



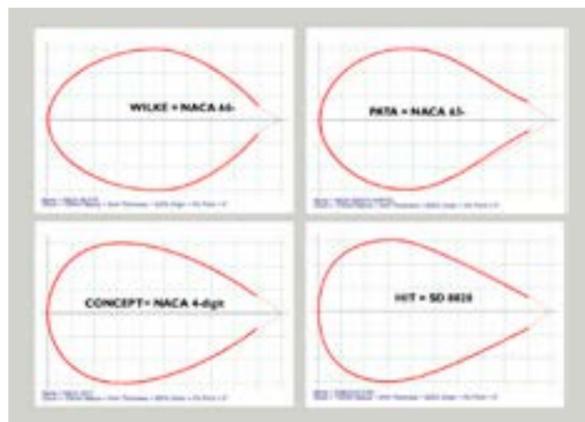
АЭРОДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАЧТЫ И ПАРУСА

Автор: Микко Бруммер / WB Sails, www.wb-sails.fi. Перевод: Мария Абашкина

Аэродинамическая форма мачты «Финна» вызывает большой интерес с тех пор, как после Олимпийских игр в Барселоне в 1992 году были внесены изменения в правила класса, которые разрешили производить мачты из углепластика и имеющие профиль крыла.

Компания WB-Sails уже давно занимается разработками форм мачт. В течение долгих лет мы конструировали профили мачт для таких классов как Европа, «Финн», 470 и «Звездный». Первую мачту для «Финна» мы сделали в 1995 году для Фредди Луфа, который выиграл предолимпийскую регату в Саванне (США). Но потом мачта-крыло, разработанная Латини, Луки Девоти практически полностью захватила рынок.

Не так давно у нас снова появился шанс вернуться к изготовлению мачт для «Финнов» в рамках проекта объявленного Французской федерацией парусного спорта (FFV). Кроме FFV, проект также поддержали Пол Иачкине, глава отдела исследований и научных разработок Национальной школы парусных и водных



Срез мачты на высоте около 1 метра над гиком. Профили сильно отличаются друг от друга, но, с другой стороны, каждый из них вполне соответствует аэродинамическому профилю крыла. Очевидно, что конструкторы справились со своей задачей. Все профили, кроме профиля мачты Pata, имеют максимальную, в соответствии с правилами, длину, и близкую к минимальной толщину.



Сканирование мачты с лазерным сканером. Врезка: 3D-модель мачты на экране компьютера в режиме реального времени. Фото: Пол Иачкине, ENVSN.

видов спорта (ENVSN — Ecole Nationale de Voile et des Sports Nautiques), Илли Бруммер — страховая компания Design and Transmer Assurances (финансовая поддержка). Прежде всего мы отсканировали пользующиеся наибольшим спросом мачты при помощи лазера в ENVSN, в Кибероне (Франция), сканирование делалось при помощи специального переносного прибора, размером с футбольный мяч. Результаты сканирования можно увидеть на 3D-модели на экране компьютера. Полное сканирование мачты занимает около часа. В конце дня мы с удивлением обнаружили несколько разные формы у мачт Wilke, HIT, Pata и Concept. В прошлом такой анализ проводился исследованием двумерных сечений паруса и мачты. Теперь же исследование было выполнено при помощи 3D-модели мачты и паруса. Для получения значимых результатов 3D-анализа необходимо исследовать мачту «Финна» с достаточным изгибом вперед и в бок, учитывая взаимодействие мачты и паруса.

Комбинация мачта-парус — основное, что описывает суть аэродинамического процесса взаимодействия между ними, а не только механические свойства или изгиб мачты. Для понимания аэродинамики, правильнее рассматривать мачту, как один из элементов парусности яхты. Мачта, действительно, играет важную роль в парусности: При слабом ветре, до 8 процентов движущей силы или тяги (силы в направлении движения лодки) приходится на мачту.

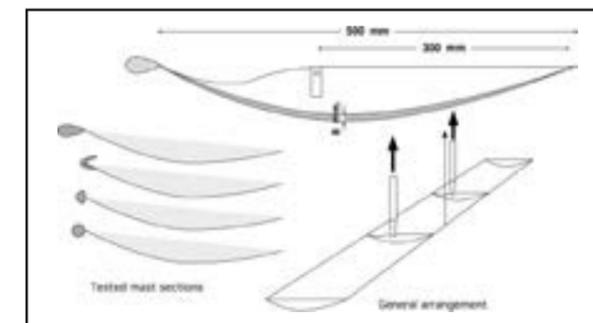
При среднем и сильном ветре роль мачты снижается, ее верхняя часть начинает наоборот тормозить лодку, а не двигать ее вперед, когда парус разворачивается в полную силу. Тем не менее, даже при средне-сильном ветре, 5–6 процентов силы тяги зависит от мачты. Площадь боковой поверхности мачты составляет около 0,5 квадратных метров, паруса — 10,8 квадратных метров, так что площадь мачты составляет около 4,5 процента от общей площади. Принимая во внимание насколько эффективно она работает ничего удивительного, что к ее форме проявляют такой интерес.

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАЧТЫ И ПАРУСА ПРИ ПОМОЩИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ (CFD – COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)

Тем не менее, есть и обратная сторона эффективности работы мачты, так как при переходе от мачты к парусу нарушается движение потока воздуха, особенно на подветренной стороне. Там, где ветер движется по касательной к поверхности мачты (или немного раньше), воздушный поток уходит от нее и возвращается к поверхности паруса через 20–40 см. Довольно большая площадь полезного разряженного воздуха



Испытания профилей мачты «Финна» в аэродинамической трубе в середине 1990-х годов.



Испытания профилей мачты «Финна» в аэродинамической трубе в середине 1990-х годов. Профиль в виде крыла оказался лучшим, а C-профиль (второй сверху) — худшим.

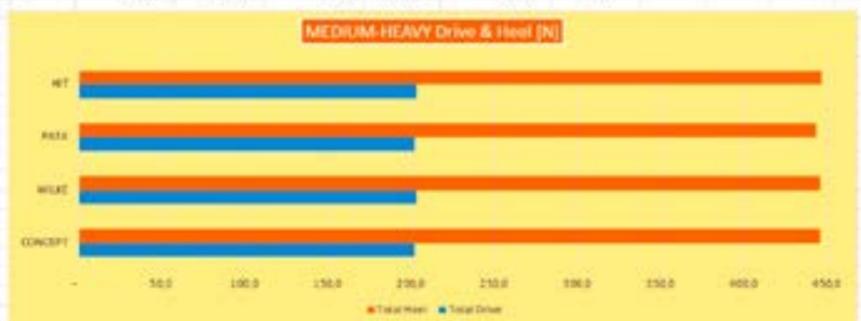
на передней части паруса теряется — особенно когда яхта идет вперед, если вспомнить, что давление всегда действует перпендикулярно к поверхности и передней шкаторине паруса, и таким образом получается, что он оптимально настроен на то, чтобы двигать лодку.

Зону, где воздушный поток уходит от мачты, часто называют «отрывной пузырь», даже если речь идет о мачте и трехмерном потоке, но было бы точнее называть его «отрывной вихрь». На самом деле, с подветренной стороны, за мачтой, воздух медленно поднимается по спирали вверх от галсового угла к вершине паруса.

При анализе при помощи вычислительной аэрогидродинамики (CFD Computational Fluid Dynamics) четырех профилей мачт, мы выяснили, что эффективность движущей силы этих мачт разная. Мачты тестировали во взаимодействии с парусом, а полные 3D-модели включали гик, но не учитывали лодку и спортсмена, так как можно предположить, что их влияние одинаково во всех случаях. Мачта HIT оказалась лучшей в слабый

MEDIUM-HEAVY WIND RESULTS

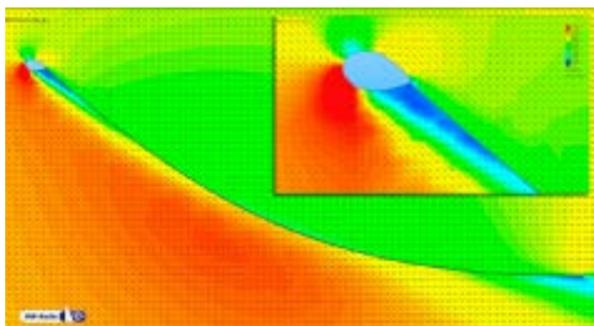
	Total Drive	Total Heel	Sail Drive	% tot. Drive	Mast Drive	% tot. Drive
CONCEPT	201,7	440,4	188,7	93,5 %	11,44	5,7 %
WILKE	202,8	440,2	188,7	93,1 %	12,47	6,1 %
PATA	201,6	441,2	188,1	93,3 %	11,82	5,9 %
HIT	202,9	448,2	188,8	93,5 %	12,74	6,3 %



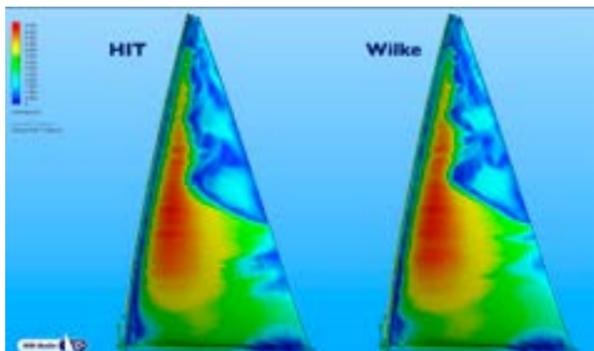
Результаты исследований при средне-сильном ветре, указаны значения движущей силы и кренящего момента, а также отдельные значения для мачты и паруса. Различия в общей силе тяги достаточно малы и совсем ничтожны, если добавить анализ неучтенных факторов. При разной силе ветра, значения для отдельных мачт могут быть разными, но при этом хорошая мачта может мешать парусу, и различия сглаживаются.

ветер, ее движущая сила приблизительно на 9 процентов больше, чем у мачт Concept или Pata.

При среднем и сильном ветре различие сохраняется, но мачта Wilke по своим показателям приближается к HIT. Но эти цифры относятся только к мачте.



Срез площади мачты Pata на 0,5 метра выше гика в сильный ветер. Синяя область — отрывной поток за мачтой. Эта область будет больше при слабом ветре.



Поверхностная диаграмма движения потока на мачтах HIT и Wilke в слабый ветер. Различия едва уловимые, но достаточные, чтобы компенсировать то, что HIT выигрывает за счет движущих сил мачты по сравнению с Wilke, когда речь идет о парусной тяге. Сине-зеленый область за мачтой соответствует отрывному вихрю. Поток, движущийся по выпуклому парусу с довольно низким центром тяги, практически трехмерный, поэтому необходимо анализировать и мачту, и парус во взаимодействии, а не только некоторые горизонтальные срезы мачты, как это делали раньше.

Когда вы добавляете силу тяги (и кренящий момент) и мачты, и паруса вместе, различия между всеми мачтами более или менее стремятся к нулю. Есть незначительные различия в показателях, когда речь идет о слабом, среднем или сильном ветре, но в целом, можно сказать, что все мачты, с идентичными парусами, работают одинаково. И когда вы что-то выигрываете, изменяя форму мачты, вы, как правило, теряете, нарушая работу паруса, и все ваши усилия сводятся к нулю. Вы можете сказать, что об этом уже давно известно, проверено опытным путем, на любой из этих мачт можно выиграть Золотой Кубок в классе «Финн». И это в полной мере объясняет, почему мы так и не достигли больших успехов, работая над профилями мачт для 470 или Звездников. Механические свойства мачты — характеристики гибкости — гораздо важнее, чем форма профиля. Мачта HIT толще впереди, что приводит к увеличению площади отрывной зоны на передней части паруса, чем у Wilke или Pata, у которых более тонкая передняя часть.

В дополнение к вышесказанному надо отметить, что движущая сила гика равна нулю — взятая в отдельности она не влияет на движение лодки вперед, несмотря на то, что он расположен точно под углом между ветром и направлением движения лодки. Однако даже с аэродинамической точки зрения гик вносит свою лепту. Он двигает нижнюю шкаторину паруса, и без него парус не будет так активно работать.

Необходимо еще добавить, что когда яхта идет против ветра, при движении корпуса «Финна» возникает небольшое сопротивление воздуха. Сила сопротивления в этом случае близка к нулю, и всегда составляет только половину или даже меньше сопротивления воздуха, возникающего при движении спортсмена при откренении. Причина в том, что близко к поверхности воды, и между волнами, ветер значительно слабее. Следует отметить, что сейчас, когда мы говорим о сопротивлении воздуха, речь идет о силе противоположной направлению движения лодки, а не о силе действующей в направлении (вымпельного) ветра, как иногда пишут. ■



ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ГИДРОДИНАМИКА

Автор текста и рисунков: Микко Бруммер / WB-Sails

ПРЕДСТАВЛЯЕМ ВНИМАНИЮ СПОРТСМЕНОВ И ТРЕНЕРОВ НЕБОЛЬШОЙ АНАЛИЗ ГИДРО И АЭРОДИНАМИКИ ЯХТЫ КЛАССА «ФИНН», СДЕЛАННЫЙ МИККО БРУММЕРОМ, ПРОИЗВОДИТЕЛЕМ ПАРУСОВ WB-SAILS, НА КОТОРЫХ СЕЙЧАС УСПЕШНО ВЫСТУПАЕТ ЦЕЛЫЙ РЯД ГОНЩИКОВ ВЫСШЕГО УРОВНЯ ФРАНЦИИ, ШВЕЦИИ, ФИНЛЯНДИИ, ДАНИИ. ДАННАЯ СТАТЬЯ НЕ ДАЕТ КАКИХ-ЛИБО ПРЯМЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ГОНЩИКАМ, ПОСКОЛЬКУ ОСНОВНОЙ ЦЕЛЬЮ РАСЧЕТОВ БЫЛО ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ И КОНСТРУКЦИИ ПАРУСА, НО ДАННЫЙ МАТЕРИАЛ ПРЕДСТАВЛЯЕТ ПОЛУЧЕННЫЕ ПОПУТНО НАБЛЮДЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ, КОТОРЫЕ ВОЗМОЖНО ПОДСКАЖУТ КОМУ-ТО ИДЕИ К ДАЛЬНЕЙШЕМУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ.

В новом цикле опытно-конструкторских работ (ОКР) по разработке паруса для «Финна», фирме WB-Sails потребовалась трехмерная модель лодки с корпусом, кокпитом, рулевым и кое-чем еще для наиболее достоверного моделирования. Модель корпуса у них была и расчетчики подумали: почему бы не добавить к ней шверт и руль и взглянуть на это из-под воды. Микко Бруммер из WB-Sails описывает, что получилось.

Цифровую модель корпуса взяли из работы Джильберта Лэмбоули по оцифровке теоретического чертежа «Финна»: «Определение обводов и их промер» от 2003 года. Кокпит и швертовый колодец аппроксимировали довольно грубо, шверт при этом полностью опущен. Гидродинамика была сознательно упрощена — не учитывалось волнообразование на свободной поверхности, поверхность воды задавалась плоской в силу того, что наш расчетный пакет компьютерной аэродинамики не умеет этого делать. Таким образом, не моделировалось волновое сопротивление, однако, мы полагаем, что форма свободной поверхности в первом приближении не влияет на линии тока и распределение давления на корпусе.