

## ЧИСЛЕННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС УСТАНОВОК ДЛЯ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Проведенный анализ существующих конструкций позволил создать обобщенную механическую модель установок для импульсной обработки металлов [1], которая включает плиты, колонны, демпферы и амортизаторы. Конструктивные элементы могут иметь различные геометрическую конфигурацию и физические характеристики. Некоторые элементы могут отсутствовать. Плиты находятся под воздействием распределенных и/или сосредоточенных нагрузок. Влияние ствола и технологической оснастки учитывается в форме сосредоточенных масс и моментов инерции. Связи конструктивных элементов неидеальны и обладают упругими, инертными и диссипативными свойствами.

НДС модели описано системой уравнений [1], характеризующейся, в отличие от применявшихся ранее, объемным характером, нелинейностью и нестационарностью. На основе численного решения названной системы была разработана в виде программного комплекса (ПК) методика определения характеристик НДС конструкций установок.

Для дискретизации в пространстве использован метод конечных элементов [2]. Колонны, демпферы и амортизаторы аппроксимируются двухузловыми стержневыми конечными элементами, плиты - прямоугольными четырехузловыми и треугольными трехузловыми пластинчатыми конечными элементами. Связи моделируются специальными двухузловыми КЭ. Для решения общей системы уравнений используется гауссовский метод исключений в форме фронтального метода [3]. Дискретизация во времени выполнена по методу Ньюмарка [4].

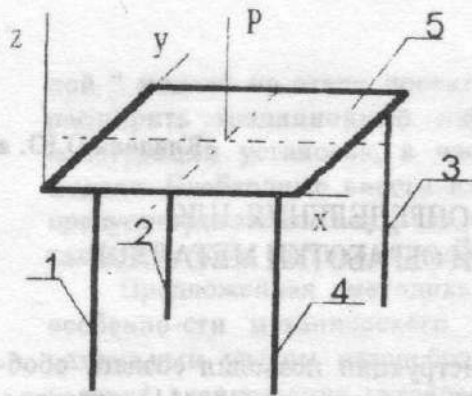
Задание параметров модели, в том числе управляющих точностью расчетов, осуществляется в диалоге с ПК и программным способом.

При исследовании точности разработанной методики были решены задачи об определении НДС пластины и стержней при различных способах закрепления и нагружения, приведенная в [5]. Максимальная относительная погрешность расчета перемещений не превышала 3%.

Предлагаемая методика позволяет исследовать широкий круг инженерных и технологических задач. В статической или динамической постановке может быть изучено поведение конструкции с идеальными или податливыми связями, со связями, имеющими несимметричные жесткостные характеристики, при наличии монтажных деформаций (натяги и т.п.), технологических несовершенств, в случаях выхода из строя отдельных элементов конструкции (колонн, проставок) и т.д.

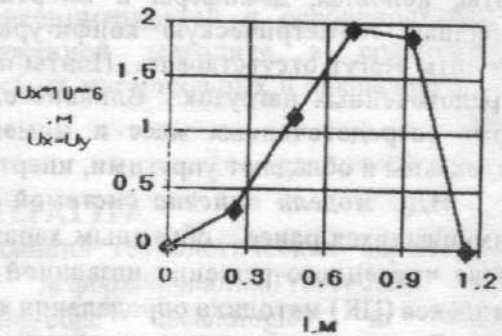
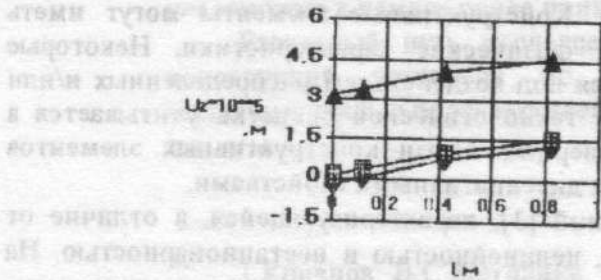
С использованием разработанной методики выполнено исследование зависимости статических полей перемещений оборудования от жесткостных характеристик связей между элементами системы. Конфигурация исследуемой конструкции приведена на рис. 1; плита (5) - квадратная пластина со стороной 1.16 м, толщиной 0.05 м, расстояние между колоннами 1 м, аппроксимируется 36 КЭ; колонны (1-4) - цилиндрические стержни переменного сечения: нижний участок, длиной 0.25 м, имеет диаметр 0.09 м, верхний, длиной 0.9 м, имеет диаметр 0.07 м - аппроксимируются пятью КЭ. Определение жесткостных характеристик связей между колоннами и плитой выполнено по аналогии с двухузловым стержневым конечным элементом [2]. В качестве базового варианта принята модель с идеально жесткими связями (ИЖС), для которых продольная жесткость  $R_{ИЖС} = 0.5747 \cdot 10^{11}$  Н/м и поперечная жесткость  $R_{ИЖСx} = R_{ИЖСу} = 0.139 \cdot 10^9$  Н/м ( $x$  и  $y$  - оси изгибной жесткости связи). Зависимости полей перемещений от величин продольной





жесткости, поперечной жесткости при условии  $R_x=R_y$  и от поперечной жесткости при условии  $R_x \neq R_y$  приведены на рис. 2

Рис. 1



◆  $R=5.7 \cdot 10^9$     □  $R=5.7 \cdot 10^7$     ▲  $R=5.7 \cdot 10^6$

а)

б)

Рис. 2: а) поперечные перемещения точек, лежащих на диагонали плиты, б) поперечные перемещения колонны 1 (одинаковые для всех значений продольной жесткости  $R$ ).

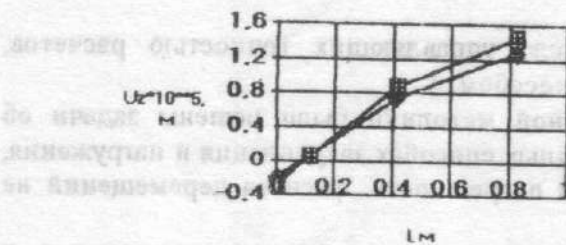


Рис. 3: а) поперечные перемещения точек, лежащих на диагонали плиты, б) поперечные перемещения колонны 1.

По проведенным исследованиям сделаны следующие выводы.

1. Изменение величины продольной жесткости связи в интервале от  $0.5747 \cdot 10^{11}$  до  $0.5747 \cdot 6$

а)

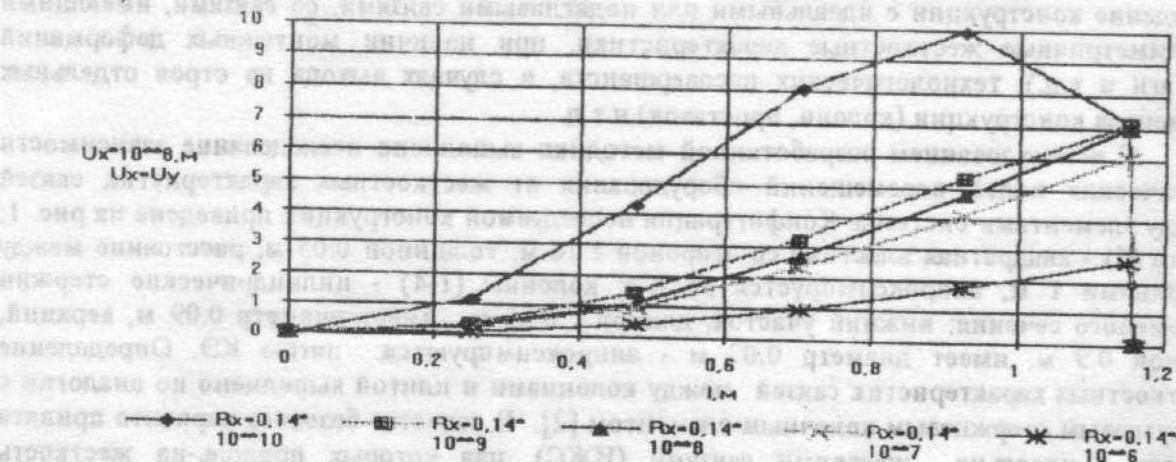


Рис. 3



$10^7$  Н/м обратно пропорционально влияет на величину вертикальных перемещений верхней плиты. Характер и величины перемещений колонн, угловых перемещений плиты, а также перемещений плиты в плоскости существенно не изменяются.

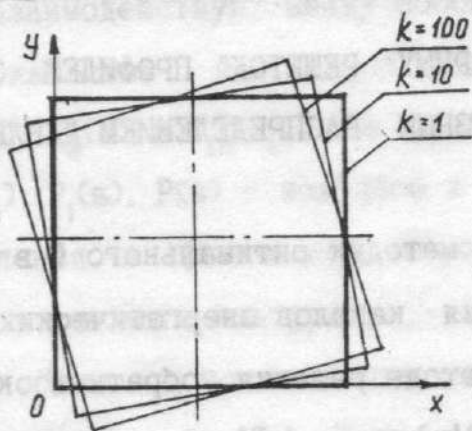


Рис. 1

3. В случае  $R_x \neq R_y$  циклический поворот осей изгибной жесткости связи ( $k=k_1=k_3=R_x/R_y$  для колонн 1 и 3,  $k=k_2=k_4=R_y/R_x$  для колонн 2 и 4) обуславливает поворот верхней плиты вокруг центральной оси. В интервале  $1 < k < 100$  наблюдается прямо пропорциональная зависимость величин деформаций плиты в плоскости от параметра  $k$ , величины вертикальных перемещений колонн и плиты существенно не изменяются. В случае, когда параметр  $k$  изменяется от колонны к колонне, наблюдается смещение оси поворота.

2. Поперечная жесткость связи при условии  $R_x = R_y$  определяет характер и величину поперечных перемещений колонн и их углов поворота. Изменение величины поперечной жесткости в диапазоне от  $0.139 \cdot 10^{11}$  Н/м до  $0.139 \cdot 10^7$  Н/м прямо пропорционально влияет на величины поперечных перемещений колонн: при этом с уменьшением поперечной жесткости координата стержня, соответствующая максимальным поперечным перемещениям, стремится к точке, общей для колонны и связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование и анализ механического состояния элементов конструкций и поведения материалов при нестационарном термомеханическом воздействии. Мелекесцев А.И., Кривцов В.С., Корнилов Г.Л. и др. В книге: Авиационно-космическая техника и технология/ Труды харьковского авиационного института им. Н.Е.Жуковского, Харьков, 1994, с.35-39.
2. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник/Под общ. ред. В.И.Мяченкова -М.: Машиностроение, 1989.-520 с.: ил.
3. В.М. Irons, 'Frontal Solution Program for Finite Element Analysis', Numerical Methods in Engineering, January-March 1970, vol.2, No.1
4. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986.-318 с.
5. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник в 3-х т./ Под ред. И.А. Биргера-М.:Машиностроение.1968.-832с.