

Демидова И.И.

*НИИММ им. акад. В.И. Смирнова СПбГУ Санкт-Петербург, Россия.*  
[maria\\_ib@mail.ru](mailto:maria_ib@mail.ru)

## Введение

В структуре тканей растений и животных содержится большое количество трубочек, сосудов (артерии, корни растений, желудок, голова и т.д.), постоянно нагруженных как внутренним давлением  $p_i$ , так и внешним  $p_0$ . При этом отметим, что для нормального функционирования живой системы все параметры имеют свои границы. Изменение параметров окружающей среды ОС имеет достаточно широкий диапазон, так температура для одной области может меняться в пределах  $\pm 40$  °С за счет колебания других параметров, например, движения Земли (суточное, смены времен года). Температура же человека поддерживается в норме в достаточно узком интервале [36–37 °С].

## Действие давления на живой организм

Рассмотрим задачу Ламе – о деформировании сферического сосуда с полостью, с радиусами  $a$  и  $b$ , под действием внешнего  $p_0$  и внутреннего  $p_i$  давлений в однородном температурном поле при граничных условиях:  $\sigma_r = p_0, r = b, \sigma_r = p_i, r = a$ . Известно, что распределение радиальных  $\sigma_r$  и окружных  $\sigma_\theta$  напряжений зависит от соотношения давлений  $p_0, p_i$  и размеров сферы  $a$  и  $b$  и не зависит от свойств материала.



Рис. 1. Интерференционная картина




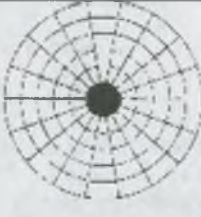

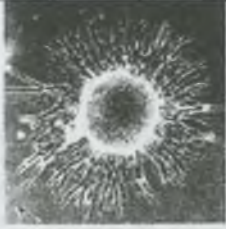
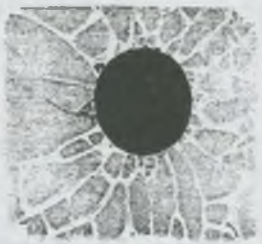
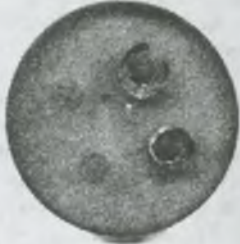
Рис. 2. Интерференционные полосы в пространственной модели с включением

Из решения задачи следует, если сфера или цилиндр нагружены только внутренним давлением, то окружное напряжение – растягивающее, а радиальное – сжимающее, и по величине окружные напряжения больше радиальных, причем максимум окружных напряжений достигается на внутренней поверхности. При этом напряжение  $\sigma_\theta$  всегда численно превышает внутреннее давление и приближается к нему по величине с увеличением  $b$ . Наличие растягивающих окружных напряжений приводит, например, к растрескиванию коры деревьев.

В фотоупругости, согласно закону Вертгейма, интерференционные полосы, соответствующие разности главных напряжений, будут для плоской задачи окружности (рис. 1). Задачу Ламе, как модельную, применяли при исследовании напряженного состояния в кровеносных сосудах, в трубчатых костях, в корнях растений и т.д. Можно использовать эту модель и для полых органов, например, желудка.

Заметим, что в соответствии с законом Вульфа, траектории трабекул губчатой ткани совпадают с линиями максимальных напряжений, которые в фотоупругости отождествляют с семейством изоклин (рис. 3, б). По этим семействам можно построить изостаты и линии скольжения. Затем можно судить о характере разрушения конструкций, выполнен-

ных из однородных материалов (рис. 4, 5). Для хрупкого материала разрушения идут по изостатам.

		
<p>Рис. 3. Изоклины</p>	<p>Рис. 4. Изостаты</p>	<p>Рис. 5. Линии скольжения</p>
		
<p>Рис. 6. Стволовая клетка</p>	<p>Рис. 7. Трещины в матрице после ее отверждения (P. Theocaris)</p>	<p>Рис. 8. Трещины в модели с включениями</p>

### Деформирование ОС

Известно, что любая биосистема способна создавать в окружающем пространстве ОС поля той или иной физической природы. Если внешнее давление действует на биосистему, то и, наоборот, система воздействует на ОС, т.е. вокруг биосистемы образуется некоторое физическое поле, обладающее своими физико-механическими характеристиками. Причем величины этих характеристик отличаются от характеристик биоконструкций на порядки.

	
<p>Рис. 9. Поле вокруг пальца</p>	<p>Рис. 10. Восстановленное поле по методу ГРВ</p>

Если *ОС* ограничена только живой конструкцией, то распределение напряжений будет таким же, как в задаче Ламе. Степень этого действия по величине и радиусу, безусловно, незначительна по сравнению с размерами Вселенной -- 4-5 радиусов объекта, но ощутима при взаимодействии с близко расположенными живыми системами. Отметим, что наличие поля вокруг живых систем замечено давно, о чем свидетельствует изображение нимбов вокруг головы Будды на Кушанской монете 1 века до н.э. Во второй половине XX века был развит метод Кирлиана или метод газоразрядной визуализации ГРВ. Суть метода ГРВ заключается в регистрации и анализе свечений биологических объектов при стимуляции их электромагнитным полем с усилением в газовом разряде (рис.9, 10).

Заметим, что внутренняя поверхность *ОС* всегда ограничена наружной поверхностью биосистемы, на которой действуют неравномерно распределенные напряжения. Положение границы наружной поверхности *ОС* существенным образом влияет на напряженное состояние этой области и зависит от нахождения биосистемы в пространстве, закрытом или открытом, и от уровня давления в *ОС*. В зависимости от механических свойств *ОС*, ее размеров, воздействий, различных граничных условий можно изучать разнообразные состояния системы. А при изменении напряженного состояния в живом организме будет изменяться напряженное состояние и в его пространстве *ОС*.

В качестве модели исследования напряженного состояния *ОС* можно предложить модель с включением. На рисунке 2 показана интерференционная картина в пространственной модели со стеклянным сферическим включением после отверждения полимерного материала. Подобное распределение напряженного состояния возникает и вокруг клетки, и при развитии зачатка зуба, и в утробе матери вокруг плода, и вокруг любого живого организма. На рисунке 7 приведена картина разрушения в модели с включением после быстрого охлаждения. Этой моделью, вероятно, можно объяснить разрушения *ОС* при резком перепаде давлений, вызванных разными причинами.

### **Заключение**

Изучение напряженного состояния области *ОС* необходимо, так как любая биоконструкция существует не изолированно. Академик В. П. Казначеев, исследовавший взаимодействие клеток, высказал следующее мнение: «Думаю, полевое вещество, „поле“, не только является основой интеллекта, но и управляет развитием всего живого организма». Поллиная природа живых организмов проявляется в их взаимном влиянии. С точки зрения механики при взаимодействии биоконструкций, как и в модели с включениями, повышается концентрация напряжений и возможно возникновение дефектов тканей *ОС* (рис. 8). В результате возникает ситуация невозможности поступления информации к клетке и от клетки.

Таким образом, использование задачи Ламе в биомеханике расширяет возможности анализа проблемы взаимоотношения биосистем с окружающей средой, позволяет объяснить некоторые явления, наблюдаемые в природе. Предложенные модели позволяют дать объяснения различных патологий, возникающих при росте и функционировании живых систем. С другой стороны расширяются возможности приложений задачи Ламе.