

Существующие методики расчета воздушных движителей не учитывают неоднородность рабочей среды. Решение задачи видится на основе применения численных методов и соответствующих программных комплексов, однако численные методы не могут дать удовлетворительного результата без использования экспериментальных данных. В настоящее время большинство существующих методик математически сложны и при этом имеют большие расхождения с практическими данными.

На наш взгляд, перспективными являются такие программные комплексы, как «Flow Vision» или «STAR-CD». Реализованная в них модель дисперсных частиц используется для моделирования двухфазных течений, в которых вещество одной из фаз представлено в виде дисперсных частиц, причем объемная доля, занимаемая этими частицами, невелика (до 10% объема). Примерами таких течений являются разбрызганные в потоке воздуха капли воды, а также твердые частицы. Вещество, образующее основную фазу, полагается сплошной средой, и его течение моделируется уравнениями Навье–Стокса (или Рейнольдса) и неразрывности. Вещество, присутствующее в потоке в виде дискретных частиц, не образует сплошную среду, отдельные частицы взаимодействуют с потоком основной фазы и друг с другом дискретно. Для моделирования движения частиц рассеянной фазы используется подход Лагранжа, т.е. отслеживается движение отдельно взятых частиц рассеянной фазы под действием сил со стороны потока основной фазы.

Для анализа воздействия неоднородного потока на лопасти воздушного винта в современных программных комплексах реализовано несколько граничных условий, соответствующих различным событиям, происходящим при соударении дискретной частицы с твердой стенкой: отскок в результате упругого или неупругого удара, прилипание к стенке, проскальзывание вдоль стенки и другое.

Современные программные комплексы позволяют смоделировать воздействие неоднородной рабочей среды на воздушные винты и винтовентиляторы СВП и получить отличия в напряженно-деформированном состоянии лопасти от «классической» теории расчета воздушных движителей. На основании этого анализа могут быть предложены научно обоснованные методы защиты воздушных винтов и винтовентиляторов СВП от внешних силовых воздействий.

**В.М. Шмаков**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА СУДНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Рассмотрена возможность оценки состояния пропульсивного комплекса судна с позиций эффективности его действия по результатам теплотехнического контроля теплохода с помощью математической модели, описывающей существующее взаимодействие между составляющими пропульсивного комплекса.

С увеличением срока эксплуатации судна характеристики составляющих пропульсивного комплекса (сопротивление движению от скорости хода судна, гидродинамические характеристики гребного винта и зависимость эффективной мощности двигателя от частоты вращения) ухудшаются под воздействием внешних факторов.

Некоторые представления об изменениях характеристик пропульсивного комплекса дают результаты теплотехнического контроля серийных теплоходов, представленные в табл. 1.

Оценка изменения характеристик составляющих пропульсивного комплекса может быть выполнена путем математического моделирования на основе существующих закономерностей взаимодействия этих характеристик в процессе эксплуатации судна.

Таблица 1

Результаты теплотехнического контроля теплоходов

| Величины                | Волго-Дон<br>507Б |     | Волго-Дон<br>507Б |       | Волго-Дон<br>111 |     | Волго-Дон<br>5018 |       | Волго-Дон<br>3055 |     |
|-------------------------|-------------------|-----|-------------------|-------|------------------|-----|-------------------|-------|-------------------|-----|
|                         | Осадка, м         | 3,1 |                   | 3,1   |                  | 3,1 |                   | 3,1   |                   | 3,1 |
| Частота вращения, 1/мин | 325               | 325 | 362               | 356   | 350              | 361 | 346               | 338   | 360               | 336 |
| Расход топлива, кг      | 123               | 123 | 156               | 148,6 | 137              | 155 | 155               | 143   | 138               | 126 |
| Мощность, кВт           | 633               | 633 | 691,2             | 665,4 | 595              | 656 | 636,8             | 666,9 | 687,5             | 636 |
| Мощность суммарная, кВт | 1266              |     | 932               |       | 1250             |     | 1304              |       | 1324              |     |
| Скорость хода, км/ч     | 18,0              |     | 18,0              |       | 19,0             |     | 19,5              |       | 19,2              |     |

Скорость хода судов типа «Волго-Дон» с двигателями Г60 в условиях сдаточных испытаний (новый двигатель, нормальная шероховатость поверхностей корпуса и лопастей гребного винта, средняя осадка  $T \approx 3,48$  м) составлял 21 км/ч.

Зафиксированные значения скоростей хода этих судов при проведении теплотехнического контроля лежат в пределах (18,0–19,5) км/ч. Основной причиной снижения скорости хода судна и оборотов двигателя, а вследствие этого – ухудшение эффективности эксплуатации судна, является увеличение шероховатости соответственно поверхности корпуса и лопастей гребного винта, а также снижение среднего эффективного давления в цилиндрах двигателя.

Для построения математической модели динамического взаимодействия характеристик пропульсивного комплекса использованы существующие закономерности взаимодействия между ними при установившемся движении судна:

- равенство суммарного упора винтов сопротивлению судна;
- равенство момента сопротивления вращению винта вращающему моменту двигателя;

При заданных исходных данных (первая колонка таблицы 1) последовательными приближениями по алгоритму модели определены (табл. 2) :

- надбавка на шероховатость к коэффициенту сопротивления трения  $\Delta\zeta_{ш}$ ;
- динамические характеристики гребного винта  $K_1$  и  $K_2$ ;
- коэффициент полезного действия гребного винта, – удовлетворяющие условиям задания.

Таблица 2

**Величины, характеризующие работу пропульсивного комплекса судна**

|  |                     |
|--|---------------------|
| Относительная поступь  | 0,438               |
| Надбавка к коэффициенту сопротивления трения $\Delta\zeta_{ш}$ | $1,7 \cdot 10^{-3}$ |
| Коэффициент упора $K_1$  | 0,240               |
| Коэффициент момента $K_2$                                      | 0,032               |
| Коэффициент полезного действия гребного винта                  | 0,530               |
| Достижимая скорость судна, м/с                                 | 5,01                |

Ходовые характеристики, рассчитанные для тех же условий, приведены в таблице 3 и 4.

Таблица 3

**Ходовые характеристики при постоянных теплотехнических параметрах**

| Величины           | Относительная поступь |       |       |       |              |       |       |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|                    | Ед.измер.             | 0.100 | 0.200 | 0.300 | <b>0.438</b> | 0.500 | 0.600 |
| Частота вращения   | 1/с                   | 4,70  | 4,85  | 5,05  | <b>5,42</b>  | 5,64  | 6,14  |
| Мощность двигателя | кВт                   | 515,6 | 539,2 | 569,9 | <b>627,2</b> | 661,7 | 739,0 |
| Тяга движителей    | кН                    | 178,7 | 164,5 | 151,2 | <b>129,6</b> | 119,6 | 104,3 |
| Скорость судна     | м/с                   | 0,99  | 2,05  | 3,20  | <b>5,01</b>  | 5,96  | 7,79  |

В табл. 5 приведены результаты расчета показателей пропульсивного комплекса судна, а в таблицах 6 и 7 – ходовые характеристики для условий стандартных испытаний судна

Таблица 4

**Ходовые характеристики при постоянной частоте вращения**

| Частота вращения, 1/с 5.42 |            |                       |       |       |              |       |       |
|----------------------------|------------|-----------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| Величины                   | Ед. измер. | Относительная поступь |       |       |              |       |       |
|                            |            | 0.100                 | 0.200 | 0.300 | <b>0.438</b> | 0.500 | 0.600 |
| Мощность двигателя         | кВт        | 791,8                 | 752,0 | 704,5 | <b>626,7</b> | 585,5 | 506,7 |
| Тяга движителей            | кН         | 237,8                 | 205,2 | 174,0 | <b>129,4</b> | 110,1 | 81,0  |
| Скорость судна             | м/с        | 1,14                  | 2,29  | 3,43  | <b>5,01</b>  | 5,72  | 6,87  |

Таблица 5

|  |                     |
|--|---------------------|
| Относительная поступь  | 0,457               |
| Надбавка к коэффициенту сопротивления трения $\Delta\zeta_{ш}$ | $0,6 \cdot 10^{-3}$ |
| Коэффициент упора $K_1$  | 0,180               |
| Коэффициент момента $K_2$                                      | 0,021               |
| Коэффициент полезного действия гребного винта                  | 0,610               |
| Достижимая скорость судна, м/с                                 | 6,03                |

Таблица 6

**Ходовые характеристики при постоянных теплотехнических параметрах**

| Величины           | Относительная поступь |       |       |       |              |       |       |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|                    | Ед. измер.            | 0.100 | 0.200 | 0.300 | <b>0.457</b> | 0.500 | 0.600 |
| Частота вращения   | 1/с                   | 5,19  | 5,37  | 5,62  | <b>6,25</b>  | 6,51  | 7,21  |
| Мощность двигателя | кВт                   | 506,6 | 532,0 | 566,8 | <b>655,9</b> | 692,1 | 790,0 |
| Тяга движителей    | кН                    | 179,3 | 167,3 | 152,3 | <b>129,6</b> | 123,2 | 103,3 |
| Скорость судна     | м/с                   | 1,10  | 2,27  | 3,56  | <b>6,04</b>  | 6,88  | 9,14  |

Таблица 7

**Ходовые характеристики при постоянной частоте вращения**

| Частота вращения, 1/с 6.25 |            |                       |       |       |              |       |       |
|----------------------------|------------|-----------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| Величины                   | Ед. измер. | Относительная поступь |       |       |              |       |       |
|                            |            | 0.100                 | 0.200 | 0.300 | <b>0.457</b> | 0.500 | 0.600 |
| Мощность двигателя         | кВт        | 887,7                 | 840,7 | 781,8 | <b>655,4</b> | 612,2 | 514,5 |
| Тяга движителей            | кН         | 260,4                 | 226,8 | 188,6 | <b>129,5</b> | 113,4 | 77,6  |
| Скорость судна             | м/с        | 1,32                  | 2,64  | 3,96  | <b>6,03</b>  | 6,60  | 7,92  |

Анализ результатов расчета показывает, что показатели, характеризующие эффективность работы пропульсивного комплекса изменились в следующих пределах:

- надбавка к сопротивлению корпуса в процессе эксплуатации судна увеличилась на 83%;
- коэффициент момента гребного винта увеличился на 52%;
- коэффициент полезного действия гребного винта снизился на 13%;

Если за обобщенный критерий эффективности работы пропульсивного комплекса принять коэффициент  $c$  в уравнении винтовой характеристики:

$$c = \frac{N_e}{n^3},$$

то утяжеление винтовой характеристики в рассматриваемом случае составило 38%.