

**А. И. Сапожников, А. И. Мишичев**

**РАСЧЕТ НДС ПЛАСТИН И  
ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
В САЕ - СИСТЕМЕ FEMAP - NASTRAN**

**Астрахань, 2015**

## Содержание

Введение .....	3
1. Численный анализ напряженного состояния и деформирования пластины с вмятиной при растяжении.....	4
2. Устойчивость и НДС двутавровой металлической балки с отверстиями в стенке при действии поперечной распределенной нагрузки.....	12
3. Анализ устойчивости и упругопластического деформирования двутавровой балки с отверстиями в стенке .....	18

## **Введение**

В листовых конструкциях могут устраиваться технологические отверстия, а также возникать пробоины и бухтины аварийного происхождения, существенно снижающие прочность, жесткость и устойчивость конструкции. Для восстановления этих параметров используются кольцевые, пластинчатые и уголковые накладки, привариваемые к листовой конструкции вокруг или вблизи отверстий. Размеры накладок принимаются на основании расчета, обеспечивающего равнопрочность ослабленной и не ослабленной конструкций. В данной работе показана методика расчета листовых конструкций, в том числе стенок сварных двутавровых балок, усиленных накладками. Рассматривается влияние пластических деформаций в листовых конструкциях, в том числе развиваемых вблизи ослабленных отверстиями участков конструкции.

## **1.Численный анализ напряженного состояния и деформирования пластины с вмятиной при растяжении**

Листовые металлические конструкции, благодаря их легкости, прочности, простоты изготовления и однородности металла, находят самое широкое применение в строительстве. Это сварные балки с высоким сечением, колонны, настилы эстакад, резервуары и др.[1, 2]. Высокая прочность стали позволяет выполнять конструкции тонкостенными, в силу чего они оказываются уязвимыми к поперечным механическим воздействиям, приводящим к появлению пробоин, вмятин или незначительного выпучивания при начальной фазе потери устойчивости [3]. К тому же, в листовых конструкциях устраиваются технологические вырезы.

В ослабленных вырезами или вмятинами местах конструкции при ее сжатии и растяжении возникает концентрация напряжений, появляются внутренние эксцентриситеты, увеличивающие угрозу выхода пластины из плоскости и появления в ней дополнительных напряжений от изгиба.

Для снижения концентрации напряжений и эксцентриситетов отверстия усиливаются ребрами различной конструкции, установкой на сварке в отверстие отрезка трубы, приварки плоской пластины – сплошной или с вырезом.

Известны аналитические методы расчета прочности конструкций с вырезами или пробоинами круглой или эллиптической формы с усилением посредством накладки в виде пластины или кольца - также круглой или эллиптической формы [4, и библиография к статье].

Вырезы и элементы усиления чрезвычайно усложняют расчет конструкций, поскольку в этом случае из двумерной задача переходит в трехмерную. Вряд ли целесообразно построение ее аналитического решения (особенно при несимметричной форме отверстия или вмятины и при установке усиливающих пластину шпангоутов), которое в этом случае становится очень сложным даже в приближенной постановке. Учитывая неопределенность результатов приближенного подхода, применение компьютерных технологий в сочетании с численными методами, являющимися средством получения высокоточных решений, актуально.

В работах [5, 6] используются численные методы, однако решение выполнено методом суперэлементов, более сложным, чем прямой МКЭ, особенно при вырезах нерегулярной структуры, множественных вырезах и подкреплениях различного вида. К тому же, в них принято, что накладка

находится в плоскости пластины, хотя приварена к ней сбоку, не учитывается работа материала вмятины, которая рассматривается как отверстие.

При этом следует отметить, что вмятина всегда создает эксцентриситет в пластине, вызывающий ее продольно-поперечный изгиб, приводящий к увеличению НДС пластины. Это обычно игнорируется в расчетах, поскольку считается, что материал вмятины усиливает конструкцию и, не учитывая ее, расчет дает запас прочности, и вмятина рассматривается как отверстие.

В данной работе перечисленные недостатки устранены, приводится сравнение результатов базовых решений и предложенных. Это стало возможным, поскольку для расчета пластины с вырезами и вмятинами и ее усиления применен МКЭ с использованием САЕ - систем (препост - процессор FEMAP и пакет NASTRAN). Они позволили дать оценку реальной ситуации путем постепенного усложнения применяемых моделей.

Выполнен расчет плоской пластины, ослабленной отверстием, и пластины с вмятиной сферической формы. Пластина принята квадратной с незакрепленным контуром, имеет размеры 3000 x 3000 x 10 мм, растягивающая нагрузка, приложена в плоскости пластины к узлам КЭ по ее контуру, к граням, указанным в табл. 1, отверстие и вмятина расположены в центре пластины и имеют размер - радиус  $R_0 = 525$  мм. Относительные размеры пластины и отверстия выбраны исходя из локального характера концентрации напряжений вблизи отверстия. Данные конструкции могут рассматриваться как эталонные, позволяющие сопоставлять решения, получаемые при различных подходах. При этом сравнительный анализ отклика моделей (например, сопоставление компонент НДС) дает возможность оценки чувствительности КЭМ к введению дополнительных деталей конструкции и ее напряжения [7]. Способы разбиения и типы конечных элементов при проведении численного анализа, в том числе в зоне предполагаемых градиентов напряжений, выбраны из соображений близости значений максимальных и средних напряжений в элементах. Построение сетки конечных элементов производилось с использованием геометрии модели, причем параметры сгущения сетки задавались вручную. Такой подход можно считать приемлемым, поскольку обсуждается не прочность конструкции, а сравнение уровня НДС ее различных вариантов.

Пробные расчеты показали, что характер работы плоской пластины на растяжение и сжатие примерно одинаковый до момента потери ею