

УДК 629.122

АНАЛИЗ СХЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ КАТАМАРАНОВ**Поликарпов Александр Алексеевич¹**, магистрант*e-mail:* lik445prot@yandex.ru**Астреин Сергей Павлович¹**, аспирант*e-mail:* theolklim260177@yandex.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются скоростные катамараны на подводных крыльях как альтернатива СПК. Приведен вариант совмещения многокорпусной схемы и подводных крыльев. По результатам расчетов можно сделать вывод о значительном уменьшении сопротивления движению катамарана на подводных крыльях, на примере классической многокорпусной схемой.

Ключевые слова: Катамаран на подводных крыльях, подводное крыло, сопротивление движению, число Фруда, CDF расчет.

ANALYSIS OF THE DYNAMIC UNLOADING SCHEME FOR CATAMARANS**Alexander A. Polikarpov¹**, Master's Degree Student*e-mail:* lik445prot@yandex.ru**Sergey P. Astrein¹**, Doctoral Student*e-mail:* theolklim260177@yandex.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper discusses high-speed hydrofoil catamarans as an alternative to hydrofoil boat. It presents an option for combining a multi-hull design with hydrofoils. Based on the calculations, it can be concluded that the resistance to movement of a hydrofoil catamaran is significantly reduced compared to a classic multi-hull design.

Keywords: Hydrofoil catamaran, hydrofoil, drag, Froude number, CDF calculation.

Введение

В настоящее время наиболее эффективный метод гидродинамической разгрузки судна – установка подводных крыльев. Идея метода заключается в создании подъёмной силы при движении за счет крыльевых устройств, что приводит к уменьшению смоченной поверхности корпуса и, как следствие, снижению вязкостного и волнового сопротивлений. Данный метод уже с середины прошлого века применяется на однокорпусных скоростных судах, именуемых судами на подводных крыльях (СПК), однако практически не

применяется на катамаранах, которые конкурируют в сфере скоростных гражданских перевозок с СПК. Установка на катамаран подводных крыльев (ПК) способствует исключению большинства преимуществ СПК над катамаранами и выигрышу вторых в конкурентной среде.

Для обоснования необходимости ПК для судна катамарана, следует выполнить сравнительный расчет сопротивления движения для судна катамарана без ПК и с ПК. Современные методы позволяют определить сопротивление движению при помощи CDF систем с точностью до 5%. В данном исследовании используется программный комплекс OpenFoam, позволяющей выполнять расчёты как для водоизмещающего режима, так и для движения на ПК.

Однако для получения точных результатов, необходимо подобрать методику проектирования, учитывающую возможность установки ПК на катамаран. Данный метод расчетов главных размерений, нагрузки масс и водоизмещения, описан в диссертационной работе Сахновского Э. Б. [1].

Проектная часть судна

По методике Сахновского [1] в качестве прототипа было выбрано действующее судно, с которого для проектного судна оставляем главные размерения прототипа. В процессе исследования расчет водоизмещения будет выполнен с условием увеличения пассажировместимости, изменением расположения пассажиров по салонам, увеличением дальности хода судна и эксплуатационной скорости.

Для определения водоизмещения судна необходимо вычислить массу металлического корпуса проектируемого судна, массу механизмов, массу разделов «В», «Г», «Д» и массу запасов. Для расчета массы корпуса необходимо сначала вычислить его удельный коэффициент по следующей формуле:

$$P'_k = 0,365 \cdot [\lg(L_{нб} \cdot B_{нб} \cdot H)] - 1,87 = 0,365 [\lg(34,8 \cdot 9,6 \cdot 3,3)] - 1,87 = 0,046 \quad (1)$$

где P'_k – удельный коэф. массы корпуса судна, т/м³;

$L_{нб}$ – наибольшая длина судна;

$B_{нб}$ – наибольшая ширина судна;

H – высота борта судна;

Далее определяем массу корпуса:

$$p_k = k_a \cdot p'_k \cdot L_{нб} \cdot B_{нб} \cdot H = 1,1 \cdot 0,046 \cdot 1102,46 = 55,26 \text{ т} \quad (2)$$

где K_a – коэф. учитывающий количество ярусов, 1.0 – при 1-ярусной надстройке; 1,1 при 2-ярусной надстройке с минимальным количеством пассажиров, размещаемых в салонах 2 яруса; 1,15 при 2-ярусной надстройке с равным распределением пассажиров.

Далее вычисляется масса механизмов проектируемого судна по формуле:

$$P_m = P_m = p'_m \cdot N_\Sigma = 0,0089 \cdot 3303,88 = 28,998 \text{ т} \quad (3)$$

где P'_m – удельный коэф. массы раздела «механизмы» прототипа

N_Σ – суммарная мощность ГД проектируемого судна

$$P'_m = m_p / N_{пр} = 17,9 / 2039,43 = 0,0089 \text{ т/кВт} \quad (4)$$

m_p – масса раздела «механизмы» прототипа;

$N_{пр}$ – суммарная мощность ГД прототипа;

Сумму разделов «В», «Г», «Д» рассчитывается по формуле:

$$\sum P_i = 0,035 \cdot L_{нб} \cdot B_{нб} = 0,035 \cdot 34,8 \cdot 9,6 = 11,693 \text{ т/м}^2 \quad (5)$$

Массу запасов высчитываем по формуле:

$$P = \frac{1}{0,77} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 1,09 \cdot 1,1 \cdot N_e \cdot R}{1000 V_s} + \frac{0,03 \cdot n_{п} \cdot R_{пл}}{24 V_s} \right) \\ = \frac{1}{0,77} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 1,09 \cdot 1,1 \cdot 3303,88 \cdot 800}{1000 \cdot 55} + \frac{0,03 \cdot 160 \cdot 800}{24 \cdot 55} \right) = 18,75 \text{ т} \quad (6)$$

где P_T – запасы топлива и масла (0,2 кг/кВт·час — удельный расход топлива главными двигателями; коэффициентами 1,09 учитывается расход топлива дизель- генераторами, а коэффициентом 1,10-расход и запасы масла);

P_v — запасы пресной воды (коэффициентом 0,77 учитываются масса экипажа, багажа и снабжения);

$$P_{пн} = 0,075 n_{п} = 0,075 \cdot 160 = 12 \text{ т}$$

0,075 т/чел - масса одного пассажира;

$n_{п}$ – 160 кол-во пассажиров;

Результаты расчета приведены в сводной таблице 1.

Таблица 1 – Определение водоизмещения методом Сахновского [1]

$L_{нб} \cdot B_{нб} \cdot H$	1102,46
Удельная масса корпуса, $p'_k = 0,365 [\lg (L_{нб} \cdot B_{нб} \cdot H)]^{-1,87} \text{ т/м}^3$	0.046
Масса корпуса $P_k = \kappa_a \cdot p'_k \cdot L_{нб} \cdot B_{нб} \cdot H, \text{ т}$	55,26 ($\kappa_a=1.1$)
Масса механизмов, $P_m = p'_m \cdot N_{\Sigma}, \text{ т}$	28,998
Масса разделов «В», «Г», «Д», $\sum P_i; = 0.035 \cdot L_{нб} \cdot B_{нб}, \text{ т}$	11,693
Водоизмещение порожнем, $D_1 = P_k + P_m + \sum P_i, \text{ т}$	95,951
Масса запасов $P = (P_T + P_v) / 0.77, \text{ т}$	18,75
Полезная нагрузка, $P_{пн} = 0.075 \cdot n_{п}, \text{ т}$	12
Дедвейт, $D_W = P_{пн} + P_z, \text{ т}$	30,75
Полное водоизмещение, $D_2 = D_1 + D_W, \text{ т}$	126,7
Колеблемость расчета $(D_2 - D) 100 / D, \%$ (D - водоизмещение натурного судна)	+7% (D=118 т)

CDF расчет по модели корпуса

По итогам предыдущего раздела было вычислено отличное (около 7%) от прототипа водоизмещение и как следствие новые обводы корпуса проектируемого катамарана. По обводам составляем 3D модель корпуса катамарана и генерируем на поверхности корпуса сетку, показанную на рисунке 2, предварительно введя зону расчетной области, представленной на рисунке 1.



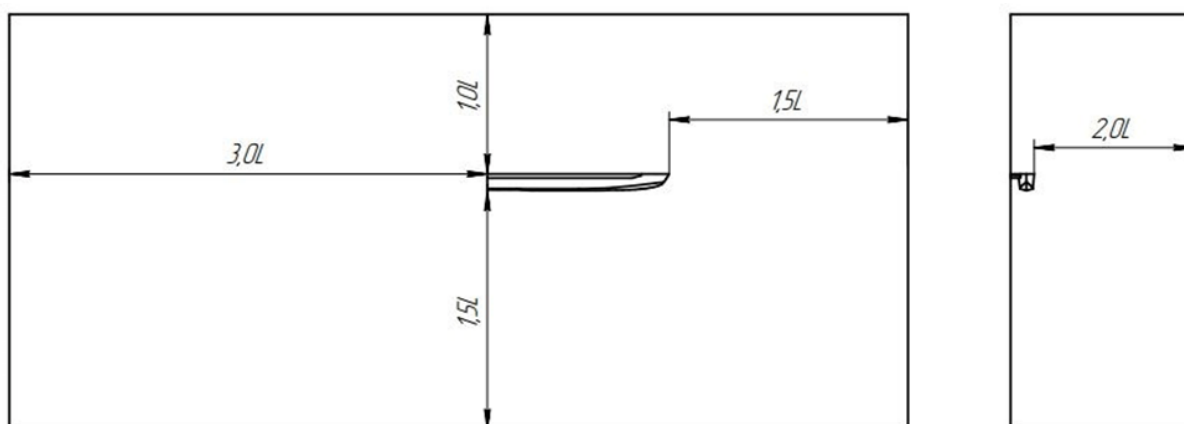


Рисунок 1 – Расчетная область CFD модели

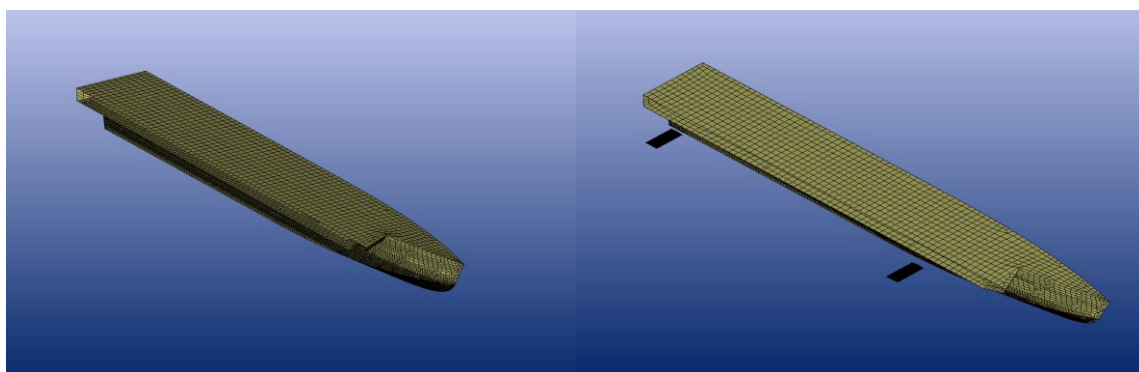


Рисунок 2 – Модель корпуса с разбитой сеткой с ПК и без ПК

После генерации сетки расчеты с помощью CDF систем производились на скоростях, предшествующих выходу катамарана на крылья и дальнейшего хода на них, для расчетного катамарана данный диапазон скоростей составляет от 40 до 65 км/ч или по числам Фруда от 0,6 до 1. В ходе расчета получаем данные по сопротивлению движению представленные в таблице 2, исходя из которых строим график (см. рисунок 3):

Таблица 2. Сопротивление движению судна

Fr	0,627	0,784	0,94	1,02
V, м/с	11,11	13,89	16,67	18,06
Без крыльев				
Fx кН	66,92	97,06	138,34	170,66
С крыльями				
Fx кН	79,26	109,1	107,8	105,98

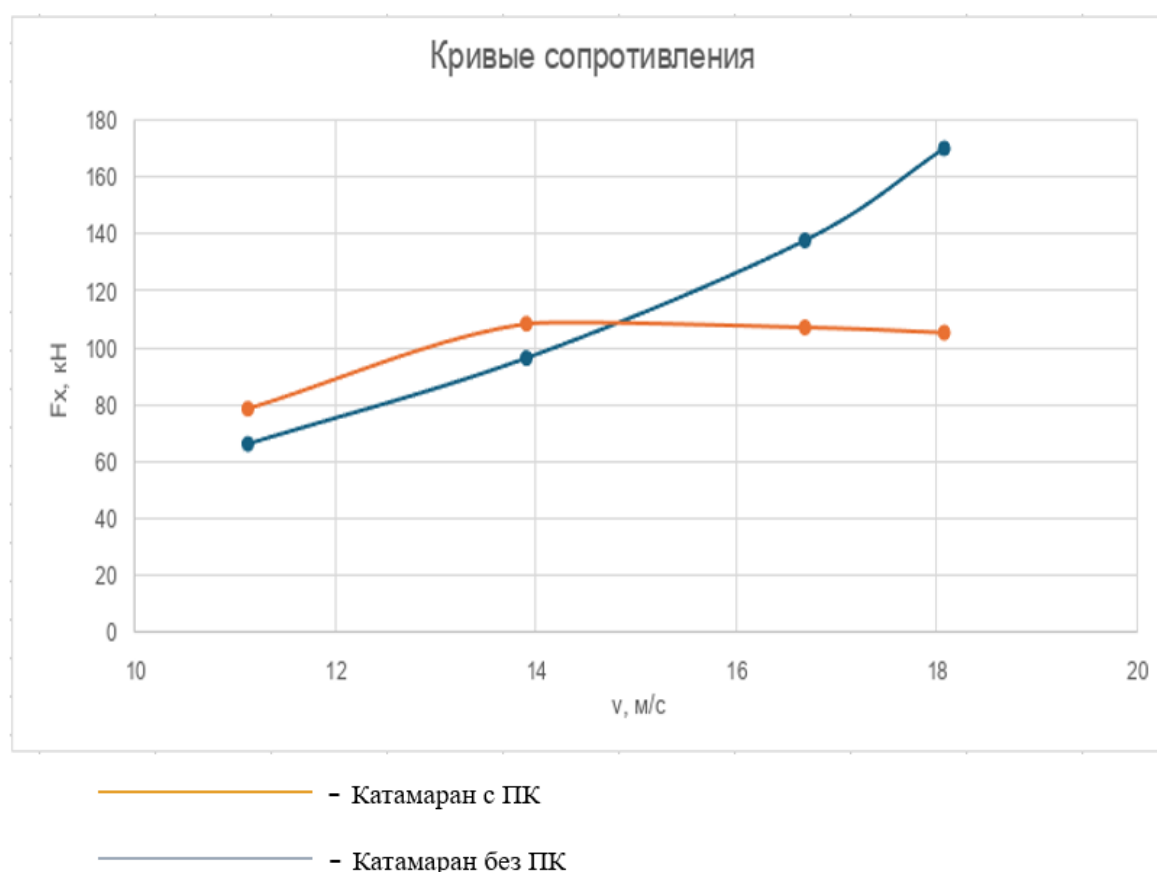


Рисунок 3 – График сопротивления движению

Исходя из данных графика, становится очевидно, что создаваемая крыльями подъемная сила мала и не может существенно разгрузить корпус катамарана до 52 км/ч. Это объясняется квадратичной зависимостью подъемной силы от скорости: $Y = C_y \cdot \frac{\rho V^2}{2} \cdot S$ [3], где C_y – коэффициент подъемной силы крыла (для плоских и слабоизогнутых профилей при малых углах атаки), ρ – плотность воды, V – скорость набегающего потока, S – площадь крыла. При малых скоростях ($V \approx 10$ м/с) динамическое давление $\rho V^2/2$ невелико, и крылья работают в режиме «недогрузки»: даже при максимальных допустимых углах атаки создаваемая подъемная сила составляет лишь 15–25 % от веса судна. Как следствие, катамаран сохраняет водоизмещающий режим, смачиваемая поверхность корпусов практически не уменьшается, а сами крылья дают дополнительное сопротивление движению. После 52 км/ч катамаран **выходит на крылья** – подъемная сила становится достаточной, чтобы приподнять корпуса из воды на 30–50 % их осадки. Это приводит к резкому уменьшению смоченной поверхности корпусов (в 2–3 раза). В результате

вязкостное сопротивление ($R_{тр} = S_{см} \cdot C_f$), где C_f – коэффициент трения по формуле Прандтля – Шлихтинга, падает пропорционально уменьшению $S_{см}$;

волновое сопротивление, которое в водоизмещающем режиме экспоненциально растёт с числом Фруда ($R_{волн} = e^{k \cdot Fr}$ при $Fr > 0,5$), после выхода на крылья стабилизируется, так как корпуса перестают генерировать интенсивную расходящуюся волновую систему. Программный комплекс OpenFoam позволяет визуально оценить высоту носовой расходящейся волны, что показано на рисунках 4-11.

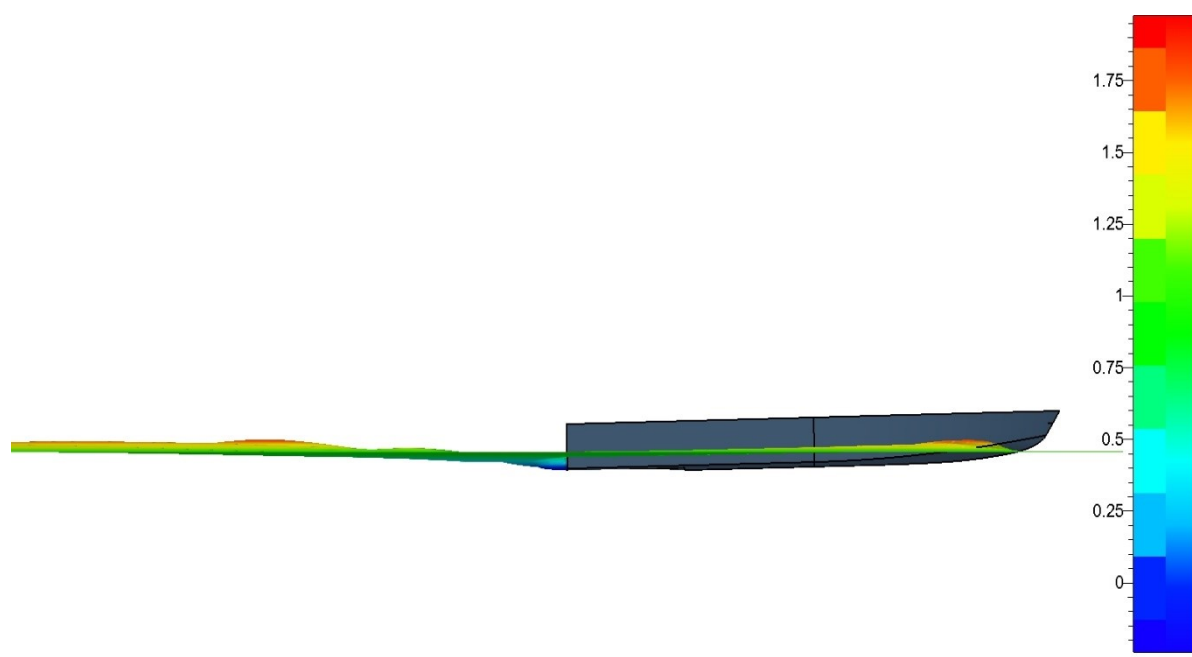


Рисунок 4 – Высота носовой волны при 40 км/ч (0,627 Фруда) без ПК

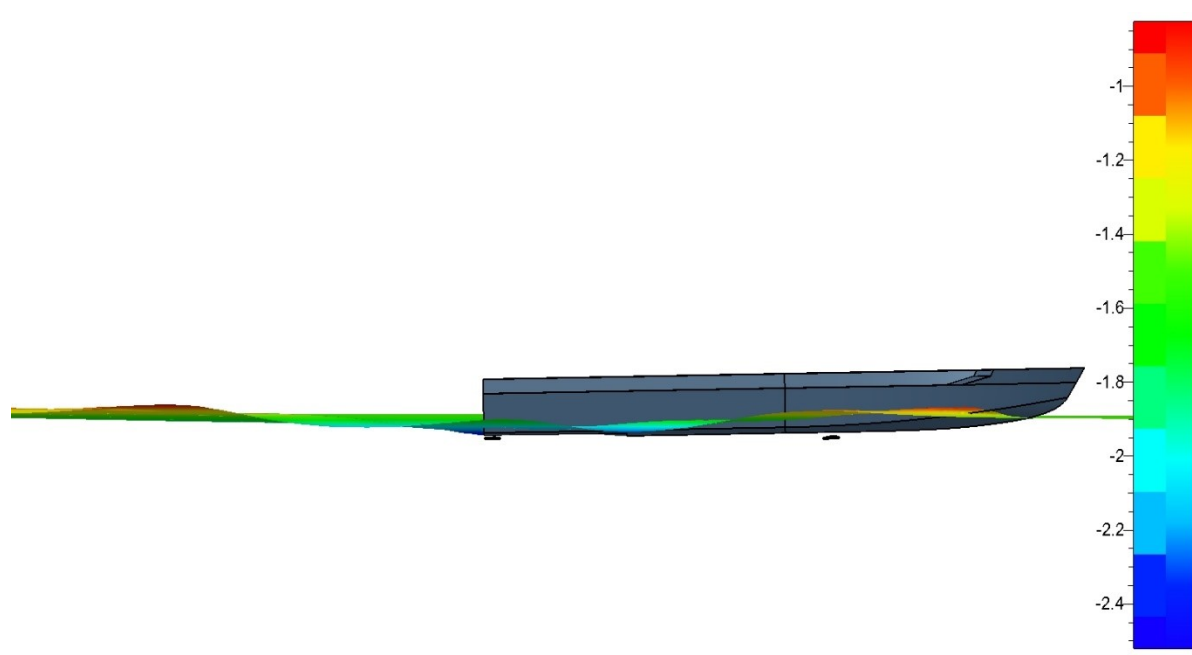


Рисунок 5 – Высота носовой волны при 40 км/ч (0,627 Фруда) с ПК

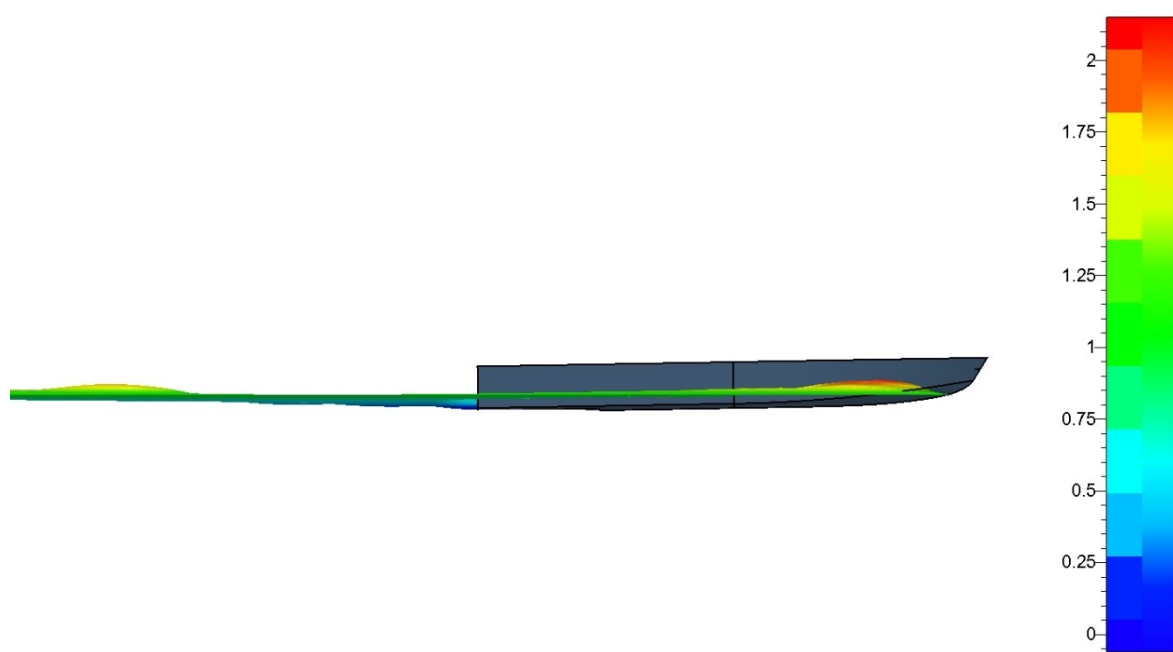


Рисунок 6 – Высота носовой волны при 50 км/ч (0,784 Фруда) без ПК

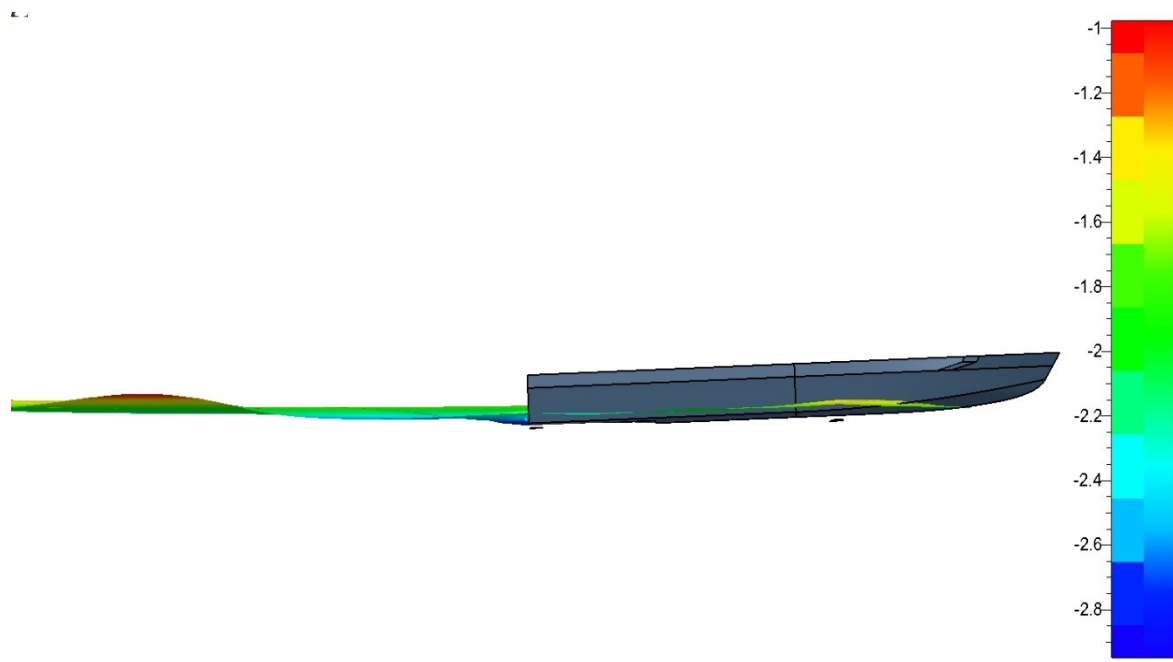


Рисунок 7 – Высота носовой волны при 50 км/ч (0,784 Фруда) с ПК

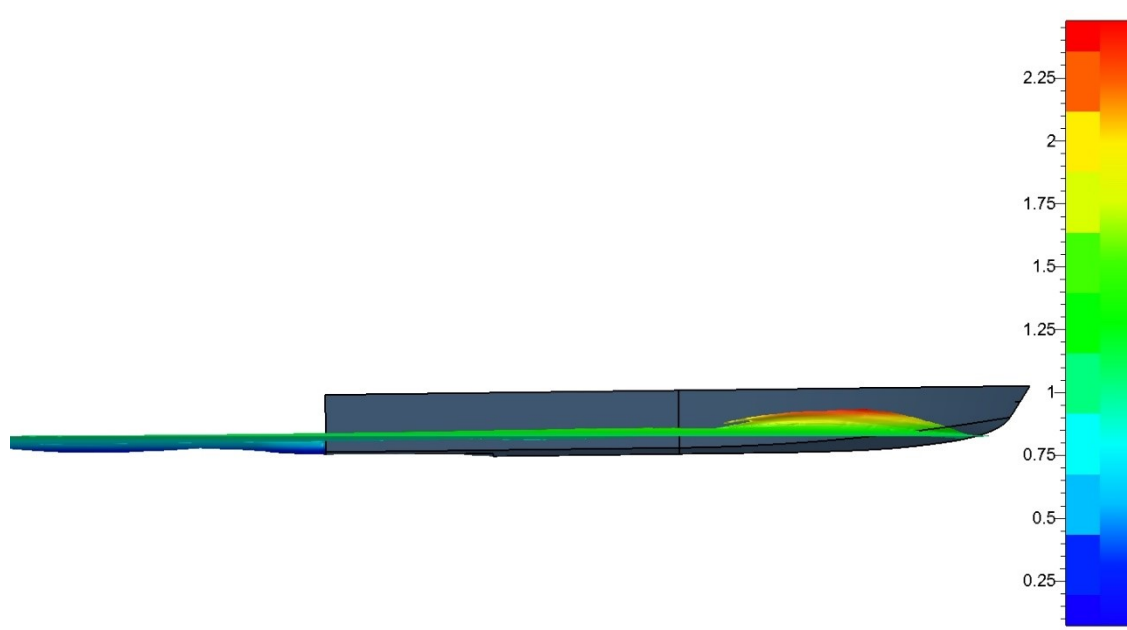


Рисунок 8 – Высота носовой волны при 60 км/ч (0,94 Фруда) без ПК

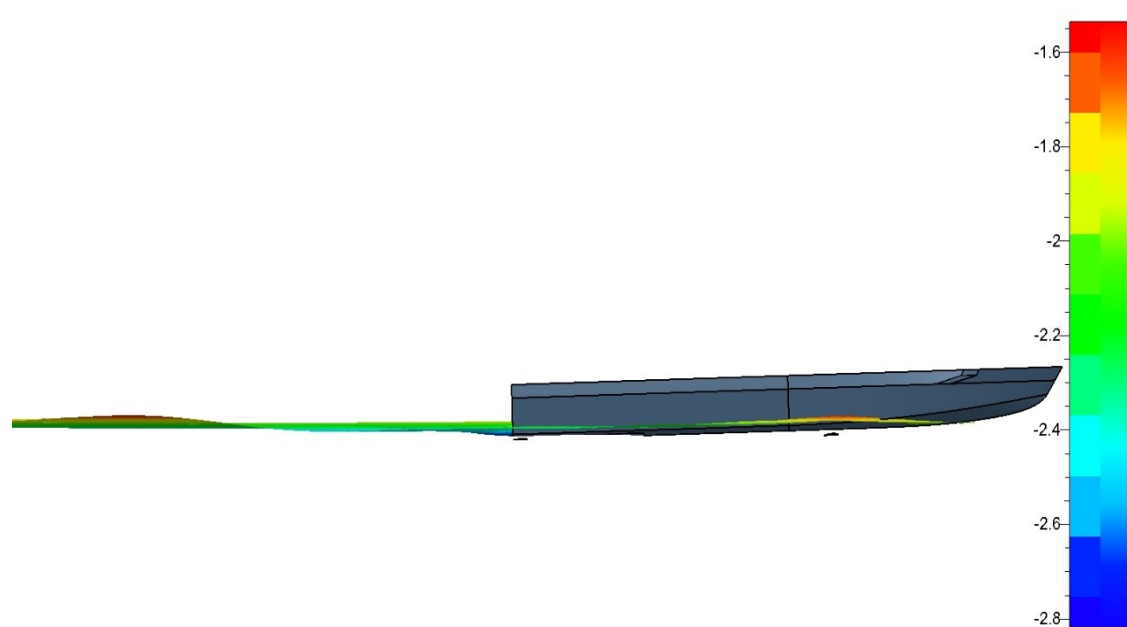


Рисунок 9 – Высота носовой волны при 60 км/ч (0,94 Фруда) с ПК

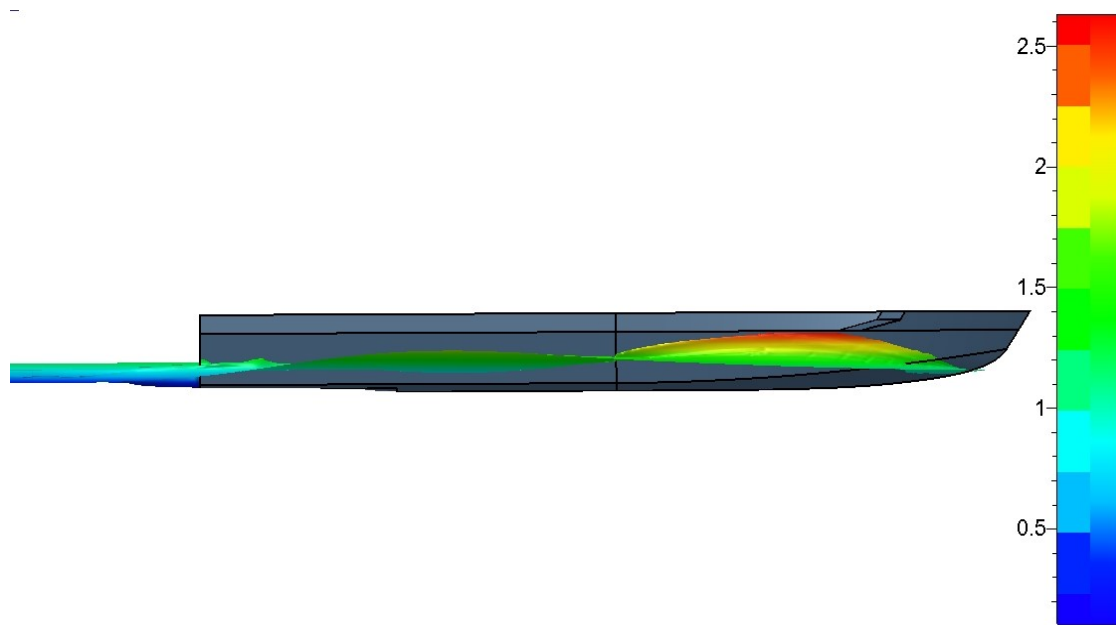


Рисунок 10 – Высота носовой волны при 65 км/ч (1,02 Фруда) без ПК

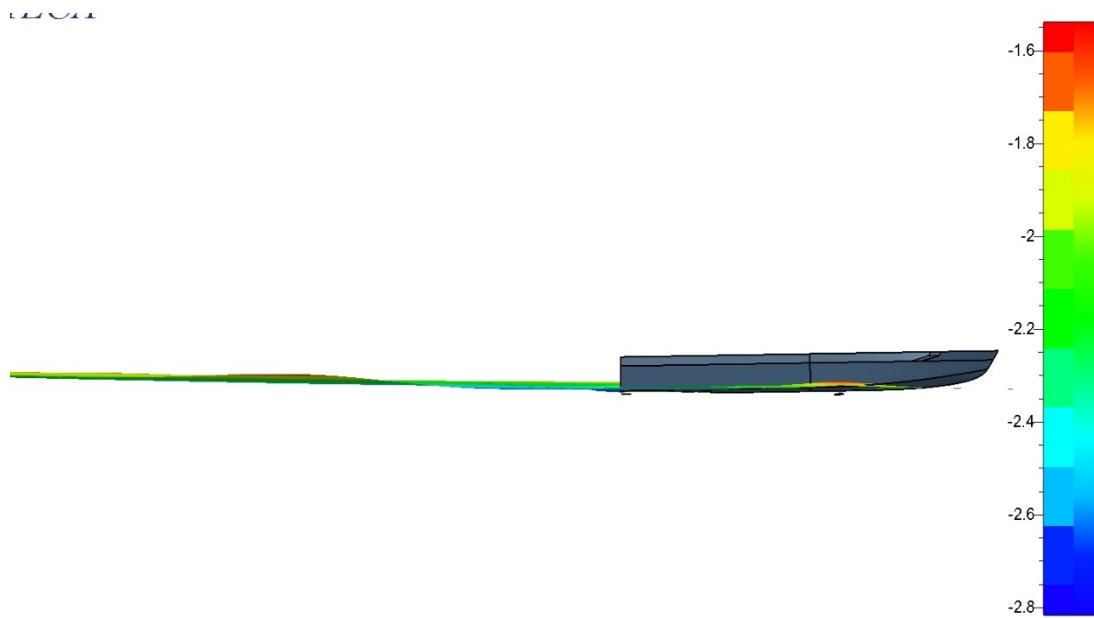


Рисунок 11 – Высота носовой волны при 65 км/ч (1,02 Фруда) с ПК

Заключение

По результатам исследования можно сделать вывод: установка крыльев на катамаран, предназначенный для эксплуатации на скоростях значения которых варьируются при числах Фруда до 0,8 (прогулочные, туристические, служебные рейсы), ведет только к экономическим и ресурсным потерям в виду повышенного сопротивления движению, потому что растет расход топлива, агрегаты СЭУ изнашиваются быстрее и стоимость постройки катамарана из-за установки ПК сильно возрастает. Но если затрагивать скоростные перевозки между регионами, то эксплуатация на скоростях выше 0,8 числа Фруда является нормой, и в таком случае подводные крылья становятся необходимостью из-за значительного меньшего сопротивления движению. В купе с достоинствами катамаранов установка ПК на катамаран является куда более перспективной схемой сравнительно с СПК при эксплуатации на равных числах Фруда.

Список литературы:

1. Сахновский Э.Б. Разработка методики проектного обоснования скоростных катамаранов с подводными крыльями: дис. ... канд. тех. наук: 05.08.03/ Сахновский Эдуард Борисович; науч. рук. А.Г. Ляховицкий - Санкт-Петербург, 2005. – 217 с.;
2. Ермолаев С.Г., Афрамеев Э.А., Тедер Л.А., Рабинович Я.С. Особенности гидродинамики быстроходных катамаранов. - Судостроение, 1976, № 8.
3. Егоров И.Т., Соколов В.Т. Гидродинамика быстроходных судов. - Л.: Судостроение, 1971.

