



УДК 004.2

**PARAMETERIZED COMPUTER MODEL OF ORTHOPAEDIC  
SUPINATOR IN WORKBENCH ANSYS**  
**ПАРАМЕТРИЗОВАННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОРТОПЕДИЧЕСКОГО  
СУПИНАТОРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANSYS**

**Antonova-Rafi Y.V. / Антонова-Рафи Ю.В.***PhD, as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9518-4492

**Solomin A.V. / Соломин А.В.***PhD, as.prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5226-8813

**Matvienko L.V. / Матвиенко Л.В.***National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Prosp.Peremohy, 37, 03056**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт  
имени Игора Сикорского», Киев, пр-т Победы, 37, 03056*

**Аннотация.** В работе предлагается технология инженерного анализа функционирования ортопедического супинатора для целей оптимизации параметров его конструкции посредством создания и исследования параметризованной компьютерной модели в программной среде ANSYS.

**Ключевые слова:** компьютерная модель, супинатор, ANSYS.

**Вступление.**

На сегодняшний день наблюдается разрыв между возможностями современных компьютерных технологий и методиками, используемыми в реабилитационной инженерии для проектирования изделий специального назначения, которые базируются в большинстве случаев на практическом опыте специалистов. Логично предположить, что методы инженерного анализа с использованием компьютерного моделирования для таких изделий весьма перспективны в плане оптимизации их конструкций и параметров.

Таким образом, актуальность работы связана с целесообразностью применения компьютерных технологий для моделирования процессов функционирования изделий реабилитационной инженерии.

**Основной текст.** Целью работы является разработка параметризованной компьютерной модели ортопедического супинатора в среде ANSYS для инженерного анализа механических явлений упругой деформации в нем при нагрузке. Под параметризацией подразумевается использование чрезвычайно эффективных возможностей ANSYS, позволяющих при создании компьютерной модели заранее определять важные для пользователя параметры как изменяемые. При анализе поведения уже готовой модели пользователь легко может менять значения таких параметров и пересчитывать задачу. Таким образом можно получать полезные зависимости, подбирать оптимальные параметры в конкретных ситуациях.

Известно, что с целью комплексной коррекции разных форм деформации



стопы применяются вставные ортопедические стельки, супинаторы разной формы и функционального назначения. Основная функция супинатора – механическое поднятие внутреннего свода стопы и его поддержка во время движения и стояния. Показаниями к использованию вставных стелек-супинаторов является статическая деформация, плоскостопие, уплощение передних отделов стопы (поперечное плоскостопие). Применение жестких корректоров (металлических, пластмассовых, пробковых, смесь пробковой крошки с нитролаком) противопоказано, так как они не имеют эластичности и наносят вред деформированной стопе. Эластичные же корректоры, наряду с поддерживающей функцией, осуществляют постоянный массаж, который укрепляет мышечно-связочный аппарат стопы. Из доступных материалов наиболее эффективным является вспененный полиэтилен, который хорошо поддается формованию и имеет такие свойства как упругость, гибкость, гигроскопичность, незначительная теплопроводность [1].

Конструкция реального реабилитационного супинатора обычно достаточно сложна и имеет несколько разных элементов в зависимости от типа дефектов стопы пациента. Но эти элементы довольно схожи между собой своей каплевидной формой и отличаются размерами, высотой подъема и расположением на плоскости стопы. Поэтому в качестве задачи начального этапа компьютерного моделирования был выбран инженерный анализ деформации такого типичного элемента каплевидной формы. Следует отметить, что в некоторых случаях простейшей деформации стопы, например, только продольного плоскостопия, такой элемент полностью воспроизводит функцию супинатора. В иных ситуациях супинатор имеет несколько аналогичных элементов. Здесь напомним, что создаваемая компьютерная модель является параметризованной, как отмечалось выше, что дает возможность анализировать в дальнейшем с ее помощью функционирование каждого элемента сложного супинатора по отдельности, задавая его параметры.

С инженерной точки зрения понятно, что важнейшей для пациента эксплуатационной характеристикой является степень прогиба, то есть деформация элемента супинатора во время ходьбы, поскольку именно этот параметр ответственен за поддержку свода стопы. Но также понятно, исходя из сложности формы изделия и оценки величины деформации, которую нельзя считать малой, что классические аналитические средства инженерного анализа напряжений и деформации здесь непригодны. Поэтому перспективным оказывается применение среды компьютерного моделирования ANSYS.

В качестве параметров модели выбраны длина, ширина и высота возвышения супинатора, упругие свойства (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) материала изделия, давление на поверхность супинатора со стороны ноги пациента. Именно эти параметры можно будет легко менять при каждом пересчете задачи, получая в качестве результата распределение напряжений и деформаций изделия. Наиболее показательным результатом, очевидно, будет служить максимальная деформация, поскольку полное уплощение супинатора под нагрузкой свидетельствует об отсутствии его поддерживающей функции в этот момент. Заметим, что упругие свойства пенополиэтилена существенно



зависят от степени его вспенивания, поэтому можно иметь в распоряжении набор заготовок с возможностью их подбора по требуемым механическим свойствам. По результатам вычислений целесообразно построить таблицы и графики зависимостей, чтобы не пересчитывать задачу для каждого нового значения параметра. Индивидуальный подход связан с тем, что пациенты отличаются весом, размером ноги, видом и степенью деформации стопы и т.д. Соответствующим образом построенные таблицы и графики позволят легче адаптировать элементы конструкции супинаторов для конкретных пациентов.

При дальнейшем исследовании построенной компьютерной модели может выявиться потребность введения дополнительных изменяемых параметров или применения пользовательских фрагментов кода, формул или библиотечных функций, что также предусмотрено в программной среде ANSYS.

Фрагмент интерфейса для изменения указанных выше параметров модели приведен на рис. 1.

Outline of All Parameters				
	A	B	C	D
1	ID	Parameter Name	Value	Unit
2	☐ Input Parameters			
3	⊗ P1	Plane1.H	80	
4	⊗ P2	Plane1.L	12	
5	⊗ P3	Plane2.W	60	
6	⊗ P4	Young's Modulus	3E+05	Pa ▼
7	⊗ P5	Poisson's Ratio	0,42	
8	⊗ P6	Pressure Y Component	-0,1	MPa ▼
*	⊗ New input parameter	New name	New expression	
10	☐ Output Parameters			
*	⊗ New output parameter		New expression	
12	Charts			

**Рис. 1. Фрагмент интерфейса для изменения параметров модели**

Для создания компьютерной 3D-модели супинатора авторы воспользовались возможностями инструментария моделирования Workbench ANSYS и лекалами соответствующих форм из работы [1].

Workbench ANSYS предлагает инструменты создания объемной модели по эскизам ее сечений. В данном случае сначала сплайнами кривых воспроизведены эскизы двух сечений супинатора: на внутренней части ноги по форме лекал из работы [1], а на внешней части в форме близкой к прямой линии у основания подошвы, поскольку снаружи ноги возвышение элемента супинатора сходит на нуль.

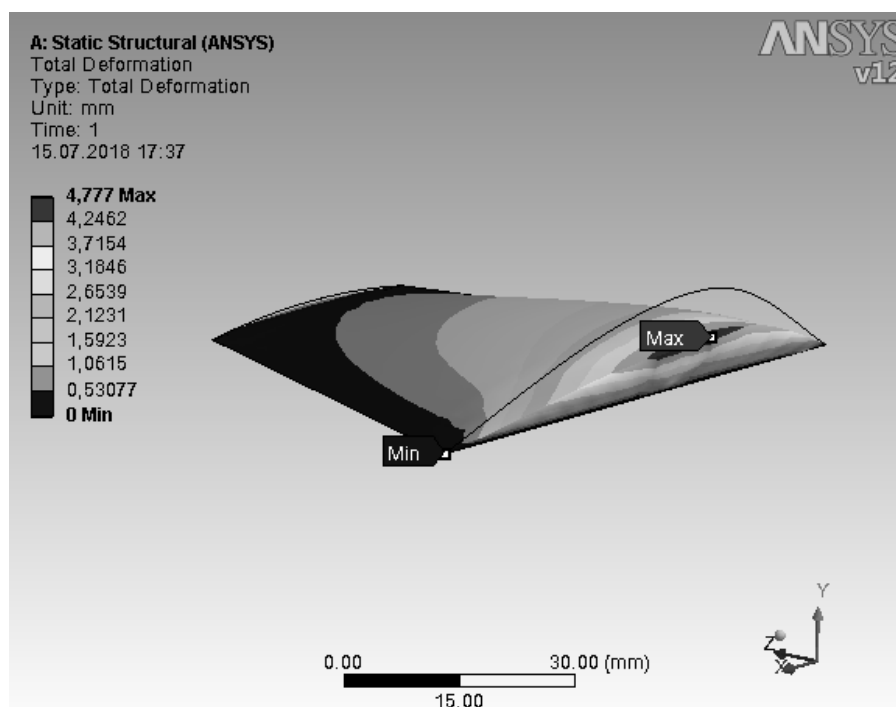
Далее заданы размеры на эскизе для усредненного пациента, а затем параметризованы, т.е. этим параметрам присвоены имена и указано, что они могут изменяться. 3D-модель каплевидного элемента супинатора получена технологией протяжки по двум сечениям (Skin/Loft). Потом заданы параметры материала – пенополиэтилена (модуль упругости, коэффициент Пуассона, удельная плотность и др.), основные из которых затем также параметризованы, а после этого приложена нагрузка сверху в виде



вертикального давления, то есть сила тяжести усредненного пациента на единицу площади элемента супинатора (также параметризирована). После определены граничные условия в виде неподвижности нижней поверхности модели.

Следующим этапом построения модели для численного анализа стало наложение сетки конечных элементов (все параметры сетки оставлены по умолчанию, то есть оптимальными с точки зрения ANSYS).

Результат решения задачи в виде диаграммы распределения деформаций приведен на рис. 2.



**Рис. 2. Диаграмма распределения деформаций**

Здесь в качестве значений параметров модели выбраны следующие: длина модели – 80 мм, ширина – 60 мм, высота – 12 мм, давление сверху – 0,1 МПа, модуль Юнга материала – 0,3 МПа, коэффициент Пуассона – 0,42. Как видно из диаграммы результатов решения, максимальная деформация в этом случае составила 4,777 мм.

При практическом применении модели можно либо каждый раз пересчитывать задачу со значениями параметров для конкретного пациента, либо заранее построить соответствующие графики и таблицы для различных значений параметров.

#### **Заключение и выводы.**

Построена параметризованная компьютерная модель ортопедического супинатора в программной среде ANSYS для целей анализа процессов деформации в нем под нагрузкой. Параметризация модели позволяет варьировать ее существенные параметры, тем самым обеспечивая возможность подбора и оптимизации элементов супинатора для конкретных пациентов.



Литература:

1. Вихляев Ю.М. Корекція функціонального стану студентів технічними засобами: Монографія. – К. : НТУУ «КПІ», 2006. – 308 с.

**References:**

1. Vykhliayev Y. Corekcia phunctionalnogo stanu studentiv technichnymy zasobamy [Correction of the functional state of students by hardwares: Monograph] – K. : НТУУ «КПІ», 2006. – 308 с.

**Abstract.** *Technology of engineering analysis of orthopaedic supinator functioning is offered for the aims of optimization of its construction parameters by means of creation and research of parameterized computer model in the Workbench ANSYS.*

**Key words:** *computer model, supinator, ANSYS.*

Статья подготовлена в рамках Программы 0117U002933

Статья отправлена: 27.08.2018 г.

© Антонова-Рафи Ю.В.

© Соломин А.В.