

УДК 621.74:624.012  
EDN WTUWUF

## К РАСЧЕТУ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РУЛЕЙ ИЗМЕНЯЕМОГО ПРОФИЛЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

**А.П. Аносов**, д-р техн. наук, профессор, Дальневосточный федеральный университет, 690922 Россия, Приморский край, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: anosov49@mail.ru

**В.О. Бессонова**, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, 690922 Россия, Приморский край, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, e-mail: bessonchik99@gmail.com

Предложена методика приближенного определения необходимых для расчета прочности судового руля нагрузок, действующих на элементы составного руля изменяемого профиля, оборудованного, пользуясь авиационной терминологией, механизацией — предкрылком и закрылком. По литературным данным выполнен анализ влияния различных вариантов механизации на основные гидродинамические характеристики руля. Показано, что наиболее эффективным является трехзвенный руль, оборудованный предкрылком и закрылком. Методика предполагает расчет нагрузок на конструктивные элементы трехзвенного руля на основе результатов продувки руля, оборудованного только закрылком. Представлены формулы для определения сил и соответствующих им гидродинамических коэффициентов.

**Ключевые слова:** рули изменяемого профиля, гидродинамические силы, расчет прочности рулей.

**Для цитирования:** Аносов А.П. К расчету прочности элементов рулей изменяемого профиля. Определение расчетных нагрузок / А.П. Аносов, В.О. Бессонова // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2026. — Т. 56, № 1. — С. 171–178. — EDN WTUWUF.

## TO CALCULATE THE STRENGTH OF THE STEERING ELEMENTS OF A VARIABLE PROFILE. DETERMINATION OF DESIGN

**A.P. Anosov**, DSc, Professor, Far Eastern Federal University, 690922, Russia, Vladivostok, Russkii Island, Ajax Bay, 10, e-mail: anosov49@mail.ru

**V.O. Bessonova**, PhD student, Far Eastern Federal University, 690922, Russia, Vladivostok, Russkii Island, Ajax Bay, 10, e-mail: bessonchik99@gmail.com

A method is proposed for the approximate determination of the loads necessary to calculate the strength of a ship's rudder acting on the elements of a composite variable-profile rudder equipped, using aviation terminology, with a slat and flap. According to the literature data, the influence of various mechanization options on the main hydrodynamic characteristics of the steering wheel is analyzed. It is shown that a three-link steering wheel equipped with a slat and flap is the most effective. The technique involves calculating the loads on the structural elements of a three-link rudder based on the results of purging a rudder equipped only with a flap. Formulas for determining forces and their corresponding hydrodynamic coefficients are presented.

**Keywords:** variable profile rudders, hydrodynamic forces, calculation of rudder strength.

**For citation:** Anosov A.P., Bessonova V.O. To calculate the strength of the steering elements of a variable profile. Determination of design. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2026. Vol. 56, No. 1. P. 171–178. EDN WTUWUF. (In Russ.)

## ВВЕДЕНИЕ

Рули изменяемого профиля, то есть снабженные, пользуясь авиационной терминологией, «механизацией», а именно управляемыми закрылками, находят все более широкое применение благодаря их высокой эффективности. Закрылками могут быть снабжены не только рули, но и насадки. Некоторые из них, взятые из интернет-ресурсов, показаны на рис. 1.

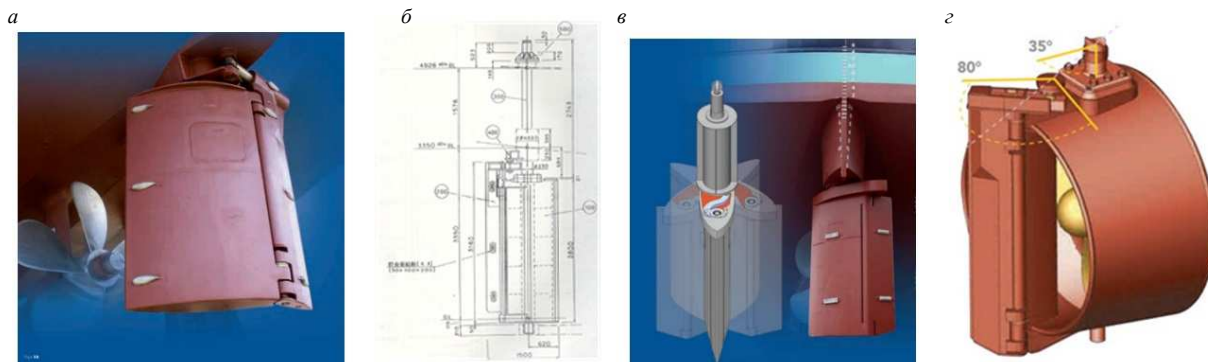


Рис. 1. Рули и насадка с управляемым закрылком:

а — руль Becker; б — руль японской раболовной шхуны; в — руль Heracles; г — поворотная насадка

Эти и другие рисунки, а также приводимые в ряде публикаций графики, касающиеся гидродинамических характеристик, носят чисто иллюстративный характер и не могут быть использованы при конструировании таких устройств. Таким образом, информации, пригодной к практическому использованию при проектировании судовых рулей изменяемого профиля, в доступных публикациях нет. Исключение составляют работы [1, 2], в которых в числе прочего рассматриваются бортовые рули с управляемыми закрылками, используемые в качестве успокоителей качки.

В то же время российская компания «Индеко Марин» по производству и поставке судового оборудования наладила производство рулей системы Becker для обеспечения судостроительных отраслей РФ и стран СНГ.

В Департаменте морской техники и транспорта Политехнического института ДВФУ в период 2014–2024 гг. разработано несколько конструкций рулей изменяемого профиля, защищенных патентами на изобретения и полезные модели, например [3–5], часть из которых, кроме отклоняемого закрылка, включает отклоняемый предкрылок (в авиационной терминологии «отклоняемый носок»), что дополнительно повышает эффективность руля.

В качестве устройств для осуществления синхронного поворота предкрылка и закрылка на углы, оптимальные при любом угле перекладки руля, используются, главным образом, различные конструктивные варианты зубчатых передач (рис. 2б) [4] и рычажных механизмов (рис. 2г) [5]. Во всех представленных вариантах конструкций рулей дополнительные, кроме рулевой машины, приводы поворота предкрылка и закрылка не требуются.

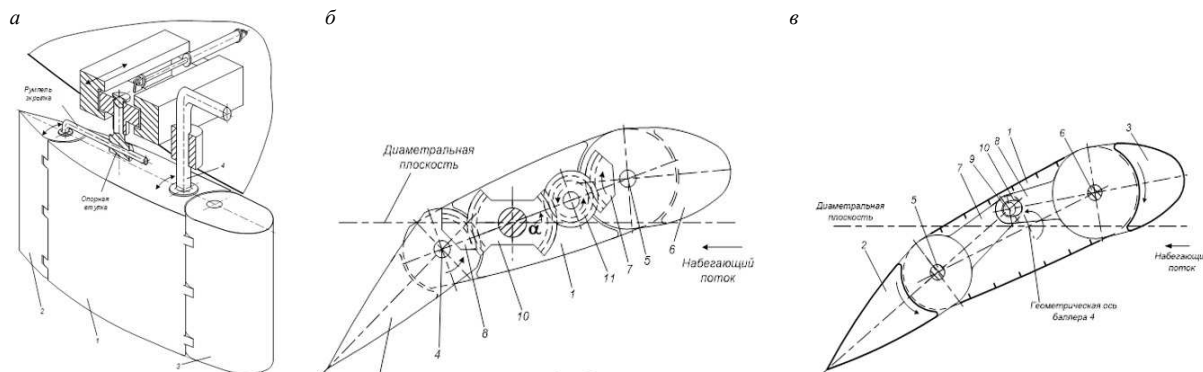


Рис. 2. Руль с предкрылком и закрылком: общий вид (а) [3]; зубчатый (б) [4] и рычажный (в) [5] приводы синхронного поворота предкрылка и закрылка

Из имеющихся публикаций следует упомянуть техническое решение для пера руля с закрылками, защищенное патентом на изобретение [6]. Вопросы проектирования рулевых устройств, выбора геометрических характеристик рулей и управляемости судов рассматриваются в многочисленных работах, например [7–9].

Рули изменяемого профиля судов ледового плавания и их конструктивная противоледовая защита рассмотрены в работах [10, 11].

Несколько новых конструктивных решений, касающихся механизма синхронного поворота элементов составного трехзвенного руля — основной части, предкрылка и закрылка, приведены в работе [12].

В правилах Российского морского регистра судоходства [13], в главе, посвященной рулевым устройствам, отсутствуют требования, регламентирующие конструкцию и прочность элементов рулей изменяемого профиля, при очевидной необходимости таких требований. Они должны стать дополнением к существующим правилам расчета рулей неизменяемой геометрии и включать требования по определению расчетных нагрузок, методику расчета элементов составного руля и приводных механизмов. Сложившаяся ситуация свидетельствует об актуальности исследований и технических разработок в области рулей изменяемого профиля.

Целью данной работы является рассмотрение некоторых аспектов определения расчетных нагрузок, действующих на конструктивные элементы составного руля изменяемого профиля.

## АЭРО- И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА РУЛИ И КРЫЛЬЯ ИЗМЕНЯЕМОГО ПРОФИЛЯ

Источником наиболее адекватных сведений об аэро- и гидродинамических характеристиках крыльев и рулей является физический эксперимент — продувка моделей или натурных объектов в аэродинамических трубах. Однако необходимым для подобных экспериментов дорогостоящим оборудованием обладают единицы научных центров. Альтернативным источником такого рода информации являются численные методы расчета [14].

Подавляющее большинство опубликованных результатов исследований в этой области относится к авиационным крыльям и рулям (например, [15]). Заметим, что основные коэффициенты, определяющие силовые характеристики крыльев и рулей, не зависят от обтекающей их среды, а связаны лишь с геометрическими параметрами профилей. Таким образом, гидродинамические коэффициенты судовых рулей могут быть получены по результатам их продувки в аэродинамических трубах. При этом существуют определенные ограничения. При высоких скоростях воздуха начинает сказываться его сжимаемость, то есть меняется плотность среды, и проявляются термодинамические эффекты. Результаты таких экспериментов неприменимы к судовым рулям. В свою очередь, в аэродинамических трубах нельзя оценить эффекты, возникающие при кавитации судовых рулей. Такие испытания проводятся в кавитационных трубах в жидкой среде.

На рис. 3 представлены графики, которые дают качественное представление об эффективности различных вариантов конфигурации крыльев, снабженных механизацией — закрылками и предкрылками.

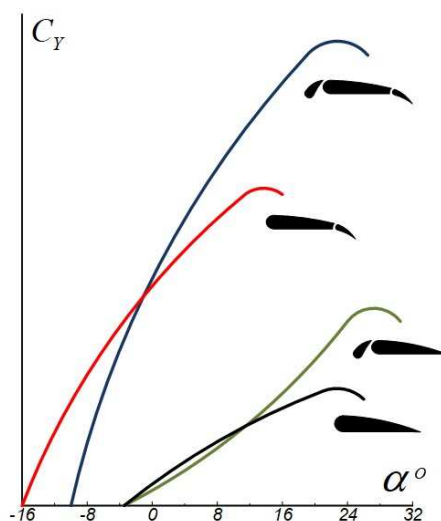


Рис. 3. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки при выпуске механизации крыла

Если расположить рули в последовательности, соответствующей возрастанию подъемной силы, то получится следующий ряд: крыло без механизации, крыло с предкрылком, крыло с закрылком, крыло с закрылком и предкрылком. При этом крыло только с предкрылком обладает наибольшим критическим углом атаки, а у крыла только с закрылком он наименьший. У крыла с полной механизацией (закрылок + предкрылок) критический угол атаки несколько меньше максимального. У крыла с полной механизацией коэффициент подъемной силы приблизительно в 1,5 раза больше, чем у крыла с закрылком, и в 2–3 раза больше, чем у немеханизированного крыла. Из сказанного следует, что наиболее эффективным является крыло, оборудованное предкрылком и закрылком. Точные данные по аэродинамическим коэффициентам, полученные в результате продувок, опубликованы в специальных атласах.

Для более точной количественной оценки влияния закрылков и предкрылков на аэродинамические характеристики крыла были использованы после соответствующей обработки результаты продувки моделей авиационных крыльев в ЦАГИ [15]. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведены аэродинамические коэффициенты для крыла с закрылком и предкрылком.

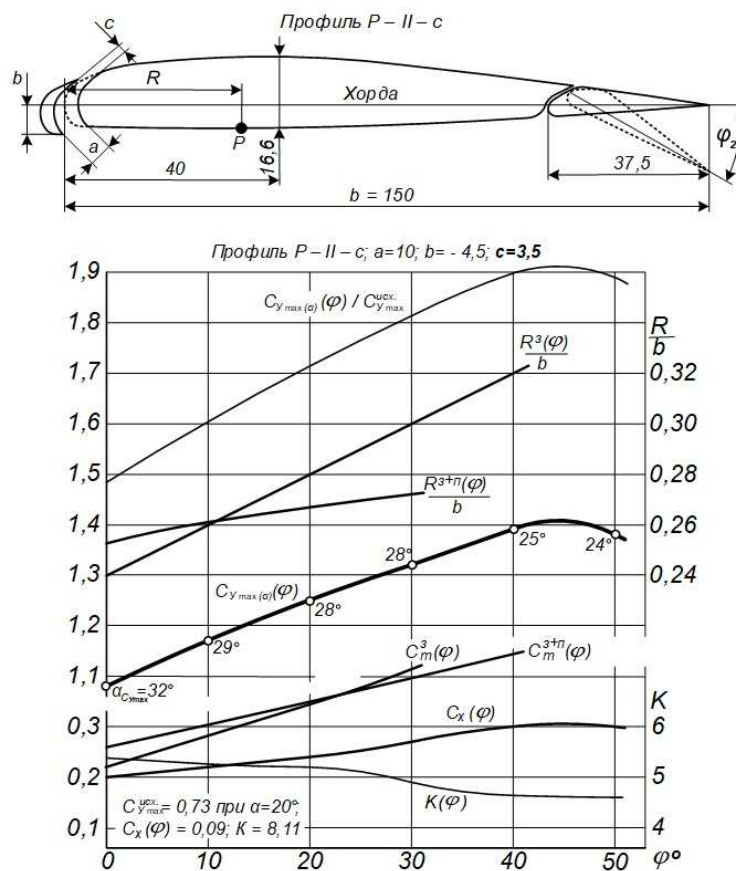


Рис. 4. Основные аэродинамические характеристики профиля Р-II-с с закрылком и предкрылком щелевого типа, соответствующие максимальным значениям  $C_{y_{max}}(\varphi)$  (критические углы атаки показаны в градусах), в зависимости от угла отклонения закрылка  $\varphi_2$  [15]

Для более точной количественной оценки влияния закрылков и предкрылков на аэродинамические характеристики крыла были после соответствующей обработки использованы результаты продувки моделей авиационных крыльев в ЦАГИ [15]. В качестве иллюстрации на рис. 4 приведены аэродинамические коэффициенты для крыла с закрылком и предкрылком.

Однако автоматически перенести результаты продувки авиационных крыльев на судовые рули нельзя по ряду причин.

1. Крылья, в отличие от рулей, имеют асимметричные относительно хорды профили.
2. У крыльев существенно большие, чем у рулей, удлинения.
3. Результаты продувки относятся к крыльям, оборудованным выдвижными щелевыми предкрылками, применение которых на судовых рулях представляется проблематичным.

Дело в том, что авиационное крыло и его механизация, а также крыльевая система судна на подводных крыльях должны создавать подъемную силу в одном направлении и поэтому предполагают наиболее эффективную для этого геометрическую асимметрию. А руль управления должен быть одинаково эффективен в обоих направлениях. Кроме того, трудно обеспечить прочность щелевого предкрылка и его привода, которыми оборудовано крыло самолета, в условиях, в которых работают судовые рули.

В связи с этим судовой руль следует оборудовать предкрылком поворотного типа («отклоняемый носок»), обладающим необходимой прочностью при столкновениях с плавающими посторонними предметами и льдом и имеющим надежное шарнирное соединение с основной частью руля и достаточно прочный механизм привода. Результаты продувки судовых рулей такого профиля нами не найдено.

В монографии [1], посвященной динамическим успокоителям качки — бортовым рулям, наряду с цельными рассматриваются рули с подвижными закрылками. Приведены результаты продувки таких рулей профиля *NACA-0021* при удлинениях, характерных для судовых рулей,  $\lambda = 1,2; 1,6; 2$ . Получены основные гидродинамические коэффициенты  $C_Y$ ,  $C_X$  и  $C_M$  не только для руля в целом, но и отдельно для закрылка. Коэффициент момента для закрылка определен относительно шарнира, соединяющего его с основной частью руля. На рис. 5 приведены зависимости основных аэродинамических характеристик от угла отклонения закрылка  $\varphi$  при максимальных значениях коэффициента подъемной силы, соответствующих критическим углам атаки  $\alpha$ , и трех различных удлинениях  $\lambda$ . Для сравнения представлены перечисленные зависимости для авиационного крыла профиля *P-II-a* по данным ЦАГИ [15].

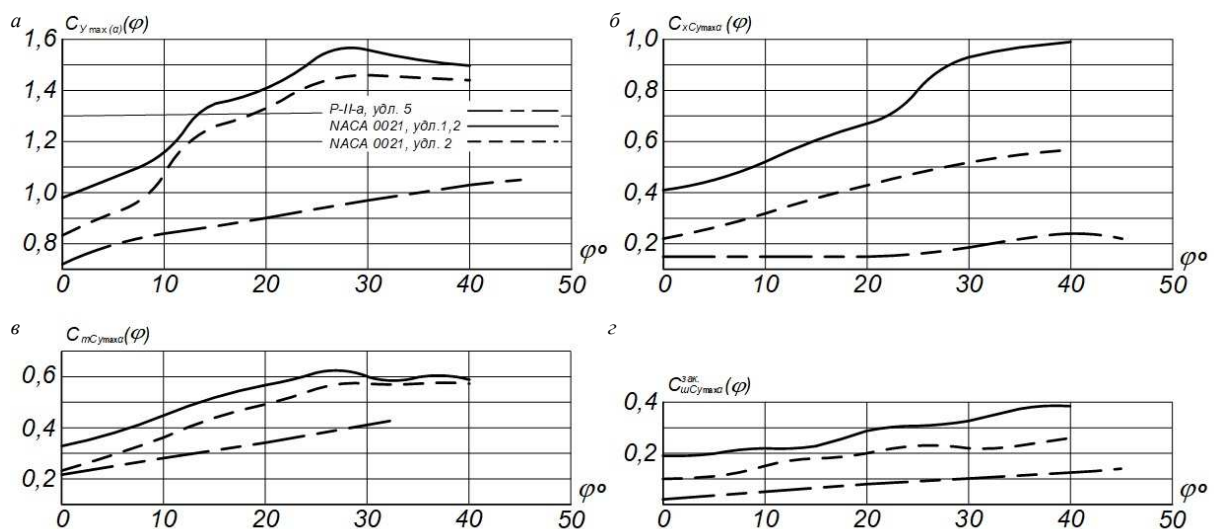


Рис. 5. Коэффициенты подъемной силы (а), лобового сопротивления (б) и момента (в) для руля в целом и коэффициент момента относительно шарнира (г) для закрылка [1, 15]

Для получения представленных зависимостей была выполнена дополнительная обработка экспериментальных данных в контексте данной работы. Конечной целью исследования является определение расчетных нагрузок, в качестве которых при расчетах прочности принимаются их максимальные значения, возникающие в процессе эксплуатации. Поскольку наибольшей из составляющих суммарной нагрузки  $P$  является подъемная сила  $P_Y$ , в качестве расчетного коэффициента подъемной силы принято его максимальное в зависимости от угла атаки руля и угла отклонения закрылка значение, а именно  $C_{Y\max} = f(\alpha_{кр}, \varphi_{кр})$ , и соответствующие значения коэффициентов  $C_X$  и  $C_M$ .

Например, для руля с закрылком рекомендуемой в литературе относительной шириной  $b_2/(b=0,25)$  и удлинием  $\lambda=2$  критический угол атаки составил  $\alpha_{кр} = 30^\circ$  при критическом угле отклонения закрылка  $\varphi_{кр} = 25^\circ$ .

## ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТЫ РУЛЯ С ЗАКРЫЛКОМ И ПРЕДКРЫЛКОМ ПОВОРОТНОГО ТИПА

Для расчета прочности руля в целом и связанных с ним механизмов необходимы, в конечном итоге, суммарная сила  $P$  и момент на баллере  $M$ , а также точка приложения силы  $P$  (центр давления), положение которой определяется ее удалением от передней кромки руля  $R$ . Эти параметры могут быть легко вычислены, если известны подъемная сила  $P_Y$ , лобовое сопротивление  $P_X$  и момент сил  $M$  относительно передней кромки руля, которые измеряют при продувке руля.

Для расчетов прочности подвижных элементов составного руля — закрылка и предкрылка, а также их приводов — необходимы суммарные гидродинамические силы  $P_i$  и гидродинамические моменты  $M_i$ , которые действуют на каждый из них в отдельности, и положение соответствующих центров давления. В отличие от руля в целом, моменты  $M_i$  определяются относительно шарниров, которые соединяют закрылок и предкрылок с основной частью руля.

В виду отсутствия экспериментальных данных по нагрузкам, действующим на поворотный предкрылок, применим используемый в [1, 2] приближенный, но достаточно точный для инженерных расчетов характер распределения суммарной для всего руля нормальной силы между его составными частями. В этой же работе приведен атлас результатов продувки судовых рулей профиля NACA 0021 с закрылком, которыми можно воспользоваться для решения поставленной задачи. Приняты следующие допущения.

1. По ширине каждого элемента составного руля давление воды распределено по закону треугольника, следовательно, центр давления расположен на расстоянии одной трети ширины элемента от его передней кромки (рис. 6, справа).

2. Сила трения мала, то есть тангенциальные силы пренебрежимо малы по сравнению с нормальными силами и потому в расчетах приняты равными нулю.

3. Руль при угле атаки  $\alpha$  и углах отклонения предкрылка  $\varphi_1$  и закрылка  $\varphi_2$ , соответствующих максимальной величине подъемной силы, рассматривается как сплошное крыло вогнутого профиля (рис. 6, слева).

Исходными данными являются измеряемые и вычисляемые по результатам продувки (приведены в Атласе для профиля NACA 0021 [1]):

$P_Y$  — подъемная сила всего руля;

$P_X$  — его лобовое сопротивление;

$M$  — гидродинамический момент;

$M_2$  — момент, действующий на закрылок относительно его шарнира;

по этим данным могут быть вычислены:

$P_N = \sqrt{P_Y^2 + P_X^2} \approx P$  — нормальная сила для всего руля, приблизительно равная суммарной силе  $P$ , действующей на руль;

$R = M/P_N = M/\sqrt{P_Y^2 + P_X^2}$  — положение центра давления по ширине профиля.

На рис. 6 приведены расчетная схема составного руля и распределение давления по ширине его элементов.

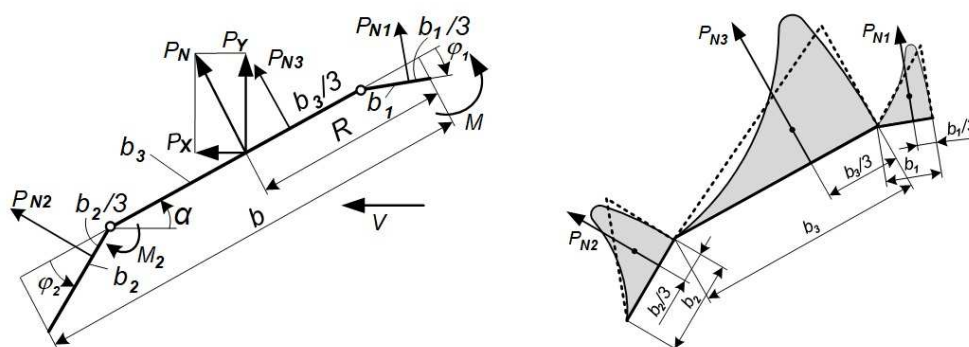


Рис. 6. Расчетная схема составного руля (слева) и распределение давления по ширине его элементов (справа)

Исходными данными являются:

1)  $P_N = \sqrt{P_Y^2 + P_X^2}$  — суммарная нормальная сила. В этой формуле  $P_Y$  — подъемная сила руля в целом,  $P_X$  — его лобовое сопротивление, определяемые при продувке;

2)  $M = P_N R$  — действующий на руль суммарный момент, измеряемый при продувке; здесь  $R$  — отстояние центра давления руля от его передней кромки;

3)  $M_2 = P_{N2} \cdot b_2/3$  — действующий на закрылок момент, измеряемый при продувке; здесь  $P_{N2}$  — действующая на закрылок нормальная сила,  $b_2$  — ширина закрылка.

Задача рассматривается в статической постановке. В соответствии с расчетной схемой (рис. 6, слева) уравнения равновесия имеют вид

$$\sum P_{Ni} = 0; P_{N1} \cos \varphi_1 + P_{N3} + P_{N2} \cos \varphi_2 = P_N, \quad (1)$$

$$\sum M_i = 0; P_{N1}(b_1/3) \cdot \cos^2 \varphi_1 + P_{N3}((b_3/3) + b_1 \cos \varphi_1) + P_{N2} \cos \varphi_2 (b_3 + b_1 \cos \varphi_1 + (b_2/3) \cos \varphi_2) = P_N R. \quad (2)$$

После подстановки заданных и предварительно вычисленных по результатам продувки величин получим систему двух алгебраических уравнений относительно неизвестных  $P_{N1}$  и  $P_{N3}$ . Решая систему уравнений, определим силы, действующие на предкрылок и основную часть руля соответственно,

$$P_{N1} = \frac{P_N((b_3/3) + b_1 \cos \varphi_1 - R) + P_{N2} \cos \varphi_2 ((2/3)b_3 + (b_2/3) \cos \varphi_2)}{\cos \varphi_1 (b_3/3 + (2/3)b_1 \cos \varphi_1)}, \quad (3)$$

$$P_{N3} = \frac{P_N(R - (b_1/3) \cos \varphi_1) - P_{N2} \cos \varphi_2 ((2/3)b_1 \cos \varphi_1 + b_3 + (b_2/3) \cos \varphi_2)}{b_3/3 + (2/3)b_1 \cos \varphi_1}. \quad (4)$$

Что касается силы  $P_{N2}$ , приложенной к закрылку, то, принимая во внимание, что измеренный момент для закрылка относительно его шарнира  $M_2 = P_{N2} b_2/3$ , можно записать  $P_{N2} = 3M_2/b_2$ . Тогда после подстановки этого выражения для  $P_{N2}$  в зависимости (3) и (4) они примут вид

$$P_{N1} = \frac{P_N(b_3/3 + b_1 \cos \varphi_1 - R) + (3M_2/b_2) \cos \varphi_2 ((2/3)b_3 + (b_2/3) \cos \varphi_2)}{\cos \varphi_1 (b_3/3 + (2/3)b_1 \cos \varphi_1)}, \quad (5)$$

$$P_{N3} = \frac{P_N(R - (b_1/3) \cos \varphi_1) - (3M_2/b_2) \cos \varphi_2 ((2/3)b_1 \cos \varphi_1 + b_3 + (b_2/3) \cos \varphi_2)}{b_3/3 + (2/3)b_1 \cos \varphi_1}. \quad (6)$$

Разделив выражения (5) и (6) на  $\rho V^2 l/2$  и учитывая, что  $C_{M2}(\rho V^2 S/2)b_2 = C_{N2}(\rho V^2 S/2)(b_2/3)$ , то есть  $C_{N2} = 3C_{M2}$ , получим формулы для определения соответствующих гидродинамических коэффициентов

$$C_{N1} = \frac{C_N(b_3/3 + b_1 \cos \varphi_1 - R)(b_1 \cos \varphi_1 + b_3 + b_2 \cos \varphi_2) + 3C_{M2}b_2 \cos \varphi_2 ((2/3)b_3 + (b_2/3) \cos \varphi_2)}{b_1 \cos \varphi_1 b_3/3 + (2/3)b_1 \cos \varphi_1}, \quad (7)$$

$$C_{N3} = \frac{C_N(R - (b_1/3) \cos \varphi_1)(b_1 \cos \varphi_1 + b_3 + b_2 \cos \varphi_2) - 3C_{M2}b_2 \cos \varphi_2 ((2/3)b_1 \cos \varphi_1 + b_3 + (b_2/3) \cos \varphi_2)}{b_3(b_3/3 + (2/3)b_1 \cos \varphi_1)}. \quad (8)$$

С учетом допущения 2 искомые расчетные суммарные силы, действующие на закрылок и предкрылок,  $P_i \approx P_{Ni}$ . При этом расчетные моменты в шарнирах с учетом допущения 1 определяются по формуле  $M_i \approx P_{Ni} b_i/3$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная методика приближенного определения расчетных нагрузок, действующих на конструктивные элементы составного руля, оборудованного предкрылком и закрылком, может служить основой раздела инженерной методики расчетного проектирования рулей изменяемого профиля. Оценка адекватности методики и, при необходимости, ее уточнение нуждаются в экспериментальной проверке полученных зависимостей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмырев А.Н. Успокоители качки судов / А.Н. Шмырев, В.А. Мореншильд, С.Г. Ильина. — Л.: Судпромгиз, 1961. — 516 с.
2. Чекризов Г.В. Справочник по успокоителям качки с бортовыми рулями / Г.В. Чекризов, М.С. Темкин, В.О. Воробьев. — Л.: Судостроение, 1979. — 255 с.
3. Патент на изобретение № 2721804. Судовое рулевое устройство: заявл. 13.11.2019, опубл. 22.05.2020, БИ № 15, / А.П. Аносов, Н.И. Восковчук, Д.В. Козырев; патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». — 12 с.
4. Патент на полезную модель № 153733. Судовое рулевое устройство: заявл. 22.01.2015, опубл. 27.07.2016, БИ № 21 / А.П. Аносов, О.С. Шаринкова, А.П. Герман; патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». — 7 с.
5. Патент на изобретение № 2592706. Судовое рулевое устройство: заявл. 09.07.2015, опубл. 27.07.2016, БИ № 21 / А.П. Аносов, О.С. Шаринкова, А.П. Герман; патентообладатель ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет». — 9 с.
6. Патент на изобретение № 2130856. Рулевое устройство судна: заявл. 17.03.1998, опубл. 27.05.1999 / А.А. Кеслер; патентообладатель А.А. Кеслер. — 6 с.
7. Плотников К.В. Выбор типа и геометрических характеристик судовых рулей: анализ современных проектных решений / К.В. Плотников, Д.С. Долгов // Морские интеллектуальные технологии. — 2023. — № 1, ч. 1(59). — С. 38–50.
8. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость / Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов и др. — Л.: Судостроение, 1973. — 512 с.
9. Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: справочник. — Л.: Судостроение, 1988. — 360 с.
10. Шаринкова О.С. Сравнительная оценка гидродинамических характеристик руля изменяемого профиля в составе винторулевого комплекса судна ледового класса / О.С. Шаринкова, А.П. Аносов, И.А. Новосельцев // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2022. — № 66/67. — С. 49–57. — EDN GELNOD.
11. Шаринкова О.С. Противоледовая конструктивная защита винторулевого комплекса судов ледового плавания: дисс. ... канд. техн. наук / О.С. Шаринкова; ДВФУ. — Владивосток, 2022.
12. Бессонова В.О. Новые конструкции рулей изменяемого профиля и техническое решение, повышающее их эффективность / В.О. Бессонова, А.П. Аносов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 80. — С. 50–63. — EDN CREIVW.
13. Правила классификации и постройки морских судов. Часть III. Устройства, оборудование и снабжение. Глава 2. Рулевое устройство / Российский морской регистр судоходства. СПб., 2025.
14. Румянцев А.Г. Расчетно-экспериментальное исследование обтекания механизированных профилей / А.Г. Румянцев, В.А. Силантьев // Теплофизика и аэромеханика. — 2010. — Т. 17, № 2. — С. 291–306.
15. Красильщиков П.П. Влияние длины закрылка и предкрылка на работу разрезного крыла / П.П. Красильщиков. — М.; Л.: Гос. авиационное и автотракторное изд-во, 1932. — 57 с. — (Труды ЦАГИ. Вып. 133.)

## REFERENCES

1. Shmyrev A.N., Morenschild V.A., Ilyina S.G. Uspokoiteli kachki sudov [Calming agents for pitching ships]. Leningrad: Sudpromgiz, 1961. 516 p.
2. Chekrisov G.V., Temkin M.S., Vorobyev V.O. Spravochnik po uspokoitelyam kachki s bortovymi rulyami [Handbook of pitching dampers with side rudders]. Leningrad: Sudostroenie, 1979. 255 p.
3. Patent for invention No. 2721804. Ship steering gear: appl. 13.11.2019, publ. on 22.05.2020, bul. No. 15 / A.P. Anosov, N.I. Voskovchuk, D.V. Kozыrev; patentee Far Eastern Federal University. 12 p.
4. Patent for a utility model No. 153733. Ship steering device: appl. 22.01.2015, publ. on 27.07.2016, bul. No. 21 / A.P. Anosov, O.S. Sharinkova, A.P. German; patentee Far Eastern Federal University. 7 p.
5. Patent for invention No. 2592706. Ship steering gear: appl. 09.07.2015, publ. on 27.07.2016, bul. No. 21 / A.P. Anosov, O.S. Sharinkova, A.P. German; patentee Far Eastern Federal University. 9 p.
6. Patent for invention No. 2130856. Steering device of the vessel: appl. 17.03.1998, publ. on 27.05.1999 / A.A. Kesler; patentee A.A. Kesler. 6 p.
7. Plotnikov K.V., Dolgov D.S. The type and geometry of ship rudders choosing: the analysis of current designs. *Marine Intellectual Technologies*. 2023. No. 1, part 1(59). P. 38–50. (In Russ.)
8. Spravochnik po teorii korablya. Sudovye dvizhiteli i upravlyаемost' [Handbook of ship theory. Ship propulsion and controllability] / Ya.I. Voitkunsky, R.Ya. Pershits, I.A. Titov et al. Leningrad: Sudostroenie, 1973. 512 p.
9. Hoffman A.D. Dvizhitel'no-rulevoi kompleks i manevrirovaniye sudna [Propulsion and steering system and ship maneuvering: handbook]. Leningrad: Sudostroenie, 1988. 360 p.
10. Sharinkova O.S., Anosov A.P., Novoseltsev I.A. Comparative evaluation of hydrodynamic characteristics of variable profile rudder as a part of ice class ship propulsion complex. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2022. No.66/67. P. 49–57. (In Russ.)
11. Sharinkova O.S. Protivoleodovaya konstruktivnaya zashchita vintorulevogo kompleksa sudov ledovogo plavaniya [Anti-ice structural protection of the rotorcraft complex of ships ice swimming: PhD thesis] / Far Eastern Federal University. Vladivostok, 2022.
12. Bessonova V.O., Anosov A.P. The new construction of the variable profile rudders and a technical solution for increasing efficiency. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 80. P. 50–63. (In Russ.)
13. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part III. Equipment, arrangement and outfit. Chapter 2. Rudder and steering gear / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2025.
14. Rumyantsev A.G., Silantsev V.A. Raschetno-eksperimental'noe issledovanie obtekaniya mekhanizirovannykh profilei [Computational and experimental study of the flow of mechanized profiles]. *Teplofizika i aeromekhanika [Thermophysics and Aeromechanics]*. 2010. Vol. 17, No. 2. P. 291–306.
15. Krasilshchikov P.P. Vliyaniye dliny zakrylka i predkrylka na rabotu razreznogo kryla [The influence of the length of the flap and slat on the operation of the split wing]. Moscow; Leningrad: State Aviation and Automotive Publishing House, 1932. 57 p. (Transactions of the Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI). Issue 133.)

Статья поступила в редакцию 01.12.2025.

Принята к публикации 16.02.2026.