Морозова Екатерина Андреевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБТЕКАНИЯ НАДВОДНЫХ ЧАСТЕЙ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ, И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ИХ ЗАДЫМЛЯЕМОСТИ И УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Специальность 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика

АВТОРЕФЕРАТ

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Санкт-Петербург 2018 г.

Работа выполнена в ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Короткин А.И.
Научный консультант – доктор технических наук Вишневский Л.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А.Г. Ляховицкий
кандидат технических наук, М.В. Бегак

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2018 г. в ____ часов___ минут на заседании диссертационного совета Д 411.004.01 при Федеральном государственном унитарном предприятии «Крыловский государственный научный центр», по адресу: г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, д.44, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук Л.И. Вишневский

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Повышение эффективности надводных морских сооружений, включая надводные суда и корабли, неразрывно связано с рациональным выбором формы при проектировании не только подводной части корпуса, но и надводной архитектуры.

Аэродинамику надводных частей определяют ветровые нагрузки, действующие на судно, условия задымляемости и возможность безопасного базирования ЛА. Поскольку определенных требований к уровню задымляемости судна не существует, допустимые параметры воздушного потока не всегда определены для ЛА того, или иного типа, и в руководящих документах по проектированию нормативного требования к определению структуры воздушного потока вблизи судна не существует, то проектанты формируют надводную часть судна, не всегда представляя возможные негативные влияния надстроек на воздушные потоки вблизи судна. Между тем, как показывают примеры, приведенные в диссертации, указанные факторы могут существенно влиять на эксплуатационные качества судна.

Сказанное приобретает особую актуальность в современных условиях, когда планируется и идет подготовка к выполнению государственного заказа на судостроительном заводе «Северная верфь» отечественных вертолетоносцев. По данным Объединенной судостроительной корпорации (ОСК) опытно-конструкторские работы применительно к этим заказам должны начаться в 2018 г. году, а в 2020 году планируется начать строительство головного вертолетоносца с поставкой его флоту в 2024 г. можно также добавить, что в это же самое время должны начаться работы и по проектированию эсминца с атомной энергетической установкой «Лидер», с окончанием указанных работ в 2025 г. подготовительные работы по указанным Заказам уже ведутся на судостроительном заводе «Северная верфь».

Проектирование указанных выше Заказов должно вестись с учетом приобретенного опыта проектирования предшествующих Заказов (проекта 1143 и др.), а также с учетом последних результатов исследований, направленных на:

1) <u>Обеспечение минимального уровня задымляемости корпусных надстроек, включая места забора воздуха в систему вентиляции судна</u>.

Здесь необходимо отметить три основных аспекта. Первый связан с уровнем комфортности существования и работы экипажа и пассажиров. Второй аспект возможных проблем, связанных с задымляемостью, обусловлен забором загазованного воздуха в систему вентиляции корабля (судна). Третий аспект обусловлен воздействием отработанных газов силовых установок корабля (судна) на двигатели летательных аппаратов (ЛА), вызывая местное повышение температуры и изменение состава воздуха на входе в двигатели ЛА.

2) <u>Улучшение структуры потока над взлетно-посадочными площадками, включая зоны оперативного пространства работы авиационной техники.</u>

В связи с появлением вертолетного вооружения на большинстве плавсредств среднего и большого водоизмещения (больше 1000 т) появились актуальные задачи аэродинамического взаимодействия летательного аппарата с надводной частью морского инженерного сооружения.

Опыт работы вертолетной авиации на кораблях и судах отечественного флота позволил сформулировать конкретные рекомендации летчиков для обеспечения безопасности полетов на существующих кораблях и судах. Однако остается открытым вопрос об улучшении надводной архитектуры новых плавсредств с точки зрения совершенствования их взаимодействия с летательными аппаратами.

Степень разработанности темы

Представление о первоначальных методах борьбы с задымляемостью кораблей и судов можно получить из рассмотрения фотографий плавсредств начала прошлого столетия. Примерами могут служить крейсер «Аврора» и лайнер «Титаник». Тогда дым старались выбрасывать с помощью длинных труб. В отечественной литературе широко известны книги В.С. Бирюка. Вопросы задымляемости рассмотрены в монографии «Аэродинамический эксперимент в судостроении», в которой изложены методики, используемые в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, где этими вопросами занимались В.Н. Трещевский, А.И. Короткин, А.С. Гузеев, С.Е. Злотин, О.К. Токарев.

Интерес к конструктивному оформлению ВПП, расположенных на различных объектах морской техники, возник в связи с широким распространением вертолетной авиации как на кораблях ВМФ, так и судах различного назначения. Подробное описание проблем, возникающих при морском базировании вертолетов, изложено в обстоятельных монографиях Алексеева В.В. «Выполнение полетов с авианесущих кораблей на вертолетах КА-27, Ка-29».

Определение параметров обтекания ВПП и зон отрыва потока на верхней палубе кораблей и судов при различных архитектурных конфигураций надстроек проводилось в ЦАГИ под руководством Жаринова А.В. и в ЦНИИ им.акад. А.Н. Крылова. В работах нашего центра по этому направлению принимали участие В.Н. Трещевский, А.И. Короткин, С.Е. Злотин, А.О. Лебедев, С.М. Ганин, А.С. Гузеев, Е.А. Бусоргина, В.А. Чернышев, Д.В. Корнилов. В измерениях воздушных потоков над ВПП кораблей участвовали В.Н. Трещевский, О.К. Токарев, А.И. Короткин, К.Д. Корнилов, С.Е. Злотин. В работах упомянутых специалистов имеются данные по экспериментальным исследованиям указанных проблем на реальных кораблях. Основным видом течений, которые обсуждаются в диссертации являются отрывные потоки. Общие вопросы, связанные с изучением отрывного обтекания различных тел изложены в обстоятельных монографиях Чжена П., Гогиша Л.В., в которых содержатся обширные обзоры исследований по данному направлению.

Существуют нормативные документы, содержащие требования к воздушному потоку при выполнении взлетно-посадочных операций, а также рекомендации проектанту применения к конфигурации конкретной установки проведения испытаний по определению структуры воздушного потока над ВПП, при этом рекомендации для конструкторов по расположению ВПП, конструктивным элементам, алгоритму отработки архитектурной формы с целью улучшения характеристик эксплуатации авиационной техники отсутствуют.

Цели и задачи

Целью настоящей работы является разработка рекомендаций по уменьшению задымляемости кораблей (судов) и улучшению структуры воздушного потока над взлетно-посадочными вертолетными площадками, расположенными на различных объектах морской техники, на основе экспериментальных и численных исследований.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1) Разработать общие принципы (пригодные для всех типов надводных кораблей и судов) уменьшения задымляемости надводных кораблей и судов, основанных на уменьшении размеров отрывных зон за всевозможными надстройками, на основе проведенных экспериментальных и численных исследований.
2) Указать способ выбора размеров дымовой трубы в зависимости от ее положения относительно надстроек.
3) Указать алгоритм выбора мест забора воздуха системы вентиляции на судне.
4) Предложить способ уменьшения углов скоса воздушного потока вблизи взлетно-посадочной площадки при различных углах дрейфа относительно кажущегося ветра.

Методы исследования. В работе использованы экспериментальный и численный методы исследования полей скоростей.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается:

1. В улучшении методологии проведения экспериментальных и численных исследований, направленных на уменьшение задымляемости судов (кораблей) и улучшение воздушного потока вблизи взлетно-посадочных вертолетных площадок, с целью повышения эффективности морской техники.
2. В разработке способов уменьшения поперечного размера отрывных возникающих на элементах надстроек судна, что ведет к уменьшению задымляемости надводной части судна.

3. В разработке конструктивных мероприятий для уменьшения скосов воздушного потока над взлетно-посадочными вертолетными площадками.

Практическая значимость

В настоящей диссертационной работе предложены практические рекомендации по конструктивному оформлению элементов надстроек и взлетно-посадочных вертолетных площадок, направленные на улучшение условий эксплуатации как самих судов (уменьшение задымляемости), так и вертолетов (улучшение структуры воздушного потока вблизи ВППл).

Положения, выносимые на защиту

1. Способ уменьшения поперечного размера зоны отрыва на крыше надстройки с помощью крылового элемента.
2. Способ управления отрывной зоной с крыши надстройки с помощью прямого уступа.
3. Общие рекомендации по расположению устройств забора воздуха для систем судовой вентиляции, на основе проведенных экспериментальных исследований.
4. Результаты исследования структуры воздушного потока вблизи надводной части судна методом численного моделирования, позволившие сформулировать рекомендации по расположению газоходов и мест расположения вентиляционных шахт. Рекомендации по проведению начальной отработки архитектурных форм надстроек судов на начальных этапах проектирования численным методом.
5. Результаты исследований по влиянию конструкций дымовых труб на задымляемость судов (кораблей), на основании которых предложены рекомендации по их форме и расположению.
6. Результаты экспериментальных исследований по определению структуры воздушного потока над взлетно-посадочными площадками для трех основных вариантов расположения ВПП, а также сравнительный анализ ограничений по скорости встречного ветра для вертолета.
7. Результаты экспериментальных исследований воздушного потока над ВПП ледокола, с целью оценки влияния вырезов в борту носовой части на скосы воздушного потока над взлетно-посадочной площадкой.
8. Результаты численных исследований структуры воздушного потока над ВПП ледокола для трех вариантов расположения по высоте от палубы вертолетной площадки на ферменной конструкции, на основании которых предложены конструктивные мероприятия по расположению ВПП.
9. Результаты численного исследования влияния обтекателя на скосы воздушного потока вблизи взлетно-посадочной площадки.

Степень достоверности и апробация результатов

Основные результаты работы докладывались на научно-технической конференции «Интеллектуальные разработки в интересах строительства и развития ВМФ» (НИИ оперативно-стратегических исследований строительства Военно-морского флота ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт – Петербург, 2015 г.), а также на отраслевой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (ФГУП «Крыловский государственный научный центр», г. Санкт-Петербург, 2016 г.).

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из семи разделов. Работа изложена на 140 страницах текста, включая 117 рисунков.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из семи разделов.

Первым разделом является введение, в котором представлены: актуальность избранной темы, степень ее разработанности, цели и задачи, научная новизна, практическая значимость диссертационной работы.

Второй раздел представляет собой обзор материалов по теме настоящей диссертации и практический опыт по задымляемости и особенностям структуры воздушного потока вблизи взлетно-посадочных площадок.

Третий раздел содержит описание основных, применяемых в работе, методов экспериментальных исследований по визуализации течений в гидродинамической трубе ФГУП КГНЦ, а также исследований по определению структуры воздушного потока над ВПП в аэродинамической трубе.

В четвертом разделе диссертации изложен метод численного моделирования течений вблизи надстройки схематизированной формы, на основе математической модели, основанной на уравнениях Рейнольдса и неразрывности, предложенный в работе для исследования структуры воздушного потока вблизи надводной части судна.

В пятом разделе представлены следующие исследования:

1. Экспериментальные исследования структуры воздушного потока вблизи надводной части ледокола, результаты которых позволили предложить конструктивные мероприятия для уменьшения задымляемости приемных воздухозаборных отверстий, обеспечивающих вентиляцию машинного отделения. На рисунка 1 – 2 представлена визуализация структуры потока и задымляемости исходного варианта надводной части модели ледокола и измененного вариант кожуха трубы и мачты судна.

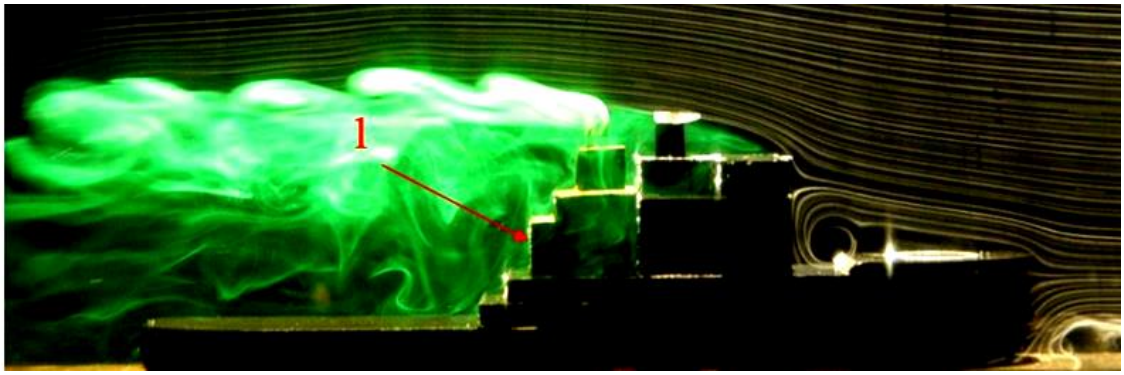


Рисунок 1 – Визуализация структуры потока вблизи надводной части ледокола в гидродинамической трубе (1 – расположение воздухозаборных отверстий)

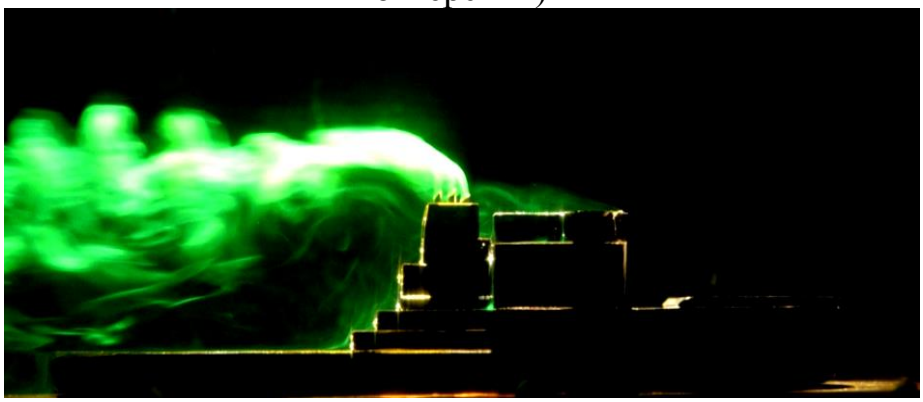


Рисунок 2 – Визуализация задымляемости измененного варианта модели (без мачты)

2. Экспериментальные исследования обтекания прямого уступа в гидродинамической трубе, а также исследования методом численного моделирования, которые позволили рекомендовать применение прямого уступа для управления отрывной зоной с крыши надстройки судна (корабля).

На рисунке 3 схематично представлена модель, изготовленная из пластика для проведения эксперимента в вертикальной гидродинамической трубе.

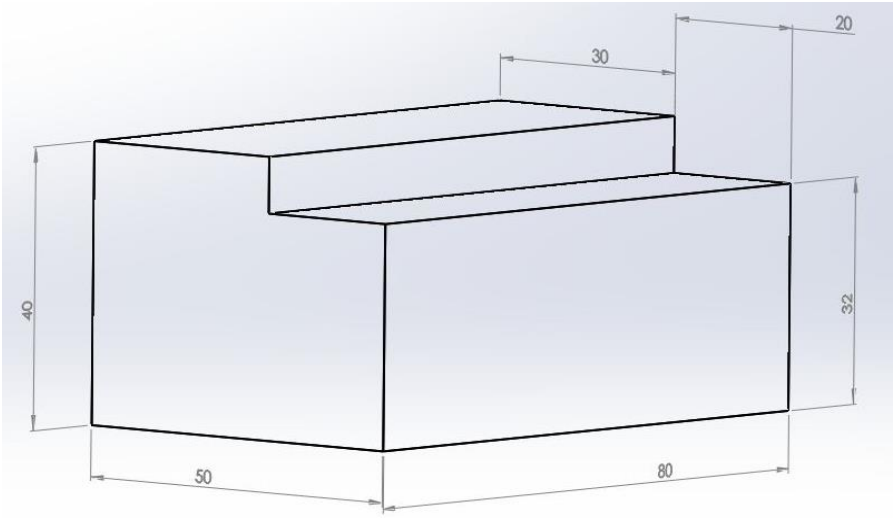


Рисунок 3 – Схема модели уступа для исследований в вертикальной гидродинамической трубе

В организации и проведении экспериментов в гидротрубе принимали участие начальник стенда А.С. Гузеев и диссертант Е.А. Морозова.
На рисунке 4 представлена картина линий тока при поперечном обтекании надстройки прямоугольного поперечного сечения, стоящей на плоскости.

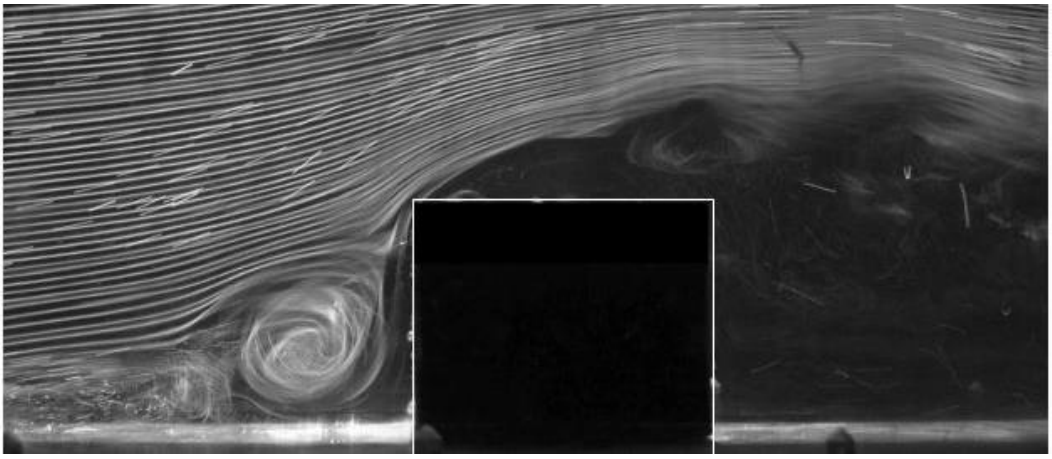


Рисунок 4 – Визуализация обтекания прямоугольного контура без уступа, стоящего на плоскости (поток слева на право)

С верхней поверхности стенки происходит отрыв потока. Визуализация течения методом водородных пузырьков позволяет оценить размеры области отрыва.
На рисунке 5 показана область отрыва при тех же параметрах течения в случае наличия уступа на модели (был выбран вариант с предположительно минимальным отрывом на обтекаемой поверхности).

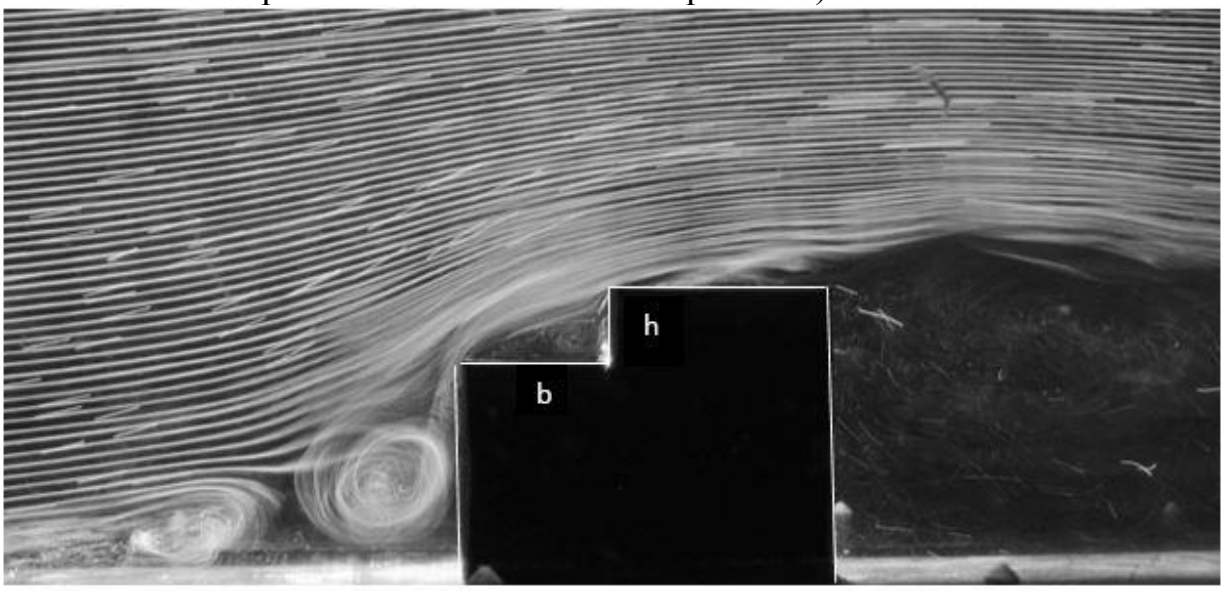


Рисунок 5 – Визуализация обтекания контура с уступом при соотношении h/b=1/2 (поток слева направо)

Видно, что поперечные размеры глобальной области отрыва на крыше заметно изменились благодаря уступу с соотношением сторон 1:2. Внутри зоны, образованной уступом, возникает собственное вихревое течение,

которое прижимает основной поток к крыше. Однако наблюдается небольшой отрыв на поверхности надстройки.

Экспериментальный метод подбора геометрических параметров уступа на верхней поверхности конкретной судовой надстройки представляется затратным (по времени и средствам) исследованием, поэтому в Суперкомпьютерном центре математического моделирования Крыловского государственного научного центра были проведены расчеты течения вблизи надстройки судна при наличии уступа на верхнем ярусе.

Расчеты по техническому заданию диссертанта выполнены на основе математической модели, включающей в себя систему уравнений Рейнольдса.

При численном моделировании с применением современного пакета программ гидродинамического анализа STAR-CCM+ в рамках данной работы использовалась $k - \omega$ SST модель турбулентности Ментера.

Граничные условия на твердых стенках для составляющих скорости течения принимались нулевыми. Жидкость считалась несжимаемой. Результаты расчетов линий тока для условий, соответствующих опытам, представленным на рисунках 4 и 5, показаны на рисунке 6 и 7. Обращает на себя внимание соответствие формы отрывных зон. Сопоставление рисунков 4; 5; 6 и 7 свидетельствует о возможности изменять зону отрыва потока с помощью уступа, размещенного на обтекаемой поверхности.

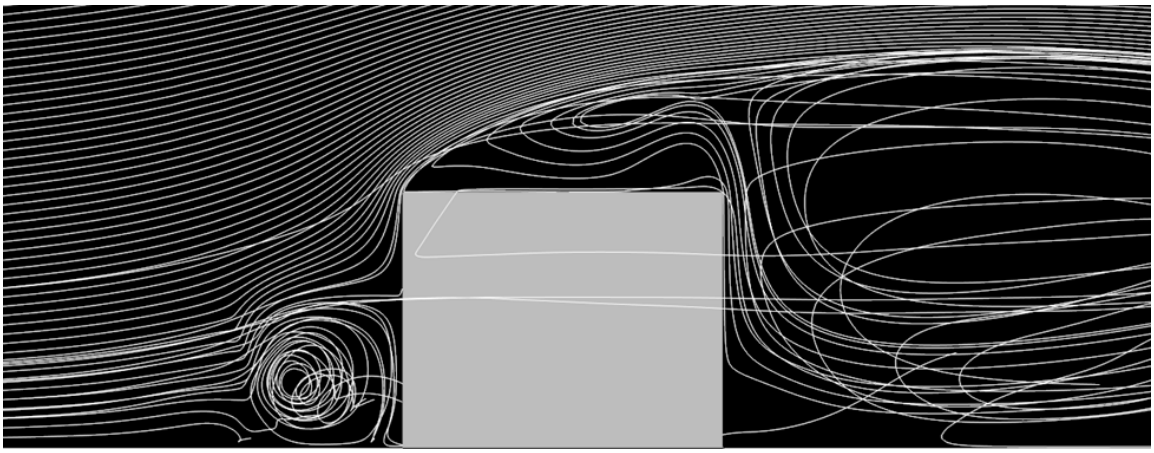


Рисунок 6 – Расчет обтекания прямоугольного контура без уступа

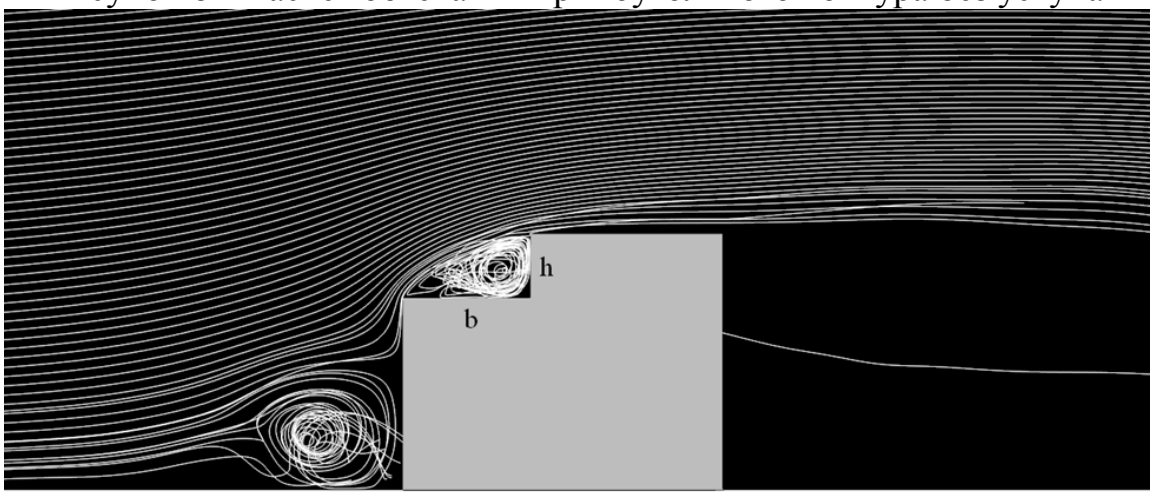


Рисунок 7 – Расчет обтекания контура с уступом с соотношением h/b=1/2

Геометрические параметры уступа должны быть подобраны исходя из условий решаемой задачи. Учитывая хорошее соответствие результатов расчета отрывных зон на базе уравнений Рейнольдса с данными эксперимента, можно предположить, что подбор расчетным путем параметров уступа для предотвращения развитого отрыва потока с конкретной судовой конструкции допустим.

Экспериментальные данные, полученные в гидродинамической подтверждают расчеты, выполненные на базе уравнений Рейнольдса.

Применение прямоугольного уступа целесообразно при формировании архитектурного облика судна (корабля), с целью уменьшения зон отрыва, а также для уменьшения задымленности судов.

3. Исследования структуры воздушного потока вблизи наводной части судна снабжения методом численного моделирования, в результате которых предложены конструктивные рекомендации по расположению газоходов, которые позволят минимизировать задымляемость надстройки, включая места расположения вентиляционных шахт. На основании выше приведенных результатов, предложены рекомендации проведения отработки архитектурной формы надстроек судов на начальных этапах проектирования численным методом. Примеры расчета полей скоростей представлены на рисунках 8 - 12.

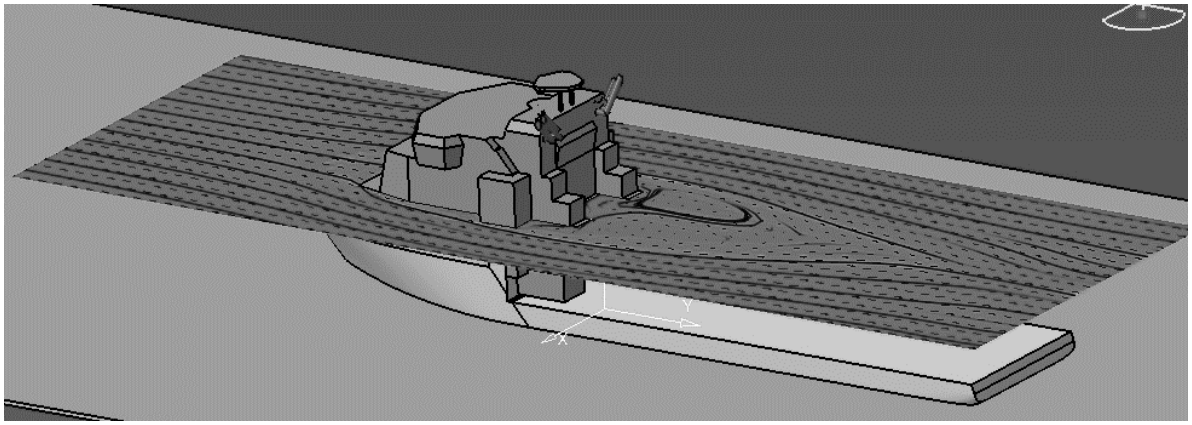


Рисунок 8

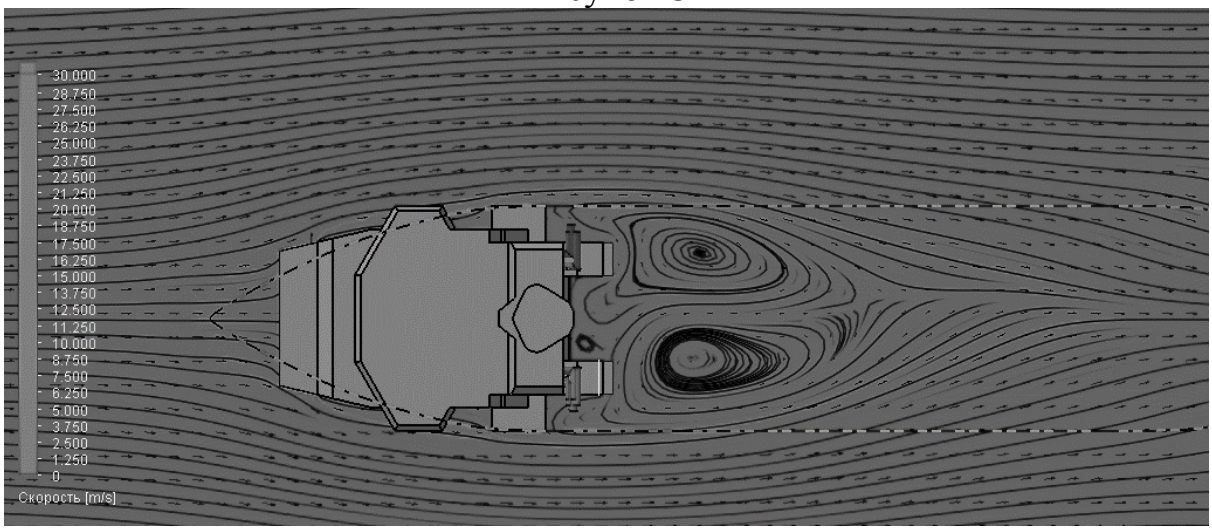


Рисунок 9

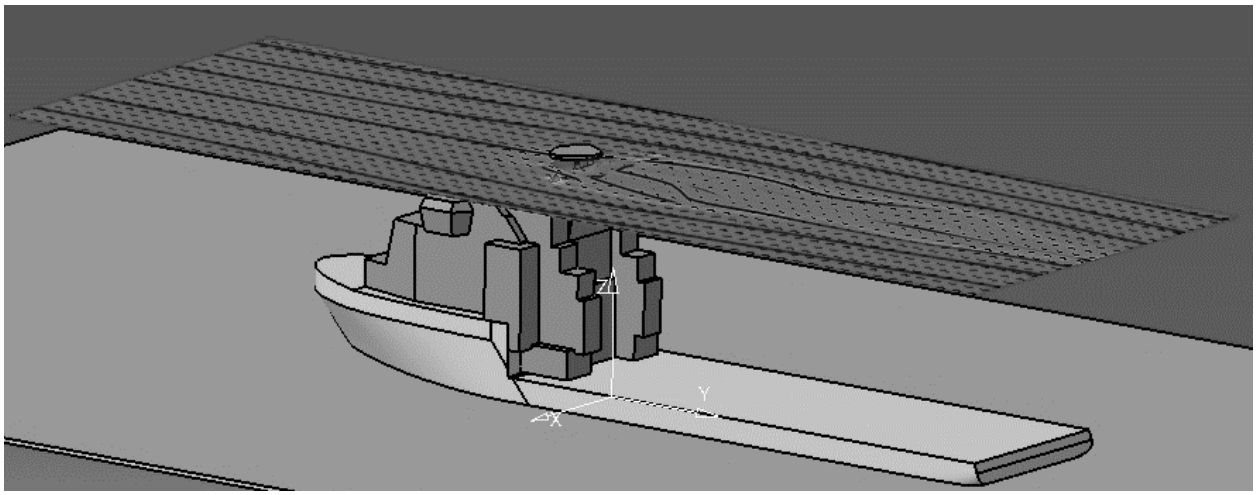


Рисунок 10

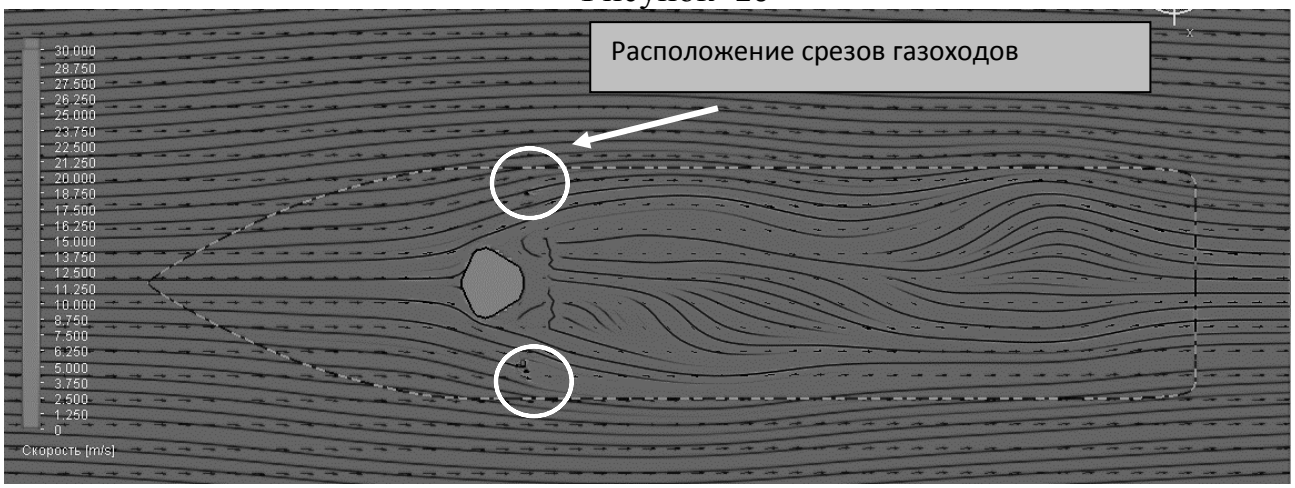


Рисунок 11

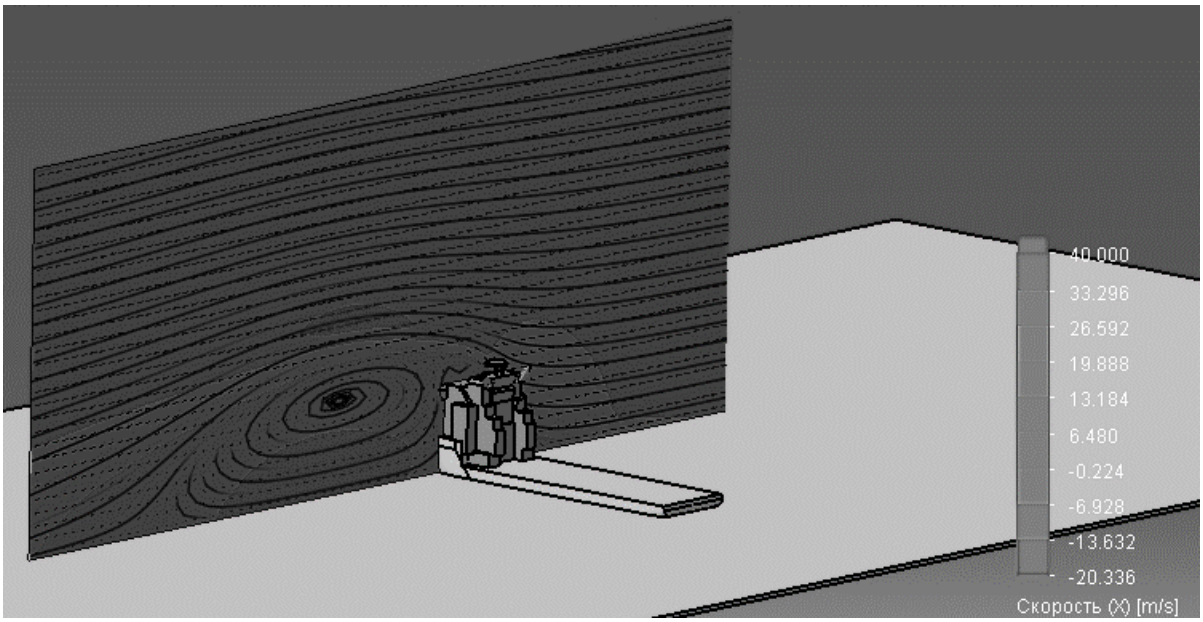


Рисунок 12

4 Предложен способ уменьшения поперечного размера зоны отрыва на крыше надстройки с помощью профилированного козырька (свидетельство о полезной модели №2017102795 от 27.01.2017 г.). Экспериментальное

подтверждение рациональности предложенного конструктивного решения с дополнительным аэродинамическим элементом показано на рисунках 13-14.

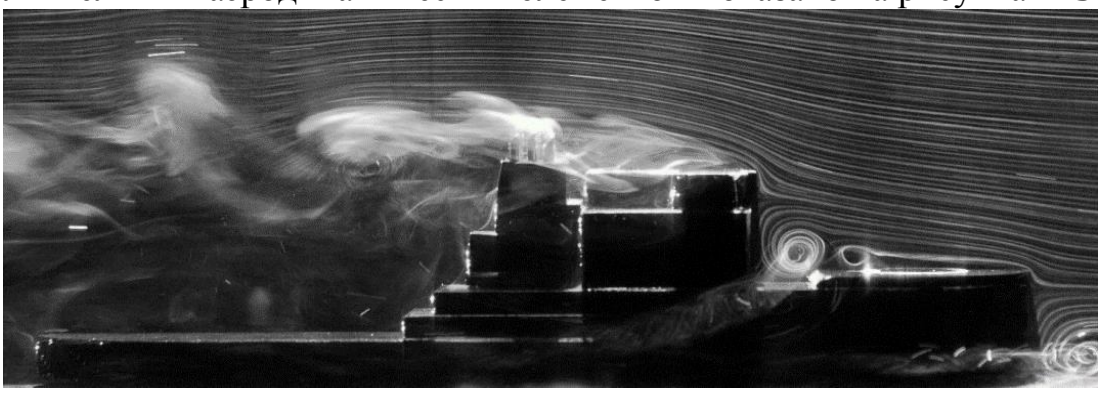


Рисунок 13 – Визуализация структуры воздушного потока без установки дополнительного аэродинамического элемента в гидродинамической трубе

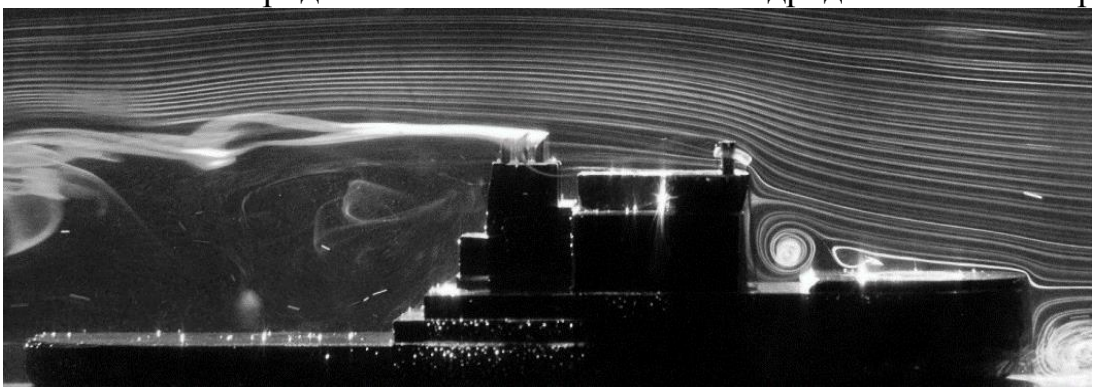


Рисунок 14 – Визуализация структуры воздушного потока с дополнительным аэродинамическим элементом

5 Представлены общие рекомендации по расположению выходных отверстий системы вентиляции:

— места забора воздуха системы вентиляции должны располагаться в областях, наименее задымляемых при основных режимах эксплуатации судна; эти области определяются зонами отрыва воздушного потока от элементов надстроек, расположением и высотой дымовых труб, а также углами дрейфа относительно направления кажущегося ветра;

— обеспечение минимальной задымляемости при боковых углах дрейфа относительно кажущегося ветра может быть достигнуто при расположении дымовых труб, разнесенных к бортам судна, с возможностью переключения их работы на необходимую сторону по отношению к кажущемуся ветру;

— учитывая сложные в ряде случаев условия взаимодействия отрывных зон и областей пониженного давления при обтекании надстроек, следует рекомендовать проведение на моделях испытаний по задымляемости принятого варианта судна в гидродинамической трубе, где четко просматриваются зоны задымления.

В шестом разделе диссертации представлены следующие исследования влияния архитектуры надводной части судов в районе ВПП на структуру

воздушного потока в зоне эксплуатации летательных аппаратов, позволившие сформулировать конструктивные рекомендации для уменьшения скосов воздушного потока над взлетно-посадочными площадками:

1 Приведен обзор нормативных требований к воздушному потоку при выполнении взлётно-посадочных операций.

2 Экспериментальные исследования по определению структуры воздушного потока над взлетно-посадочными вертолетными площадками для трех вариантов расположения ВПП на судах, а также сравнительный анализ ограничений по скорости встречного ветра для вертолета МИ8.

Основные варианты расположения вертолетной площадки на судах показаны на рисунках 15 - 17

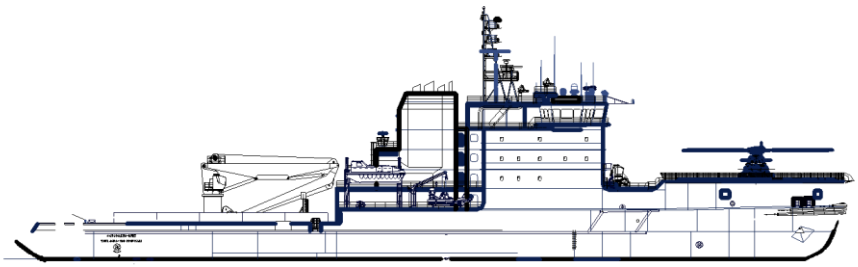


Рисунок 15 – Расположение ВПП в носовой части судна

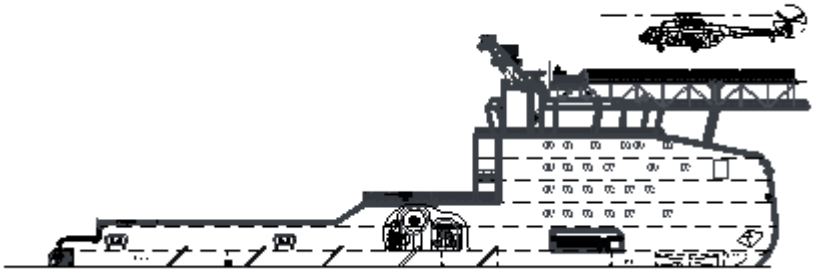


Рисунок 16 – Расположение ВПП выше основной надстройки

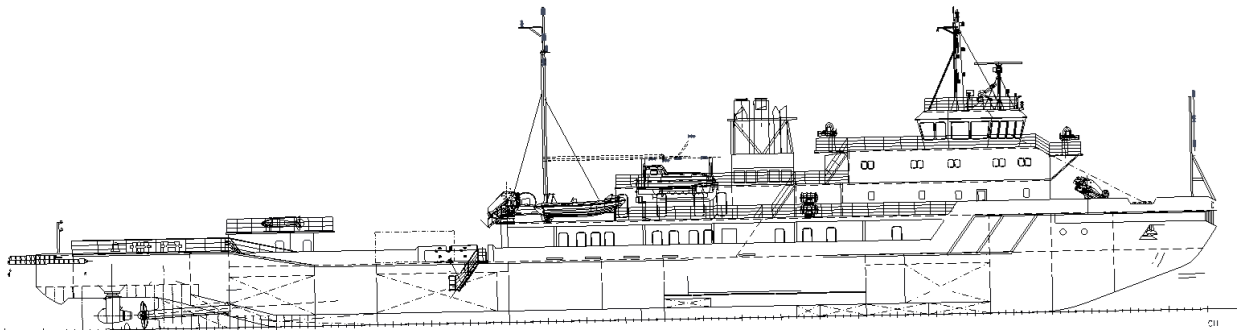


Рисунок 17 – Расположение ВПП в кормовой части судна

На рисунке 18 представлена диаграмма ограничений по скорости встречного и бокового ветров, для вертолета МИ-8, для трех приведенных выше вертолетных площадок.

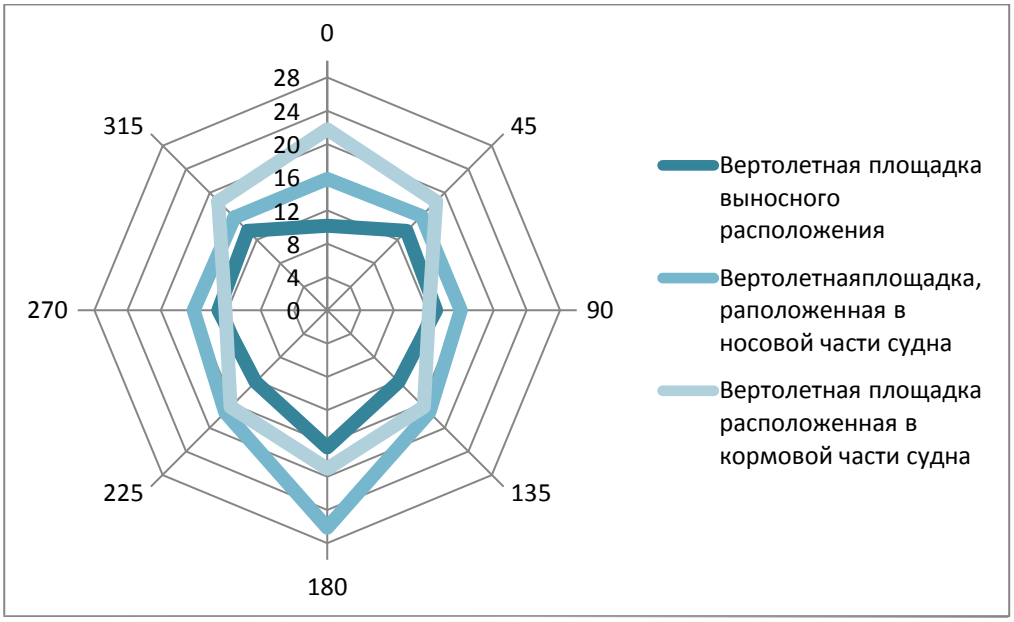
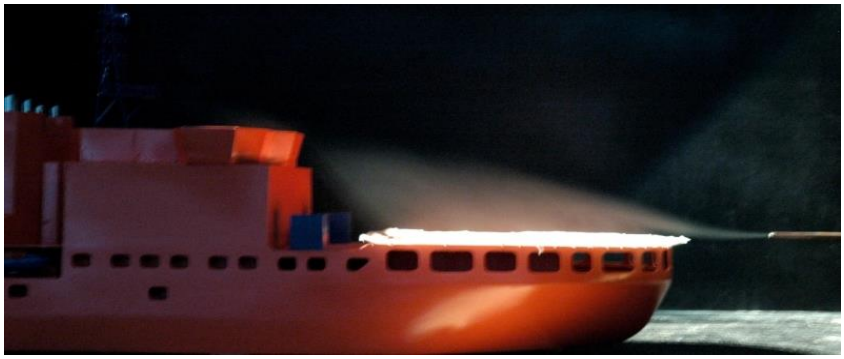


Рисунок 18 – Ограничения по скорости результирующего встречного ветра для эксплуатации вертолетов МИ-8 на судах с различным расположением вертолетной площадки

В результате, проведенных экспериментальных исследований для трех вариантов расположения вертолетных площадок, был проведен анализ ограничений по скорости ветра при эксплуатации вертолета МИ-8. Результат данного анализа представляет интерес для проектантов при выборе места расположения вертолетной площадки на судне (корабле).

По результатам, проведенных экспериментальных исследований, диссертант отмечает, что при любом расположении вертолетной площадки, так или иначе будут накладываться ограничения по скорости набегающего воздушного потока при совершении взлетно-посадочных операций. Как уже отмечалось ранее, на структуру воздушного потока влияют следующие параметры: расстояние от ВППл до надстройки, высота надводной части судна, форма корпуса в месте расположения вертолетной площадки. Так же необходимо отметить, что выбор расположения ВППл, в значительной степени зависит от назначения и функций морского объекта.

3 Экспериментальные исследования по определению структуры воздушного потока над ВПП ледокола, с целью оценки влияния проницаемости надстройки бака на структуру воздушного потока над ВПП, расположенной в носу. На рисунке 19 представлена визуализация обтекания вертолетной площадки при $\beta = 0°$, в двух вариантах конструкции бака.



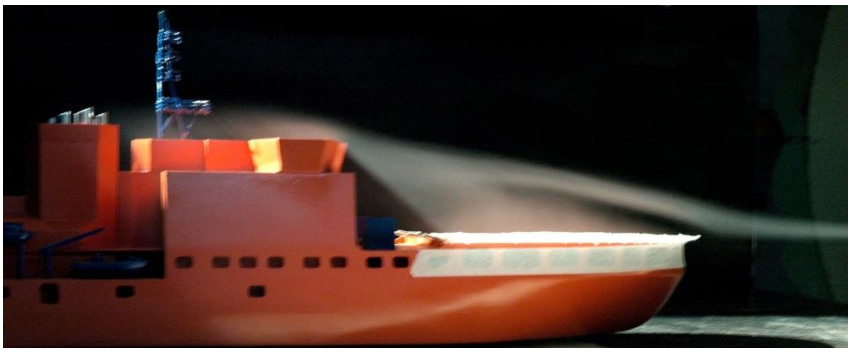


Рисунок 19 – Визуализация обтекания вертолетной площадки при β = 0°, в двух вариантах конструкции бака

Таблица 1 Параметры потока над ВПП.

	Конструкция бака с вырезами			Конструкция бака без вырезов		
β, °	$(V/V_0)_{ср}$	$\lvert\alpha\rvert$, °	$\lvert\delta\rvert$, °	$(V/V_0)_{ср}$	$\lvert\alpha\rvert$, °	$\lvert\delta\rvert$, °
		max	max		max	max
0	0,956	20	31	0,86	30	29
45	1,095	17	26	1,112	20	29
90	1,086	24	17	1,057	30	22

Изучено влияние угла дрейфа относительно кажущегося ветра на скосы воздушного потока в районе ВПП указанного проекта, что позволило специалистам ГОСНИИГА определить оптимальные направления захода на посадку вертолетов.

4 Численные исследования структуры воздушного потока над ВПП ледокола для трех вариантов расположения (по высоте) ВПП на ферменной конструкции (рисунки 20 -21).

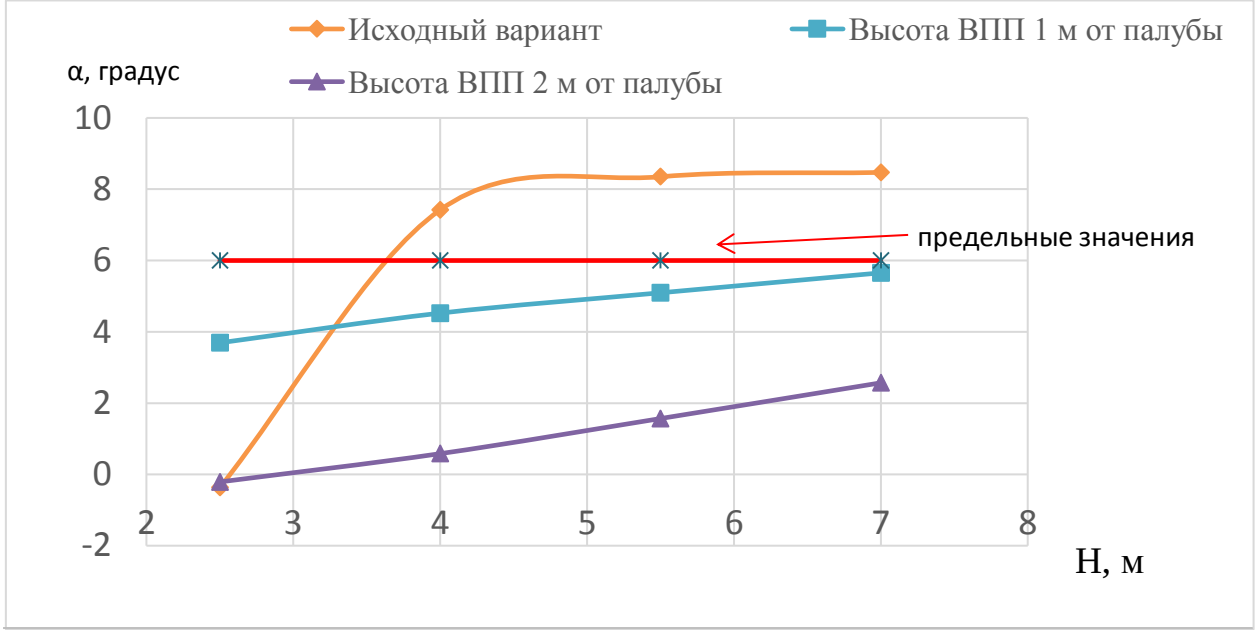


Рисунок 20 – График сравнения угла вертикального скоса потока для трех вариантов расположения ВПП по высоте в центре вертолетной площадки

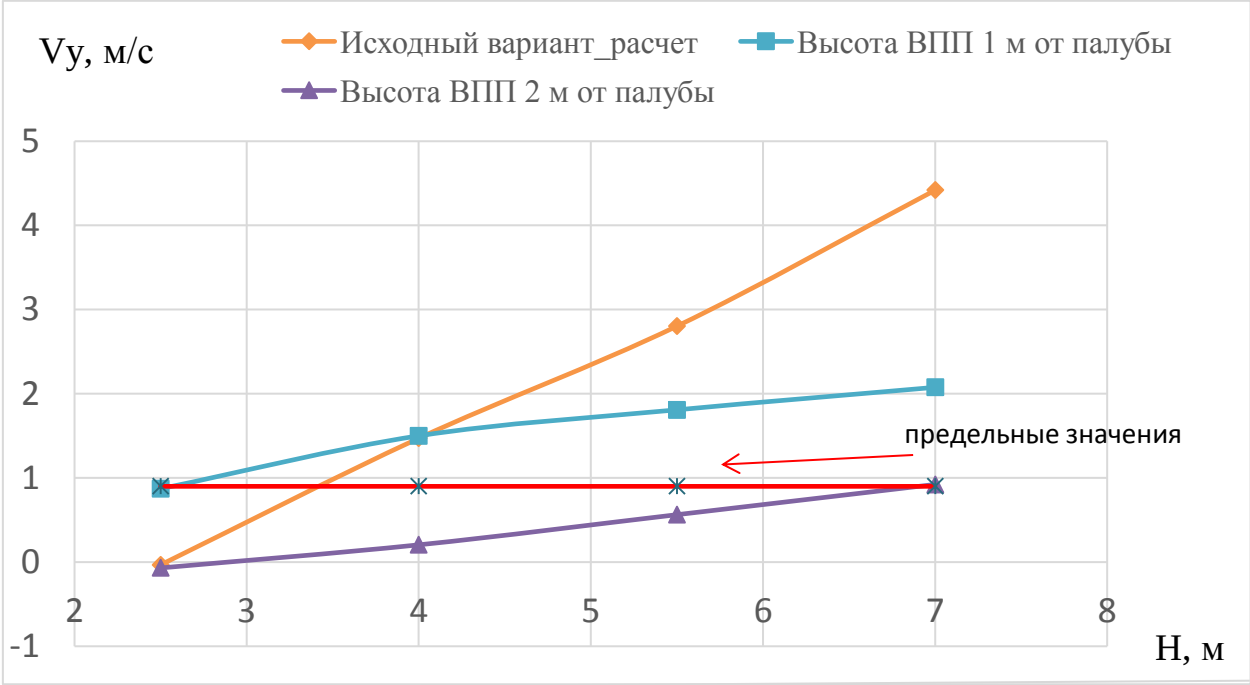


Рисунок 21 – График сравнения вертикальной составляющей скорости потока для трех вариантов расположения ВПП по высоте в центре вертолетной площадки

5 Экспериментальные исследования исследований обтекания ВПП в свободном потоке.

На рисунке 22 схематично представлена модель, изготовленная из пластика для проведения эксперимента в вертикальной гидродинамической трубе. Визуализация отрывного течения вблизи передней кромки проводилась для каждого поперечного среза площадки, на которых были смоделированы обтекатели разной геометрической конфигурации. В центральной части пластинки было сделано небольшое отверстие, через которое подавалась краска для визуализации отрывной зоны (рисунок 23). Модель была жестко закреплена в рабочей части ГДТ.

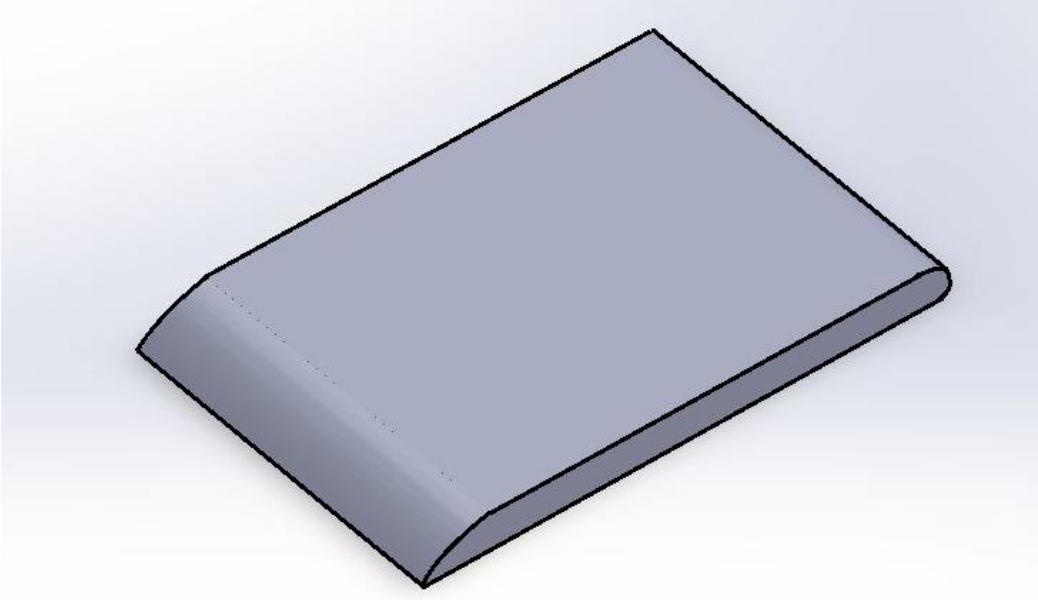


Рисунок 22 – Схема модели вертолетной площадки для исследований в гидродинамической (размеры указаны в мм)

На рисунке 23 представлена картина линий тока при обтекании вертолетной площадки, находящейся в центральном сечении рабочей части ГДТ (вариант без обтекателя).

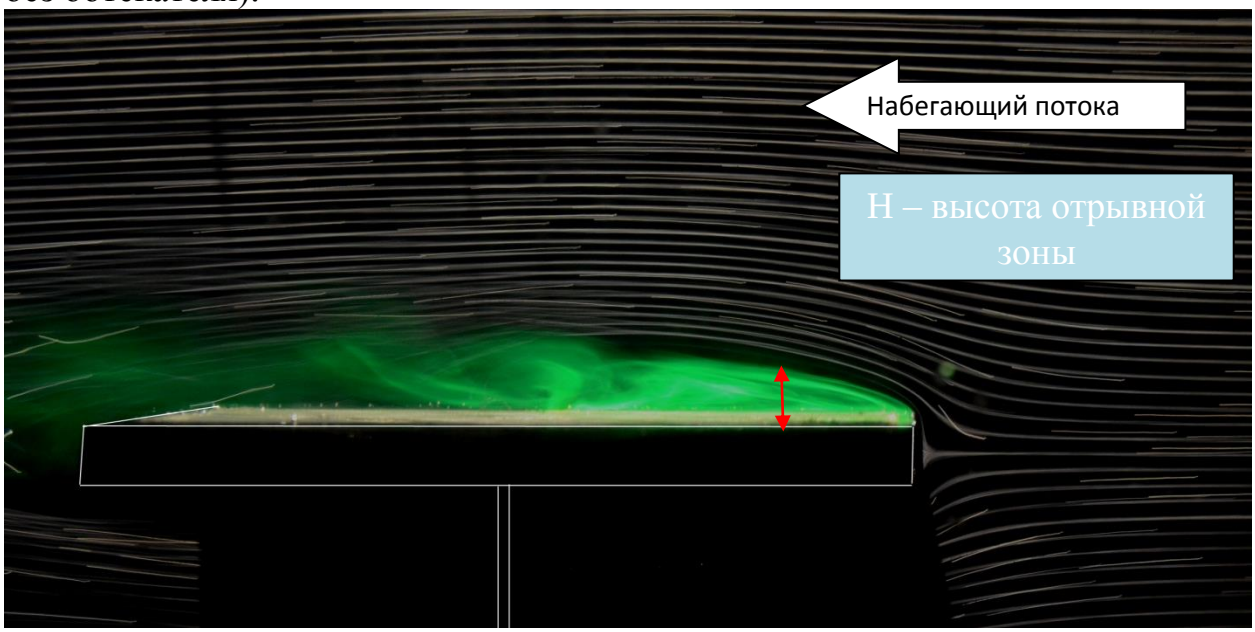


Рисунок 23 – Визуализация обтекания ВП без обтекателя при β = 0°

С верхней поверхности площадки происходит отрыв потока. Визуализация течения методом водородных пузырьков позволяет оценить размеры области отрыва.

На рисунке 24 представлена картина течения вблизи ВП с обтекателем, имеющим форму полуокружности.

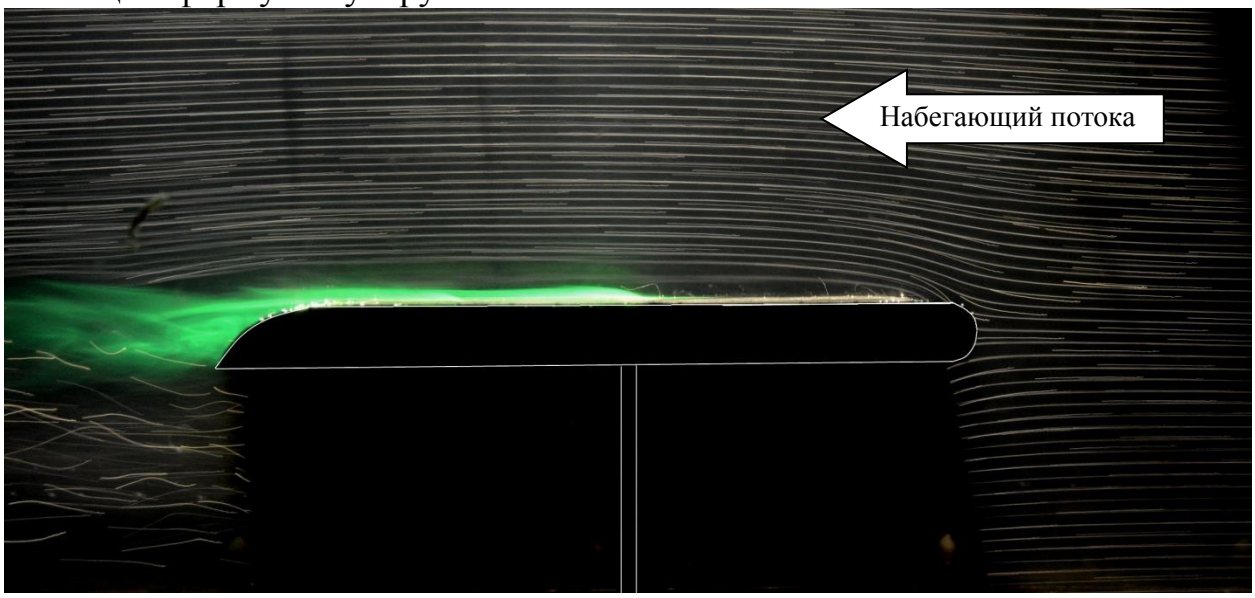


Рисунок 24 – Визуализация обтекания ВП с обтекателем 1 при β = 0°

Видно, что поперечные размеры глобальной области отрыва на площадке заметно уменьшились.

Следующий этап исследования: визуализация второго обтекателя (рисунок 25).

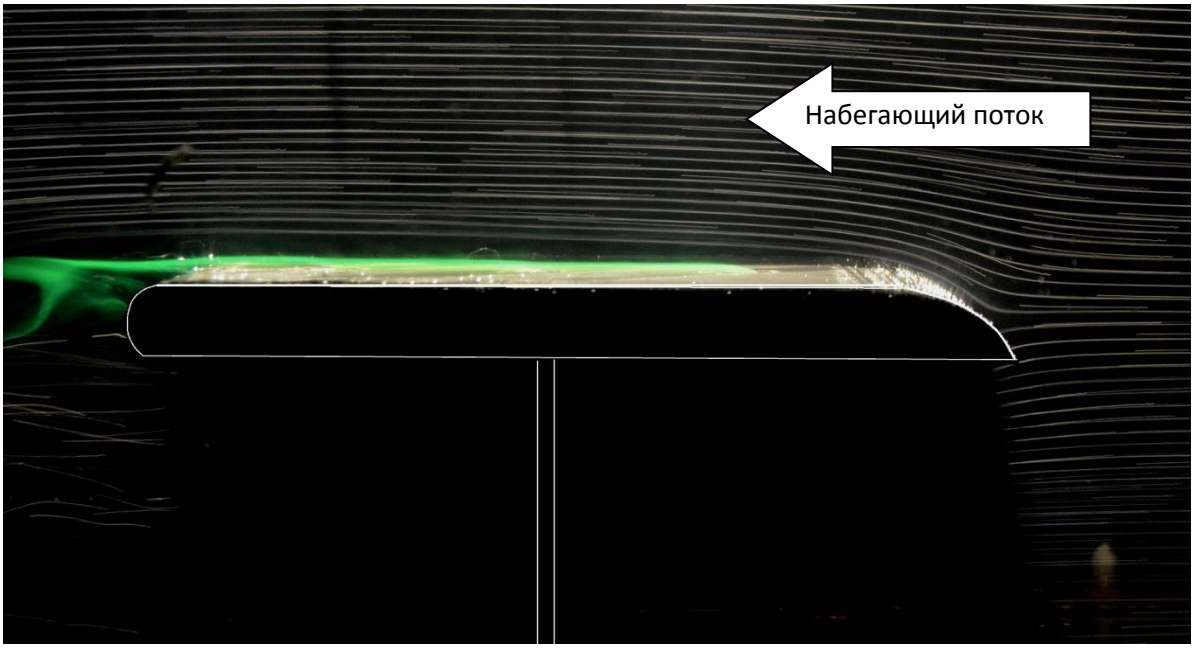


Рисунок 25 – Визуализация обтекания ВП с обтекателем 2 при β = 0°

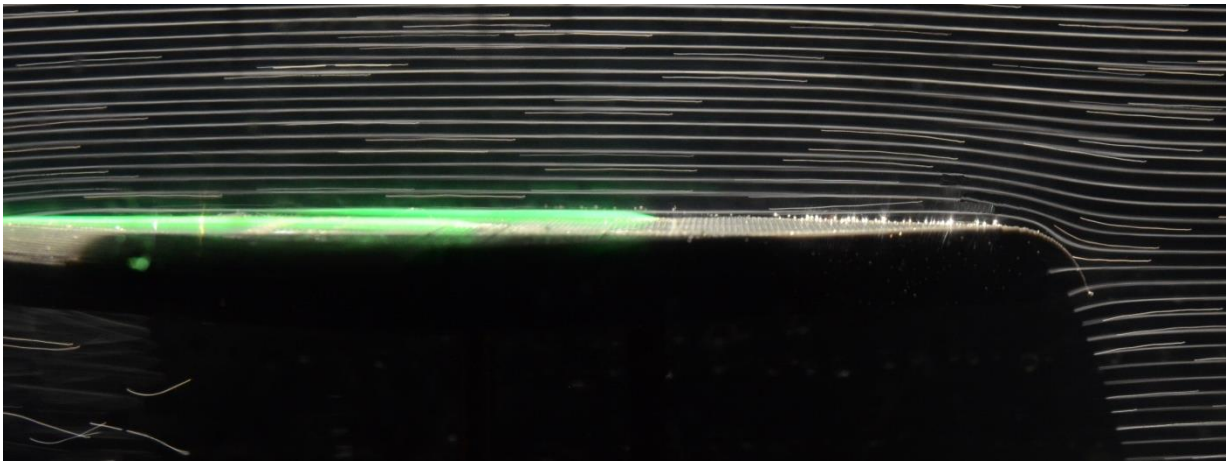


Рисунок 26 – Визуализация обтекания ВП с обтекателем 2 при β = 30°

По картинам течения на рисунках 24 - 26 можно сделать вывод, что обтекатель на рисунке 23 наиболее эффективен, с точки зрения уменьшения отрыва потока на площадке, где линии тока проходят достаточно близко к поверхности площадки.

6 Численные исследования влияния обтекателя на скосы воздушного потока вблизи ВПП.

Исходный вариант модели приведен на рисунке 27. Модель с измененной конфигурацией (обтекатель выделен красным цветом) представлена на рисунке 28. На рисунках 29 – 30 приведена конфигурация обтекателя.

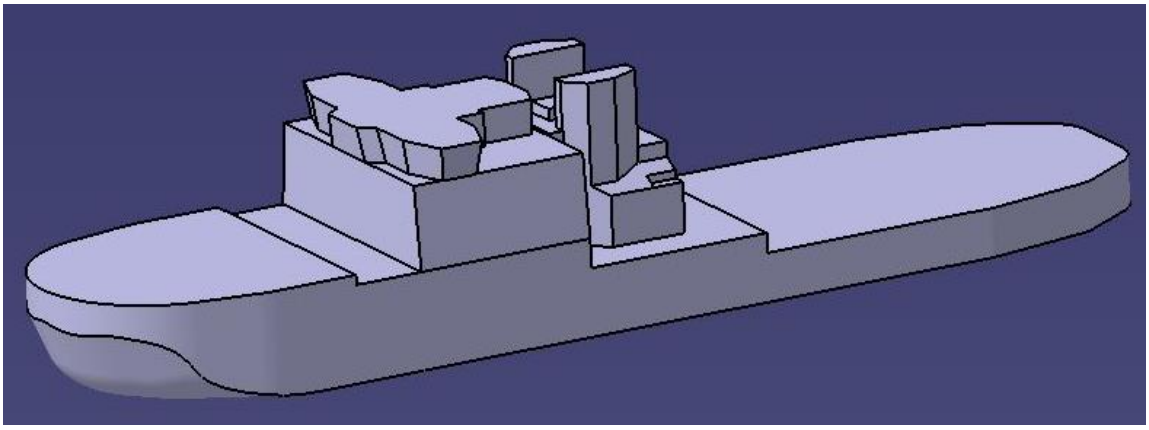


Рисунок 27 – Исходный вариант модели ледокола

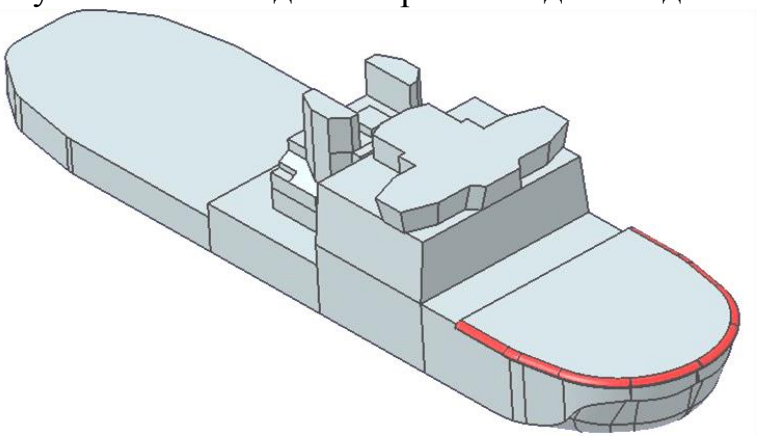


Рисунок 28 – Модель ледокола с обтекателем на ВПП

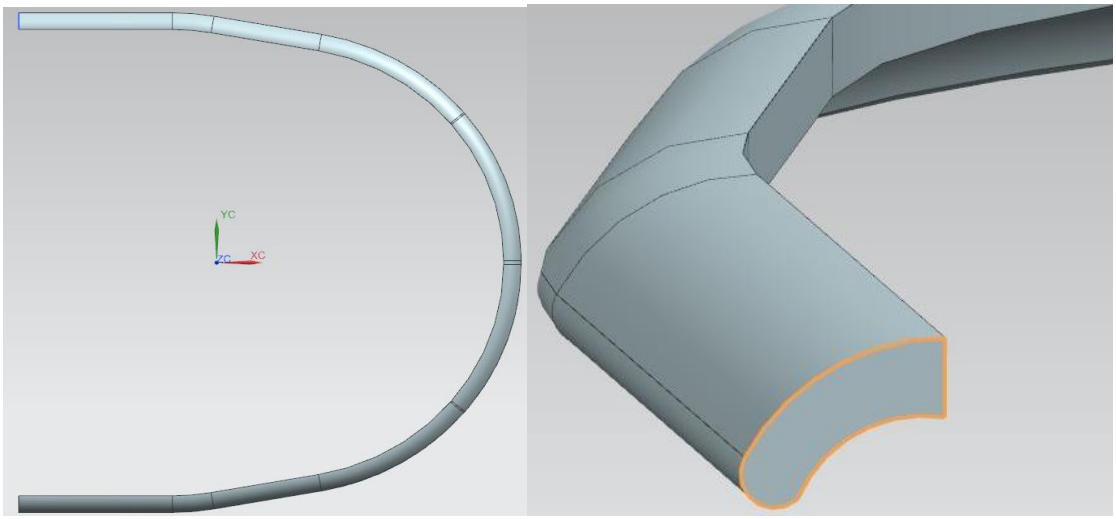


Рисунок 29 – Обтекатель

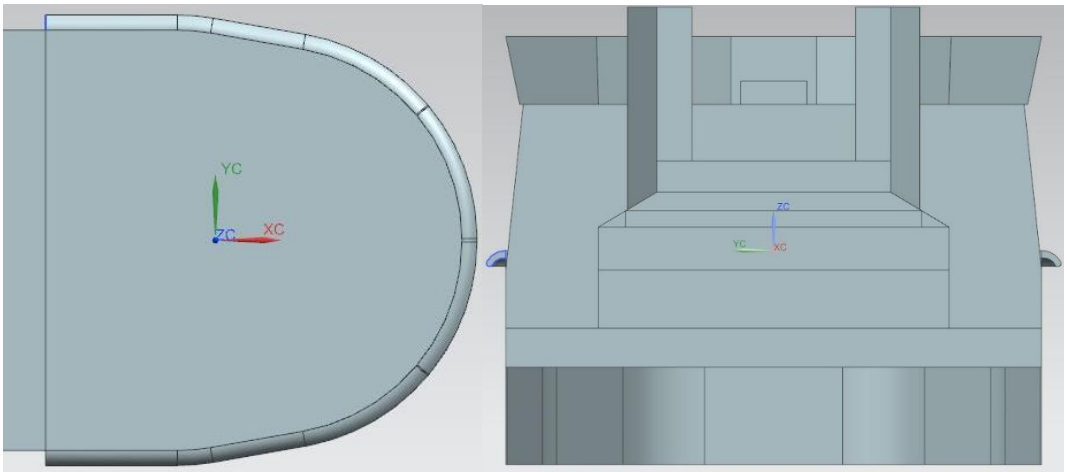


Рисунок 30 – Обтекатель на ВПП судна

На графике (рисунок 31) показаны значения углов альфа (вертикальный скос потока) по высоте (в масштабе модели) в центре вертолетной площадке. По полученным результатам можно сделать вывод, что применение обтекателя приводит к уменьшению вертикального скоса в два раза на высотах 1,5 м, 2,5 м, 7 м.

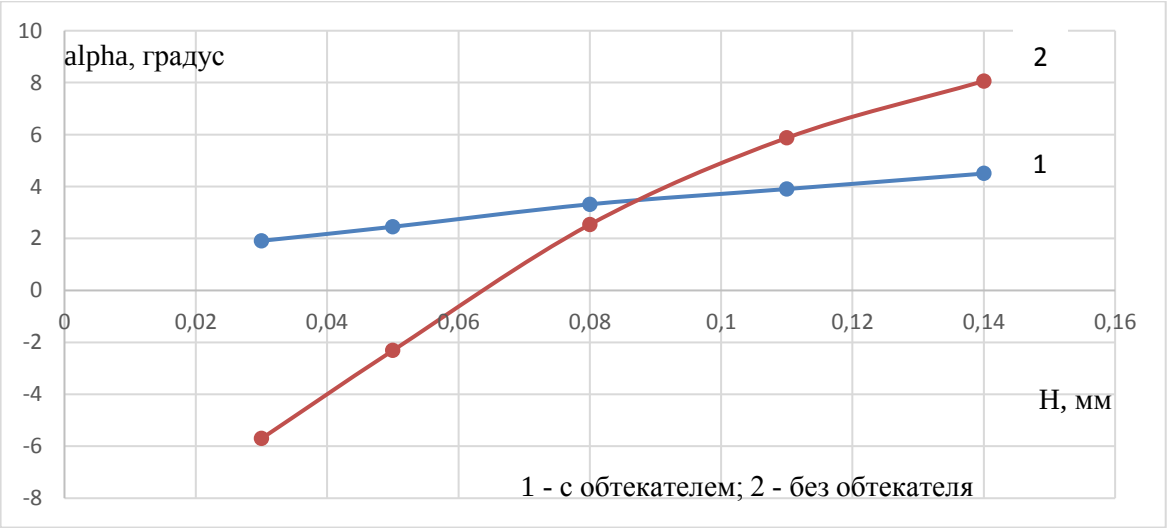


Рисунок 31 – Измерения проводились в центре площадке.

На рисунках 32 – 33 представлены картины течений в плоскости ZY в центре вертолетной площадки.

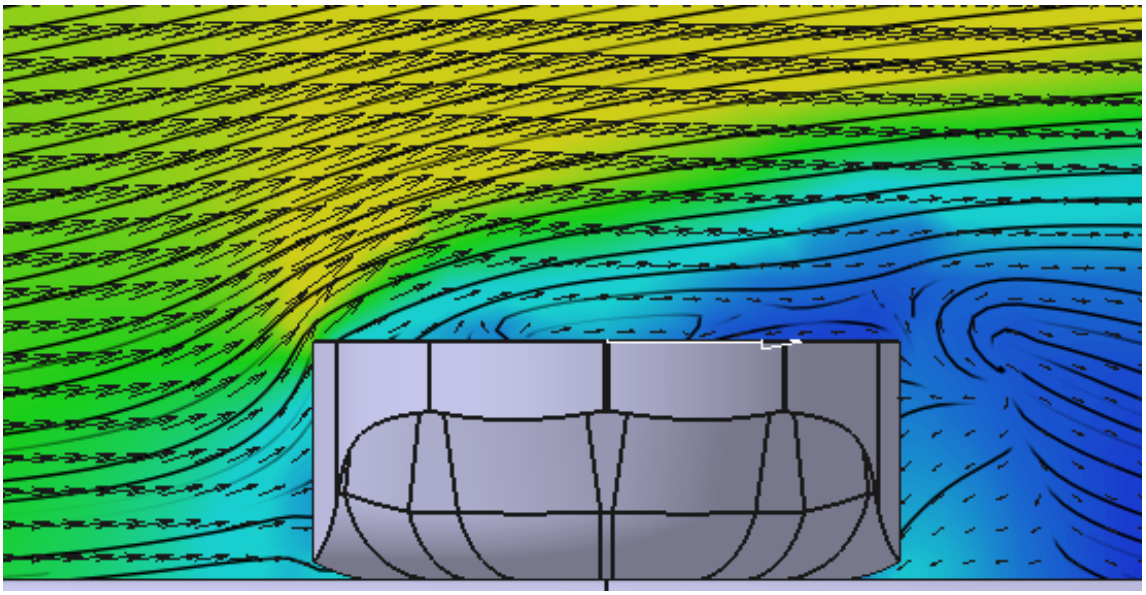


Рисунок 32 – Поле скоростей. Без обтекателя

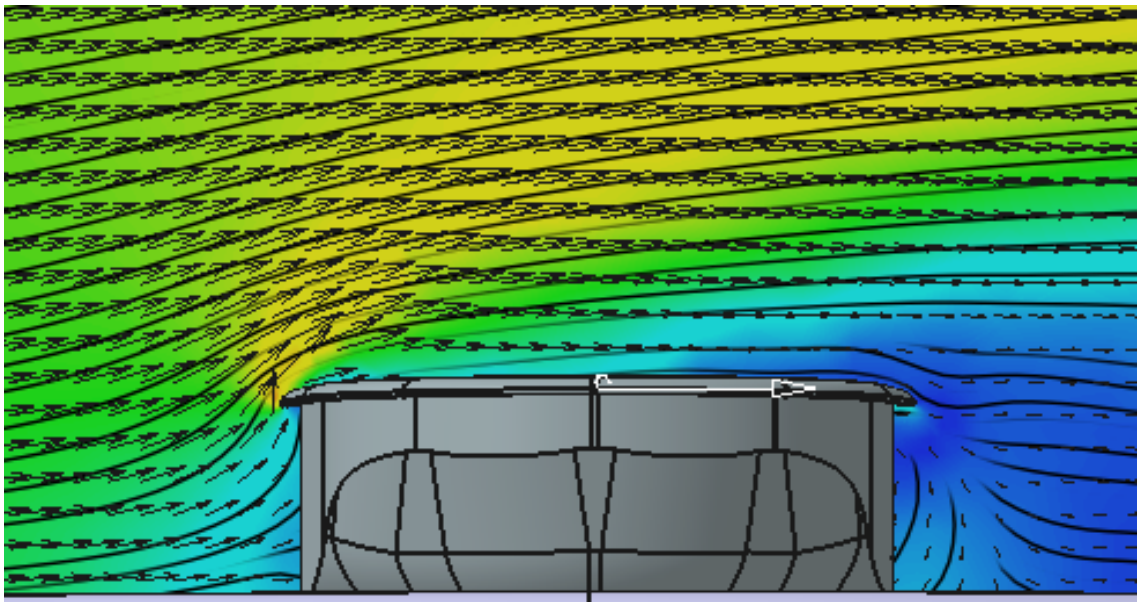


Рисунок 33 – Поле скоростей. С обтекателем

Заключение

Седьмой раздел содержит основные результаты настоящей работы, которые сводятся к следующему:

При выполнении исследований в диссертации использовались два метода изучения жидкости:

– экспериментальный, связанный с визуализацией обтекания надводной части моделей морских объектов и с определением скосов воздушного потока;

– численный метод нахождения линий тока в различных областях течения, основанный на интегрировании уравнений Рейнольдса.

Оба метода применялись для решения следующих практически важных задач совершенствования морской техники:

− уменьшения задымляемости надводной части кораблей и судов с целью обеспечения комфортных условий существования пассажиров и работы экипажа;

− определение областей расположения траекторий взлета и посадки ЛА, безопасных с точки зрения попадания отработанных газов корабля (судна) в двигатели ЛА при различных углах дрейфа относительно кажущегося ветра;

− обеспечение безопасного аэродинамического взаимодействия ЛА с потоками за надстройками корабля (судна) во время взлетно-посадочных операций.

На основе проведенных исследований:

1) Экспериментальные исследования структуры воздушного потока вблизи надводной части ледокола.
2) Экспериментальные исследования обтекания прямого уступа в гидродинамической трубе, а также исследования методом численного моделирования.
3) Исследования структуры воздушного потока вблизи наводной части судна снабжения методом численного моделирования.
4) Экспериментальные исследования по определению структуры воздушного потока над взлетно-посадочными вертолетными площадками для трех вариантов расположения ВПП на судах.
5) Экспериментальные исследования по определению структуры воздушного потока над ВПП ледокола, с целью оценки влияния проницаемости надстройки бака на структуру воздушного потока над ВПП.
6) Численные исследования структуры воздушного потока над ВПП ледокола для трех вариантов расположения (по высоте) ВПП на ферменной конструкции.
7) Экспериментальные исследования исследований обтекания ВПП в свободном потоке.
8) Численные исследования влияния обтекателя на скосы воздушного потока вблизи ВПП.

В диссертации получены следующие результаты и сформулированы рекомендации:

− существующие численные методы расчета отрывных течений позволяют на ранней стадии проектирования корабля (судна) качественно оценить общую картину задымляемости его надводной части при различных углах дрейфа относительно кажущегося ветра; такие оценки, позволяют проверить достаточное количество вариантов форм надстроек для выбора оптимальной, учитывая их относительную доступность по времени и средствам следует проводить всегда на ранних этапах проектирования;

− на стадиях технического проектирования необходимо выполнять физическое моделирование с визуализацией картины задымления модели

судна в гидродинамической трубе, выполнение указанных рекомендаций позволит избежать переделок надводной части судна в натурных условиях;

Предложены конструктивные мероприятия по уменьшению отрывных зон возникающих на элементах надстроек судна, что ведет к уменьшению задымляемости надводной части судна:

- предложен способ уменьшения поперечного размера отрывной зоны на крыше надстройки с помощью крылового элемента получено свидетельство о полезной модели (Заявка №2017102795/11 (004886) от 27.01.2017 г.);
- предложено использование прямоугольного уступа для управления отрывной зоной на крыше надстройки (Заявка №2017146892 от 28.12.2017);
- разработаны рекомендации по выбору мест забора воздуха для систем судовой вентиляции; при выборе расположения воздухозаборных отверстий, необходимо определить зоны отрыва воздушного потока, зоны заторможенного течения, на основе модельного эксперимента);
- разработаны рекомендации по выбору формы, размеров и расположению дымовых труб.

Предложены общие рекомендации и конструктивные мероприятия по повышению безопасности взлетно-посадочных операций вертолетов, базирующихся на кораблях и судах:

1 для исключения возможности попадания ЛА в зону дымового факела вблизи судна следует дополнительно визуализировать выбрасываемые газы с тем, чтобы пилоты могли различать границы загазованной области;

2 для уменьшения скосов воздушного потока над ВПП, особенно при заходах на посадку с борта судна в случае боковых ветров следует использовать рассмотренные в диссертации конструктивные мероприятия:

a. рекомендовать подъем уровня ВПП на 1,5 – 2,5 м над плоскостью верхней палубы; минимальная высота для каждого проекта индивидуальна, устанавливается в результате эксперимента или численного расчета;

b. использовать уступы и обтекатели в районе кромки борта судна для уменьшения зоны отрыва потока; (отработку дополнительных элементов необходимо проводить на ранних стадиях проектирования);

c. избегать расположения ВПП вблизи отрывных зон за надстройками судна

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1 Бусоргина Е.А., Гузеев А.С. Исследования структуры воздушного потока вблизи надводных частей моделей судов, с целью обеспечения взлетно-посадочных операций – Труды НИИ ОСиС ВМФ ВУНЦ Военно-морская академия. Научно-технический сборник. Интеллектуальные разработки в интересах строительства и развития ВМФ. СПб.: НИИ ОСиС ВМФ ВУНЦ Военно-морская академия, 2016. Инв. №102288.

2 Гузеев А.С., Короткин А.И., Морозова Е.А. (Бусоргина), Т.И. Сайфуллин Управление отрывом потока с помощью уступа на обтекаемой поверхности – Морской Вестник. Выпуск №2 (62), 2017 г.

Прочие публикации:

1 A.S.Guzeev, A.I.Korotkin, E.A.Busorgina. A COVER OF A SMOKE NEAR BODY OF A TRANSPORT VESSELS. XVI International conference on the methods of aerophysical research. Kazan, 2012. (ICMAR 2012). Abstracts. Edit by acad. Fomin V.M. Part II, page 124 – 125.

2 Добродеев А.А, Курчуков К.В., Морозова Е.А., Ренни М.В., Фомичев Д.В. Подход к проектированию ледокола на основе модельных испытаний Международное Общество морских и полярных инженеров. International Society of Ocean and Polar Engineers, 2017 г., Стр. 1410 (SCOPUS)