

Методика расчета поплавков для туристских катамаранов

В. Юрин

Аннотация

Данный документ содержит основные положения методики расчета поплавков для туристских катамаранов, разработанной в 1987 г. в Ленинградском районном клубе туристов (ЛЕРАКТ) г. Москвы, и примеры ее применения. Методика была реализована на практике в виде комплекса программ для ЭВМ ЕС-10xx и ДВК-3 и широко применялась при изготовлении туристского снаряжения в 1988–1991 гг. Впоследствии, в связи с неактуальностью этого вида деятельности и отсутствием свободных ресурсов, работы были прекращены. Наконец, поскольку туристский катамаран советского образца 1980-х гг. XX в. н. э. представляет собой судно эндемичное и в исторической перспективе обреченное на вымирание (как и весь связанный с ним стиль туризма), практическое значение этой теории близко к нулю.

Однако, поскольку в настоящее время снова наблюдается определенный интерес к хождению в стиле "ретро", автор счел, наконец, эту информацию заслуживающей того, чтобы зафиксировать на бумаге ее ключевые моменты. Методика описана в сокращенном виде для основных типов поплавков. Желающие применить ее к поплавкам более сложной формы, или реализовать ее заново в виде законченного программного продукта для ПК или Web, могут обратиться к автору за более подробными консультациями по электронной почте:

<http://www.ruslan-com.ru/~iourine/mail.htm>

либо

http://www.nsg.net.ru/yurin_mail.php

либо

http://www.google.ru/advanced_group_search?hl=ru

(ключевые слова: group=*.tourism, authors=Valentine.Iourine)

Пользовательская лицензия

Данный документ является некоммерческим и может свободно распространяться в письменном или электронном виде, при условии соблюдения следующих ограничений:

- (а) Документ может распространяться только как единое целое, включая настоящую Лицензию и Приложения 1–3. Запрещается изымать из него, либо добавлять в него, какие-либо фрагменты.
- (б) При цитировании, разработке некоммерческого программного обеспечения, или ином использовании материала данного документа ссылка на первоисточник обязательна.
- (в) Запрещается распространение копий данного документа на коммерческой основе, за исключением взимания разумной платы за расходные материалы (бумага, тонер, дискеты и т.п.)
- (г) Использование данного документа для коммерческих целей, включая публикацию в печатных изданиях, разработку коммерческих программных продуктов и т.п. возможно только с письменного согласия автора.

Разработчикам некоммерческих программных продуктов на основе данного документа рекомендуется включать сам документ, а также исходный образец кода (Приложение 1), в предлагаемый дистрибутив.

§ СОДЕРЖАНИЕ §

§1. Введение.....	4
§1.1. Постановка задачи.....	4
§1.2. Разделение задач.....	4
§1.3. Исходные предположения.....	5
§1.4. Безразмерные параметры и координаты.....	5
§2. Расчет профиля симметричного поплавка.....	6
§3. Децентровка профиля.....	7
§4. Расчет выкройки.....	8
§4.1. Постановка задачи.....	8
§4.2. Критерий оптимизации.....	9
§4.3. Расчет оптимальной выкройки для круглого подкаяченного поплавка.....	9
§4.4. Расчет оптимальной выкройки для сегментовидного поплавка.....	11
§4.5. Расчет оптимальной выкройки для полукруглого поплавка.....	13
§4.6. Расчет вырезов в наплывах.....	14
§4.7. Схема выкройки для плоского двухкамерного поплавка ("восьмерки").....	15
§5. Практические рекомендации по изготовлению катамаранов.....	17
§5.1. Раскрой материала.....	17
§5.2. Типы швов.....	17
§5.3. Сшивание деталей.....	18
§5.4. Пришивание петель и карманов.....	18
§5.5. Особенности рамы для катамарана "Рапира".....	19
§5.6. Оборудование посадочных мест.....	20
§5.6. Баллоны.....	21
Заключение.....	22
Приложение 1. Листинги программ.....	23
Приложение 2. Катамаран "ЛЕРАКТ-88".....	29
Приложение 3. Катамаран "Рапира".....	30

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ Категорически НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ использовать катамараны для сплава по бурной воде в случае, если каждый из членов экипажа не обладает технической подготовкой в объеме, достаточном для безаварийного прохождения выбранного маршрута на одноместном судне (каяке либо каноэ-одиночке). Применение катамаранов при таких условиях формирует ложное представление об уровне технической подготовки гребцов, консервирует отсутствие таковой подготовки и создает угрозу жизни и здоровью участников сплава. Подробнее о месте многоместных судов в ряду всех туристских судов см.: В.Е. Юрин. *Сольфеджио белой воды. М., Восточная Книжная Компания, 1997 г., 224 с.*

§1. Введение

§1.1. Постановка задачи

Теоретические выкладки, представленные в данном документе, ни в коей степени не следует рассматривать как алгоритм расчета "самого лучшего" катамарана. Такая задача принципиально неразрешима никакими аналитическими или численными методами в силу ряда причин, в частности:

- Содержательная задача состоит в обтекании судна существенно трехмерным, существенно турбулентным потоком при масштабе турбулентности, соизмеримом с размерами судна, и давлением потока и силами инерции, соизмеримыми с весом судна.
- Оценивать и сравнивать предлагаемые варианты обводов необходимо по поведению судна не в каком-либо одном варианте обтекания, а в целом комплексе взаимоисключающих ситуаций.
- Распределение масс и геометрические обводы судна есть величины переменные, частично управляемые, частично неуправляемые.
- Оценивать судно имеет смысл только в совокупности с экипажем, им управляющим, с умениями и навыками каждого отдельного гребца и экипажа как целого.

Таким образом, разработка "самого лучшего" туристского судна (любого класса) была, есть и будет возможна исключительно опытным путем — через варьирование обводов судна и экспертную оценку результатов. Описываемая методика преследует более скромные цели, а именно:

- Описание бесконечномерного множества обводов поплавок с помощью конечного (и небольшого) набора физически содержательных параметров.
- Расчет оптимальной выкройки для минимизации отклонений формы реального поплавок от теоретической.
- Автоматизация расчета обводов и выкроек с помощью ЭВМ.
- Организация широкомасштабного и систематического тестирования опытных изделий с различными параметрами, в т.ч. с использованием методов оптимального планирования эксперимента.

На практике последняя цель была реализована в школах туристской подготовки ЛЕРАКТа в 1988–1991 гг. Слушателям школ выдавались готовые чертежи с вариациями ключевых параметров, а затем в учебно-тренировочном походе проводилось сравнение катамаранов, изготовленных по этим чертежам. Результатом этой работы стали, в частности, конструкции "ЛЕРАКТ–88" и "Рапира", получившие впоследствии широкое распространение, а также еще ряд катамаранов, рассчитанных по индивидуальным заказам без столь широкомасштабного тестирования.

Целями данной работы НЕ являются:

- Оптимизация выкроек под минимальный расход материала, или под заданный размер заготовок.
- Разработка конструкции рамы и способов ее крепления (отдельные практические соображения приведены в §5).
- Оптимизация конструкции в целом под экономически рентабельное коммерческое производство.

§1.2. Разделение задач

Расчет выкроек поплавок на практике разделяется на две задачи, решаемые последовательно:

1. Расчет продольного профиля поплавок.
2. Расчет плоских выкроек, позволяющих более или менее точно аппроксимировать требуемую форму оболочки.

Первая из этих задач, в свою очередь, также распадается на две:

- 1а. Расчет симметричного (в направлении "нос–корма") профиля с заданными габаритами и объемом.
- 1б. Децентрировка профиля в направлении "нос–корма" без изменения объема.

§1.3. Исходные предположения

Для построения простого и конструктивного алгоритма расчета используются следующие предположения:

1. Все сечения поплавок подобны друг другу.
2. Размер сечения определяется единственной линейной величиной, которую будем называть *радиусом*. В случае простого круглого поплавок это и есть радиус поперечного сечения. Радиус есть функция продольной координаты X .
3. Поплавок симметричен в направлении "право–лево".
4. Радиус миделевого (наибольшего) сечения будем обозначать как R_0 . Радиус обоих концевых сечений поплавок будем обозначать как $R_k < R_0$. Теоретически можно считать, в частности, что $R_k=0$; однако на практике все расчеты имеет смысл производить только до некоторого минимального размера, определяемого точностью раскроя и сшивания (сварки) заготовок; за пределами этих концевых сечений при раскрое оставляются "хвосты", которые затем докраиваются и сшиваются по месту, приблизительно в виде полусферических закруглений (либо как-то иначе, в зависимости от выбранной технологии заделки концов поплавок). На практике принималось, в большинстве случаев, $R_k=0,2R_0$.

§1.4. Безразмерные параметры и координаты

Для выполнения расчетов введем безразмерные параметры поплавок следующим образом:

- x Безразмерная продольная координата, отсчитываемая от миделевого сечения: $x = X/L$, где X — размерная координата (в сантиметрах, миллиметрах или метрах), а константа L — *половина* длины поплавок. Таким образом, для симметричного поплавок координаты концевых сечений есть 1 и -1 .
- ρ Безразмерный радиус поперечного сечения на концах расчетной части поплавок: $\rho = R_k/R_0$.
- r Безразмерный радиус произвольного поперечного сечения: $r(x) = R(x)/R_0$. При этом $r(0)=1$, $r(\pm 1) = \rho$.
- σ Параметр, характеризующий отношение площади поперечного сечения к квадрату радиуса: $S = \sigma R^2$. В частности, для круглого поплавок $\sigma = \pi$, а для поплавок с поперечным сечением в форме полукруга (с напряженной декой) $\sigma = \pi/2$. Для поперечного сечения в форме сегмента с произвольной угловой величиной 2θ имеем $\sigma = (\theta - \sin \theta \cos \theta)$. Для двухкамерного плоского поплавок ("восьмерки") с угловой величиной перегородки 2θ этот параметр равен $\sigma = \pi + \theta + \sin \theta \cos \theta + 2 \sin \theta$.
- v Безразмерный объем, определяемый по формуле: $v = V/\sigma R_0^2 L$, где V — расчетный объем в литрах тоннах и т.п., а знаменатель — максимальный объем поплавок, имеющего заданную форму сечения, длину и постоянный радиус. По определению, $0 < v < 1$.
- δ Безразмерный параметр, характеризующий несимметричность в направлении "нос–корма". Подробное определение см. в §3.

Продольный профиль поплавок полностью определяется видом функции $r(x)$. Для получения физических размеров (в мм) следует умножить безразмерные значения x на константу L , а безразмерный радиус r — на константу R_0 .

Безразмерный объем поплавок, с учетом вышеприведенных соглашений, будет равен

$$v = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 r^2(x) dx$$

Пространственная форма оболочки определяется функцией $r(x)$, формой поперечного сечения (выраженной через константу σ) и способом выравнивания поперечных сечений: по верхней средней точке, по центру или как-либо иначе (в общем случае — с использованием дополнительной функции от x). На практике сечения наиболее часто выравниваются по верхней средней точке.

§2. Расчет профиля симметричного поплавка

Исходными величинами для расчета симметричного профиля поплавка являются следующие параметры:

- безразмерный объем v
- безразмерный радиус оконечностей ρ

Профиль ищется в виде:

$$r(x) = 1 - ax^{2n} - bx^{2(n+1)}$$

либо в виде:

$$r^2(x) = 1 - ax^{2n} - bx^{2(n+1)}$$

Первую формулу будем называть квазипараболической, вторую — квазиэллиптической. (В частном случае $b = 0$, $n = 1$ это будут, соответственно, парабола и сегмент эллипса в чистом виде.)

В общем случае радиус следовало бы искать в виде бесконечного ряда по четным (поскольку функция симметричная) степеням x . На практике, однако, необходимо и достаточно ограничиться двумя наибольшими членами, поскольку функция должна удовлетворять двум условиям: объему и краевому условию. Какие именно члены следует выбрать — определяется из соображений, приведенных ниже.

Если в ряду имеется только один член:

$$r(x) = 1 - (1 - \rho)x^{2n} \quad \text{либо} \quad r^2(x) = 1 - (1 - \rho)x^{2n}$$

то безразмерный объем поплавка равен

$$v_n = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 r^2(x) dx$$

Для квазипараболической аппроксимации, после вычисления интеграла, получается $v_n = 1 - \frac{2(1-\rho)}{2n+1} + \frac{(1-\rho)^2}{4n+1}$, для квазиэллиптической $v_n = 1 - \frac{1-\rho^2}{2n+1} = \frac{2n+\rho^2}{2n+1}$. Чем выше степень n , тем более "полными" получаются обводы — продольный профиль поплавка стремится к прямоугольнику, а безразмерный объем — к единице. Для расчетов с заданным объемом v следует выбирать два члена с такими степенями, что

$$v_n < v < v_{n+1}$$

Именно эти два члена будут наибольшими в разложении, а остальными можно пренебречь — с точностью до погрешностей изготовления реального образца. Более того, если пытаться использовать какие-либо другие два члена, то нередко получаются физически бессмысленные результаты, например, отрицательные значения радиуса.

После того, как тип аппроксимации и параметр n выбраны, параметры a и b определяются системой из двух уравнений:

— для квазипараболической аппроксимации

$$\begin{cases} 1 - \frac{2}{2n+1}a - \frac{2}{2n+3}b + \frac{2}{4n+3}ab + \frac{1}{4n+1}a^2 + \frac{1}{4n+5}b^2 = v \\ 1 - a - b = \rho \end{cases}$$

— для квазиэллиптической аппроксимации

$$\begin{cases} 1 - \frac{1}{2n+1}a - \frac{1}{2n+3}b = v \\ 1 - a - b = \rho \end{cases}$$

Решения могут быть представлены в виде конечных формул для a и b , но приводить их не имеет особого смысла ввиду их громоздкости (особенно в первом случае). На практике проще вычислить коэффициенты уравнений в зависимости от v , ρ и n , а затем выразить через них a и b . После этого вычисляется функция $r(x)$ на любой заданной сетке от -1 до 1 .

ПРИМЕЧАНИЕ Для практических целей удобно рассчитывать профиль и выкройки с шагом $0,04-0,05$, т.е. в 51 или 41 точке (включая миделевое и концевые сечения). Такая точность вполне достаточна.

Какой тип аппроксимации следует предпочесть — квазипараболический или квазиэллиптический — возможно решить исключительно методом экспертной оценки по чертежу или по опытному изделию. На практике применялись обе эти модели. Так, катамаран "ЛЕРАКТ-88" рассчитывался по квазиэллиптической модели, а "Рапира", насколько помнит автор — по квазипараболической. В любом случае, различие между этими моделями невелико и сопоставимо с разбросом результатов при кустарном изготовлении различными исполнителями.

§3. Децентровка профиля

Обводы реального судна, как правило, несимметричны в направлении "нос–корма", причем нос длиннее и уже кормы. (Исключением является байдарка "Салют", выпускавшаяся в 70-е годы.) Для численного описания этой несимметрии введем дополнительный безразмерный параметр δ следующим образом:

$$\delta = \frac{L_n - L_k}{L}$$

где L_n — расстояние от носа до миделевого сечения, L_k — расстояние от миделевого сечения до кормы, L — полная длина поплавка (все без учета оконечностей). После этого выполним преобразование продольной координаты x по формуле:

$$x = \xi - \delta \xi^2$$

т.е. "растянем" область от -1 до 0 и "сожмем" область от 0 до 1 . Таким образом, первая область станет носом, вторая — кормой (можно было бы и наоборот, принципиально это ничего не меняет). При этом степень сжатия/растяжения будет минимальна в миделевом сечении и максимальна на концах. Объем поплавка при этом следует вычислять как

$$v = \frac{1}{2} \int_{-1-\delta}^{1-\delta} r^2(x) dx = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 r^2(\xi) (d\xi - 2\delta\xi d\xi)$$

Как нетрудно видеть, второй член дифференциала порождает только члены с нечетными степенями ξ , которые при интегрировании от -1 до 1 обращаются в ноль. Таким образом, объем поплавка при преобразовании продольной координаты не меняется.

На практике использовалось, как правило, значение $\delta = 0,1$.

В результате выполнения данного шага продольный профиль поплавка оказывается полностью определен на неравномерной сетке как параметрическая функция $\{x(\xi), r(\xi)\}$, либо как совокупность пар $\{x(N), r(N)\}$, где N — номер сечения при численном построении.

Последний шаг при построении профиля поплавка состоит в переходе к размерным координатам по формулам:

$$X(N) = L \cdot x(N)$$

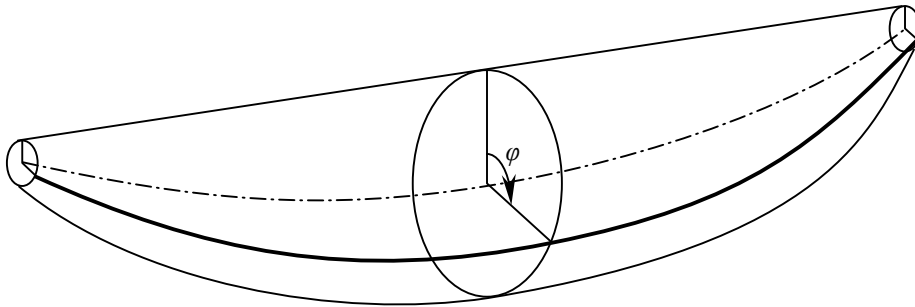
$$R(N) = R_0 \cdot r(N)$$

§4. Расчет выкройки

§4.1. Постановка задачи

Предполагается, что продольный профиль поплавка определен, как описано выше, и представлен в численном виде как параметрическая функция $\{X(\xi), R(\xi)\}$ (для теоретического рассмотрения), либо как совокупность пар $\{X(N), R(N)\}$, где N — номер сечения (для численного расчета). Здесь все координаты предполагаются уже размерными (в миллиметрах или сантиметрах). Кроме того, в дополнение к предположениям, сделанным в п.1.3, введем следующие определения и предположения:

Координата в поперечном сечении. Поперечное сечение оболочки поплавка есть замкнутый контур. Положение точки на этом контуре удобно определять длиной дуги от некоторой начальной точки — либо нижней средней, либо от верхней средней (из соображений симметрии) — нормированной на радиус сечения. В простейшем случае круглого или сегментовидного поплавка это есть не что иное, как угол φ между вертикалью и направлением на данную точку (см. рисунок).



Меридиан. Совокупность точек, определяемых некоторым постоянным значением поперечной координаты, во всех сечениях будем называть меридианом поплавка. Таким образом, меридиан есть линия, проходящая по всей длине поплавка и не пересекающаяся с остальными меридианами. В частном случае, когда поперечное сечение поплавка есть круг и центры всех сечений выстроены на одной прямой, это есть меридиан в общепринятом смысле данного термина.

Строение выкройки. Предполагается, что выкройка состоит из нескольких деталей, условно называемых дека (верхняя часть), дно (нижняя часть), два борта (симметричные боковые части) и т.п. Части сопрягаются друг с другом по меридианам, и каждая часть проходит по всей длине поплавка от носовой оконечности до кормовой. За пределами оконечных сечений оставляются "хвосты", которые впоследствии выкраиваются по месту.

Припуски на швы в нижеописанной модели не учитываются и добавляются отдельно на последнем этапе построения выкройки.

Материал оболочки предполагается нерастяжимым. На практике, конечно, некоторая растяжимость имеется, но в первом приближении, а также для единичного кустарного изготовления, учитывать ее бессмысленно — она мала и сильно варьируется в зависимости от типа и партии материала.

Сущность задачи состоит в следующем. Теоретически оболочка поплавка, рассчитанная выше, представляет собой поверхность с положительной кривизной (в терминах дифференциальной геометрии). На практике все детали выкройки кроются из плоского листа и затем изгибаются некоторым образом. Однако, поскольку материал считается нерастяжимым, кривизна каждой детали остается равной нулю (т.е. один из двух главных радиусов кривизны в каждой точке остается равным бесконечности). Требуется оптимальным образом аппроксимировать исходную теоретическую поверхность заданным набором деталей с нулевой кривизной, при соблюдении следующих требований:

- Длина каждого меридиана на выкройке должна быть *не меньше*, чем длина соответствующего ему теоретического меридиана. (В противном случае поплавок изогнется и примет иную форму, чем требуется).
- Некоторая мера превышения длин реальных меридианов над теоретическими, интегральная по всей поверхности оболочки, должна быть *минимизирована*. Именно в этом случае можно с наибольшим основанием полагать, что оставшиеся расхождения (складки и т.п.) "рассосутся" благодаря растяжимости материала. Суть предлагаемой количественной меры и способ ее вычисления будут объяснены ниже.
- Длины краев стачиваемых деталей должны быть равны *локально*. Иначе говоря, бесконечно малое приращение длины дуги, вычисленное для одной и для другой детали, должны быть равны в каждой точке.

Ниже приводятся решения этой задачи для двух типов поплавков, остающихся наименее неактуальными на сегодняшний день: круглого и сегментовидного. Помимо них, рассматривалась также задача о двухкамерном плоском поплавке (схема "восьмерка"), однако полностью она здесь не приводится по причине громоздкости и неактуальности.

§4.2. Критерий оптимизации

Критерий для количественной оценки расхождения между реальной и теоретической оболочками удобно определить следующим образом. Дифференциал длины дуги меридиана на теоретической поверхности равен

$$dm^2 = dX^2 + dY^2 + dZ^2 = dX^2 + \mu(\varphi) dR^2$$

где $\mu(\varphi)$ — некоторая функция, зависящая от поперечной координаты в сечении. Для практической выкройки длина соответствующего меридиана вычисляется как

$$dm'^2 = dX'^2 + ds'^2 = dX'^2 + \varphi'^2 dR^2$$

где X' — продольная координата на выкройке (которая в общем случае отлична от продольной координаты X поплавка), s' — расстояние от опорной линии на выкройке (и оно равно длине дуги поперечного сечения от опорного меридиана до данного), а φ' — безразмерная координата в поперечном сечении, нормированная на радиус (в случае круглого поплавка это просто угол).

Продольную координату на выкройках, как будет показано ниже, можно выбрать таким образом, чтобы соблюдалось условие:

$$dX'^2 = dX^2 + \text{const} \cdot dR^2$$

Таким образом, дифференциал длины дуги реального меридиана принимает вид:

$$dm'^2 = dX^2 + \mu'(\varphi) dR^2$$

Примеры функций $\mu(\varphi)$ и $\mu'(\varphi)$ будут рассмотрены в следующих параграфах. Поскольку выкройка состоит из нескольких деталей, то последнюю формулу необходимо применять по отдельности на каждом из участков, соответствующих деке, борту и дну. В терминах этих функций три требования, сформулированные в предыдущем параграфе, принимают следующий вид:

- $\mu'(\varphi) \geq \mu(\varphi)$ для всех значений φ
- $\int (\mu'(\varphi) - \mu(\varphi)) d\varphi = \min$ (интеграл вычисляется по всему периметру поперечного сечения)
- для двух деталей, сопрягаемых по некоторому меридиану φ_0 , $\mu'_1(\varphi_0) = \mu'_2(\varphi_0)$

§4.3. Расчет оптимальной выкройки для круглого подкаяченного поплавка

Рассматривается простейший однокамерный поплавок, принимающий заданную форму без помощи рамы. Согласно законам физики, поперечное сечение такого поплавка есть круг. Дополнительно предполагается, что все поперечные сечения поплавка должны быть выровнены по верхней средней точке, т.е. осевая линия деки есть прямая, параллельная оси X .

Координату в поперечном сечении — угол φ — будем отсчитывать от верхней средней точки. Как нетрудно видеть, для такого поплавка длина дуги меридиана рассчитывается по формуле:

$$dm^2(\varphi) = dX^2 + \sin^2 \varphi dR^2 + (1 - \cos \varphi)^2 dR^2 = dX^2 + 2(1 - \cos \varphi) dR^2$$

т.е. $\mu(\varphi) = 2(1 - \cos \varphi)$.

Из трех деталей выкройки наиболее просто рассчитывается дека. Поскольку осевая линия деки есть прямая, то продольная координата на выкройке деки есть не что иное, как продольная координата X на теоретической оболочке. Выкройка симметричная, полуширина деки в точке X составляет $A(X) = a \cdot R(X)$, где $a = \varphi_1$ — координата шва между декой и бортом. Длина дуги меридиана на деке рассчитывается по формуле

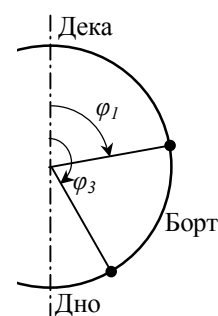
$$dm'(\varphi)^2 = dX^2 + \varphi^2 \cdot dR^2$$

Осевая линия днища совпадает с "килевой" линией поплавка. Длина дуги этой линии вычисляется как

$$dQ^2 = dX^2 + 4 dR^2$$

Это и будет продольная координата на выкройке днища. Выкройка также симметричная, полуширина равна $C(Q) = c \cdot R(Q)$, где $c = \pi - \varphi_3$, а φ_3 — координата шва между бортом и дном. Длина дуги произвольного меридиана на дне есть

$$dm'(\varphi)^2 = dX^2 + (\pi - \varphi)^2 \cdot dR^2$$



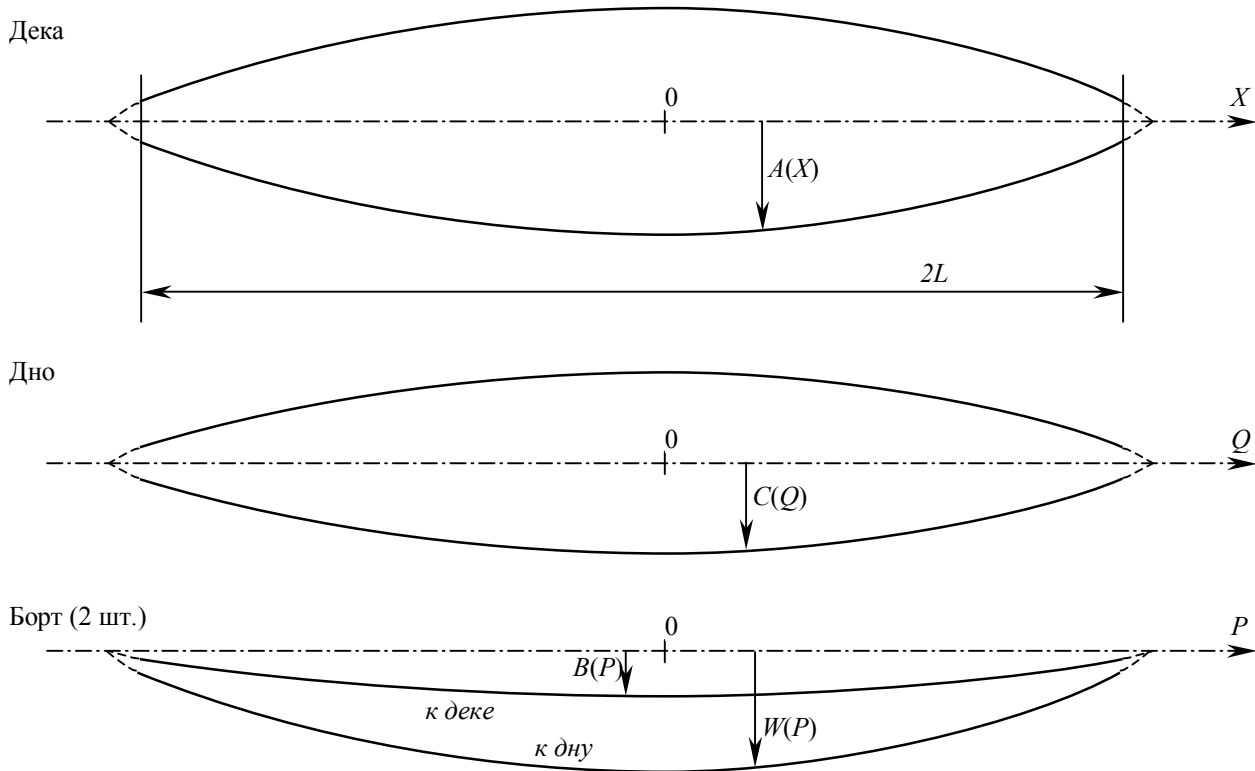


Схема раскроя оболочки для круглого поплавка

Наиболее сложную форму имеют борта. Продольную координату на выкройке борта будем искать в форме

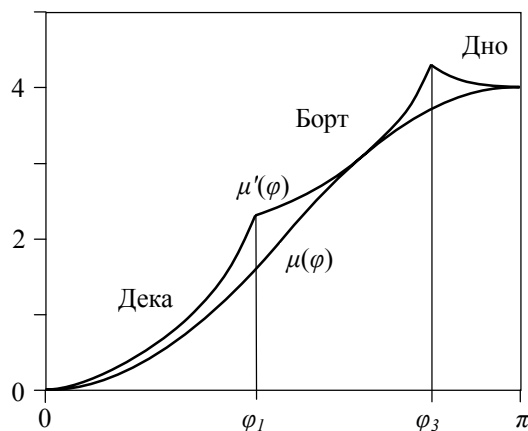
$$dP^2 = dX^2 + \alpha^2 \cdot dR^2$$

где α^2 — некоторая постоянная величина. Далее, будем предполагать, что борт имеет серповидную форму, у которой вогнутый край (обращенный к деке) описывается кривой $B(P) = b \cdot R(P)$, а выпуклый (обращенный к дну) — кривой $W(P) = w \cdot R(P)$. Физический смысл констант следующий: $b = \varphi_1 - \varphi_2$, $w = \varphi_3 - \varphi_2$, где φ_2 — положение некоторого условного меридиана, на который должна была бы лечь опорная линия, от которой отсчитывается профиль борта. Тогда длина дуги меридиана, проходящего по некоторой точке борта, будет равна

$$dm'(\varphi)^2 = dX^2 + (\alpha^2 + (\varphi - \varphi_2)^2) \cdot dR^2$$

ЗАМЕЧАНИЕ Предположения об ориентации кривых пока носят условный характер. Если окажется, например, что $b < 0$, то это будет значить, что верхний край борта на самом деле выпуклый. Если окажется $w < 0$, то нижний край борта должен быть вогнутым.

Итого имеем следующую картину. Функция $\mu(\varphi)$ есть синусоида. Функция $\mu'(\varphi)$ — совокупность трех парабол, из которых две (дека и дно) зафиксированы в точках 0 и 180° , а третью (борт) можно двигать, варьируя параметры α^2 и φ_2 , вдоль синусоиды, так, чтобы эти две кривые касались друг друга.



Требуется найти такое положение этой параболы, при которой суммарное значение

$$\int_0^{\varphi_1} (\mu'(\varphi) - \mu(\varphi)) d\varphi + \int_{\varphi_1}^{\varphi_3} (\mu'(\varphi) - \mu(\varphi)) d\varphi + \int_{\varphi_3}^{\pi} (\mu'(\varphi) - \mu(\varphi)) d\varphi$$

было бы минимальным. Это значение есть не что иное, как площадь, заключенная между параболой и синусоидой.

Результаты оптимизации выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} a &= 1,516 \\ b &= 0,318 \\ w &= 1,436 \\ c &= 0,508 \\ a^2 &= 2,199 \end{aligned}$$

Иначе говоря, оптимальная полуширина деки составляет 1,516 радиана (около 87°), полуширина дна — 0,508 радиана (29°), угловой размер борта $w - b = 1,114$ радиана (64°). Положительные значения b и w показывают, что ориентация кривых на выкройке борта выбрана правильно.

ПРИМЕЧАНИЕ Полученные оптимальные значения параметров справедливы для любого поплавка описанного выше типа, независимо от его размеров, пропорций и объема.

Теперь, имея исходный профиль и значения всех параметров, рассчитываем продольные и поперечные края выкроек по формулам:

	Продольная координата	Поперечные координаты
Дека	X	$A(X) = 1,516 \cdot R(X)$
Дно	$Q = \int_0^X \sqrt{dX^2 + 4dR^2}$	$C(X) = 0,508 \cdot R(X)$
Борт	$P = \int_0^X \sqrt{dX^2 + 2,199 dR^2}$	$B(X) = 0,318 \cdot R(X)$ $W(X) = 1,438 \cdot R(X)$

При этом поперечные координаты рассчитываются по конечным формулам, а продольные координаты P и Q — путем интегрирования от миделевого сечения в сторону носа и в сторону кормы. При численном интегрировании дифференциалы заменяются конечными приращениями:

$$Q_{i-1} = Q_i - \sqrt{(\Delta X)^2 + 4(\Delta R)^2} \text{ для сечений с номером меньше номера миделевого сечения (нос)}$$

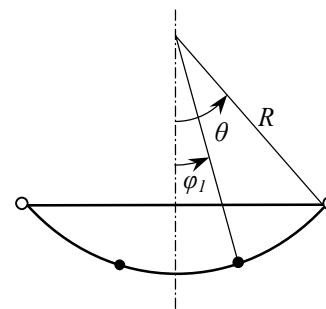
$$Q_{i+1} = Q_i + \sqrt{(\Delta X)^2 + 4(\Delta R)^2} \text{ для сечений с номером больше номера миделевого сечения (корма)}$$

и аналогично для p . Здесь предполагается, что сечения пронумерованы слева направо, т.е. меньшие номера соответствуют отрицательной части (носу), средний номер — миделевому сечению, большие номера — положительной части (корме). Нулевые значения всех продольных координат соответствуют миделевому сечению.

Законченный пример расчета по данной схеме представлен двухместным катамараном "ЛЕРАКТ-88".

§4.4. Расчет оптимальной выкройки для сегментовидного поплавка

В качестве следующего варианта рассмотрим поплавок с плоской напряженной декой. Дека такого поплавка растягивается двумя продольными элементами рамы, а нижняя часть поперечного сечения есть дуга. Таким образом, поперечное сечение поплавка имеет форму сегмента. Пусть угловой размер этого сегмента равен 2θ . Важный частный случай $\sigma = \pi/2$ (т.е. полукруг) будет рассмотрен отдельно.



Угол φ в поперечном сечении в данном случае удобнее отсчитывать от нижней точки. Выкройку будем искать в таком же виде, как и в предыдущем параграфе. Однако в данном случае имеются два важных отличия:

— Дека плоская, и край ее фиксирован. Поэтому она рассчитывается точно по формуле: $A(X) = R(X) \cdot \sin \theta$.

— Нижняя часть состоит только из трех деталей (из которых две — одинаковые), поэтому все параметры выкроек дна и борта определяются однозначно из условия касания графиков $\mu(\varphi)$ и $\mu'(\varphi)$ на привальном брусе (т.е. в точке $\varphi = \theta$).

Схема раскроя показана на рисунке на следующей странице. Основное отличие состоит в том, что нижний край борта предполагается вогнутым, а верхний — выпуклым. Продольная координата на выкройке дна измеряется вдоль килевой линии поплавка, поэтому

$$dQ^2 = dX^2 + (1 - \cos \theta)^2 dR^2$$

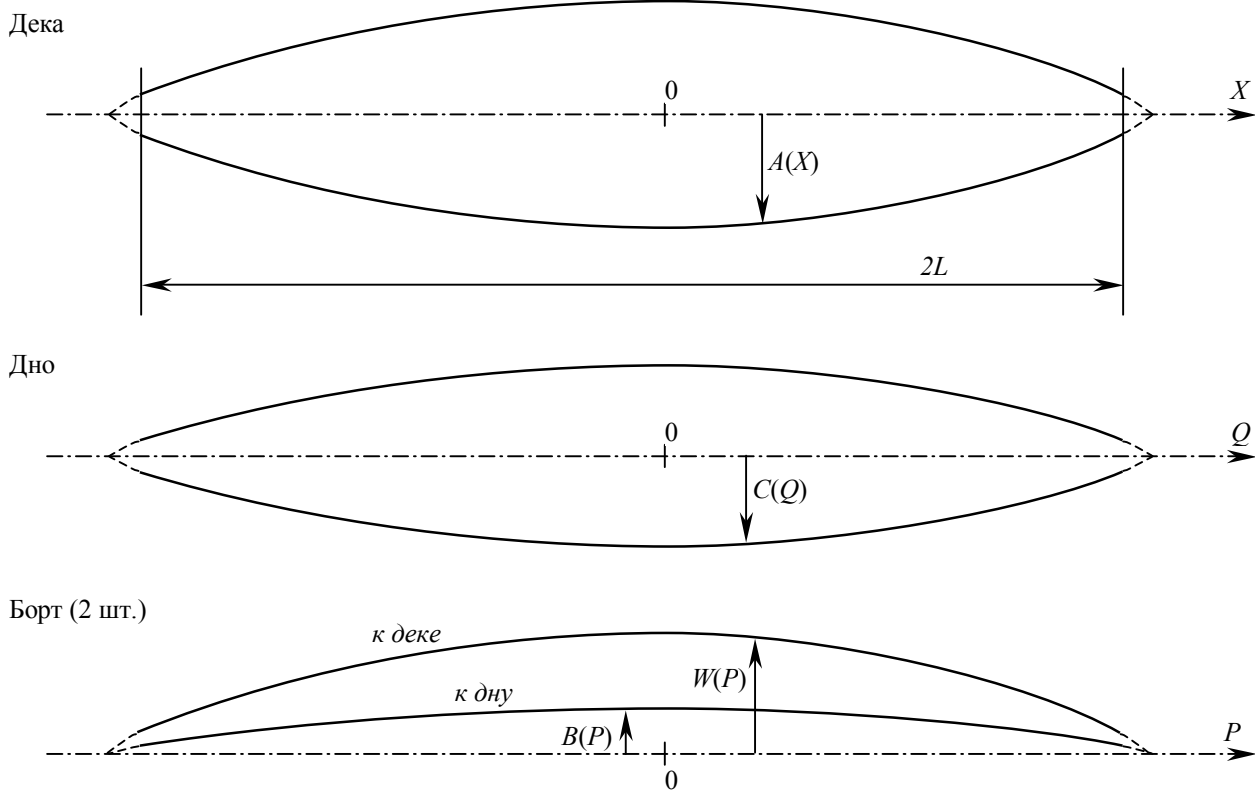


Схема раскроя оболочки для сегментовидного поплавка

Оптимальные значения для остальных параметров выкройки определяются следующими формулами:

$$\alpha^2 = \sin^4 \theta \quad (\text{параметр для расчета продольной координаты на выкройке борта})$$

$$a = \sin \theta$$

$$b = \frac{(1 - \cos \theta)^2 - \alpha^2 + d^2}{2d}, \quad \text{где } d = \sin \theta \cos \theta - \theta \text{ (значение отрицательное)}$$

$$c \equiv \varphi_1 = \frac{(1 - \cos \theta)^2 - \alpha^2 - d^2}{2d}$$

$$w = \sin \theta \cos \theta$$

Итого, продольные и поперечные края выкроек рассчитываются по формулам:

	Продольная координата	Поперечные координаты
Дека	X	$A(X) = \sin \theta \cdot R(X)$
Дно	$Q = \int_0^X \sqrt{dX^2 + (1 - \cos \theta)^2 dR^2}$	$C(X) = \frac{(1 - \cos \theta)^2 - \alpha^2 - d^2}{2d} R(X)$
Борт	$P = \int_0^X \sqrt{dX^2 + \sin^4 \theta dR^2}$	$B(X) = \frac{(1 - \cos \theta)^2 - \alpha^2 + d^2}{2d} R(X)$ $W(X) = \sin \theta \cos \theta \cdot R(X)$

Необходимо отметить качественную особенность коэффициента b в данном случае: он знакопеременный. При небольших значениях угла θ будет $b > 0$, т.е. форма выкройки получается такая, как показано на рисунке. При критическом значении $\theta \approx 56,75^\circ$ (немного более 1 радиана) значение b обращается в ноль, т.е. нижний край борта становится прямым. При дальнейшем увеличении угловой величины сегмента этот коэффициент становится отрицательным, т.е. нижний край будет не вогнутым, как показано на рисунке, а выпуклым. Абсолютное значение полученных величин $B(X)$ следует в этом случае откладывать вниз от опорной линии.

§4.5. Расчет оптимальной выкройки для полукруглого поплавка

Важный практический случай представляет сегментовидный поплавок с угловым размером 180° , т.е. имеющий в поперечном сечении полукруг. В этом случае поплавок есть половина осесимметричной фигуры, и длины всех его меридианов равны. Задача оптимизации выкройки в этом случае резко упрощается и может быть решена из общих соображений симметрии. Вполне очевидно, что при предложенной схеме из трех частей шов между дном и бортом должен располагаться в точке $\varphi_1 = 45^\circ$, т.е. полуширина дна должна составлять $C(Q) = \pi/4 \cdot R(Q)$, а борта есть ровно половинки дна, пришитые прямым краем к деке и выпуклым — к дну. Продольная координата на выкройках дна и бортов определяется по одной формуле

$$dQ^2 = dX^2 + dR^2$$

Эти же результаты, как нетрудно видеть, получаются из формул предыдущего параграфа при $\theta = 90^\circ$. Именно по этой схеме построены выкройки основной (нижней) секции поплавков для популярного некогда катамарана "Рапира".

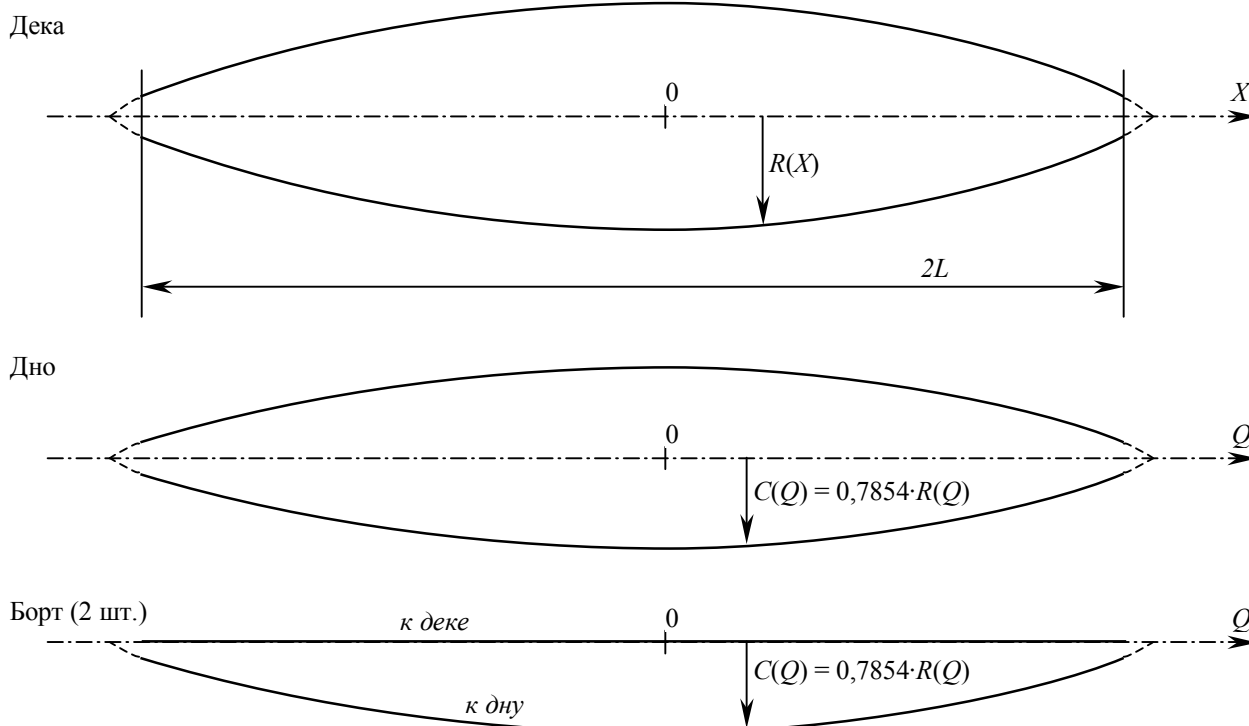
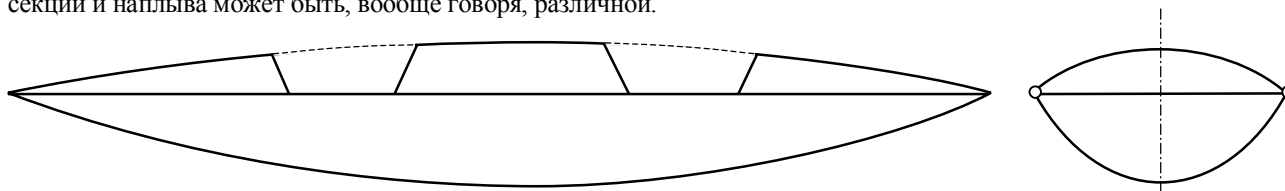


Схема раскроя оболочки для полукруглого поплавка

§3.5. Расчет выкройки для наплывов (схема "верблюд")

Для поплавка с напряженной декой и наплывами, расположенными выше рамы (см. рисунок), наплывы можно рассчитывать отдельно как дополнительную секцию. Как и основная (нижняя) секция поплавка, наплыв имеет в поперечном сечении форму сегмента (только перевернут снизу вверх), при этом угловая величина основной секции и наплыва может быть, вообще говоря, различной.



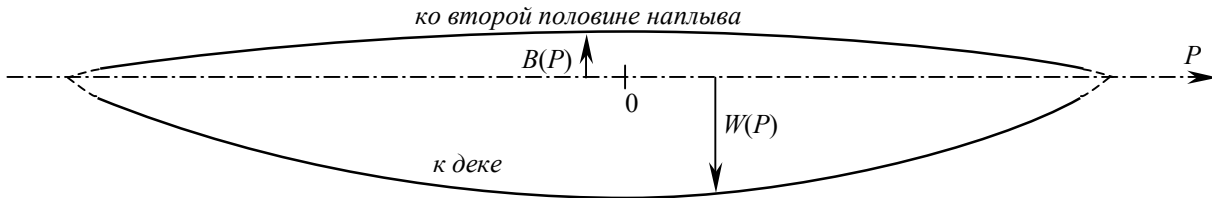
Поплавок для четырехместного катамарана схемы "верблюд"

Расчет наплывов, в общем случае, производится по той же схеме, что и основной секции. Для начала наплыв рассчитывается как единое целое. После этого из него вырезаются участки, предназначенные для размещения гребцов. (Об этой операции см. следующий параграф).

При расчете катамарана "Рапира" было сделано, однако, отступление от этой строгой схемы. Дело в том, что для изготовления наплывов в те времена использовался, как правило, более легкий и растяжимый материал, чем для основной секции (толстый капрон вместо армированного поливинилхлорида). Кроме того, было весьма желательно получить выкройку из двух частей вместо трех. Поэтому за основу была взята выкройка дна — симметричная фигура с полушириной $C(Q) = \pi/4 \cdot R(Q)$. При этом интегральная длина края такой детали

оказывалась больше, чем теоретическая длина меридиана. По осевой линии две такие детали соединялись друг с другом без проблем, но при пришивании к деке и борту получался бы излишек. Поэтому длины краев были численно проинтегрированы и затем дека была пропорционально уменьшена таким образом, чтобы эти величины совпадали. Конечно, при этом длина меридианов, расположенных под 45° и около того, оказалась меньше теоретической; уменьшенным оказался также и радиус. Но в силу большой растяжимости материала, а также искажений, создаваемых вырезами, эти отклонения оказались незаметными.

ПРИМЕЧАНИЕ Столь простое решение было отчасти обусловлено тем, что наплыв катамарана "Рапира", как и основная секция, имел угловой размер 180° . В общем случае половинки напльва следовало бы кроить следующим образом:



$$\text{где } P = \int_0^X \sqrt{dX^2 + (1 - \cos \frac{\theta}{2} \cos \theta)^2 dR^2}$$

$$B(P) = \left(\frac{\theta}{2} - \sin \frac{\theta}{2} \cos \theta \right) \cdot R(X)$$

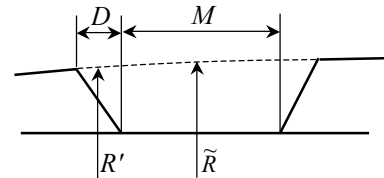
$$W(P) = \left(\frac{\theta}{2} + \sin \frac{\theta}{2} \cos \theta \right) \cdot R(X)$$

а затем пропорционально уменьшать, чтобы уровнять длину нижнего края с длиной края деки.

§4.6. Расчет вырезов в напльвах

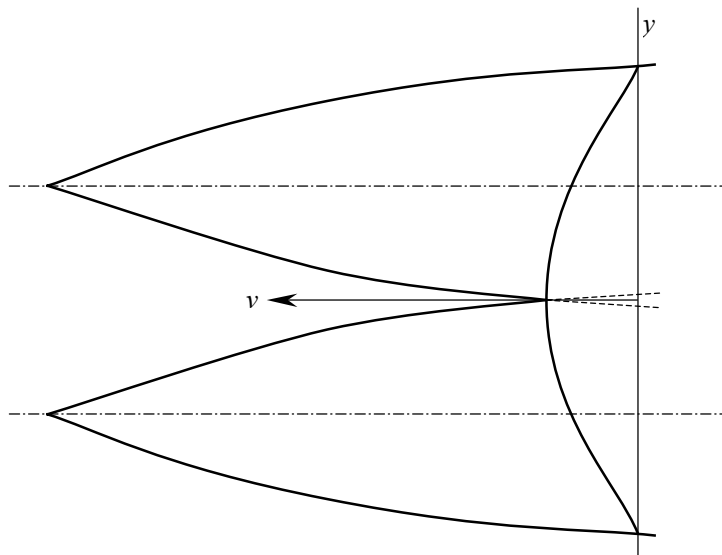
Чтобы сделать в напльве вырез для гребца, необходимо сделать вырезы на выкройке верха напльва, как целого, и вшить на это место торцы. Конечно, реальная форма такого напльва в районе торцов будет отличаться от теоретической, но это уже краевой эффект, которым можно пренебречь. Торец необходимо рассчитывать с наклоном порядка 30° или более (от вертикали), в противном случае он может мешать действиям гребца, да и выглядеть будет весьма уродливо.

При расчетах можно принять, что в месте выреза наплыв имеет постоянный радиус, равный радиусу R' в середине торца. Тогда расчет деталей выкройки сводится к хорошо известной задаче о сечении цилиндра. Пусть угловая величина напльва 2θ , длина проекции торца на деку равна D . Тогда вырез в боковой поверхности условного цилиндра, т.е. в деталях верха напльва, сложенных вместе, описывается синусоидой:



$$v(y) = \frac{D}{1 - \cos \theta} \left(\cos \frac{y}{R'} - \cos \theta \right)$$

где y — поперечная координата на выкройке (отсчитываемая от осевой линии напльва как целого), а $v(y)$ — глубина выреза.

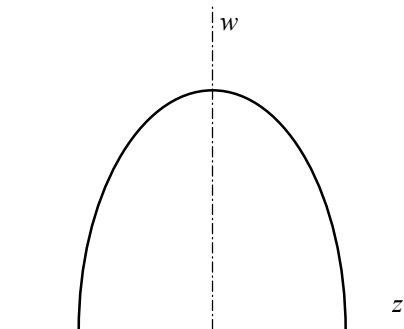


Торец наплыва представляет собой сегмент эллипса, описываемый уравнением:

$$\left(\frac{z}{R'}\right)^2 + \left(\frac{w}{\sqrt{R'^2 + \left(\frac{D}{1-\cos\theta}\right)^2}} + \cos\theta\right)^2 = 1$$

где z — поперечная координата, измеряемая вдоль нижнего края торца (т.е. шва между торцом и декой) от осевой линии, а $w(z)$ — высота выкройки в этой точке. В явном виде она определяется как

$$w = \sqrt{R'^2 + \left(\frac{D}{1-\cos\theta}\right)^2} \times \left(\sqrt{1 - \left(\frac{z}{R'}\right)^2} - \cos\theta\right)$$



Как и для формулы для верха наплыва, эти выражения значительно упрощаются при $\theta = 90^\circ$:

$$v(y) = D \cos \frac{y}{R'} \text{ и } w = \sqrt{R'^2 + D^2} \times \sqrt{1 - \left(\frac{z}{R'}\right)^2}$$

Расхождениями, обусловленные измерением радиуса на данном интервале, можно пренебречь, поскольку $D \ll L$. Кроме того, гребцы обычно размещаются в центре судна, где профиль поплавка изменяется наиболее медленно. На практике эти расхождения оказываются в пределах погрешности шитья.

Наконец, объем одного выреза можно, в цилиндрическом приближении, принять равным

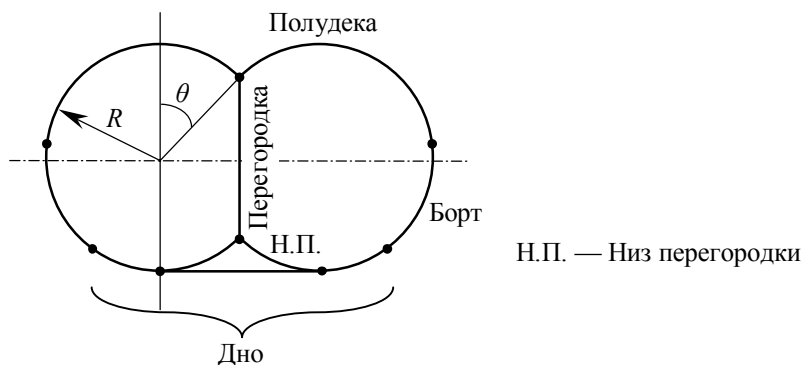
$$\Delta V = (\theta - \cos\theta \sin\theta)(M + D)\tilde{R}^2$$

где M — длина выреза, измеренная в нижней части (вдоль деки), а \tilde{R} — радиус полавка в средней части выреза. Этот объем следует вычесть из объема наплыва.

При практических вычислениях часто бывает допустимо взять величину R' , используемую для расчета торцов, одинаковой для обеих сторон выреза и равной радиусу в средней точке \tilde{R} .

§4.7. Схема выкройки для плоского двухкамерного полавка ("восьмерки")

Наиболее сложным рассмотренным случаем является двухкамерный поплавок — так называемая схема "восьмерка". Плоская форма придается ему не за счет натяжения деки, а благодаря наличию вертикальной перегородки; в нижней части перегородка раздваивается для крепления к дну. (Без раздвоенного низа на дне образовывался бы продольный желоб — "отрицательный киль" — резко ухудшающий маневренность.) Нижнюю камеру желательно заполнить дополнительным баллоном низкого давления, чтобы в ней не накапливалась вода.

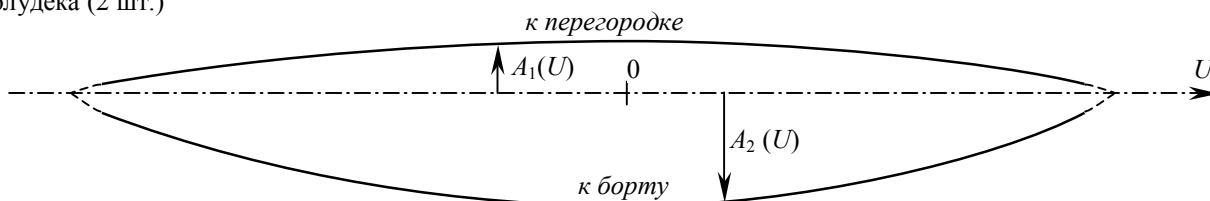


Площадь поперечного сечения такого баллона равна, как можно видеть, $S = (\pi + \theta + \sin\theta \cos\theta + 2 \sin\theta) \cdot R^2$ (с учетом нижней камеры).

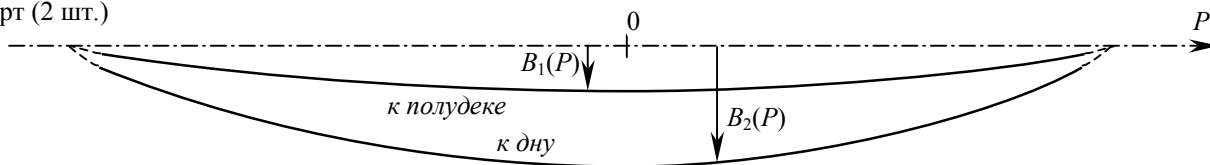
Задача оптимизации выкройки решается аналогичным образом, но математические выкладки в силу своей громоздкости здесь не приводятся. Решение находится численно для каждого заданного значения θ . Корректное решение существует только при отношении длины и ширины баллона не более 1,6756, что соответствует значениям $\theta \leq 42,1^\circ$; для практических целей это ограничение несущественно.

Схема выкройки приведена на рисунке на следующей странице, код программы для вычисления всех параметров см. в Приложении 1. Выкройка состоит из 8 деталей: двух полудек, двух бортов, дна, перегородки и двух нижних деталей перегородки. Уместно заметить, что при $\theta = 0$ перемычку можно исключить, но при этом выкройка не превращается, как можно было бы ожидать, в описанную в п.4.3. Это объясняется тем, что в данном случае оптимум ищется на более широком классе выкроек: дека состоит из двух частей вместо одной, и их края, обращенные друг к другу, не вырождаются в прямые.

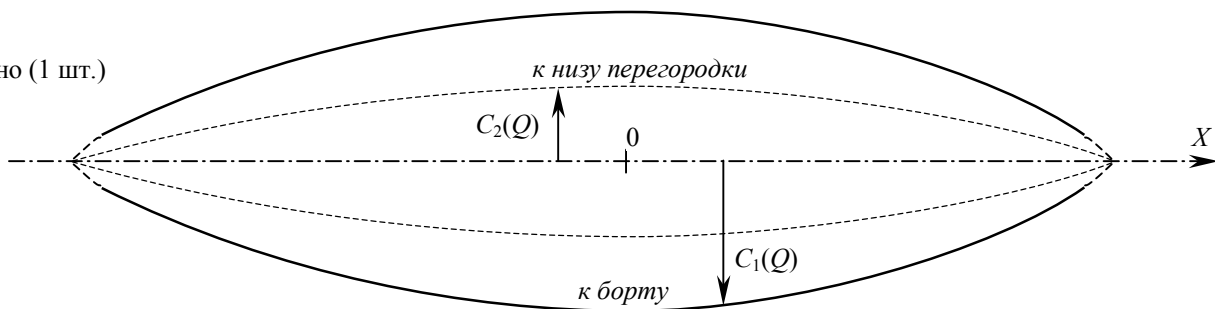
Полудека (2 шт.)



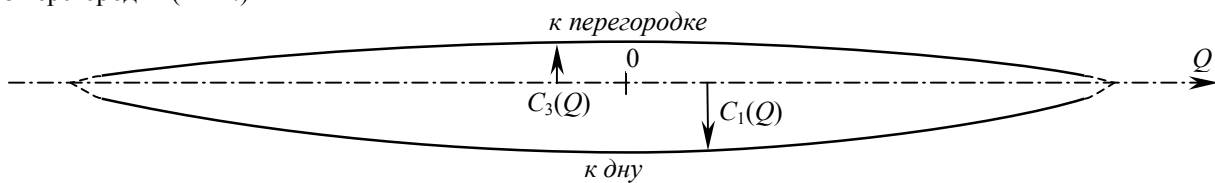
Борт (2 шт.)



Дно (1 шт.)



Низ перегородки (2 шт.)



Перегородка (1 шт.)

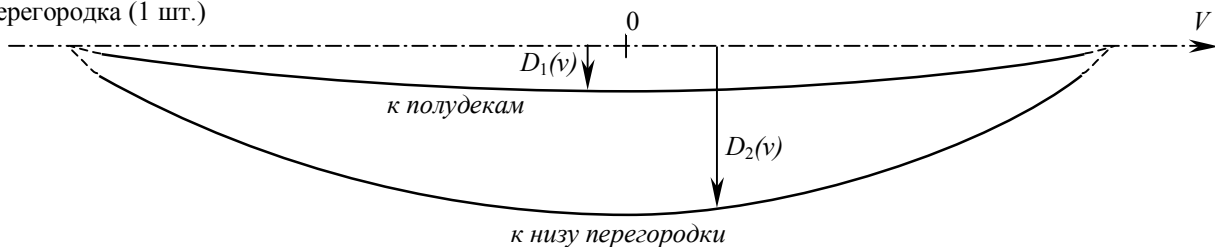


Схема раскроя оболочки для плоского двухкамерного поплавка

§5. Практические рекомендации по изготовлению катамаранов

§5.1. Раскрой материала

Шаблоны выкроек строятся на миллиметровой бумаге в соответствии с таблицами продольных и поперечных координат, либо, при наличии такой возможности, выводятся на рулонном графопостроителе в масштабе 1:1. Настоятельно рекомендуется использовать для всех выкроек один рулон миллиметровой бумаги (или хотя бы рулоны из одной партии), поскольку разброс калибровки может быть вполне заметным — до 3%. Это может привести к нестыковке деталей при шитье/сварке. Аналогично, при выводе на графопостроитель рекомендуется выводить все выкройки на одном устройстве и на один сорт бумаги.

ВНИМАНИЕ Все размеры, рассчитанные по формулам §4, не учитывают припусков на швы. При изготовлении шаблонов необходимо добавить должные припуски (обычно по 1 см с каждой стороны), в зависимости от применяемой технологии шитья/сварки деталей.

Затем шаблон переносится на материал. Опорные линии выкроек должны располагаться вдоль долевой нити; в противном случае весьма вероятны искажения формы надутого поплавка из-за неравномерной растяжимости материала в разных направлениях. Если материал несимметричный с двух сторон, то выкройки парных деталей (бортов, полудек) необходимо располагать симметрично — одна правая, другая левая.

За пределами расчетных концевых сечений необходимо оставить "хвосты", которые докраиваются по месту. Например, для того, чтобы свести оконечность в полусферу, необходимо оставить "хвосты" длиной примерно в 1,6 радиуса оконечности.

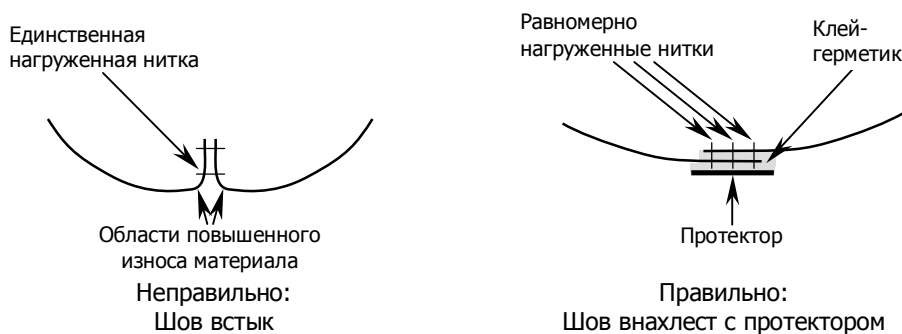
Настоятельно рекомендуется отметить на шаблоне все расчетные сечения и также перенести их на материал. Это позволит при сшивании деталей следить за совпадением сечений и своевременно устранять расхождения, не допуская накопления ошибок по мере шитья.

§5.2. Типы швов

Для соединения деталей оболочки возможны две технологии: сварка и шитье. Поскольку первая при кустарном изготовлении практически недоступна (и неприменима вообще, если в качестве материала одной из деталей выбран капрон), то наибольший практический интерес представляет вторая.

Наиболее простой и технологичный тип шва для крупных деталей из тяжелых материалов — это шов "встык". Однако это же и *наихудший* из всех возможных швов, в силу следующих причин:

- Вся нагрузка приходится на одну крайнюю нитку, которая к тому же в наибольшей степени подвержена износу. Все остальные нитки, сколько бы их ни было, не работают. После того, как крайняя нитка изнашивается и рвется, шов расходится до следующей нитки, и т.п. Конечным результатом, как правило, становится разрыв баллона и длительный последующий ремонт — в неподходящем месте, в неподходящее время, с полной разборкой судна, с мобилизацией всей группы для шитья вручную и т.п.; подобные сцены есть едва ли не в каждом "туристском" фильме, рассказывающем о походе на катамаранах.
- Из-за формы такого шва, и из-за его жесткости, изнашивается не только нитка. Повышенному износу подвергается сам материал оболочки *рядом* со швом. В результате он рвется, и ремонт такого разрыва, с наложением заплатки, требует уже значительно больших усилий, чем просто повторное шитье руками по месту лопнувшей нитки.
- На такой шов, в силу его формы, трудно наклеить протектор.



Правильный способ шитья — это шов "внахлест". В этом случае все нитки шва нагружены равномерно; как только одна из ниток начинает по какой-либо причине "ползти", часть нагрузки сразу перекладывается на остальные нитки. Плоский и мягкий шов не приводит к дополнительному износу материала — истираются только нитки, выступающие из шва. Наконец, сверху на такой шов легко наклеить протектор из более прочного материала, гарантированно защищающий шов от износа.

К сожалению, никакая швейная машина не позволяет сшить оболочку полностью внахлест; как минимум, один завершающий шов необходимо делать встык. В любом случае, швы между дном и бортами, как наиболее подверженные износу, необходимо делать внахлест. Встык можно пришивать деку, либо, если по каким-либо соображениям дека состоит из двух половин, закрывать последний шов между полудеками.

Шов должен быть прострочен, как минимум, дважды. При шитье "внахлест" дополнительно рекомендуется во время второго прохода одновременно промазывать шов герметиком (непосредственно перед иглой). Для материалов типа армированного поливинилхлорида, наиболее широко применяемых при изготовлении надувных судов, в качестве герметика можно рекомендовать так называемые "сопли" — густой раствор ПВХ в тетрагидрофуране (примерно до консистенции сметаны).

ВНИМАНИЕ При работе с ТГФ, в силу его токсичности и взрывоопасности, необходимо соблюдать соответствующие меры предосторожности, в первую очередь — обеспечить хорошую вентиляцию.

В завершение поверх швов необходимо наклеить протекторы — как минимум, на швы между дном и бортами. Для ПВХ материалов наилучший материал для протектора — ПВХ кембрик, разрезанный вдоль (получается лента шириной 3–3,5 см). Чтобы избавиться от заминов и заломов, обычно имеющих на кембрике, ленту следует нагреть в теплой воде, туго скрутить и оставить в таком положении на несколько часов, желательно в теплом месте. При необходимости процедуру повторить, а во избежание предположного цейтнота рекомендуется готовить протекторы заранее.

§5.3. Сшивание деталей

Самая сложная проблема при шитье оболочки, особенно в кустарных условиях — это борьба со сдвигом одной детали относительно другой. Проблема усугубляется тем, что обычно сдвиг происходит в разных направлениях по разные стороны оболочки, например, на правом борту дно оказывается сдвинуто относительно деки вперед, а на левом назад. Это приводит к возникновению наиболее тяжелого дефекта — "винта", практически неустраняемого.

Чтобы взаимно скомпенсировать все отклонения и минимизировать их, при шитье первой ниткой следует придерживаться следующих правил:

- Перенести на выкройку все контрольные сечения и при шитье следить за тем, чтобы они совпадали.
- Сшивать все детали в направлении от миделевого сечения к оконечностям.
- Располагать более тяжелую деталь, с большим коэффициентом трения, всегда снизу, а более легкую и скользкую — сверху.
- Никогда не переворачивать выкройку при сшивании симметричных правого и левого швов. Иначе говоря, если при пришивании правого борта сам борт располагается справа от иглы, а дно — слева, то при пришивании левого борта сам борт должен быть слева, а дно — справа. (И в обоих случаях дно сверху.)

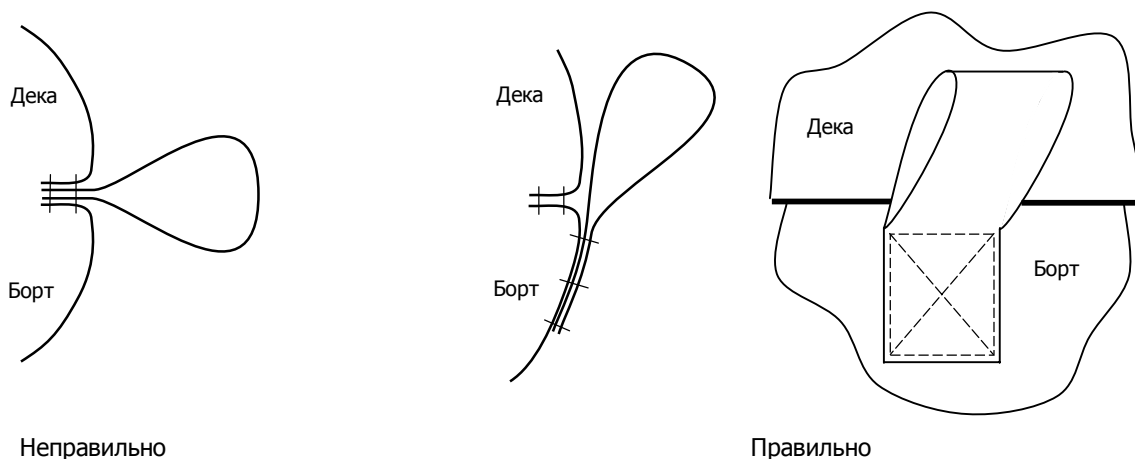
Наиболее трудновыполнимым является последнее условие. Чтобы соблюсти его, работу необходимо проводить в просторном помещении, расположив швейную машинку на полу. Первым пришивается, в приведенном примере, левый борт — более проблематичный. Дно при этом скатывается вдоль в узкий тугий рулон, который проходит под консолью швейной машинки справа от иглы.

При соблюдении всех вышеперечисленных правил удастся избежать как "винта", так и искривления поплавок в поперечном направлении, поскольку все смещения компенсируют друг друга — даже при шитье на бытовых швейных машинках в домашних условиях. Вероятным остается только искривление в вертикальном направлении — наиболее простой дефект, обычно устраняемый рамой катамарана.

§5.4. Пришивание петель и карманов

При пришивании деталей, предназначенных для крепления оболочки поплавок к раме, следует руководствоваться теми же соображениями, что и при выборе швов. (И, как правило, при этом делаются те же самые ошибки.)

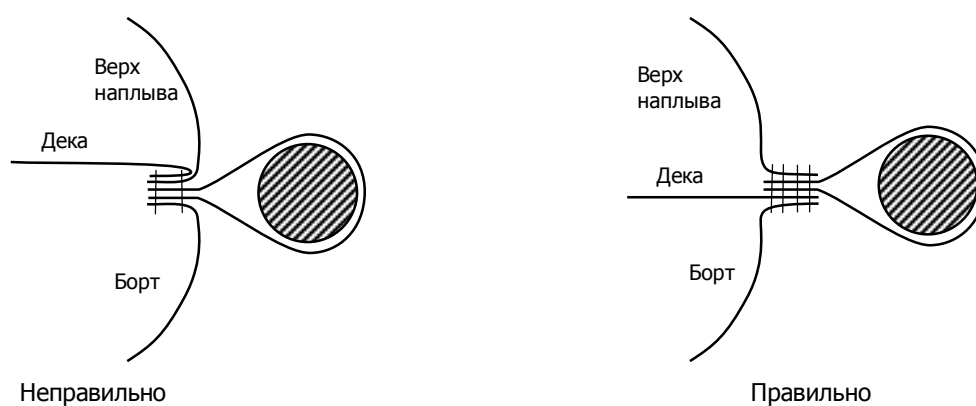
Круглый поплавок и двухкамерный плоский поплавок крепятся к раме с помощью петель, через которые проходит шнуровка. Категорически недопустимо вшивать петли в шов между декой и бортом. Такое крепление непрочное (по той же причине, что и сам шов встык), а после вырывания петли шов расходится дальше, что завершается, как минимум, трудоемким ремонтом. Петли должны быть заранее пришиты к борту снаружи, немного ниже шва. Оптимальное расположение петель — такое, при котором верхняя нитка проходит в средней точке поперечного сечения, $\varphi = 90^\circ$. (Здесь стоит заметить, что на всех выкройках, полученных в пп.4.3 и 4.7, шов очень удачно располагается немного выше средней точки.) Петля из плоской стропы пришивается внахлест и прострачивается "конвертом". Длина пришитой части должна составлять примерно полторы ширины стропы. Для равномерного распределения нагрузки по ширине стропы, а также для удобства шнуровки, стропу можно перекрутить на 180° в средней точке.



Неправильно

Правильно

Поплавок с напряженной декой крепится с помощью "карманов", в которые вставляются продольные элементы рамы. Задача усложняется тем, что вшивать "карманы" приходится в шов "встык" между бортом и декой (и верхом наплыва, если он есть). Чтобы рассредоточить нагрузку, создаваемую сами поплавком и рамой, следует делать этот шов "наизнанку", краями наружу, и к этим краям пришивать "карманы".



Неправильно

Правильно

Если некоторые детали изготовлены из капрона, то их края необходимо подвернуть ("подрубить") обычным образом, чтобы материал не "сыпался". На концах поплавка, если рама не доходит до них, шов можно вывернуть внутрь, из эстетических соображений.

§5.5. Особенности рамы для катамарана "Рапира"

Конструкция рамы и методов соединения ее элементов не является предметом данного документа. Ниже приведены лишь отдельные соображения, относящиеся к раме для катамарана "Рапира" (см. Приложение 3).

Рама состоит из 4 продольных и 4 поперечных. Рекомендуемый материал для продольных — труба Д16Т размером от 32×1 до 36×1,5 мм, длина — около 2,5 м (точное значение в данном случае несущественно). Размер поперечных — от 32×1 до 40×2 мм, длина 1 и 4 поперечных — 170 см, 2 и 3 поперечных — 176 см (разница в 6 см возникает из-за сужения поплавков). Рекомендуется делать поперечины толще продольных.

Поперечины располагаются в сечениях 9, 17, 25 и 33. При этом две средние поперечины оказываются на краях выреза в наплыве. Для 1 и 4 поперечных делаются проушины в верхних деталях наплыва, вплотную к деке. Проушины необходимо обшить прочным толстым материалом (обычно армированным ПВХ из обрезков днища), поскольку при смещении рамы нагрузки здесь могут быть весьма велики.

Особенность катамарана "Рапира" состоит в том, что верхняя и нижняя секции поплавка имеют в поперечном сечении точный полукруг. Таким образом, на носу и на корме (примерно начиная с расстояния 1–1,5 диаметров от торца наплыва) поплавок имеет круглое сечение и не нуждается в напряженной деке. Поэтому замыкать раму на носу и на корме в данном случае нет необходимости; достаточно, чтобы концы продольных немного выступали за сечения 9 и 33.

Теоретически продольные рамы следовало бы изогнуть в горизонтальной плоскости по профилю деки. Однако на практике рама часто деформируется, и такой изгиб принимает более чем приблизительный характер. Достаточно, особенно для тонких продольных, ограничиться прямыми трубами и точно подогнанной распоркой, вставленной в миделевое сечение. Распорка оказывается под голеностопом гребца и не мешает комфортной посадке.

§5.6. Оборудование посадочных мест

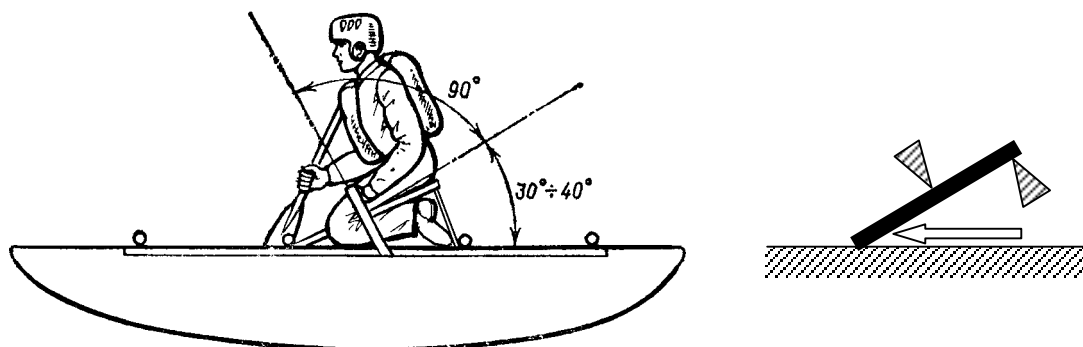
Оборудование посадочного места на судне, предназначенном для сплава по бурной воде, играет такую же критически важную роль, как, например, ботинок в горнолыжном спорте. Если оно отсутствует, или сконструировано с ошибками, или неправильно изготовлено, или неправильно подогнано под конкретного гребца, то об управлении судном не может быть и речи: как бы правильно ни работал гребец, он просто не сможет передать создаваемые усилия на корпус судна.

Конструктивные элементы посадочного места должны *жестко фиксировать* таз и ноги гребца, оставляя подвижной лишь поясницу. Для этого они воспроизводят, по мере возможности, оборудование кокпита слаломных каноэ. Два ключевых элемента оборудования — это сиденье и бедренные упоры.

Для установки сиденья используется тренога ("пирамидка"), которая, в свою очередь, крепится к раме: передняя (средняя) балка к поперечине, находящейся перед гребцом, две задние опоры — к поперечине позади гребца. Сиденье крепится в верхней части балки.

Упоры должны охватывать бедра гребца в средней части и быть перпендикулярны им.

Колено опирается либо на деку, либо, если дека не напряженная — на специальное "полотенце", натянутое между продольными. Таким образом, бедро гребца, с точки зрения механики, представляет собой балку, подпертую в трёх точках: на концах (колено и таз) — снизу, в средней части — сверху. Именно такая фиксация позволяет жестко связать тело гребца с корпусом судна. Никаких зазоров и люфтов в этих трех точках быть не должно. Голеностоп используется для того, чтобы, отталкиваясь от задней поперечины, вдвинуть бедро в упор; при расслабленном голеностопе бедро сдвигается назад, и гребец освобождается от упора.



Таким образом, гребец на катамаране постоянно сидит на сиденье, а не стоит на коленях, как полагают обыватели и многие туристы, не знакомые с правильной канойной посадкой. Весь вес гребца воспринимается сиденьем, а не согнутыми ногами. Ноги используются исключительно для фиксации в упорах. Вставить на колени и отрывать таз от сиденья гребец не должен *ни при каких обстоятельствах*, кроме покидания судна.

Наиболее частые ошибки, допускаемые туристами по незнанию, а серийными производителями — сознательно (ради упрощения и удешевления конструкции), состоят в следующем:

- Катамараны, не оборудованные сиденьем, не обеспечивают фиксации гребца ни при каких условиях, независимо от наличия упоров.
- Мягкое надувное сиденье ни в коей степени не обеспечивает жесткой посадки гребца. Надуть его до такой степени, чтобы оно не проминалось под весом гребца, просто невозможно. Катамаран с надувными сиденьями комфортен для сплава по простым рекам в режиме ненапряженного "матрасного" отдыха, но абсолютно непригоден для задач, требующих эффективной работы гребцов. В частности, он не подходит ни для прохождения технически сложных препятствий, ни для участия в соревнованиях.
- Упоры, закрепленные на задней поперечине и идущие под острым углом к бедру, не обеспечивают достаточно жесткой посадки, поскольку препятствуют перемещению бедра в перпендикулярном направлении лишь отчасти.
- Чрезмерно длинные и свободные упоры, позволяющие гребцу встать на колени (бедро перпендикулярно деке), фактически теряют свою функцию. В таком положении они удерживают бедро от движения вперед, в то время как оно легко вынимается из упора движением вверх. Несильного рывка достаточно, чтобы гребец не по своей воле покинул судно. Такую ситуацию регулярно можно наблюдать при прохождении туристами мощных "бочек", особенно у первых номеров на 4-местном катамаране.
- Задние опоры крепятся порознь к уголку или другой промежуточной детали, которая, в свою очередь, прикреплена поперек передней балки. Принципиально важно, чтобы обе задние опоры крепились к балке одним винтом, без каких-либо промежуточных элементов. В этом случае они, вместе с поперечиной, образуют жесткий треугольник, а не вихляющуюся трапецию.

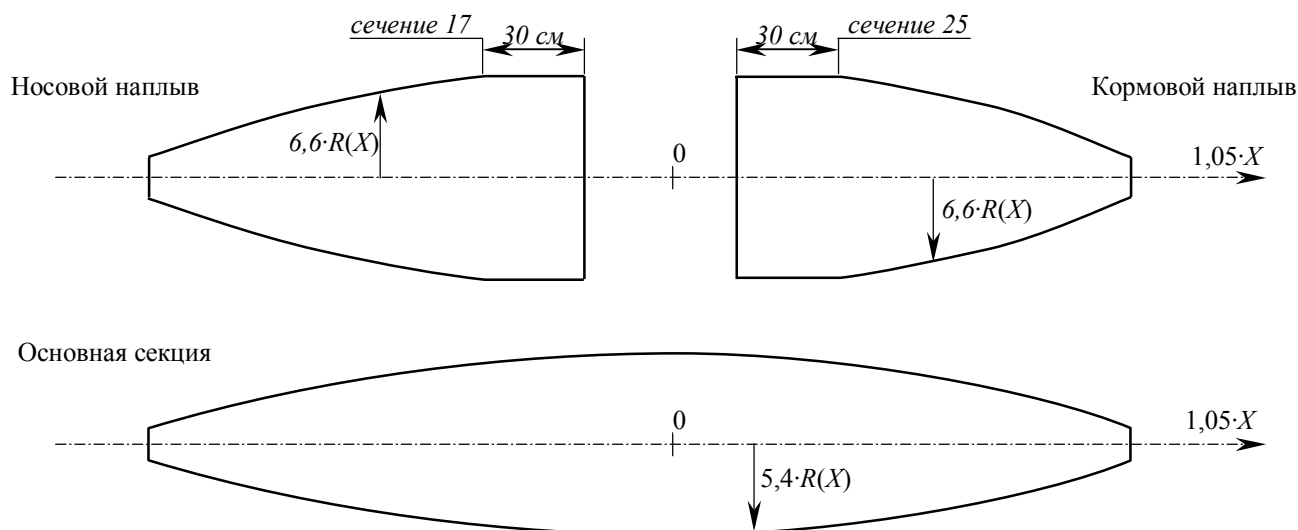
§5.6. Баллоны

В отечественном кустарном и полукустарном катамараностроении поплавки изготавливаются, как правило, двухслойными: силовая оболочка, о которой, собственно, и шла речь в данном документе, плюс надувной баллон (-ы). Форма баллона в такой конструкции не играет существенной роли. В принципе, можно ограничиться простым прямоугольным баллоном. Форма поплавок от этого не пострадает; недостатки такого баллона — только неудобство его размещения в узких оконечностях поплавков, излишний расход материала и вес.

Для изготовления более рациональных профилированных баллонов достаточно руководствоваться всего одним практическим соображением: обхват баллона в каждом сечении должен быть не меньше, чем периметр этого сечения. Для того, чтобы баллон гарантированно заполнял собой оболочку, с учетом ее растяжимости, длина и ширина баллона увеличиваются на 3–5%. Например, для круглого поплавок обхват баллона рассчитывается как $6,6 \cdot R(X)$, для полукруглого — $5,4 \cdot R(X)$, для сегментовидного с произвольной угловой величиной 2θ — $2,1 \cdot (\theta + \sin \theta) \cdot R(X)$.

При изготовлении баллонов для наплывов следует учесть еще одно обстоятельство: если в наплыв предполагается грузить багаж туристов, то необходимо увеличить обхват баллона, поскольку его нижняя сторона теперь будет не прямая. В качестве оценки сверху можно взять ситуацию, когда вещи заполняют почти все поперечное сечение наплыва, а баллон расположен в два слоя вдоль оболочки. Тогда, например, для полукруглого наплыва обхват баллона должен быть равен $6,6 \cdot R(X)$. Кроме того, на широком конце к баллону необходимо добавить цилиндрическую часть длиной примерно в высоту наплыва, чтобы закрыть груз со стороны торца.

Схема полного комплекта баллонов для катамарана "Рапира", построенная в соответствии с этими положениями, приведена на рисунке.



Обхват баллонов для катамарана "Рапира"

Поскольку обхват баллонов обычно получается больше, чем ширина материала, то баллон клеится из 2 или 3 частей. Если каждая из частей доходит до конца баллона, то проще всего сделать их строго одинаковыми, распределив требуемую ширину поровну между ними.

Заключение

Таким образом, методика расчета, приведенная в данном документе, позволяет описать очень широкий класс туристских катамаранов всего несколькими параметрами, а именно, следующими:

- Объемом V
- Длиной $2L$
- Характерным радиусом поплавок R_0 в миделевом сечении
- Отношением высота/ширина для поперечных сечений (характеристическим углом θ)
- Радиусом (или иным линейным размером) оконечностей R_k
- Несимметричностью в направлении "нос–корма" δ

а также используемой математической моделью и способом выравнивания поперечных сечений по вертикали.

Наибольшее практическое значение имеют первые четыре параметра, определяющие объем и габариты катамарана. Именно эти параметры следует варьировать в первую очередь. Таким образом, предложен конструктивный метод для расчета профиля и выкроек поплавков по нескольким основным параметрам, а также для решения более общей задачи — систематического подбора оптимальной формы поплавков.

Благодарности

Автор признателен за участие и помощь в данной работе:

Максиму Сопрунову — соавтору катамарана "ЛЕРАКТ-88"

Владиславу Кириллову — соавтору катамарана "Рапира"

а также всем участникам школ туристской подготовки ЛЕРАКТа 1988–1991 г., принимавшим участие в изготовлении и испытаниях опытных образцов.

Приложение 1. Листинги программ

Прилагаемые программы были написаны на языке FORTRAN для ЭВМ ДВК-3 (операционная система RT-11) и с расчетом на конкретную модель принтера для вывода результатов. Комментарии и изменения, которые следует внести при редизайне программ, указаны в примечаниях (дважды нажмите на значок, чтобы раскрыть их). В основном эти изменения относятся к операторам ввода-вывода.

```

PROGRAM CAT
REAL*8 T1,T2
COMMON X(41),R(41),VOL,VV,V0,DL,DEL,R0,R1,TH,ITH,PI,SIG
DATA IH/8/,IN/14/,IO/15/,IESC/27/
PI=3.1415927
TYPE 11,IN,IESC,IESC
TYPE 25
11 FORMAT(1X,2A1,1HH,A1,1HJ)
25 FORMAT(' tip ? (1-kruglyj,2-ploskij,3-segmentowidnyj)')
ACCEPT 12,M
12 FORMAT(I2)
12 TYPE 13
13 FORMAT(' --ob_em-- --dlina-- nesimetr ?')
ACCEPT 14,VOL,DL,DEL
14 FORMAT(3F10.1)
IF(M.GT.1) GOTO 15
TYPE 16
16 FORMAT(' --maksim-- --radius-'/ ' --radius- --okone^n- ?')
ACCEPT 14,R0,R1
14 SIG=PI
GOTO 17
15 TYPE 18
18 FORMAT(' --maksim-- --maksim-- --(irina-'/
* ' --(irina- --wysota- --okone^n- ?')
ACCEPT 14,W01,W02,W11
IF(M.EQ.3) GOTO 19
IF(W01/W02.LE.1.6756) GOTO 26
TYPE 28
28 FORMAT(' ***** slikom bolxoe otno{enie (iriny k wysote')
TYPE 27
27 FORMAT(' ***** wwedite prawilxnye gabarity i ob_em')
GOTO 22
26 R0=W02/2.
W02=W01/2.-R0
TH=ATAN(W02/SQRT(R0**2-W02**2))
R1=R0*W11/W01
ITH=INT(TH*180./PI+.5)
TH=ITH*PI/180.
SIG=PI+2.*TH+2.*SIN(TH)*COS(TH)
GOTO 17
19 W02=2.*W02/W01
IF(W02.LE.1.) GOTO 31
TYPE 28
TYPE 27
GOTO 22
31 TH=2.*ATAN(W02)
R0=W01/(2.*SIN(TH))
R1=R0*W11/W01
ITH=INT(TH*180./PI+.5)
TH=ITH*PI/180.
SIG=TH-SIN(TH)*COS(TH)
17 VV=.002*SIG*DL*R0**2
V0=VOL/VV
IF(V0.LT.1.) GOTO 20

```

```

TYPE 21
21 FORMAT(' ***** sli{krom bol{x}oj ob_em dlq dannyh gabaritow')
TYPE 27
GOTO 22
20 TYPE 30
30 FORMAT(' approksimaciq ?',
*' ( 1-kwaziparaboli^eskaq, 2-kwazi!llipti^eskaq)')
ACCEPT 12,L
PRINT 11,IN
IF(L.EQ.1) CALL PROFF(ID)
IF(L.EQ.2) CALL PROFE(ID)
IF(ID.EQ.0) GOTO 32
TYPE 33,VOL
TYPE 27
33 FORMAT(' ***** sli{krom malyj ob_em dlq dannyh gabaritow'/
*' minimalxnyj ob_em ',F8.1,' L')
GOTO 22
32 IF(M.EQ.1) T1=' kruglyj'
IF(M.EQ.2) T1=' ploskij'
IF(M.EQ.3) T1='segment.'
IF(VOL.GT.1000.) T2=' ^etyreh'
IF(VOL.LE.1000.) T2=' dwuh'
PRINT 41,T2,T1
41 FORMAT(23X,A8,'mestnyj ',A8,' katamaran'//)
IF(L.EQ.1) T1='paraboli'
IF(L.EQ.2) T1='-!llipti'
PRINT 42,T1
42 FORMAT(' *** kwazi',A8,'^eskaq approksimaciq ***')
PRINT 23,DL,R0,R1,DEL,VOL
IF(M.GT.1) PRINT 24,IH,ITH,IO
23 FORMAT(' dlina ',F6.1,' SM'/' maksimalxnyj radius ',F5.1,
*' SM'/' radius okone^nosti ',F5.1,' SM'/' nesimetri^nostx ',
*' F4.1/' ob_em ',F6.1,' L')
24 FORMAT(' o',A1,'!=',I3,' GRAD',A1,'.')
PRINT 11,IO
IF(M.EQ.1.OR.M.EQ.3) CALL CAT1(M)
IF(M.EQ.2) CALL CAT2
PRINT 2,IN,IO
2 FORMAT(//,1X,A1,'wse razmery w santimetrax bez pripuskow ',
*' na (wy'// se^eniq: 1-nos, 21-midelewoe, 41-korma'//
*' rasCIFrowku obozna^enij sm. na oborote',A1)
TYPE 11,IO,IESC,IESC
STOP
END

```



```

SUBROUTINE PROFF(ID)
COMMON X(41),R(41),VOL,VV,V0,DL,DEL,R0,R1,TH,ITH,FI,SIG
ID=0
DL2=DL/2.
R0=1.-(R1/R0)
N=0
3 N=N+2
VN=1.-2.*R0/(N+1.)+R0**2/(2.*N+1.)
IF(V0.GE.VN) GOTO 3
IF(N.GT.2) GOTO 6
V0=1.-2.*R0/3.+R0**2/5.
VOL=V0*VV
ID=1
RETURN
6 A=8./((2.*N-3.)*(4.*N**2-1.))
B=2.*(R0/(4.*N**2-1.)-1./(N**2-1.))
C=VN-V0
AL=(-B-SQRT(B**2-A*C))/A
BT=R0-AL
DO 5 I=1,41
XX=(I-21)*.05
X(I)=DL2*(XX-DEL*XX**2)
IF(I.NE.21) R(I)=R0*(1.-AL*XX**(N-2)-BT*XX**N)
5 CONTINUE
R(21)=R0
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PROFE(ID)
COMMON X(41),R(41),VOL,VV,V0,DL,DEL,R0,R1,TH,ITH,FI,SIG
ID=0
DL2=DL/2.
R0=(R1/R0)**2
N=0
3 N=N+2
IF(V0.GE.(N+R0)/(N+1.)) GOTO 3
IF(N.GT.2) GOTO 6
V0=(2.+R0)/3.
VOL=V0*VV
ID=1
RETURN
6 AL=(N-1.)*(N+1.)*(1.-V0)-1.+R0)/2.
BT=(N+1.)*(1.-R0-(N-1.)*(1.-V0))/2.
DO 5 I=1,41
XX=(I-21)*.05
X(I)=DL2*(XX-DEL*XX**2)
IF(I.NE.21) R(I)=R0*SQRT(1.-AL*XX**(N-2)-BT*XX**N)
5 CONTINUE
R(21)=R0
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CAT1(M)
DIMENSION A(41),B(41),W(41),C(41),F(41),Q(41)
COMMON X(41),R(41),VOL,VU,V0,DL,DEL,R0,R1,TH,ITH,PI,SIG
IF(M.EQ.3) GOTO 3
ST=1.516
F0=0.318
HH=1.436
F1=0.508
AL=2.199
BT=4.000
GOTO 2
T=SIN(TH)
CT=COS(TH)
AL=ST**4
BT=(1.-CT)**2
D=ST*CT-TH
F1=((1.-CT)**2-AL-D**2)/(2.*D)
F0=F1+D
HH=TH+D
2 DO 1 I=1,41
  A(I)=ST*R(I)
  B(I)=F0*R(I)
  W(I)=HH*R(I)
1 C(I)=F1*R(I)
  P(21)=0.
  Q(21)=0.
  DO 4 II=1,20
  DO 4 IM=1,3,2
  M=IM-2
  I=21+M*II
P=I-M
DX=(X(I)-X(IP))**2
DR=(R(I)-R(IP))**2
P(I)=P(IP)+M*SQRT(DX+AL*DR)
4 Q(I)=Q(IP)+M*SQRT(DX+BT*DR)
PRINT 6
DO 7 I=1,41
7 PRINT 5,I,X(I),R(I),A(I),P(I),B(I),W(I),Q(I),C(I)
5 FORMAT(I8,3(3X,3F7.1))
6 FORMAT('      No  ___X___R___A___  ___P___B___W___',
  ___Q___C___')
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CAT2
  DIMENSION A1(41),A2(41),B1(41),B2(41),C1(41),C2(41),C3(41),
  *D1(41),D2(41),P(41),Q(41),U(41),V(41),FI3(43),FI6(43)
  COMMON X(41),R(41),VOL,UV,V0,DL,DEL,R0,R1,TH,ITH,PI,SIG
  DATA FI3/2.1548,2.1482,2.1413,2.1350,2.1281,2.1231,2.1158,
  *2.1098,2.1036,2.0976,2.0915,2.0852,2.0786,2.0725,2.0671,2.0610,
  *2.0559,2.0509,2.0452,2.0393,2.0347,2.0294,2.0240,2.0183,2.0133,
  *2.0086,2.0035,1.9991,1.9953,1.9897,1.9856,1.9811,1.9770,1.9729,
  *1.9688,1.9653,1.9606,1.9575,1.9526,1.9497,1.9455,1.9417,1.9390/
  DATA FI6/.8203,.8074,.7933,.7803,.7665,.7540,.7405,
  *.7268,.7138,.7006,.6877,.6751,.6610,.6479,.6357,.6225,
  *.6091,.5986,.5848,.5729,.5600,.5476,.5351,.5230,.5107,
  *.4983,.4870,.4737,.4629,.4510,.4393,.4271,.4151,.4039,
  *.3929,.3807,.3693,.3588,.3466,.3358,.3236,.3130,.3028/
  F3=FI3(ITH+1)
  F6=FI6(ITH+1)
  ST=SIN(TH)
  SF=SIN(F6)
  CF=COS(F6)
  F5=SF-F6+ST*CF
  EP=2.*(1.-CF)+ST**2+2.*ST*SF-(SF+ST*CF)**2
  SF=SIN(F3)
  CF=COS(F3)
  D=SF-F3+ST*CF
  AL=2.*(1.-CF)+ST**2+2.*ST*SF-(SF+ST*CF)**2
  F1=(AL+D**2-EP-F5**2)/(2.*(F5-D))
  F0=F1+D
  F2=(4.+(PI+ST)**2-AL-D**2)/(2.*(PI+ST+D))
  CT=2.*COS(TH)
  F4=(4.+(TH-ST)**2-EP-(TH-F5)**2-CT**2)/(2.*CT)
  GM=EP+(TH-F5)**2-F4**2
  FA1=TH-F5
  FA2=F1+F5
  FB1=F0
  FB2=F2+D
  FC1=PI-F2+ST
  FC2=ST
  FC3=TH-ST
  FD1=F4
  FD2=CT+F4
  DO 45 I=1,41
  A1(I)=FA1*R(I)
  A2(I)=FA2*R(I)
  B1(I)=FB1*R(I)
  B2(I)=FB2*R(I)
  C1(I)=FC1*R(I)
  C2(I)=FC2*R(I)
  C3(I)=FC3*R(I)
  D1(I)=FD1*R(I)
  45 D2(I)=FD2*R(I)
  P(21)=0.
  Q(21)=0.
  U(21)=0.
  V(21)=0.
  DO 46 II=1,20
  DO 46 IM=1,3,2
  M=IM-2

```

см. на след. стр.

```

I=21+M*II
IP=21+M*(II-1)
DX=(X(I)-X(IP))**2
DR=(R(I)-R(IP))**2
P(I)=F(IP)+M*SQRT(DX+AL*DR)
Q(I)=Q(IP)+M*SQRT(DX+4.*DR)
U(I)=U(IP)+M*SQRT(DX+EP*DR)
46 V(I)=V(IP)+M*SQRT(DX+GM*DR)
IE=27
IO=15
PRINT 47,IE,IO
DO 48 I=1,41
48 PRINT 49,I,X(I),R(I),U(I),A1(I),A2(I),P(I),B1(I),B2(I),
  *Q(I),C1(I),C2(I),C3(I),V(I),D1(I),D2(I)
IO=18
PRINT 50,IO
50 FORMAT(1X,A1)
49 FORMAT(I6,3X,2F7.1,2(4X,3F7.1),4X,4F7.1,4X,3F7.1)
47 FORMAT(1X,2A1,' No ___X___R___ ',
  *'___U___A1___A2___ ___P___B1___B2___ ',
  *'___Q___C1___C2___C3___ ___V___D1___D2___')
RETURN
END

```

Приложение 2. Катамаран "ЛЕРАКТ-88"

М.В. Сопрунов, В.Е. Юрин.

ЛЕРАКТ-88

ДВУХМЕСТНЫЙ КРУГЛЫЙ КАТАМАРАН

*** ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ***

ДЛИНА 310.0 см

МАКСИМАЛЬНЫЙ РАДИУС 23.5 см

РАДИУС ОКОНЕЧНОСТИ 4.7 см

НЕСИММЕТРИЧНОСТЬ 0.1

ОБЪЕМ 750.0 л

No	X	R	A	P	B	W	Q	C
1	-170.5	4.7	7.1	-174.8	1.5	6.7	-178.1	2.4
2	-161.2	8.9	13.6	-163.6	2.8	12.8	-165.5	4.5
3	-152.1	11.6	17.5	-153.7	3.7	16.6	-154.9	5.9
4	-142.9	13.5	20.5	-144.1	4.3	19.5	-145.0	6.9
5	-133.9	15.1	23.0	-134.8	4.8	21.7	-135.4	7.7
6	-125.0	16.5	25.0	-125.6	5.2	23.7	-126.1	8.4
7	-116.1	17.6	26.7	-116.6	5.6	25.3	-116.9	8.9
8	-107.3	18.6	28.2	-107.6	5.9	26.7	-107.9	9.4
9	-98.6	19.4	29.5	-98.8	6.2	27.9	-99.0	9.9
10	-89.9	20.2	30.6	-90.1	6.4	29.0	-90.3	10.2
11	-81.4	20.8	31.5	-81.5	6.6	29.9	-81.6	10.6
12	-72.9	21.4	32.4	-73.0	6.8	30.7	-73.1	10.9
13	-64.5	21.8	33.1	-64.5	6.9	31.4	-64.6	11.1
14	-56.1	22.2	33.7	-56.2	7.1	31.9	-56.2	11.3
15	-47.9	22.6	34.2	-47.9	7.2	32.4	-47.9	11.5
16	-39.7	22.9	34.7	-39.7	7.3	32.8	-39.7	11.6
17	-31.6	23.1	35.0	-31.6	7.3	33.2	-31.6	11.7
18	-23.6	23.3	35.3	-23.6	7.4	33.4	-23.6	11.8
19	-15.7	23.4	35.5	-15.7	7.4	33.6	-15.7	11.9
20	-7.8	23.5	35.6	-7.8	7.5	33.7	-7.8	11.9
21	0.0	23.5	35.6	0.0	7.5	33.7	0.0	11.9
22	7.7	23.5	35.6	7.7	7.5	33.7	7.7	11.9
23	15.3	23.4	35.5	15.3	7.4	33.6	15.3	11.9
24	22.9	23.3	35.3	22.9	7.4	33.4	22.9	11.8
25	30.4	23.1	35.0	30.4	7.3	33.2	30.4	11.7
26	37.8	22.9	34.7	37.8	7.3	32.8	37.8	11.6
27	45.1	22.6	34.2	45.1	7.2	32.4	45.2	11.5
28	52.4	22.2	33.7	52.4	7.1	31.9	52.4	11.3
29	59.5	21.8	33.1	59.6	6.9	31.4	59.6	11.1
30	66.6	21.4	32.4	66.7	6.8	30.7	66.8	10.9
31	73.6	20.8	31.5	73.8	6.6	29.9	73.9	10.6
32	80.6	20.2	30.6	80.8	6.4	29.0	81.0	10.2
33	87.4	19.4	29.5	87.7	6.2	27.9	88.0	9.9
34	94.2	18.6	28.2	94.6	5.9	26.7	95.0	9.4
35	100.9	17.6	26.7	101.5	5.6	25.3	101.9	8.9
36	107.5	16.5	25.0	108.3	5.2	23.7	108.9	8.4
37	114.1	15.1	23.0	115.2	4.8	21.7	116.0	7.7
38	120.6	13.5	20.5	122.0	4.3	19.5	123.2	6.9
39	126.9	11.6	17.5	129.1	3.7	16.6	130.8	5.9
40	133.3	8.9	13.6	136.5	2.8	12.8	139.0	4.5
41	139.5	4.7	7.1	145.4	1.5	6.7	149.5	2.4

ВСЕ РАЗМЕРЫ В САНТИМЕТРАХ, БЕЗ ПРИПУСКОВ НА ШВЫ

СЕЧЕНИЯ: 1-НОС, 21-МИДЕЛЕВОЕ, 41-КОРМА

РАСШИФРОВКУ ОБОЗНАЧЕНИЙ СМ. В П.4.3

Приложение 3. Катамаран "Рапира"

РАПИРА

Двухместный катамаран с наплывами

В.В. Кириллов, В.Е. Юрин (ЛЕРАКТ, Москва)

1989 г.

Длина (без оконечностей) 350.0 см
 Максимальный радиус поплавков 25.0 см
 Радиус оконечностей 5.0 см
 Угловой размер основных секций 180 град
 напльвов 180 град
 Объем основных секций 500 л
 напльвов 350 л
 Несимметричность нос-корма 10%

РАЗМЕРЫ ВЫКРОЕК

Характ. точки	No. сеч	Основная секция				Верх напльва		No. сеч	Вырез верха напльва		Торец напльва		
		X	R	Q	C	P	B		Y	V	Z	W	
Нос	1	-192.5	5.0	-194.5	3.9	-193.0	3.9	1	0.0	15.0	0.0	29.1	
	2	-182.0	8.5	-183.5	6.6	-182.0	6.6	2	3.9	14.8	3.9	28.7	
	3	-171.7	11.5	-172.2	9.0	-171.3	8.9	3	7.8	14.3	7.7	27.6	
	4	-161.4	14.0	-162.1	11.0	-160.8	10.9	4	11.7	13.4	11.3	25.9	
	5	-151.2	16.2	-151.7	12.7	-150.5	12.6	5	15.6	12.1	14.6	23.5	
	6	-141.1	18.0	-141.4	14.1	-140.3	14.0	6	19.6	10.6	17.6	20.6	
	7	-131.1	19.5	-131.3	15.3	-130.2	15.2	7	23.5	8.8	20.1	17.1	
	8	-121.1	20.8	-121.3	16.3	-120.3	16.2	8	27.4	6.8	22.2	13.2	
	1 попереч	9	-111.3	21.8	-111.4	17.1	-110.5	17.0	9	31.3	4.6	23.7	9.0
		10	-101.5	22.6	-101.6	17.7	-100.8	17.6	10	35.2	2.3	24.6	4.5
		11	-91.9	23.2	-91.9	18.2	-91.2	18.1	11	39.1	0.0	24.9	0.0
12		-82.3	23.7	-82.3	18.6	-81.7	18.5						
13		-72.8	24.1	-72.8	18.9	-72.2	18.8						
14		-63.4	24.4	-63.4	19.1	-62.9	19.0						
15		-54.1	24.6	-54.1	19.3	-53.6	19.2						
16		-44.8	24.8	-44.8	19.4	-44.5	19.3						
2 попереч		17	-35.7	24.9	-35.7	19.5	-35.4	19.4					
		18	-26.6	24.9	-26.6	19.6							
		19	-17.7	25.0	-17.7	19.6							
	20	-8.8	25.0	-8.8	19.6	Торцы напльва пришить к деке			/	-	-	+	
Миделевое	21	0.0	25.0	0.0	19.6								
	22	8.7	25.0	8.7	19.6	по сечениям 17 и 25			<				
	23	17.3	25.0	17.3	19.6								
	24	25.9	24.9	25.9	19.6								
3 попереч	25	34.3	24.9	34.3	19.5	34.0	19.4						
	26	42.7	24.8	42.7	19.4	42.3	19.3						
	27	50.9	24.6	50.9	19.3	50.5	19.2						
	28	59.1	24.4	59.1	19.1	58.6	19.0						
	29	67.2	24.1	67.2	18.9	66.7	18.8						
	30	75.2	23.7	75.2	18.6	74.6	18.5						
	31	83.1	23.2	83.2	18.2	82.5	18.1						
	32	91.0	22.6	91.0	17.7	90.3	17.6						
	4 попереч	33	98.7	21.8	98.8	17.1	98.0	17.0					
34		106.4	20.8	106.5	16.3	105.7	16.2						
35		113.9	19.5	114.2	15.3	113.3	15.2						
36		121.4	18.0	121.8	14.1	120.9	14.0						
37		128.8	16.2	129.4	12.7	128.4	12.6						
38		136.1	14.0	137.1	11.0	136.0	10.9						
39		143.3	11.5	144.7	9.0	143.6	8.9						
40		150.5	8.5	152.5	6.6	151.2	6.6						
Корма	41	157.5	5.0	160.3	3.9	159.0	3.9						

Расшифровку обозначений см. в п.4.5