

УДК 629.035

А.С. Шаратов

*Керченский государственный морской технологический университет, Украина***СТРУЙНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДИНАМИКУ ГРЕБНОГО ВИНТА***

Описан механизм возникновения движущей силы гребного винта по вихревой теории, проанализированы методы моделирования гребного винта. Произведен анализ вихревых схем расчета, выбрана оптимальная вихревая модель, рассмотрены задачи вихревой модели гребного винта. Предложен способ струйного воздействия на динамику гребного винта, выбран и обоснован единый критерий оценки струйного воздействия. Произведена оценка струйного воздействия на динамику гребного винта при различных значениях критерия струйного воздействия. Приведены результаты экспериментального исследования модели в гидродинамической трубе.

Вихрь, винт, динамика, гидродинамическая труба, струя, критерий, модель, эксперимент

Введение

Развитие современного судостроения характеризуется достижением больших скоростей судов и подаваемыми к гребным винтам мощностями. При этом предъявляются жесткие требования к экономичности флота (затраты на топливо), уровню шумов и вибрации, создаваемых движителями, и их эксплуатационной надежности.

Экономическая эффективность эксплуатации морских судов напрямую зависит от эффективности работы их энергетических установок. Влияние различных параметров на КПД энергетических установок настолько значимо, что увеличение КПД движителя на 0,5% приводит к значительной экономии средств выделяемых на эксплуатацию судна. Все это в сочетании с реальными условиями работы гребных винтов в неравномерном попутном потоке корпуса обуславливает высокий уровень требований, предъявляемых к конструкции движителей

Возникает необходимость индивидуального расчета движителя для каждого судна в отдельности. Вопросы, связанные с проектированием гребных винтов под конкретное судно, сложности которые возникают при моделировании гребных винтов подробно описаны в трудах Кацмана Ф. М., Кудреватого Г. М., Басина А. М., Миновича И. Я. и др.

1. Моделирование гребного винта по вихревой теории

Гребной винт, элементы которого определены по диаграммам, полученным в результате испытаний в гидродинамических трубах и бассейнах, может обеспечить судну удовлетворительные пропульсивные качества.

* Работа выполнена под руководством к.т.н. доцента Осовского Д.И.

Поэтому после первого этапа расчетов переходят ко второму - производят проектировочный расчет гребного винта по вихревой теории (гидродинамический расчет) с одновременным удовлетворением требований обеспечения прочности и предотвращения режима кавитации.

Лопасть винта рассматривается как крыло, имеющее вполне определенное соотношение размеров — крыло конечного размаха. Подъемная сила на лопасти образуется благодаря циркуляции вокруг нее потока воды — несущего вихря. Этот несущий вихрь возникает вследствие разности давлений на нагнетающей и засасывающей сторонах лопасти. Учитывается и перетекание воды с нагнетающей стороны на засасывающую, которое неизбежно происходит у концов лопастей и у ступицы. Образование вихрей на гребном винте представлено на рис. 1

В современном судостроении винты главным образом рассчитывают по диаграммам, которые строятся на основе испытаний моделей винтов.

Существует несколько вихревых схем для расчета гидродинамики гребных винтов в прямом и косом потоке:

— вихревая теория несущей линии:

1. Винт НЕЖ с бесконечно большим числом лопастей;
2. Винт НЕЖ с конечным числом лопастей;
3. Винт с переменной вдоль радиуса циркулирующей.

— вихревая модель несущей поверхности (линейная теория, косой подковообразный вихрь);
— вихревая модель (нелинейная теория, вихревой жгут).

В зависимости от принятия того или иного допущения о порядке величин вызванных скоростей гребного винта различают теории:

- слабонагруженного гребного винта;
- средненагруженного гребного винта;
- тяжело нагруженного гребного винта.

Для изучения относительно широколопастных судовых гребных винтов необходимо привлечение вихревой модели и теории несущей поверхности. В этой модели каждая лопасть гребного винта заменяется системой присоединенных вихрей, имеющих переменную вдоль радиуса и хорды цилиндрических сечений интенсивность. В каждой точке присоединенных вихрей начинается полубесконечный винтовой свободный вихрь, имеющий интенсивность, равную изменению интенсивности присоединенного вихря.

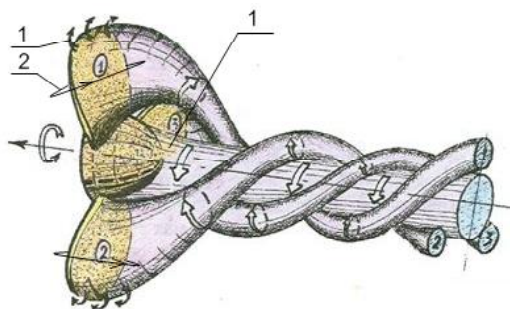


Рис. 1. Образование вихрей на гребном винте:
1 – свободные, или концевые, вихри, 2 – несущий вихрь (циркуляция вокруг лопасти)

Основными задачами вихревой теории гребного винта являются:

- 1) определение закона распределения вызванных скоростей по лопасти, соответствующего заданному закону распределения нагрузки;
- 2) определение сил и моментов, возникающих на гребном винте;
- 3) полное решение вопроса о винте с наименьшими индуктивными потерями;

2. Струйное воздействие на динамику гребного винта

В основе управления гидродинамическими характеристиками гребных винтов рассматриваются процессы, протекающие в пограничном слое. Для обеспечения возможности управления гидродинамическими характеристиками гребного винта необходимо обеспечить возможность управления пограничным слоем жидкости вблизи лопасти гребного винта.

Суть управления пограничным слоем заключается в обеспечении безотрывного обтекания лопастей гребного винта за счет увеличения энергии пограничного слоя.

Из различных способов управления пограничным слоем был выбран способ, основанный на

выливе через сопловой аппарат тонкой струи жидкости, вытекающей с большой скоростью вдоль поверхности лопастей гребного винта. Для определения места установки соплового аппарата рассматривается схема обтекания лопасти гребного винта при различных режимах работы. Выявлено, что наиболее вероятное появление отрыва потока соответствует району носка лопастей гребного винта (засасывающая кромка).

За счет вылива струй жидкости возможно создание дополнительного прироста подъемной силы. Суть способа состоит в образовании над поверхностью лопасти слоя частиц жидкости, движущихся вдоль лопасти за счет которой достигается ускорение обтекающей лопасть струи.

Эффективность выдува струй жидкости характеризуется безразмерным коэффициентом импульса выливаемой струи.

$$c_{\mu} = \frac{mV_c}{qS} \quad (1)$$

где V – скорость струи;

$$m = \frac{G_B}{g} \text{ – массовый расход жидкости в}$$

системе вылива;

$$q = \frac{\rho_{\infty} V_{\infty}^2}{2} \text{ – скоростной напор невозмущенного потока;}$$

$$S \text{ – площадь лопастей гребного винта.}$$

3. Критерий струйного взаимодействия

Приращение коэффициента подъемной силы при выливе струи в основном определяется двумя параметрами – величиной коэффициента импульса и давления выливаемой среды.

Кривые $\Delta c_y = f(c_{\mu})$ имеют характерный излом, за которым интенсивность приращения Δc_y резко уменьшается.

Точка излома определяет величину коэффициента импульса $c_{\mu A}$, при которой обеспечивается безотрывное обтекание профиля. Дальнейшее увеличение $\Delta c_y = f(c_{\mu})$ происходит за счет изменения циркуляции.

Представляет интерес определение величины коэффициента импульса, соответствующего собственно управлению пограничным слоем. В общем случае зависит не только коэффициента струи, но и от ширины щели, угла атаки α и соотношения скоростей.

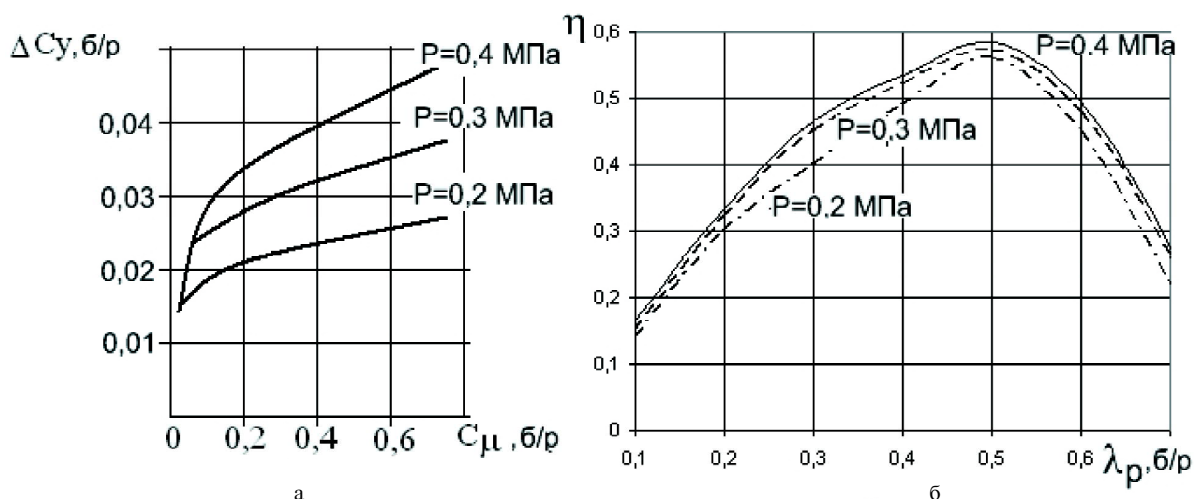


Рис. 2. Результаты струйного воздействия на динамику гребного винта:
 а - прирост подъемной силы в зависимости от коэффициента вылива струи и давления выливаемой среды;
 б - прирост КПД гребного винта в зависимости от давления выдуваемой среды (на основе экспериментальных данных)

Для приближенных расчетов можно воспользоваться следующей формулой:

$$c_{\mu A} \approx (1,5 - 2,0) \delta_3^2 \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

При этом более высокие значения $c_{\mu A}$ соответствуют большему значению относительной ширины щели s/b (s - ширина сопла, b - хорда лопастей гребного винта)

$$c_y = \frac{G}{Sq}; \quad c_{\mu} = \frac{mV_c}{qS} \quad (3)$$

откуда, величина импульса струи –

$$mV_c = G \frac{c_{\mu}}{c_y} \quad (4)$$

Связь между величиной импульса и параметрами жидкости, выливаемого через щель, при условии изотропического расширения определяется следующим соотношением:

$$mV_c = \frac{2\lambda}{\lambda - 1} RT_a \left(1 - \frac{p_{\infty}}{p_d} \right)^{\frac{\lambda - 1}{\lambda}} \gamma_v S_{щ} \quad (5)$$

где $\chi = \frac{c_p}{c_v}$ – отношение теплоемкостей (для жидкости 1,4);

R – газовая постоянная (29,27 м/К);

T_d – абсолютная температура жидкости в канале, подводящим воздух к соплу K ;

p_{∞} – давление среды в зоне вылива;
 p_a – полное давление жидкости в канале перед соплом;
 γ_v – удельный вес жидкости (1025 кг/м³);
 $S_{щ} = S \cdot l$ – площадь щели в м².

Выводы

1. Оборудование винта струйной механизацией позволяет повысить КПД движителя на 5–7%, а при полной механизации можно добиться больших результатов.

2. Доработка винта не требует больших затрат.

3. Практическая реализация струйного воздействия на динамику гребного винта подтверждена патентом на полезную модель № 46740 «Конструкция механизированного гребного винта».

Перечень ссылок

1. Кацман Ф.М. Теория судна и движители : учебник / Ф.М. Кацман, Д.В. Дорогостайский – Л.: Судостроение, 1979. – 280 с.

2. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник для вузов: в 2 кн. / Д.В. Штеренлихт. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 351 с.

3. Шостак В.П. Проектирование пропульсивной установки судов с прямой передачей мощности на винт: учебное пособие / В.П. Шостак, В.И. Гершаник, В.П. Кот, М.С. Бондаренко. – Николаев: УГМТУ, 2003 – 500 с.

4. Егоров Н.Г. Гидродинамика быстроходных судов / Н.Г. Егоров, В.Т. Соколов. – Л.: Судостроение, 1971. – 231 с.

5. Пат. 46740 Украина, В63Н 1/00. Конструкция механизированного гребного винта / Д.И. Осовский, А.С. Шаратов; заявитель и па-

тентообладатель КГМТУ. - № и 2009 03725; заявл. 16.04.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. №1

Поступила в редакцию 01.06.10 г.

O. S. Sharatov

JET INFLUENCE ON DYNAMICS ROWING SCREW

Описан механизм виникнення рушійної сили гребного гвинта по вихровій теорії, проаналізовані методи моделювання гребного гвинта. Зроблений аналіз вихрових схем розрахунку, вибрана оптимальна вихрова модель, розглянуті завдання вихрової моделі гребного гвинта. Запропонований спосіб струминної дії на динаміку гребного гвинта, вибраний і об'рунтований єдиний критерій оцінки струминної дії. Зроблена оцінка струминної дії на динаміку гребного гвинта при різних значеннях критерію струминної дії. Приведені результати експериментального дослідження моделі в гідродинамічній трубі.

Вихор, гвинт, динаміка, гідродинамічна труба, струмין, критерій, модель

The mechanism of occurrence of motive power of the rowing screw under the vortical theory, analyzed the methods of modeling of the rowing screw is described. The analysis of vortical schemes of calculation is made, the vortical model is chosen optimization, and problems of vortical model rowing the screw are considered. The way of jet influence on dynamics of the rowing screw is offered; the uniform criterion of an estimation of jet influence is chosen and proved. The estimation of jet influence on dynamics of the rowing screw is made at various values of criterion of jet influence. Results of an experimental research of model in a hydrodynamic pipe are resulted.

Awhirlwind, the screw, dynamics, a hydrodynamic pipe, a stream, criterion, model, experiment