

УДК 539.3:621.7

Оценка прочности торообразных металлических конструкций высоконагруженных внутренним давлением в рамках критерия В.И. Феодосьева

Токарев Андрей Евгеньевич

Tokarevae90@mail.ru

SPIN-код: 1334-5408

Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. Изложены результаты выполненных расчетно-экспериментальных исследований, связанных с оценкой прочности (в рамках подхода В.И. Феодосьева) высоконагруженных внутренним давлением металлических оболочечных конструкций, работающих в условиях больших пластических деформаций. Численный анализ предельного пластического формоизменения (в сопоставлении с экспериментом) проведен применительно к конструкции, включающей элемент в виде торообразной оболочки, подверженной действию большой величины внутреннего давления.

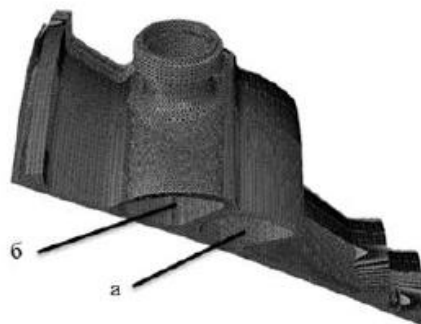
Ключевые слова: предельное пластическое формоизменение, истинная диаграмма деформирования, упругопластические конечно-элементные модели

Введение. Работа посвящена расчетно-экспериментальному исследованию предельного пластического формоизменения стальной торообразной оболочки, нагруженной внутренним давлением. К оценке несущей способности подобных конструкций (выполненных из высоко-пластичных металлов), принимается предложенный В.И. Феодосьевым [1] подход, который предполагает использование в качестве характеристики запаса прочности в обозначенном расчетном случае величину, вычисляемую по схеме $P_{\text{расч}}/P_{\text{экс}}$. Знаменателем здесь является значение эксплуатационной нагрузки, а числителем — предельное расчетное значение нагрузки, в качестве которого берется либо полученное расчетом значение нагрузки, соответствующее потере несущей способности оболочки, либо полученное расчетом значение нагрузки, соответствующее достижению предельного значения параметра, характеризующего уровень деформации оболочки. При таком подходе для принятой к рассмотрению оболочки, нагруженной внутренним давлением, должна быть решена соответствующая задача о формоизменении при больших пластических деформациях. При этом используемая при расчетах (в качестве закона упрочнения) диаграмма деформирования материала оболочки должна адекватно отражать его реальные (фиксируемые в эксперименте) свойства.

Методы и материалы; результаты. В настоящем исследовании для получения численного решения задач о больших пластических деформациях металлических оболочек, находящихся под действием внутреннего давления, применяются две упругопластические расчетные модели. Это двумерная расчетная модель тела вращения, протестированная на основе сопоставления результатов расчетов с экспериментальными данными и путем сравнения

с решениями, полученными с использованием альтернативных моделей [2], а также трехмерная расчетная модель, точность которой подтверждена путем сопоставления ее результатов с указанной двумерной расчетной моделью. В качестве закона пластического упрочнения материала оболочки принимается истинная диаграмма деформирования, построение которой выполняется с использованием разработанного метода, основанного на стандартных механических характеристиках (предел прочности, условный предел текучести, равномерная деформация) [3].

Представлены результаты расчета несущей способности стальной торообразной (с двумя полостями) оболочки (см. рисунок), находящейся под действием внутреннего давления. Предельное значение нагрузки ($P_{расч}$) для области высокого давления было получено с использованием осесимметричной расчетной модели. Затем была реализована объемная расчетная модель путем поворота (вокруг оси конструкции на 30°) сечения, относящейся к указанной осесимметричной модели. Разница в значении ($P_{расч}$), вычисленном с использованием указанных осесимметричной и объемной расчетных моделей составила менее трех процентов. Расчетная модель для определения значения ($P_{расч}$) применительно к области низкого давления образована путем включения дискретной модели патрубка в описанную объемную модель конструкции. Отклонения расчетных значений разрушающей нагрузки от эксперимента составили менее 1 и 14 % (в запас) для полостей высокого и низкого давления соответственно.



Расчетная модель торообразной конструкции:
а — полость высокого давления; б — полость низкого давления

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о достаточной надежности расчетного прогнозирования несущей способности рассматриваемого типа металлических конструкций, проводимого на основе разработанных расчетных моделей с использованием истинной диаграммы деформирования, построенной на основе предложенного метода. Тем самым подтверждена возможность проведения оценки запаса прочности подобного типа конструкций в рамках предложенного В.И. Феодосьевым подхода

Список источников

- [1] Феодосьев В.И. Прочность теплонапряженных узлов жидкостных ракетных двигателей. Москва, Оборонгиз, 1963, 212 с.
- [2] Сухомлинов Л.Г., Токарев А.Е. Численное моделирование предельного пластического формоизменения тонкостенных элементов конструкций, находящихся под действием гидростатического давления. Космонавтика и ракетостроение, 2023, № 2, с. 56–67.
- [3] Владимиров С.А., Горохов В.Б., Токарев А.Е. Аппроксимация истинной диаграммы свойств пластичных металлических материалов по стандартным механическим характеристикам. Космонавтика и ракетостроение, 2019, № 1, с. 73–79.