

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЕМКОСТИ-РЕАКТОРА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

С. А. ЧЕРНОВ, проф. И. Ф. ДЬЯКОВ

Рассмотрена конечно-элементная модель емкости – реактора для разложения СОЖ. Приведены результаты расчетов вариантов конструкций по разработанной программе и рекомендации по снижению металлоемкости.

Finite-element model of the reactor-catalyst for decomposition of metal-working coolant is examined. Structural results of the calculations under the developed program and the recommendations on decrease in metal consumption are shown.

Проект емкости-реактора ИТС-312.01.00.000Сх представляет собой коробчатую конструкцию с внешним стержневым каркасом. Емкость состоит из панели днища размером 5780×2000, передней и задней стенок (2000×1940) и двух боковых стенок (5780×1940). Толщина листа металла панели днища 5 мм, а панелей всех стенок — 4 мм.

Каркас представляет собой стержневую конструкцию, у которой все стержни — коробчатого сечения: труба профильная 100×100×6 ГОСТ 8639-82. По длине днища располагаются 3 лонжерона, которые переходят на заднюю и переднюю стенки, а по ширине днища — 9 поперечин, которые также переходят и на боковые стенки. Крайние лонжероны и поперечины днища определяют габаритные размеры емкости-реактора: ширину и длину. Горизонтальные стержни опоясывают емкость в верхней и средней частях по его периметру. Углы сопряжения всех горизонтальных и вертикальных стержней на панелях боковых, передней и задней стенок, а также поперечин и лонжеронов днища составляют 90°.

Боковые стенки емкости-реактора соединены между собой тремя талрепами, которые находятся в верхнем стержневом поясе в узлах сопряжения с вертикальными стержнями: один талреп располагается по середине верхнего стержневого пояса боковой стенки бака, а два других — в средних узлах левой и правой половин емкости.

По проекту возможны следующие два варианта установки емкости-реактора:

1. Шесть опор (150×150) по периметру днища, из которых четыре расположены в углах его стержневого каркаса, а две — в средней части по длине днища.

2. Опоры по всей длине горизонтальных стержней, расположенных в средней части передней и задней стенок емкости-реактора.

Конструкция емкости-реактора — симметричная по продольной и поперечной осям, а также симметрично расположение опор и действующая нагрузка. В связи с этим исследования напряженно-деформированного состояния конструкции проведены на одной четвертой ее части с реализацией условий симметрии. Использовалась программа целевого назначения*, предназначенная для расчета коробчатых конструкций, подкрепленных балочными (призматическими) и тонкостенными стержнями. Целевое назначение программы позволило значительно упростить организацию исходных данных задачи и их подготовку.

* Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2006611597. Расчет емкости-реактора для разложения СОЖ / Чернов С.А., Дьяков И.Ф.; Заявитель и правообладатель Ульянов. госуд. тех. унив. № 2006610834; поступл. 21.03.2006; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 12.05.2006.

Расчетная схема представляет собой подкрепленную коробчатую оболочку. Конечнo-элементная модель четвертой части предложенного проекта емкости-реактора к численному исследованию его напряженного и деформированного состояния образована 2689 прямоугольными КЭ оболочки (при изгибе 12-членный аппроксимирующий полином) и 206 пространственными балочными КЭ и содержит 2784 узла. В узлах КЭ 6 степеней свободы и, следовательно, система разрешающих линейных алгебраических уравнений равновесия задачи состоит из 16704 уравнений. 20 тонн СОЖ приводится к равномерно-распределенной нагрузке по площади дна: $q = 1,7$ МПа. Гидростатическая нагрузка, действующая на стенки емкости в виде треугольника, меняется на четыре эквивалентные ступенчато-переменные нагрузки по площади, с равными ступенями по высоте, следующим образом: $q_1 = 1,4$ МПа, $q_2 = 1,0$ МПа, $q_3 = 0,6$ МПа, $q_4 = 0,2$ МПа.

Расчетная схема емкости-реактора представлена на рис. 1, где точками обозначены узлы, в которых расположены талрепы.

Анализ схемы показал, что наименьшую половину ширины ленты матрицы жесткости конструкции (LENTA) и простоту подготовки исходных данных задачи обеспечивает следующий подход к нумерации узлов КЭ.

Сначала выполняется нумерация узлов КЭ панели дна по оси X^0 от начала координат. В этом случае местная система координат прямоугольных КЭ совпадает с общей системой координат. Затем выполняется нумерация узлов КЭ боковой стенки по оси Y^0 с переходом на заднюю стенку. На боковой стенке следующая ориентация местной системы координат у прямоугольных КЭ: ось X совпадает с направлением оси Y^0 , ось Y — с осью Z^0 , а ось Z — с осью X^0 . На задней стенке ось X противоположна направлению оси X^0 , ось Y совпадает с направлением оси Z^0 , а ось Z — с осью Y^0 .

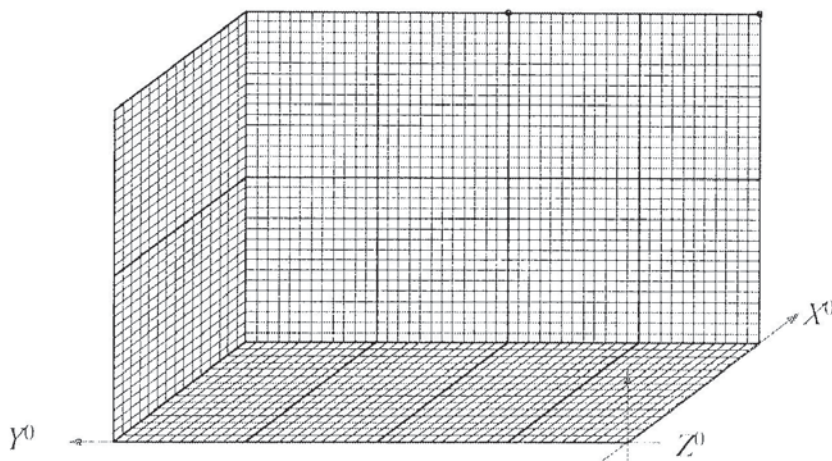


Рис. 1. Расчетная схема проекта емкости-реактора

Подготовка исходной информации выполнена программами генерирования узлов и прямоугольных КЭ. Вручную выполняется набор матриц индексов только прямоугольных КЭ, расположенных на днище вдоль сопряжения днища и боковой и задней стенок. Генерирование стержневых КЭ выполнялось одновременно для всех поперечин и лонжеронов емкости-реактора. Половина ширины ленты матрицы жесткости конструкции определяется по матрице индексов прямоугольного КЭ, который расположен в конце первого ряда прямоугольных КЭ, моделирующих днище емкости-реактора, и для данной задачи равна 4146.

Кинематические условия закрепления расчетной схемы конструкции реализованы следующим образом: угловые и линейные связи в узлах сопряжения лонжеронов и поперечин днища в соответствии с установкой емкости-реактора на опоры; линейные связи вдоль талрепов; угловые связи по срезам симметрии днища, боковой и задней стенок; линейные связи по направлениям, перпендикулярным срезам симметрии днища, боковой и задней стенок. Последние два условия кинематических связей реализуют условия симметрии четвертой части конструкции.

На рис. 2 приведен прямоугольный КЭ, состоящий в действительности из двух треугольных КЭ оболочки (при изгибе 10-членной аппроксимирующей полином).

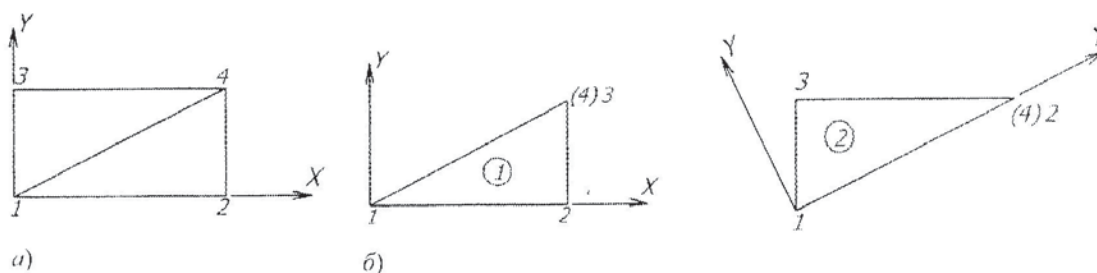


Рис. 2. Схема расслоения прямоугольного КЭ: а — несогласованный прямоугольный КЭ; б — два согласованных треугольных КЭ, образованных из прямоугольника

На схеме расслоения прямоугольника приведены местные системы координат прямоугольных и треугольных КЭ и соответствие их номеров узлов. В программе для прямоугольного КЭ имеется оператор коррекции типа элемента (идентификатор ИТ): $ИТ = ИТ + KORRIT$, что позволяет, изменяя значение одной постоянной KORRIT в исходных данных, выполнять расчеты с разными КЭ в конечно-элементной расчетной схеме задачи.

Для оценки точности решения и достаточности густоты сетки элементов первый расчет конструкции выполняют, используя типовой прямоугольный КЭ, второй — с прямоугольным элементом, образованным из двух треугольных элементов. По результатам расчетов можно судить о точности полученного решения, а результаты расчетов конструкции на различных сетках и различных КЭ могут быть использованы для их дальнейшей экстраполяции.

Применение прямоугольных КЭ, образованных из двух треугольных элементов, обладает рядом преимуществ. Во-первых, в расчетной схеме задачи используются другие КЭ, а во-вторых, можно увеличить число КЭ в модели задачи в два раза, практически не изменяя исходные данные.

Выполненные расчеты проекта емкости-реактора показали высокую жесткость стержневой каркаса, т. е. линейные перемещения из плоскости днища, боковой и задней стенок узлов стержневых КЭ не более 0,02 мм. Максимальные напряжения в стержнях 81,2 МПа. В то же время максимальные линейные перемещения из плоскости боковой стенки и днища в узлах прямоугольных КЭ оболочки соответственно 7,4 и 7,5 мм. Напряжения в прямоугольных КЭ в средней части днища и в нижних зонах боковой и задней стенок на высоте 400—500 мм от днища в зонах поперечин достигают 160—170 МПа.

С целью выбора конструкции стержневого каркаса на основе расчетной схемы проекта емкости-реактора, путем варьирования сечениями стержней, были выполнены многовариантные численные эксперименты. По результатам сравнительных расчетов различных конструкций стержневого каркаса емкости-реактора наиболее приемлемые по напряженно-деформированному состоянию следующие два варианта каркаса емкос-

ти-реактора: стержневой каркас с двумя лонжеронами, делящими ширину бака на три равные части, из трубы профильной $80 \times 80 \times 4$ и с дополнительным стержневым поясом также из трубы профильной $80 \times 80 \times 4$ в нижней части бака на высоте 500 мм от дна; стержневой каркас из трубы профильной $80 \times 80 \times 4$ только с двумя лонжеронами, делящими ширину бака на три равные части, и также из трубы профильной $80 \times 80 \times 4$.

При расчетах вариантов емкости-реактора изменения в исходных данных необходимы только для балочных КЭ. По результатам расчетов построены эпюры прогибов из плоскости вдоль дна и нормальных напряжений вдоль боковой стенки на высоте 485 мм от дна (рис. 3).

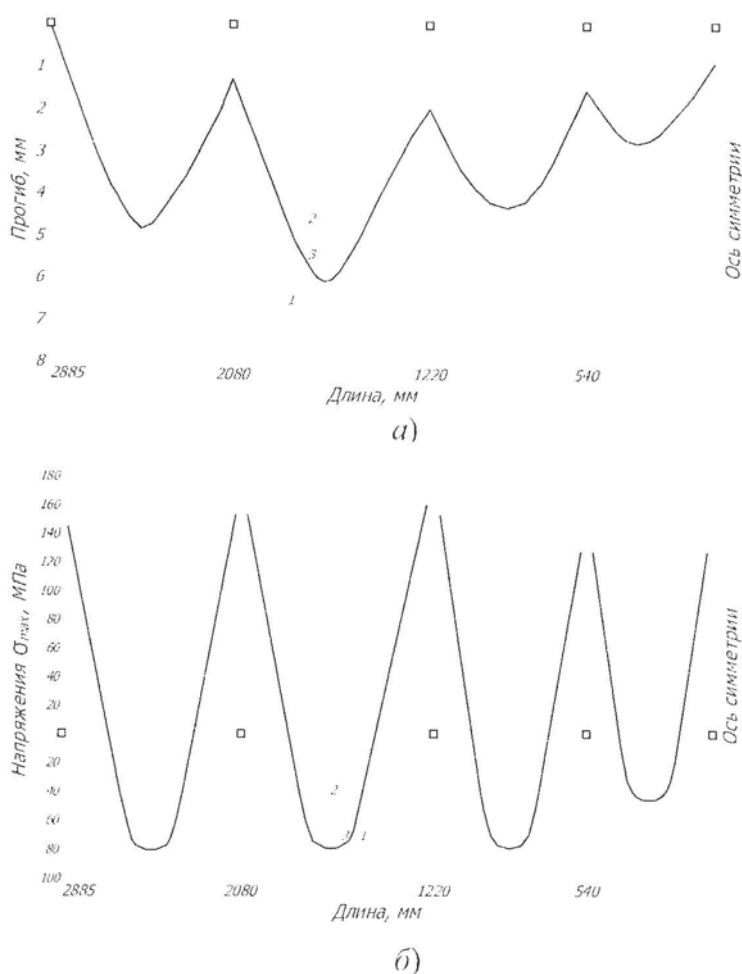


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние емкости-реактора: *a* — эпюры линейных перемещений вдоль дна; *b* — эпюры нормальных напряжений вдоль боковой стенки; 1 — предложенный проект; 2 — с двумя лонжеронами по ширине бака и с дополнительным стержневым поясом в нижней части бака; 3 — с двумя лонжеронами по ширине бака; \blacksquare — поперечины дна и боковой стенки

По результатам сравнительных расчетов вариантов конструкций емкости-реактора были предложены следующие рекомендации.

1. Каркас емкости-реактора изготавливать из трубы профильной $80 \times 80 \times 4$ с двумя лонжеронами.
2. При установке емкости-реактора на опоры в его средней части рассмотреть возможность подвести опоры под трубу профильную с целью уменьшения крутящего мо-

мента, действующего на поперечные стержни стенок емкости в местах установки опор.

3. Рассмотреть целесообразность установки дополнительного стержневого пояса в нижней части емкости-реактора.

Предложенная конструкция каркаса емкости-реактора позволила уменьшить его массу на 635 кг.