

УДК 629.12

**Назаров Альберт Георгиевич<sup>1</sup>**, к.т.н., генеральный директор  
e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

<sup>1</sup>ООО «АН Марин Консалтинг», г. Москва, Россия.

## ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАЛЫХ СУДОВ

*Аннотация.* Рассмотрено совершенствование динамических качеств малых судов в контексте сопротивления движению, движителей, устойчивости движения, маневренных характеристик, элементов мореходных качеств и действующих ускорений. Выполнен анализ применимости имеющихся методов и особенности оценки динамических качеств малых судов с точки зрения практики их проектирования. Подчеркивается необходимость комплексного подхода к рассмотрению динамики малого судна.

*Ключевые слова:* малые суда, высокоскоростные суда, проектирование, ходкость, мореходность, управляемость, безопасность.

В классической постановке динамические качества судна включают традиционные для теории корабля дисциплины: сопротивления движению, движителей, мореходности и управляемости. Однако, большинство современных малых судов движутся с высокими относительными скоростями, а их размеры обуславливают масштаб взаимодействия со стихией и быстроту манёвров. Для малых судов грани между отдельными из перечисленных качеств определить весьма сложно (рис.1): например, поддержание судном скорости напрямую связано обеспечением устойчивости его движения, а динамика разгона судна определяет кривую буксировочного сопротивления и выбор пропульсивного комплекса для возможности выхода на расчетный скоростной режим.

Особенность малых судов в том, что с учетом ограничений бюджета и сроков проектирования задача прогнозирования динамических характеристик решается или расчётным способом, или путем следования определенным канонам проектирования. В результате при испытаниях головного образца приходится сталкиваться с рядом проблем, которые устраняются уже на построенном судне. В этих условиях для повышения эффективности процесса создания новых моделей малых судов важнейшее значение приобретает разработка, систематизация и верификация расчётных методов.

### Ходкость

Ходкость малых судов рассматривается в контексте буксировочного сопротивления  $R$ , выбора мощности  $P_S$  и движителей [1,2] для достижения проектной скорости  $v_S$ . На основе проведенных модельных и натурных испытаний, автором выработаны рекомендации по применению расчетных методов при проектировании малых судов на гладкой воде и на волнении.

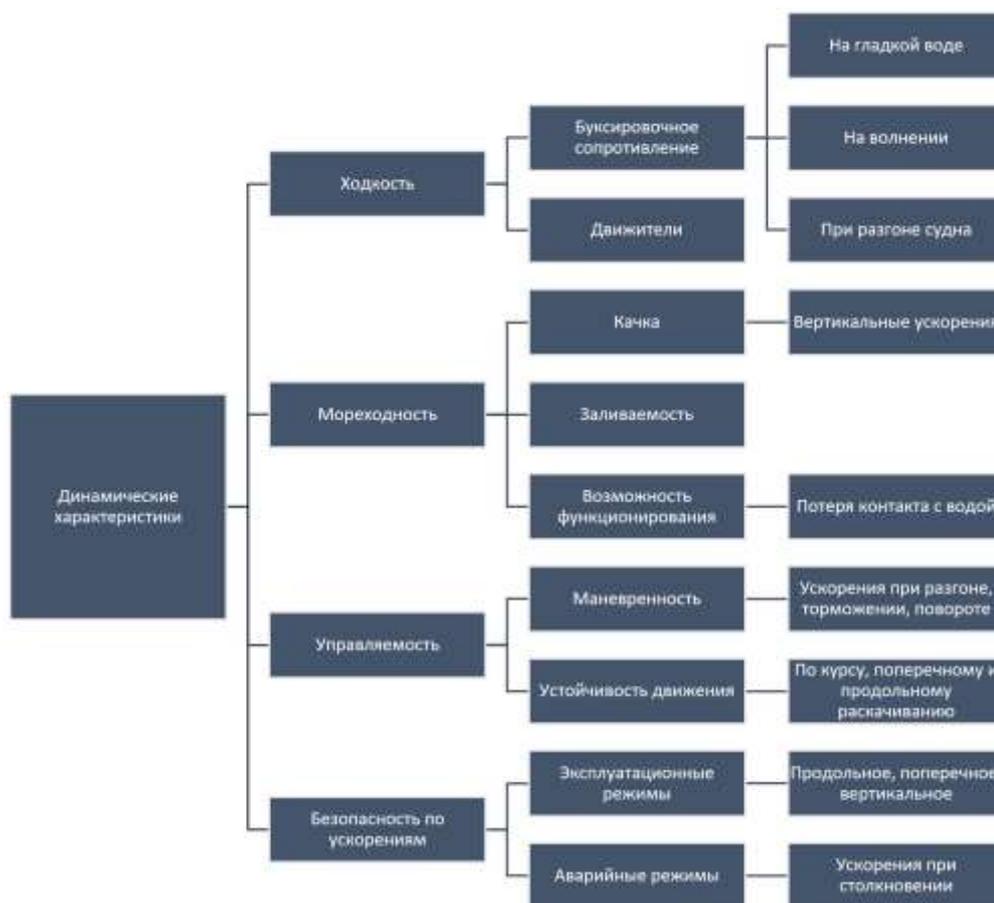


Рисунок 1 – Актуальные задачи динамики, решаемые при проектировании малых судов

Особое внимание уделяется тому факту, что при разгоне малого скоростного судна возникает значительная составляющая сопротивления, вызванная инерционными силами [3], что обуславливает медленный выход на глиссирование.

На малых судах используется широкий спектр пропульсивных комплексов, подбор которых осуществляется с привлечением компаний-производителей. Тем не менее, одной из задач проектировщика является оценка данных производителя на правдоподобность, поскольку последние в силу коммерческих интересов все чаще указывают оптимистичные и недостижимые на практике характеристики.

### Управляемость

В части маневренности, для малых судов первостепенный интерес представляют нормируемые параметры, это прежде всего тесты а) на разворот на  $180^\circ$  и б) отворот от препятствия на  $90^\circ$ , предусмотренные ISO11592. Определяется безопасная скорость маневра; основными критериями являются возможность выполнения маневра и сохранение контроля судоводителем.

Выполнены натурные исследования поворотливости малых судов с определением диаметра  $D_C$  и скорости  $v_C$  установившейся циркуляции, а также крена  $\theta_C$ . На основе результатов испытаний предложены зависимости для  $D_C$  судов катамаранного типа [4]. Для однокорпусных судов, для  $D_C$  может быть использована формула Левандовского [5].

Для ряда судов определены параметры маневра «крэш-стоп» (рис.2) с записью ускорений и тормозного пути судна; выработаны рекомендации по процедуре остановке катеров с водометными движителями.

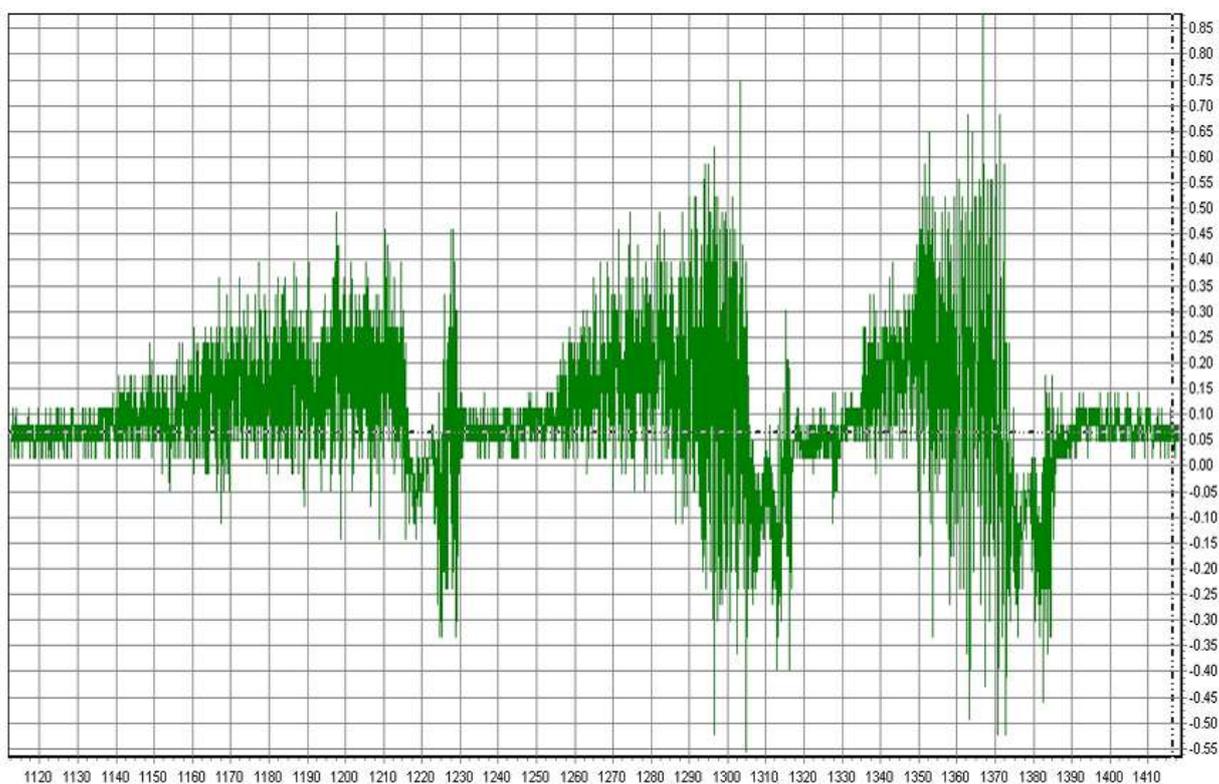


Рисунок 2 - Результаты замеров горизонтальных ускорений  $a_x/g$  при разгоне и торможении катера длиной 16м

### Мореходность

Мореходность малых судов оценивается прежде всего в контексте вертикальных ускорений  $a_z$ , действующих на судно, оборудование и людей, для обеспечения их работоспособности и комфорта. Выполнено больше количество натурных измерений вертикальных ускорений на малых судах разных типов [4] и выработаны рекомендации по их расчетному определению. Оценка вероятности потери контакта с водой может быть выполнена по рекомендациям Д.Блаунта [6].

Помимо комфорта и безопасности, уровень вертикальных ускорений является основным параметром при определении расчетных нагрузок для оценки прочности высокоскоростных судов (рис.3) [7].

### Безопасность по ускорениям

Комплексный анализ ускорений на малых судах является важнейшим фактором их комфорта и безопасности, но не всегда должным образом выполняется при проектировании. Можно выделить эксплуатационные ускорения (при нормальной эксплуатации) и аварийные (при столкновении, посадке на мель и т.д.) [4]. При рассмотрении эксплуатационных ускорений следует оценивать вертикальные ускорения при движении на волнении, безопасность разгона и торможения во избежание травмирования людей, поперечные ускорения на циркуляции для предотвращения катапультирования и т.д. Установлено, что при столкновениях малых судов уровень ускорений составляет (5...8)g (см.[4]), в то время как физически здоровый человек может удерживаться одной рукой при ускорении (0,3...0,8)g и двумя руками при (0,6...1,6)g. Указанные обстоятельства заставляют обоснованно выбирать размеры и скоростные режимы судов, а также обоснованно применять средства защиты от ускорений экипажа, персонала и пассажиров.

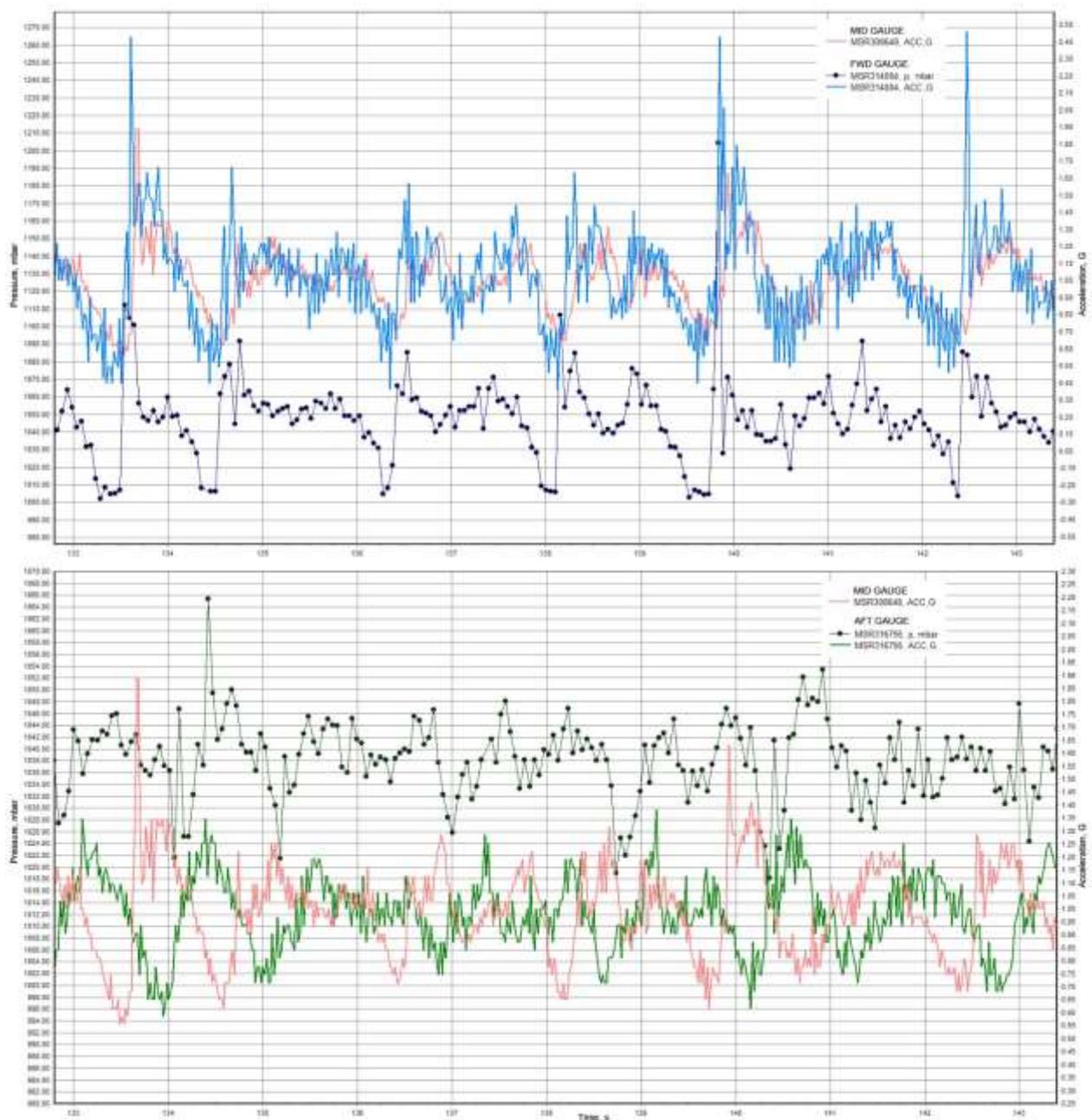


Рисунок 3 - Пример записи измерений вертикальных ускорений и слеминговых давлений на днище по времени, для катамарана длиной  $L_H=8.1$ м на скорости 21уз, встречное волнение значительной высотой  $h_{1/3}=0.34$ м. Показаны данные для носового (FWD), миделевого (MID) и кормового (AFT) датчиков

Кроме того, ускорения определяют нагрузки, действующие на судно – в частности, при столкновении на конструкции судна и критические элементы оборудования (рис.4).

### Заключение

При проектировании малых судов можно выделить три области технических решений, характерных для современного уровня развития техники:

- Область проверенных технических решений, включающая суда с достаточно типовыми обводами и  $v_S < 40$ уз. Технические решения в этой области позволяют уверенно применять расчетные методы и получить достаточно надежные результаты без использования модельных испытаний и постройки судов-прототипов.

- Область переходных технических решений, включающая суда с нетиповыми обводами или  $v_S > 40$  уз. Разработка проектов таких судов требует специальной квалификации, опыта и даже интуиции проектировщика.
- Область рискованных технических решений характера для судов новых типов или  $v_S > 50 \dots 60$  уз (или числами Фруда  $Fn_V > 8$ ). При проектировании судов, относящихся к этой области, как правило, требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований, включая модельные испытания и/или постройку и испытание прототипа.

Методы оценки динамических характеристик, которые рассмотрены в настоящей статье, положительно зарекомендовали себя при разработке проектов судов, принадлежащих первой и второй областям, а также для ряда судов из третьей области [3].

Основными факторами, определяющими современный прогресс в проектировании малых судов с точки зрения их динамических характеристик, можно назвать: а) снижением массы корпуса и оборудования б) повышение эффективности пропульсивных комплексов, а также средств управления ими в) новые дизайнерские решения, позволяющие обеспечить функциональность и безопасность судна. Накопление проектировщиками результатов испытаний построенных судов, разработка новых и верификация соответствующих расчетных методов является неперенным условием создания безопасных, функциональных и конкурентоспособных малых судов.

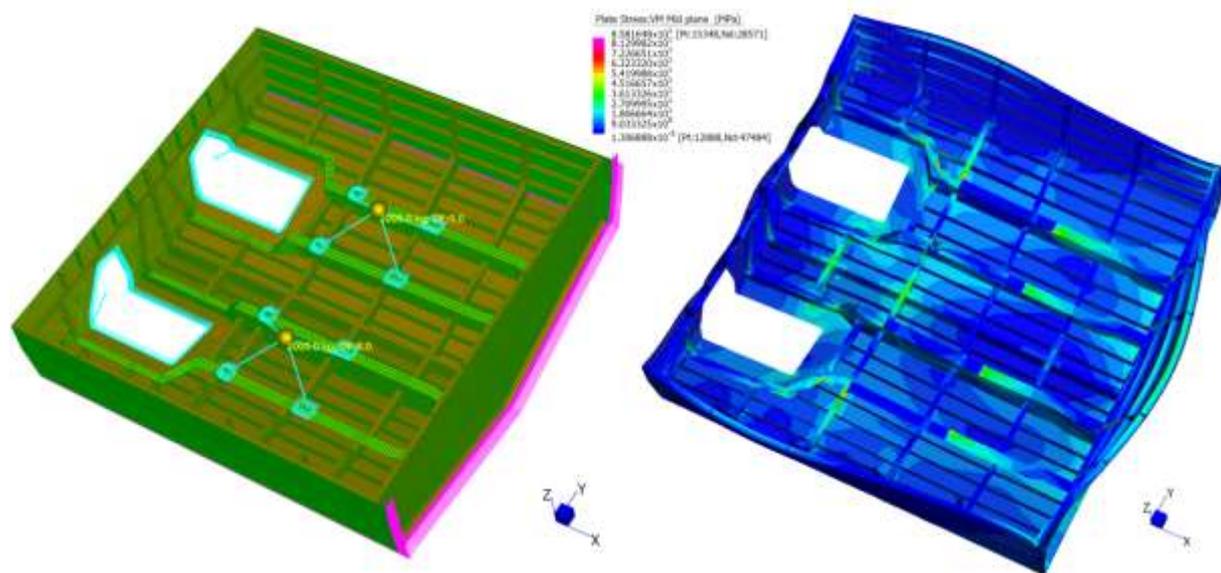


Рисунок 4 - Результаты МКЭ-моделирования машинного отделения алюминиевого катера длиной 18м на нагрузки при столкновении с ускорением  $a_x = 12g$

#### Список литературы:

1. Назаров, А.Г. Расчеты сопротивления малых судов //Катера и яхты. - 2012. - № 3 (237). - С.110-113.
2. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. Ship resistance and propulsion. 2nd edition. Cambridge University Press, 2017. - 626 p.
3. Назаров, А.Г. Особенности оценки ходовых качеств глиссирующих судов //Судостроение. - 2013. - №1(806). - С.24-30.
4. Назаров, А.Г. Особенности оценки ускорений при проектировании и эксплуатации малых высокоскоростных судов //Морской вестник - 2012. - №4 (44). - С.59-63.
5. Levandowski E.M. The Dynamics of Marine Craft. Maneuvering and Seakeeping. World Scientific, Advanced Series on Ocean Engineering: Volume 22, 2004. - 424 p.

6. Blount D.L. Performance by Design: Hydrodynamics for High-Speed Vessels. DLBA, 2014. - 342 p.
7. Nazarov A. Suebyiw P., Piamalung A. Experimental assessment of Impact Loads on Catamaran Structures// Design & Operation of Wind Farm Support Vessels, London, UK. 28-29 January 2015. - PP.75-84.

## **PROBLEMS OF IMPROVING DYNAMIC CHARACTERISTICS IN THE DESIGN OF SMALL CRAFT**

Albert G. Nazarov

*Abstract.* The improvement of the dynamic qualities of small craft in the context of towing resistance, propellers, stability of movement, maneuvering characteristics, elements of seaworthiness and effective accelerations is considered. An analysis of the applicability of the available methods and features of assessing the dynamic qualities of small craft from the point of view of their design practice has been carried out. The need for an integrated approach to the consideration of the dynamics of a small craft is emphasized.

*Keywords:* small craft, high-speed craft, design, propulsion, seaworthiness, controllability, safety.

