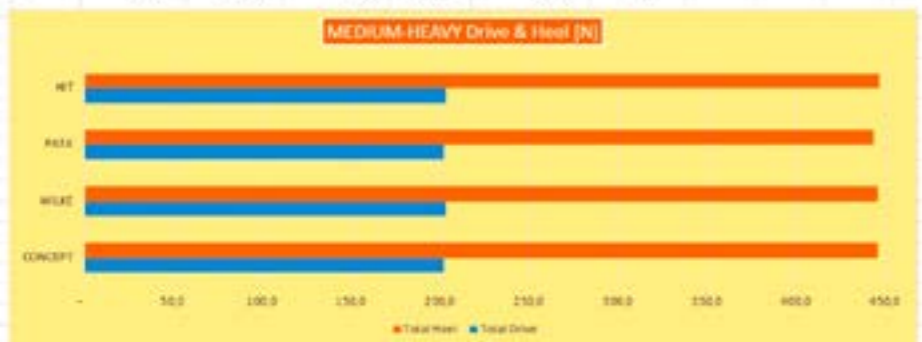


### MEDIUM-HEAVY WIND RESULTS

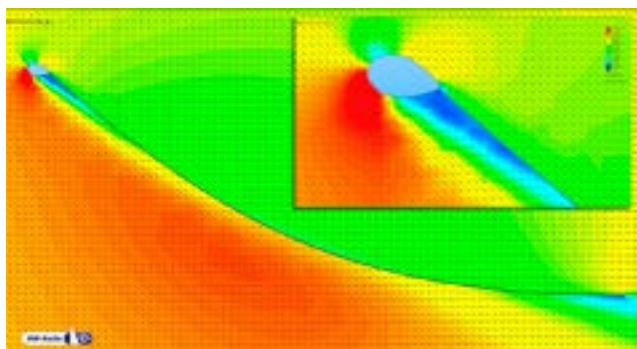
	Total Drive	Total Heel	Sail Drive	% tot. Drive	Mast Drive	% tot. Drive
CONCEPT	201,7	440,4	188,7	93,5 %	11,44	5,7 %
WILKE	202,8	440,2	188,7	93,1 %	12,47	6,1 %
PATA	201,6	441,2	188,1	93,3 %	11,82	5,9 %
HIT	202,9	448,2	188,8	93,5 %	12,74	6,3 %



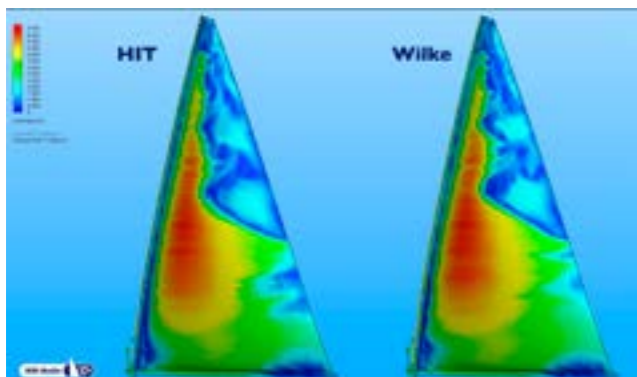
Результаты исследований при средне-сильном ветре, указаны значения движущей силы и кренящего момента, а также отдельные значения для мачты и паруса. Различия в общей силе тяги достаточно малы и совсем ничтожны, если добавить анализ неучтенных факторов. При разной силе ветра, значения для отдельных мачт 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 различия сохраняются, 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. ■



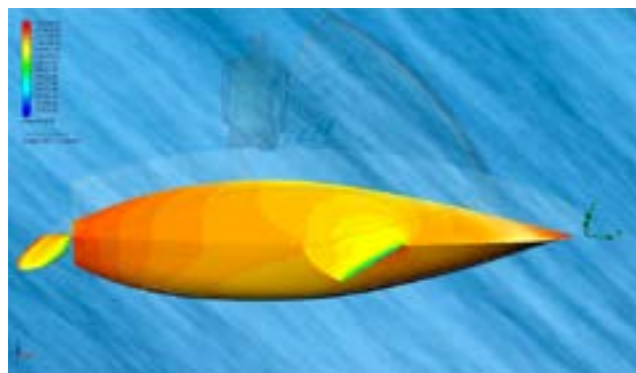
## ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ГИДРОДИНАМИКА

Автор текста и рисунков: Микко Бруммер / WB-Sails

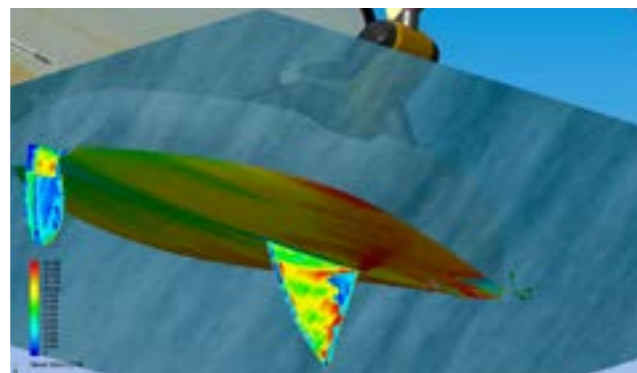
ПРЕДСТАВЛЯЕМ ВНИМАНИЮ СПОРТСМЕНОВ И ТРЕНЕРОВ НЕБОЛЬШОЙ АНАЛИЗ ГИДРО И АЭРОДИНАМИКИ ЯХТЫ КЛАССА «ФИНН», СДЕЛАННЫЙ МИККО БРУММЕРОМ, ПРОИЗВОДИТЕЛЕМ ПАРУСОВ WB-SAILS, НА КОТОРЫХ СЕЙЧАС УСПЕШНО ВЫСТУПАЕТ ЦЕЛЫЙ РЯД ГОНЩИКОВ ВЫСШЕГО УРОВНЯ ФРАНЦИИ, ШВЕЦИИ, ФИНЛЯНДИИ, ДАНИИ. ДАННАЯ СТАТЬЯ НЕ ДАЕТ КАКИХ-ЛИБО 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.

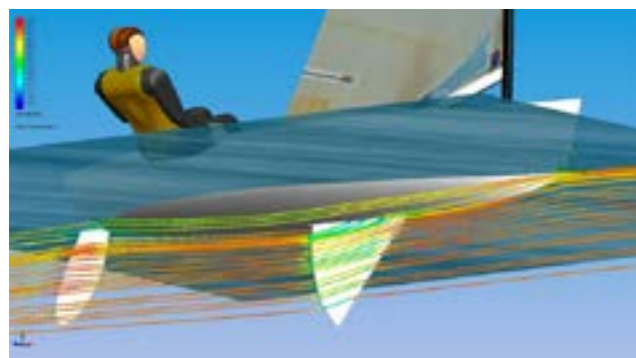


Распределение давления на подводной части и плавниках. Голубой/зеленый — низкое давление (разрежение), оранжевый/красный указывают на более высокое давление.



Напряжения сдвига в пограничном слое. Хорошо видны зоны отрыва потока — темно-голубой цвет — здесь напряжение сдвига близко к нулю. Отрыв потока на перо руля наблюдается на 2/3 его размаха вниз.

При равномерном прямолинейном движении все гидро- и аэродинамические силы и моменты находятся в равновесии. Особое внимание уделялось тому, чтобы аэродинамические силы на парусе: сила тяги и сила крена, и кренящий момент уравнивались соответствующими гидродинамическими силами и откреняющим моментом рулевого. Реальный откреняющий момент можно легко оценить по фотографиям швертботов и учитывая факт хорошо известный шкотовым на трапеции: центр тяжести человека примерно находится в районе пупка. Моделирование проводилось при истинном ветре 18 узлов. После определения аэродинамических сил, положение корпуса варьировалось таким образом (с заданием угла дрейфа и положения румпеля при скорости лодки 4,9 узла), чтобы гидродинамические силы уравнивались аэродинамическим. Форма паруса записывалась на видеокамеру, установленную на топе мачты на озере Гарда при стабильном ветре 18 узлов и при мелкой зыби. GPS навигатор при этом, зафиксировал скорость менее 5 узлов — на гладкой воде «Финн» легко превысил бы 5 узлов.



Линии тока окрашенные в соответствии со скоростью в районе шверта и пера руля. Обратите внимание на отклонение потока вниз на наветренной стороне шверта.

Также для контроля были сделаны расчеты по Программе предсказания скорости (VPP): было получено хорошее соответствие трех моделей, аэродинамики над водой, гидродинамики под водой и сил, получен-

ных из VPP. Сила тяги, равная силе сопротивления воды, при 18 узлах ветра равна 20,5 кгс — эту силу можно развить одной рукой.

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для анализа удобнее всего смотреть на копии экрана компьютера. Наиболее информативна круговая диаграмма «Баланса сил сопротивления». «Сопротивление» мы определяем, как силу, направленную противоположно направлению движения лодки. Наибольшая доля сопротивления возникает из-за волнообразования на свободной поверхности (индуктивное сопротивление), рассчитанного с помощью программы VPP. Наш пакет компьютерной гидродинамики (CFD) его не учитывал. Почти столь же велико вязкостное сопротивление корпуса, возникающее в пограничном слое смачиваемой поверхности. В этот же раздел отнесено сопротивление формы, возникающее из-за распределения давления воды от носа к корме. Также включено сопротивление транцевой застойной зоны — предполагалось, что транец заглублен на несколько сантиметров и тащит за собой воду. Значения вязкостного трения по VPP и CFD оказались близки.

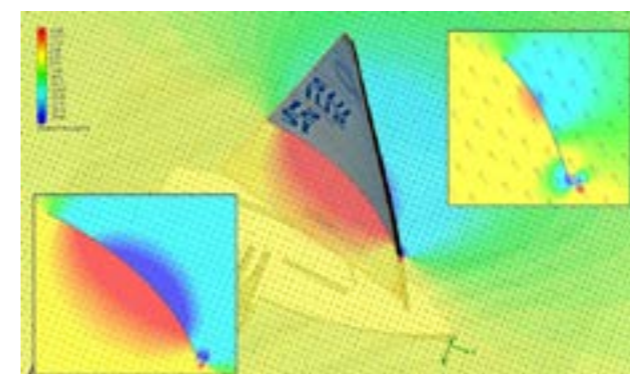
Шверт оказался более эффективным, чем ожидалось на первый взгляд. Тонкая треугольная пластина, совсем не похожая на современные плавники других яхт, тем не менее прекрасно выполняет свою роль. Перо руля, весьма изысканное на реальном «Финне», моделировалось нестрого, профиль нарисовали от руки. Так, что его сила сопротивления в реальности может оказаться меньше. Угол перекадки руля варьировали до тех пор, пока не удавалось достичь продольного равновесия лодки по углу рысканья. Момент рысканья стремится повернуть лодку на привод, либо на увал. Он должен быть компенсирован рулем, так, чтобы лодка двигалась по прямой. В результате моделирования был получен угол перекадки руля плюс/минус 1,5 градуса, что похоже на правду. Моделирование показало также, что баланс по углу рысканья чувствителен к положению каретки.



Баланс сил сопротивления движению «Финна» на остром курсе при ветре 18 узлов и мелкой зыби. Наибольший вклад вносит волновое сопротивление (28%, зеленый). Воздушное сопротивление лодки и рулевого самое маленькое, около 4% (серый).

Подводная смоченная поверхность корпуса также вносит вклад в боковую силу, препятствующую дрейфу под ветер, она обеспечивает около 10% от полной боковой силы.

Программа расчета скоростей VPP также показывает вклад волнового сопротивления, связанного с преодолением морских волн (волн, образованных ветром) — это сопротивление дает наибольший вклад. И, наконец, наименьший вклад дает аэродинамическое сопротивление корпус + рулевого на открене. Причем сила сопротивления тела рулевого — 0,5 кгс в два раза больше силы сопротивления корпуса — Рикар Сарби спроектировал «Финн» с высоким аэродинамическим совершенством. Сила аэродинамического сопротивления корпуса порядка 250 грамм ничтожно мала по отношению к полной силе сопротивления — 20500 грамм (20,5 кгс). Частично этот факт объясня-



Линии тока воздуха вблизи паруса. Цвет означает относительное давление. Врезка в левом нижнем углу соответствует высоте 1 метр над палубой. Обратите внимание насколько сильно разрежение на подветренной стороне мачты (пурпурный цвет). Это обеспечивает прекрасную силу тяги в нижней части. Ближе к топу (правая верхняя врезка) зона пониженного давления перемещается на наветренную сторону, создавая сопротивление вместо тяги.

ется вертикальным градиентом ветра, у поверхности воды его скорость менее 10 узлов, это было учтено при моделировании. Так что гонщику нет необходимости одевать облегчающий костюм горнолыжника.

#### ТВИСТ (ЗАКРУЧИВАНИЕ) МАЧТЫ

При увеличении закручивания мачты, верхушка ее займет еще более невыгодное положение к ветру, создавая большее сопротивление. С другой стороны, закручивание мачты и паруса немного повышают эффективность верхушки паруса. Обратите внимание также, что разность давлений на обеих сторонах паруса стремится к нулю: это означает фактическое обветривание верхушки паруса. Красный цвет означает положительное давление, голубой — отрицательное или иначе, разрежение и желто/зеленый цвет — нейтральное давление. 10 Паскаль примерно равны 1 кгс на квадратный метр.

Аэродинамическое моделирование дает не так много, как хотелось бы. Однако мы хотели бы подчеркнуть одну деталь. Общепринято считать, что твист мачты желателен. Вам бы хотелось подкрутить верхушку мачты в том же направлении, что и парус, чтобы выровнять ее по отношению к передней шкаторине. Данное моделирование не подтверждает этого. При сильном ветре верхушка паруса либо трепещет, либо отваливается под ветер и не несет большой нагрузки. Ветер набегает в основном на подветренную сторону мачты и верхушка начинает тормозить. Таким образом, чем больше закручивание верхушки мачты, тем больше она подставляет свой бок под ветер и больше тормозит. Отрицательный твист, если бы он был реален, был бы предпочтительнее. «Финн» отличается от обычного вооружения типа шлюп своей вращающейся мачтой — мачта, фактически, оказывается уже как бы скручена на угол около 12 градусов при гике добранном до привального буртика. Следует отметить, что в действительности у нас нет надежной информации о том, как закручен топ мачты реальной лодки. Этот параметр тяжело промерить или зафиксировать видеосъемкой с топа мачты. ■

Более подробная информация на странице «Финн» сайта [www.wb-sails.fi](http://www.wb-sails.fi)

