

УДК 26.07.629:12.03

Исследование влияния течений на акватории верфи на работу комплекса "гребной винт – главный двигатель"

В.А. Амахин

Мурманская судовой верфь

Аннотация. В статье рассмотрено влияние течения на акватории верфи на момент на валу гребного винта судна, работающего на швартовном режиме. Предложен метод, обеспечивающий стабильную загрузку главных двигателей судов при воздействии течений на акватории верфи на швартовные режимы испытаний главной судовой энергетической установки.

Abstract. The paper considers influence of shipyard water area current on a moment on a shaft of the vessel rowing screw working in a mooring mode. The method providing stable loading of the vessel main engines influenced by shipyard water area currents on mooring tests of the main ship power plant has been proposed.

1. Введение

Многие судоремонтные и судостроительные предприятия (верфи) расположены на акваториях больших рек или в прибрежных районах открытых морей, непосредственно связанных с океанами. Производственный опыт показывает, что течения на акваториях верфей оказывают существенное влияние на режимы работы гребного винта судна и кинематически связанного с ним главного двигателя (ГД), работающих на швартовных режимах, в составе прямой или через редуктор передачи мощности на гребной винт. Примером может служить опыт эксплуатации портовых буксиров проекта 498 на акваториях судоремонтных предприятий, расположенных в южном колене Кольского залива. Буксиры проекта 498 оборудованы двухмашинной, двухвальной главной судовой энергетической установкой (ГСЭУ) с прямой передачей мощности на винт регулируемого шага (ВРШ). В отдельных случаях при постановке или выводе судов из доков воздействие течений на режимы работы гребных винтов, близкие к швартовным режимам, столь значительно, что буксир без груза не в состоянии сдвинуться с места против течения при одновременной работе главных двигателей на полную мощность. Такие явления наблюдаются при скоростях течений до 3.5 м/с. Объясняется это тем, что действие гребного винта (открытого или в насадке) при обтекании его равномерным потоком значительно изменяется по сравнению с режимом его работы в спокойной воде, где течения отсутствуют.

Однако влияние течений на акватории верфи на работу гребного винта и главного двигателя судна при проведении швартовных испытаний ГСЭУ, являющихся предварительными, не учитывалось, так как традиционный метод приемо-сдаточных испытаний ГСЭУ судна предусматривает проведение на заключительном этапе ходовых испытаний, являющихся основными.

В судостроительной и судоремонтной отраслях промышленности ежегодно выполняются работы на тысячах судов различного назначения. Большинство этих судов оснащено главными дизельными установками (ГДУ). На заключительном, наиболее важном и ответственном этапе постройки или ремонта судна производятся регулировочно-наладочные работы и испытания ГДУ, продолжительность которых достигает 10 % от общего цикла постройки или ремонта судна.

Одним из главных резервов сбережения трудовых и материальных ресурсов, повышения производительности труда на этапе сдаточных испытаний судна является сокращение продолжительности испытаний ГСЭУ на режимах спецификационных нагрузок на основе использования имитационных методов испытаний ГСЭУ в ходовых режимах на швартовах (без хода судна). Однако, в этом случае на приемо-сдаточную комиссию и Морской Регистр Судоходства Российской Федерации возлагается большая ответственность, так как они должны быть абсолютно уверены в достоверности имитационных испытаний ГСЭУ (без выхода судна на ходовые испытания в сопровождении обеспечивающего буксира-спасателя в специально отведенный, удаленный от морских портов и свободный от других судов район моря), по результатам которых судовладелец принимает судно в эксплуатацию, а Морской Регистр Судоходства РФ выдает судовладельцу соответствующие эксплуатационные документы на судно до следующего планового освидетельствования через 5 лет.

Современный уровень развития судостроительной и судоремонтной отраслей промышленности требовал разработки методологических основ имитационных испытаний ГДУ судов с ВРШ, обеспечивающих необходимую достоверность и безопасность их проведения, в том числе в условиях акваторий верфей со сложным гидрологическим режимом. Влияние внешних гидрологических условий

на акватории верфи на изменение швартовных режимов работы ВРШ и кинематически связанного с ним ГД судна необходимо учитывать отдельно от общего числа случайных факторов, влияющих на работу главных судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Отсутствие метода определения влияния совокупного комплекса течений на акватории верфи на швартовные режимы работы ВРШ не позволяло обоснованно изменять режимы его работы, чтобы обеспечить стабильную загрузку ГД на каждом из основных режимов испытаний ГДУ судна.

Задачей исследований, проведенных автором, являлось изучение влияния течений на изменение швартовных режимов работы комплекса "гребной винт – главный двигатель", работающих в составе прямой или через редуктор передачи мощности на гребной винт судна.

Были изучены теоретические работы и данные экспериментальных исследований в опытовых бассейнах ведущих исследователей проблемы определения влияния косога натекающего потока на изменение момента на гребном валу судна, таких как Басин А.М., Гофман А.Д. (1988), Миниович И.Я. (1946), Дубровин О.В., Жученко М.М., Русецкий А.А. (*Русецкий и др.*, 1971), Gutsche F., Muller E. и других.

Автором проведены исследования влияния течений в натуральных условиях на изменение швартовных режимов работы комплекса "гребной винт – главный двигатель", работающих в составе прямой или через редуктор передачи мощности на гребной винт судна, и разработана методика определения влияния течений на акватории верфи на швартовные режимы испытаний ГСЭУ.

2. Анализ гидрологического режима на акваториях верфей

Течения на акваториях верфей могут иметь сложный характер как во времени, так и по направлению. В поверхностном слое (от 0 до 5 м в глубину) максимальные скорости течений достигают 3.5 м/с. Примером здесь может служить акватория южного колена Кольского залива.

Суммарные течения на акваториях многих верфей обусловлены наличием полусуточных приливных и отливных течений, вызываемых приливообразующими силами Луны и Солнца, на которые накладываются ветровое и стабильное по направлению стоковое течение рек. Направление течений в различных районах акваторий зависит от очертаний берега, профиля дна и глубины.

Ветровые течения образуются сгонами и нагонами воды под действием ветра, усиливая или ослабляя приливо-отливные течения в зависимости от фазы прилива, а также направления, скорости и продолжительности действия ветра.

На приливо-отливные течения оказывает влияние изменение атмосферного давления, которое приводит к колебаниям уровня воды на замкнутых акваториях.

На основании вышеизложенного необходимо было исследовать изменения момента на валу Q гребного винта (открытого или в насадке), который в общем случае может обтекаться равномерным потоком воды (течением) со скоростью до 3.5 м/с.

3. Исследование влияния течения на акватории верфи на момент на валу гребного винта судна, работающего на швартовном режиме

В общем случае коэффициент момента гребного винта K_Q определяется по формуле (*Справочник...*, 1985):

$$K_Q = Q / (\rho D^5 n_B^2), \quad (1)$$

где Q – момент на валу, Нм, D – диаметр гребного винта, м, n_B – частота вращения гребного винта, об/мин., ρ – плотность воды, кг/м³.

Мощность, потребляемая для вращения гребного винта, определяется по формуле (*Справочник...*, 1985):

$$P_D = 2\pi Q n_B, \text{ кВт.} \quad (2)$$

Режим работы гребного винта при его осевом обтекании потоком, натекающем спереди, определяется величиной относительной поступи I по формуле (*Справочник*, 1985):

$$I = v_A / D n_B, \quad (3)$$

где v_A – скорость натекающего потока (течения), м/с.

Обычно полагают, что на швартовном режиме работы гребного винта $I = 0$, поскольку отсутствует перемещение гребного винта. Однако, при наличии течений на акватории, где происходят испытания ГСЭУ, поток воды натекает на гребной винт со скоростью v_A . Используя принцип относительности движения, можно считать, что гребной винт движется навстречу потоку с той же скоростью v_A . В этом случае $I \neq 0$.

При работе на швартовном режиме в общем случае гребной винт обтекается потоком (течением) под некоторым углом ψ .

Величина относительной поступи у различных элементов лопасти гребного винта, работающего в косом потоке, I_t различна и периодически изменяется во времени в течение оборота лопасти.

Момент на валу гребного винта, работающего в косом потоке, Q_ψ определяется по формуле (Басин, Миниович, 1963):

$$Q_\psi = \rho D^5 n_B^2 K_{Q_\psi}, \text{ Нм.} \quad (4)$$

Формула 4 дает значение Q_ψ с достаточной точностью для $\psi \leq 20^\circ$, где K_{Q_ψ} – коэффициент момента гребного винта, работающего в косом потоке.

Q_ψ изменяется вследствие нелинейного по углу ψ изменения квадрата скорости натекания потока (течения) и угла атаки сечений лопасти.

Были изучены данные экспериментальных исследований работы гребного винта в диапазоне углов натекания потока $0 \leq \psi \leq 30^\circ$, выполненных в опытовом бассейне Ф. Гутше (Gutsche, 1964), и гидродинамических характеристик серии открытых гребных винтов и с неподвижной по отношению к гребному винту насадкой в диапазоне $0 \leq \psi \leq 360^\circ$, выполненных в Дуйсбургском опытовом бассейне Е. Мюллером (Muller, 1981). Модельный эксперимент позволяет создать любые условия работы гребного винта и обеспечить высокую точность измерения параметров. Однако существенным недостатком модельного эксперимента является невозможность выдержать точное геометрическое подобие натуральных условий и влияние масштабного фактора.

Наиболее объективным источником информации являются натурные испытания гребного винта в реальных условиях работы комплекса "гребной винт – главный двигатель", поэтому были проведены натурные исследования влияния течений на изменение швартовных режимов работы комплекса "гребной винт – главный двигатель", работающих в составе прямой или через редуктор передачи мощности на гребной винт судна.

Анализ, произведенный в процессе сопоставления основных параметров гребных винтов судов с ВРШ (диаметра и частоты вращения гребных винтов) и скорости потока (течения), показал, что в случае данного исследования следует ограничиться диапазоном изменения $0 \leq I \leq 0.4$.

Натурные испытания гребных винтов судов были проведены у специально оборудованных мест (плавпричалов, пирсов) на акватории Кольского залива.

Изменение момента на валу гребного винта при работе в косом потоке зависит от шаговых P_n / D и дисковых A_E / A_0 отношений, относительной поступи I_t и ψ .

Исследования режимов работы гребного винта судна при обтекании равномерным потоком показывают, что режимы работы гребного винта (открытого или в насадке) значительно изменяются по сравнению с режимами работы в спокойной воде, где течения отсутствуют.

4. Разработка метода, обеспечивающего стабильную загрузку ГД судов при воздействии течений на акватории верфи на швартовные режимы испытаний ГСЭУ

Влияние течений на режимы работы гребного винта судна необходимо учитывать при проведении испытаний главных судовых энергетических установок (ГСЭУ) судов на швартовах.

Отклонения мощности главных двигателей на режимах испытаний ГСЭУ должны удовлетворять ГОСТ 21792-76 "Установки дизельные судовые. Правила приемки и методы приемосдаточных испытаний на судне". Особенно важно не перегрузить главный двигатель в процессе испытаний на режимах номинальной и максимальной мощности. При использовании имитационных методов испытаний ГСЭУ в ходовых режимах на швартовах допускается отклонение мощности на режимах номинальной и максимальной мощности до 5 %.

При наличии течений на акватории верфи важной задачей приемо-сдаточных испытаний ГДУ на швартовах является поддержание стабильной загрузки ГД на всех режимах испытаний из условия

$$\bar{T}_{ig} = \bar{Q} = 1 = \text{const}, \quad (5)$$

где \bar{T}_{ig} – относительный крутящий момент на валу отбора мощности.

Эффективная мощность P_e связана с моментом на валу отбора мощности двигателя T_{ig} соотношением

$$P_e = T_{ig} n_d / 159.2, \text{ кВт}, \quad (6)$$

где n_d – частота вращения двигателя.

Изменение момента на валу гребного винта (открытого или в насадке), расположенного под углом ψ к натекающему потоку (течению), определяется по следующей методике.

1) задается $P_n / D, A_E / A_0, n_B$, диаметр гребного винта D .

- 2) Задается v_A и ψ натекания потока на движитель.
- 3) Определяется I гребного винта.
- 4) По диаграммам $I - K_Q$ открытых или в насадке гребных винтов определяется коэффициент момента K_{Q0} при заданных значениях P_n / D , A_E / A_0 гребного винта и $I_0 = 0$, когда движитель судна работает на швартовном режиме в спокойной воде и $v_A = 0$. Например, на рис. 1 представлена диаграмма $I - K_Q$ гребного винта в насадке $A_E / A_0 = 0.571$ и $P_n / D = 0.836$.

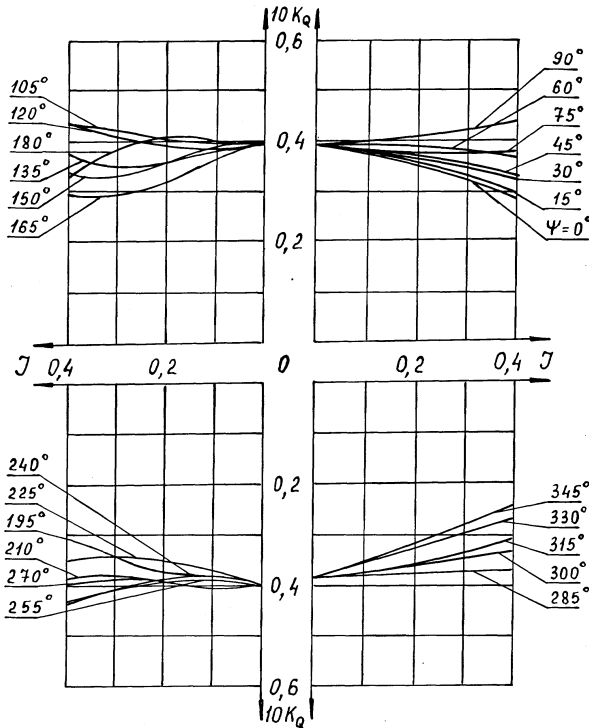


Рис. 1. Диаграмма $I - K_Q$ гребного винта в насадке $A_E / A_0 = 0.571$ и $P_n / D = 0.836$

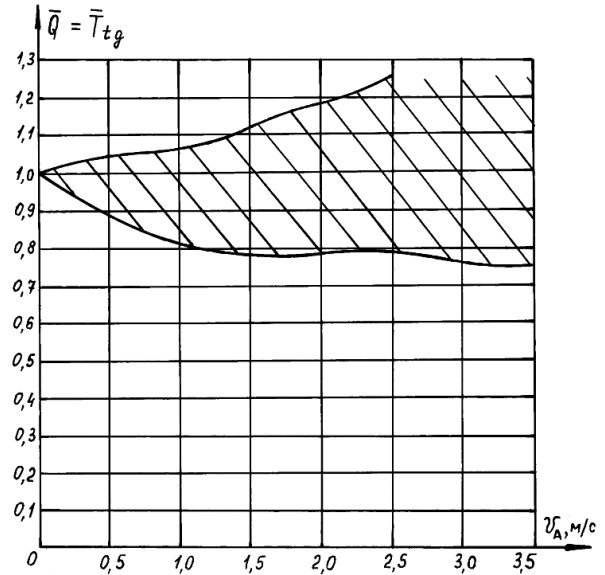
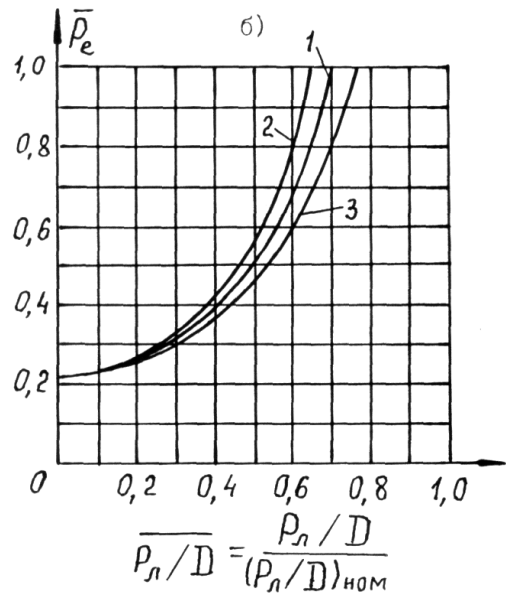
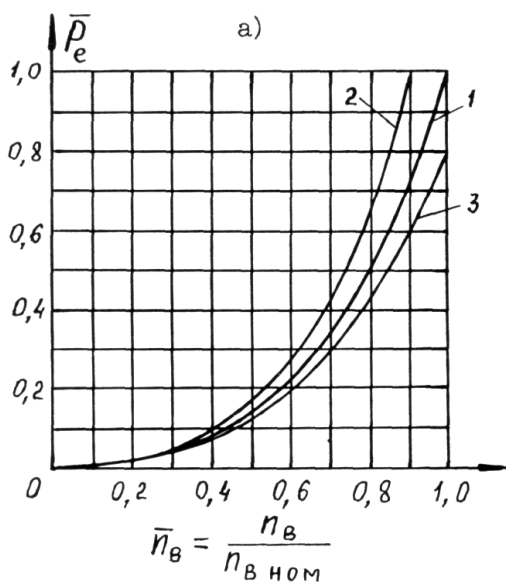


Рис. 2. Диапазон изменения относительного крутящего момента \bar{Q} на валу гребного винта СРГР типа "Баренцево море", при его обтекании (поток) течением под разными углами ($0 \leq \psi \leq 360^\circ$) и с разными скоростями ($0 \leq v_A \leq 0.4$ м/с)



Характеристики: 1 – нормальная при $\bar{Q} = 1$; 2 – "утяжелённая" при $\bar{Q} > 1$; 3 – "облегчённая" при $\bar{Q} < 1$.

Рис. 3. Поле характеристик ВРШ судна, работающего на швартовном режиме при $\bar{Q} = vario$, винтовые (а) и нагрузочные (б)

5) По той же диаграмме определяется K_Q по I .

6) Определяется относительное изменение момента на валу гребного винта по формуле:

$$\bar{Q} = K_Q / K_{Q0}. \quad (7)$$

Например, на рис. 2 представлен диапазон изменения \bar{Q} на валу гребного винта СРТР типа "Баренцево море", при его обтекании течением (поток) под разными углами ($0 \leq \psi \leq 360^\circ$) и с разными скоростями ($0 \leq v_A \leq 0.4$ м/с). При воздействии течений режимы работы ГД судна и гребного винта, связанного с ним механической передачей мощности, будут изменяться прямо пропорционально. Главный двигатель СРТР типа "Баренцево море" может быть перегружен на режиме номинальной мощности при скоростях течений более 0.5 м/с.

На всех режимах имитационных испытаний ГДУ судов, оснащённых ВРШ, ГД может работать при постоянной нагрузке, которую обеспечивает ВРШ, обладающий универсальной нагрузочной способностью. При испытаниях ГДУ на акватории, на которой течения отсутствуют, угол поворота лопастей ВРШ на режимах испытаний постояен $\alpha_n = \text{vario}$. На акватории со сложным гидрологическим режимом под воздействием течений изменяется момент сопротивления вращению гребного винта. Гребной винт либо гидродинамически "утяжеляется" ($\bar{Q} > 1$), либо "облегчается" ($\bar{Q} < 1$) по отношению к нормальной характеристике ($\bar{Q} = 1$) (рис. 3).

Для судов, оборудованных ВРШ, влияние течений на режимы работы ГД можно устранить путем корректировки α_n . Если $\bar{Q} > 1$, то α_n следует уменьшить, и наоборот, если $\bar{Q} < 1$, то α_n следует увеличить таким образом, чтобы выполнялось условие 5.

Для судов, оборудованных винтом фиксированного шага (ВФШ), влияние течений на режимы его работы можно частично устранить посредством изменения частоты вращения главного двигателя n_d . Если $\bar{Q} > 1$, то n_d следует уменьшить, и наоборот, если $\bar{Q} < 1$, то n_d следует увеличить таким образом, чтобы все теплотехнические параметры ГД, характеризующие его нагрузку на заданном режиме работы, поддерживались постоянными в пределах, близких установленному диапазону допустимых значений. Однако влияние течений на режимы работы гребного винта в случае с ВФШ полностью устранить нельзя, поэтому испытания ГСЭУ с ВФШ на швартовах целесообразно проводить в районах акваторий, защищенных от течений, используя естественные неровности береговой линии и экранирующий эффект различных гидротехнических сооружений (сплошных железобетонных пирсов, причалов).

Ослабить влияние течений на режимы работы гребного винта можно также путём изменения расположения корпуса судна относительно набегающего потока на гребной винт. Рациональное расположение корпуса судна в этом случае определяется гидрологическими условиями в данном районе акватории.

Метод позволяет при подготовке производства, например, выбрать место и рационально расположить на акватории специальный плавпричал, оборудованный мощной якорной системой, к которому швартуется судно, чтобы уменьшить влияние потока (течения) на швартовные режимы работы гребного винта судна.

5. Заключение

В результате анализа акваторий судоремонтных и судостроительных предприятий (верфей) установлено, что многие верфи расположены на больших реках или в прибрежных районах открытых морей. На этих акваториях сложились сложные гидрологические режимы. Течения на акваториях могут достигать скорости до 3.5 м/с, направление которых неустойчиво во времени. При проведении испытаний ГСЭУ на швартовах необходимо учитывать влияние течений на режимы работы гребных винтов судов. Действие гребного винта при обтекании его потоком (течением), как показывает опыт, изменяется по сравнению с режимом его работы в спокойной воде.

Установлено, что момент на валу гребного винта изменяется вследствие нелинейного по углу поворота лопасти, отсчитываемого от вертикального положения, изменения квадрата скорости натекания потока (течения) и угла атаки сечений лопасти. Изменение момента на валу гребного винта зависит от шагового и дискового отношений, относительной поступи гребного винта, скорости и угла натекания потока (течения) на движитель судна.

Анализ основных параметров гребных винтов с ВРШ и скоростей течений на акваториях верфей показал, что относительная поступь гребных винтов при работе на швартовных режимах может изменяться здесь в диапазоне от 0 до 0.4. Таким образом, общепринятое положение, что на швартовном режиме работы гребного винта величина относительной поступи равна 0, не соответствует, в ряде случаев, действительности.

Принцип относительности движения позволяет результаты исследований в опытовых бассейнах, выполненных применительно к гребным винтам, движущимся вместе с корпусом судна навстречу неподвижной массе воды, распространить на случай, когда поток (течение) движется с той же скоростью навстречу неподвижному гребному винту.

Установлено, что максимальное увеличение момента на валу гребного винта, которое может привести к максимальной перегрузке главного двигателя судна, происходит при углах натекания потока (течения) в диапазоне от 90° до 270° . В таком случае нет необходимости учитывать влияние корпуса на поток (течение), натекающий на гребной винт судна.

Разработан метод, обеспечивающий стабильную загрузку ГД судов при воздействии течений на акватории верфи на швартовные режимы испытаний ГСЭУ, одобренный Морским Регистром Судоходства РФ. Метод позволяет при наличии течений на акватории обосновывать изменение частоты вращения ВФШ и угла разворота лопастей ВРШ при задании нагрузки на главные судовые двигатели. Метод позволяет также рационально расположить корпус судна, выбрать наиболее подходящее место для проведения испытаний с целью уменьшения влияния течений на швартовные режимы испытаний ГСЭУ.

Литература

- Gutsche F.** Untersuchungen vom Schiffsschrauben in schräger Anströmung. *Schiffbauforschung*, № 3/4, S.97-122, 1964.
- Muller E.** Results of open water tests with ducted and non ducted propellers with angle of attack from 0 to 360° . *Polish Academy of Science, Proceeding of Symposium "Advance in propeller research and design"*. Gdansk, Paper № 12, 1981.
- Басин А.М., Миниович И.Я.** Теория и расчет гребных винтов. Л., Судпромгиз, 760 с., 1963.
- Гофман А.Д.** Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. Л., Судостроение, 360 с., 1988.
- Миниович И.Я.** Действие судового гребного винта в косом потоке. Л., Труды института ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, вып.14, 39 с., 1946.
- Русецкий А.А., Жученко М.М., Дубровин О.В.** Судовые движители. Л., Судостроение, 287 с., 1971. Справочник по теории корабля. В 3 т. Под ред. Войткунского Я.И. Л., Судостроение, т.1, 764 с., 1985.