

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЛОСКОГО ЛОКАТОРА В ГОЛОВНОМ ОТДЕЛЕНИИ САМОНАВЕДЕНИЯ НА ГИДРОДИНАМИКУ ТОРПЕД «ФИЗИК» И «ФУТЛЯР»

Кравчук А.С.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Ключевые слова: гидродинамика, торпеда, стационарное турбулентное течение, ANSYS, FLOTTRAN.

Аннотация. Предполагается, что торпеда движется на постоянной глубине. Давление в объеме воды, описанном вокруг торпеды постоянно и равно абсолютному давлению, вычисленному для заданной глубины, определяемой положением оси симметрии торпеды и цилиндрического объема обтекающей ее воды. При указанных упрощениях задача становится осесимметричной. Это значительное упрощение позволяет решить задачу средствами FLOTTRAN бесплатной программы ANSYS 10ED, а также провести качественный анализ влияния геометрии головной части торпеды на ее гидродинамику. Предполагая неподвижность торпеды, задача сводится к исследованию течения, описанного вокруг оси симметрии боеприпаса цилиндрического объема воды, диаметр основания и длина которого больше диаметра и длины торпеды. Установлено, что плоский локатор в головном отделении торпед «Физик» и «Футляр» служит мощным гидродинамическим тормозом, сокращающим, как следствие, скорость движения торпеды и дальность ее применения. В качестве рекомендаций по улучшению гидродинамики торпед «Физик» и «Футляр» следует рассмотреть вариант крепления конического обтекателя из радио проницаемого материала, что существенно увеличит как скорость торпед, так и дальность ее применения.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF A PLANAR LOCATOR IN THE HEAD COMPARTMENT FOR HYDRODYNAMICS OF THE TORPEDES NAMED “FIZIK” AND “FUTLYAR”

Kravchuk A.S.

Belarusian National Technical University, Minsk

Keywords: hydrodynamics, torpedo, stationary turbulent flow, ANSYS, FLOTTRAN.

Abstract. It is assumed that the torpedo moves at a constant depth. The pressure in the volume of water circled around the torpedo is constant and equal to the absolute pressure calculated for a given depth, determined by the position of the axis of symmetry of the torpedo and the cylindrical volume of the water flowing around it. With these simplifications, the problem becomes axisymmetric. This significant simplification allows us to solve the problem using the FLOTTRAN tools of the free ANSYS 10ED program, as well as to conduct a qualitative analysis of the influence of the geometry of the torpedo head on its hydrodynamics. Assuming that the torpedo is stationary, the task is to study the flow described around the symmetry axis of the munition of a cylindrical volume of water, the diameter of the base and the length of which is greater than the diameter and length of the torpedo. It has been established that the flat locator in the head section of the torpedoes “Fizik” and “Futlyar” serves as a powerful hydrodynamic brake, which reduces, as a result, the speed of the torpedo and its range of use. As recommendations for improving the hydrodynamics of torpedoes “Fizik” and “Futlyar”, one should consider mounting a conical fairing made of radio-permeable material, which will significantly increase both the speed of the torpedo and its range of use.

Введение. Торпедное оружие предназначено: для поражения подводных лодок, надводных кораблей и судов; разрушения гидротехнических и портовых

сооружений. Для этих целей применяются торпеды, стоящие на вооружении надводных кораблей, подводных лодок и самолетов (вертолетов) морской авиации [1].

Торпеда – самодвижущийся подводный снаряд. Современная торпеда конструктивно состоит из нескольких частей (рис. 1): головная часть (боевое зарядное отделение (БЗО)), средняя часть, кормовое отделение и хвостовая часть. В БЗО размещаются: заряд взрывчатого вещества, запальная принадлежность, контактный и неконтактный взрыватель. К переднему срезу БЗО крепится головка аппаратуры самонаведения (АСН) [1-3].

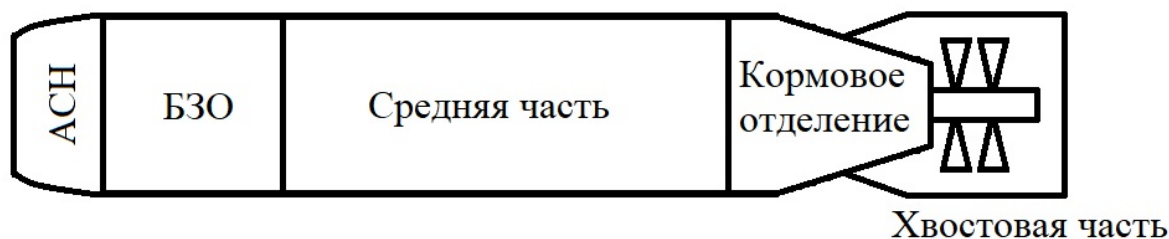


Рис. 1. Составные части торпед «Физик» / «Футляр» [1-3]

Система самонаведения торпед «Физик» / «Футляр» имеет плоскую носовую приемно-излучающую антенну (рис. 2) сотовой конструкции. Торпеда способна находить как сами цели, так и их кильватерный след. Позади головного отсека (системы самонаведения и боевого зарядного отделения) в средней части торпеды «Футляр» последовательно располагаются резервуарное, зарядное и приборное отделения. Кормовое отделение отдается под установку двигателя и исполнительных механизмов системы управления. В хвостовой части располагается движитель и стабилизаторы [2] (рис. 1, 2).



Рис. 2. Торпеда «Физик» [2]

Форма и размеры головной части оказывают существенное влияние на гидродинамику торпеды, особенно на величину силы лобового сопротивления. Средняя часть корпуса торпеды обычно имеет цилиндрическую форму. Кормовая часть корпуса имеет, как правило, коническую форму и предназначена для улучшения условий обтекания торпеды водяным потоком, а также крепления движителя и стабилизатора.

Одной из основных задач, решаемых при рассмотрении гидродинамики морских торпед, является обеспечение устойчивости ее движения на заданной глубине и уменьшение лобового сопротивления (т.е. рассеивания энергии) при перемещении.

Роль стабилизатора очевидна – с его помощью конструкторы обеспечивают устойчивое движение и управление торпедой в воде. Однако до настоящего времени в литературе не было проведено ни одного теоретического исследования гидродинамики данного вида боеприпаса, не установлено влияние формы головной части торпеды на лобовое сопротивление ее движению и не предложены меры по его уменьшению.

Постановка задачи. Рассматривается несколько упрощенная конструкция аналогичная морским торпедам «Физик» или «Футляр», имеющим в головной части плоское локационное устройство [2, 3] (рис. 1, 2). Глубина, на которой движется торпеда, считается постоянной и достаточной, чтобы не рассматривать влияние поверхности (границы раздела двух сред воды и воздуха) на сопротивление движению торпеды. Влиянием стабилизаторов и органов управления будем пренебрегать.

Манометрическое давление p на глубине H определится по известной формуле $p = \rho \cdot g \cdot H$, где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения. Тогда абсолютное давление P на глубине H определяется простейшим суммированием вычисленного давления p от высоты столба жидкости высотой H с давлением от высоты столба воздуха (атмосферным давлением на уровне моря 101350 Па). Таким образом абсолютное P давление на глубине H определяется по формуле $P = \rho \cdot g \cdot H + 101350$.

Выделим цилиндрический объем воды, описанный вокруг торпеды. Для оценки влияния формы головной части торпеды на ее гидродинамику будем предполагать, что давление в этом объеме постоянно и равно абсолютному давлению P , вычисленному для глубины H , определяемой положением оси симметрии торпеды и цилиндрического объема обтекающей ее воды. В этом случае задача для морской торпеды, двигающейся с постоянной скоростью в воде на постоянной глубине без теплопередачи становится осесимметричной.

Это значительное упрощение позволит решить задачу средствами FLOTTRAN бесплатной программы ANSYS 10ED, а также провести качественный анализ влияния геометрии головной части торпеды на ее гидродинамику.

Предполагая неподвижность торпеды, задача сводится к исследованию течения, описанного вокруг оси симметрии боеприпаса цилиндрического объема воды, диаметр основания и длина которого больше диаметра и длины торпеды. Передняя кромка локационного устройства предполагается перпендикулярной набегающему потоку [4].

Учитывая осесимметричность постановки задачи и специфику решения гидродинамических задач средствами ANSYS 10 ED/FLOTTRAN [4], в данном случае достаточно рассмотреть плоское радиальное сечение цилиндрического фрагмента воды, обтекающей плоский недеформируемый профиль радиального сечения морской торпеды (рис. 1, 2).

В соответствии со спецификой отображения результатов решения осесимметричных гидродинамических задач средствами ANSYS 10 ED/FLOTTRAN [4] вертикальная ось OY будет являться осью симметрии торпеды и набегающий поток воды будет двигаться также вертикально вдоль оси OY . Поскольку при решении используется гипотеза несжимаемости воды, то ее плотность должна приниматься постоянной на любой глубине.

Описание параметров модели. В данном исследовании используются следующие наименования геометрических параметров модели (рис. 3): L (м) – общая длина боеприпаса до движителя, L_0 (м) – вспомогательный параметр для дальнейших исследований (для торпед «Физик» и «Футляр» $L_0 = 0$), L_1 (м) – длина головной части аппаратуры самонаведения, L_2 (м) – длина торпеды до начала конического сужения в кормовой части торпеды, R_0 (м) – радиус плоской носовой приемно-излучающей антенны, R_1 (м) – наибольший радиус торпеды (половина калибра), R_2 (м) – условный наименьший радиус торпеды в кормовой части перед движителем. Кроме того, будет использоваться параметры H (м) – глубина, на которой движется торпеда, V_0 – скорость набегающего потока (15 м/с) [3], T_0 – температура окружающей среды (20°C).

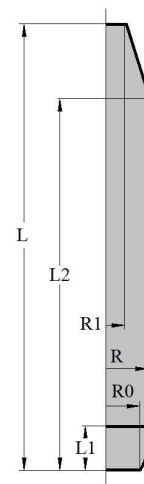


Рис. 3. Геометрические параметры осевого сечения торпеды без стабилизатора

Построение модели расчетной области. Команды построения геометрии модели поставленной задачи приведены в табл. 1 и 2.

Команды в строках № 1-2 (табл. 1) определяют имя анализа torpedo с сохранением имен открытых файлов задачи (файла ошибок, результатов и т.д.), с которыми будет осуществляться обмен с данными, а также обеспечивают вход в препроцессор для подготовки геометрии расчетной области, ее разбиения на конечные элементы и определения краевых условий.

Команды в строках № 3-4 (табл. 1) производят выбор двумерного элемента текучей среды FLUID141 с опцией осесимметричности относительно Y -оси.

Команды в строках № 5-14 (табл. 1) устанавливают значения используемых параметров.

Команды в строках № 15-36 (табл. 1) задают массив координат ключевых точек модели радиального сечения торпеды и среды вокруг ее. Далее команды в строках № 37-39 (табл. 1) в цикле строят ключевые точки модели на рабочей плоскости, а команды в строках № 40-45 (табл. 1) строят границу модели радиального сечения среды на рабочей плоскости. В строке № 46 (табл. 1) команда создает плоскость радиального сечения цилиндрической среды с помещенной в нее торпедой.

Построение свободного разбиения модели. Команды в строках №1-3 (табл. 2) назначают размеры элементов на границах модели. Команда № 4 (табл. 2) задает размер элемента внутри радиального сечения модели. Команды в строках №5-7 (табл. 2) производят свободное разбиение модели последовательно по вспомогательным областям и использованием двух видов команд.

Табл. 1. Код APDL построения контурных линий модели

N	Команды	N	Команды
1.	/FILENAME, torpedo, 0	24.	Y(4) = L2 + 2*L
2.	/PREP7	25.	X(5) = R1
3.	ET, 1, FLUID141	26.	Y(5) = 3*L
4.	KEYOPT, 1, 3, 1	27.	X(6) = 0
5.	L = 7.4	28.	Y(6) = 3*L
6.	L0 = 0	29.	X(7) = 0
7.	L1 = 0.20	30.	Y(7) = 5*L
8.	L2 = 6.4	31.	X(8) = 10*R
9.	R = 0.265	32.	Y(8) = 5*L
10.	R0 = 0.18	33.	X(9) = 10*R
11.	R1 = 0.15	34.	Y(9) = 0
12.	H = 10	35.	X(10) = 0
13.	V0 = 15	36.	Y(10) = 0
14.	P = 1000*9.8*H + 101350	37.	*DO, i, 1, 10
15.	*DIM, X, ARRAY, 10	38.	K, i, X(i), Y(i)
16.	*DIM, Y, ARRAY, 10	39.	*ENDDO
17.	X(1) = 0	40.	LSTR, 1, 2
18.	Y(1) = 2*L-L0	41.	BSPLIN, 2, , , , , 3, - COS(ATAN((Y(2)-Y(1))/(X(2)- X(1)))), -SIN(ATAN((Y(2)- Y(1))/(X(2)-X(1)))), 0, 0, 1, 0
19.	X(2) = R0	42.	*DO, i, 3, 9
20.	Y(2) = 2*L	43.	LSTR, i, i+1
21.	X(3) = R	44.	*ENDDO
22.	Y(3) = L1+2*L	45.	LSTR, 10, 1
23.	X(4) = R	46.	AL, ALL

Табл. 2. Команды подготовки и построения свободного разбиения модели

N	Команды	N	Команды
1.	*DO, i, 1, 5, 1	5.	MSHMID, 0
2.	LESIZE, i, L/100	6.	MSHKEY, 0
3.	*ENDDO	7.	AMESH, 1
4.	AESIZE, 1, L/40	8.	---

Задание краевых условий. Команды в строках №1-8 (табл. 3) устанавливают краевые условия задачи обтекания профиля радиального сечения торпеды: скорость набегающего потока воды (строки № 1-2, табл. 3), выбор линий профиля боеприпаса и условия прилипания на его границе (строки № 3-6, табл. 3), условия осесимметричности задачи (строки № 7-8, табл. 3).

Условия отсутствия избыточного давления на фронтальной, задней и боковой границах водной среды определяется командами в строках № 9-11 (табл. 3).

Табл. 3. Команды задания краевых условий

N	Команды	N	Команды
1.	DL, 9, , VX, 0, 1	7.	DL, 6, , VX, 0, 1
2.	DL, 9, , VY, V0, 1	8.	DL, 10, , VX, 0, 1
3.	LSEL, S, LINE, , 1, 5	9.	DL, 7, , PRES, 0, 1
4.	DL, ALL, , VX, 0, 1	10.	DL, 8, , PRES, 0, 1
5.	DL, ALL, , VY, 0, 1	11.	DL, 9, , PRES, 0, 1
6.	ALLSEL, ALL	12.	---

Определение параметров среды и решение задачи. Предполагается, что профиль радиального сечения торпеды обтекается водой без теплообмена с известными значениями скорости, давления, плотности, вязкости и температуры набегающего потока. Таким образом, течение вязкой среды является стационарным, адиабатическим и, с учетом геометрии профиля боеприпаса, турбулентным. Команды указания параметров вязкой среды (воды), а также параметров решения поставленной задачи приведены в табл. 4.

Команды в строках № 1-9 (табл. 4) указывают стандартные свойства воды с постоянными значениями плотности, вязкости, теплопроводности, удельной теплоемкости и абсолютного давления для решаемой задачи.

Команды в строках №10-16 (табл. 4) определяют модель течения (адиабатическое, турбулентное движение несжимаемой текучей среды – команды в строках №10-13, табл. 5), производят выбор параметров решателя (модель турбулентности, алгоритм решения и количество итераций – команды в строках №13-16, табл. 4)

Команды в строках № 17-19 (табл. 4), задают величины относительных параметров для обеспечения сходимости решения поставленной задачи.

Команды в строках №20-21 (табл. 4) обеспечивают переход из препроцессора в среду решателя, а также выполняет запуск решения.

Табл. 4. Команды определения параметров среды и решения задачи

N	Команды	N	Команды
1.	FLDATA7, PROT, DENS, CONSTANT	12.	FLDATA1, SOLU, TURB, 1
2.	FLDATA8, NOMI, DENS, 1000	13.	FLDATA1, SOLU, COMP, 0
3.	FLDATA7, PROT, VISC, CONSTANT	14.	FLDATA24, TURB, MODL, 3
4.	FLDATA8, NOMI, VISC, 0.000894	15.	FLDATA37, ALGR, SEGR, SIMPLEN
5.	FLDATA7, PROT, COND, CONSTANT	16.	FLDATA2, ITER, EXEC, 500
6.	FLDATA8, NOMI, COND, -1	17.	FLDATA34, MIR, MOME, 0.99
7.	FLDATA7, PROT, SPHT, CONSTANT	18.	FLDATA34, MIR, TURB, 0.99
8.	FLDATA8, NOMI, SPHT, -1	19.	FLDATA34, MIR, TEMP, 0.99
9.	FLDATA15, PRES, REFE, P	20.	/SOL
10.	FLDATA1, SOLU, TRAN, 0	21.	SOLVE
11.	FLDATA1, SOLU, TEMP, 0	22.	---

Отображение результатов решения. Поскольку задача установившегося движения воды решается итерационно, для получения доступа к результатам анализа необходимо прочитать последние по времени данные решения с помощью последовательности двух команд /POST1 и SET, LAST.

Для отображения модели в осесимметричном виде перед отображением результатов необходимо воспользоваться командой /EXPAND, 18, AXIS, HALF, 10. После этого можно отобразить, например, распределение давления в головной части торпеды PLNSOL, PRES (рис. 4).

Обсуждение результатов. Удобство использования параметрической модели заключается в том, что исследователь получает возможность вариации геометрических размеров исследуемого объекта для поиска оптимальной по заданным критериям формы без изменения логики построения модели, реализованной в ранее созданном списке команд.

Положив параметр $L0$ (м) (рис. 5, строка 6 таблицы 1) отличным от нуля, например, $L0 = 0.3$ (м), что соответствует конической головной части с углом при вершине близким к 31 градусу, можно, использовав остальные команды таблиц 1-4 без изменений, получить, что в этом случае ожидается общее снижение давления в головной части более чем в 2 раза (рис. 6). С учетом наклона поверхности конуса, можно ожидать снижение силы сопротивления движению торпеды до четырех раз.

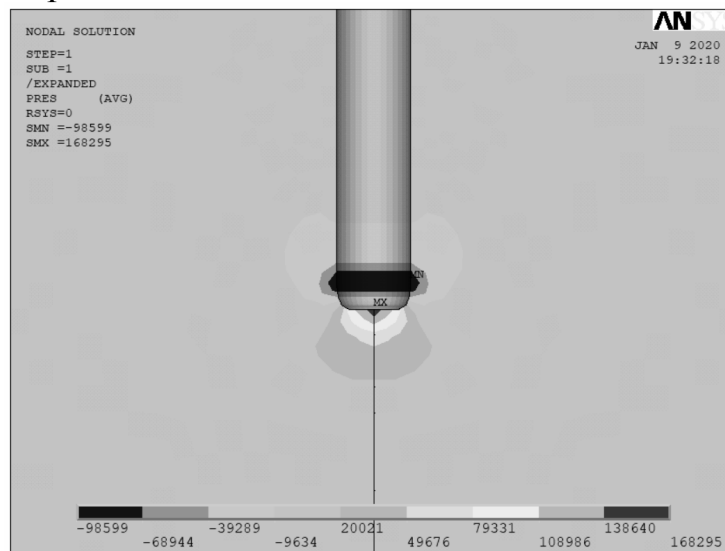


Рис. 4. Распределение давления в головной части торпеды с плоским носовым локатором

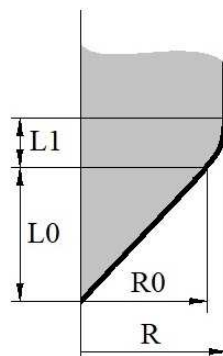


Рис. 5. Геометрический смысл параметра $L0$

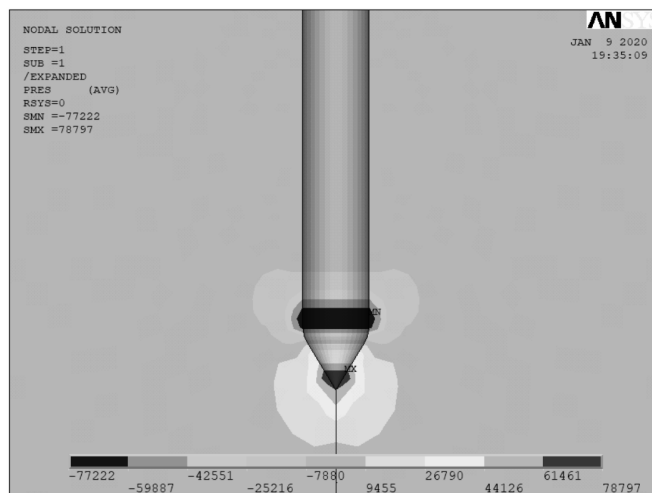


Рис. 6. Распределение давления в головной части торпеды с коническим обтекателем

Выводы. Установлено, что плоский локатор в головном отделении торпеды «Футляр» служит мощным гидродинамическим тормозом, сокращающим, как следствие, скорость движения торпеды и дальность ее применения.

С другой стороны, в силу большой длины торпеды, использование этого конструктивного элемента не может приводить к снижению эффективности хвостового стабилизатора и управляемости торпеды.

Однако, если новейшие торпеды «Футляр» имеют средства управления в средней или головной части торпеды, то наличие плоского локатора может привести к значительному ухудшению управляемости боеприпаса на траектории движения.

В качестве рекомендаций по улучшению гидродинамики торпед «Физик» и «Футляр» следует рассмотреть вариант крепления конического обтекателя из радио прозрачного материала, используемого на современных боевых самолетах для создания обтекателей, прикрывающих носовые локационные системы.

Это существенно увеличит как скорость перемещения торпеды, так и дальность ее применения.

Список литературы

1. Торпедное оружие: методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Боевые средства флота и их боевое применение» / В.В. Косарев, В.Н. Садовников. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2000. – 48 с.
2. Торпеда УГСТ «Физик-2» / «Футляр». Загадочная новинка российского флота / Военное обозрение [Электронный документ] URL: <https://topwar.ru/122273-torpeda-ugst-fizik-2-futlyar-zagadochnaya-novinka-rossiyskogo-flota.html>
3. «Футляр» для морской силы: новая российская торпеда / Федеральное агентство новостей [Электронный документ]: URL: <https://riafan.ru/532881-futlyar-dlya-morskoi-sily-novaya-rossiiskaya-torpeda>
4. Кравчук А.С. Параметрическая модель обтекания осколочно-фугасного снаряда потоком воздуха / А.С. Кравчук, А.И. Кравчук, И.А. Тарасюк // Перспективы науки. 2018. № 7 (106). С. 44-51.

Сведения об авторе:

Кравчук Александр Степанович – д.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник, БНТУ, г. Минск.