

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

А. А. Пунин, аспирант

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. На основе анализа большого количества проектов судов на воздушной подушке показана необходимость совершенствования системы поддержания. Разработана методика моделирования процессов, происходящих в воздушном тракте этих судов, с использованием CFD-пакета FLOWVISION. Приведены результаты аэродинамического совершенствования подъемного комплекса корабля на воздушной подушке «Торнадо».

Ключевые слова: судно на воздушной подушке, FLOWVISION, аэродинамическое совершенствование.

Анотація. На основі аналізу великої кількості проектів суден на повітряній подушці показана необхідність удосконалення системи підтримання. Розроблена методика моделювання процесів, що відбуваються в повітряному тракті цих суден, з використанням CFD-пакета FLOWVISION. Наведені результати аеродинамічного вдосконалення підйомного комплексу судна на повітряній подушці «Торнадо».

Ключові слова: судно на повітряній подушці, FLOWVISION, аеродинамічне вдосконалення.

Abstract. The necessity of the lift system improvement based on the analysis of air-cushion vessels projects is shown. The simulation methodology of the processes in the air-channel of air-cushion vessels was developed using the CFD FLOWVISION technology. The results of aerodynamic improvement of the «Tornado» air-cushion vessel lift system are demonstrated.

Keywords: air-cushion, FLOWVISION, aerodynamic improvement.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Полная мощность (N) главных двигателей судов на воздушной подушке (СВП) состоит из следующих составляющих:

$$N = N_{\text{ВП}} + N_{\text{ДВ}},$$

где $N_{\text{ВП}}$ — мощность, необходимая для создания подъемной силы СВП; $N_{\text{ДВ}}$ — мощность, необходимая для движения СВП.

В работе рассматривается возможность минимизации относительных энергозатрат (отношение $N_{\text{ВП}}/D$) на создание подъемной силы СВП. В состав $N_{\text{ВП}}$ входят мощность, вырабатываемая нагнетателем, и потери мощности в воздушном тракте. Задача — аэродинамическое совершенствование воздушного тракта проекта корабля на воздушной подушке (КВП) типа «Торнадо» (рис. 1) с целью уменьшения потерь мощности в воздушном тракте.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В процессе работы были использованы опубликованные данные по энерговооруженности подъемного комплекса различных СВП [2–5].

По конструктивному исполнению энергетические установки (ЭУ) СВП разделяют следующим образом:

- установки с совмещенным приводом нагнетателей подъемной системы и движителей. В таких установках мощность $N_{\text{ВП}}$ составляет (33...34%) N [5];
- установки с раздельным приводом нагнетателей и движителей.

По полученным данным были построены графики для амфибийных СВП (рис. 2, а) и для скеговых СВП (рис. 2, б).

Точки, лежащие выше прямой линейной регрессии, характеризуют суда с низкой энерговооруженностью,

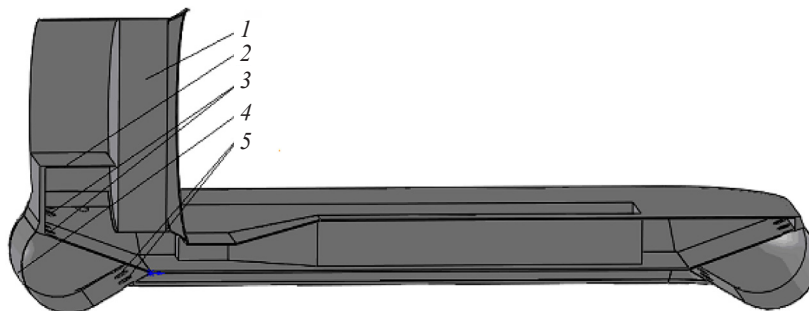


Рис. 1. Воздушный тракт корабля на воздушной подушке «Торнадо» (разрез по ДП): 1 — нагнетатель; 2 — воздухозаборник; 3 — отверстия в корпусе; 4 — гибкое ограждение; 5 — отверстия в гибком ограждении

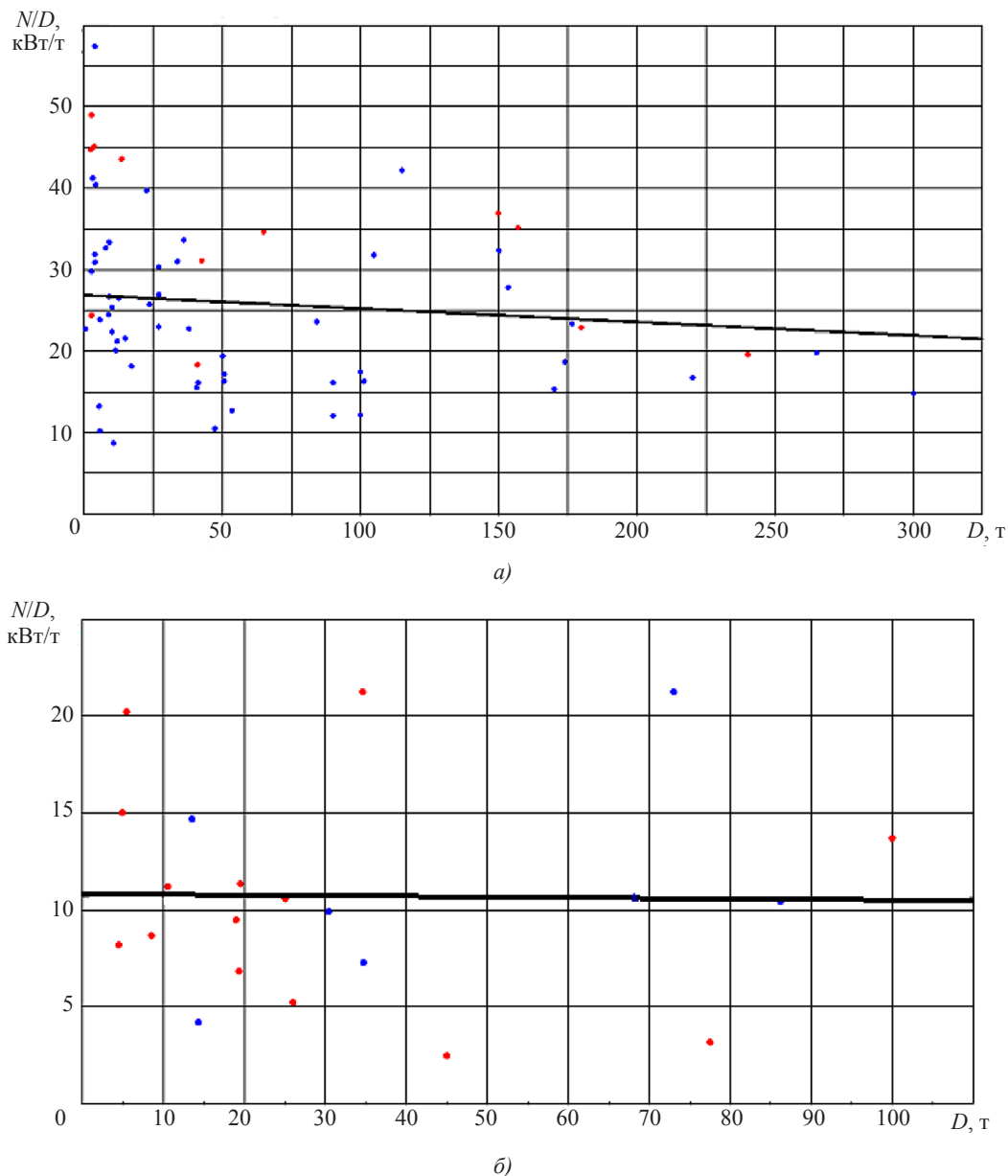


Рис. 2. Энерговооруженность подъемного комплекса СВП амфибийного (а) и скегового (б) типов различной компоновки в функции от их грузоподъемности: ••• — разделенный привод; ••• — совмещенный привод

ниже — с высокой. Анализ данных статистики показывает, что в каждой новой модели СВП проектанты стремятся к понижению энерговооруженности. Это можно видеть на примере английской серии SR: энерговооруженность подъемного комплекса SRN1 — 57,4 кВт/т; SRN2 — 30,3 кВт/т; SRN3 — 31,1 кВт/т; SRN5 — 24,5 кВт/т; SRN6 — 22,4 кВт/т; SRN4 — 23,4 кВт/т. Поскольку серия имеет одинаковое конструктивное исполнение, улучшение энерговооруженности осуществлялось преимущественно путем совершенствования гибкого ограждения (ГО). Однако сведения о совершенствовании воздушного тракта системы поддержания отсутствуют.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ — минимизация энергозатрат на создание воздушной подушки путем аэродинамического совершенствования воздушного тракта СВП.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Минимизация энергозатрат — главное требование при проектировании судов на воздушной подушке. Важнейшей характеристикой СВП является запас хода — длительность непрерывного хода на полной скорости в часах до израсходования всего топлива. При одинаковом значении запаса хода для СВП с большей удельной мощностью необходим больший запас топлива, что увеличивает себестоимость перевозки.

Мощность, необходимая для создания подъемной силы СВП, определяется по формуле

$$N_{ВП} = \frac{Q \cdot P}{\eta},$$

где Q — объемный расход воздуха, подаваемого нагнетателем; P — давление за нагнетателем; η — КПД системы поддержания.

Неудачно спроектированные воздушные тракты могут иметь сопротивление, на преодоление которого уйдет до 60% мощности двигателя привода нагнетателя [1]. В воздушном тракте существуют местные потери давления (P_M), связанные с резким увеличением либо уменьшением поперечного сечения и изменением направления движения воздуха. Эти потери определяются по формуле

$$P_M = \xi_M \frac{\rho V^2}{2g},$$

где ρ , V — плотность и скорость воздуха; ξ_M — коэффициент местных потерь.

Необходимо стремиться к тому, чтобы падение давления в тракте было минимальным. Для этого необходимо: уменьшение шероховатостей стенок; ликвидация резких изгибов и поворотов; снижение скорости движения воздуха.

Определение местных потерь — сложная задача, для ее решения необходимо знать поле скорости и давление воздушного тракта. Она может быть решена численно с использованием программного комплекса FLOWVISION. Комплекс предназначен для решения задач гидрогазодинамики, однако для моделирования необходима постановка задачи и выбор оптимальных параметров.

Прежде чем осуществлять моделирование, необходимо создать в CAD-системе SOLIDWORKS твердотельную модель СВП. В качестве объекта исследования был выбран КВП «Торнадо» (см. рис. 1). Далее геометрия модели сохраняется в формате .stl и экспортируется в FLOWVISION при помощи инструмента «фильтр подвижного тела».

Для моделирования процесса создания воздушной подушки в препроцессоре FLOWVISION использована модель «Несжимаемая жидкость» с параметром «Стандартная $k-\varepsilon$ модель турбулентности».

Уравнения, описывающие установившееся распределение скорости, давления, а также турбулентной энергии и ее диссипации, в этом случае имеют вид [6]:

– уравнения Навье–Стокса (Рейнольдса) и неразрывности

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \nabla(\vec{V} \otimes \vec{V}) = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \frac{1}{\rho} \nabla \left((\mu + \mu_t) (\nabla \vec{V} + (\nabla \vec{V})^T) \right); \\ \nabla(\rho \vec{V}) = 0, \end{cases}$$

где t — время; F , V — векторы сил и относительной скорости; μ — динамическая вязкость воздуха;

μ_t — турбулентная динамическая вязкость; T — тангенциальная закрутка;

– уравнения турбулентности

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon};$$

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V} k) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon; \\ \frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V} \varepsilon) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 f_{1\rho} \frac{\varepsilon^2}{k}, \end{cases}$$

где k — турбулентная энергия; ε — скорость диссипации турбулентной энергии.

Обозначения:

$$G = D_{ij} \frac{\partial V_i}{\partial x_j};$$

$$D_{ij} = S_{ij} - \frac{2}{3} \left(\nabla \vec{V} + \frac{\rho k}{\mu_t} \right) \delta_{ij};$$

$$S_{ij} = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i}.$$

Параметры:

$\sigma_k = 1$; $\sigma_\varepsilon = 1,3$; $C_\mu = 0,09$; $C_1 = 1,44$; $C_2 = 1,92$.

При моделировании были приняты следующие допущения:

- 1) поверхность, находящаяся под СВП, — ровный недеформируемый экран;
- 2) гибкое ограждение — жесткое;
- 3) набегающий поток отсутствует;
- 4) вентилятор заменен активатором.

В препроцессоре были выполнены следующие действия:

- 1) созданы граничные условия: стенка, симметрия, свободный выход, вход;
- 2) геометрическим группам присвоены необходимые граничные условия;
- 3) создана начальная сетка $80 \times 28 \times 32$;
- 4) задан шаг по времени числом Куранта CFL=2.

Было проведено исследование двух конструктивных компоновок: приемного тракта воздухозаборника, имеющего резкий поворот воздуха (рис. 3,а); приемного тракта воздухозаборника, имеющего цилиндрическую поверхность (рис. 3,б).

При этом величина клиренса и параметры нагнетателя были одинаковы. При моделировании определялись оптимальные значения размеров сетки, степени адаптации и шага по времени.

Сопоставительный анализ полученных результатов показал (см. рис. 3):

1) местные потери в модели «а» больше, чем в модели «б», поскольку давление в воздушной подушке в варианте «а» меньше;

2) величина подъемной силы в модели «а» — 7400 Н; в модели «б» — 7700 Н. За счет уменьшения

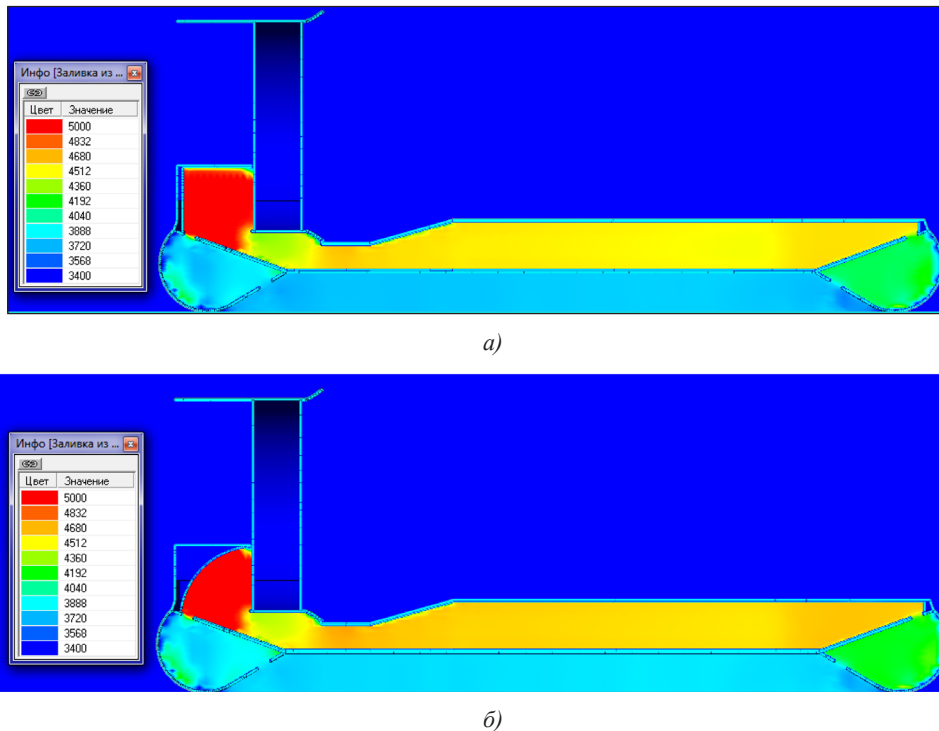


Рис. 3. Распределение давления в моделях компоновки

местных потерь только в воздухозаборнике подъемная сила при прочих равных условиях возрастает на 4%.

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали необходимость аэродинамического совершенствования воздушного тракта на основе статистических данных. 2. Минимизирова-

ние местных потерь давления возможно за счет установки дополнительных конструктивных элементов воздушного тракта, спрямляющих поток. 3. Оценка эффективности предложенного решения выполнена в программном комплексе FLOWVISION, что позволяет экономить значительные средства на проведение систематических физических экспериментов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бень, Ежи. Модели и любительские суда на воздушной подушке [Текст] / Ежи Бень. — Л. : Судостроение, 1983. — 128 с.
- [2] Демешко, Г. Ф. Ограждения воздушной подушки на судах и транспортных аппаратах [Текст] / Г. Ф. Демешко. — Л. : ЛКИ, 1982. — 107 с.
- [3] Демешко, Г. Ф. Проектирование судов. Амфибийные суда на воздушной подушке [Текст] / Г. Ф. Демешко: в 2 кн. — СПб. : Судостроение, 1992. — Кн. 2. — 329 с.
- [4] Демешко, Г. Ф. Устройство и оборудование судов на воздушной подушке [Текст] / Г. Ф. Демешко. — Л. : ЛКИ, 1980. — 82 с.
- [5] Колызаев, Б. А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания [Текст] / Б. А. Колызаев, А. И. Косоруков, В. А. Литвиненко. — Л. : Судостроение, 1980. — 472 с.
- [6] Wilcox, D. C. Turbulence modeling for CFD [Text] / D. C. Wilcox. — DCW Industries, Inc., 1994. — 460 p.

© А.О. Пунін

Надійшла до редколегії 06.12.2011

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. В. О. Некрасов

Статтю розміщено у Віснику НУК № 1, 2012