

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Лаврищевой Любови Сергеевны на тему: «Численное моделирование обтекания объектов морской техники и разработка технологии оптимизации формы гребного винта», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация посвящена разработке технологии оптимизации формы гребного винта с целью улучшения его коэффициента полезного действия (КПД) при заданных ограничениях по показателям упора, момента и давления в области течения. Оптимизации в области судостроения имеет огромное значение для повышения маневренности судов, уменьшения шума, улучшения прочностных характеристик, экономии топлива. Разработка технологии оптимизации гребных винтов – сложная и трудоемкая задача, требующая привлечения суперкомпьютеров. Одна из основных объективных трудностей при создании технологии оптимизации – невозможность удовлетворительно параметризовать реальные винты в программных комплексах твердотельного моделирования. Большое значение имеет разработка эффективной методики оптимизации, позволяющей отыскать решение за короткое время и в то же время обладающей широкими возможностями для анализа данных, гибкостью в построении рабочих схем, кроссплатформенностью. Все эти вопросы рассматриваются в диссертационной работе. Таким образом, тема исследования, несомненно, является **актуальной**.

### Основные результаты

В первой главе диссертации записана система уравнений гидродинамики, сделан краткий обзор численных инструментов для ее решения, а также существующих методов оптимизации параметров течения. На основе проведенного анализа обоснован выбор суррогатной модели, которая в дальнейшем применяется для оптимизации параметров гребного винта. В последующих главах проведен большой объем работы по численному моделированию обтекания гребных винтов как в однородном потоке жидкости, так и в условиях буксировочных и самоходных испытаний судна. Проведены исследования сеточной сходимости, даны рекомендации по построению расчетных сеток, обеспечивающих удовлетворительное согласование с экспериментальными данными при достаточно небольшом числе ячеек. Показано, что учет ламинарно-турбулентного перехода заметно повышает точность результатов. Обоснована возможность применения достаточно экономичного URANS подхода при моделировании течения вблизи корпуса движущегося судна. Данные расчеты послужили основой для создания автоматизированной технологии оптимизации формы винта в однородном потоке и за корпусом движущегося судна. В результате оптимизации формы моделей гребных винтов в однородном потоке для каждого движителя удалось повысить его КПД, сохранив все заданные ограничения. При оптимизации гребного винта КР505 за корпусом судна также удастся увеличить КПД; однако при этом возрастает и момент на гребном валу, а значит и потребная мощность двигателя.

Перечисленные выше результаты являются **новыми**. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает

03/2-28 ст 30.01.2019

сомнений. **Достоверность** полученных результатов обоснована тем, что разработанные алгоритмы были верифицированы путем сопоставления результатов с экспериментальными данными. Кроме того, для всех задач достигнута сеточная сходимость результатов расчета.

Важными результатами работы, имеющими **практическое значение**, являются разработанная автором универсальная программа для автоматизации расчета гребных винтов в однородном потоке, программа параметрического представления геометрической модели гребного винта Vintgen, методика создания цифровой параметрической модели движителя на основе имеющихся данных из таблицы распределения стандартных характеристик винта и чертежа (обратное проектирование). Также следует отметить важное практическое значение исследования экономии ресурсов суперкомпьютера, в результате которого подтверждена возможность отказа от оптимизации на подробной расчетной сетке.

Основные результаты, выносимые на защиту, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и **опубликованы** в рецензируемых изданиях.

По содержанию диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. Достаточно небрежно сформулирована математическая модель (Глава 1): не указаны основные предположения (жидкость несжимаемая, массовые силы отсутствуют); не расшифрованы обозначения. При записи уравнений Рейнольдса вместо осредненных значений гидродинамических переменных использованы мгновенные истинные значения ( $u_i, p$  вместо  $\bar{u}_i, \bar{p}$ ); перечислены не все свойства оператора осреднения, в частности, опущены два важных свойства:  $\overline{f'} = 0, \overline{f'g} = \overline{f} \overline{g}$ . В уравнениях  $k - \omega$  SST модели не пояснен физический смысл ряда слагаемых, не указан источник, из которого взяты эмпирические константы.
2. При сравнении расчетных и экспериментальных данных нигде не обсуждается погрешность эксперимента. Автор добивается согласия с экспериментом в пределах нескольких процентов (иногда даже долей процентов), при этом ошибка эксперимента может превосходить полученное отклонение. С этим может быть связано, например, ухудшение согласования по  $K_T$  для подробной сетки (см. Рис. 2.16).
3. Из текста работы не вполне ясно, исследовались ли режимы работы винта регулируемого шага (ВРШ) при разных углах наклона лопастей. Было бы полезно прокомментировать, влияет ли угол атаки на оптимизацию профиля.
4. Из Рис. 3.9, 3.11-3.13 не очевидна сеточная сходимость для параметров оптимизированного винта, в тексте этот момент не комментируется.
5. Есть ряд погрешностей стилистического плана, опечаток. Например, размерность коэффициента вязкости приводится в Па/с (вместо Па·с); данные по  $C_T$  на Рис. 4.8 и в таблице 4.6 расходятся.

Перечисленные отдельные недостатки не снижают положительной оценки работы в целом. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, вносящей заметный вклад в развитие методов оптимизации в гидродинамике, содержит новые результаты, представляющие научный и практический интерес.

Диссертация Лаврищевой Любви Сергеевны на тему: «Численное моделирование обтекания объектов морской техники и разработка технологии оптимизации формы гребного винта» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Лаврищева Любовь Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Председатель диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук, профессор,  
профессор кафедры  
гидроаэромеханики СПбГУ



Кустова Елена Владимировна

30.01.2019