Расчет мачты на оттяжках в системе SCAD

Расчет мачты на оттяжках в системе SCAD

И мачта гнется и скрыпит...
М.Ю. Лермонтов
(из руководства по расчету мачт)

Мачта на оттяжках является достаточно специфическим объектом расчета, который характеризуется следующими особенностями:

- **нелинейной работой вантовых элементов (оттяжек);**
- **необходимостью задания усилий предварительного напряжения;**
- **необходимостью учета «эффекта силы направленной в полюс» для передачи усилий от оттяжки на ствол;**
- **критичностью проверок устойчивости равновесия ствола.**

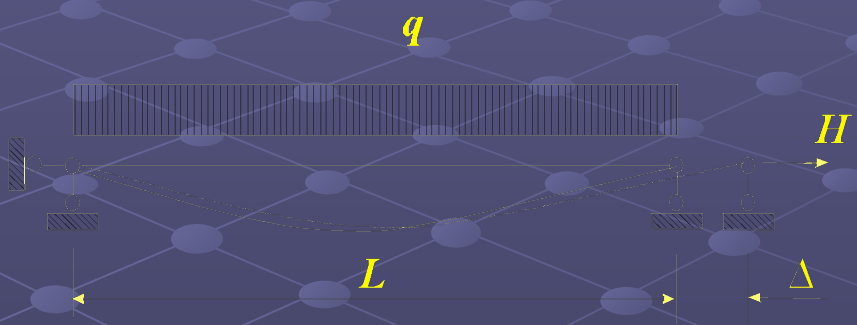
Часть 1

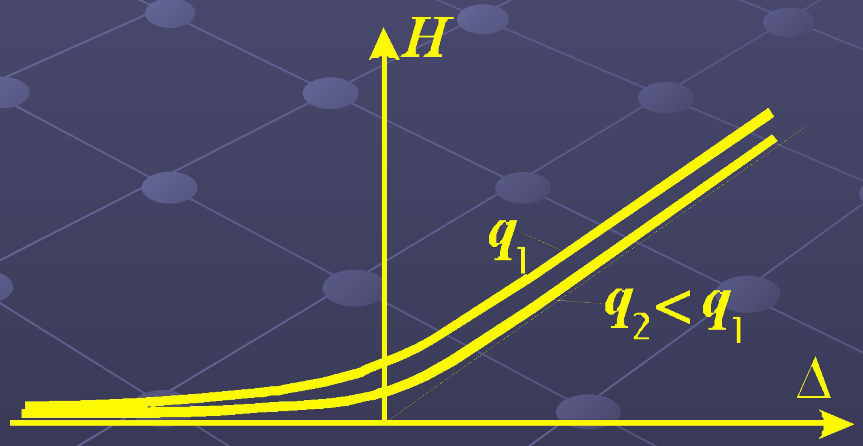
Некоторые сведения из теории

Нелинейная работа ванты

Полезно помнить основное уравнение, которое связывает натяжение ванты и удлинение ее хорды:

$$\Delta = \frac{HL}{EF} + a\left(t - t_0\right) - \frac{q^2 L^3}{24H^2} + \frac{q_0^2 L^3}{24H_o^2}$$

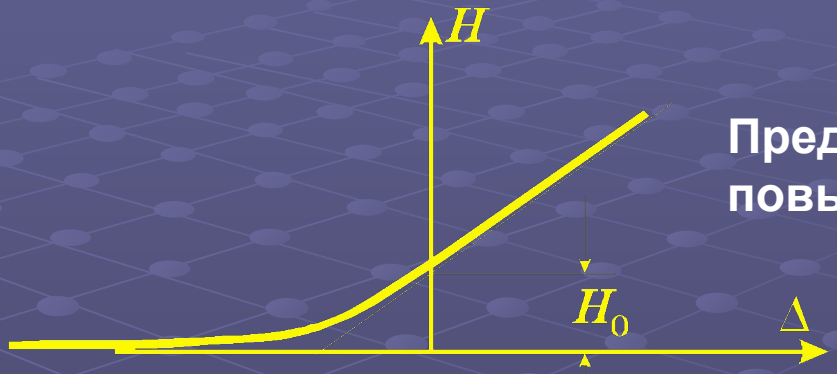




Жесткость вантового элемента

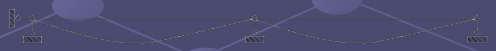
$$G = 1 \Big/ \left(\frac{L}{EF} + \frac{q^2 L^3}{12H^3}\right)$$

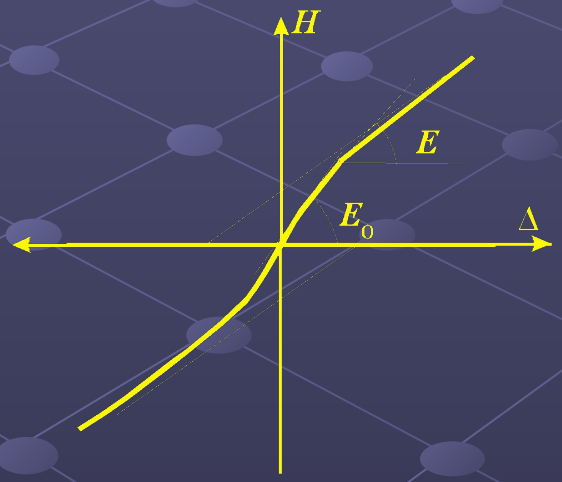
Нелинейная работа ванты

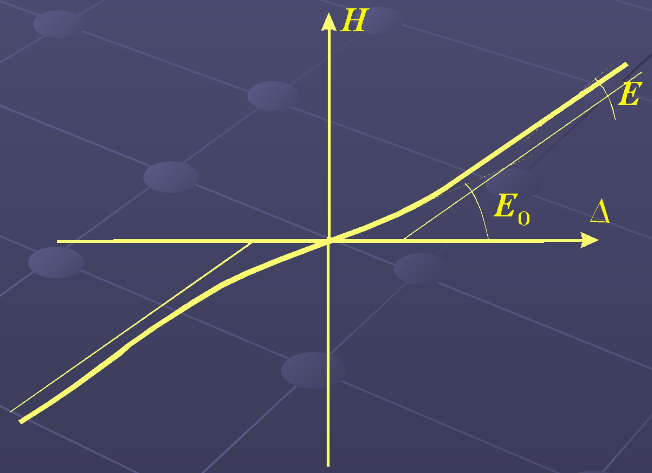


Предварительное напряжение повышает жесткость

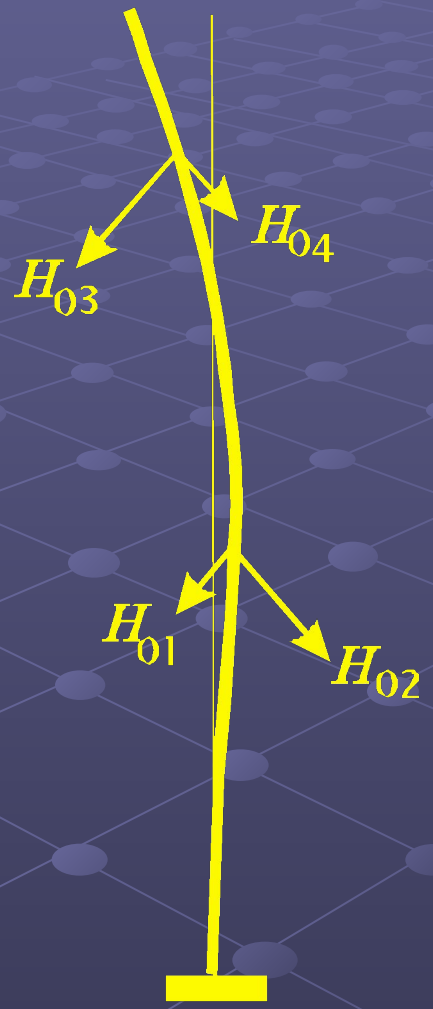
Первоначальная жесткость вантового узла может затем уменьшиться или увеличиться







Задание усилий преднапряжения



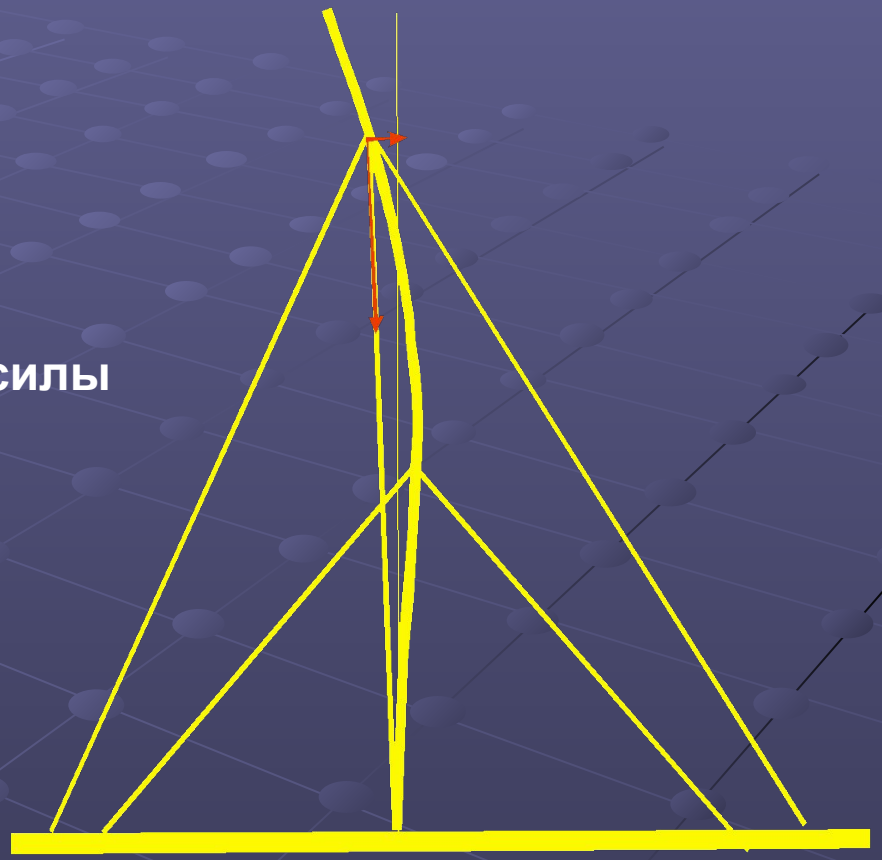
Преднапряжение должно соответствовать состоянию равновесия.

В системе SCAD автоматически выполняется следующая операция - ванты удаляются и усилия преднапряжения прикладываются к стволу. Если они окажутся неуравновешенными ствол изогнется.

Может оказаться, что после удаления вант система окажется изменяемой. Чтобы уйти от этой неприятности необходимо в опорном шарнире поставить упругую связь с малой жесткостью.

Нелинейные эффекты сопротивления боковых оттяжек

При деформациях гибкого ствола необходимостью учитывать эффект силы направленной в полюс, который вызывает дополнительное сопротивление боковых оттяжек.



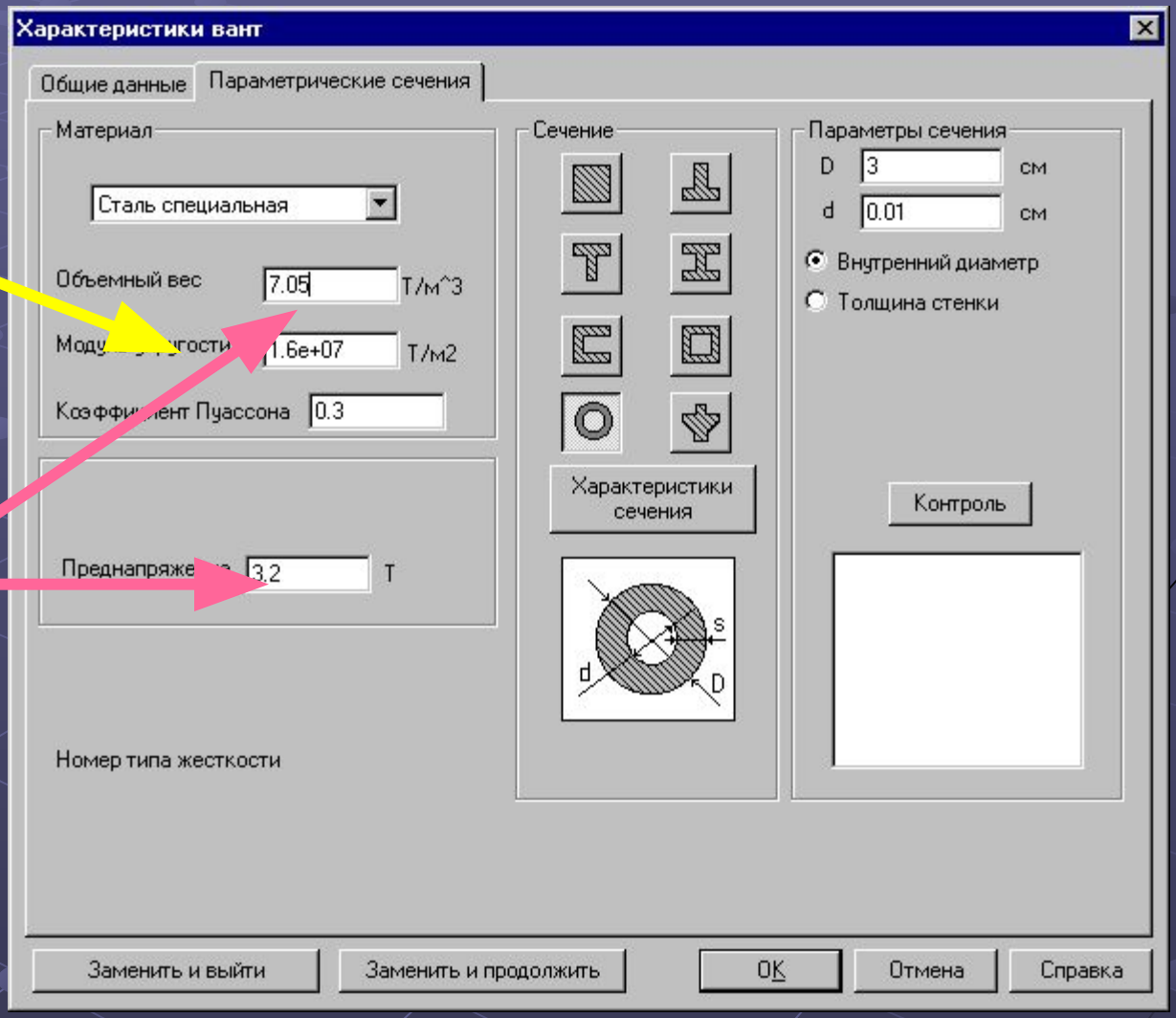
Часть 2

Исходные данные для расчета

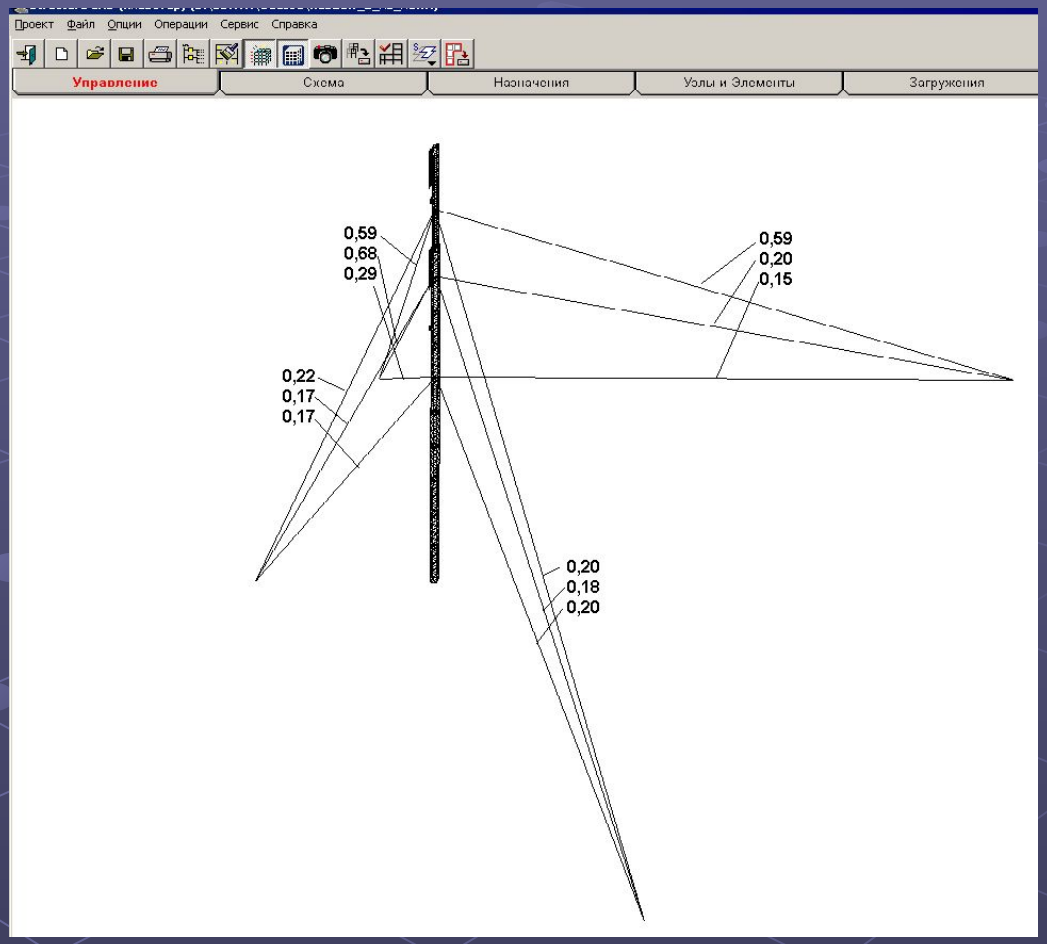
Данные об оттяжках

Модуль упругости канатов задавать по СНИП II-23-81*

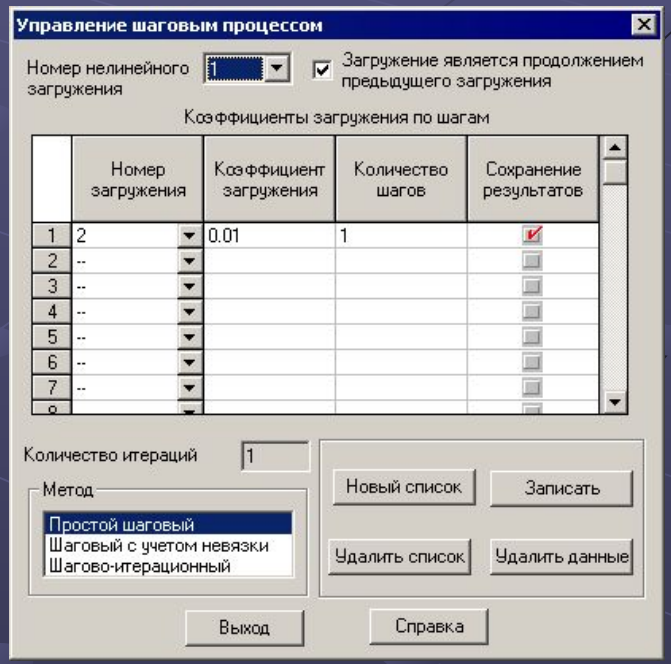
Предполагается, что в момент создания преднапряжения на оттяжку действует только собственный вес.



Данные об оттяжках

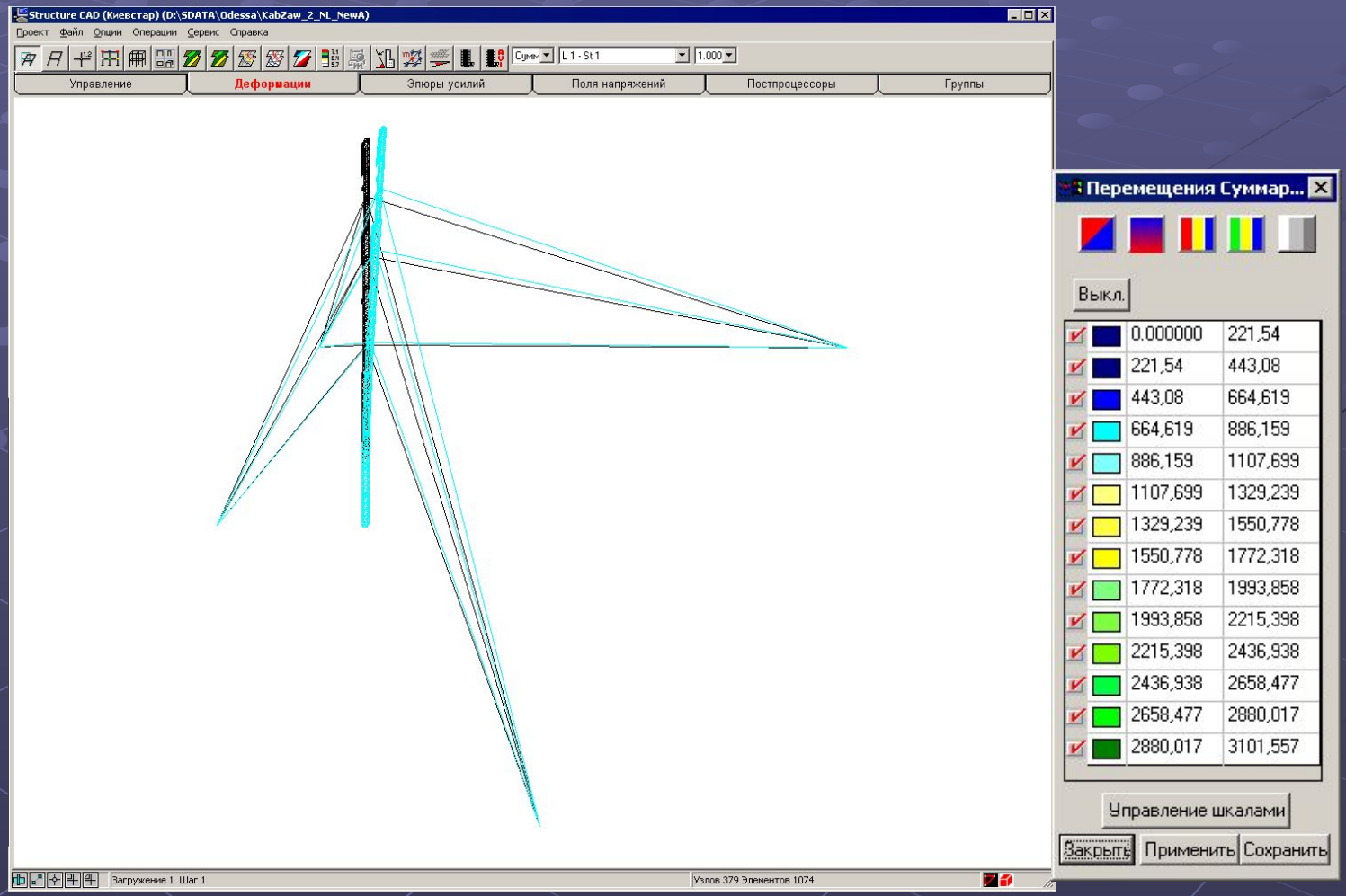


Задание преднапряжений часто выполняется наугад. Пользователь не уверен в точности задания и хотел бы себя проверить.



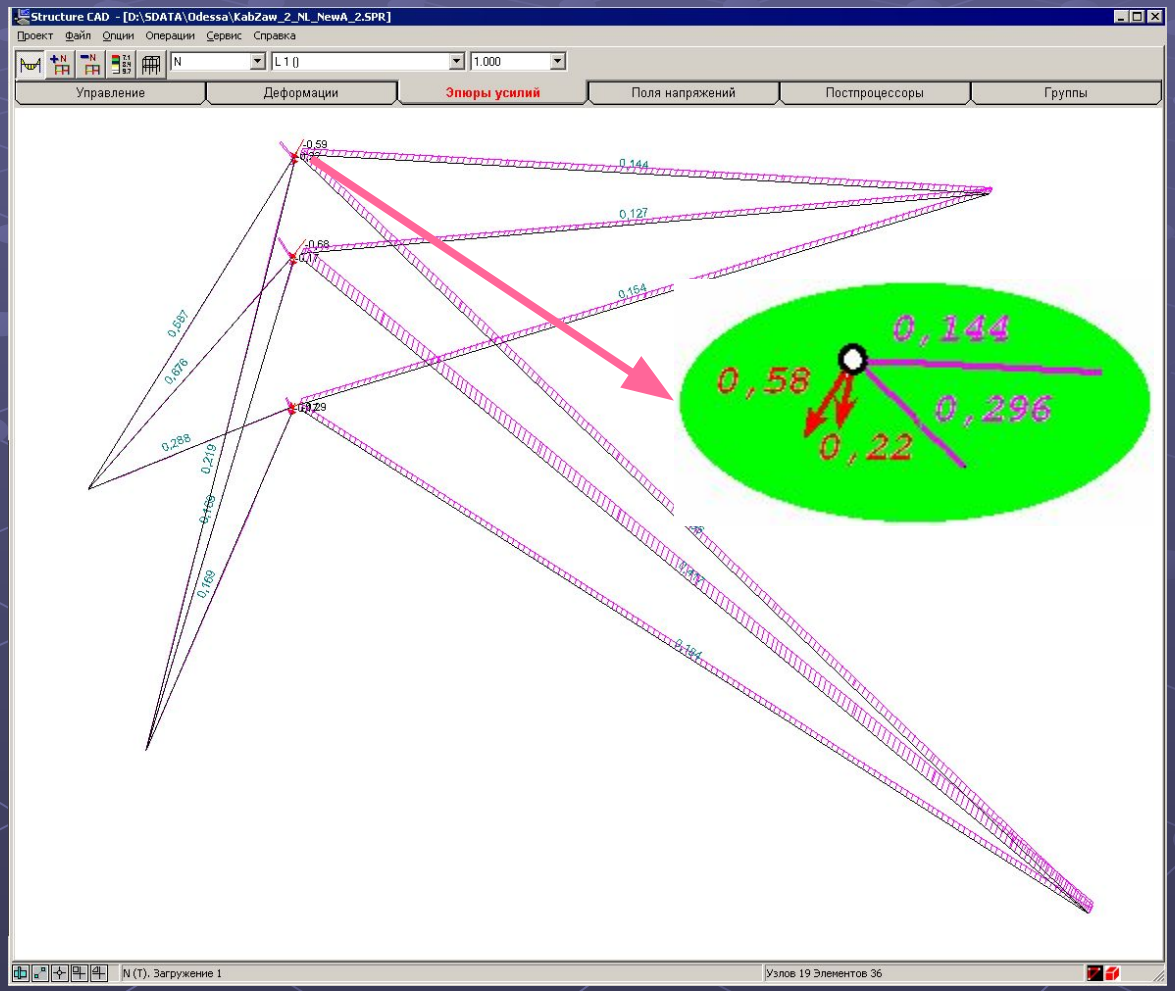
Данные об оттяжках

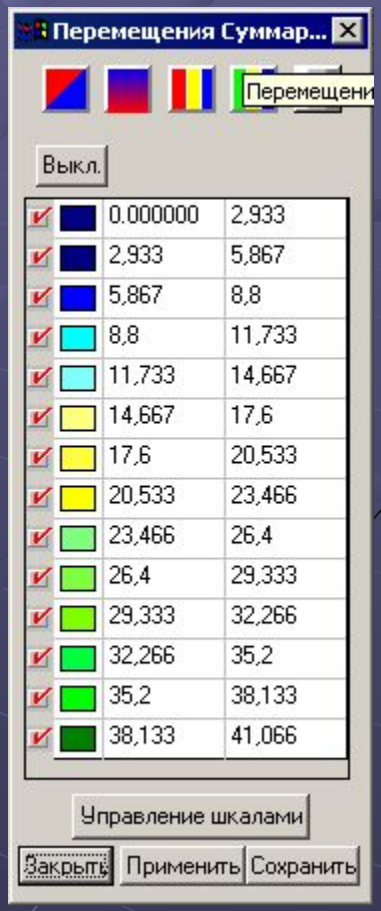
Неудачное задание значений преднапряжения – под влиянием разности неуравновешенных усилий в узлах ствол отклоняется на 3,1 м.



Данные об оттяжках

Определение параметров преднапряжения, соответствующих равновесному состоянию – ствол отклоняется на 0,041 м





Часть 3

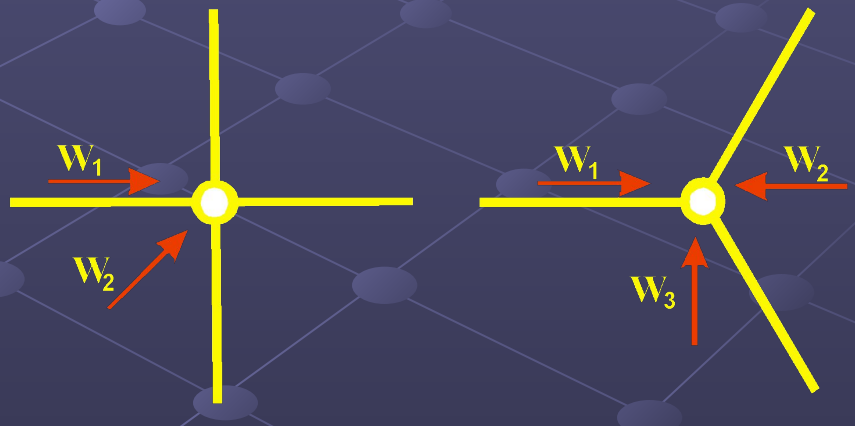
Выполнение нелинейного расчета

Выбор вариантов загружения

Поскольку в нелинейной системе не действует принцип суперпозиции, то необходимо выбирать самостоятельно все необходимые случаи комбинаций действующих нагрузок:

- **собственный вес**
- **ветровая нагрузка по опасным направлениям;**
- **гололедное загружение с ветром по опасным направлениям;**
- **температурные воздействия.**

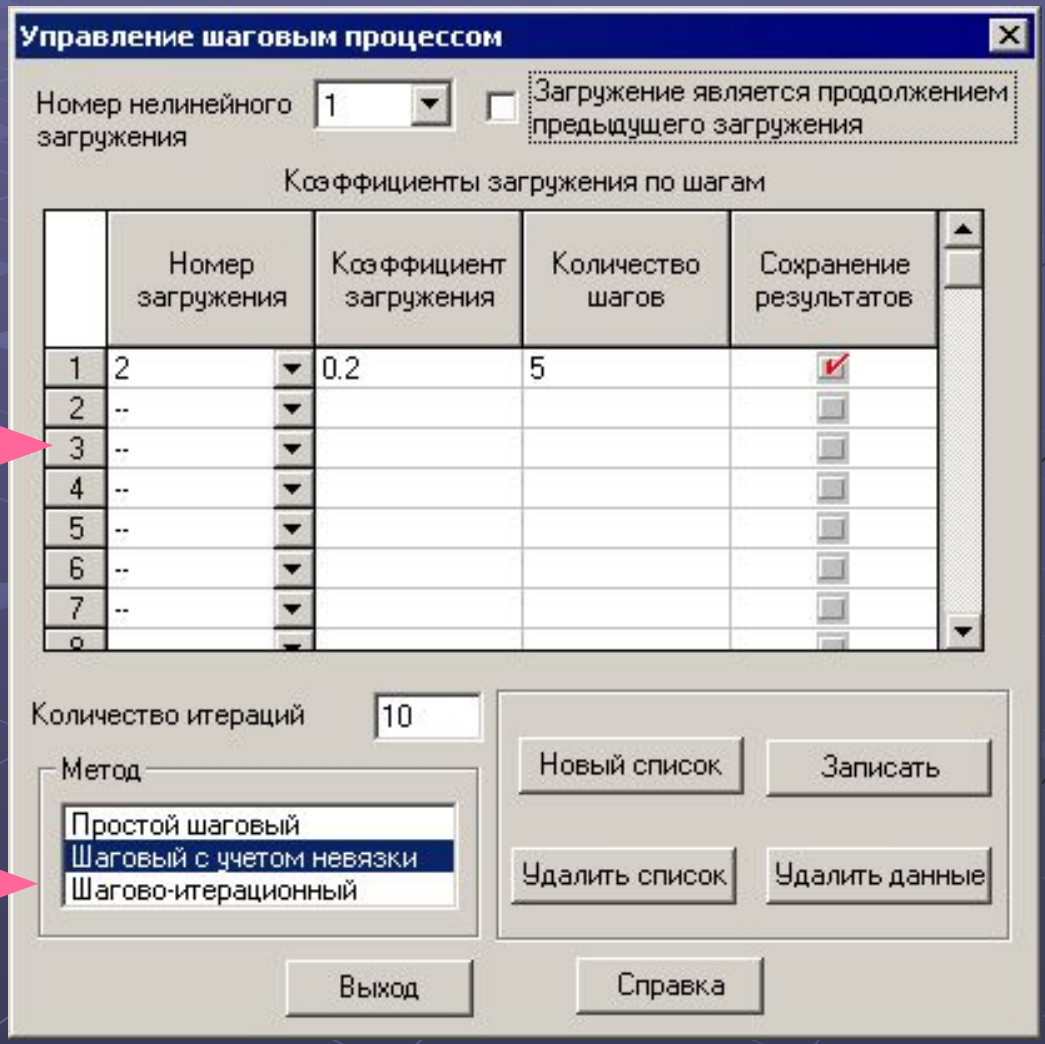
Для мачт с тремя и четырмя оттяжками в плане рекомендуется рассмотреть следующие направления действия ветровой нагрузки:



Управление нелинейным загружением

Организация шагового процесса

Выбор метода решения



Управление нелинейным загружением

Можно использовать три метода решения нелинейной задачи.

Простой шаговый – на каждом шаге решается линеаризованная задача, в которой жесткость вантового элемента определяется при значении натяжения, полученного на предыдущем шаге.

$$G = 1 \Big/ \left(\frac{L}{EF} + \frac{q^2 L^3}{12 H^3} \right)$$

Шаговый с итерационным уточнением – здесь учитывается, что результат решения на каждом шаге может быть неточным и выполняется его итерационное уточнение, но жесткости все равно принимаются по предыдущему шагу.

Шагово-итерационный – отличается от предыдущего тем, что жесткости вантовых элементов пересчитываются на каждой итерации.

Общих рекомендаций по выбору метода не существует и в сложных случаях не стоит ограничиваться только одним методом.

Управление нелинейным загружением

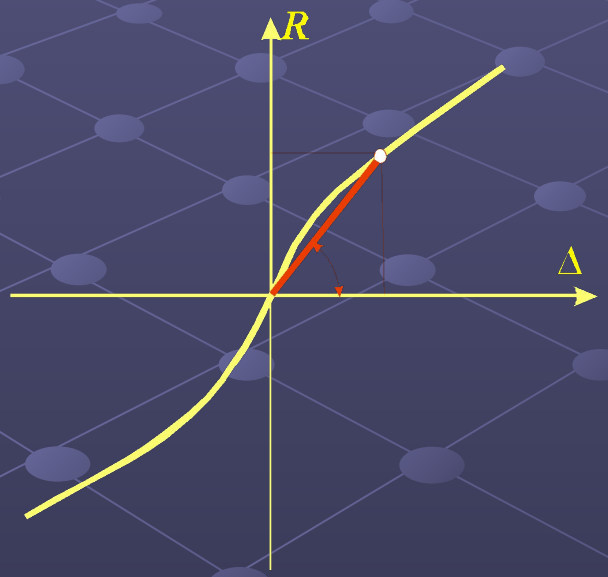
Можно потребовать, чтобы расчет выполнялся не до расчетного значения нагрузок, а до их полуторного значения. Если такой расчет будет доведен до конца, то это значит, что фактически выполнено требование об обеспечении коэффициента запаса устойчивости k_y=1,5, хотя его точное значение останется неизвестным.

Для всякой нелинейной задачи, в том числе и для расчета мачты, полезно промоделировать цикл «нагрузка – разгрузка». Сопоставление окончательного результата (после разгрузки) с исходным состоянием дает прекрасную оценку точности выполненного расчета.

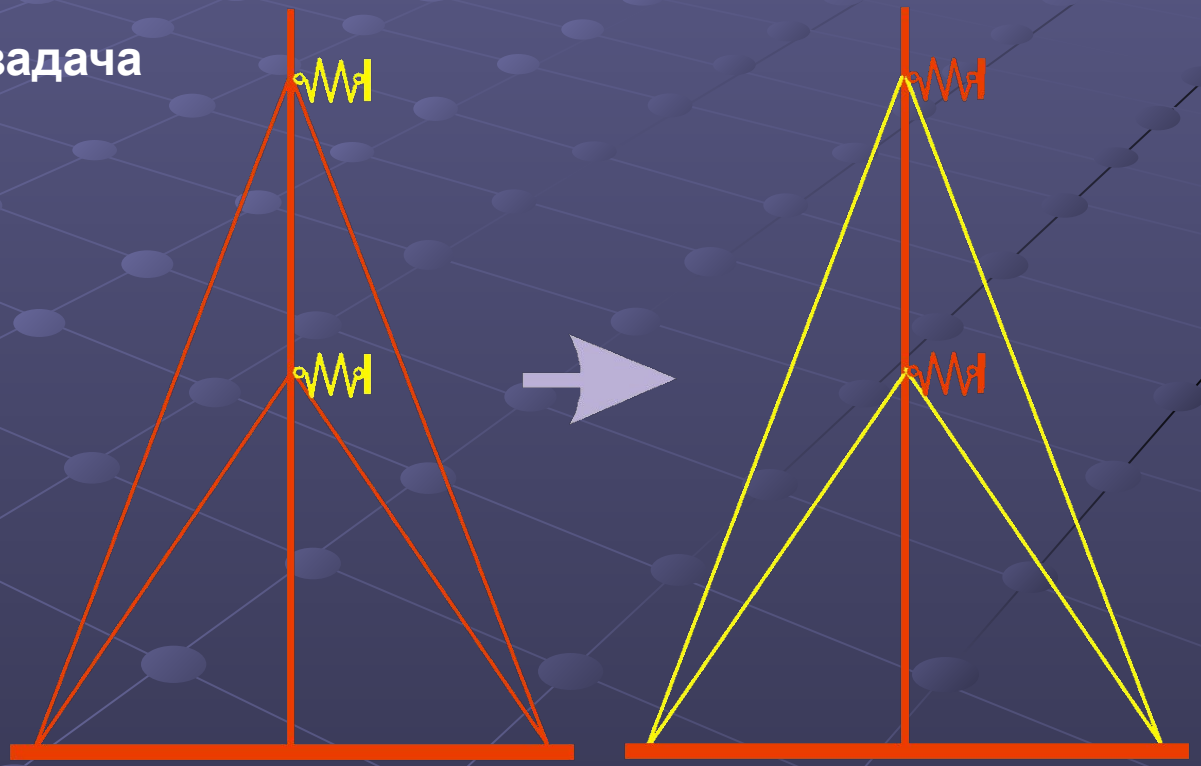
Расчет линеаризованной схемы

Методика расчета на действие пульсаций ветрового потока основана на решении задачи линейной динамики. В связи с этим требуется переход к некоторой эквивалентной линеаризованной расчетной модели.

Нелинейная задача



Линеаризованная задача



Расчет линеаризованной схемы

В линеаризованной задаче оттяжечный узел моделируется линейной пружиной, жесткость которой равна реакции ствола, деленной на перемещение указанного узла. Значение реакции можно получить, воспользовавшись режимом «Нагрузки на фрагмент схемы».

Чтобы иметь возможность получить суммарный результат необходимо воспользоваться режимом «Вариации моделей». Для этого в нелинейной и в линейной задаче имеется полный комплект элементов, только некоторые из них (желтые) выключаются из работы.

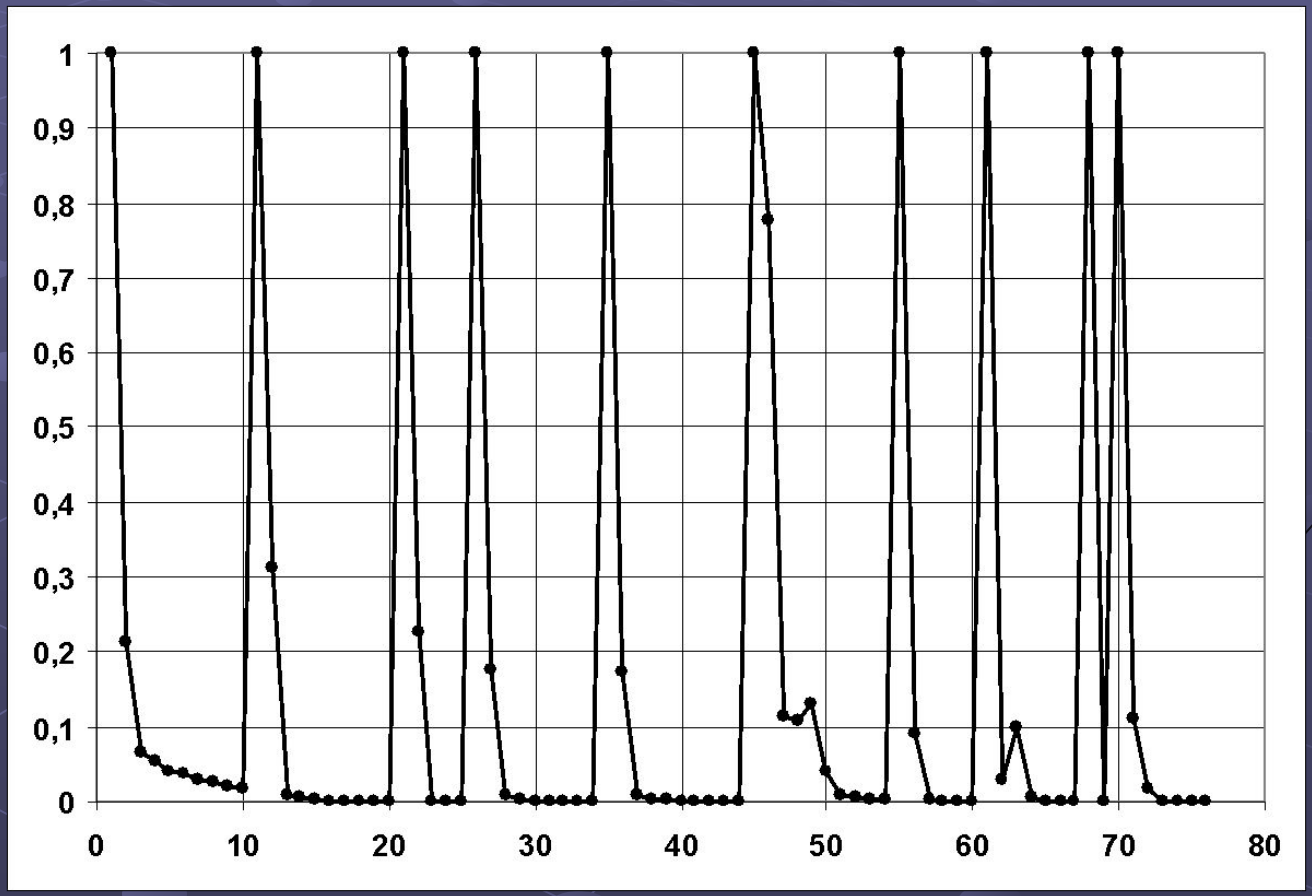
Расчет линеаризованной схемы

Для линеаризованной системы можно выполнить расчет на устойчивость. Коэффициент запаса устойчивости, вообще говоря будет отличаться от того, который можно получить увеличивая интенсивность нагрузки на нелинейную систему, поскольку в линеаризованной системе «заморожены» жесткости вантовых элементов.

Но расчет линеаризованной системы может дать форму потери устойчивости, что окажется важным при выборе способа усиления недостаточно устойчивой мачты.

Анализ результатов

Полезно проанализировать протокол вычислительного процесса. Становится ясным достаточное ли число итераций было назначено.



Этот график построен в прогграмме EXCEL по данным протокола

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ

www.scadsoft.com