

Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 629.12.532.59

С.В. Бугаев

Военная академия, Одесса

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КРЫЛА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПО ВОДЕ ЛЕГКОБРОНИРОВАННОЙ ПЛАВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

В статье представлены результаты аэродинамических испытаний модели погруженной части корпуса легкобронированной плавающей машины. Описаны результаты её взаимодействия со встречным набегающим потоком. Исследованы возможности применения гидродинамических крыльев для компенсации динамического дифферента, который возникает при движении машины на плаву. Даны рекомендации по их применению.

Ключевые слова: легкобронированная плавающая машина, аэродинамические испытания, корпус, встречный набегающий поток, динамический дифферент, модель.

Введение

Постановка проблемы. Наметившаяся в последнее время тенденция в увеличении боевой массы легкобронированных плавающих машин (ЛБПМ) вызванная ростом броневой защиты и увеличения массы установленного вооружения [1 – 9] приводит к заметному снижению высоты их надводного борта и запаса плавучести. Это заметно ухудшает ходовые качества ЛБПМ, что выражено в снижении ходкости машины, вследствие погружения в воду носовой части и резкого возрастания сопротивления воды [4] (рис. 1).



Рис. 1. Влияние ходового дифферента на ходкость ЛБПМ (архив автора)

Компенсировать возникающий ходовой дифферент можно путем придания большей полноты носовым обводам корпуса ЛБПМ [4], перемещения центра тяжести в корму машины или с помощью

применения дополнительных конструкций (приспособлений), предотвращающих погружение в воду носовой части плавающей машины (ПМ).

Изменение компоновки машины или обводов корпуса – достаточно сложная конструктивная и технологическая задача, которая требует дополнительных затрат и ведет к увеличению себестоимости машины. Более рациональный путь повышения ходкости ЛБПМ – установка специальных конструкций, которые бы противодействовали развитию и негативному влиянию ходового дифферента. Одна из таких конструкций это погруженный в воду гидродинамический щит или решетка. Принцип работы состоит в том, что набегающий поток, взаимодействуя с конструкцией, изменяет направление своего движения и тем самым уменьшает высоту подпорной носовой волны ЛБПМ, которая заливает носовую часть. Кроме того, реакция воды на наклонный лист, находящийся в потоке, приводит к возникновению гидродинамической силы, которая будет противодействовать ходовому дифференту ЛБПМ.

Для эффективного размещения рассмотренной конструкции на ПМ необходимо знать особенности обтекания подводной части машины встречным потоком воды, вызванным её движением.

Визуализация процесса обтекания погруженной части корпуса ЛБПМ может быть получена в аэрогидродинамической лаборатории, в условиях обращенного движения в ходе модельных испытаний. Такие опыты могут проводиться в аэродинамической трубе и в гидродинамическом лотке [10].

Анализ литературы. Вопросами изучения ходовых качеств ПМ в разные годы занимались: Груз-

дев Н.И., Ветчинкин Н.С. [5], Степанов А.П. [6, 9], Аксенов П.В., Кононович Ю.А. [5], Бархударов Л.Г., Киселевский В.В. [4], Воробьев Ю. Л. [4], Веретенников А.И., Нефёдов А.В. [8] и ряд других авторов.

На основании результатов модельных и натуральных исследований, проведенных авторами [4], было получено ряд расчетных формул, которые с разной степенью упрощенности описывают процесс изменения величины сопротивления воды движению ПМ в зависимости от её скорости и конструктивных особенностей. Наиболее полно вопросы расчета водоходных качеств ПМ излагаются в работах [4 – 9].

Так, в работе [5] изложена общая классификация расчетных формул по определению сопротивления воды движению ПМ (R_x). Авторы предлагают все расчетные формулы разделить на 4 типа в зависимости от предположений о зависимости R_x от скорости движения (v) и характерной технической характеристики машины (массы, водоизмещения, площади поперечного сечения, типа ходовой части и т.д.). В работе [8] приводятся результаты сравнительных расчетов величины R_x по методикам, изложенным в работах [5, 6]. Сделаны выводы о незначительном несовпадении результатов расчетов величины R_x [6].

В работе [4] приведены результаты испытаний ходовых качеств модели ЛБПМ с различной высотой надводного борта. На основании полученных данных автор выдвигает гипотезу «о существенном влиянии возникающей гидродинамической силы, вызванной движением ЛБПМ по воде на её ходкость». В работе приведены результаты расчета величины R_x в зависимости от скорости движения ПМ по воде по расчетным методикам [5 – 7] и данные модельного эксперимента для ПМ с разной высотой надводного борта [4].

По результатам анализа данных сделано предположение, что все расчетные формулы верны, но носят частный характер и описывают закономерность изменения величины R_x в зависимости от скорости движения только для одной конкретной машины или группы ПМ, имеющих сходные массогабаритные характеристики. Существенное изменение размеров машины, высоты надводного борта, запаса плавучести ведет к значительному несовпадению расчетных и экспериментальных данных.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что исследование взаимодействия корпуса ЛБПМ и водной среды важно для развития этого научного направления.

Цель работы заключается в исследовании погруженной части ЛБПМ со встречным потоком воды вызванным её движением.

Ставились следующие задачи исследования:

1). Изготовить модель погруженной части корпуса ЛБПМ, предназначенную для проведения испытания в аэродинамической трубе.

2). Провести визуальное наблюдение за обтеканием корпуса ЛБПМ набегающим потоком.

3). Изучить влияние на картину обтекание погруженной части ПМ установки на корпус машины гидродинамического щита.

4). Проанализировать результаты и предложить мероприятия по улучшению водоходных качеств ЛБМП за счет установки гидродинамических щитков.

Решение проблемы

1. Модель ЛБПМ и экспериментальная установка

В качестве объекта исследования обтекания водой погруженной части корпуса ЛБПМ принималась упрощенная модель корпуса БТР ЗЕ, выполненная в масштабе 1:20 в модельной мастерской Одесского национального морского университета (ОНМУ) из плотного пенопласта марки ПСБ-С 50 (табл. 1) по методике, применяемой для изготовления моделей для аэродинамических исследований.

Таблица 1

Характеристика пенопласта применяемого при изготовлении модели ЛБПМ

Характеристика / марка	ПСБ-С50
Плотность, кг/м ³	35 – 50
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, МПа, не менее	0,2
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,35

После обработки модель крепилась к державке динамометра круговой продувки и устанавливалась в аэродинамическую трубу.

2. Методика модельного эксперимента

Для обеспечения визуализации обтекания потоком воздуха поверхности корпуса ЛБПМ погруженной в воду, применялся метод нитей.

Этот метод визуализации позволяет установить основные структурные особенности взаимодействия потока с моделью.

Суть метода заключается в том, что к поверхности модели одним концом приклеиваются гибкие, тонкие, легкие нити небольшой протяженности. Совокупность таких нитей позволяет визуализировать структуру потока у поверхности тела или в окружающем его пространстве. Протяженность нитей определяет разрешающую способность метода. В местах, определяющих образование крупных вихревых структур (кормовая часть корпуса), длина, составляла ок. 20 мм. На участках с малыми вихревыми структурами (носовая и днищевая часть корпуса) длина нитей составляла ок. 5 мм. Для повышения контрастности визуализируемой картины цвет нитей принимался белым, а корпус окрашивался в черный цвет.

Расшифровка картин обтекания, полученных с помощью используемого метода, сводилась к анализу поведения нитей в потоке [10 – 13]. Если поток

стационарен, то нити устанавлюються примерно вдоль линий тока. В нестационарном, безотрывном потоке нить вибрирует вокруг осредненной во времени линии тока. В отрывной области потока концы нитей смещаются в направлении, противоположном основному потоку. Около точки отрыва потока, нити колеблются хаотично.

3. Эксперимент и его результаты

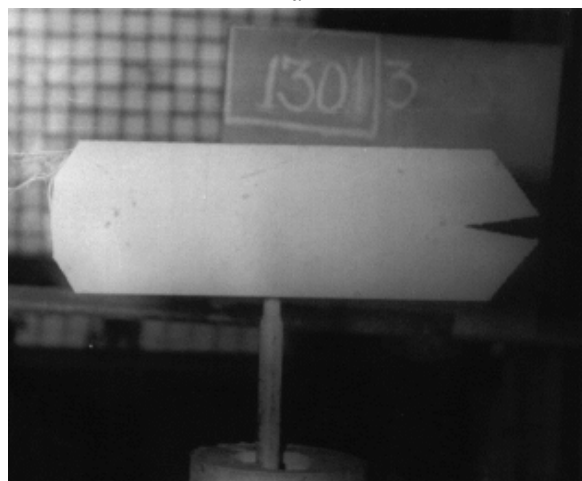
Опыты проводились в аэродинамической трубе ОНМУ.

Скорость потока при проведении опытов была выбрана такой, чтобы был обеспечен режим автомодельности. В опытах она составляла 28 м/с, что соответствовало числу Рейнольдса $Re=0,71 \times 10^6$.

В ходе проведения опытов было установлено, что при обтекании потоком воздуха корпуса наблюдается резкое разделение потока в носовой части и сходящего с днища машины образующая спутную струю за кормой, в которой образуются крупные вихри (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Обтекание погруженной части корпуса модели ЛБПМ: а – вид с кормы; б – вид с борта

Приведенные фотографии (рис. 2) дают представление о характере течения в кормовой оконеч-

ности модели ЛБПМ. Наблюдался пространственный характер течения, который проявлялся в образовании и сходе вихревых шнуров с линии пересечения плоскости бортового и кормового листов. Направление вращения вихревых шнуров свидетельствует о наличии положительной циркуляции вокруг корпуса машины аналогичной наблюдаемой при обтекании крыла малого удлинения.

Такое обтекание свидетельствует о возникновении гидродинамического момента, который дифферентует машину на нос.

Параллельно с опытами в аэродинамической трубе были проведены исследования в гидравлическом лотке кафедры гидравлики ОНМУ на модели продольного сечения корпуса машины, изготовленной в масштабе 1:10. Модель представляла корпус (без гусениц и кожухов), покрытый сплавом парафина с воском и установленный вплотную к вертикальной стенке гидрлотка, имитирующей свободную поверхность воды. Скорость движения воды в лотке составила 0,56 м/с, что соответствует числу Рейнольдса $Re = 0,42 \times 10^7$.

В ходе проведения опытов удалось подробно рассмотреть особенности плоского течения вокруг корпуса модели.

Визуально наблюдалось обтекание погруженной части корпуса ЛБПМ с интенсивным вихреобразованием, которое происходило как в кормовой, так и в носовой частях модели (рис. 3). Шелковинки, установленные на корпусе модели и в потоке вокруг модели, типично давали представление о направлении и характере возникающего течения.

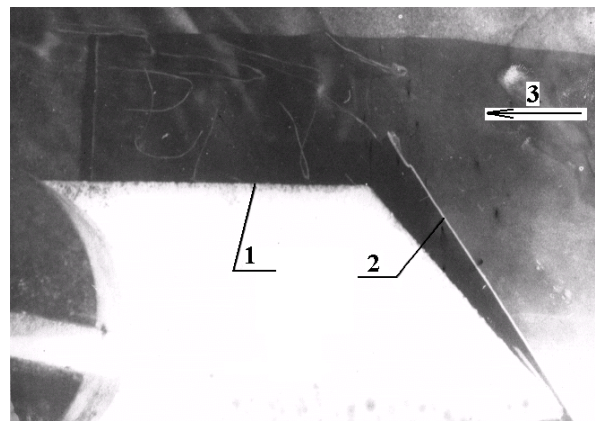


Рис. 3. Обтекание погруженной части корпуса модели ЛБПМ в гидравлическом лотке ОНМУ

Зона пониженного давления возникала в носовой части машины из-за срыва потока с угла, образованного днищем и наклонным нижним носовым листом.

В кормовой части корпуса модели машины отчетливо просматривалось вихревое течение в спутной струе, простирающейся в потоке на расстояние, близкое к длине корпуса модели.

Установка на корпус модели наклонной пластины в кормовой части заметно изменяло характер потока за кормой (рис. 4).

Влияние установки наклонной пластины и решетки на обтекание носовой части ЛБПМ моделировалось численным методом с использованием программы ViziFlov 2.3.

Из рис. 4, 5. видно, что изменить условия обтекания погруженной части ЛБПМ и создание гидродинамического момента для компенсации ходового дифферента можно добиться путем установки в зону обтекающего корпус потока щита или пластинчатой решетки.

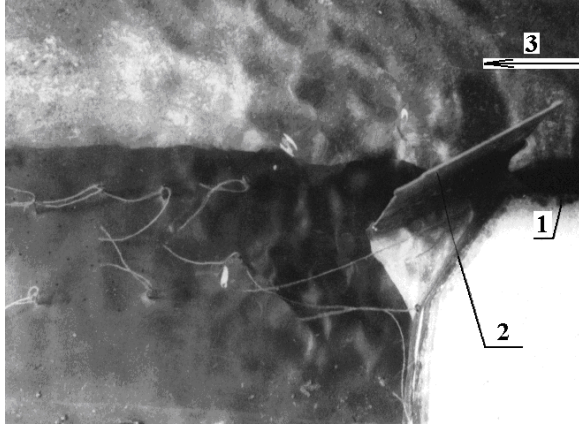


Рис. 4. Влияние на обтекание корпуса ЛБПМ установка наклонной пластины в кормовой части корпуса

Результаты моделирования приведены на рис. 5.

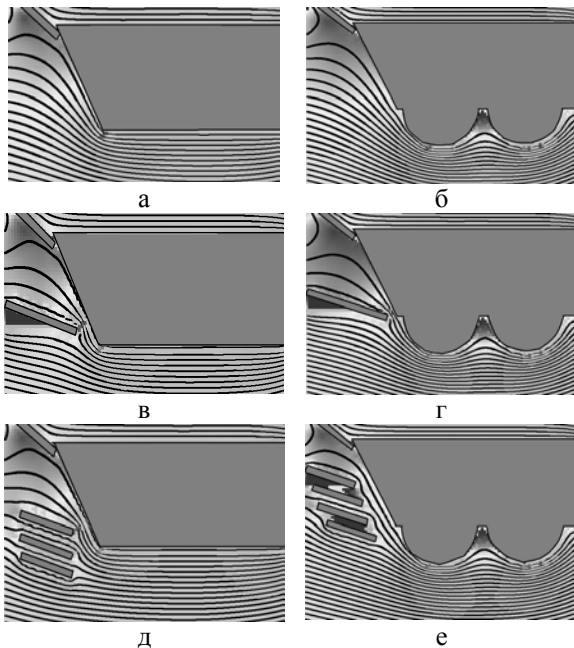


Рис. 5. Численное моделирование обтекание водой погруженной части ЛБПМ (ViziFlov 2.3): а, б – обтекание корпуса и ходовой части машины при установке волноотбойного щитка; в, г – волноотбойного щитка и наклонной пластины; д, е – наклонной щелевой пластинчатой решетки.

4. Расчет площади пластины компенсирующей ходовой дифферент ЛБПМ

Как показывают результаты натурных и модельных экспериментов [4] максимальная величина ходового дифферента для ЛБПМ не превышает 7°. При этом дифферентующий момент (Мд) можно определить из выражения [9]:

$$M_d = D H \psi / 57,3, \quad (1)$$

где D – водоизмещение машины; H – продольная метацентрическая высота; ψ – угол дифферента.

Для рассматриваемой в опытах машины величина Мд равна – 57,2 кНм.

Компенсировать такой Мд можно путем создания восстанавливающего момента (Мв), имеющего равное значение с Мд и противоположное ему направление воздействия. Величина Мв определяется выражением:

$$M_b = l P_z, \quad (2)$$

где P_z – величина подъемной силы гидродинамического щита; l – расстояние от центра тяжести ЛБПМ до центра приложения подъемной силы.

Если принять, что величина l равна 3,6 м (половине длины машины), то величина P_z должна быть не меньше 16 кН.

Величину необходимой площади компенсирующей пластины можно определить из выражения:

$$P_z = C_z(\rho v^2 / 2) S_p, \quad (3)$$

где C_z – коэффициент подъемной силы; ρ – плотности воды; v – скорость движения машины по воде; S_p – площадь погруженного в воду щита.

Возникающее дополнительное сопротивление движению ЛБПМ определяется выражением:

$$P_x = C_x(\rho v^2 / 2) S_p, \quad (4)$$

где P_x – величина силы сопротивления воды; C_x – коэффициент сопротивления воды.

Из формулы (4) можно определить величину площади компенсирующего щита S_p :

$$S_p = 2P_z / C_z \rho v^2. \quad (5)$$

Если принять, что величина коэффициента подъемной силы для пластины несимметричного профиля, близкого к профилю крыла, может достигать значения $C_z = 1,0$, а коэффициент сопротивления при углах атаки, близких к 20°, $C_x = 0,2$, то при скорости движения ЛБПМ $v=2,0$ м/с для компенсации дифферента необходим щит площадью $S_p = 8,0 \text{ м}^2$. Величина дополнительного сопротивления щита составит $P_x = 3,2$ кН. Крыло такой площади разместить на машине достаточно проблематично. Более приемлемый путь – применение наклонной щелевой пластинчатой решетки.

При той же площади поверхности решетка значительно компактнее пластины. Кроме того, при

движенні по суше, вона может складываться, обеспечивая дополнительную защиту носовой проекции ЛБПМ.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования модели ЛБПМ на волнении позволили сделать выводы:

1). При движении на плаву ЛБПМ склонна к изменению своей первоначальной посадки в сторону дифферента на нос.

2). Дифференцирующий гидродинамический момент, действующий на погруженную часть ЛБПМ возникает из за срыва потока жидкости в носовой части корпуса машины, что приводит к возникновению зоны разряжения.

3). Для уменьшения негативного влияния ходового дифференцирующего момента необходимо при разработке конструкции ЛБПМ предусматривать соответствующие инженерные решения. Одним из таких решений является установка гидродинамического компенсационного щита (решетки)

4). Определить площадь гидродинамического щита, расположенного в носовой части ЛБПМ, можно по методике, изложенной в статье.

Список литературы

1. *Перспективы новых образцов БТТ разработки ХКБМ им. Морозова*. – Х.: ХКБМ, 1999.
2. *Современная бронетанковая техника: справоч. пос.* – Минск: Эйда, 1998. – 193 с.
3. Крижний А.В. *Розвиток і перспективи виробництва в Україні плавних бойових машин* / А.В. Крижний, С.В. Бугаєв // *Наука й оборона*. – К. 2005. – № 4. – С. 53-56.

4. Бугаев С.В. *Плавающая машина. Теория и эксперимент* / С.В. Бугаев. – Одесса: тип. ОНМУ, 2000. – 322 с.
5. Аксенов П.В. *Плавающие колесные и гусеничные машины* / П.В. Аксенов, Ю.А. Кононович. – М.: Военное издательство МО СССР, 1963. – 269 с.
6. Степанов А.П. *Конструкция и расчет плавающих машин* / А.П. Степанов. – М.: Машиностроение, 1983. – 196 с.
7. Степанов А.П. *Мореходность амфибийных машин* / А.П. Степанов. – М.: тип. МАДИ, 1998. – 103 с.
8. Веретенников А.И. *Особенности расчета сопротивления движению боевой колесной машины на плаву* / А.И. Веретенников, А.М. Муцимкий, А.В. Нефедов // *Механіка та машинобудування*. – 2009. – № 2. – С 11-16.
9. Степанов А.П. *Проектирование амфибийных машин* / А.П. Степанов. – М.: Мегалион, 2007. – 424 с.
10. Трещевский В.Н. *Аэродинамический эксперимент в судостроении* / В.Н. Трещевский, Л.Д. Волков, А.И. Короткин. – Л.: Судостроение, 1976. – 145 с.
11. Соляник П.Н. *Экспериментальная аэродинамика* / П.Н. Соляник, М.Л. Сургайло, В.В. Чмовж. – Х., тип. ХАИ, 2007. – 92 с.
12. Евграфов А.Н. *Аэродинамика автомобиля* / А.Н. Евграфов. – М.: МГИУ, 2010. – 356 с.
13. Харитонов А.М. *Техника и методы аэрофизического эксперимента. Ч. 2. Методы и средства аэрофизических измерений* / А.М. Харитонов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.

Поступила в редколлегию 2.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОГО КРИЛА ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПО ВОДІ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ МАШИНИ, ЩО ПЛАВАЄ

С.В. Бугаєв

У статті наведені результати аеродинамічних випробувань моделі зануреної частини корпусу легкоброньованої машини, що плаває. Описано результати її взаємодії зі зустрічним потоком, що набігає. Досліджено можливості застосування гідродинамічних крил для компенсації динамічного диферента, що виникає при русі машини на плаву. Наведені рекомендації щодо їхнього застосування.

Ключові слова: легкоброньована машина, що плаває, аеродинамічні випробування, корпус, зустрічний потік, що набігає, динамічний диферент, модель.

APPLICATION OF HYDRODYNAMIC WING FOR INCREASE SPEED MOTION ON WATER OF THE EASY ARMOURED FLOATING MACHINE

I.S. Bugaev

The results of aerodynamic tests of model of the submerged part of corps of easily metal-clad of floating machine are presented in the article. The results of his co-operating are described with a meeting appearing suddenly stream. Possibilities are investigational application of hydrodynamic wings for indemnification of dynamic trim that arises up at motion of machine afloat. Recommendations are given on their application.

Keywords: easy armored floating machine, aerodynamic tests, corps, meeting appearing suddenly stream, dynamic trim, model.