

Д. О. В е р е т е н н и к о в (Санкт-Петербург, ЦКБ МТ «Рубин»). **Определение условия оптимума для гребного винта с помощью RANSE-методов при проектировании комплекса корпус–двигатель.**

Проблемы гидродинамической интерференции корпуса судна и его движителя интенсивно исследуются с 60-х годов XX века [1, 2]. Один из наиболее важных вопросов в рамках данных исследований связан с поиском аналитического условия оптимума для комплекса корпус–двигатель в вязкой жидкости. Такое условие с учетом размыва гидродинамического следа за корпусом было предложено в работе [3]. Цель работы, представленной данным сообщением, заключается в проверке адекватности этого условия с использованием современных вычислительных методов механики вязкой жидкости.

Аналитическое условие оптимума представляет собой соотношение для определения такого распределения осевой составляющей относительной скорости u_w для точек в плоскости F_w гидродинамического следа далеко за комплексом, которое обеспечивает минимум подводимой к движителю мощности ($\min P_D$). Таким образом, необходимо найти распределение u_w на F_w в качестве необходимого условия минимума интеграла

$$P_D = P_R + \frac{1}{2}\rho \int_{F_w} u_w(u_w - U_0^2) dF_w, \quad (1)$$

где U_0 — абсолютная величина скорости равномерного поступательного движения комплекса, P_R — буксировочная мощность, расходуемая на преодоление сопротивления голого корпуса.

В итоге в соответствии с [3] необходимое искомое условие оптимума можно записать в виде

$$u_w = c = \text{const} \quad \text{на} \quad F_w \quad \text{при} \quad u_w > U_0/2. \quad (2)$$

Для подтверждения корректности аналитического условия оптимума (2) были проведены расчеты при помощи компьютерного пакета Fluent, вычислительные процедуры которого базируются на численном решении уравнений Навье–Стокса RANSE-методом. Рассматривалось обтекание тела Паттеля потоком жидкости. Двигатель для упрощения был задан активным диском (т. е. перепадом давления).

Форма профиля перепада давления в активном диске варьировалась (профили Fan0–Fan4) при одинаковом перепаде давления, а, значит, и упоре движителя (рис. 1). При помощи пакета Fluent для каждого из профилей определялась осевая составляющая относительной скорости u_w для точек в плоскости гидродинамического следа далеко за комплексом F_w , оптимальное распределение которой согласно (2) является необходимым для получения минимума подводимой к движителю мощности ($\min P_D$), или, иными словами, максимума пропульсивного коэффициента.

В расчетах использовались две модели турбулентности: $k - \epsilon$ Realizable и $k - \omega$ SST. В результате был проведен ряд расчетов и получены гидродинамические характеристики при обтекании комплекса корпус–двигатель. Распределения осевой составляющей скорости по радиусу следа для различных вариантов перепада давления представлены на рис. 2 (на примере $k - \epsilon$ модели турбулентности).

Расчетные гидродинамические характеристики представлены в таблице.

Таблица. Результаты расчетов

Расчет при использовании модели турбулентности $k - \varepsilon$ Realizable				
Параметр	Fan1=Fan2	Fan3	Fan4	Fan0 (без АД)
Мощность P_D , кВт	2,69	3,73	2,27	2,47 (буксир. мощность)
Пропульсивный коэффициент	0,95	0,684	1,123	—
Расчет при использовании модели турбулентности $k - \omega$ SST				
Параметр	Fan1=Fan2	Fan3	Fan4	Fan0 (без АД)
Мощность P_D , кВт	2,73	3,76	2,26	2,47 (буксир. мощность)
Пропульсивный коэффициент	0,82	0,596	0,988	—

Как видно из таблицы, для профиля перепада давления Fan4 (для которого осевая составляющая относительной скорости u_w наиболее оптимальна) затраты на подводимую к движителю мощность минимальны, пропульсивный коэффициент максимален. Для профиля Fan3 (с наименее оптимальным распределением осевой составляющей относительной скорости) затраты на подводимую к движителю мощность максимальны из всех рассматриваемых случаев, а пропульсивный коэффициент минимален.

Таким образом, было получено и подтверждено условие оптимума для комплекса корпус–двигатель, содержащее только эффективную относительную скорость в поперечном сечении гидродинамического следа за комплексом, т. е. доступную измерениям и расчетам в вязкой жидкости величину. Поскольку это условие справедливо на достаточном большом расстоянии от движителя, оно справедливо для любого типа движителей, т. е. гребного винта, водомета, АЗИПОДа и так далее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивченко В. М.* О наивыгоднейшем движительном комплексе. Материалы по обмену опытом. Теория корабля. Л.: НТО судпрома, ЦП, 1963, с. 72–76.
2. *Мишкевич В. Г.* Справочник по теории корабля. Т. 1. Оптимальный движительный комплекс корпус–двигатель. Л.: Судостроение, 1985, с. 531–534.
3. *Ачкинадзе А. Ш.* Теория оптимального идеального движителя. — В сб.: Материалы юбилейной НТК, посвященной 100-летию СПбГМТУ, 18–21 мая 1999. Ч. 2. СПб.: СПбГМТУ, 1999, с. 145–150.