

Н. А. Дёмина, канд. техн. наук

Таврический государственный  
агротехнологический  
университет, г. Мелитополь,  
e-mail:  
deminanatasha@yandex.ru

УДК 539.3

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

**Ключові слова:** математична модель, параметрична модель, система призматичних тіл, контактна взаємодія.

*Пропонується новий підхід до моделювання контактної взаємодії системи тіл. Для забезпечення варіативності розроблено методологію параметризації. Вона охоплює всі етапи досліджень. Зокрема, на прикладі елементів штампового оснащення проілюстровані результати розрахунків напружено-деформованого стану системи із трьох тіл.*

### Введение

В работе [1] описана постановка задачи о контактном взаимодействии системы нескольких тел. Она сведена к проблеме линеаризации функционала полной внутренней энергии на множестве функций, удовлетворяющих ограничениям типа неравенств. Предложенный подход без принципиальных ограничений поддается численной реализации, например, с использованием метода конечных элементов [2]. В то же время параллельно возникает другая проблема. Она касается необходимости проведения не одного или нескольких решений контактной задачи, а многовариантных расчетов с варьированием различных параметров. Напрямую автоматизация таких исследований зачастую затруднена. В связи с этим требуется разработка подходов, данное противоречие разрешающих. В этом состоит цель настоящей работы.

### Постановка задачи

Рассмотрим, без снижения общности, задачу о контактном взаимодействии трех призматических тел на примере элементов штамповой оснастки. На рис. 1 представлена схема взаимодействия в системе «пуансон – листовый материал (заготовка) – матрица».

Форма пуансона была выбрана в виде цилиндра, заготовки – круглой пластины, матрица – полый цилиндр с утолщением на конце (поясок для упрощения проталкивания детали). С учетом осевой симметрии конструкции, нагрузок и граничных условий задача решается в осесимметричной постановке.

### Методика исследований

Согласно постановке [1] построена расчетная схема задачи, которая была рассчитана в программном комплексе ANSYS. Для описания поведения материала используется линейная упругая модель, а для каждого из элементов задается свой материал.

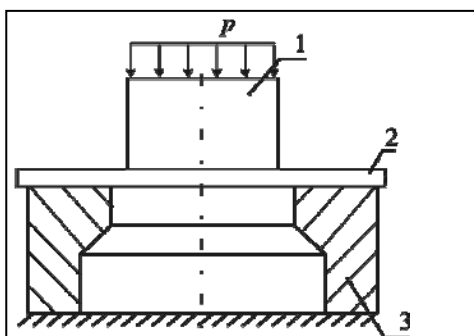


Рис. 1. Схема приложения нагрузок и граничные условия:

1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица

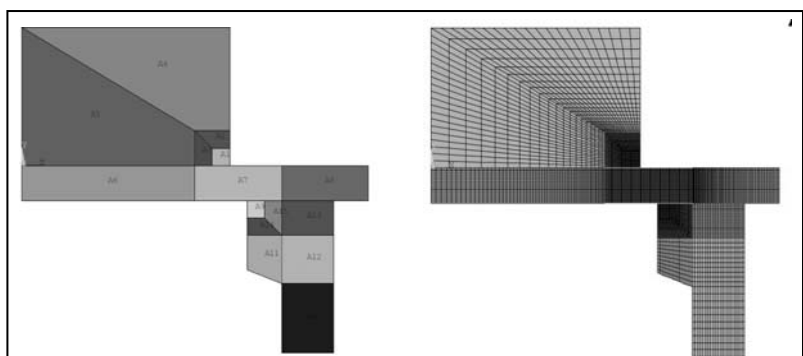
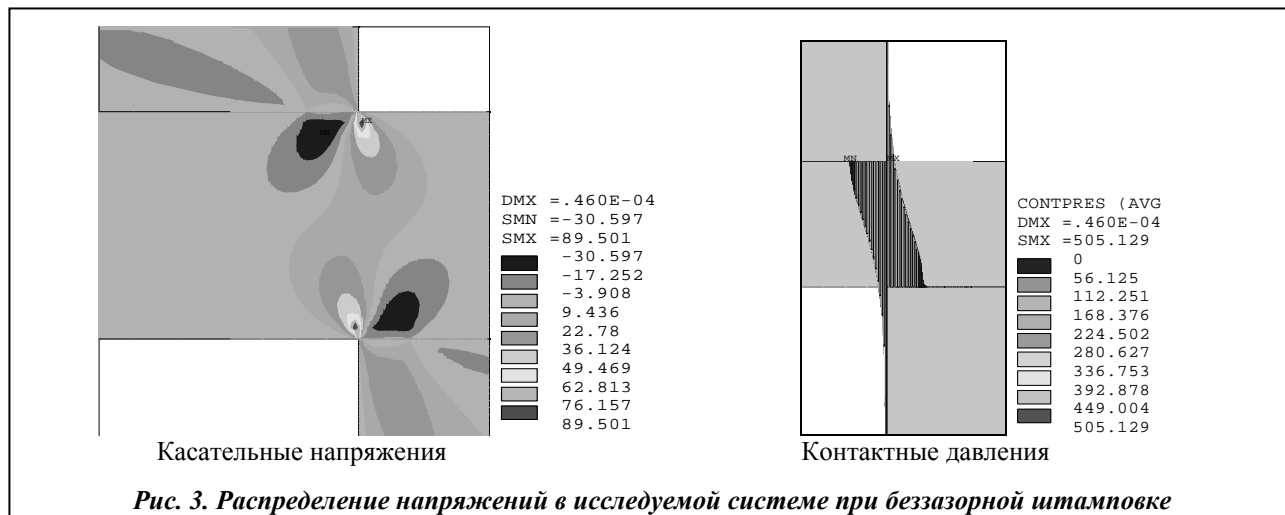


Рис. 2. Геометрическая и конечноэлементная модели исследуемой системы «пуансон – штампуемый материал – матрица»

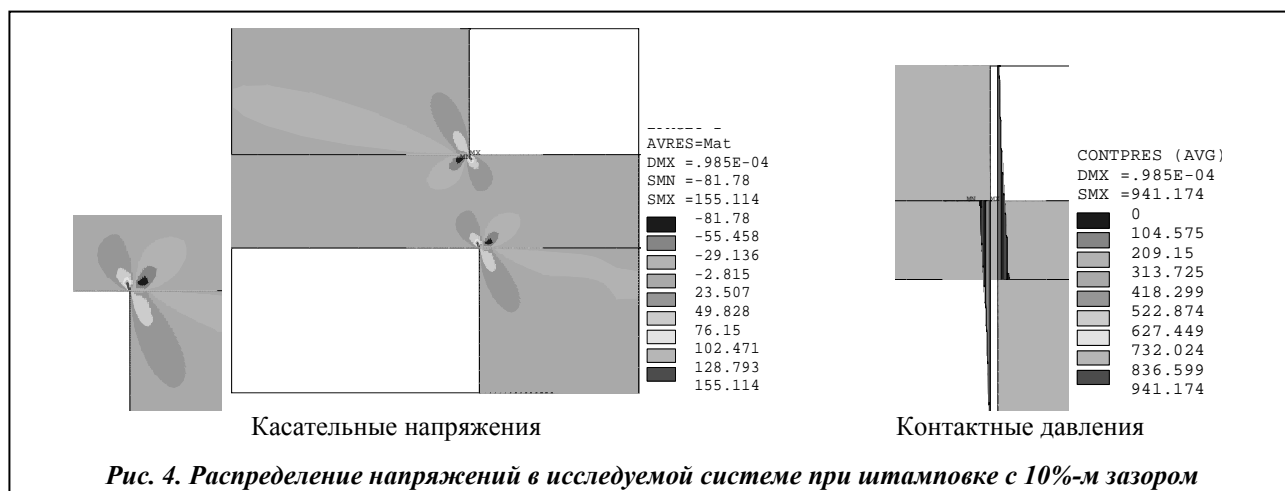


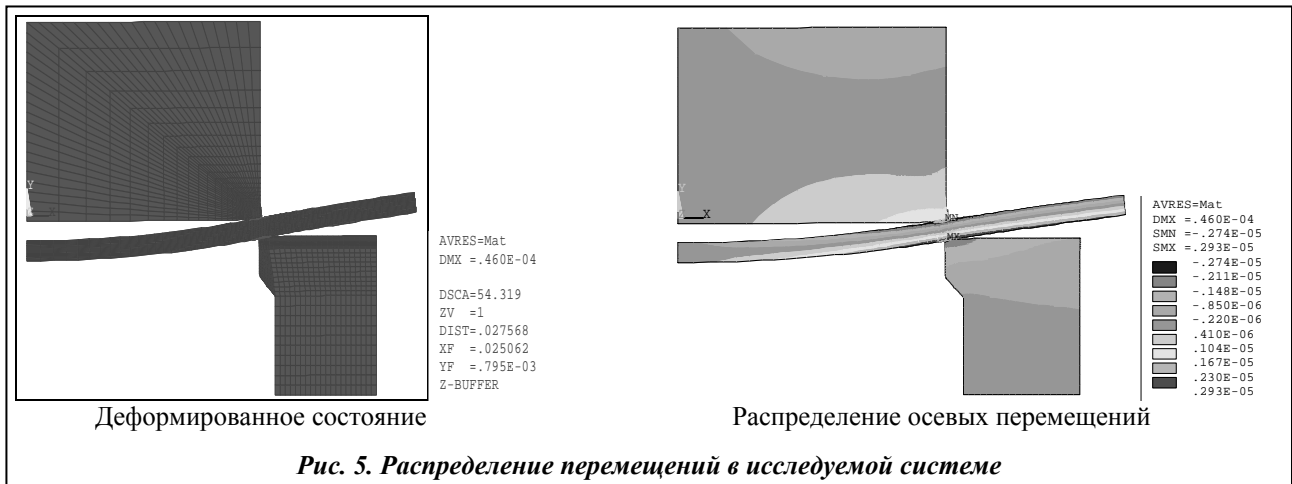
Геометрия строилась снизу вверх: создавались точки, линии, области. По опыту решения подобных задач [3] были выявлены основные особенности: контакт реализуется вдоль режущих кромок по ширине  $0,1 \div 0,5t$  ( $t$  – толщина штампуемого материала); большие градиенты напряжений – вблизи режущих кромок; более однородное напряженное состояние – вдали от режущих кромок. Учитывая эти особенности, сетка сгущена в области кромок (рис. 2).

Геометрия создана специально для регулярного разбиения и предварительно разбита на четырехугольные подобласти. Контакт типа «поверхность – поверхность» задается в Contact Wizard. Назначаются контактные и целевые поверхности. Автоматически область контакта разбивается с помощью контактных элементов TARGE169 и CONTA172. Выбирается для решения задачи модифицированный метод множителей Лагранжа с параметрами по умолчанию.

К модели прикладываются нагрузки – постоянное давление на верхнюю поверхность пуансона и закрепление нижней поверхности матрицы. Затем производится решение задачи.

Многовариантный расчет использует вызов ANSYS'a в batch режиме с передачей командного файла через start80.ans, из которого последовательно в цикле вызываются командные файлы, выполняющие простые операции.



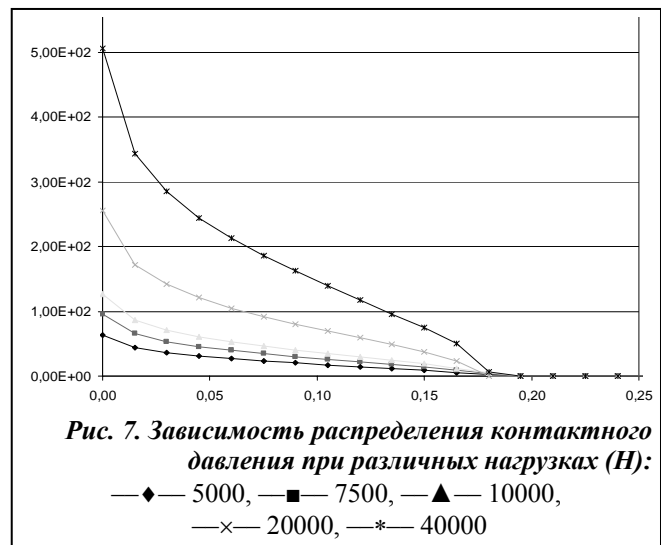
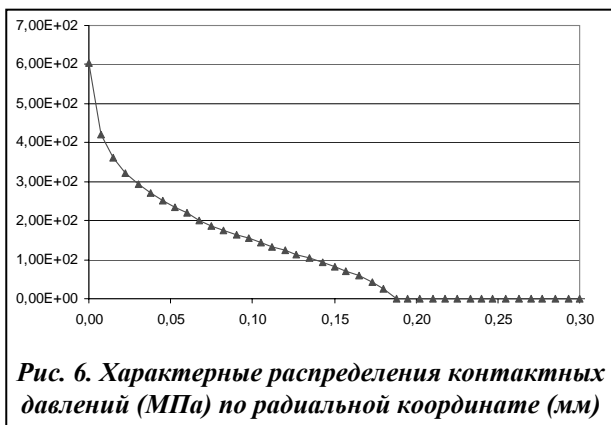


Для обеспечения вариативности исследуемых объектов адаптирован подход обобщенного параметрического моделирования [4]. В соответствии с ним все варьируемые факторы модели исследуемого процесса или состояния рассматриваются как обобщенные параметры  $p_k$ . Совокупность этих параметров формирует обобщенное параметрическое пространство  $P$ , каждая точка которого идентифицирует исследуемую модель. Определяя в параметрическом пространстве некоторое дискретное множество точек, можно организовать процесс численных исследований, работающий в автоматизированном режиме. При этом можно контролировать некоторые характеристики  $h_s$  (напряжения, перемещения и т.п.), которые выбираются из массивов результатов расчета. В итоге получаем параметрические зависимости  $h_s = h_s(p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_N)$ . С использованием предложенного подхода проведены исследования напряженно-деформированного состояния элементов системы «матрица – материал – пуансон», контактирующих между собой (см. рис. 1).

**Результаты исследований**

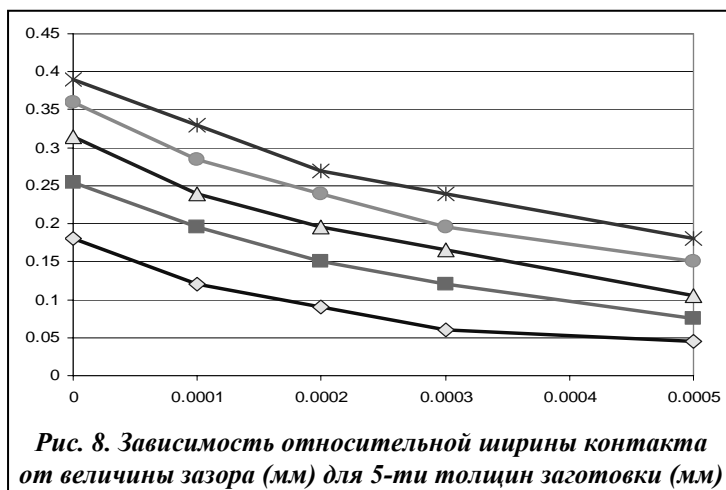
В ходе многовариантного расчета контролируется ряд скалярных параметров и распределений, приведенных ниже. Данные величины определяются с помощью специального макроса на языке APDL ANSYS. Контролируются распределение контактных давлений и напряжений по толщине заготовки между режущими кромками. Для контроля возможных ошибок сохраняется база каждого расчета. Затем модель полностью удаляется. Файлы с контролируруемыми параметрами обрабатываются в Excel.

На рис. 3–5 представлены картины, характеризующие напряженно-деформированное состояние в режущих элементах штампов и в штампуемом материале, а на рис. 6 – характерные картины распределения компонент контактных давлений в исследуемой системе.



**Скалярные параметры**

№ параметра	Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу
1	$\sigma_i^p$
2	$\sigma_i^z$
3	$\sigma_i^m$
Радиальные перемещения режущих кромок	
4	$u_r^p$
5	$u_r^m$

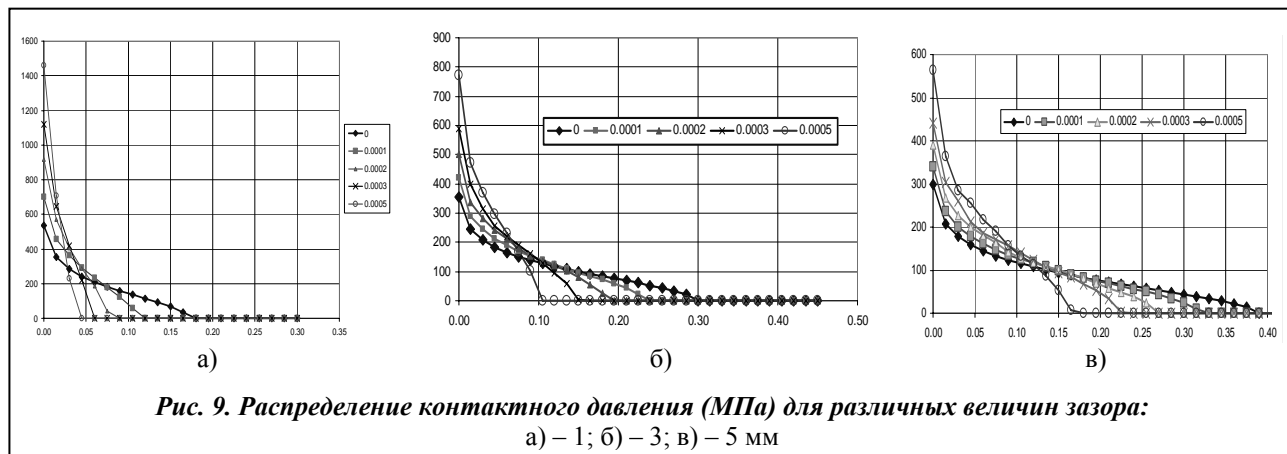


Анализ полученных распределений и параметрических зависимостей контролируемых величин от варьируемых параметров штампов позволяет сделать следующие основные выводы:

- контакт со штампуемым материалом реализуется вдоль режущих кромок по ширине  $0,1 \div 0,5t$  ( $t$  – толщина штампуемого материала), контактное давление между инструментом и заготовкой имеет колоколообразный с максимумом на кромке вид, указанный на рис. 6;
- размеры зоны контакта и вид контактного давления слабо зависят от величины приложенной нагрузки (рис. 7);
- с уменьшением толщины заготовки и с ростом величины относительного зазора контактные давления и эквивалентные напряжения в заготовке возрастают;
- увеличение толщины заготовки приводит к увеличению относительной ширины зоны контакта (рис. 8, 9);
- уменьшение технологического зазора между матрицей и пуансоном может достигать значительных величин, соизмеримых с самим зазором, что необходимо учитывать при назначении номинального зазора в процессе проектирования того или иного конкретного штампа (рис. 10).

**Выводы**

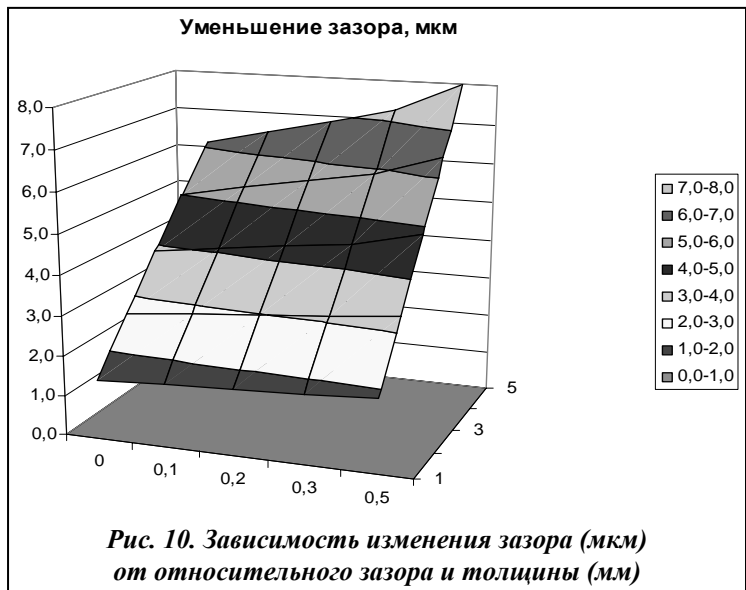
Анализ полученных результатов позволяет сделать некоторые общие выводы. В целом предложенный подход и разработанный комплекс моделей являются достаточно эффективными работоспособными инструментами для численного моделирования напряженно-деформированного состояния системы контактирующих тел, например режущих элементов разделительных штампов, с целью выявления общих закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния, зависимости его характеристик от конструктивных и технологических параметров.



Таким образом, предложенный подход в дальнейшем можно применять для исследования контактного взаимодействия системы нескольких тел и обоснования их проектных параметров.

### Литература

1. Демина, Н. А. Математическое моделирование контактного взаимодействия системы призматических тел / Н. А. Демина // Пробл. машиностроения. – 2014. – Т. 17, № 3. – С. 52–56.
2. Belytschko, T. Contact-Impact by the Pinball Algorithm with Penalty and Lagrangian Methods / T. Belytschko, M. O. Neal // Int. J. Numerical Methods Eng. – 1991. – Vol. 31. – P. 547–572.
3. Дьоміна, Н. А. Удосконалення методів розрахунку елементів штапового оснащення на основі аналізу їх напружено-деформованого стану: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Н. А. Дьоміна – Харків, 2011. – 20 с.
4. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н. А. Ткачук, Г. Д. Гриценко, А. Д. Чепурной и др. // Механика и машиностроение – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – № 1. – С. 57–79.



Поступила в редакцию 13.10.14