

**БИОНИЧЕСКОЕ МКЭ-ИССЛЕДОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
СТВОЛА ШТЫКОВОЙ ЮККИ**

Студенты гр.10305119 Бабылев А.С., Дубойский А.А.
Научные руководители – Довнар С.С., Пенкина А.Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

С бионической точки зрения рассматривается конкретный экземпляр растения *Yucca aloifolia* (штыковая юкка, *aloe yucca*, *dagger plant*, *Spanish bayonet*), растущего на машиностроительном факультете БНТУ (рисунок 1, а). 3D-модель растения (рисунок 1, б) построена по результатам обмера стандартными измерительными средствами. На рисунке 1, б ствол юкки обозначен как **T**, сильно упрощенные листья как **L**. Листья связаны с верхушкой ствола 3 через конический диск-посредник **C**. Объекты **C** и **L** вместе образуют стилизованную крону.

В данной работе растение, в первую очередь ствол, рассматривается с позиции механики упругого твердого тела. Ствол представляет собой консоль (одноопорную балку, зафиксированную в данном случае через грунт и корневую систему – маркер 1). По своей форме ствол оказался похож на концептуальный объект механики – равнопрочную балку. Данная балка характеризуется постоянством напряжений по своей длине при изгибе.

Цель настоящей работы – выяснить близость ствола юкки к равнопрочной балки и попытаться увеличить эту близость путем оптимизации формы ствола в бионическом ключе. С этой целью рассматривается два варианта нагружения МКЭ-модели ствола юкки – силой тяжести и ветровой нагрузкой. Виртуальные испытания для обоих вариантов производятся по-отдельности. Задачи решаются статически.

При нагружении собственным весом учитывается, что в модели листья кроны представлены редуцированно и не имеют достаточной массы. Поэтому на поверхности переходного конуса **C** размещена дополнительная расчетная масса в 0,5 кг. Плотность материала стола принята равной $\rho=987 \text{ Кг/м}^3$, модуль упругости $E=1,23 \times 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\mu=0,12$. Полная масса модели равна 0,967

кг. К модели приложена сила тяжести, $g=9,81 \text{ м/с}^2$. Сила реакции возникает на уровне жесткого закрепления в грунте.

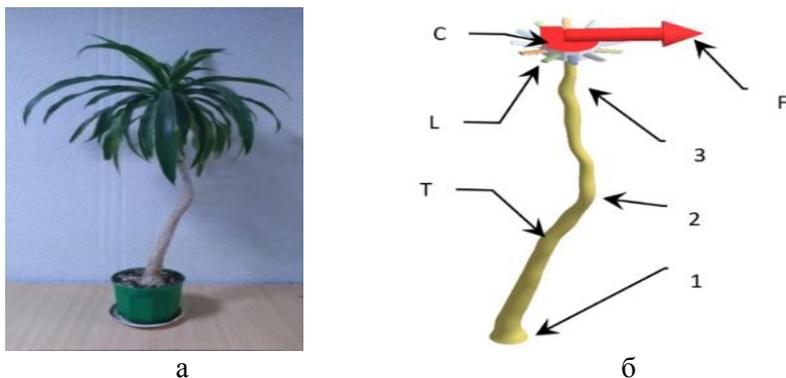


Рисунок 1 – Изучаемое растение (а) и его стилизованная геометрическая модель (б) с приложенной горизонтальной силой F

Ветровая нагрузка была принята как сосредоточенная сила $F = 100 \text{ Н}$. Сила приложена к переходному конусу кроны (фактически – к верхушке ствола) в горизонтальном направлении (рисунок 1, б). Это допущение приемлемо, поскольку напор ветра создается, в основном, на листьях кроны. В любом случае, сила ветра является просто тестовой силой, призванной выявить характер напряженно-деформированного состояния.

На рисунке 2, а отражены деформационные перемещения растения под действием собственного веса. Видно, что происходит эксцентричное сжатие стержня (ствола). Поскольку стержень непрямолинейный, то эксцентричное сжатие ведет к изгибной деформации. Деформированное состояние ствола при изгибе оказывается неравномерным. С одной стороны ствола наблюдается растяжение, а с другой сжатие.

На картине эквивалентных напряжений σ_e (рисунок 2, б) величины всегда положительны, как на растянутом волокне, так и на сжатом. Существенной чертой является неравномерность напряжений вдоль ствола. В средней трети ствола происходит почти трехкратная концентрация напряжений до уровней $\geq 0,3 \text{ МПа}$.

Ветровая нагрузка ствола дает принципиально такую же картину НДС, как и действие силы тяжести, но на порядок сильнее. Эквивалентные напряжения вдоль ствола (рисунок 2, в) находятся в диапазоне 8–16 МПа, повышаясь до 30 МПа в районе локальных концентраторов напряжений.

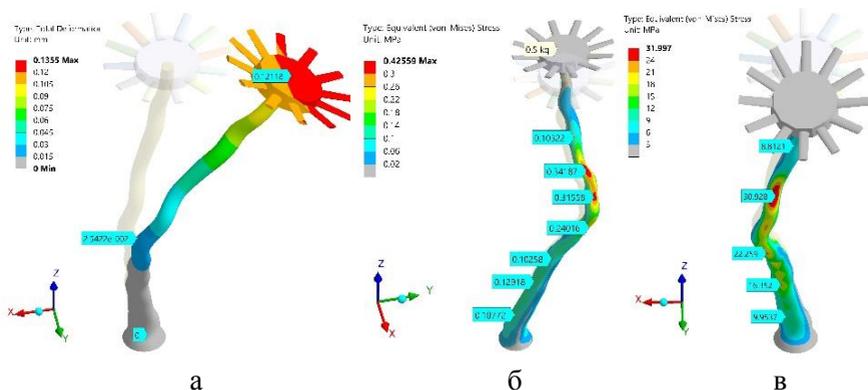


Рисунок 2 – Суммарные перемещения ствола (а) (мм; $\times 1600$) и распределение эквивалентных напряжений σ_e (б) (МПа; $\times 640$) под действием собственного веса; распределение эквивалентного напряжения σ_e (в) (МПа; $\times 5$) под действием силы ветра (100 Н).

Наличие на рисунок 2 продольных полос растяжения и сжатия указывает, что ствол стремится к концепции равнопрочной балки. Однако, в своей средней, сильноизогнутой части ствол перегружен и довольно далек от равнопрочности. Первоочередной причиной этого являются локальные концентраторы напряжений. Можно говорить, что данный экземпляр ствола юкки является *возмущенной* бионической формой.

Рационально попытаться ослабить влияние концентраторов напряжений локальным усилением ствола юкки. Соответствующий поисковый, эвристический подход к оптимизации бионической формы заключается в добавлении небольших порций материала к бионической форме и оценке результатов посредством МКЭ-расчета. В случае ослаблении напряжений делается следующая добавка на следующем шаге. В противном случае шаг отменяется.

На рисунок 3 представлены результаты изменения напряженного состояния в процессе модификации бионической геометрии изгибаемых ветром стволов. Ствол T0 является исходным экземпляром. Ствол T1 получен в ходе первой положительной локальной модификации *ПЛОМ-1*. По результатам его предварительных испытаний была осуществлена вторая положительная модификация *ПЛОМ-2*. Это привело к генерации ствола T2.

Распределения эквивалентных напряжений для T0, T1, T2 принципиально одинаковы. Однако влияние концентраторов напряжений снижается по мере локальной модификации геометрии ствола.

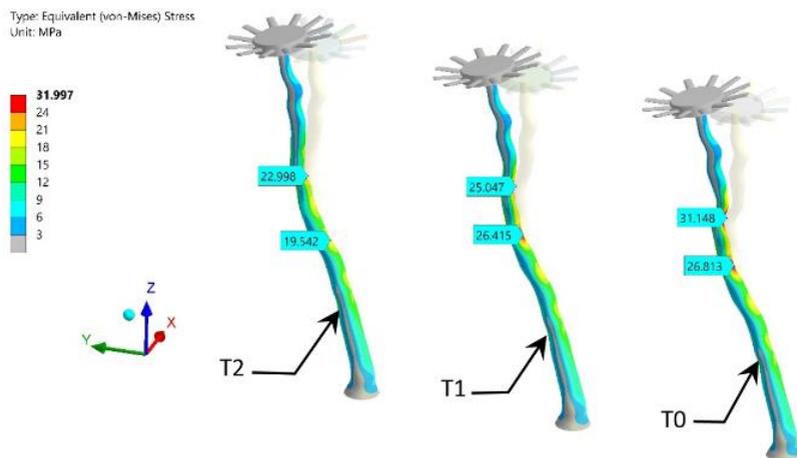


Рисунок 3 – Картины эквивалентных напряжений для модифицируемых стволов T0, T1, T2 под действием силы ветра (МПа; $\times 5$)

Компьютерное испытание трех вариантов ствола юкки показало, что данная идея эффективна. Ствол растения становится более жестким. Локальные напряжения в концентраторах падают на 35%. Виртуальный ствол превращается в бионическую балку, близкую к равнопрочной посредством минимально возможных изменений его геометрии.