

«Утверждаю»

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук доктор физико-математических наук, профессор С.Ф. Урманчеев

«6» июня 2014 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Абдулина Арсена Яшаровича «Методика моделирования рабочего процесса водометных движителей скоростных судов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 — Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты.

### Актуальность темы выполненной работы.

Повышение энергоэффективности современных двигателей является важной задачей, поскольку постоянно возрастающие требования к увеличению КПД машин и аппаратов и, в первую очередь двигательных установок, диктуются экономическими и экологическими соображениями. Действительно, увеличение КПД двигателя даже на доли процента дает огромный выигрыш в масштабе глобальной экономики и значительные позитивные результаты с экологической точки зрения, если мы будем учитывать общее количество эксплуатируемых силовых установок и суммарное время их работы. Именно повышению энергоэффективности в итоговом результате посвящена представленная диссертационная работа Абдулина А.Я.

В диссертации последовательно рассматриваются задачи, имеющие непосредственное приложение в проектировании водометных движите-

лей скоростных судов. Здесь следует отметить математическую модель процессов, учитывающую наличие подвижных элементов движителя и такой важной составляющей сложных турбулентных течений, как кавитационные процессы. Особо следует выделить работу с эмпирическими параметрами, полученными при проведении натурных экспериментов, что позволило поднять точность вычислительного моделирования. Такой подход позволил автору разработать методику моделирования рабочего процесса рассматриваемых движителей, позволяющую получать достоверные результаты и совершенствовать геометрию водометного движителя без дополнительных доводочных испытаний.

Исходя из проведенного в диссертации анализа литературы следует, что рассматриваемые проблемы были недостаточно изучены, и представленная работа, в известной мере, восполняет этот пробел. С уверенностью можно сказать, что подготовленная методика расчета рабочего процесса водометных движителей скоростных судов имеет большое значение для проектирования и совершенствования указанных технических устройств. Таким образом, актуальность и перспективность диссертации Абдулина А.Я. не вызывает сомнений.

### **Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Новизна результатов диссертационной работы Абдулина А.Я. вытекает из системности подхода к решению поставленной задачи. Построение трехмерной модели с учетом турбулентности и кавитационных процессов, учет экспериментальных данных для верификация и развития математической модели, уточнение эмпирических параметров модели позволяют выработать действенные рекомендации для построения методики расчета параметров водометных движителей скоростных судов.

Во введении диссертации автор обосновывает актуальность темы исследований, формулирует цель работы, дает краткое изложение глав диссертации.

В первой главе дан подробный анализ наиболее значимых теоретических и экспериментальных работ относительно существующих типов судовых движителей и их режимов работы. Указана зависимость КПД движителей различных типов от скорости движения. Показаны исполь-

зубые в настоящее время подходы к исследованию водометных движителей. По результатам проведенного анализа автором были сформулированы задачи и определены методы их решения.

Вторая глава посвящена подготовке и последующему решению математической модели рассматриваемых процессов с учетом турбулентной составляющей ( $k - \epsilon$  модель турбулентности) и возможных процессов кавитации, описываемых на основе модели Рэлея—Плессета. Показаны особенности подготовки трехмерной вычислительной области, позволяющей производить моделирование для различных режимов движения судна. Проведены расчеты характеристик рабочего колеса водометного движителя, позволяющие достигать высоких значений КПД на различных режимах движения.

Третья глава описывает экспериментальную часть исследования. Дано описание постановки эксперимента, его программы и метода обработки полученных результатов. Отдельный раздел описывает сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретическими расчетами. Показаны уровни расхождения расчетов и эксперимента в различных условиях эксплуатации водометного движителя. На основе анализа экспериментальных данных показано, что математическая модель требует верификации, в частности, коэффициенты конденсации и парообразования в модели кавитации должны быть определены как эмпирические.

В четвертой главе производится верификация математической модели на основе экспериментальных данных: записываются эмпирические коэффициенты, выбирается модель турбулентности, размеры расчетной сетки и т.д. с целью минимизации погрешности. Во второй части главы описывается методика моделирования рабочего процесса водометных движителей, описываются границы применимости методики, уровень погрешности и рекомендации по ее применению.

Приведенные результаты расчетов в трехмерной области рабочих процессов водометных движителей с учетом турбулентности, кавитации и наличия подвижных частей (рабочего колеса), а также выработанная методика моделирования таких движителей, полученные Абдулиным А.Я. в его диссертационной работе, являются новыми, актуальными и вызывают значительный научный и практический интерес.

### Значимость для науки и практики полученных результатов.

На основе предложенной автором математической модели рабочего процесса водометного движителя разработана методика моделирования, позволяющая определять характеристики движителя и оценивать влияние на данные характеристики геометрических особенностей технической системы и текущего рабочего режима. Указанная методика имеет важное научно-техническое значение, а полученные в диссертации результаты расширяют теоретическую базу создания высокоэффективных водометных движителей скоростных судов.

### Замечания по диссертации.

1. Математическая модель (уравнения (2.5)–(2.12)) записывается для однофазной несжимаемой жидкости, однако полученные результаты распространяются и на случай активной кавитации. Это может быть допустимо при  $\alpha_v \ll \alpha_\ell$ , но в диссертации не проводится анализ соотношения объемных концентраций пара и жидкости при наличии кавитации, а из текста следует, что объемная концентрация пара  $\alpha_v$  может достигать значений, близких к единице, как это отображено на рис. 2.30. Также следует отметить тот факт, что приведенная система уравнений позволяет рассчитывать только одно поле скоростей, но в тексте диссертации упоминаются отдельные скорости для обеих фаз (стр. 50: «результатами ... являются распределение гидродинамических параметров, таких как давления, скорости, концентрации воды и пара»), а выражение (2.28) содержит, в явном виде скорость пара  $\vec{V}_v$ . Отсутствие уравнений для вычисления данной физической величины в математической модели является недостатком.
2. В разделе 4.2.1 используется понятие теории подобия, однако из дальнейших рассуждений непонятно, что применяется именно эта теория. Более того, некоторые выведенные параметры подобия оказываются размерными, например, приведенные в выражении (4.11).
3. Ряд параметров записывается автором без объяснения: выбор вариантов параметров, характеризующих проточную часть водометного движителя (табл. 2.3) не объясняется и не обосновывается, в

частности, не совсем понятно, почему во всех трех вариантах отношение  $A/a$  взято равным 4; также без объяснений в параметрах модели выбрана температура окружающей среды  $T_0 = 278 \text{ K} \approx 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; в разделе 4.3.1 делается предположение, что сопротивление движению катера пропорционально квадрату скорости (выражение (4.24)), но почему выбрана именно такая зависимость вновь не поясняется.

4. При обсуждении конечно-разностной схемы автор не указывает характер (явный или неявный) схемы, ее устойчивость, выбор шага по времени. Кроме того, из текста второго абзаца раздела 2.2.3 следует, что под сходимостью численной схемы автор подразумевает, не получение решения все более близкого к решению исходного дифференциального уравнения, а уменьшение изменения решения при измельчении сетки. Аналогично, на стр. 77 под сходимостью автор явно подразумевает расчет до установления.
5. Наблюдается несколько небрежный подход автора при использовании математических выражений. Так в уравнениях (1.4), (1.6), (1.7), (1.9), (1.10) коэффициенты и параметры потока вычисляются с использованием неопределенных интегралов без каких-либо уточняющих предположений; в выражении (1.15) не раскрыт смысл некоторых обозначений, в частности  $\zeta_{13}$ ; для обозначения скорости и объема используется один и тот же символ  $V$ . В автореферате в выражении (2), описывающем уравнение импульсов, конвективная составляющая содержит тождественно равный нулю член  $\vec{V} \times \vec{V}$ , что, естественно, неверно.
6. Также наблюдается небрежность в изложении: на стр. 13. в тексте «кавитация при обтекании лопастей ГВ может образовываться на начальной и полной стадии» не раскрыто понятие «начальной и полной стадий»; на стр. 34–35 рассматриваются коэффициенты и параметры в сечениях, пронумерованных от 1 до 6, но размещение и смысл этих сечений не поясняются текстом или схемой; автором используются не слишком понятные или не общепринятые обозначения режимов течения и граничных условий (Stage, Frozen Rotor,

Transient, Inlet, Opening), по-видимому, взятые из документации к пакету Ansys.

7. Есть претензии к оформлению некоторых графиков: на рис. 3.7. не указано, что отложено по осям; на рис. 3.12. не пояснено, что за величина  $R$  приведена на графике, и почему в качестве рабочих отмечены именно данные точки.
8. Список литературы оформлен не по ГОСТ. Англоязычная часть списка отсортирована не по автору, что сильно затрудняет восприятие.

### **Заключение по работе.**

Диссертация Абдулина А.Я. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. В работе получены результаты, позволяющие квалифицировать их как решение ряда новых задач и получение новых знаний в области конструирования водометных движителей.

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе примеров и расчетов, проведена обстоятельная верификация теоретических результатов на основе экспериментальных данных. Стиль изложения диссертации четкий и ясный, работа грамотно и аккуратно оформлена. Каждая глава диссертации завершается обстоятельными выводами. Следует отметить значительный объем выполненных исследований.

Сделанные замечания не умаляют достоинств выполненной работы.

Результаты и выводы диссертации могут быть непосредственно использованы в работах по проектированию водометных движителей. Кроме того, заложенные в диссертации подходы могут иметь прикладное значение при разработке и улучшении иного типа движителей водных судов.

Материалы диссертационной работы могут быть востребованы в Московской государственной академии водного транспорта, Государственном университете морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,

Новосибирской государственной Академии водного транспорта, Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институте машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Институте проблем машиноведения РАН, ЦАГИ, УГАТУ, в других академических институтах, проектных организациях и высших учебных заведениях. Материалы диссертации могут быть использованы в соответствующих учебных курсах технических университетов.

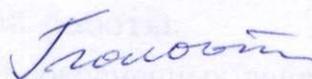
Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в одиннадцати публикациях, в том числе в четырех статьях из журналов перечня ВАК.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор, **Абдулин Арсен Яшарович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 — Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты.

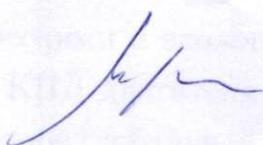
Отзыв одобрен на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук от 6.06.2014, протокол №5.

Ведущий научный сотрудник,  
д.ф.-м.н., с.н.с.



Р.Х. Болотнова

Старший научный сотрудник,  
к.ф.-м.н., доцент



К.И. Михайленко

Подписи д.ф.-м.н. Р.Х. Болотновой и к.ф.-м.н. К.И. Михайленко  
заверяю:

Ученый секретарь ИМех УНЦ РАН



Д.М.Зарипов