Научная статья
УДК 533.68:624.042.41

К РАСЧЕТУ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ МАСКИРОВОЧНЫХ, ОГРАЖДАЮЩИХ И ЗАЩИТНЫХ СЕТОК ИЗ ПОЛИАМИДА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ОБТЕКАНИИ

Е.Д. Проскурнин[1,*]

[1] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[*] E-mail: proskurnin@inbox.ru

Аннотация. Свод правил предписывает в проектных расчетах ветровой нагрузки использовать приближенную методику для определения коэффициента аэродинамического сопротивления (КАС) плоских сеток. Анализ такой методики для поперечного обтекания различных сеток выполнен в статье. Сплошность выпускаемых сеток не превышает 0,26. Что позволяет рассчитывать сплошность по приближенной формуле с погрешностью не более 7%. Диапазон критических чисел Рейнольдса, соответствующих переходу к квадратичной области сопротивления, позволяет определять значения КАС исследованных сеток только по сплошности сетки. Но приближенная формула расчета КАС, предписываемая сводом правил, дает погрешность более 30% для сеток с малой сплошностью.

Ключевые слова: *сетки из полиамида; ветровая нагрузка; коэффициент аэродинамического сопротивления; сплошность сетки; числа Рейнольдса.*

Для цитирования: Проскурнин Е.Д. К расчету ветровой нагрузки маскировочных, ограждающих и защитных сеток из полиамида при поперечном обтекании // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2026. Т.12. № 3. С. 60–70.

Original article

TO CALCULATE THE WIND LOAD OF MASKING, SHIELDING AND PROTECTIVE NETS MADE OF POLYAMIDE DURING TRANSVERSE FLOW

E.D. Proskurnin[1,*]

[1] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[*] E-mail: proskurnin@inbox.ru

Abstract. The article substantiates the need to take into account the decrease in water velocity near the bottom when calculating the hydrodynamic resistance forces acting on the bottom seine. The boundary value problem is solved numerically in the Mathcad environment. It is shown that large hydrodynamic resistance forces act on the upper part of the bottom seine, since it is located in the region of increased water velocities. Therefore, local attack angles decrease with a decrease in the Chezy number (increase in the roughness of the watercourse bed). The normal hydrodynamic resistance forces acting on the lower part of the bottom seine decrease. A maximum appears in the dependence of the tangential hydrodynamic resistance forces.

Key words: *polyamide nets; wind load; aerodynamic drag coefficient; mesh continuity; Reynolds numbers.*

For citation*:* Proskurnin E.D. To calculate the wind load of masking, shielding and protective nets made of polyamide during transverse flow. *Journal of Science and Education of*

© Проскурнин Е.Д. 2026

North-West Russia. 2026. V.12, No. 3, pp. 60–70.

Введение

Определение ветровой нагрузки сетчатых и решетчатых конструкций необходимо для проектных расчетов. Опубликовано большое количество результатов исследования аэродинамических сил, действующих на такие конструкции. Большая часть теоретических исследований выполнена с помощью решения численными методами системы уравнений Навье-Стокса (см. [1-4] и библиографию в них). Расчет поля давления при обтекании исследуемого объекта позволяет найти силы аэродинамического сопротивления. Однако, кроме большого объема вычислений, указанные методы требуют задания граничных условий для энергии турбулентных пульсаций и интенсивности их диссипации (или другой подобной характеристики). Что сопряжено с большими трудностями и может заметно исказить количественные результаты.

В инженерной практике нормативными документами, в частности, сводом правил[1] рекомендуется использовать формулы, следующие из полуэмпирических моделей. В [5] показано, что методика определения ветровой нагрузки на решетчатые конструкции ориентирована, главным образом, на использование упрощенных расчетных схем. Она требует доработки и уточнения для более сложных случаев. В трудах А.Л. Фридмана с соавторами [2],[3] была предложена формула, используемая до сих пор:

$$F_x = 0{,}5 \cdot C_{x1} \cdot \rho \cdot S_H \cdot V^2, \quad S_H = S \cdot \varphi, \tag{1}$$

где F_x – сила сопротивления плоской сетки (ПС) при поперечном обтекании, Н; ρ – плотность среды, кг/м^3; S_H – общая площадь нитей ПС в плане, м^2; S – площадь сетки в плане, м^2; C_{x1} – безразмерный коэффициент аэродинамического (гидродинамического) сопротивления (КАС); V – скорость набегающего потока, м/с.

Важным параметром сеток является их сплошность $\varphi = S_H/S$. При равных коэффициентах посадки $u_x = u_y = 0{,}707$ сплошность рассчитывается по известной формуле [6]:

$$\varphi = 2\delta - \delta^2, \ \delta = d/a, \tag{2}$$

где d – диаметр нити, мм; a – шаг ячеи, мм.

В [6] было подчеркнуто, что в формуле (1) в качестве характерной площади целесообразно использовать не S_H, а площадь сетки в плане S, как это принято в классической гидроаэромеханике. Тогда формула (1) может быть преобразована так:

$$F_x = 0{,}5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2, \quad C_x = C_{x1} \cdot \varphi. \tag{3}$$

В Калининградском государственном техническом университете (КГТУ) был выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований. Была разработана полуэмпирическая модель гидродинамического сопротивления сетных полотен при обтекании в поперечном [7, 8] и продольном [9, 10] направлении. Исследования показали, что КАС при поперечном обтекании зависит от многих факторов, но главными являются φ и число Рейнольдса: $Re_d = V \cdot d/\nu$, где ν – кинематическая вязкость набегающего потока, м^2/с.

[1] СП 20.13330.2016 Свод правил Нагрузки и воздействия Издание официальное. Москва: Стандартинформ, 2018. 95 с.

[2] Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства: учебник. Москва: Пищевая промышленность, 1969. 568 с.

[3] Фридман А.Л., Розенштейн М.М., Лукашов В.Н. Проектирование и испытание тралов: монография. Москва: Пищевая промышленность, 1973. 263 с.

Корреляционный и регрессионный анализ [11, 12] результатов испытаний и опубликованных исследований других авторов позволил установить форму зависимости $C_{x1} = f(\varphi, \mathrm{Re_d})$.

В [13] коэффициенты полуэмпирической модели $f(\varphi, \mathrm{Re_d})$ были скорректированы, чтобы полученные функции не имели разрывов. В [14-16] было показано, что $f(\varphi, \mathrm{Re_d})$ можно использовать для расчета сил аэродинамического сопротивления сеток при соответствующем учете плотности и кинематической вязкости среды.

В соответствии с нормативным документом[1] величина силы, действующей на сетку при поперечном обтекании, является базовой для расчета ветровой нагрузки. Цель данной статьи – выполнить анализ приближенной инженерной методики расчета[1] такой силы

Материалы и методы

Запишем формулы [7, 8, 13] в зависимости от k-го диапазона $\mathrm{Re_d}$ с учетом того, что характерной площадью является S (формулы справедливы при $0{,}045 \le \varphi \le 0{,}55$):

$$C_x = \Psi_k(\mathrm{Re_d}, \delta) = \varphi \cdot f_k(\mathrm{Re_d}, \delta), \quad k = 1, 2, 3, 4; \tag{4}$$

$$\Psi_1(\mathrm{Re_d}, \delta) = 60\,\varphi^2(\delta) / [\mathrm{Re_d} \cdot (1 - \varphi(\delta))] \quad \text{при } \mathrm{Re_d} \le \mathrm{Re_1}; \tag{5}$$

$$\Psi_2(\mathrm{Re_d}, \delta) = 19{,}4 \cdot \varphi(\delta) \cdot [2\,\varphi(\delta) / \mathrm{Re_d}]^{0{,}36} \quad \text{при } \mathrm{Re_1} < \mathrm{Re_d} < 373\,\varphi(\delta); \tag{6}$$

$$\Psi_3(\mathrm{Re_d}, \delta) = 9{,}33 \cdot \varphi(\delta) \cdot [2\,\varphi(\delta) / \mathrm{Re_d}]^{0{,}22} \quad \text{при } 373\,\varphi(\delta) < \mathrm{Re_d} < \mathrm{Re_2}; \tag{7}$$

$$\Psi_4(\mathrm{Re_d}, \delta) = \varphi(\delta) \cdot [1{,}41 + 1{,}70\,\varphi(\delta)] \quad \text{при } \mathrm{Re_d} \ge \mathrm{Re_2}. \tag{8}$$

Критическое число $\mathrm{Re_1}$ соответствующее переходу от линейной области аэродинамического сопротивления ПС к промежуточной области сопротивления, рассчитывается, как в [13], по формуле:

$$\mathrm{Re_1} = 3{,}95 \cdot \varphi(\delta) / [1 - \varphi(\delta)]^{1{,}56}. \tag{9}$$

Критическое число $\mathrm{Re_2}$, соответствующее переходу от промежуточной области аэродинамического сопротивления сетки к квадратичной области сопротивления:

$$\mathrm{Re_2} = 2 \cdot \varphi(\delta) \cdot [9{,}33 / (1{,}41 + 1{,}70\,\varphi(\delta))]^{4{,}545}. \tag{10}$$

В трудах [1], [2] допускается расчет сплошности при указанных коэффициентах посадки по приближенной формуле $\varphi_z \approx 2\delta$. Рассчитаем относительную погрешность такой замены:

$$\varepsilon = 100 \cdot (\varphi_1 - \varphi)/\varphi = 100 \cdot \delta / (2 - \delta). \tag{11}$$

Для расчета по формуле (3) необходимо задаться значением скорости ветра V. По своду правил[1] нормируемой величиной является динамическое давление ветра $p = 0{,}5\rho V^2$. Откуда величину скорости можно найти по формуле:

$$V = (2p/\rho)^{0{,}5} = (2p \cdot R \cdot T / (p_A \cdot M))^{0{,}5}, \tag{12}$$

где $R = 8{,}314$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная; T – термодинамическая температура, К; M – молярная масса воздуха, кг/моль; p_A – атмосферное давление, Па.

Расчеты выполним для условий города Калининграда, где p = 300 Па[1]. В своде правил[4] для Калининграда указаны температуры с обеспеченностью 0,98: t_1 = -24°С, t_2=+25°С, наименьшая холодного периода и наибольшая – теплого, соответственно. Для этих температур найдем динамическую вязкость воздуха по известной формуле Сазерленда:

$$\mu = \mu_0 \cdot (T/T_0)^{1,5} \cdot (T_0 + C)/(T + C)^{0,5}, \quad (13)$$

где μ – динамическая вязкость воздуха при температуре T, Па·с; μ_0 – динамическая вязкость воздуха при температуре T_0 = 273 К, Па·с; C = 120 К – постоянная Сазерленда для воздуха.

Большое количество российских и зарубежных компаний производят маскировочные, заградительные и защитные сетки из синтетических материалов. В данной статье воспользуемся параметрами сеток из полиамида компаний [5], [6], [7], показанными в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры сеток из полиамида разных производителей

№ п/п	d, мм	a, мм	δ	φ	Назначение сетки	Источник
1	2	3	4	5	6	7
1	2,0	50	0,040	0,078	заградительная	[5]
2	3,0	50	0,060	0,116		
3	4,0	50	0,080	0,154	защитная	
4	3,0	25	0,120	0,226		
5	1,4	50	0,028	0,055	маскировочная	[6]
6	1,8	50	0,036	0,071		
7	2,2	20	0,110	0,208	заградительная	
8	2,2	40	0,055	0,107		
9	2,2	100	0,022	0,044		
10	2,6	20	0,130	0,243		
11	2,6	40	0,065	0,126		
12	2,6	100	0,026	0,051		
13	2,8	20	0,140	0,260		
14	2,8	40	0,070	0,135		
15	2,8	100	0,028	0,055		
16	3,0	40	0,075	0,144	защитная	
17	3,0	100	0,030	0,059		
18	3,5	40	0,0875	0,167		
19	3,5	100	0,035	0,069		
20	4,0	40	0,100	0,190		
21	4,0	100	0,040	0,078		
22	5,0	40	0,125	0,234		
23	5,0	100	0,050	0,098		
24	6,0	100	0,060	0,116		

[4] Свод правил СП131.13330.2025 Строительная климатология. Издание официальное. Москва: Минстрой России, 2025. 238 с.

[5] We Neting Co. Wind load barrier nets [Electronic resource]. URL: https://wenetting.com/wind-load-barrier-nets-guide/ (date of request: 05.05.2026).

[6] Компания «СпортСетка». Маскировочные, заградительные, защитные сетки [Электронный ресурс]. URL: https://sport-setka.ru/catalog/ (дата обращения: 12.05.2026).

[7] ООО «НПФ «Инновация». Полиамидная антидроновая сетка сетки [Электронный ресурс]. URL: https://npf-innovations.ru/blogs/antidrone-grid-article/ (дата обращения: 19.05.2026).

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
25	4,0	40	0,100	0,190	защитная	[7]
26	5,0	40	0,125	0,234		
27	4,0	65	0,0615	0,119		
28	5,0	65	0,0769	0,148		
29	6,0	65	0,0923	0,176		
30	4,0	100	0,040	0,078		

Результаты и обсуждение

Зависимость сплошности от величины δ и относительная погрешность приближенного расчета показана на рис. 1. Если задать обычную в инженерных расчетах погрешность ε =7 %, то пользоваться приближенной формулой можно при $\delta \le 0{,}13$. Почти у всех сеток из табл. 1 это условие выполнено, только у сетки № 13 $\delta = 0{,}14$. Однако встречаются защитные сетки с большей сплошностью, например, при $\delta = 0{,}33$ величина относительной погрешности достигает 20%. Что недопустимо в инженерных расчетах.

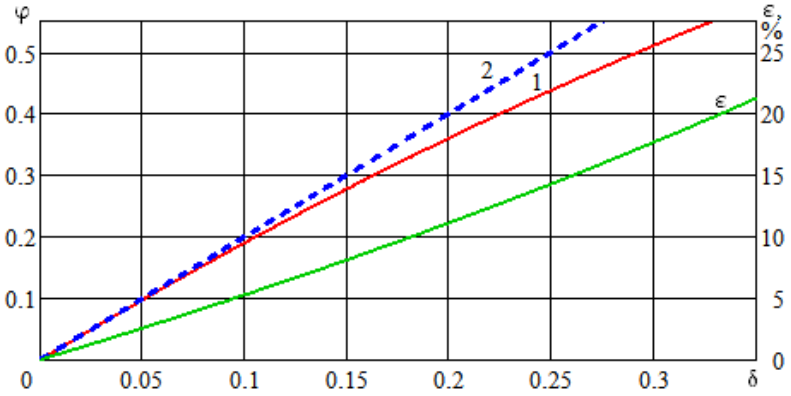


Рисунок 1 – Зависимость сплошности от величины δ: 1 – по формуле (2), 2 – без второго члена в (1), ε – относительная погрешность

На рис. 2 и 3 показаны результаты расчета КАС плоских сеток по формулам (5)-(8). В рассматриваемом диапазоне величина C_x монотонно увеличивается с ростом сплошности (рис. 2). Возрастание же чисел Рейнольдса приводит к снижению C_x при сравнительно небольших Re_d. Если $Re_d > Re_2$, то получаем автомодельную (квадратичную) область аэродинамического сопротивления; C_x не зависит от Re_d (рис. 3). Линейная область аэродинамического сопротивления ($Re_d < Re_1$) на сетках, практически, не реализуется, так как значения первого критического числа Рейнольдса Re_1 малы (записаны во второй столбец табл. 2).

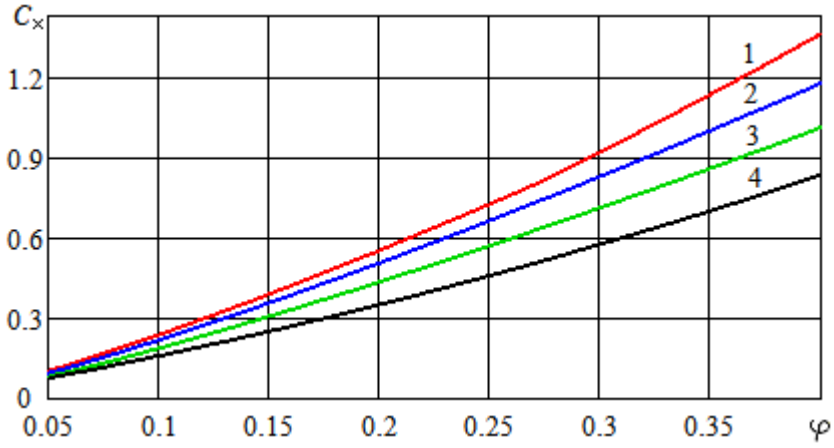


Рисунок 2 – Зависимость КАС от сплошности сетки при разных числах Рейнольдса: 1 – Re_d =100, 2 – Re_d = 150, 3 – Re_d = 300, 4 – Re_d =1000

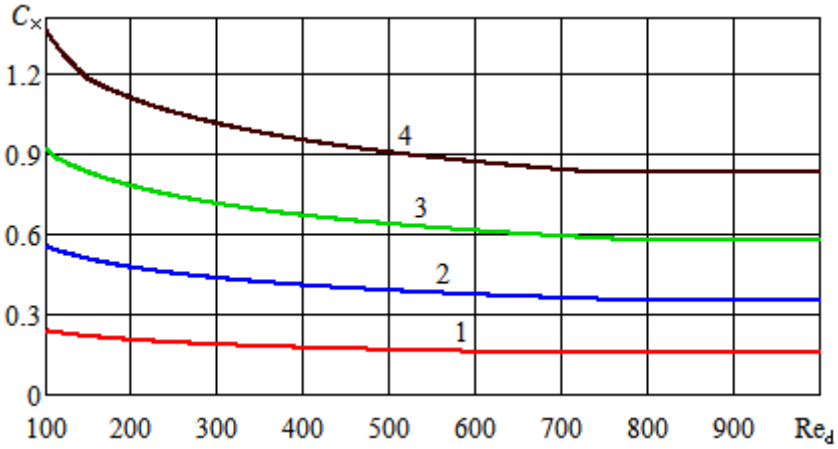


Рисунок 3 – Зависимость КАС от числа Рейнольдса при разных значениях сплошности: 1 – φ = 0,1; 2 – φ = 0,2; 3 – φ = 0,3; 4 – φ =0,4

Результаты расчета второго критического числа Рейнольдса по формуле (10) показаны в 3-м столбце табл. 2. Значения скорости ветра, рассчитанные по формуле (12) при двух температурах: V_1 = 20,6 м/с, V_1 = 22,5 м/с. Увеличение скорости объясняется уменьшением плотности воздуха с ростом температуры. Числа Рейнольдса Re_d рассчитанные по указанным скоростям и диаметрам сеток представлены в табл. 2. Видно, что для всех сеток $Re_d >> Re_2$. Следовательно, реализуется квадратичная область аэродинамического сопротивления; КАС зависит только от сплошности сетки и рассчитывается по формуле (8), а силу, действующую на сетку по формуле (14), которая и приведена в своде правил[1]:

$$F_x = C_x \cdot S \cdot p. \qquad (14)$$

В табл. 1 при расчете величины силы F_x для определенности площадь всех сеток принята одинаковой $S = 40$ м^2.

Таблица 2 – Рассчитанные параметры сеток из полиамида

№ пп	Re_1	Re_2	Re_d		C_x	F_x, Н	V_x, м/с
			при -24°С	при +25°С			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,35	558,4	3493	3022	0,121	1452	4,16

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
2	0,56	688,1	5239	4533	0,187	2246	3,41
3	0,79	762,0	6986	6044	0,257	3080	2,84
4	1,33	811,7	5239	4533	0,405	4855	4,03
5	0,24	442,4	2445	2115	0,083	996	4,70
6	0,31	523,5	3144	2720	0,108	1298	4,33
7	1,18	807,8	3842	3324	0,367	4399	5,47
8	0,50	661,9	3842	3324	0,170	2043	4,48
9	0,18	370,4	3842	3324	0,065	775	2,51
10	1,48	811,6	4541	3929	0,443	5319	4,65
11	0,61	711,0	4541	3929	0,204	2451	4,07
12	0,22	419,5	4541	3929	0,077	922	2,40
13	1,65	808,4	4890	4231	0,482	5789	4,30
14	0,67	730,3	4890	4231	0,222	2658	3,88
15	0,24	442,4	4890	4231	0.083	996	2,35
16	0,73	747,6	5239	4533	0,239	2868	3,71
17	0,26	464,2	5239	4533	0,089	1071	2,30
18	0,88	779,4	6112	528	0,284	3403	3,32
19	0,30	514,2	6112	5289	0,105	1260	2,19
20	1,04	799,0	6986	6044	0,329	3951	2,97
21	0,35	558,4	6986	6044	0,121	1452	2,08
22	1,40	812,1	8732	7555	0,424	5086	2,42
23	0,45	631,8	8732	7555	0,154	1844	1,88
24	0,56	688,1	1048	9066	0,187	2246	1,71
25	1,04	799,0	6986	6044	0,329	3951	2,97
26	1,40	812,1	8732	7555	0,424	5086	2,42
27	0,57	695,5	6986	6044	0,192	2309	2,59
28	0,75	753,4	8732	7555	0,246	2942	2,24
29	0,94	788,2	1048	9066	0,301	3612	1,96
30	0,35	558,4	6986	6044	0,121	1452	2,08

Свод правил[1] предписывает определять КАС плоских сеток по формуле (15). Рассчитаем относительную погрешность λ при использовании этой приближенной формулы:

$$C_y \approx 2\cdot\varphi,\ \ \lambda = 100\cdot(\ C_y - C_x)/\ C_x. \qquad (15)$$

На рис. 4 показаны результаты расчета по формулам (8) и (15).

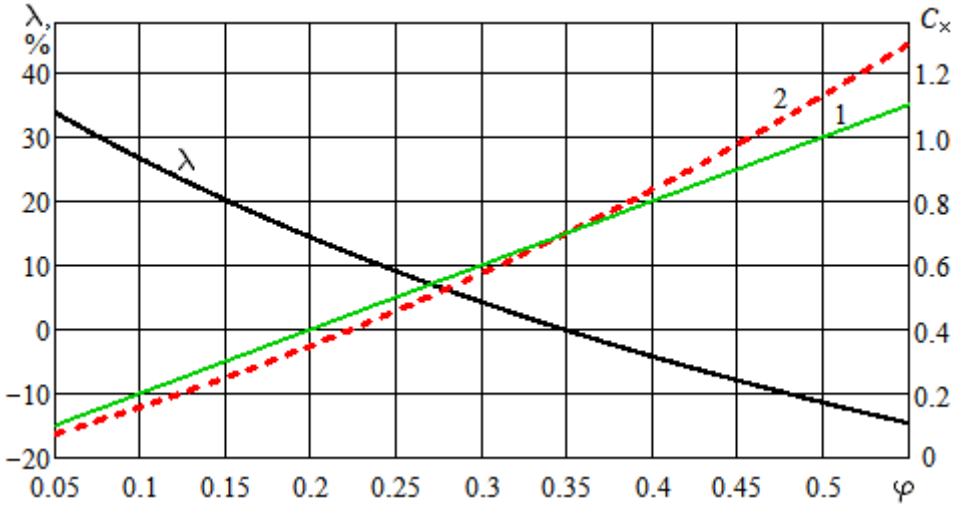


Рисунок 4 – Зависимость КАС сплошности: 1 – по формуле (8); 2 – по формуле (15); λ – относительная погрешность расчета КАС (15)

По рис. 4 условие малости относительной погрешности $|\lambda| < 7\%$ выполняется в диапазоне сплошности $0{,}27 < \varphi < 0{,}44$. Сетки со сплошностью $\varphi \geq 0{,}44$ в табл. 1 отсутствуют. Но у всех сеток в табл. 1 $\varphi < 0{,}27$. Следовательно, при расчете по формуле (14) для всех сеток из табл. 1 величина КАС занижается более чем на 7%. Если же $\varphi \approx 0{,}05$ и менее (например, сетки № 9 и № 12), относительная погрешность превышает 30%. Для сеток из табл. 1 была подобрана линейная зависимость (16):

$$C_z \approx 1{,}85 \cdot \varphi - 0{,}0019. \qquad (16)$$

В диапазоне $0{,}044 < \varphi < 0{,}26$ (как в табл. 1) относительная погрешность расчета КАС плоской сетки по формуле (16) не превышает 5%.

Заметим, что в проектных расчетах сводом правил[1] предписывается использовать динамическое давление, которое реализуется при весьма редких порывах ветра. Поэтому в расчетах для сеток получается квадратичная область аэродинамического сопротивления. Рассчитаем, при каких скоростях ветра V_x реализуется переходная область сопротивления, по неравенству (17):

$$\mathrm{Re_d} < \mathrm{Re_2} \rightarrow V < V_x = \mathrm{Re_2} \cdot \nu / d. \qquad (17)$$

В последнем столбце табл. 2 записаны значения V_x, рассчитанные для теплого периода года (+25°С). По своду правил[4] средняя месячная скорость ветра в городе Калининграде изменяется от 1,8 м/с в августе до 2,7 м/с в январе. Следовательно, фактически, может реализоваться переходная область аэродинамического сопротивления. Тогда в расчетах нужно учитывать зависимость КАС сетки от чисел Рейнольдса.

Заключение

Проведенный анализ показал, что сплошность выпускаемых маскировочных, ограждающих и защитных сеток не превышает φ=0,26. Такую сплошность можно рассчитывать по приближенной формуле $\varphi \approx 2d/a$ с погрешностью не более 7%. Критическое число $\mathrm{Re_2}$, соответствующее переходу от промежуточной области аэродинамического сопротивления исследованных сеток к квадратичной области сопротивления, находится в диапазоне от 370,4 до 812,1. Числа Рейнольдса при рекомендуемой сводом правил[1] для города Калининграда величине динамической нагрузке ветра (p = 300 Па) на порядок больше указанных. Поэтому в проектных расчетах КАС определяется в квадратичной области

аэродинамического сопротивления, где КАС не зависит от чисел Рейнольдса, рассчитывается по сплошности сетки.

Установлено, что предписываемая сводом правил[1], приближенная формула расчета КАС дает для исследованных сеток погрешность более 7%. При минимальном значении φ=0,0435 эта погрешность превышает 30%. Что недопустимо в проектных расчетах. Если выполняется расчет нагрузки сеток при сравнительно небольших скоростях ветра, следует учитывать зависимость КАС от чисел Рейнольдса, так как реализуется переходная область аэродинамического сопротивления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zou B., Thierry N.N.B., Tang H., Xu L., Zhou C., Wang X., Dong S., Hu F. Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models // Applied Ocean Research. 2021. V. 106. DOI: 10.1016/j.apor.2020.102466.

2. Chao L. A member-based porous method for predicting flow distortions around a lattice tower // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2021. V. 218, No. 9. DOI: 10.1016/j.jweia.2021.104765.

3. Hadane A., Redford J.A., Gueguin M., Hafid F., Ghidaglia J.-M. CFD wind tunnel investigation for wind loading on angle members in lattice tower structures // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2023. V. 236. DOI: 10.1016/j.jweia.2023.105397.

4. Недоступ А.А., Ражев А.О., Насенков П.В., Сергеев Е.И., Пивоварова Ю.С., Волошин А.А. Гидродинамика плетеных безузловых делей // Рыбное хозяйство. 2024. № 2. С. 102-109.

5. Кононов Д.А., Карлова Е.В., Беляева З.В. Некоторые проблемы определения ветровой нагрузки на решетчатые пространственные конструкции // Русский журнал строительных наук и технологий. 2023. Т. 9, № 2. DOI 10.15826/rjcst.2023.2.002.

6. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Гидродинамическое сопротивление систем из стержней и нитей: монография. Калининград: Изд-во КГТУ. 2015. 192 с.

7. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Бояринова Н.А., Кикот А.В. Гидродинамические силы сопротивления сетных частей орудий лова промышленного рыболовства при поперечном обтекании // Рыбное хозяйство. 2012. № 4. С. 109-111.

8. Наумов В.А., Бояринова Н.А. Эмпирические формулы для коэффициента сопротивления плоских рыболовных сетей при поперечном обтекании // Известия КГТУ. 2012. № 24. С. 143-150.

9. Наумов В.А. Математическая постановка краевой задачи о равновесии полоски сети ставного невода // Известия КГТУ. 2013. № 28. С. 182-187.

10. Наумов В.А., Агиевич Н.А. Эмпирическая формула для коэффициента гидродинамического сопротивления плоской рыболовной сети при продольном обтекании в автомодельной области // Известия КГТУ. 2014. № 32. С. 238-244.

11. Наумов В.А., Маркова Л.В. Корреляционный анализ внутригодового распределения стока рек региона // Известия КГТУ. 2012. № 26. С. 40-46.

12. Бояринова Н.А., Кикот А.В., Наумов В.А. Особенности статистической обработки результатов экспериментальных исследований случайной функции, полученных разными авторами // Известия КГТУ. 2015. № 37. С. 199-206.

13. Проскурнин Е.Д. О коэффициентах полуэмпирической модели гидродинамического сопротивления канатно-сетных элементов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2020. Т.6. № 1. С. 29-36.

14. Репик Е.У., Соседко Ю.П. Разработка детурбулизирующих сеток с малым гидравлическим сопротивлением для аэродинамических труб // Ученые записки ЦАГИ. 2011. Т. 42. № 3. С. 84-91.

15. Velikanov N.L., Koryagin S.I., Naumov V.A. Hydrodynamic drag of lattices in straight pipelines // Russian Engineering Research. 2014. V. 34, No. 9. P. 554-556.

16. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Примак Л.В. Аэродинамическое сопротивление гибких сеток при поперечном обтекании // Механизация строительства. 2017. Т.78. № 7. С. 47-51.

REFERENCES

1. Zou B., Thierry N.N.B., Tang H., Xu L., Zhou C., Wang X., Dong S., Hu F. Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models. Applied Ocean Research. 2021. V. 106. DOI: 10.1016/j.apor.2020.102466.

2. Chao L. A member-based porous method for predicting flow distortions around a lattice tower. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2021. V. 218, No. 9. DOI: 10.1016/j.jweia.2021.104765.

3. Hadane A., Redford J.A., Gueguin M., Hafid F., Ghidaglia J.-M. CFD wind tunnel investigation for wind loading on angle members in lattice tower structures. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2023. V. 236. DOI: 10.1016/j.jweia.2023.105397.

4. Nedostup A.A., Razhev A.O., Nasenkov P.V., Sergeev E.I., Pivovarova Yu. S., Voloshin A.A. *Gidrodinamika pletenyh bezuzlovyh delej* [Hydrodynamics of braided nodeless vessels]. *Rybnoe hozyajstvo*. 2024. No. 2, pp. 102-109.

5. Kononov D.A., Karlova E.V., Belyaeva Z.V. *Nekotorye problemy opredeleniya vetrovoj nagruzki na reshetchatye prostranstvennye konstrukcii* [Some problems of determining the wind load on lattice spatial structures]. *Russkij zhurnal stroitel'nyh nauk i tekhnologij*. 2023. V. 9, No. 2. DOI 10.15826/rjcst.2023.2.002.

6. Velikanov N.L., Naumov V.A. *Gidrodinamicheskoe soprotivlenie sistem iz sterzhnej i nitej: monografiya* [Hydrodynamic drag of systems made of rods and filaments: monograph]. Kaliningrad: KSTU Publ., 2015. 192 p.

7. Velikanov N.L., Naumov V.A., Kikot A.V., Boyarinova N.A. *Metodika opredeleniya gidrodinamicheskogo soprotivleniya ploskih elementov rybolovnyh setej pri poperechnom obtekanii* [Methodology for determining the hydrodynamic resistance of flat elements of fishing nets during transverse flow]. *Rybnoe hozyajstvo*. 2010. No. 4, pp. 72-75.

8. Naumov V.A., Boyarinova N.A. *Empiricheskie formuly dlya koeffitsienta soprotivleniya ploskikh rybolovnykh setey pri poperechnom obtekanii* [Empirical formula for the drag coefficient of a flat fishing netting at a cross flow]. *Izvestiya KGTU*. 2012. No.24, pp. 143-150.

9. Naumov V.A. *Matematicheskaya postanovka kraevoy zadachi o ravnovesii poloski stavnogo nevoda* [Mathematical formulation of the boundary value problem on the equilibrium of the strips of stationary netting]. *Izvestiya KGTU*. 2013. No. 28, pp. 182-187.

10. Naumov V.A., Agievich N.A. *Empiricheskaya formula dlya koeffitsienta gidrodinamicheskogo soprotivleniya ploskoy rybolovnoy seti pri prodol'nom obtekanii v avtomodel'noy oblasti* [The empirical formula for hydrodynamic drag coefficient of flat fishing nets with longitudinal flow in self-similar region]. *Izvestiya KGTU*. 2014. No. 32, pp. 238-244.

11. Naumov V.A., *Markova L.V. Korrelyacionnyj analiz vnutrigodovogo raspredeleniya stoka rek regiona* [Correlation analysis of the intraannual distribution of river flow in the region]. *Izvestiya KGTU*. 2012. No. 26, pp. 40-46.

12. Boyarinova N.A., Kikot A.V., Naumov V.A. *Osobennosti statisticheskoj obrabotki rezul'tatov eksperimental'nyh issledovanij sluchajnoj funkcii, poluchennyh raznymi avtorami* [Features of statistical processing of the results of experimental studies of a random function obtained by different authors]. *Izvestiya KGTU*. 2015. No. 37, pp. 199-206.

13. Proskurnin E.D. *O koefficientah poluempiricheskoj modeli gidrodinamicheskogo soprotivleniya kanatno-setnyh elementov* [On the coefficients of a semi-empirical model of

hydrodynamic drag of rope-mesh elements]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2020. V. 6, No. 1, pp. 29-36.

14. Repik E.U., Sosedko Yu.P. *Razrabotka deturbuliziruyushchih setok s malym gidravlicheskim soprotivleniem dlya aerodinamicheskih trub* [Development of deturbulating grids with low hydraulic resistance for wind tunnels]. *Uchenye zapiski CAGI*. 2011. V. 42, No 3, pp. 84-91.

15. Velikanov N.L., Koryagin S.I., Naumov V.A. Hydrodynamic drag of lattices in straight pipelines. Russian Engineering Research. 2014. V. 34, No, 9. pp. 554-556.

16. Velikanov N.L., Naumov V.A., Primak L.V. *Aerodinamicheskoe soprotivlenie gibkih setok pri poperechnom obtekanii* [Aerodynamic drag of flexible meshes during transverse flow]. *Mekhanizaciya stroitel'stva*. 2017. V. 78, No. 7, pp. 47-51.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ	INFORMATION ABOUT THE AUTHOR
Проскурнин Евгений Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: proskurnin@inbox.ru)	*Proskurnin Evgeny Dmitrievich* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: proskurnin@inbox.ru)

Статья поступила в редакцию 05.06.2026; одобрена после рецензирования 18.06.2026, принята к публикации 22.06.2026.
The article was submitted 05.06.2026; approved after reviewing 18.06.2026; accepted for publication 22.06.2026.