



МАЧТА — УПРУГОЕ СЕРДЦЕ «ФИННА»

Автор: Ален Мишо FRA 849

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Небольшая группа жителей Бордо, собранная три года назад по инициативе Жан-Жака Граншампа, провела эти годы в бесконечных дискуссиях вокруг жесткости мачты, ее отзывчивости, ее сечения, ее полости и типов парусов...

Все бредовые идеи, появляющиеся у людей на пляжах, в барах и за столом, все желания что-то смастерить (быстро, кстати, взятые обратно...) и даже дерзости были высказаны и рассмотрены...

Бесконечные введливый, никогда окончательно не удовлетворенный своими идеями Пьер Мондетеге, бурлящий Жиль Энаф, прогматичные Жан-Клод Румаяк и Жан-Жак Граншамп, я сам, путающий все со всем, витающий в облаках... и все остальные приятели и приятельницы, вот источник предлагаемых вам размышлений.

Использовать ветер, опираться на воду и двигать корпус лодки в направлении почти противоположном потоку воздуха, со скоростью превышающей скорость ветра..., это вовсе не очевидно! Тем более, что надо немного разобраться в физике, чтобы анализировать игру трудноуловимых сил и понимать «почему»...

Мы знаем, что две идентичные лодки, достаточно хорошо управляемые как одна, так и другая, могут иметь скорость совершенно разную... Опять же, надо попытаться понять «функционирование» разных составных частей лодки, таких как корпус, вооружение, вес экипажа. Сюжет этот очень обширен, сложен, всегда остаются сомнения, вопросы, уверенность, которая иногда исчезает, и неожиданные новости.

Сегодня мы предлагаем Вашему вниманию материал из серии технических статей по вооружению класса «Финн» на тему «Мачта яхты класса «Финн»:

- характеристики и поведение (при работе с парусом);
- полная методология измерения статических характеристик «мачты из Бордо»;
- анализ результатов и сравнительные примеры.

Исходно, единственная функция мачты была нести парус. В первую очередь:

- либо держать его за три точки (на топе мачты, на носу лодки, и на корме, натяжением шкота);
- либо держать его за три или четыре точки, используя рей в качестве дополнительного элемента (прямой парус, косой парус).

В такой конфигурации, мачта будет держаться либо с помощью такелажа (вант и штагов), либо просто будучи встроенной в корпус; от нее лишь требуется точка крепления паруса на достаточной высоте и чтобы он не падал. Такое вооружение достаточно эффективно на полных курсах, но будучи очень жестким, не работает хорошо на острых курсах.

Латинское вооружение, в котором парус занимает все пространство над бортом судна и прикреплен к сильно наклоненному рею, является предшественником бермудского треугольного паруса, прикрепленного к мачте, либо в отдельных точках, либо непрерывным образом, — так называемого вооружения Маркони.

С другой стороны, парус, исходно просто кусок ткани, превратился в сложную конструкцию поверхностей с «объемом» для достижения максимальной эффективности. Такая комбинация, среди других достоинств, выходит на ветер с большей эффективностью за счет настройки формы паруса. Кроме того, улучшается маневренность лодки. Под напором ветра, ткань паруса растягивается неравномерно, его форма и объем, а, следовательно, и производительность, изменяются. Задача заключается в том, чтобы как можно быстрее задействовать приспособления для настройки паруса, для того, чтобы скомпенсировать деформации.

Можно применять два основных вида настройки паруса:

- изменить объем паруса с помощью натяжения и ослабления шкаторин, которыми он прикреплен к мачте и гик; и
- изогнуть локально мачту (и, возможно, и гик).

Последний прием получается на мачтах с вантами и одним или несколькими уровнями краспиц, если применить регулируемые ромб-ванты, иногда вместе с изменением натяжения основных вант, клинья, и т.д. ...

На мачтах для Финна, просто вставленных в корпус, нет или очень мало возможностей для такой деформации. Их (мачт) механические характеристики

предопределяют их будущее в смысле их применимости.

Просто!.. Не так все и просто!

В отличие от предыдущего случая, когда вы (ценой относительной сложности такелажа) можете придать мачте форму по вашему желанию, здесь в вашем распоряжении только натяжение шкота¹, которое через парус передается на мачту.

Это натяжение сдвигает топ и шпор мачты, уплощает парус сверху и внизу, ослабляет его напряжение, или оставляет его слишком слабым..., и в дополнение, давление ветра, его боковая составляющая, сгибает мачту в сторону борта!

То есть желательно добиться согласия и любви мачты и паруса до их первого совместного плавания, иначе, — развод и большое расстройство в семье! Критерии подбора мачты и паруса должны быть разумными, определены среди тех, которые не подразумевают под собой другие. Будем двигаться по следующим этапам:

- габариты рулевого (вес, рост, физическая сила), уровень его подготовки;
- определение характеристик мачты;
- выбор и заказ паруса, адаптированного к предыдущим критериям;
 - а. выбор, к несчастью, не слишком большой и многим надо жертвовать;
 - б. надо понимать, что парус меняется чаще, чем мачта. Это проще и дает большую экономию в цене. Хотя все это очень относительно!
 - с. продолжим в следующем разделе.

НЕБОЛЬШОЕ ВВЕДЕНИЕ

ЖЕСТКОСТЬ

Жесткость (K) суть статическая характеристика. Например, если растягивать пружину с одного конца и измерять силу (F) на другом, жесткость будет отношением силы и растяжения (x). Она зависит от внутренних характеристик и геометрии конструкции.

$$F = K \cdot X \quad K = F / X$$

ОТЗЫВЧИВОСТЬ

(термин скорее субъективный, чем научный)

Мы часто говорим «отзывчивость» для того, чтобы выразить возможность «реагировать быстро» на из-

¹ Вспомним регулирование наклона мачты перемещением шпора или клином в пяртнерсе. Кроме того, что это важно для баланса лодки, наклон мачты позволяет зафиксировать точку приложения силы Натяжения шкота от паруса к палубе, при этом сохраняя общее поведение системы мачта-парус неизменным.

менения условий. Это динамическая характеристика. С одной стороны она зависит от жесткости (статической характеристики), то так же связана с массой, приводимой в движение и с фактором, который называется «коэффициентом амортизации». Отзывчивость обычно значительно больше при большой жесткости и становится маленькой при большой массе или сильной амортизации. Аналогия: масса машины, ее рессоры и амортизаторы.

В случае нашей мачты на ходу под парусами, масса — это масса мачты и части паруса к ней примыкающей, не забывая о том, что на другом конце присутствуют и лодка и рулевой. Жесткость — это статическая жесткость нашей мачты. В то же время коэффициент амортизации определяется материалом мачты (как бы мы имели амортизатор встроенный в мачту), к чему надо добавить амортизирующий эффект парусов, движущихся в воздухе.

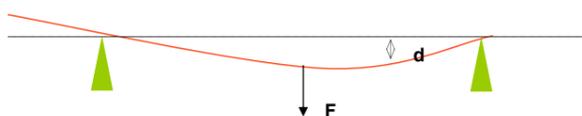
Правду говоря, с современными материалами используемыми для изготовления наших мачт (углеволокно и эпоксидная смола), внутренний фактор амортизации мал и очень слабо меняется со временем. С другой стороны, для разных мачт, их массы и распределения массы по длине практически идентичны. Таким образом, оставив бесполезные размышления, динамическое поведение всей лодки определяется жесткостью мачты и весом лодки и рулевого.

Мягкая мачта будет всегда менее «отзывчивой» по сравнению с жесткой мачтой. Для мачт со сравнимым возрастом и одинаковой жесткостью эта характеристика будет идентичной в гигантском большинстве случаев (и разница будет только в голове у рулевого). Так что относитесь с недоверием к рассказам рулевых после гонки.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (старый метод)

Мачта просто положена на козлы в районе измерительных марок. Некоторый груз весом X заставляет мачту изогнуться. Деформация мачты измеряется в точках с шагом XX относительно веревки, натянутой между марками. Эта методика позволяет проанализировать лишь часть характеристик. Она (методика) была позже вытеснена технологией, называемой «зажатая мачта».

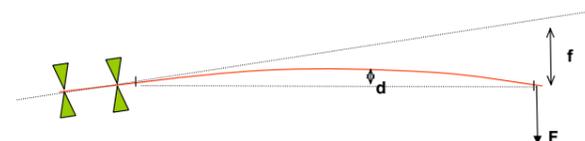


СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (современный метод)

В реальности мачта не зажата, а удерживается двумя поворачивающимися опорами, представляющими степс и пяртнерс. Груз весом 12 кг (внимание!, иногда применяется 10 кг) располагается на топе мачты, на измерительной марке. Измеряется отклонение топа мачты. Изгиб мачты между марками измеряется в точках с равным шагом (1/4 или 1/8 расстояния между измерительными марками).

Такая методика позволяет сравнивать мачты между собой стандартным образом:

- в части распределения локальной жесткости между марками (измеряя отклонение «d»)
- в части общей жесткости мачты (измеряя перемещение «f»).



СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (современный метод)

Критика метода

Возможны два случая:

- Два последовательных измерения не совпадают между собой
- Два последовательных измерения не дают исчерпывающих результатов

1. Два последовательных измерения не совпадают между собой

Относительное измерение перемещения топа мачт:

— Когда мачта находится под собственным весом, с нулевой нагрузкой на топ ($F=0$), мы определяем наше начало координат, как положение топа (с помощью вертикально расположенной линейки).

— Когда мачта находится под нагрузкой F , мы измеряем новое положение топа и вычисляем разницу (f).

— f соответствует перемещению топа мачты под воздействием силы F : $F = K \cdot f$. K соответствует глобальной жесткости мачты, вставленной в корпус, находящейся под нагрузкой, приложенной к топу в соответствующей плоскости (в ДП или боковой).

Абсолютное измерение деформации между двумя измерительными марками:

а) мачта находится под собственным весом с нулевой нагрузкой на топ ($F=0$). Теперь натягиваем шкертик между марками по касательной к рангоутному дереву AR на топе и к марке у гуснека (в месте крепления гика).

б) мачта находится под нагрузкой F . Измеряем в нескольких точках расстояние d между шкертиком и поверхностью рангоутного дерева.

Но (d) возникает не только от действия силы F (как f в предыдущем случае). (d) включает все геометрические дефекты мачты + ее изгиб под собственным весом. Мы просто забыли учесть в измерениях ненулевые расстояния при $F = 0$

На результаты измерения между двумя марками накладывается ошибка, которая может привести к неверной интерпретации результатов измерения.

(Смотрите пример в приложении 1 в конце статьи)

Измерение статических характеристик (методика, применяемая в настоящее время)

Критика методики

2. Два последовательных измерения не соответствуют друг другу

Конечно, методика была изменена внесением дополнительного сравнения:

— Измерения со шкертиком, натянутым между измерительными марками, позволяет понять локальную жесткость мачты и ее (жесткости) распределение. Это дает информацию парусному мастеру о том, как кроить переднюю шкаторину.

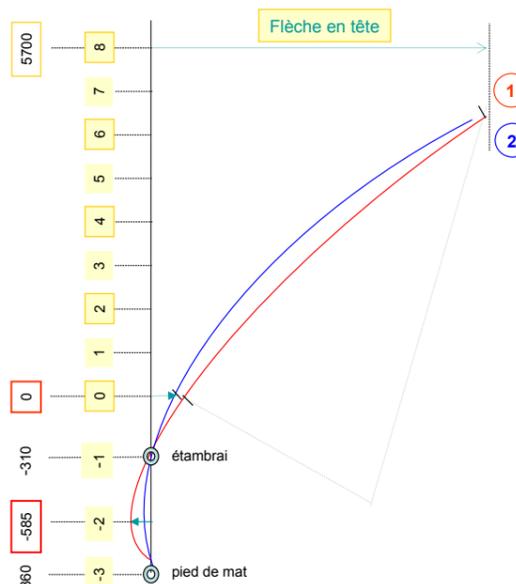
— Измерение перемещения топа мачты позволяет оценить глобальную жесткость мачты в тестовой конфигурации: от шпора до топа мачты.

Эта информация интересная, но слишком общая. Она не позволяет сделать точный анализ вклада разных зон мачты. Например: что происходит между палубой и гиком?

Мы предлагаем сделать два дополнительных измерения:

- перемещение измерительной марки
- перемещение между точками крепления (шпор и пяртнерс)

Для иллюстрации, смотрите схему:



2 мачты практически идентичные по глобальной жесткости (перемещение топа мачты) могут быть в очень разные в своем поведении.

Мачта 1: «жесткая мачта» между двумя марками и в то же время «мягкая» на первом метре

Пример: мачта Жан-Клода: 111 мм у точки 4, но -4.1 в точке 0, и 0.5 в точке 2, а у топа мачты: — 541 мм

Мачта 2: «мягкая мачта» между марками и «жесткая» на первом метре

Пример: мачта Гяель: 124 мм в точке 4, но -3.7 мм в точке 0, и 0.4 в 2. Отклонение топа мачты: — 545 мм

Как мы можем проанализировать это наблюдение? Гипотезы:

- идентичный наклон мачты
- идентичное натяжение шкота
- натяжение задней шкаторины пропорционально натяжению шкотов (т.е. все силы передаются через заднюю шкаторину (см. ограничения этой гипотезы в следующем разделе).

Мачта «жесткая» между марками, но «мягкая» на первом метре.

- Может влиять на изгиб передней шкаторины

Натяжение шкотов немедленно переходит в натяжение задней шкаторины, но мачта при этом не гнется (может быть чуть-чуть) по всей длине передней шкаторины (она мнется у самого гика). При этом пузо у передней шкаторины сохраняется.

Мачта «мягкая» между марками, но «жесткая» на первом метре.

- передняя шкаторина легко деформируется

Натяжение шкотов, как и в предыдущем случае, действует на натяженную заднюю шкаторину, но в то же время увеличивает изгиб мачты и передней шкаторины. Угол атаки паруса становится меньше.

МАЧТА ЖЕСТКАЯ? МАЧТА МЯГКАЯ? ЭТО, КОНЕЧНО, ВАЖНО, НО НЕ ДАЕТ ТОЧНО ИНФОРМАЦИИ. НАДО УЧИТЫВАТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПО ВСЕЙ ДЛИНЕ МАЧТЫ. ТОЛЬКО ТАК МОЖНО АНАЛИЗИРОВАТЬ ДЕЙСТВИЕ АНСАМБЛЯ МАЧТА-ПАРУС.

Размышления на тему: «Натяжение задней шкаторины пропорционально усилию на шкотах». (* только для того, чтобы показать, что это не совсем верно)

Никто другой, как парус передает усилия со шкотов на мачту (мы здесь предполагаем, что сам гик не давит на мачту).

Этап 1: Раз уж пузо паруса очень важно, давление со шкотов должно передаваться только краем паруса, его задней шкаториной. Остальная часть паруса должна

оставаться мягкой. Таким образом усилие передается на топ мачты (как в нашем испытании на жесткость)

Этап 2: По мере того, как изгиб мачты выбирает пузо паруса, материя в данной точке натягивается, сначала наверху где пузо маленькое, и, потом, постепенно распространяется все ниже и ниже. (вообще это верно в общем случае... но на самом деле желательнее лучше понимать важность точного знания деформации мачты и ее взаимодействия с парусом: в каждой точке форма паруса определяется локальной кривизной мачты и локальной кривизной передней шкаторины. Очень мягкая мачта при первом натяжении шкотов и создании напряжения у топа может вытянуть всю материю внизу до того, как сформировать форму паруса наверху.) Продолжая рассуждения, мы понимаем, что когда не остается больше материи вдоль передней шкаторины, парус становится твердым как жесть. Сила натяжения паруса по мачте распределена по шкаторине, а не сосредоточена только на топе

Свойства «этапа 2» тем более вытекают из того, что кривизна передней шкаторины небольшая и что материя паруса заблокирована в лик-пазе (кевларовые и майларовые паруса). Способ, которым парусным мастер кроит и ориентирует полотнища, тоже имеет важнейшее значение.

Этап 3: На этом этапе кривизна передней шкаторины, формирующей пузо паруса, полностью ликвидирована. В этот момент новое подтягивание шкотов не дает заметного увеличения натяжения задней шкаторины. Весь «твердый» треугольник мачта/парус/гик поворачивается с изгибом нижней части мачты. На этом этапе мы можем констатировать, что именно парус вызывает деформацию мачты. Некоторые говорят, что «парус держит мачту».

Поведение ансамбля мачта/парус/гик, линейное на «Этапе 1» (жесткость К постоянна), становится нелинейным на «Этапе 2» (увеличивающаяся жесткость) и становится опять линейным на «Этапе 3», но с другой постоянной жесткостью К'.

Измерение в точке -2



Измерение в точке 0



Измерение в точке -2



Измерение в точке 0



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Оба метода измерения некогерентны между собой: Демонстрация на примерах с комментариями

между собой (даже при постоянной нагрузке в 12 кг они не репрезентативны).

PS: Я вам советую, для большей ясности, распечатать статью для того, чтобы видеть одновременно страницу с комментариями и страницу с анализом измерений.

Вернемся к таблице измерений.

Вот перед вами конкретный пример моей мачты (выделено синим цветом). Выполненные измерения сосредоточены в первой таблице (выделено желтым).

На двух других линиях представлены точки, измеренные с помощью шкертника между марками. Первая линия (остаточная кривая) показывает естественную деформацию мачты (отклонение от прямой линии). Вторая линия (деформация при нулевой нагрузке) дает те же отклонения от прямой, но с учетом деформации от собственного веса. И эти отклонения являются для нас «линией нуля», от которой мы должны отсчитывать отклонения при нагрузке в 12 кг.

Я сделал относительные измерения (так что значения соответствуют перемещениям точек при нагрузке на мачту 12 кг. Измерения проводились у топа мачты (точка 8) и (с помощью микрометров) в точках 0 и -2 (линия (1)).

Следующая линия (4) обозначенная «déformée longi corrigée» (скорректированная деформация) является разницей между значениями «исходное перемещение» при 12 кг и «деформация при нулевой нагрузке».

Также вы найдете в таблице традиционные измерения между марками (точки 1 и 7) при той же нагрузке на мачту. Измерения приведены на линии (2), обозначенной «defoigme longi brutes» (исходная деформация). Я напоминаю, что это абсолютные измерения: соответствующие отклонения при нагрузке прибавляются к исходной деформации, которую может иметь мачта (например, из-за заводских дефектов) и к деформации мачты под собственным весом.

Вернемся к графику и посмотрим на кривую (5) «скорректированные перемещения». Какая гладкая линия при переходе от измерений с помощью микрометров и точками между марками!

На графике под таблицами показана полная деформация мачты. Его немного трудно понять, но зато в нем отражена полная необходимая информация. Посмотрим на кривую (3) «исходное перемещение» (для того, чтобы прояснить, что я вам хочу показать, я увеличил первые три метра):

Если мы хотим сравнить жесткости наших мачт, надо проанализировать измерения сделанные по одной и той же методике:

Несомненно есть что-то странное около нижней марки (точка 0). Это происходит от того, что группа точек, которую мы анализировали, не синхронизованы

(а) измерения у топа мачты, (б) скорректированные измерения деформаций между марками и измерения сделанные в нижней части мачты

Парусный мастер должен использовать исходные измерения для выкройки изгиба передней шкаторины.

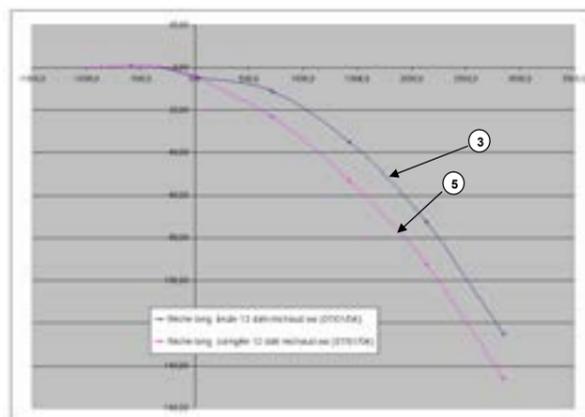
Оба метода измерения некогерентны между собой. Снятие показаний и их трактовка

Мишо xxx (07/01/04)	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	e	7	8
x замер	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
естественный продольный изгиб Мишо xxx (07/01/04)				0,0	5,0	7,0	9,0	10,0	8,0	5,0	3,0	0,0
продольная деформация. 0 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	12,0	18,0	20,0	21,0	18,0	14,0	8,0	0,0
продольная деформация брутто 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	56,0	95,0	120,0	130,0	120,0	95,0	54,0	0,0
коррект. продольная деформация 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	44,0	77,0	100,0	109,0	102,0	81,0	46,0	0,0
естественный боковой изгиб Мишо xxx (07/01/04)				0,0								0,0
бок. деформация 0 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	5,0	9,0	11,0	12,0	11,0	7,0	4,0	0,0
бок. деформация брутто 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	40,0	88,0	115,0	128,0	126,0	105,0	61,0	0,0
коррект. бок. деформация 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	43,0	79,0	104,0	116,0	115,0	98,0	57,0	0,0
продол. стрелка Мишо xxx (07/01/04)	0,00	0,77	0,00	4,34								-505,0
бок. стрелка Мишо xxx (07/01/04)	0,00	0,30	0,00	-2,43								-440,0

угол поворота	Матрица поворота L	V trans L	Матрица поворота I	V trans L
-0,087948423	0,99613503	0,0878351	0,00	0,9970498
-0,076833469	-0,0878351	0,996135	-4,34	-0,0767579
				0,00
				-2,48

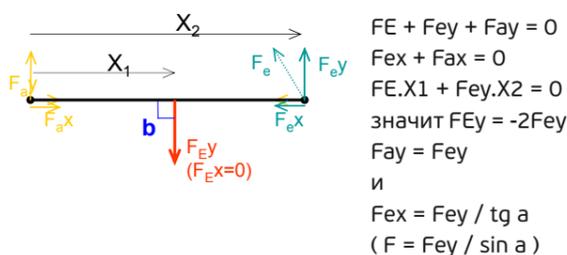
х замер	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
продольная деформация бруто 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	56,0	95,0	120,0	130,0	120,0	95,0	54,0	0,0
х продол. вычислен.	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	714,7	1427,8	2139,8	2850,4	3559,3	4266,8	4973,0	5678,0
бок. стрелка, бруто 12 daN Мишо xxx (07/01/04)	0,00	0,77	0,00	-4,34	-11,1	-34,9	-72,6	-125,2	-197,7	-285,2	-388,6	-505,0
х замер	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
коррект. продольная деформация 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,00	44,0	77,0	100,0	109,0	102,0	81,0	46,0	0,0
х продол. вычислен.	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	713,6	1426,3	2138,0	2843,6	3557,7	4265,6	4972,3	5678,0
коррект. продол. стрелка, 12 daN Мишо xxx (07/01/04)	0,00	0,77	0,00	4,34	-23,1	52,8	-92,5	146,1	-215,6	299,1	-396,6	505,0

х замер	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
бок. деформация бруто 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,0	48,0	88,0	115,0	128,0	126,0	105,0	61,0	0,0
х бок. вычислен.	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	714,1	1427,6	2140,0	2851,4	3561,7	4270,4	4977,5	5683,2
бок. стрелка бруто 12 daN Мишо xxx (07/01/04)	0,00	0,30	0,00	-2,48	-9,3	-24,1	-51,9	-93,6	-150,3	-225,9	-324,5	-440,0
х замер	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
коррект. бок. деформация 12 daN Мишо xxx (07/01/04)				0,00	43,0	79,0	104,0	116,0	115,0	98,0	57,0	0,0
х бок. вычислен.	-860,0	-585,0	-310,0	0,0	713,7	1426,9	2139,2	2850,5	3560,8	4269,9	4977,2	5683,2
коррект. бок. стрелка, 12 daN Мишо xxx (07/01/04)	0,00	0,30	0,00	-2,43	-14,3	-33,1	-62,9	-105,6	-161,3	-232,9	-328,5	-440,0



Flèche long. brute — стрелка продол. деформации бруто
Flèche long. corrigée — стрелка продол. деформации откорректированная

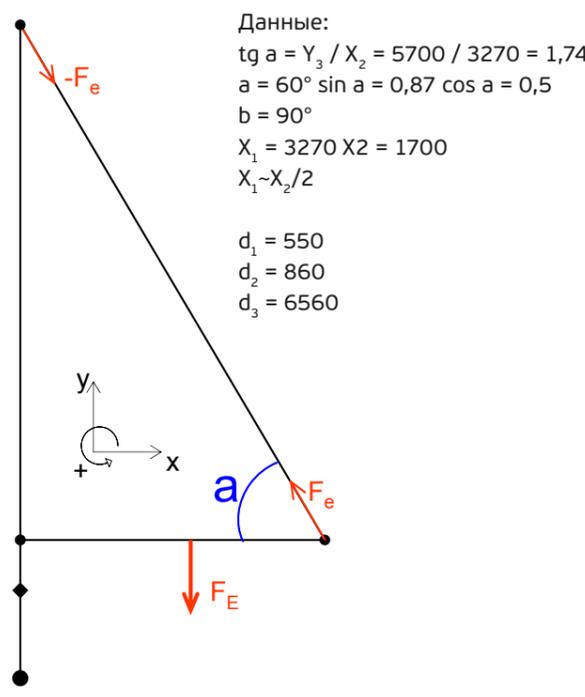
Баланс гика (без гик-оттяжки)



Баланс мачты (без гик-оттяжки)



БАЛАНС ОСНАСТКИ НА ПЕРВОЙ ФАЗЕ:
ПОКА ОСТАЕТСЯ СВОБОДНЫЙ ЗАПАС СЕРПОВИНЫ
ПЕРЕДНЕЙ ШКАТОРИНЫ
(натяжка шкота полностью передается по задней шкаворине)



Fe (натяжка шкота) (*)	Fe натяжка задней шкаворины	FeY вертикальная сила на конце мачты (и на конце гика)	FeX горизонтальная сила на конце мачты (и на конце гика)	Отклонение на X топа мачты
-40.0	24.0	20.8	-11.9	w-457.3
-45.0	27.0	23.4	-13.4	-514.5
-50.0	30.0	26.0	-14.9	-571.6
-55.0	33.0	28.6	-16.4	-628.8
-60.0	36.0	31.2	-17.9	-686.0
-65.0	39.0	33.8	-19.4	-743.1
-70.0	42.0	36.4	-20.9	-800.3
-75.0	45.0	39.0	-22.4	-857.5
-80.0	47.9	41.6	-23.9	-914.6
-85.0	50.9	44.2	-25.4	-971.8
-90.0	53.9	46.8	-26.8	-1028.9
-95.0	56.9	49.4	-28.3	-1086.1
-100.0	59.9	52.0	-29.8	-1143.3
-105.0	62.9	54.6	-31.3	-1200.4
-110.0	65.9	57.2	-32.8	-1257.6
-115.0	68.9	59.8	-34.3	-1314.8

(*) ручное подтягивание троса — третья составляющая этого значения (хват-тали)

(*) Не забывайте о предположениях! Эти расчеты достоверны только в том случае, если усилия полностью передаются по задней шкаворине (фаза 1)

На фазе 2, коэффициент упругости меняется (повышается).

Как только вся серповина передней шкаворины заполняется изгибом мачты (фаза 3), поведение всего комплекса главным образом зависит от параметров изгиба нижней части мачты.