За Кубком Америки – на крыльях!

А. Р. Бесядовский, к.т.н., заведующий научно-исследовательской лабораторией Гидроаэродинамики корабля СПбГМТУ

Существенный рост скоростей при движении судна в водной среде достижим единственным способом – нужно вытащить корпус из воды и заставить его двигаться в значительно менее плотном воздухе. Этот подход реализован, в частности, в конструкции СПК – судов на подводных крыльях. Совершенно очевидно, что и парусные яхты не могли не пойти по стопам «старших братьев».

Chris Cameron/America's Cup

Сложность заключалась в том, что энерговооруженность парусников не идет ни в какое сравнение с мощью дизельных или газотурбинных установок судов с механическим двигателем. Да и ветер – штука капризная, то он дует, то – нет. А если нет ветра, нет тяги, крылья становятся не преимуществом, а обузой, создавая ненужное и немалое сопротивление.

Вначале крыльями заинтересовались конструкторы судов, предназначенных для рекордных заездов под парусом. Когда оказалось, что идея реализуема, она пошла «в массы». Одним из значимых событий стало использование подводных крыльев на парусниках, участвующих в гонках на Кубок Америки.

Эта регата ведет свою историю с 1851 года. Кубок Америки – главный приз в парусном спорте и самый старый трофей в международном спорте вообще. Он старше современных Олимпийских игр на 45 лет. Его первый обладатель, яхта «Америка», которая дала имя трофею, была 100-футовой деревянной шхуной. Гонки на Кубок всегда были источником новых конструкторских решений и технологий в яхтостроении.

С инженерной точки зрения в Кубке Америки можно отметить как минимум три перемены, изменивших лицо соревнований в последние годы: переход от однокорпусников к катамаранам, использование жестких крыльев в качестве парусов и применение подводных крыльев. Все эти решения не воз-

Диаграмма из отчета «Предварительный анализ работы крыла яхт для Кубка Америки», Миланский Политехнический университет

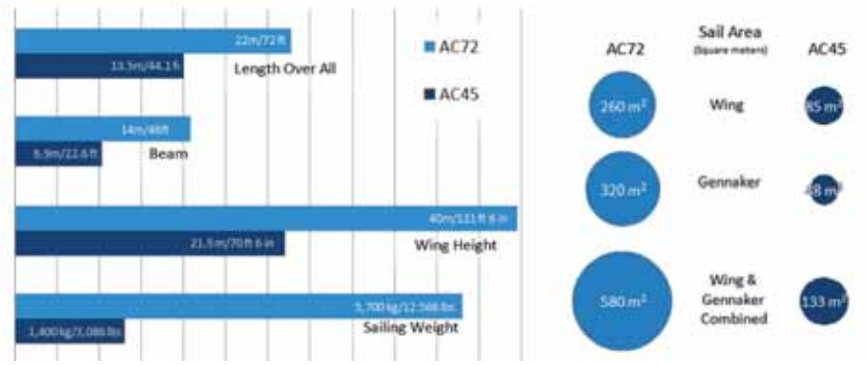

Рис. 1

Основные размерения катамаранов класса AC72 и AC45

	AC72	AC45
Длина наиб., м	22	13.45
Ширина, м	15	6.9
Осадка, м	4.4	–
Высота мачты, м	40	21.5
Водоизмещение, т	5.7–5.9	1.4
Площадь парусов, м²:		
парус-крыло	255–260	85
геннакер	320+	48

никли вдруг, в той или иной степени они уже давно опробованы на яхтах и буерах. Но сочетание этих факторов вместе привело к тому, что на дистанции появились гоночные машины, реализующие в своей конструкции самые передовые идеи. О том, насколько они удачны, можно составить представление (правда, довольно субъективное), анализируя информацию, представленную в открытой прессе.

Уже в предыдущем розыгрыше Кубка участвовал тримаран BMW ORACLE с парусом-крылом. Его успешное выступление привело конструкторов к мысли продолжить движение в этом направлении. В предстоящем гоночном сезоне будут гоняться катамараны класса AC72.

Для подготовки к гонкам организаторы Кубка устраивают предварительные, тренировочные соревнования для претендентов в классе AC45 – уменьшенном варианте кубковых яхт. Приведем сравнительные данные этих двух классов (рис. 1).

Младший «брат» AC45 отличается от старшего отсутствием подводных крыльев, но жесткое крыло-парус у него уже имеется (рис. 2).

Вот мнение Пита Мелвина (Pete Melvin), одного из разработчиков правил класса AC72 и конструктора яхты ORACLE об особенностях проектирования судов для Кубка: «Я думаю, крыло и подводное крыло будут двумя основными направлениями развития исследований. Крыло должно быть установленной правилами высоты и площади, но то, как вы его сделаете, сколько оно будет включать элементов, и как вы будете ими управлять – это открытый вопрос. В прошлом уже были проведены некоторые интересные исследования крыла, но их бюджеты были маленькими. Поэтому мы надеемся видеть развитие в этой области».

Guilain Grenier/America's Cup

Рис. 2

Guilain Grenier/America's Cup

В результате, как сказал один из участников программы: «Пять лет назад мы шли против ветра со скоростью 9 узлов, теперь мы выдаем больше 20 узлов!».

Что касается бюджетов, то в сети промелькнуло сообщение, что команда ORACLE (США) закончила строить свой сверкающий новый AC72 по предполагаемой стоимости от 6 до 8 миллионов долларов.

Жесткое крыло кубковых яхт – это действительно достижение научного и инженерного творчества. Требова-

Рис. 3

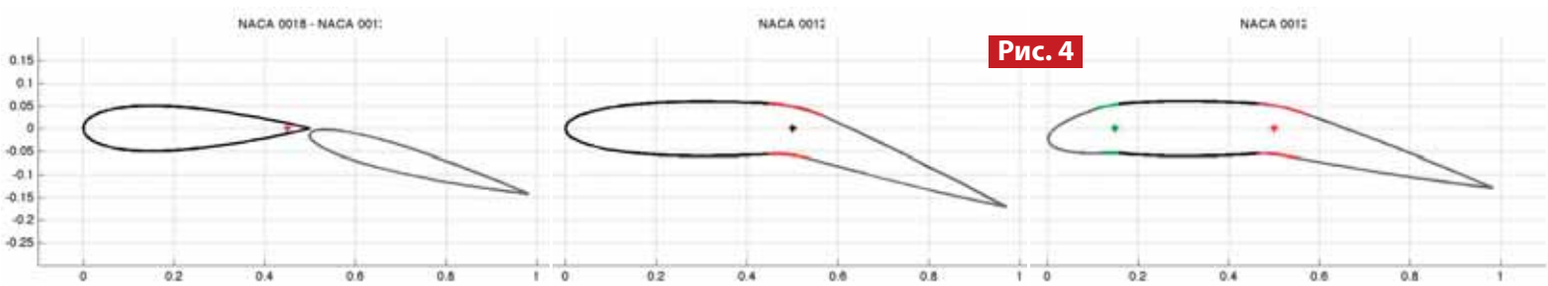

Рис. 4

ния, предъявляемые к нему, весьма серьезные. Имея внушительные размеры (высота 40 м, площадь 260 м^2), оно должно быть минимального веса, поскольку создает дополнительный опрокидывающий момент. Но при этом обладать необходимой прочностью, чтобы выдерживать давление ветра до 30 узлов. О такой ветровой нагрузке говорят организаторы соревнований.

Крыло состоит из рамных нервюр, обтянутых пленкой. После монтажа пленка разглаживается специальным «утюжком», что позволяет натянуть ее сильнее (рис. 3).

Само крыло включает основную секцию, вращающуюся относительно диаметральной плоскости яхты, и устанавливаемый под различными углами к основной части закрылок. В свою очередь, закрылок тоже имеет составную (по высоте), секционированную конструкцию. При этом есть возможность устанавливать секции под разными углами, чтобы задавать крутку (твист) паруса и тем самым повышать эффективность его работы. Обратите внимание, что, несмотря на наличие большого количества различных приборов и датчиков, на крыльях всех участников наклеены «колдунчики». Эти простейшие приспособления позволяют визуально контролировать обтекание даже суперсовременных устройств, как говорится, в режиме online.

Несмотря на применение суперсовременных материалов, в частности – полимерных пленок повышенной прочности, сохранить хорошую форму профиля крыла на всех режимах не удается. На фотографиях можно увидеть, как проступают ребра-нервюры. Особенно на закрылке. С точки зрения аэродинамики это нельзя однозначно назвать дефектом. Дело в том, что с одной стороны, портится форма паруса, заданная при проектировании. Но с другой – несколько возрастает кривизна поверхности, что может привести к увеличению силы на крыле. Кроме того выступающие ребра препятствуют поперечному растеканию потока. В некоторых случаях это тоже увеличивает подъемную силу. Но это только теоретические предположения. Какой эффект будет преобладать и что получится в результате – выигрыш или проигрыш – можно узнать только проведя экспериментальные исследования для конкретного случая.

Подобные работы при проектировании этих яхт идут полным ходом.

Про один из возможных алгоритмов на начальной стадии проектирования рассказывает Дирк Крэмерс (Dirk Kramers), руководитель проектной группы команды ORACLE: «Процесс обычно начинается с устных консультаций с командой. На них создаются карандашные эскизы, потом – трехмерные модели CAD, чтобы оценить правильность размеров. Затем мы переходим к различным аналитическим упражнениям, таким как исследования аэро- и гидродинамики в CFD (вычислительная гидроаэродинамика). Процесс проектирования диктуют правила. Вместе с участниками проекта – яхтсменами, аэродинамиками, гидромеханиками, прочнистами – мы обсуждаем идеи и объединяем их в то, что мы называем «глобальной моделью». Появляется модель версии 1.0, 2.0... В прошлый раз мы остановились на 17-м варианте». Но это – только начало процесса. Все, что происходит дальше, обычно скрыто от глаз широкой публики.

Исследования проводятся в разных организациях и даже странах. Примером может служить работа для Кубка Америки, выполненная профессором Масимилиано Ланцем (Massimiliano Lanz) и Андреа Мешини (Andrea

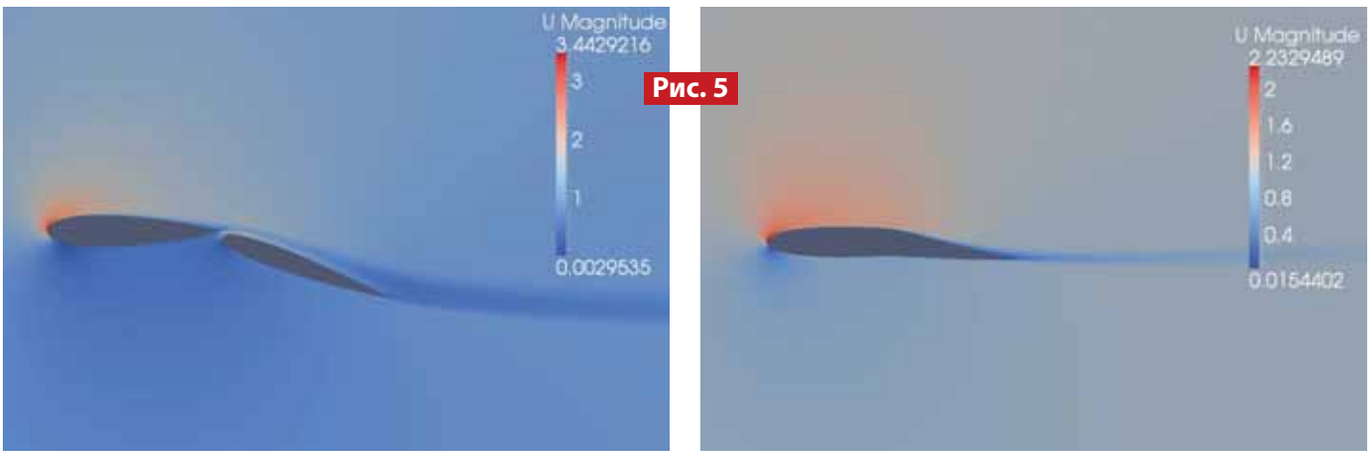

Рис. 5

Рис. 6

Chris Cameron/America's Cup

Meschini) в Миланском Политехническом университете в 2010–2011 годах для катамаранов класса AC72 и AC45. В этой работе, в частности, рассматривались различные варианты реализации жесткого крыла.

Схемы, представленные на рис. 4, были исследованы в численном эксперименте (рис. 5). Полученные результаты в дальнейшем использовались при проектировании парусов-крыльев.

Кроме основного жесткого крыла на каждой яхте есть соответствующие традиционные паруса: стаксели, кливера, «код зеро» и генакеры. У них трудная судьба. Дело в том, что максимальное качество (отношение полезной составляющей силы к силе сопротивления) для крыльевого профиля реализуется на углах атаки 4–6 градусов. В нашем случае это угол установки паруса по отношению к вымпельному ветру. И если в таком режиме основной парус-крыло работает оптимально, то сохранить форму мягких парусов в этих условиях затруднительно. На многих фотографиях видно, что передняя шкаторина больших стакселей не работает или работает плохо (рис. 6).

Беда заключается в том, что именно в районе передней кромки крыла реализуется максимальное значение подъемной силы. Поэтому и потери оказываются ощутимыми.

При проектировании внимание уделяется даже мелочам. Например, моделируется и оценивается сопротивление, создаваемое членами экипажа катамарана, балками и другими элементами, находящимися в потоке.

Для монстров подобного размера проблемой является даже процесс эксплуатации и стоянки в промежутке между гонками. Снимать и ставить на место крыло, рискуя повредить его,

Рис. 7

достаточно проблематично. С другой стороны, ветер может задуть с любого направления. И как будет вести себя судно, ошвартованное в гавани – вопрос не простой. А что делать, если гонки отменили из-за усиления ветра? Как крылу переждать непогоду? Мы не будем обсуждать здесь возможные варианты. Этот вопрос затронут только для того, чтобы дать читателю представление о тех сложностях, с которыми сталкивается команда при использовании новых конструкторских решений.

Перейдем от парусов к корпусам. Каждое судно сможет иметь два руля и два шверта. Они могут быть любой формы. Их можно, при желании, снабдить несущими элементами – подводными крыльями.

– У тримарана ORACLE (участник XXXIII Кубка Америки – *прим. ред.*) первоначально было шесть подводных крыльев, вспоминает П. Мельвин. Это закончилось тем, что четыре из них (на центральных швертах и на руле) были убраны. Крыло может быть спроектировано любым. Но разработки фактически закончились крылом довольно простой геометрии, и конструкция была сделана настолько простой, насколько это возможно.

При этом разные конструкторы идут различными путями. В качестве примера можно посмотреть на крыльевые системы двух претендентов – новозеландцев (KIWI) и итальянцев (Luna Rossa). Мы видим, что форма швертов и установка крыльев на них разная. На Luna Rossa (рис. 7a) используется прямой шверт, а плоскость крыла наклонена вверх. По такой же схеме выполнено и крыло на ORACLE (рис. 7c). Но в сети можно встретить фотографии этого катамарана с крылом иной конфигурации (рис. 7d). Это говорит о том, что поиски наилучшего решения продолжаются.

Подводное крыло на KIWI (рис. 7b) установлено под углом 90 градусов к шверту, когда он находится в поднятом положении. Но при опускании крыло занимает наклонное положение благодаря изогнутой форме шверта.

Надо отметить, что наклон подводного крыла относительно горизонтальной плоскости уменьшает его подъемную силу. Можно предположить, что конструкторы устанавливают крыло под углом для того, чтобы оно более эффективно работало при крене (для наветренного крыла) или создавало больший восстанавливающий момент (для подветренного крыла). Все построенные катамараны оборудованы рулями с подводными крыльями на перьях.

Кормовые обводы корпусов достаточно плоские. Это позволяет на ходу создать дополнительную подъемную силу, уменьшающую осадку и облегчающую выход на крылья.

Особенностью катамаранов обоих классов является форма носовых оконечностей. Они не новы – подобные носы уже давно используются при проектировании многокорпусников. Это так называемые волнопронизывающие корпуса (рис. 8). Они характеризуются сравнительно малой полнотой обводов и обратным наклоном форштевня. В результате, при прохождении волны они не всплывают на нее, а протыкают насквозь. В этом есть свои плюсы и минусы. Плюс в уменьшении килевой качки. Это снижает вероятность ударов о поверхность (слемминг) и уменьшает перегрузки, действующие на парус-крыло и судно в целом при ходе на волне, позволяя поддерживать высокую скорость.

Минусом являются малые объемы носовых оконечностей. Как известно, продольная остойчивость катамаранов

Рис. 8
LunaRossa/Carlo Borlenghi/America's Cup

Рис. 9
Guilain Grenier/America's Cup

сравнима, а часто меньше их поперечной остойчивости. Спасает то, что вектор аэродинамической силы на парусах направлен так, что его проекция на поперечную ось (сила дрейфа) больше, чем на продольную (сила тяги). Особенно это заметно на высоких скоростях. Но при прохождении волны или при уваливании скорость судна падает, оно словно спотыкается. Вектор силы поворачивается в сторону диаметральной плоскости и опрокидывающий через нос момент возрастает. А в случае волнопронизывающих корпусов компенсировать его нечем. В результате получаем дифферент на нос, корпуса уходят под углом в воду. На них появляется дополнительная топящая (опрокидывающая) сила, процесс начинает развиваться катастрофически, и судно переворачивается.

Именно это произошло с катамараном ORACLE в Сан-Франциско во время пробных заездов и настройки. В результате был разрушен парус-крыло. К счастью, никто не пострадал (рис. 9).

Подводя краткий итог, можно сказать, что яхты-участницы будущего Кубка Америки проектируются и строятся с использованием последних достижений в различных областях науки и техники. И являются источником новых конструкторских решений, которые, в будущем, могут быть реализованы в самых разных классах яхт.

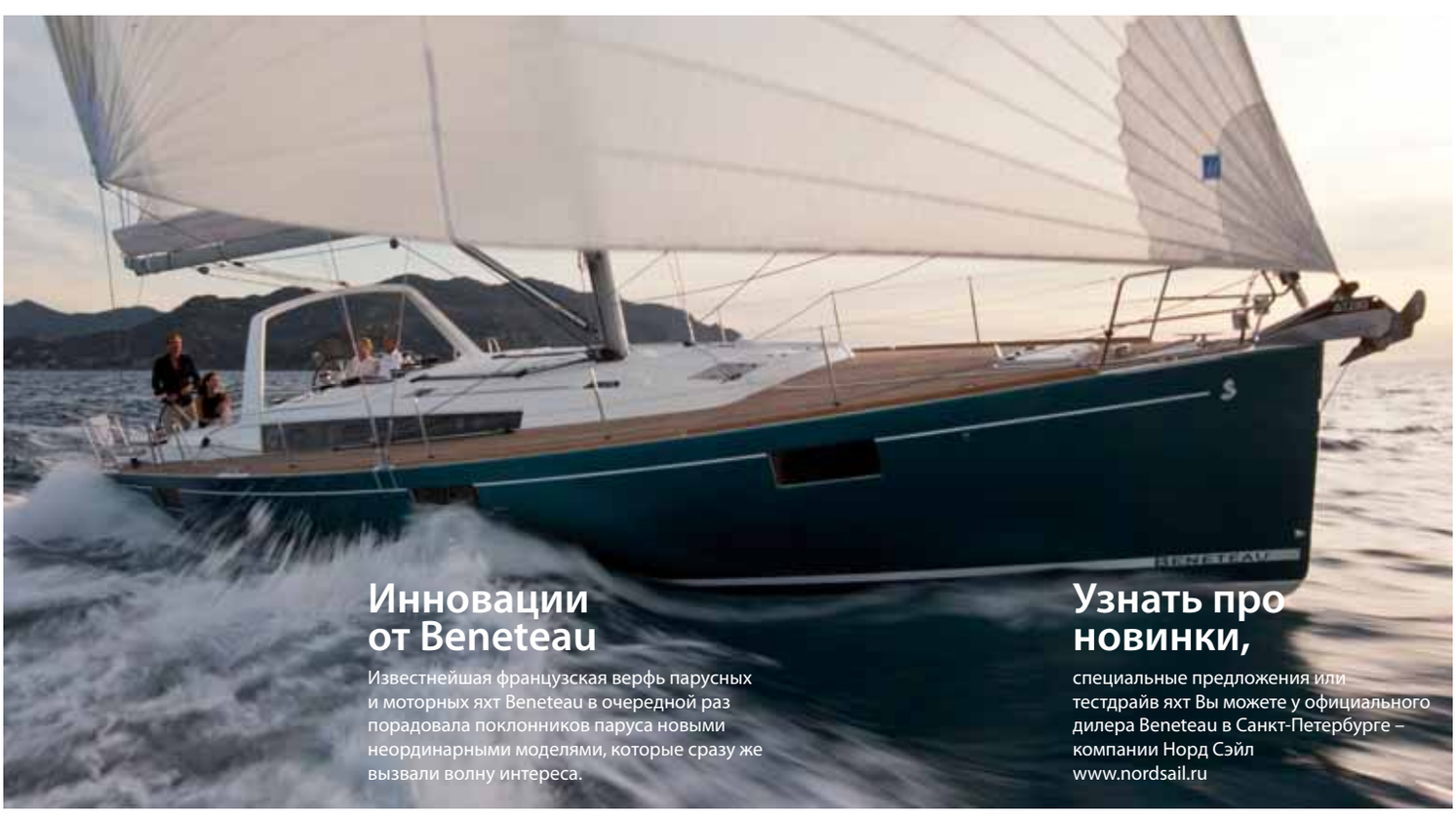

Photo : Gilles Martin-Raget, Portofino - Septembre 2011

BENETEAU

«Инновационный» — самое распространенное слово в описании новинок от Beneteau. Высокое качество и ориентированность на комфорт и удобство — неизменные черты яхт Beneteau, которые и позволяют верфи на протяжении многих лет удерживать лидирующие позиции на рынке парусников. Новинки не стали исключением: революционный подход к философии парусной лодки при сохранении многолетних традиций — залог успеха новых моделей как у искушенных профессионалов, так и у любителей круизного яхтинга.

NORD SAIL
Продажа яхт · Сервис
Компания «Норд Сэйл» - официальный дилер Beneteau
+7 (812) 952 7950, info@nordsail.ru