

## МКЭ-АНАЛИЗ ИМПЛЕМЕНТАЦИИ БИОНИЧЕСКИХ КОНСОЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК В ДИЗАЙН ВЕРТИКАЛЬНЫХ ХРАНИЛИЩ

Довнар С. С., Ланука А. Д., Венслаускас В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
e-mail: stanislaw.dovnar@gmail.com

**Summary.** FEM simulation of bionic console shells derived from shape variants of *Adenium obesum socotranum* plant is provided. A set of shell geometry models is developed. Plant contours similarity to the idealized equal-stress beam is stated. The usefulness of wall thickness control to shell structural stress alleviation is proved.

Работа относится к области МКЭ-анализа бионических форм (БФ) из мира деревьев и древовидных растений. Целью является имплементация оптимизированных и стилизованных БФ в область вертикальных технических башен, например, водных резервуаров. Предлагаемые решения будем называть бионическими консолями (БК). Это вертикальные структуры, закрепленные снизу и воспринимающие изгибные и крутильные нагрузки, например, от силы ветра. Накоплен некоторый опыт по геометрии БК типа *балок* (сплошное сечение). Данная работа посвящена бионическим консольным оболочкам (БКО). Они являются пустотелыми и могут служить возвышенными хранилищами.

Источником геометрических форм для БКО была выбрана совокупность растений со сводным названием «бутылочные деревья». Сейчас обсуждается *Adenium obesum socotranum* (AOS), произрастающий на острове Сокотра в условиях жаркого аридного климата и сильных ветров (рис. 1, а и 2, а). Это растение имеет прочную удлиненную оболочку, внутри которой есть большой объем для хранения влаги. Несущей системой (НС) служит именно оболочка. Ткани с жидкостью являются нагружающей средой.

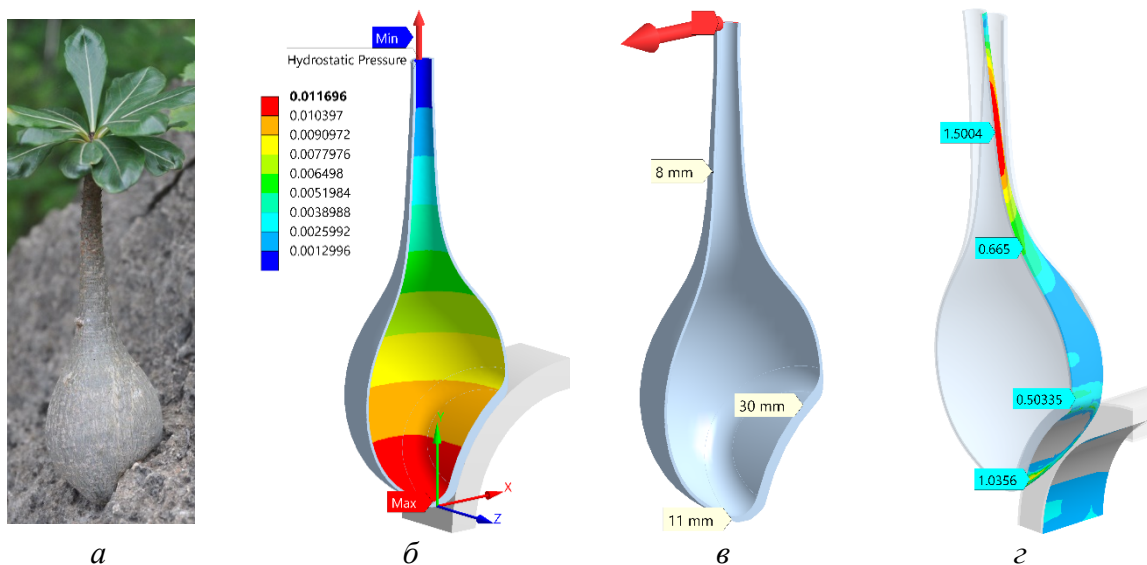


Рисунок 1 – Кувшинообразное AOS (а), нагружение его оболочки гидростатическим давлением (б) и тестовой силой ветра (в), картина эквивалентных напряжений и деформаций (МПа).  $\times 200$

БКО, созданная по рис. 1, а, представлена далее на рис. 1, б–з. Оболочка является почти регулярной. Отражено асимметричное закрепление модели наклонной опоре. Рис. 1, б демонстрирует приложение к оболочке изнутри давления водяного столба. На рис. 1, в показано приложение ветровой нагрузки как сосредоточенной силы. Предполагается, что сила ветра создается на розетке листьев растения.

Рис. 1 отражает уже проведенную оптимизацию толщины стенки БКО. Утолщение подошвы растения до 30 мм с плавным переходом к стенкам толщиной 11 мм дает равномерное распределение напряжений по оболочке (рис. 1, *з*; маркеры «0.50335» и «0.665» МПа). Концентрация напряжений («1.0356» МПа) наблюдается только внизу фиксированной подошвы. Она только двукратная, что вполне допустимо на практике.

Верхний концентратор «1.5004 МПа» является разглаженным и малоопасным. Его надо устранить подъемом толщины стенки горлышка над уровнем «8 мм» (рис. 1, *в*).

Рис. 2 касается моделирования нерегулярных оболочек с криволинейным профилем сечений (рис. 2, *б*). Здесь наблюдается большое разнообразие БФ. Возможна имплементация самых разных БК – от сферы до почти колонны.

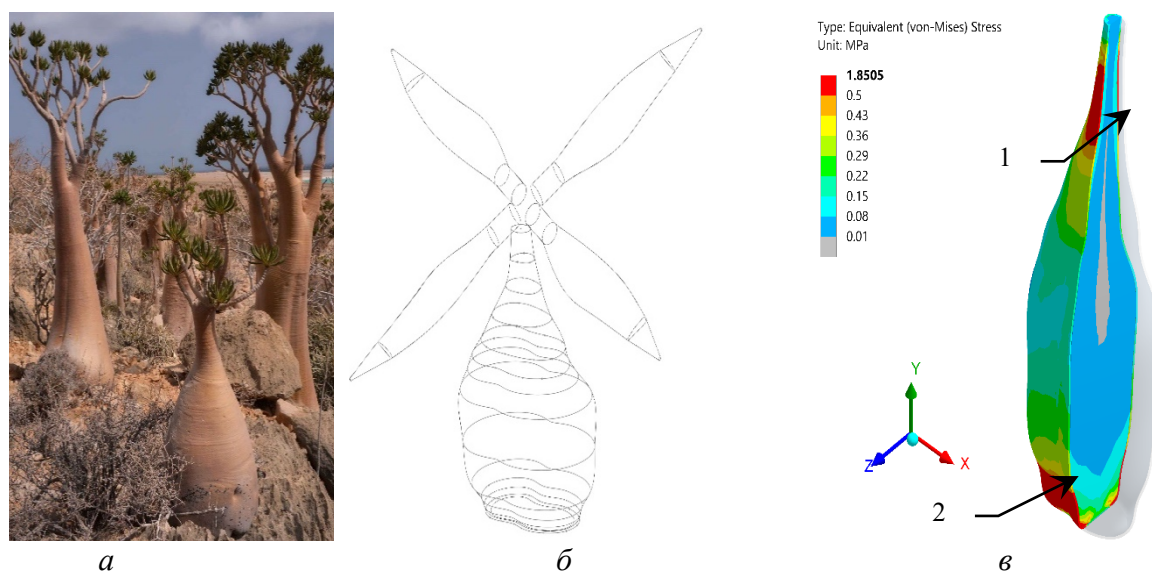


Рисунок 2 – Группа вытянутых AOS (*a*), геометрическая модель оболочки растения (*б*) и картина эквивалентных напряжений (МПа) для двухфазной МКЭ-модели (оболочка плюс насыщаемый наполнитель):  $\times 1500$

Особенностью модели на рис. 2, *в* является моделирование наполнителя внутри оболочки. Его модуль упругости на порядок меньше модуля упругости оболочки. Поэтому напряжения в наполнителе относительно малы. Здесь образ наполнителя представляет ячеистое техническое хранилище, в котором нет эффекта гидростатического давления.

Картина напряжений на рис. 2, *в* обусловлена ветровым напором. Наблюдается две области концентрации напряжений – под горловиной (1) и около подошвы БКО (2). Обе области оказываются достаточно размытыми. Они обусловлены изгибными напряжениями. Поэтому их разумно ослабить локальным увеличением толщины стенки оболочки.

МКЭ-анализ проводился для изотропных материалов со свойствами бетонов и полимер бетонов. Ожидается, что БКО будут изготавливаться литьем или на 3D-принтере. Поэтому есть большая свобода в выборе формы оболочки и назначении толщины ее стенок.

Проведенное МКЭ-моделирование указывает, что БКО могут унаследовать от реальных природных оболочек оптимизированные картины напряжений. Во-первых, удлиненные растительные оболочки, как и стволы деревьев тяготеют к формам равнопрочной балки. Во-вторых, самоорганизация роста клеток оболочки должна приводить к локальному утолщению стенок в местах повышенного нагружения. В итоге ожидается разглаживание полей напряжений, что ведет к хорошей прочности при минимальном весе технических хранилищ.

Рассмотренные бионические оболочки могут выполнять не только техническую функцию, но и решать эстетические задачи. БКО может быть архитектурным объектом.

Над горловиной бионической оболочки вместо розетки из листьев могут размещаться (рис. 2, б) панели солнечных батарей, лопасти ветродвигателя, лампы и т. д. Так может возникнуть архитектурно значимое сооружение, например, для добывания, обработки и хранения воды (водяная башня).

УДК 550.832

**ИССЛЕДОВАНИЕ СКВАЖИН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА  
И МЕТОДОМ ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КАРОТАЖА  
ДЛЯ ПОИСКА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

*Есман Н. М., Сокол Д. Г., Вершиловский В. А.  
Белорусский национальный технический университет  
e-mail: vadim.torpedo@mail.ru*

***Summary.** The introduction of new technologies in the field of prospecting of minerals will reduce costs and accelerate the exploration of geological sites. Reducing the cost of exploring gold deposits can increase the profitability of mining gold deposits.*

Поиск ресурсов является одним из важнейших направлений для Республики Беларусь. Сегодня выделено много перспективных участков для изучения, однако главный вопрос – это отсутствие технологии поиска. При проведении детальной разведки Околовского месторождения железных руд в Столбцовском районе в некоторых частях были выявлены проявления золота. Как правило, это водо-ледниковые отложения, которые особенны тем, что золото проявляется не в виде россыпей, а в виде фона, который по сравнению с россыпями беден, вследствие этого о добыче в промышленных масштабах речи не идет. Следует отметить, что месторождения, разрабатываемые промышленным способом, должны отвечать определенным требованиям по содержанию золота в руде, а так как даже в промышленных рудных и россыпных месторождениях концентрации золота весьма незначительны, выражаются в десятичных долях процента, то поиски золотоносных отложений связаны с определенными трудностями. Именно поэтому в данной статье мы исследовали несколько методов каротажа для поиска золоторудных месторождений.

Исследование скважин будет проводиться методом электрического каротажа и методом ядерно-геофизического каротажа. Электрокаротаж скважин будет производиться методом кажущихся сопротивлений. Основной задачей каротажа кажущихся сопротивлений будет являться расчленение разреза. Метод позволит надежно выявить контакты пород разного сопротивления. В нашем случае применение метода основано на наличии пород, отличающихся удельным электрическим сопротивлением. Например, средние и кислые породы обладают удельным электрическим сопротивлением ( $\rho$ ) в диапазоне  $10^3 - 10^4$  Ом·м в то время, как песчаники –  $10 - 10^3$  Ом·м, интервалы обогащенные сульфидами отличаются пониженным удельным электрическим сопротивлением. Таким образом данный метод позволит отделить интервалы сложенные породами среднего состава от пород осадочного происхождения, а так же выявить зоны золотоносных проявлений. По итогам каротажа кажущихся сопротивлений будут построены кривые изменения кажущегося сопротивления с глубиной скважины, по которым будет производиться расчленение разреза.

Из ядерно-геофизических методов исследования скважин, данным проектом предусмотрено проведение рентгенорадиометрического каротажа. Данный метод идентифицирует элементы по их рентгеновскому характеристическому излучению и по наличию этих элементов локализует рудные интервалы в скважинах. Главной задачей рентгенорадиометрического каротажа будет полуколичественное определение во вмещающих породах золота. В результате рентгенорадиометрических исследований будут