

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE COURSE STABILITY
OF A TOWED BARGE MODEL****K. M. Ushakov^{1,2} Yu. V. Yatsuk¹**¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation² — Forss Tekhnologii, Ltd., St. Petersburg, Russian Federation

The course instability problem of towed objects is discussed in the paper. It is noted that many non-self-propelled vessels do not have directional stability, as a result of which they make oscillatory movements relative to the course of the towing ship. Increased yaw rate leads to a decrease in towing speed, an increase in loads on the elements of the towing device and a significant increase in the width of the running lane. These factors can lead to an emergency and significantly complicate the towing process, especially on inland waterways. Two main ways to increase directional stability are considered. These are towing “on V-line”, that is a system in which the towing rope is divided into two parts and attached to two points of the towed barge, located symmetrically relative to the centerline, and the installation of skegs in the stern. To determine the effect of these methods, tests of a model of the mixed river-sea navigation oil barge 2731 are carried out in calm deep water conditions in the experimental tank of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. The root end of the towing rope is attached to the pylon of the towing tank trolley and, thus, the reverse influence of the barge on the characteristics of the tug movement is not taken into account. Sixteen options are considered. The half-width of the running lane is taken as a criterion for the stability of barge movement. As follows from the test results, with increasing towing speed and towing rope length, the width of the running lane increases slightly. The installation of end washers on the skegs has no effect on the stability of the barge. To reduce the width of the running lane occupied by the barge, it is recommended to use towing “on the V-line” and use skegs with fixed flaps.

Keywords: Ship, barge, course stability, ship model test, towing test, skeg, ship maneuverability, ship towing, towrope.

For citation:

Ushakov, Konstantin M., and Yury V. Yatsuk. “Experimental study on the course stability of a towed barge model.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.6 (2023): 1066–1075. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1066-1075.

УДК 629.5.017.23:629.5.018.717:[656.618.1:656.628.1]**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
МОДЕЛИ БУКСИРУЕМОЙ БАРЖИ****К. М. Ушаков^{1,2}, Ю. В. Яцук¹**¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация² — ООО «Форсс технологии», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрена проблема рыскливости буксируемых объектов. Отмечается, что многие несамоходные суда не обладают курсовой устойчивостью, вследствие чего совершают колебательные движения относительно курса буксировщика. Повышенная рыскливость приводит к снижению скорости буксировки, увеличению нагрузок на элементы буксирного устройства и значительному увеличению ширины ходовой полосы. Данные факторы могут явиться причиной возникновения аварийной ситуации и существенно осложнить процесс буксировки, особенно на внутренних водных путях. Рассмотрены два основных способа повышения курсовой устойчивости: буксировка «на усах», т. е. такая система, при которой буксирный канат разделяется на два и крепится к двум точкам буксируемого судна, расположенным симметрично относительно диаметральной плоскости, а также установка стабилизаторов в кормовом подзоре. Для определения эффективности этих способов в опытовом бассейне Государственного университета морского и речного флота имени адмирала Макарова были выполнены испытания модели нефтеналивной баржи смешанного

река – море плавания пр. 2731 в условиях тихой глубокой воды. Коренной конец буксирного каната крепился к пилону тележки опытового бассейна и, таким образом, обратное влияние баржи на характеристики движения буксира не учитывались. Было рассмотрено шестнадцать вариантов решений, большинство из которых были испытаны при нескольких скоростях буксировки. В качестве критерия устойчивости движения баржи была принята полуширина ходовой полосы. Как следует из результатов испытаний, при увеличении скорости буксировки и длины буксирного троса ширина ходовой полосы несколько возрастает. Установка концевых шайб на стабилизаторах практически не оказывает влияния на устойчивость движения баржи. Для уменьшения ширины ходовой полосы, занимаемой баржей, рекомендуется применять буксировку «на усах» и использовать стабилизаторы с неподвижными закрывками.

Ключевые слова: судно, баржа, модельные испытания, рыскливость, управляемость судов, устойчивость на курсе, буксировка, кормовой стабилизатор, буксирный канат.

Для цитирования:

Ушаков К. М. Экспериментальное исследование курсовой устойчивости модели буксируемой баржи / К. М. Ушаков, Ю. В. Яцук // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 6. — С. 1066–1075. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-1066-1075.

Введение (Introduction)

В процессе буксировки крупнотоннажной нефтеналивной баржи пр. 2731 было выявлено, что судно обладает повышенной рыскливостью, существенно затрудняющей работу буксира. Известно также, что аналогичные сложности возникали ранее при буксировке барж с большими коэффициентами общей полноты и малой относительной площадью стабилизаторов (например, пр. 81100 и пр. 81540). Для барж пр. 3173/326 в порожнем состоянии опасные явления, связанные с повышенной рыскливостью, наблюдались не только при буксировке, но и на стоянке в акваториях с относительно сильным течением. Изначально эти суда были переоборудованы из теплоходов пр. 326, а существующие рули развернуты и зафиксированы под углом 6° к диаметральной плоскости. Добиться повышения устойчивости удалось перекладкой и фиксацией внутренних рулей на 45° , а внешних — на 80° , что привело к значительному увеличению буксировочного сопротивления. Следует отметить, что Правилами классификационных обществ и иными международными и национальными нормативными документами устойчивость на курсе буксируемых объектов не регламентируется [1].

Цель данного исследования заключалась в экспериментальной оценке эффективности мероприятий, направленных на снижение рыскливости барж до уровня, соответствующего требованиям обеспечения безопасности судоходства.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Проблеме курсовой устойчивости буксируемых объектов посвящено достаточно большое количество работ. Во многих из них исследованы вопросы математического моделирования движения баржебуксирных составов. Так, в статье [2] предпринята попытка создания методологии оценки применимости различных видов математических моделей для процесса управления движением буксирного состава. Авторами [3] рассматривается курсовая устойчивость буксируемого судна при ветре. Варьировались скорость и направление ветра, скорость буксировки, длина и натяжение буксирного троса. При этом буксирный трос заменялся жестким стержнем, а динамические свойства буксировщика не учитывались.

Результаты математического моделирования позволили выявить наиболее опасный с точки зрения натяжения троса курсовой угол ветра, а также показали, что при буксировке «по ветру» амплитуда колебаний буксируемого объекта существенно возрастает. В [4] показано, что при моделировании необходимо учитывать гибкость и удлинение буксирного каната, а также предложен способ учета этих факторов в математической модели. К общим недостаткам ранее указанных работ можно отнести условность определения гидродинамических характеристик буксируемого объекта. Автор [5] при помощи численного эксперимента предпринял попытку определить критерии, характеризующие устойчивость движения буксируемого объекта. В работе [6] эти характеристики определялись с помощью модельного эксперимента.

В численном эксперименте было исследовано влияние на курсовую устойчивость длины буксирного троса, размеров буксира, а также положения точки крепления буксирного троса по длине и ширине. Буксирный трос моделировался цепной линией. В работе [7] приведены результаты исследования курсовой устойчивости баржи, в частности рыскливость и способность следовать за буксиром по криволинейной траектории. В статье [8] рассмотрена курсовая устойчивость поврежденной баржи, в том числе в случаях несимметричного затопления. В приведенных работах отсутствуют рекомендации по улучшению устойчивости буксируемых объектов. Авторы [9] рассматривают результаты исследования процесса буксировки баржи, при этом варьируют способ буксировки на прямом тросе или на «усах», а именно длину троса и «усов». Показано, что буксировка на «усах» позволяет существенно снизить рыскливость буксируемого объекта. В статье [10] приводятся расчеты движения буксируемого судна, совершающего автоколебания, при их компенсации действием руля буксируемого судна. Такой способ применим только при буксировке самоходных судов и в случае, когда может быть использовано рулевое устройство.

Автором работы [11] рассмотрены колебания баржи по курсу как затухающие, а в качестве критерия устойчивости принят коэффициент диссипации колебаний M :

$$\theta = \theta_0 \cdot \exp(-t / T_D); M = \Delta\theta / \theta_m,$$

где θ — курс баржи;

θ_0 — начальное курсовое отклонение баржи от направления движения буксира;

θ_m — экстремальное значение курса в пределах рассматриваемого периода;

$\Delta\theta$ — уменьшение экстремального значения курса за период;

t — время;

T_D — период колебаний по курсу.

Основные выводы в работе [11] заключаются в следующем: стабилизаторы улучшают курсовую устойчивость буксируемого объекта, стабилизаторы должны быть установлены максимально широко, с увеличением длины буксирного троса устойчивость повышается. Следует отметить, что последний вывод вызывает сомнения, поскольку из опыта морских буксировок известно, что увеличение длины буксирного троса вызывает повышенную рыскливость буксируемого объекта, по крайней мере, до тех пор, пока значительная часть буксирного каната не будет погружена в воду [12].

В формате настоящей работы выполнялось экспериментальное исследование курсовой устойчивости буксируемой баржи пр. 2731. При этом варьировались параметры буксирного троса, а также варианты установки стабилизаторов. Исследование выполнялось для условий тихой глубокой воды. Влияние буксировщика на буксируемое судно не учитывалось. Исследования выполнялись с помощью буксировки модели в опытовом бассейне ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». Длина бассейна 120 м, ширина — 6,0 м, глубина — около 3,0 м.

Параметры исследуемой баржи:

длина по КВЛ L , м	88
ширина по КВЛ B , м	16
расчетная осадка T , м	3,6
водоизмещение при осадке 3,6 м, м ³	4625
угол установки существующих стабилизаторов α , °	7
площадь существующих стабилизаторов $2S_{ст}$, м ²	$2 \cdot 7,5$
относительная площадь существующих стабилизаторов $\frac{2S_{ст}}{LT}$	0,047

Носовая оконечность баржи имеет ложкообразные, кормовая — санеобразные обводы. В кормовой оконечности баржи установлены «пластинчатые» стабилизаторы. Модель баржи была выполнена в масштабе 1: 40 с комплектом сменных стабилизаторов. Для обеспечения турбулентного обтекания модели в районе первого теоретического шпангоута, в соответствии с требованиями ИТТС [13], был установлен проволоочный турбулизатор диаметром 1 мм. В носовой и кормовой частях модели установлены отбойники для защиты модели от заливания.

Для оценки устойчивости движения модель баржи буксировалась на спокойной воде в опытном бассейне при помощи буксирного троса. Коренной конец буксирного троса крепился к пилону буксировочной тележки на высоте, соответствующей высоте буксирной лебедки буксира. Таким образом, предполагалось, что уход баржи с курса не приводит к изменению курса и скорости буксира. Пересчет скоростей движения с натуры на модель выполнялся по критерию подобия Фруда.

Наблюдения за характером движения модели баржи позволили установить, что при недостаточной эффективности стабилизаторов траектория ее центра тяжести имеет вид синусоиды, поэтому было принято решение оценивать степень рыскливости баржи условными полушириной ходовой полосы B_n (рис. 1) и периодом. В случае установки высокоэффективных стабилизаторов баржа двигалась практически прямым курсом ($B_n = 0$). Измерения выполнялись при постоянной скорости буксировки в квазиустановившемся режиме — до начала измерений баржа имела возможность совершать несколько колебаний.

Примечание. В работе использованы оригинальные схемы, в таблице приведены результаты, полученные в ходе испытаний.

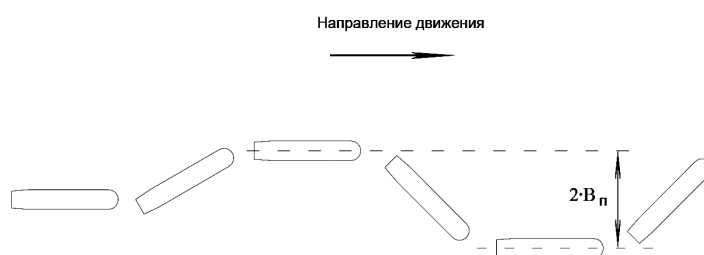


Рис. 1. Схема определения условной полуширины ходовой полосы B_n

Пересчет периода колебаний на натурное судно выполнялся по критерию подобия Струхала:

$$t_n = \frac{V_m t_m L_n}{L_m V_n},$$

где t_n — период рыскания натурной баржи, с;

V_m — скорость движения модели, м/с;

L_m — длина модели, м;

T_m — период рыскания модели, с;

L_n — длина натурной баржи, м;

V_n — скорость натурной баржи, м/с.

Рассмотрено два способа крепления буксирного троса: к барже — к кнехту, находящемуся в диаметральной плоскости баржи, и «усами» длиной около 30 м, проведенными к бортовым кнехтам (рис. 2).

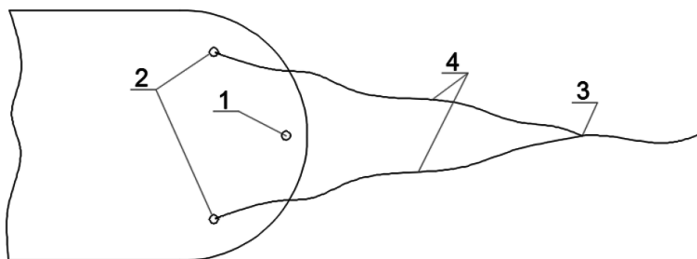


Рис. 2. Схема крепления буксирного троса с «усами» на натурном судне:

1 — существующий буксирный кнехт; 2 — предполагаемое положение бортовых кнехтов;

3 — узел крепления «усов» к основному буксирному тросу; 4 — «усы»

Всего было исследовано 16 вариантов решения, различавшихся между собой способом крепления буксирного троса, формой и углами установки стабилизаторов, а также наличием закрылков стабилизаторов и концевых шайб, установленных в нижней части стабилизаторов, параллельно основной плоскости.

Результаты (Results)

Результаты испытаний, пересчитанные на натурное судно, приведены в следующей сводной таблице:

Длина буксирного троса, м	Скорость буксировки, км/ч	Период колебаний, с	Полуширина ходовой полосы, м
<i>А. Баржа пр. 2731. Буксировка с креплением троса в диаметральной плоскости (см. рис. 2)</i>			
50	5,0	487	24
50	10,0	278	24
50	15,0	196	28
100	10,0	—	32
100	15,0	215	52
130	10,0	354	53
200	5,0	715	60
200	10,0	721	60
200	12,3	297	60
200	15,0	253	60
<i>С. Баржа пр. 2731. Буксировка «на усах» (см. рис. 2)</i>			
130	10,0	316	36
130	15,0	221	38
<i>Д. Баржа пр. 2731 с установленными закрылками и шайбами (рис. 3, а). Буксировка с креплением троса в диаметральной плоскости</i>			
100	10,0	304	24
100	15,0	209	32
200	5,0	588	30
200	10,0	342	34
200	15,0	253	41
<i>Е. Баржа пр. 2731 с установленными шайбами (без закрылков). Буксировка усами</i>			
130	10,0	367	36
<i>Ф. Баржа пр. 2731 с установленными закрылками и шайбами. Буксировка усами</i>			
130	10,0	—	6
130	15,0	190	6
130	15,0	171	8
130	10,0	—	8
<i>Г. Модель по варианту С с увеличенным до 22° углом установки стабилизаторов. Буксировка усами (рис. 3, б)</i>			
130	15,0	234	48
<i>Н. Модель по варианту Г с закрылками. Буксировка усами</i>			
130	10,0	—	2
130	15,0	145	3
<i>И. Вариант с обратной установкой стабилизаторов (угол установки 9°). Буксировка усами (рис. 3, в)</i>			
130	10,0	316	42
<i>Ж. Модель по варианту И с закрылками. Буксировка усами</i>			
130	10,0	—	1
130	15,0	183	3
<i>К. Вариант по пр. 2731 со смещением стабилизаторов к бортам (рис. 3, г). Буксировка с креплением троса в ДП</i>			
130	10,0	316	42
<i>Л. Модель по варианту К с закрылками. Буксировка усами</i>			
130	10,0	348	6
<i>М. Модель с обтекаемыми стабилизаторами с закрылками и шайбами. Минимальный угол установки стабилизаторов (12°). Буксировка с креплением троса в ДП (рис. 3, д)</i>			
100	10,0	291	29
100	15,0	221	26
<i>Н. Модель по варианту М. Буксировка усами</i>			
130	10,0	253	9
<i>О. Модель с обтекаемыми стабилизаторами с закрылками и шайбами. Средний угол установки стабилизаторов (24°). Буксировка усами (рис. 3, е)</i>			
130	10,0	—	3
130	15,0	126	4
<i>Р. Модель с обтекаемыми стабилизаторами с закрылками и шайбами. Максимальный угол установки стабилизаторов (36°). Буксировка усами (рис. 3, ж)</i>			
130	15,0	—	0
<i>Q. Модель с обтекаемыми стабилизаторами с шайбами. Максимальный угол установки стабилизаторов (36°). Буксировка усами</i>			
130	15,0	177	20

Схемы размещения стабилизаторов для рассмотренных в таблице вариантов решения с различными способами крепления буксирного троса, рассчитанные для реального судна, приведены на рис. 3.

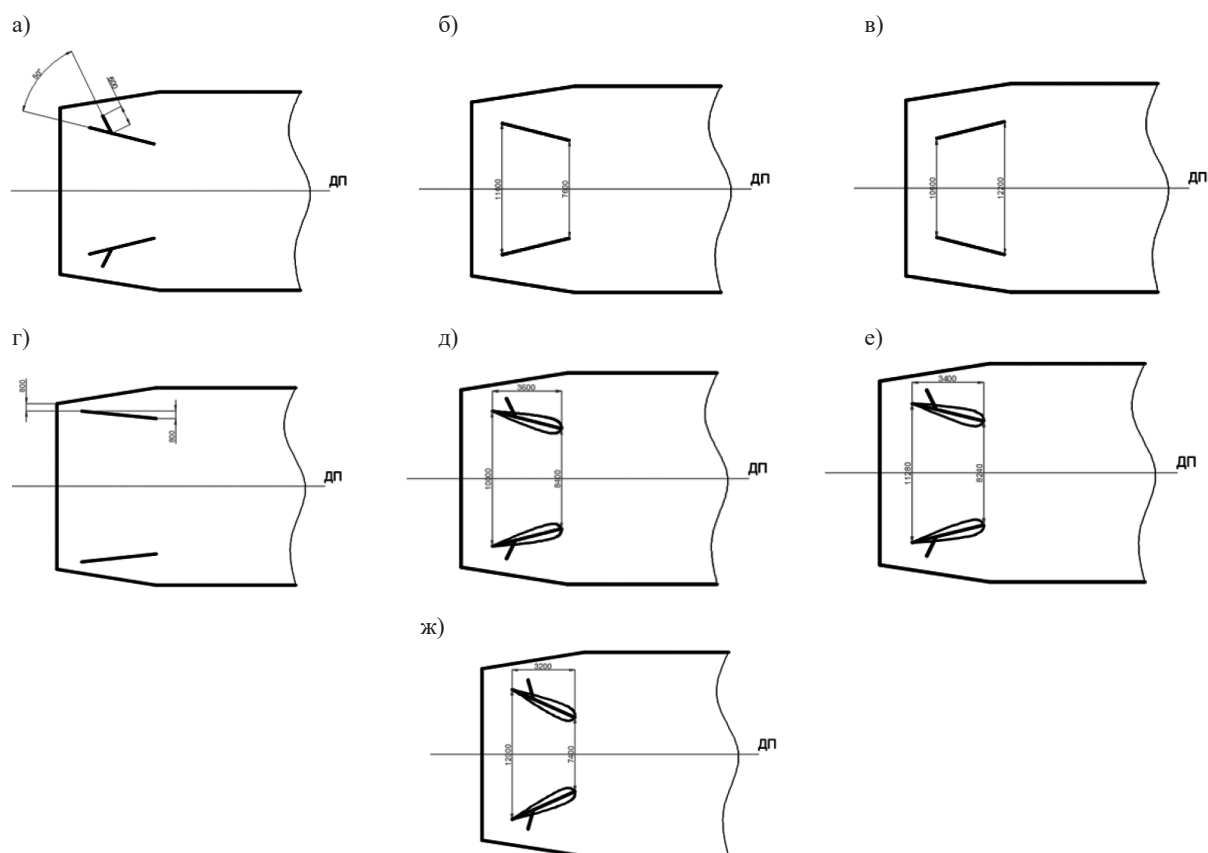


Рис. 3. Схемы размещения стабилизаторов при различных способах крепления буксирного троса:
а — вариант D; б — вариант G; в — вариант I; г — вариант K; д — вариант M; е — вариант O; ж — вариант P

Проведенные испытания позволили установить следующее:

- применение «усов» (вариант C) позволяет уменьшить ширину ходовой полосы в 1,4–1,5 раза по сравнению с исходным вариантом;
- использование закрылков стабилизаторов, имеющих площадь $S_3 \approx 0,2–0,25S_{ст}$, (вариант D), позволяет снизить $B_{п}$ в 1,8–1,9 раза;
- совместное применение этих двух решений (вариант F) позволяет уменьшить полуширину ходовой полосы в 8–9 раз.

Обсуждение (Discussion)

На диаграмме рис. 4 выполнено сопоставление результатов испытаний для различных вариантов буксировки при длине буксирного троса 100–130 м и скорости 10 км/ч (для вариантов G, P, Q приведены данные для скорости 15 км/ч). Для уменьшения полуширины ходовой полосы ВП до величины, сопоставимой с шириной баржи (варианты F, H, J, L, N, O, P), необходима установка стабилизаторов с закрылками и буксировка с применением «усов».

Установка концевых шайб на стабилизаторах (вариант E), предназначенных для ликвидации перетекания жидкости через нижнюю кромку стабилизатора, как следует из таблицы на с. 1070, не приводит к сколь-либо заметному уменьшению степени рыскливости баржи. По-видимому, концевые потери на стабилизаторе (вследствие его большой относительной толщины) относительно невысоки и их ликвидация не приводит к росту эффективности стабилизатора. Увеличение угла установки штатных стабилизаторов (вариант G) по сравнению с исходным, их обратная установка

(вариант I) или смещение по ширине судна (вариант K) без применения закрылков не дали положительного эффекта.

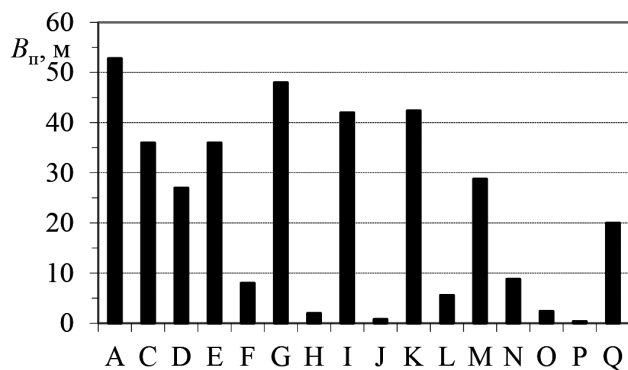
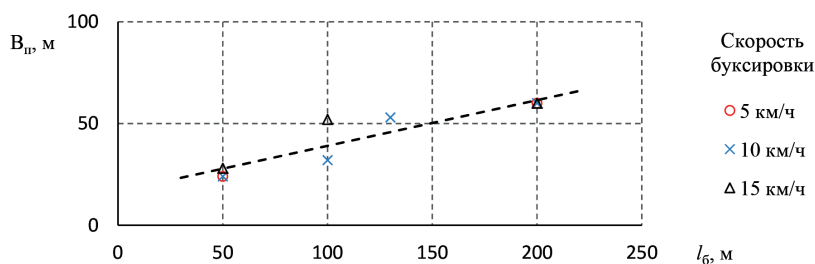


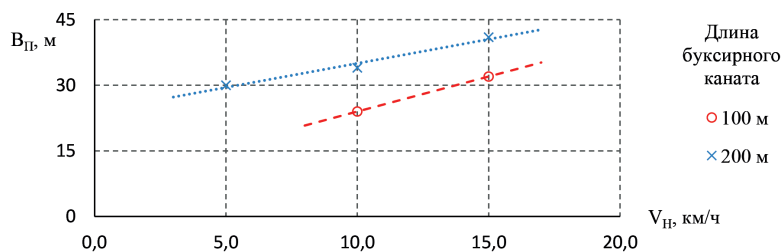
Рис. 4. Условная полуширина ходовой полосы модели $B_{п}$ для различных вариантов буксировки

На рис. 5, а приведены данные о влиянии длины буксирного троса l_6 на полуширину ходовой полосы $B_{п}$ (вариант A). Зависимость $B_{п}$ от l_6 близка к линейной, а именно чем больше длина троса, тем больше $B_{п}$.

а)



б)



в)

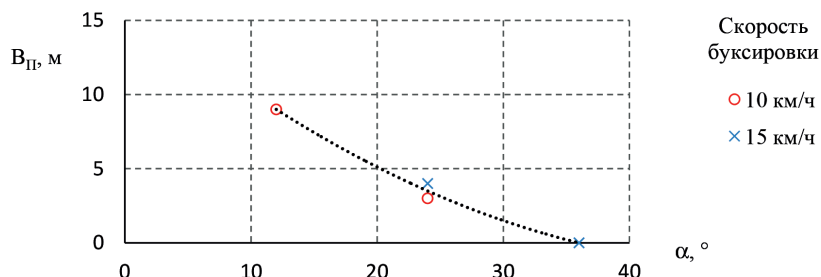


Рис. 5. Зависимость полуширины ходовой полосы $B_{п}$:
а — от скорости хода и длины буксирного конца (вариант A);
б — от скорости хода (вариант D);
в — от угла установки стабилизатора α (варианты N, O, P)

Данные о влиянии скорости буксировки $V_{\text{н}}$ на полуширину ходовой полосы (вариант D) приведены на рис. 5, б. Как видно, эта зависимость также близка к линейной. На рис. 5, в приведены данные о влиянии угла установки обтекаемого стабилизатора с закрылком α (угол между стабилизатором и ДП баржи) на ВП для вариантов N , O , P (буксировка «усами»). Как следует из рис. 5, в, для всех рассмотренных случаев полуширина ходовой полосы на тихой воде невелика.

Применение обтекаемых (профилированных) стабилизаторов без закрылков с уменьшенной (примерно в 2 раза по отношению к исходной) площадью (вариант Q) также не позволяет уменьшить ширину ходовой полосы. Применение обтекаемых стабилизаторов с закрылками с уменьшенной площадью (варианты M – P) является целесообразным при одновременном увеличении установочного угла по сравнению с $\alpha = 7$ – 10° , использованном при исследовании штатных стабилизаторов.

Таким образом, уменьшение ширины ходовой полосы может быть достигнуто путем уменьшения скорости буксировки, увеличения угла установки стабилизаторов и снижения длины буксирного троса. При этом необходимо учитывать, что увеличение угла установки стабилизаторов влечет за собой увеличение буксировочного сопротивления. К такому же результату приводит и значительное уменьшение длины буксирного троса, поскольку с уменьшением расстояния между буксировщиком и баржей возрастает влияние на баржу струй гребных винтов.

Выводы (Summary)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Для уменьшения ширины ходовой полосы, занимаемой баржей при буксировке до величины, соответствующей требованиям *хорошей морской практики*, необходима установка стабилизаторов с закрылками и буксировка с применением «усов» (варианты F , H , J , L , N , O , P).
2. Установка концевых шайб стабилизаторов не приводит к увеличению их эффективности.
3. Дальнейшее увеличение эффективности работы закрылков, по-видимому, может быть достигнуто за счет их смещения к кормовой части стабилизатора и увеличения их площади.
4. Необходимо отметить, что при неблагоприятных условиях буксировки (ветер, волнение) ширина ходовой полосы может возрасти.
5. Представляется целесообразным проведение дальнейших исследований методами как физического, так и математического моделирования движения баржи при сложных погодных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков К. М. Анализ требований Правил Российского Речного Регистра в части буксирного устройства плавучих объектов / К. М. Ушаков, Ю. В. Яцук // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова». — СПб.: Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2020. — С. 345–348.
2. Юдин Ю. И. Выбор модели для исследования управляемости буксирной системы / Ю. И. Юдин, А. В. Бачище, Г. Ю. Ишейкин, Д. Д. Стрельников // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — № 1–2 (43). — С. 11–22.
3. Юдин Ю. И. Устойчивость движения буксируемого судна в условиях ветровой нагрузки / Ю. И. Юдин, Г. Ю. Ишейкин // Эксплуатация морского транспорта. — 2021. — № 2 (99). — С. 67–77. DOI: 10.34046/aumsuomt99/11.
4. Юдин Ю. И. Управление движением буксируемого судна путем изменения натяжения и длины буксирного троса / Ю. И. Юдин, Г. Ю. Ишейкин // Эксплуатация морского транспорта. — 2023. — № 4 (105). — С. 10–19. DOI: 10.34046/aumsuomt105/3.
5. Гуров П. В. Исследование характерных маневров буксирного состава при его движении на прямом курсе / П. В. Гуров // Транспортные системы. — 2018. — № 3 (9). — С. 34–43. DOI: 10.46960/62045_2018_3_34.

6. Fitriadhy A. Course stability of a ship towing system / A. Fitriadhy, H. Yasukawa // *Ship Technology Research*. — 2011. — Vol. 58. — Is. 1. — Pp. 4–23. DOI: 10.1179/str.2011.58.1.001.
7. Park S. H. Experimental investigation of towing-and course-stability of a FPSO towed by a tug-boat with lateral motion / S. H. Park, S. J. Lee, S. Lee // *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. — 2021. — Vol. 13. — Pp. 12–23. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2020.11.003.
8. Baso S. Experimental investigation of course stability on a barge during damaged conditions / S. Baso // *SINERGI*. — 2022. — Vol. 26. — No. 2. — Pp. 173–184. DOI: 10.22441/sinergi.2022.2.006.
9. Zan U. I. Model Experimental Study of a Towed Ship's Motion / U. I. Zan, H. Yasukawa, K. K. Koh, A. Fitriadhy // *The 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics-APHydro2012*. — Malaysia, 2012.
10. Юдин Ю. И. Регулирование процесса автоколебаний буксируемого судна / Ю. И. Юдин, С. О. Петров, В. В. Каян // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2013. — № 2 (72). — С. 38–40.
11. Tanaka M. Experimental study on the course stability of a towed barge / M. Tanaka // *West Japan Society of Naval Architects Trans.* — 1978. — Is. 56. — Pp. 38–46.
12. Жуков Е. И. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е. И. Жуков, М. Н. Либензон, М. Н. Письменный [и др.]; под ред. А. И. Щетининой. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1983. — 655 с.
13. ITTC Recommended procedures and guidelines [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://itc.info/media/9876/0_0.pdf (дата обращения: 10.10.2023).

REFERENCES

1. Ushakov, K. M., and Yu. V. Yatsuk. “Analysis of the requirements of the Russian River Register rules in the part of the towing device of floating objects.” *Sbornik nauchnykh statey natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S. O. Makarova»*. SPb.: Gosudarstvennyy universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, 2020. 345–348.
2. Udin, Yu. I., A. V. Bachishe, G. U. Isheikin, and D. D. Strelnikov. “Selection of a model to study the controllability of the towing system.” *Marine Intellectual Technologies* 1–2(43) (2019): 11–22.
3. Yudin, Yu. I., and G. Y. Ishcheikin. “Stability of the towed vessel movement under wind load conditions.” *Operation of Maritime Transport* 2(99) (2021): 67–77. DOI: 10.34046/aumsuomt99/11.
4. Yudin, Yu. I., and G. Yu. Ishcheikin. “Controlling the movement of a towed vessel by changing the tension and length of the towline.” *Operation of Maritime Transport* 4(105) (2023): 10–19. DOI: 10.34046/aumsuomt105/3.
5. Gurov, P. V. “Issledovanie kharakternykh manevrov buksirnogo sostava pri ego dvizhenii na pryamom kurse.” *Transportnye sistemy* 3(9) (2018): 34–43. DOI: 10.46960/62045_2018_3_34.
6. Fitriadhy, Ahmad, and Hironori Yasukawa. “Course stability of a ship towing system.” *Ship Technology Research* 58.1 (2011): 4–23. DOI: 10.1179/str.2011.58.1.001
7. Park, Seung Hyeon, Seung Jae Lee, and Sungwook Lee. “Experimental investigation of towing-and course-stability of a FPSO towed by a tug-boat with lateral motion.” *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 13 (2021): 12–23. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2020.11.003.
8. Baso, Suandar. “Experimental investigation of course stability on a barge during damaged conditions.” *SINERGI* 26.2 (2022): 173–184. DOI: 10.22441/sinergi.2022.2.006.
9. Zan, U.I., H. Yasukawa, K. K. Koh, and A. Fitriadhy. “Model Experimental Study of a Towed Ship's Motion.” *The 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics-APHydro*. Malaysia, 2012.
10. Yudin, Y.I., S. O. Petrov, and V. V. Kayan. “Modulation of towed vessel autooscillations process.” *Operation of Maritime Transport* 2(72) (2013): 38–40.
11. Tanaka, M. “Experimental study on the course stability of a towed barge.” *West Japan Society of Naval Architects Trans* 56 (1978): 38–46.
12. Zhukov, E. I., M. N. Libenzon, M. N. Pis'mennyi, A. N. Rvachev, and A. I. Shchetinina. *Upravlenie sudnom i ego tekhnicheskaya ekspluatatsiya*. Edited by A. I. Shchetinina. 3rd edition. M.: Transport, 1983.
13. ITTC Recommended procedures and guidelines. Web. 20 Sept. 2021 <https://itc.info/media/9876/0_0.pdf>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ушаков Константин Михайлович —

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Двинская, 5/7

ООО «Форсс технологии»

190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

Бронницкая 44/117, лит. А, пом.1Н

e-mail: lotinskey@yandex.ru,

kaf_shipbuilding@gumrf.ru

Яцук Юрий Владимирович —

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Двинская, 5/7

e-mail: YatsukUV@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ushakov, Konstantin M. —

Senior lecturer

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

Forss Tekhnologii, Ltd.

44/117 Bronnitskaya Str., St. Petersburg, 190013,

Russian Federation

e-mail: lotinskey@yandex.ru,

kaf_shipbuilding@gumrf.ru

Yatsuk, Yury V. —

PhD, associate professor

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: YatsukUV@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 10 октября 2023 г.

Received: October 10, 2023.