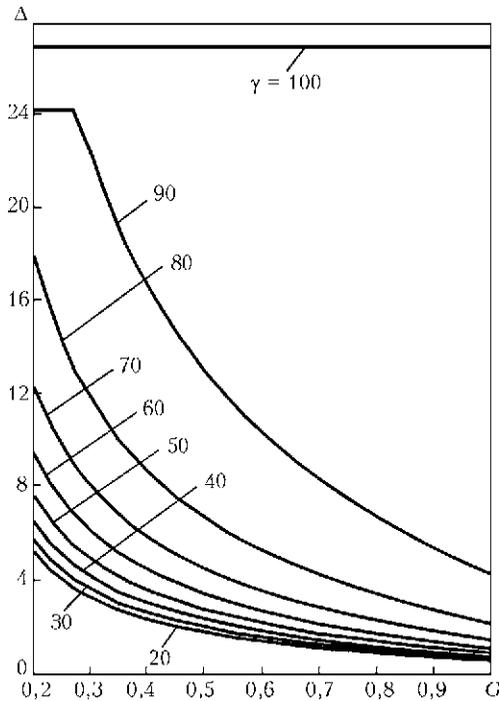


Рис. 3. Результаты расчетов по СОУ [3]

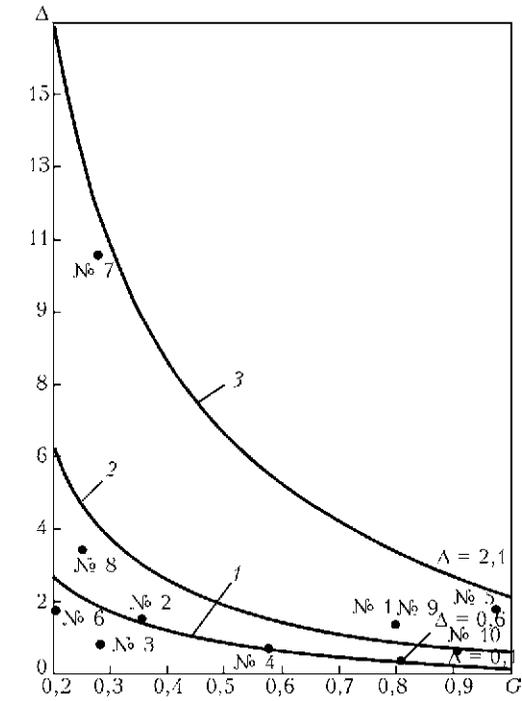


Рис. 4. Оценка работоспособности сосудов с вмятинами: 1 — по РД [1]; 2 — по ГОСТ Р ( $\gamma = 500$ ) [2]; 3 — по СОУ ( $\gamma = 80$ ) [3]; № 1–10 — данные сосудов (таблица)

десяти рассмотренных случаев все удовлетворяют условию прочности по СОУ; семь удовлетворяют условию прочности по ГОСТ Р и только три удовлетворяют условию прочности по РД.

Имеющиеся расхождения могут быть пояснены с учетом теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в УкрНИИхиммаше на моделях сосудов с вмятинами. На рис. 1 показаны результаты расчетов и экспериментов, проведенных на одном из сосудов. Каждая точка на полученной кривой соответствует образованию шарниров текучести в центре и на краю вмятины. В РД [1] такое состояние считается предельным, что дает необоснованно

большие запасы прочности. Повышение давления приводит к рихтовке, при которой шарниры текучести возникают при большем значении давления.

### Выводы

Таким образом, более правильным является оценка прочности по допускаемой деформации. Принятая в ГОСТ Р оценка по деформациям ( $[\epsilon] = 0,2...0,3\%$ ) согласно мнению авторов является заниженной, что подтверждается нормативным документом [5], а также опытом эксплуатации со-



судов и аппаратов в химической и нефтехимической промышленности.

1. РД 26-6-87. Сосуды и аппараты стальные. Методы расчета на прочность с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек.
2. ГОСТ Р 52887.11-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек.
3. СОУ ОАО «УкрНИИХиммаш» — 011:2010. Сосуды. Аппараты. Трубопроводы. Нормы и методы расчета на прочность. Оценка работоспособности объектов с вмятинами, выпучинами, овальностью и смещением кромок сварных соединений.
4. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
5. ДСТУ 40032000. Сосуды и аппараты. Выбор параметров упрочняющей обработки.

Поступила в редакцию  
02.11.2011

## II ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

4-8 сентября 2012 г. в курортном поселке Коблево на базе отдыха Национального университета кораблестроения «Корабел» прошла II Всеукраинская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Сварка и родственные процессы и технологии». Организаторами конференции выступили Национальный университет кораблестроения им. Адмирала Макарова и Академия наук судостроения Украины по инициативе Совета молодых ученых и Студенческого парламента университета. Конференция проходила три дня в режиме пленарных заседаний. Были представлены доклады от научных и учебных организаций Киева, Николаева, Херсона, Львова, Харькова, Краматорска, Мариуполя и Луганска по следующим направлениям:

- прогрессивные технологии сварки и родственные технологии;
- новые конструкционные и функциональные материалы, покрытия;
- математическое моделирование и информационные технологии;
- работоспособность, техническая диагностика и неразрушающий контроль.

Значительное количество докладов по различным направлениям сделано молодыми учеными и специалистами — сотрудниками ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. Выступления посвящены как обеспечению технологических условий сварки, наплавки, обработки деталей и конструкций, так и исследованию фундаментальных процессов, происходящих при этих условиях.

Интерес у аудитории вызвали доклады Е. Половецкого «Влияние принудительной схемы деформирования на структуру и свойства сварного соединения при диффузионной сварке АМг6 с ВТ6»; А.Полишко «Неметаллические включения в зоне сплавления однородных слоев модельного слитка из высоколегированной стали типа 316, полученного методами ЭШН ЖМ»; К. Ляпиной «Методы получения суспензий с использованием инкапсулированных нанопорошков металлов»; Ю. Хохловой «Исследование возможности применения активатора на основе галлия для соединения пеноалюминия с легкими сплавами»; И. Березина «Effect of ultrasonic impact treatment on fatigue performance welded joints of high strength aluminium alloy»; Д. Ермоленко «Влияние нанообразований в металле на формирование микроструктуры сварного шва и его механические свойства»; И. Лендела «Механические колебания с управляемыми параметрами в дуговой механизированной и автоматической сварке»; Р.Селина «Сварка в узкий зазор соединений толщиной 40 мм стали 20» и др. Хотелось отметить интересное выступление молодого специалиста, впервые принимавшего участие в конференциях, Т. Зубер, которая представила результаты исследований «Влияния скоростного охлаждения на структуру и твердость стали 06ГБД с карбонитридным упрочнением после испытаний на установке Gleeble 3800».

Участники конференции имели возможность в ходе обсуждения задать вопросы, обменяться мнениями о прослушанных докладах и обсудить перспективы сотрудничества. Лучшие доклады конференции будут опубликованы в сборнике научных работ Национального университета кораблестроения им. Адмирала Макарова.

Участники конференции выражают свою благодарность руководству университета и членам совета молодых ученых за проведение мероприятия на высоком организационном и техническом уровне.

С. Г. Григоренко, канд. техн. наук

