РАЗДЕЛ XII. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ищейкин Г.Ю.

Расчет аэродинамических усилий

Мурманский государственный технический университет
(Россия, Мурманск)

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-24

idsp: sciencerussia-10-04-2020-24

Аннотация

Для моделирования движения судна при выполнении сложных маневров в реальных условиях плавания в математическую модель судна требуется ввести параметры, определяющие влияние внешних факторов, одним из которых является ветер. В статье определяется способ математического описания влияния ветра на маневренные характеристики судна. Известно, что ветровая нагрузка на маневрирующее судно постоянно меняется из-за изменения курсового угла кажущегося ветра, следовательно, расчёт аэродинамических коэффициентов при моделировании движения судна должен быть непрерывным и адекватно соответствовать силовому воздействию ветра на судно в процессе выполнения манёвра. Авторами выбрана универсальная методика расчёта аэродинамических коэффициентов, а полученные расчётные зависимости позволяют программно реализовать моделирование любого сложного манёвра судна при непрерывном изменении параметров ветровой нагрузки в процессе его выполнения.

Ключевые слова: судно, аэродинамические коэффициенты, математическое моделирование.

Влияние ветра на параметры маневрирования судна существенно и особенно заметно, если отношение v_a/v скорости ветра v_a и скорости судна v начинает расти и достигает значений значительно превышающих 1,0 [1], [4], [7]. Последствия воздействия ветра на движущееся судно могут быть трудно прогнозируемыми, если судоводитель плохо представляет от чего зависит характер поведения судна в результате аэродинамического воздействия. Учитывая, что большинство ключевых судовых операции обычно выполняются на малых скоростях, т.е. отношение v_a/v достаточно велико, при этом возможны частые переходные режимы движения и движения при неработающем двигателе или движение задним ходом, значимость знания судоводителем как аэродинамических характеристик собственного судна, так и общих закономерностей воздействия ветра на управляемость судна резко возрастает.

Аэродинамические усилия

Аэродинамические усилия, подобно гидродинамическим, находятся с помощью аэродинамических коэффициентов C_{xa} , C_{ya} , C_{ma} . При этом основным параметром, который определяет значения аэродинамических коэффициентов, является курсовой угол кажущегося ветра q_R , находящийся в зависимости от скорости v_a и курсового угла q_a истинного ветра, а также курса ψ и скорости судна v . Формулы, определяющие скорость v_R и курсовой угол кажущегося ветра q_R получаются суммированием двух векторов v и v_a , имеют следующий вид:

$$v_R = \sqrt{v_a^2 + v^2 + 2v_a v \cos(q_a)}; \quad (1)$$

$$q_R = \arccos \left[\frac{v + v_a \cos(q_a)}{\sqrt{v_a^2 + v^2 + 2v_a v \cos(q_a)}} \right] - \psi \quad (2)$$

После определения этих двух характеристик можно найти сами аэродинамические усилия, действующие на надводную часть судна:

$$\left. \begin{aligned} X_a &= 0.5C_{xa}\rho_a v_R^2 S_m \\ Y_a &= 0.5C_{ya}\rho_a v_R^2 S_{dp} \\ M_a &= 0.5C_{ma}\rho_a v_R^2 S_{dp} L \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ρ_a – массовая плотность воздуха ($\rho_a = 1,226 \times 10^{-3}$ т/м³);

S_m – площадь проекции надводной части корпуса судна, надстроек и рубок на плоскость мидель-шпангоута;

S_{dp} – площадь проекции надводной части корпуса судна, надстроек и рубок на диаметрально плоскость (ДП);

L – длина судна.

Аэродинамические коэффициенты

Наиболее полный учет архитектурных особенностей надводной части танкера при расчете аэродинамических коэффициентов можно произвести с использованием результатов модельных экспериментов, выполненных Ишервудом [8]. При этом моделируемый танкер не имеет архитектурных особенностей надводной части корпуса, надстроек и рубок, которые не могут быть учтены предложенной Ишервудом расчетной методикой. Суть предлагаемой методики аналитического расчета значений аэродинамических коэффициентов сводится к использованию следующих расчетных зависимостей в которых представлены основные параметры, характеризующие аэродинамические свойства танкера, а именно:

$$\begin{aligned} C_{ax} &= A_0 + A_1 \frac{2S_{dp}}{L_{\max}^2} + A_2 \frac{2S_m}{B^2} + A_3 \frac{L_{\max}}{B} + A_4 \frac{P_{dp}}{L_{\max}} + A_5 \frac{l_a}{L_{\max}} + A_6 M; \\ C_{ay} &= B_0 + B_1 \frac{2S_{dp}}{L_{\max}^2} + B_2 \frac{2S_m}{B^2} + B_3 \frac{L_{\max}}{B} + B_4 \frac{P_{dp}}{L_{\max}} + B_5 \frac{l_a}{L_{\max}} + B_6 \frac{S_{dp}^{\Sigma}}{S_{dp}} \\ C_{am} &= C_0 + C_1 \frac{2S_{dp}}{L_{\max}^2} + C_2 \frac{2S_m}{B^2} + C_3 \frac{L_{\max}}{B} + C_4 \frac{P_{dp}}{L_{\max}} + C_5 \frac{l_a}{L_{\max}} \end{aligned} \quad (4)$$

$L_{\max}$ – максимальная длина танкера;

B – ширина танкера;

S_{dp} – площадь проекции надводной части корпуса танкера, надстроек и рубок на диаметрально плоскость (без учёта относительно тонких выступающих частей, таких как вышки, мачты, стрелы и т. п.);

S_{dp}^{Σ} – площадь проекции надстроек и рубок на диаметрально плоскость;

S_m – площадь проекции надводной части корпуса танкера, надстроек и рубок на плоскость мидель-шпангоута;

P_{dp} – периметр площади проекции на ДП, без учета длины ватерлинии (WL);

l_a – расстояние от носовой оконечности танкера до его центра парусности;

M – количество отдельно стоящих мачт (для моделируемого танкера $M = 0$).

Входящие в выражения (4) шесть коэффициентов A_k , B_k , C_k получены экспериментально для углов кажущегося ветра q_R в диапазоне от 0° до 180° с шагом в 10° .

Расчет параметров, характеризующих основные аэродинамические свойства танкера производится путем сканирования его сечения вдоль ДП с последующей оцифровкой контура надводной части танкера с помощью специальной программы в VB6. Результаты оцифровки в виде файла координат контура используются для подсчета всех необходимых параметров, характеризующих аэродинамические свойства танкера. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры, характеризующие аэродинамические свойства танкера «Архангельск»

	$L_{\max}$, м	B , м	S_{dp}	S_{dp}^{Σ}	S_m	P_{dp}	l_a
В балласте	162	30	1892	372	779	247	89.5

Взяв за основу представленные выше материалы модельных экспериментов, полученные Ишервудом, необходимо определиться с методикой расчета аэродинамических коэффициентов при выполнении компьютерного моделирования.

Предлагаемая методика предусматривает два возможных направления расчета. Первое направление состоит в том, что каждый из индексированных коэффициентов A_k , B_k , C_k ($k = 0 \div 5$) аппроксимируется как функция курсового угла кажущегося ветра q_R . Таким образом формируется 18 формул, представляющих зависимости аэродинамических коэффициентов от курсового угла кажущегося ветра $C_{ax}(q_R)$, $C_{ay}(q_R)$, $C_{am}(q_R)$. Преимущество такого решения состоит в том, что можно проследить в каждом конкретном случае, каким «весом» обладает каждое слагаемое в выражениях (4), и, как следствие, какое влияние это слагаемое оказывает на значение аэродинамических усилий. В результате проведенного анализа в дальнейшем можно универсализировать полученные выражения с целью их использования при моделировании ветрового воздействия на маневрирующий танкер при выполнении тех или иных ключевых судовых операций.

Второе направление расчета сводится к тому, что все слагаемые для заданного значения курсового угла кажущегося ветра рассматриваются одновременно, а затем получают одно аппроксимационное выражение для каждого аэродинамического коэффициента $C_{ax}(q_R)$, $C_{ay}(q_R)$, $C_{am}(q_R)$. Преимущество такого решения в том, что аппроксимирующих формул окажется только три, а также представится возможность определить «вес» каждого слагаемого в рассчитываемом аэродинамическом коэффициенте.

В дальнейшем поэтапно использована комбинация двух указанных направлений. На первом этапе рассмотрены отдельно слагаемые аэродинамических коэффициентов, сделаны из этих расчетов качественные выводы об их соотношениях, но полученные таким образом 18 формул аппроксимации не сохраняются и не используются. На втором этапе для конкретных расчетов при моделировании будем использовать только три аппроксимирующих формулы для коэффициентов C_{ax} , C_{ay} , C_{am} . Все эти вычислительные манипуляции выполним в программной среде MathCad.

Поскольку в настоящее время имеются данные продувок лишь моделей судов наиболее распространенных архитектурных типов [2], [4], [5], [9] мы не можем с высокой степенью вероятности утверждать, что выбранный нами способы определения аэродинамических коэффициентов является универсальными и, что самое главное, адекватно отражают закономерности ветрового воздействия на танкер. И в тоже время, нами выбрана наиболее универсальная методика расчёта аэродинамических коэффициентов, а полученные расчётные зависимости позволяют программно реализовать моделирование любого сложного манёвра судна при непрерывном изменении параметров ветровой нагрузки в процессе его выполнения.

1. Войткунский, Я.И. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость. Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов. -Л.: Судостроение, 1973. 512 с.
2. Гирс, И.В., Аэродинамические характеристики речных судов. И.В. Гирс, А.М. Сарибан. – Л.: Судпромгиз, 1939, № 9
3. Гофман, А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. Гофман А.Д. Л.: Судостроение, 1988. 360 с.
4. Девнин, С.И. Аэрогидромеханика плохообтекаемых конструкций: Справочник. С.И. Девнин. Л.: Судостроение, 1983. 320 с.

5. Павленко, В.Г. Маневренные качества речных судов. (Управляемость судов и составов). Учеб. пособие для ин-тов водн. Трансп. В.Г. Павленко. М.: Транспорт, 1979, 184 с.
 6. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания. Под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. 544 с.
 7. Федяевский, К.К. Управляемость корабля. К.К. Федяевский, Г.В. Соболев. Л.: Судпромгиз, 1963.
 8. Isherwood, R. Wind Resistance of Merchant Ships. TRINA, 1973, vol. 115, p. 327-335.
 9. Martin, L.L. Ship Manoeuvring and Control in Wind. SNAME Tr. 1980, V.88.P.257-281.
 10. Shearer, K.D.A. и Linn W.M. Wind tunnel test on models of merchant ships. NE Coast Inst. of Engrs. and Shipbuilders. 1960, V.76, part 5.
-