УДК 629.022

© В. В. Филатов, аспирант
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет)
E-mail: 2vfilatov@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-219-223

© V. V. Filatov, post-graduate student
(Moscow Automobile and Road Construction State
Technical University)
E-mail: 2vfilatov@gmail.com

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ БЫСТРОХОДНОЙ АМФИБИЙНОЙ МАШИНЫ МАЛОГО КЛАССА

HYDRODYNAMIC RESEARCH OF THE PERSPECTIVE HIGH-SPEED AMPHIBIOUS LIGHT CLASS VEHICLE

Приводятся результаты моделирования гидродинамического взаимодействия корпуса перспективной быстроходной амфибийной машины легкого класса с водной поверхностью при движении на различных режимах с разными скоростями.

Ключевые слова: амфибийная машина, глиссирование, численное моделирование, буксировочная характеристика.

The article presents the simulation results of the hydrodynamic interaction between the body of the perspective high-speed amphibious light class vehicle and water surface at different modes and at different speeds.

Keywords: amphibious machine, gliding, numerical simulation, towing feature.

Введение

Рассматриваемая в статье быстроходная амфибийная машина малого класса (гидроквадроцикл) представляет собой перспективное транспортное средство как военного, так и гражданского применения в зависимости от модификации, исследуемое и разрабатываемое в интересах Министерства обороны, Министерства внутренних дел, а также Федеральных служб Российской Федерации (ФСБ, ФСО, Росгвардия).

Подобное универсальное транспортное средство представляет собой привлекательный коммерческий продукт, обладающий модульной конструкцией, возможностью обширной унификации используемых узлов и агрегатов с узлами и агрегатами мотовездеходов, чье производство локализовано на территории Российской Федерации. В связи с этим разрабатываемый гидроквадроцикл имеет сравнительно низкую себестоимость производства, что имеет существенное значение в условиях современного состояния отечественной промышленности.

Для обеспечения наилучших водоходных характеристик, таких как ходкость и остойчивость [1], было проведено гидродинамическое исследование для оптимизации обводов корпуса.

Таким образом, снижается сопротивление движению гидроквадроцикла по воде и увеличивается максимальная скорость движения. Результатом гидродинамического моделирования является буксировочная кривая [2], на основании которой проектируется специальный водометный движитель.

Моделирование взаимодействия трехмерной модели корпуса гидроквадроцикла и водной поверхности в программе Star CCM+

STAR-CCM+ — это CFD-решатель, инженерная среда, предназначенная для решения задач, связанных с расчетом потоков (жидкостей или твердых веществ), теплопереноса и прочности. Интерфейс программы представлен на рис. 1.

В среде STAR-CCM+ возможно моделирование различных режимов потока, как стационарных, так и нестационарных, от невязких или ламинарных, переходных до полностью турбулентных потоков, сжимаемых или несжимаемых, от дозвуковых, трансзвуковых до гиперзвуковых режимов. STAR-CCM+ имеет целый ряд различных уравнений состояния, включая идеальный и реальный газ, а также определяемое пользователем и полиномиальное задание плотности. Для невязких потоков STAR-CCM+ позволяет выбирать

стандартные модели, такие как обобщенный степенной закон Гершель–Балкли (Herschel–Bulkley law), модель обобщенного потока Карро–Ясуда (Carreau–Yasuda model). Для пользователей STAR-CCM+ доступна обширная база данных материалов со стандартными свойствами материалов, а также возможность создавать и редактировать свои собственные материалы.

Модель для численного моделирования представляет собой твердое тело, пересечение с удалением параллелепипеда и упрощенной модели гидроквадроцикла (рис. 2). Параллелепипед является расчетной областью, в которой формируются поверхностная и объемная сетки расчета. «Отпечаток» гидроквадроцикла располагается под углом 4° к горизонтальной плоскости, чтобы смоделировать движение при постоянном дифференце.

Далее производится импорт модели в среду программы в качестве поверхностной сетки, задается плотность разбиения сетки (мелкая). Затем геометрия разбивается на части поверхности, им присваивается граница области. В каче-

стве расчетной модели выбирается пункт «Волны VOF».

Задаются входные параметры модели:

масса гидроквадроцикла — от 600 до 800 кг;

расположение центра тяжести (0,3; 0; 1,3);

диапазон скоростей ветра и воды — 0...15 м/с; длина волны — 1000 м (моделирование свободной воды);

амплитуда — 0,001 м;

положение нулевой ватерлинии — -0,185 м;

плотность воздуха — $1,18415 \text{ кг/м}^3$;

плотность воды — $997,561 \text{ кг/м}^3$;

время отпускания — 5 с;

время нарастания — 20 с.

критерии остановки расчета:

количество итераций — 100;

физическое время расчета — 30 с.

В качестве выходных данных имеем:

1. Картину взаимодействия воды с корпусом.

2. Эпюру распределения давлений по днищу корпуса.

3. Эпюру распределения скоростей в области воздуха и воды.

Рис. 1. Интерфейс программы Star CCM+

Рис 2. Импортируемая твердотельная модель

4. Эпюру распределения объемов воды.
5. График зависимости параметров расчета от числа итераций.
6. График сопротивления движению.
7. График подъемной силы.
8. График дифферентующего момента.

О сходимости решения можно судить по графику зависимости параметров расчета от числа итераций. Решение можно считать полученным при установлении значений исследуемых параметров с увеличением итераций. Далее по графикам сопротивлений движению от физического времени процесса определяются средние значения на различных скоростях (рис. 3). Эти значения используются для построения графика буксировочного сопротивления машины (рис. 5).

Данные расчета для различных масс гидроквадроцикла с воздушными подушками представлены в табл. 1–4.

Графики ходового дифферента и буксировочной мощности в зависимости от скорости представлены на рис. 4 соответственно.

Рис. 3. График зависимости сопротивления движению от времени при скорости: а — 5 м/с; б — 8 м/с; в — 10 м/с

Рис. 4. Графики ходового дифферента и буксировочной мощности ($X_{\text{цт}}$ — горизонтальная координата центра тяжести модели от плоскости кормы; $Z_{\text{цт}}$ — вертикальная координата центра тяжести модели от днища)

Таблица 1

Данные расчета для гидроквадроцикла массой 600 кг с воздушными подушками

Число Фруда Fr	—	0	0,6952	1,7381	2,4333	3,1286	3,8238	4,519	5,2143
Весовое водоизмещение D	кг	600	600	600	600	600	600	600	600
Скорость движения v	м/с	0	2	5	7	9	11	13	15
	км/ч	0	7,2	18	25,2	32,4	39,6	46,8	54
Буксировочное сопротивление R_6	Н	0	50	2150	1800	1550	1500	1600	1750
Дифферент	град	0	0	15,7	14	10,8	8,5	7,8	7,2
Буксировочная мощность N_6	кВт	0	0,1	10,75	12,6	13,95	16,5	20,8	26,25
	л. с.	0	0,1361	14,626	17,143	18,98	22,449	28,299	35,714

Таблица 2

Данные расчета для гидроквадроцикла массой 650 кг с воздушными подушками

Число Фруда Fr	—	0	0,686	1,7151	2,4011	3,0872	3,7732	4,4592	5,1453
Весовое водоизмещение D	кг	650	650	650	650	650	650	650	650
Скорость движения v	м/с	0	2	5	7	9	11	13	15
	км/ч	0	7,2	18	25,2	32,4	39,6	46,8	54
Буксировочное сопротивление R_6	Н	0	50	2500	2000	1700	1650	1700	1850
Дифферент	град	0	-0,3	16,3	14,3	10,7	8,5	8	7,7
Буксировочная мощность N_6	кВт	0	0,1	12,5	14	15,3	18,15	22,1	27,75
	л. с.	0	0,1361	17,007	19,048	20,816	24,694	30,068	37,755

Таблица 3

Данные расчета для гидроквадроцикла массой 700 кг с воздушными подушками

Число Фруда Fr	—	0	0,6776	1,6941	2,3717	3,0493	3,7269	4,4045	5,0822
Весовое водоизмещение D	кг	700	700	700	700	700	700	700	700
Скорость движения v	м/с	0	2	5	7	9	11	13	15
	км/ч	0	7,2	18	25,2	32,4	39,6	46,8	54
Буксировочное сопротивление R_6	Н	0	100	2800	2250	2000	1800	1800	1950
Дифферент	град	0	-0,2	17,5	14,3	11,5	9,5	8,3	7,5
Буксировочная мощность N_6	кВт	0	0,2	14	15,75	18	19,8	23,4	29,25
	лс	0	0,2721	19,048	21,429	24,49	26,939	31,837	39,796

Таблица 4

Данные расчета для гидроквадроцикла массой 750 кг с воздушными подушками

Число Фруда Fr	—	0	0,6776	1,6941	2,3717	3,0493	3,7269	4,4045	5,0822
Весовое водоизмещение D	кг	750	750	750	750	750	750	750	750
Скорость движения v	м/с	0	2	5	7	9	11	13	15
	км/ч	0	7,2	18	25,2	32,4	39,6	46,8	54
Буксировочное сопротивление R_6	Н	0	100	3300	2500	2000	1900	1950	2100
Дифферент	град	0	-0,2	19	15,5	12	10	8,5	7,7
Буксировочная мощность N_6	кВт	0	0,2	16,5	17,5	18	20,9	25,35	31,5
	л. с.	0	0,2721	22,449	23,81	24,49	28,435	34,49	42,857

Рис. 5. График буксировочного сопротивления гидроквадроцикла

На графике можно определить три характерные зоны [3]:

- водоизмещающий режим.
- переходный режим.
- режим глиссирования.

Заключение

По полученному графику буксировочного сопротивления трехмерной модели корпуса быстроходной амфибийной машины малого класса видно, что при установке воздушных подушек «горб сопротивления» смещается влево по графику в зону меньших скоростей. Это означает, что выход на устойчивый режим глиссирования [4] с дополнительным оборудованием в виде надувных воздушных подушек происходит с мень-

шими энергозатратами (при 20 км/ч), чем без них (при 35 км/ч). Соответственно, для обеспечения движения в режиме устойчивого глиссирования потребуется менее мощный двигатель, эффективность с применением надувных подушек выше в 1,4 раза.

Библиографический список

1. Многоцелевые гусеничные и колесные машины / под ред. Г. И. Гладова. М.: Транспорт, 2001. 272 с.
2. Степанов А. П. Проектирование амфибийных машин. М.: Мегалион, 2007. 420 с.
3. Басин А. М. Ходкость и управляемость судов. М.: Транспорт, 1977. 456 с.
4. Тимофеев М. Ю. Гидродинамика глиссирующих амфибийных машин: дис. ... канд. техн. наук. М., 2003. 173 с.

References

1. *Mnogotsel'evye gusenichnye i kolesnye mashiny* [Multi-purpose tracklaying and wheel vehicles]. Ed. by Gladov G. I. Moscow, Transport Publ., 2001, 272 p.
2. Stepanov A. P. *Proektirovanie amfibiynykh mashin* [Design of amphibious vehicles]. Moscow, Megalion Publ., 2007, 420 p.
3. Basin A. M. *Khodkost' i upravlyaemost' sudov* [Propulsion characteristics of vessels and their steering capabilities]. Moscow, Transport Publ., 1977, 456 p.
4. Timofeev M. Yu. *Gidrodinamika glissiruyushchikh amfibiynykh mashin. Diss. kand. tekhn. nauk* [Hydrodynamics of the gliding amphibious vehicles. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2003, 173 p.