МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное унитарное предприятие

«Крыловский государственный научный центр»

(ФГУП «Крыловский государственный научный центр»)

Московское шоссе, 44, Санкт-Петербург, 196158
тел: +7(812)415-46-07 факс: +7(812)727-96-32

e-mail: krylov@ksrc.ru www.krylov-centre.ru
ИНН 7810213747 ОКПО 07535359 ОГРН 1027804905303

06.11.2018 № 1900/5561-2018

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Научный руководитель
ФГУП «Крыловский
государственный научный центр»,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ

Половинкин Валерий
Николаевич

«26» 11 2018 г.

ОТЗЫВ
ведущей организации

на диссертационную работу Кравцовой Александры Юрьевны
на тему «Экспериментальное исследование кавитационного обтекания двумерных гидрокрыльев»
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация Кравцовой А.Ю посвящена проведению экспериментального исследования кавитационных явлений, возникающих на крыльевых профилях в условиях плоскопараллельного течения. Работу можно квалифицировать как решение научной задачи выявления новых эффектов и закономерностей развития кавитации на крыльевых профилях, имеющей значение для развития исследования кавитации в капельных жидкостях, а также экспериментальных методов исследования динамических процессов в жидкостях и газах.

Актуальность темы

Явление кавитации наблюдается при эксплуатации различных устройств и систем, взаимодействующих с жидкостью. В этой связи, тема диссертационной работы А.Ю. Кравцовой актуальна для задач теории корабля и корабельной гидромеханики, гидравлики и гидротехники, а также при исследованиях других процессов гидромеханической природы. К числу наиболее важных направлений изучения кавитации относятся гидравлические турбины, насосы и судовые движители различных типов.

В большинстве случаев явление кавитации носит негативный характер. Она приводит к вибрации устройств и шуму, распространяющемуся как внутри помещений, так и во внешнем поле. Интенсивное развитие кавитации имеет следствием существенное ухудшение эффективности работы устройств – снижение их КПД и производительности. Хорошо известно такое негативное проявление кавитации, как кавитационная эрозия, которая может выражаться как в нарушении гладкости поверхности лопастей и крыльев, так и в их полном разрушении, причем за крайне непродолжительное время.

С другой стороны, при надлежащем учете всех факторов и правильном гидродинамическом проектировании возникновение кавитации может быть существенно отдалено, а ее разрушающее воздействие снижено. В ряде случаев удается «поставить кавитацию на службу человеку» и

обеспечить достижение таких характеристик, которые не могли бы быть достигнуты иным способом. Примером таких решений являются суперкавитирующие гребные винты и движение тел с образованием искусственной каверны.

Борьба с кавитацией и ее рациональное использование невозможны без понимания сути происходящих в жидкости явлений, их особенностей и влияния на кавитацию различных факторов. Именно на получение таких фундаментальных результатов и нацелена диссертационная работа А.Ю. Кравцовой.

Целью диссертации является получение новых знаний о кавитационных явлениях при плоскопараллельном обтекании крыльевых профилей, путем экспериментального исследования кавитационных течений современными оптическими методами вблизи модельных профилей при вариации геометрических и режимных параметров.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации автором сформулирована правильно и состоит в:

- использованием апробированных современных бесконтактных методов экспериментальных измерений;
- детальным анализом и поверкой погрешности измерений;
- применением отработанных методов статистической обработки результатов измерений в том числе на основе методов обработки больших массивов данных;
- воспроизводимостью результатов экспериментов и их согласованностью с опубликованными результатами исследований других авторов.

Достоверность и новизна

Достоверность исследования, выводов и результатов обеспечивается применением основных положений гидромеханики, апробацией результатов работы изданием публикаций и обсуждением на конференциях «Оптические методы исследования потоков» ОМИП-2015, 2013, 2011, «Международной конференции по методам аэрофизических исследований» ICMAR-2016, 2012, Международной конференции по гидромеханике ICHD – 2012, 10-й Европейской конференции по механике жидкости EFMC10-2014 и др., а так же на научных семинарах.

Новизна исследования обосновывается тем, что в ходе выполнения работы:

- получены новые данные о структуре и процессах формирования кавитационных каверн. В том числе впервые выявлена пузырьковая структура кавитационных каверн, носящих название «стрики» и идентифицируемых при традиционных методах наблюдения как цельные структуры, имеющие фиксированную длину и ширину;
- исследована зависимость формы и степени развития кавитации от шероховатости поверхности. При этом впервые выявлено существенное влияние на процесс зарождения кавитации морфологических параметров поверхности: амплитуды и шага неоднородности и ее пространственного распределения;
- Установлена связь между различными типами неустойчивости потока и кавитации на профилях и безразмерной частотой схода кавитационных облаков. В том числе, исследован механизм возникновения поперечной неустойчивости кавитационной каверны.
- Проведены подробные исследования поля скорости вблизи поверхности профиля в присутствии кавитации различных типов, имеющей нестационарный характер.

Оценка содержания диссертации и её завершенности

Содержание работы соответствует специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Выносимые на защиту положения являются обоснованными, выводы отражают содержание диссертации, работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК и представляет собой законченное научное исследование. Следует отметить, что диссертация написана автором **самостоятельно**, а экспериментальные исследования выполнены при ее непосредственном участии.

Диссертация изложена на 139 страницах и состоит из 4 глав, список литературы включает 195 источников.

В главе 1 представлен обзор исследований кавитации, при этом особое внимание уделено исследованиям плоскопараллельного обтекания профилей. Здесь приведена классификация наблюдаемых типов кавитации, проанализированы имеющиеся результаты и сформулированы направления исследования. В конце главы определена цель диссертационной работы.

Глава 2 посвящена используемым методам исследования и описанию экспериментальной установки. В начале главы обоснованы преимущества бесконтактных методов измерений и необходимость использования высокоскоростной визуализации. Далее приводится описание кавитационного гидродинамического стенда ИТ СО РАН, включающее его характеристики, оценку достоверности и величины погрешности измерений. Здесь, так же, делается выбор используемых в дальнейших исследованиях профилей: пластины с закругленной носовой частью и профиля серии NACA0015 и дается описание метода PIV, используемого для измерения поля скорости.

В главе 3 приведены результаты экспериментального исследования кавитационных каверн вблизи выбранных профилей. В первом разделе данной главы представлены результаты высокоскоростной визуализации. Далее автор на их основе получает эмпирические зависимости, в том числе степенную зависимость длины каверны от числа кавитации при различных углах атаки. Так же здесь представлены результаты анализа частоты схода каверны в зависимости от различных видов неустойчивости потока. Отдельный раздел главы 3 посвящен измерениям скорости потока при развитии кавитации на профиле.

В главе 4 представлены исследования кавитационного обтекания профиля NACA0015 при вариации геометрических размеров профиля, шероховатости поверхности и работы профиля в составе решетки профилей.

В Заключении сформулированы основные выводы и рекомендации по результатам исследования.

Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание диссертации. Вопросы, поставленные и разрешенные в рамках работы, полностью соответствуют паспорту специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы». Диссертация написана внятным языком и удовлетворяет требованиям и критериям научного стиля изложения.

Вместе с тем по диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1) Все исследования в работе выполнены для двух симметричных профилей: пластины с закругленной носовой частью и профиля NACA0015. При этом выбор указанных профилей в качестве объектов исследования в диссертации никак не обоснован (см. стр. 55). В то же время известно, что форма профиля в значительной степени определяет его кавитационные характеристики. Можно выделить ряд параметров профиля, таких как относительная толщина, стрелка прогиба, расположение максимума толщины и кривизны, вариация которых будет влиять на развитие кавитационных явлений. В частности, соискатель отмечает, что по данным зарубежных публикаций несимметричность профиля приводит к иным зависимостям длины каверны от числа кавитации, по сравнению с полученными в данной работе (стр. 76). Кроме того, вызывает вопрос практическая обоснованность выбора указанных профилей, поскольку на практике широко используются профили несимметричной формы.
2) Предметом исследования в диссертационной работе являются «двумерные гидрокрылья», следовательно, эффекты, связанные с трехмерным характером течения, должны быть максимально исключены из результатов исследования. Однако, в работе присутствует ряд примеров, когда течение имеет сугубо трехмерный характер. Это имеет место, например, при исследовании поперечной неустойчивости каверны (стр. 80), развитии облачных каверн (стр. 70), испытании профилей с различной длиной хорды (стр. 96). Во всех указанных случаях, помимо развития процессов неустойчивости плоскопараллельного течения, может проявляться влияние стенок трубы на результаты исследований.

Соискателю следовало бы оценить степень этого влияния и по возможности исключить его, а также указать диапазоны, в которых результаты представленных исследований не будут испытывать влияния размеров рабочего участка экспериментальной установки.

3) Исследование решетки профилей осуществляется в рабочем участке экспериментальной установки, имеющем ограниченный вертикальный размер. При этом известно, что решетка профилей, расположенных под углом атаки к потоку, создает за собой существенную по величине поперечную скорость. В данном случае стенки канала будут препятствовать этому, и, как следствие, обтекание решетки профилей будет иметь иной характер, чем в реальных условиях. Соискателю следовало бы определить в работе степень этого влияния и диапазон допустимых углов атаки профилей, при которых можно получать достоверные результаты.
4) В работе имеют место отступления от общепринятой терминологии, в частности в тексте диссертации и автореферата вместо общепринятого термина «крыльевой профиль» попеременно используются термины «гидропрофили» и «гидрокрылья» имеющие, вообще говоря, различный смысл. Следует отметить, что встречающееся в работе выражение «двумерные гидропрофили» является тавтологией, поскольку профиль крыла подразумевается двумерным по построению. Используемый автором в работе термин «каскад профилей» является калькой с английского языка, в русскоязычной литературе подобные конфигурации принято называть «решеткой профилей».

Отмеченные замечания имеют не принципиальный характер и не ставят под сомнение результаты работы.

Значимость для науки и практики

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, имеют методологическую и практическую значимость. Они могут быть использованы в качестве эталонного примера при разработке математических моделей кавитации и отработки схем расчета кавитационных течений в пакетах вычислительной гидромеханики. При этом полученные результаты позволяют уточнить существующие представления о моделировании кавитации и модифицировать уже существующие расчетные схемы. Для практических задач судостроения представляет интерес исследование влияния шероховатости поверхности на развитие кавитации. В настоящее время среди специалистов в области теории корабля активно дискуссируется вопрос о возможности и правомерности моделирования кавитации при одновременном моделировании режима турбулентного течения, путем нанесения искусственной шероховатости. Данная диссертационная работа подтверждает существенное влияние шероховатости поверхности на картину кавитационного течения.

Публикации

Основные научные результаты диссертации опубликованы автором в рецензируемых научных изданиях в соавторстве, в том числе в журналах из перечня ВАК 5 статей, в прочих научных изданиях – 12 статей и тезисов докладов, так же А.Ю. Кравцовой написана одна из глав в монографии «Фундаментальные проблемы моделирования турбулентных и двухфазных течений».

В силу вышеизложенного, можно заключить, что диссертация Кравцовой Александры Юрьевны на тему «Экспериментальное исследование кавитационного обтекания двумерных гидрокрыльев» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, в которой решена научная задача выявления новых эффектов и закономерностей развития кавитации на крыльевых профилях, имеющей значение для развития исследования кавитации в капельных жидкостях, а так же экспериментальных методов исследования динамических процессов в жидкостях и газах.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения учёных степеней»),

предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Кравцова Александра Юрьевна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв составлен на основании заключения 10 научно-исследовательского отделения (НИО), одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которого соответствует тематике диссертации, по результатам личного выступления соискателя и проведенного обсуждения диссертации на заседании 10 НИО 26 октября 2018 г. (Протокол №10/1 от 26.10.2018 г.).

Заместитель начальника 10 отделения – начальник отдела управления проектами ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,

доктор технических наук по специальности 05.08.01 – «Теория корабля и строительная механика», доцент

тел.+7(812)386-67-35, эл. почта: 10_otd@ksrc.ru

Яковлев Алексей Юрьевич

06.11.2018

Начальник 10 отделения ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,

кандидат технических наук по специальности 05.08.01 – «Теория корабля и строительная механика»

тел.+7(812)415-49-41, эл. почта: 10_otd@ksrc.ru

Борусевич Валерий Олегович

06.11.18

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Крыловский государственный научный центр»
196158, Российская федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Московское шоссе, д. 44
e-mail: krylov@ksrc.ru, тел.: +7 (812) 415-46-07