



УДК 656.6

**Решетникова Валентина Владимировна**, аспирант, кафедра ВП и ГС, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Решетников Максим Алексеевич**, к.т.н, заведующий лаборатории ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

### **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА НА НИЖНИЕ ВОРОТА СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА ПРИ ВЫХОДЕ СУДНА ИЗ КАМЕРЫ В ВЕРХНИЙ БЬЕФ**

*Ключевые слова:* судходный шлюз, безопасность судоходства, движители судна, гребной винт судна, математическая модель, моделирования работы гребного винта судна.

*Аннотация.* В статье рассматривается один из способов исследования гидродинамической нагрузки на низовые рабочие ворота шлюза от работы гребных винтов судна. Предлагается подход, основанный на решении трехмерной системы уравнений Навье-Стокса. Одной из основных проблем является вопрос моделирования работы гребного винта с учётом его геометрических особенностей. В качестве решения последнего предлагается в модели заменить работу реального движителя на его упрощённую математическую модель

Моделировать работу реального движителя судна очень сложно, поэтому предлагается заменить его работу математическим движителем.

Основными задачами исследования являются:

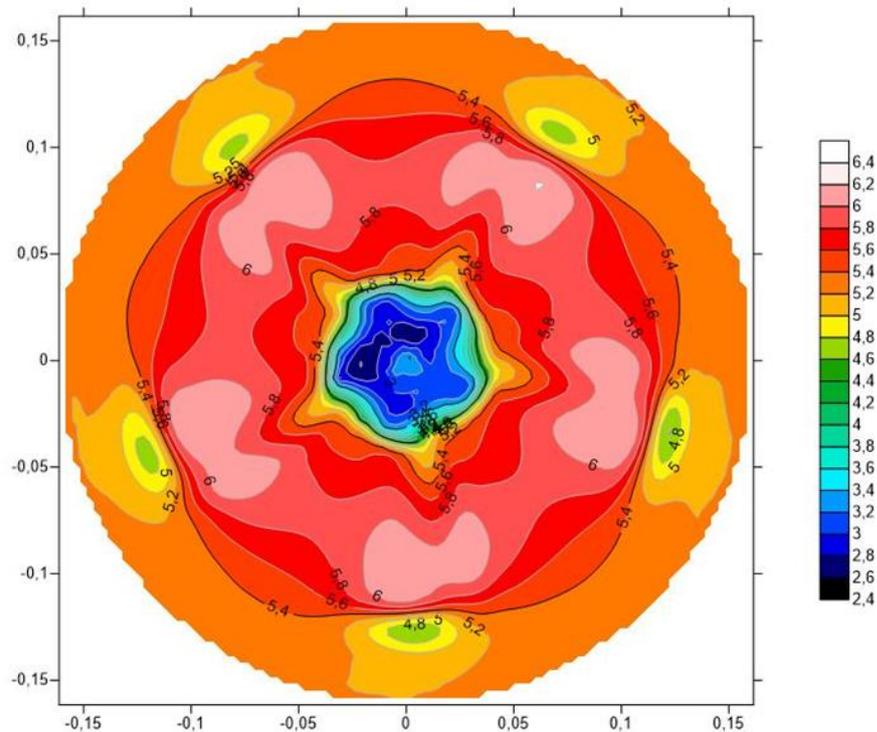
- Дополнительная гидродинамическая нагрузка на низовые ворота, возникающая от работы движителей при выходе судна в верхний подходной канал;
- Определение вибрационной составляющей воздействия на низовые ворота от работы движителей;
- Определение опасных режимов работы движителей создающие резонансные явление в напряженном состоянии низовых ворот.

Для создания математической модели работы гребного винта предлагается использовать натурные испытания, проводимые в лаборатории Потсдамского научно-исследовательского института кораблестроения [1,2,3].

Для моделирования использовалось трехмерное уравнение Навье-Стокса, уравнение неразрывности, к-е модель турбулентности. Такой подход к решению задач зарекомендовал себя ранее [4]

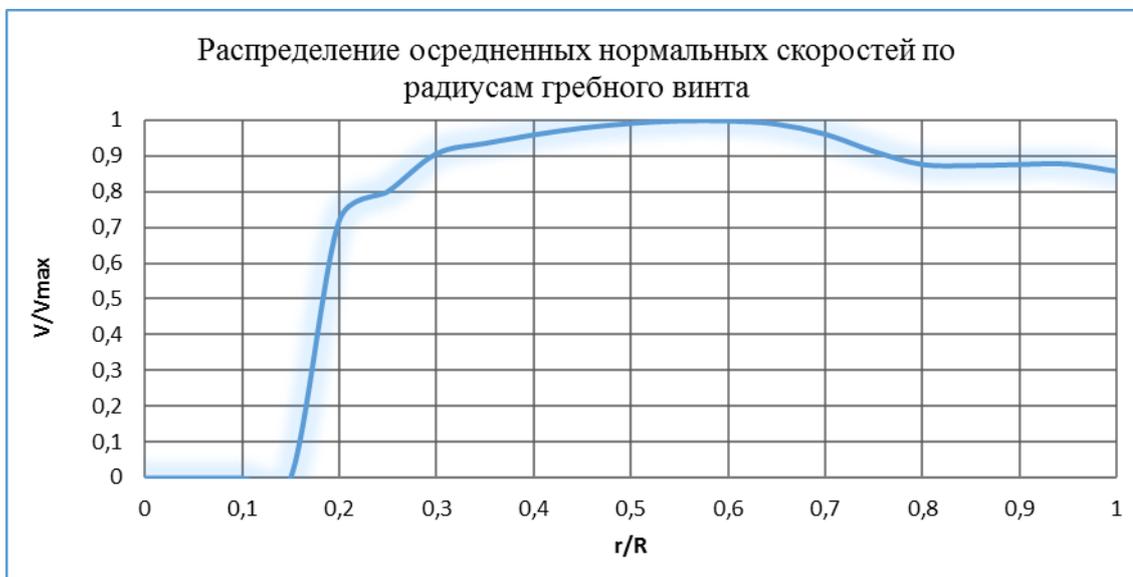
$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} - \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right) &= F_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}; \\ \frac{dV_y}{dt} - \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \right) &= F_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y}; \\ \frac{dV_z}{dt} - \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) &= F_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}; \\ \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dt}, \end{aligned} \quad (1)$$

Решение задачи работы гребного винта исследуется в стационарном состоянии, в котором гребной винт определен в системе координат, которая, в свою очередь, вращается относительно глобальной системы координат с частотой равной вращению самого гребного винта



*Рис. 1 - Распределение нормальных скоростей потока на расстоянии 10 см от края лопасти гребного винта*

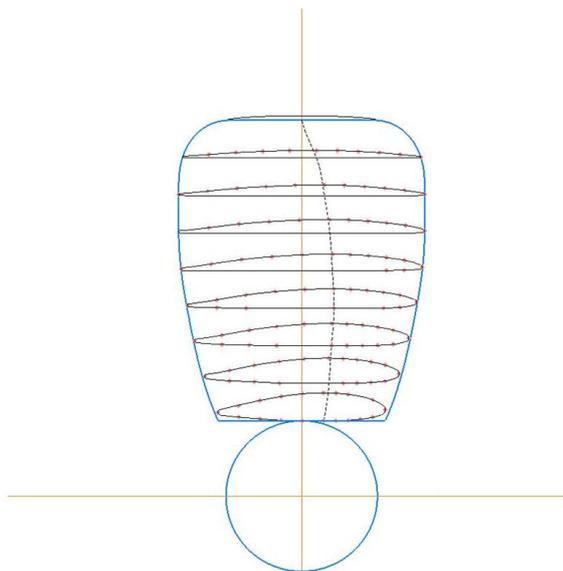
Для обработки результатов в программной среде Mathcad была написана программа определения средних нормальных скоростей на различных радиусах гребного винта. На основании разработанной программы был получен график распределения вызванных нормальных скоростей потока



*Рис. 2 - График распределения вызванных нормальных скоростей потока.  $r/R$  – отношение радиуса к максимальному радиусу винта,  $V/V_{max}$  - отношение нормальной скорости на данном радиусе к максимальной скорости, создаваемой винтом*

Так как не удалось найти теоретического чертежа реального гребного винта судна проекта 507Б, то пришлось рассчитывать гребной винт по классической теории, предложенной Вагановым и Павловым [5,6] по характеристикам, данным в описании проекта 507Б.

Также в программной среде Mathcad была написана программа по расчету гребного винта и на основе ее результатов построили теоретические чертежи гребного винта судна проекта 507Б. На рисунке показана ступица, лопасть и распределение профилей самой лопасти.



*Рис. 3- Ступица, лопасть и распределение профилей самой лопасти гребного винта судна проекта 507Б*

В связи с отсутствием конкретной информации по построению 3-D модели геометрии гребного винта, а также в связи с проблемой построения лопасти гребного винта с учетом изменения ее профиля по длине (по расчетам получается спрямленный профиль, который необходимо «наклеить» на расчетный радиус, с учетом изменения профиля лопасти по ее длине), была разработана своя методика построения ее трехмерной

модели. На основании данной методики получилось построить трехмерную модель гребного винта.

Окончательный вид гребного винта судна проекта 507Б представлен на рисунке 4,5.

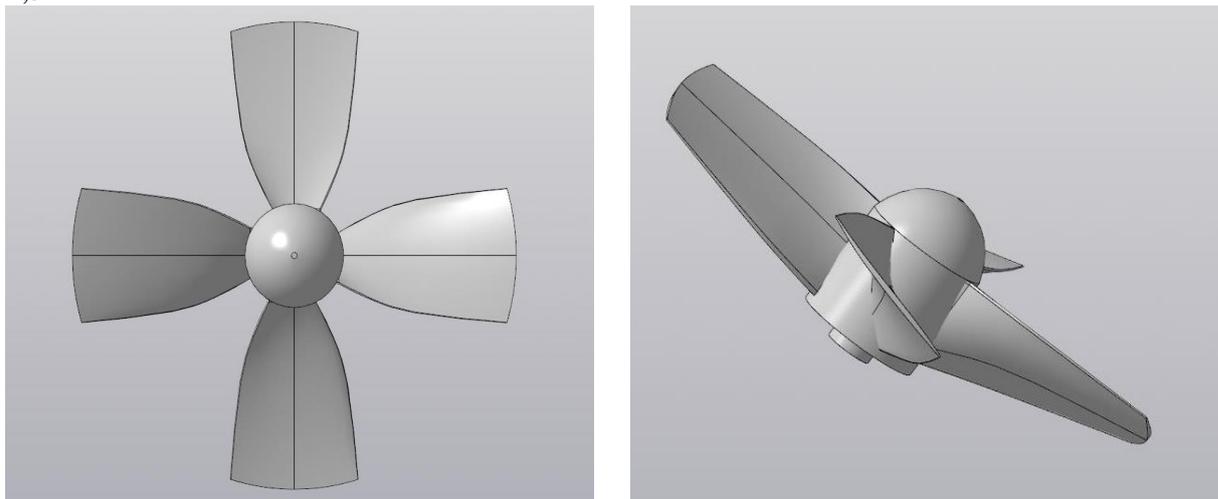


Рис.4 – Трехмерная модель гребного винта судна проекта 507Б

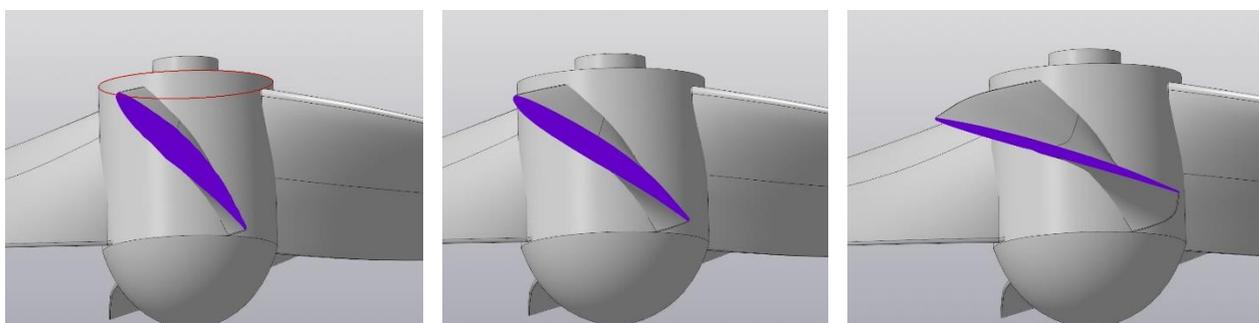


Рис.5 – Трехмерная модель гребного винта судна проекта 507Б с учетом изменения ее профиля по длине

На основе имеющейся математической модели, по которой рассчитывался винт Немецкого исследовательского института кораблестроения (SVA Potsdam), был промоделирован рассчитанный винт в программной среде Star CCM+.

В качестве исходных параметров принято, что скорость поступающего потока 1м/с, а частота вращения гребного винта 200 об/мин. На основании построенного графика можно сделать вывод о том, что при распределении нормальных скоростей потока в сечении на расстоянии примерно 10 см от гребного винта при скорости потока воды 1м/с винт создает скорости до 7м/м.

Таким образом, при дальнейшей работе в данном направлении необходимо посчитать распределение скоростей при различных параметрах.

На основании вышеописанного можно сделать следующие выводы:

- В настоящее время отсутствуют теоретические подходы к исследованию гидродинамической нагрузки на ворота от работы движителей судна;
- Необходимо рассчитать гидродинамику потока при различных параметрах работы гребного винта;
- На основе полученных данных разработать математическую модель описывающую работу гребного винта;
- Провести натурные исследования режимов работы движителей крупнотоннажных судов при входе-выходе судов со стороны верхнего бьефа в камеру шлюза.

Список литературы:

[1] Электронный ресурс. <https://www.sva-potsdam.de/>

- [2] Mertes, P., Heinke, H.-J.: Aspects of the Design Procedure for Propellers Providing Maximum Bollard Pull, ITS 2008, Singapore, May 2008
- [3] Schulze, R.: Globale Optimierung von Propellern und Propulsionssystemen, Schiff & Hafen 3/2005
- [4] Решетников М.А., Липатов И.В. Постановка математической модели движения судна при выходе из камеры судоходного шлюза. //Труды конгресса «Великие реки - 2016» Вып. 5. –Н. Новгород: Изд-во Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород), 2016. – с. 320-321.
- [5] Анфимов В.Н., Ваганов Г.И., Павленко В.Г. Судовые тяговые расчеты. - Москва: Транспорт, 1970. – 224 с.
- [6] Басин А.М. Миниович И.Я. Теория и расчет гребных винтов. – Ленинград: Судпромгиз, 1963. – 760 с.

## **SOME ASPECTS OF MODELING THE HYDRODYNAMIC EFFECT OF THE FLOW ON THE LOWER DOOR OF THE NAVIGATION LOCK WHEN THE VESSEL LEAVES THE CHAMBER IN THE UPPER POOL**

Valentina V. Reshetnikova, Maksim A. Reshetnikov

*Key words: shipping lock, safety of navigation, ship movers, the propellers of the vessel, mathematical model, modeling of the propeller of the vessel.*

*The article discusses one of the ways to study the hydrodynamic load on the lower working gate of the lock, from the work of the propellers of the vessel. An approach based on the solution of a three-dimensional system of Navier-Stokes equations is proposed. One of the main problems is the issue of modeling the work of the propeller, taking into account its geometric features. As a solution to the latter, it is proposed to replace the work of the real engine with its simplified mathematical model.*