

DOI 10.15589/jnn20150409
 УДК 629.5.018.71
 К83

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE HULL LINES
 OF A CRUISING AND RACING YACHT ON TOWING RESISTANCE

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБВОДОВ
 КРЕЙСЕРСКО-ГОНОЧНЫХ ЯХТ
 НА БУКСИРОВОЧНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Aleksandr I. Krotov
 oleksandr.krotov@nuos.edu.ua
 ORCID: 0000-0001-8350-6418

Aleksey P. Yastreba
 oleksii.yastreba@nuos.edu.ua
 ORCID: 0000-0002-5505-1281

Alina O. Astakhova
 alina.astakhova@nuos.edu.ua
 ORCID: 0000-0002-8686-439X

А. И. Кротов
 канд. техн. наук, проф.

А. П. Ястреба
 ассист.

А. О. Астахова
 асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, г. Николаєв

Abstract. The study of the influence of the hull lines of a cruising and racing yacht on towing resistance has been represented. It deals with the experiment of towing the cruising and racing yachts: one with classic hull lines and another with modern ones. They are towed in a towing basin and in FlowVision at various speeds and without heeling or drift angle. Much attention is paid to the experiment in the towing basin and to the results obtained. The author focuses on the results obtained in the towing basin and Flow Vision software package and on comparing two models with different hull forms. The results demonstrate that the yacht with modern hull lines is faster than with classic ones and the results obtained by Flow Vision have relatively low accuracy when compared with the results obtained in the towing basin.

Keywords: cruising and racing yacht; towing basin; computational hydrodynamics; towing resistance; model tests.

Аннотация. Изложена методика проведения исследования влияния обводов крейсерско-гоночных яхт на буксировочное сопротивление с помощью вычислительной гидродинамики и проведения модельных испытаний.

Ключевые слова: крейсерско-гоночная яхта; опытовый бассейн; вычислительная гидродинамика; буксировочное сопротивление; модельные испытания.

Анотація. Викладена методика проведення дослідження впливу обводів крейсерсько-перегонових яхт на буксирувальний опір за допомогою обчислювальної гідродинаміки та проведення модельних випробувань.

Ключові слова: крейсерсько-перегонова яхта; дослідний басейн; обчислювальна гідродинаміка; буксирувальний опір; модельні випробування.

REFERENCES

- [1] Ziburdaev, L. V. *Nekotorye voprosy gidrodinamiki kreysersko-gonochnykh yakht* [Some problems of cruising and racing yachts hydrodynamics]. *Sbornik «Katera i yakhty» — «Motor boats and yachts» Collection*. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987, issue 5 (93), pp. 54–56.
- [2] Korol, Yu. M., Le Kuok Van. *Perspektivy ispolzovaniya programnogo kompleksa FlowVision v raschetakh soprotivleniya vody dvizheniyu glissiruyushchikh sudov* [Prospects of using of FlowVision software package in water resistance calculation for planning boats]. *Visnyk NUK — NUS Journal*. Electronic Editon, 2012, issue 2 (604), pp. 134–139.
- [3] Niekrasov, V. O., Ziburdaev, L. V. *Buksyruvalni vyprobuvannia modeli sudna na tykhii vodi pry rusi bez kuta dreifu* [Towing tests of a vessel model on still water without drift angle]. *Zbirnyk laboratornykh robot z doslidzhennia khodovosti sudna na tykhii vodi — Collection of laboratory works on the study of vessel rolling characteristic in still water*. Mykolaiv, NUK Publ., 2007. 60 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При проектировании новых судов перед яхтенным конструктором ставятся две общие задачи:

– изменяя параметры формы корпуса, оценивать, как эти изменения влияют на величину гоночного балла;

– одновременно оценивать влияние тех же изменений формы корпуса на абсолютную ходкость яхты.

Если первая задача в принципе проста и может быть решена расчетным путем, то вторая требует проведения систематических испытаний корпусов яхт и получения буксировочного сопротивления в зависимости от измененных параметров.

В связи с этим в настоящей статье предприняты попытки получения буксировочного сопротивления в зависимости от обводов крейсерско-гоночных яхт. Рассматривались крейсерско-гоночные яхты, район плавания которых Черное, Средиземное и Адриатическое море.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Еще со времен В. Фруда предпринимались попытки исследования ходовых качеств яхтенных корпусов в опытовых бассейнах.

Пожалуй, впервые наиболее полные исследования особенностей движения парусной яхты с учетом крена и дрейфа были выполнены американским профессором К. Дэвидсоном. В опубликованной им в 1936 г. основополагающей работе «К вопросу об экспериментальном изучении парусных яхт» предложена система уравнений, описывающих равномерное прямолинейное движение парусного судна; эта система используется до сих пор.

С появлением вычислительной техники в аэродинамике и гидродинамике начало развиваться направление CFD (Computer Fluid Dynamics) — численное моделирование динамики жидкости.

В конце 70-х гг. в Делфтском университете (Нидерланды) под руководством профессора Дж. Герритсма была испытана серия из 22 моделей яхт с систематически варьируемыми параметрами формы корпуса. Модели длиной 1,6 м испытывались с одинаковыми килями и рулями при различных углах крена и дрейфа. Появление Делфтской серии позволило рассчитывать гидродинамические характеристики практически любого «промежуточного» корпуса и анализировать их влияние на ходовые качества. В начале 90-х гг. параметры серии были расширены до 39 моделей за счет корпусов более легкого водоизмещения и дополнены расчетом сопротивления на волнении. В настоящее время эта методика является стандартной для расчета сопротивления парусных яхт.

Следует особо отметить, что первая в мире систематическая серия моделей корпусов яхт разработана именно в Советском Союзе, в Николаев-

ском кораблестроительном институте (ныне НУК им. адм. Макарова) Л. В. Забурдаевым еще до публикации Дельфтской серии. В диссертационной работе А. С. Стружилина (ЛКИ, 1987) исследованы вопросы гидроаэродинамики яхт в привязке к задачам их проектирования.

Сегодня в мире интерес к изучению динамики и научному подходу к проектированию и эксплуатации парусных судов настолько велик, что по данному направлению регулярно проводятся крупные конференции. Кроме того, парусная тематика регулярно «присутствует» на научно-технических конференциях по гидродинамике, проектированию судов и т.д.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — получение буксировочного сопротивления крейсерско-гоночных яхт с помощью вычислительной гидродинамики и модельных экспериментов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для изучения ходовых качеств яхт применяются следующие методы:

1. Систематические целенаправленные наблюдения за поведением яхт во время соревнований и крейсерских плаваний в различных условиях ветра и волнения.

В этом случае полезными являются следующие сведения.

Положение яхты относительно ветра и соседних яхт:

- крен;
- дрейф;
- угол перекладки руля;
- волнообразование вообще и, в частности, характеристики носовой и кормовой системы волн;
- относительное положение парусов.

2. Буксировочные испытания натурных яхт.

3. Метод модельных испытаний корпусов яхт в опытовом бассейне.

4. Методы вычислительной гидродинамики.

Модельные испытания в опытовом бассейне являются наиболее достоверным способом исследования гидродинамических характеристик крейсерско-гоночных яхт [1]. Но в настоящее время на первоначальных этапах проектирования для предварительной оценки ходкости различных вариантов проекта с целью отбора наиболее удовлетворяющих заданию вариантов используют методы вычислительной гидродинамики (CFD). Они позволяют расчетным путем получить полную картину обтекания, силовое воздействие потока на тело и закон его движения [2].

Для исследования влияния обводов крейсерско-гоночных яхт была выбрана яхта (проект *Esta 105*), которая имеет классические обводы — модель 1 (рис. 1) и, следуя современным тенденциям строительства крейсерско-гоночных яхт — модель 2 (рис. 2), которая имеет современные обводы с прямым форштев-



Рис. 1. Модель 1 (проект *Esta 105*)



Рис. 2. Модель 2

нем, широкой транцевой кормой и смещением центра величины (ЦВ) в корму от миделя. Главной задачей было исследование влияния обводов таких корпусов, не изменяя водоизмещение, наибольшую длину и ширину яхты (табл. 1).

Первым этапом исследования было получение кривой буксировочного сопротивления при различных скоростях хода с помощью программного обеспечения *Flow Vision*, которое основано на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики.

Для этого были созданы две твердотельные модели крейсерско-гоночных яхт в среде *Rhinoceros* (рис. 3–4), а также область расчета (рис. 5), созданная с помощью программы программы *CAD Solid Works*.

Результатом первого этапа исследования являются кривые зависимости буксировочного сопротивления от скорости хода (рис. 6), которые показали, что у модели 2 сопротивление уменьшается с увеличением скорости по сравнению с моделью 1 (табл. 2), а также получена картина волнообразования (рис. 7–8).

Таблица 1. Таблица данных

Данные	Модель 1	Модель 2
Длина наибольшая, м	10,5	10,5
Длина по ВЛ, м	8,006	9,016
Ширина наибольшая, м	3,66	3,66
Ширина по ВЛ, м	3,023	3,463
Осадка, м	0,52	0,377
Водоизмещение, кг	5000	5000
Площадь смоченной поверхности, м ²	18,54	22,435
Призматический коэффициент	0,538	0,534
Коэффициент общей полноты	0,406	0,415
Коэффициент полноты площади мидель-шпангоута	0,774	0,845
Коэффициент полноты площади ватерлинии	0,689	0,671
Отстояние ЦВ судна от миделя, м	-0,158	-0,644



Рис. 3. Твердотельная модель 1



Рис. 4. Твердотельная модель 2

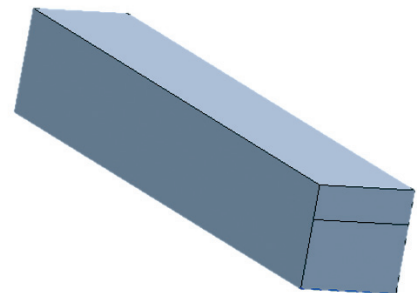


Рис. 5. Область расчета для *Flow Vision*

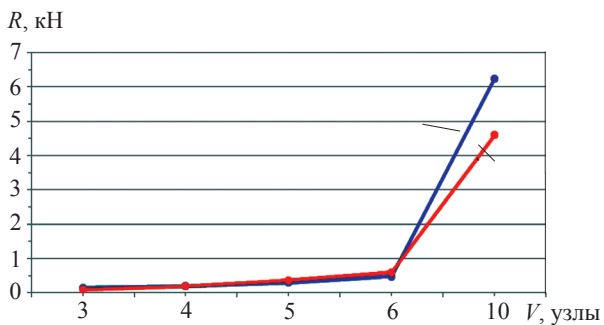


Рис. 6. Кривые буксировочного сопротивления:

1 — модель 1; 2 — модель 2

Таблица 2. Данные буксировочного сопротивления в *Flow Vision*

Скорость, узлы	Сопротивление, модель 1, кН	Сопротивление, модель 2, кН
3	0,12	0,11
6	0,48	1,4
10	6,25	4,6

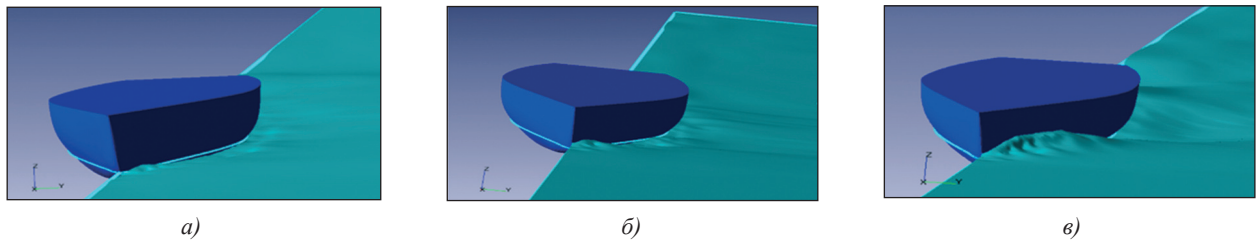


Рис. 7. Картина волнообразования модели 1:
а — при 3 узлах; б — при 6 узлах; в — при 10 узлах

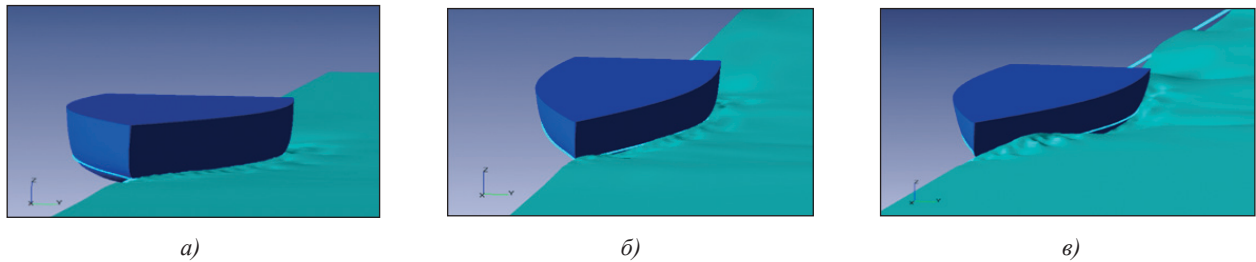


Рис. 8. Картина волнообразования модели 2:
а — при 3 узлах; б — при 6 узлах; в — при 10 узлах

Вторым этапом было экспериментальное исследование влияния обводов крейсерско-гоночных яхт на буксировочное сопротивление.

Для этого были изготовлены две модели в масштабе 1:10 (рис. 9–10) и проведена буксировка в опытном бассейне Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова (НУК) при различных скоростях хода на тихой воде без угла дрейфа [3].

Опытный бассейн НУК имеет длину 32,5 м, ширину 2,5 м и высоту 1,5 м. В процессе модельного эксперимента значения характеристик движения моделей определяются с помощью датчиков перемещения и скоростей и датчика определения ходового дифферента.

Модели яхт изготавливались по теоретическому чертежу. Сначала модель обрабатывалась на копировально-фрезерном станке опытового бассейна НУК по теоретическим ватерлиниям. Дальнейшая доработка поверхности моделей проводилась вручную.

В результате проведенных испытаний и пересчете данных на натуре экспериментального исследования сопротивления воды движению судна, в основу которого положена теория динамического подобия потоков, были получены кривые зависимости буксировочного сопротивления от скорости хода (рис. 11) с картиной волнообразования (рис. 12–13).

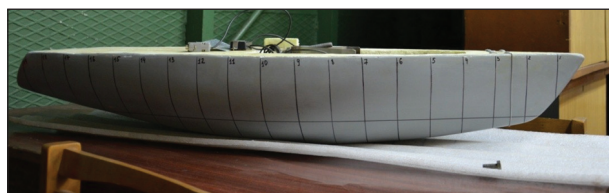


Рис. 9. Модель 1

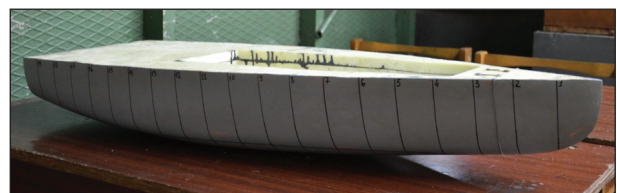


Рис. 10. Модель 2

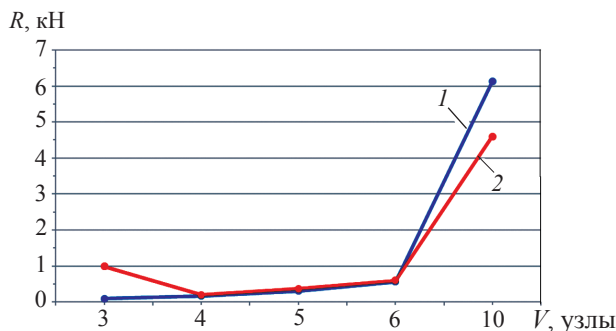


Рис. 11. Кривые буксировочного сопротивления:
1 — Модель 1; 2 — Модель 2

Таблица 3. Данные буксировочного сопротивления в опытном бассейне

Скорость, узлы	Сопротивление, модель 1, кН	Сопротивление, модель 2, кН
3	0,0954	0,0913
4	0,175	0,195
5	0,317	0,366
6	0,562	0,644
7	1,483	1,244
8	2,998	2,268
9	4,971	4,312
10	6,127	5,724

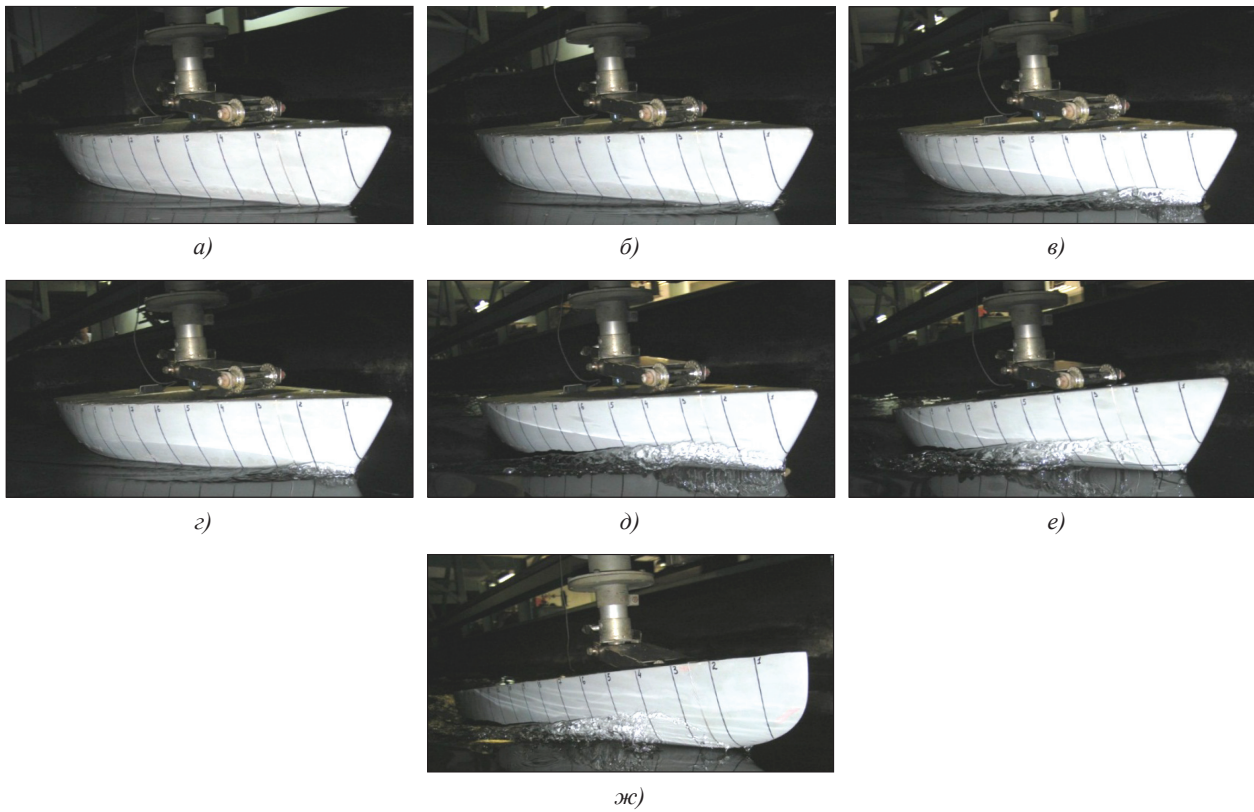


Рис. 12. Волнообразование модели 1 при скорости хода:
a — 3 уз.; *б* — 4 уз.; *в* — 5 уз.; *г* — 7 уз.; *д* — 8 уз.; *е* — 9 уз.; *ж* — 10 уз.

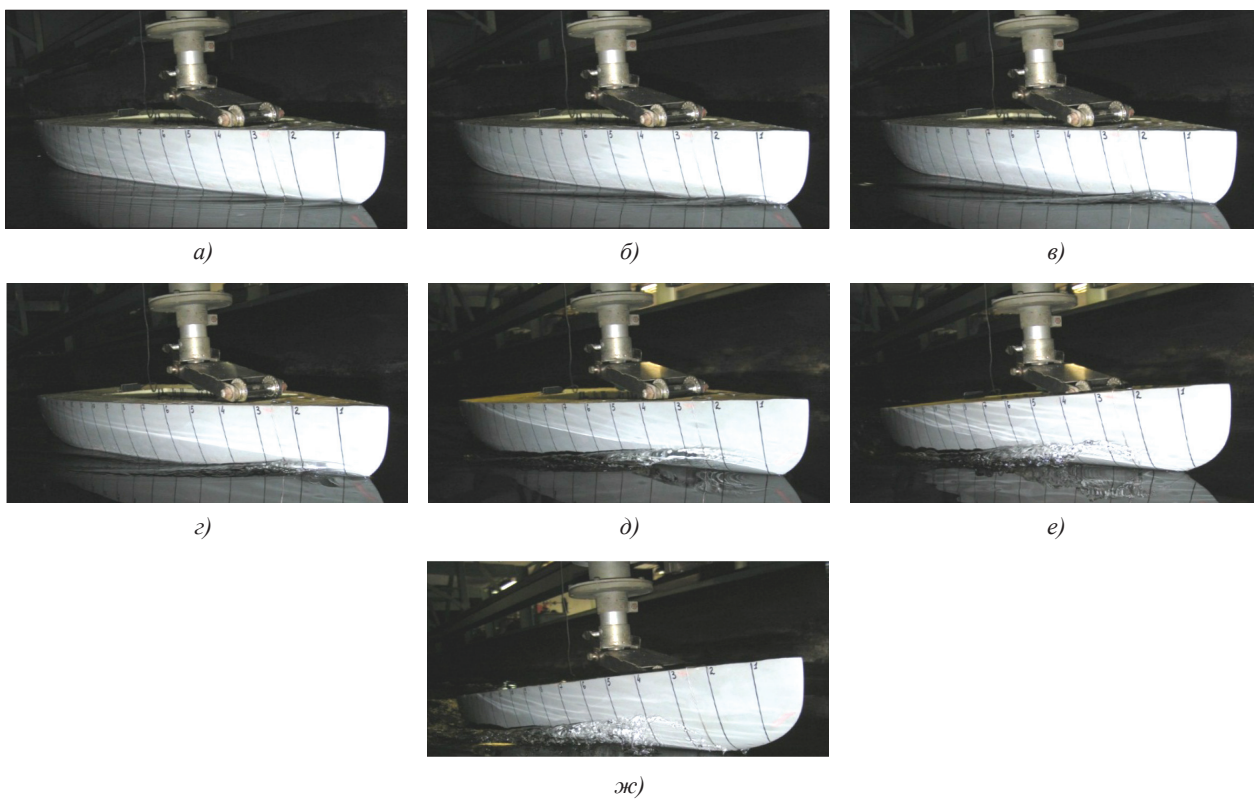


Рис. 13. Волнообразование Модели 2 при скорости хода:
a — 3 уз.; *б* — 4 уз.; *в* — 5 уз.; *г* — 7 уз.; *д* — 8 уз.; *е* — 9 уз.; *ж* — 10 уз.

ВЫВОДЫ. 1. В результате проведенных испытаний были получены кривые зависимости буксировочного сопротивления от скорости хода двумя способами: с помощью вычислительной гидродинамики и модельного эксперимента.

2. Получена картина образования волн при движении судна с заданной скоростью.

3. Испытания показали, что сопротивление модели 2 уменьшается по сравнению с моделью 1 на интервале 7–10 узлов на 15%.

4. Максимальное отклонение результатов, полученных с помощью *Flow Vision* и в опытовом бассейне, для модели 2 составляет 25%, а для модели 1 — 20%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Забурдаев, Л. В.** Некоторые вопросы гидродинамики крейсерско-гоночных яхт [Текст] / Л. В. Забурдаев // Научно-популярный и спортивный сборник «Катера и яхты». — Л. : Судостроение, 1987. — № 5 (93). — С. 54–56.
- [2] **Король, Ю. М.** Перспективы использования программного комплекса FlowVision в расчетах сопротивления воды движению глиссирующих судов [Текст] / Ю. М. Король, Ле Куок Ван // Вісник НУК. — 2012. — № 2 (604). — С. 134–139.
- [3] **Некрасов, В. О.** Буксирувальні випробування моделі судна на тихій воді при русі без кута дрейфу [Текст] / В. О. Некрасов, Л. В. Забурдаєв — Збірник лабораторних робіт з дослідження ходовості судна на тихій воді. — Миколаїв : НУК, 2007. — 60 с.

© О. І. Кротов, О. П. Ястреба, А. О. Астахова

Надійшла до редколегії 20.07.2015

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов