

**Сравнительный анализ расчета
ветровой нагрузки по СНиП 2.01.07–85*
и ТКП ЕН 1991-1-4–2009
для решетчатого сооружения башенного типа**

Гулей П.С.

(Научный руководитель – Рябов А.Г.)

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

**Определение аэродинамического
коэффициента c_t по СНиП 2.01.07-85*.**

Аэродинамический коэффициент решетчатых конструкций согласно приложению 4 определяется по формуле:

$$c_t = c_x \cdot (1 + \eta) \cdot k_1,$$

где c_x — определяется как для отдельно стоящей фермы (схема 15 прил. 4)

η — определяется как для ряда плоских ферм (схема 16 прил. 4)

k_1 — определяется по таблице (схема 17 прил. 4).

Коэффициент k_1 зависит от формы контура поперечного сечения и направления ветра, он представлен на рисунке 1.

Коэффициент η зависит от коэффициента проницаемости и относительного расстояния между соседними гранями (рисунок 2), а так же от числа Рейнольдса. Коэффициент η представлен на рисунке 3.

Данные на рисунке 3 определены при числе Рейнольдса $Re < 4 \cdot 10^5$, а при $Re \geq 4 \cdot 10^5$ $\eta = 0.95$.

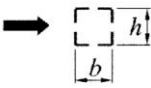
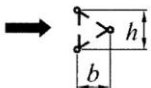
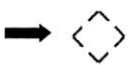
Форма контура поперечного сечения и направление ветра	k_1
	1
	0,9
	1,2

Рисунок 1 – Определение коэффициента k_1 .

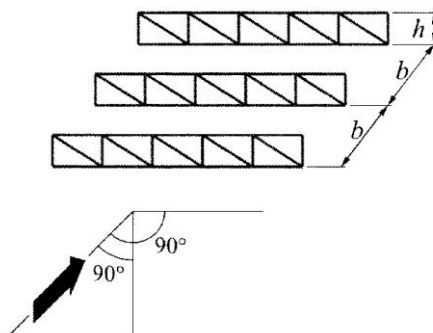


Рисунок 2 – К определению коэффициента η

φ	b/h				
	1/2	1	2	4	6
0,1	0,93	0,99	1	1	1
0,2	0,75	0,81	0,87	0,9	0,93
0,3	0,56	0,65	0,73	0,78	0,83
0,4	0,38	0,48	0,59	0,65	0,72
0,5	0,19	0,32	0,44	0,52	0,61
0,6	0	0,15	0,3	0,4	0,5

Рисунок 3 – Определение коэффициента η

Определение аэродинамического коэффициента усилия C_f по ТКП EN 1991-1-4-2009

Аэродинамический коэффициент усилия решетчатых конструкций согласно п.7.11 определялся по формуле:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda,$$

где $c_{f,0}$ – коэффициент усилия решетчатых конструкций и лесов без обтекания свободного конца (п. 7.11).

Ψ_λ – коэффициент, учитывающий концевой эффект (п. 7.13)

Коэффициент усилия $c_{f,0}$ зависит от формы контура поперечного сечения, направления ветра, числа Рейнольдса и коэффициента проемности и определяется по рисунку 4.

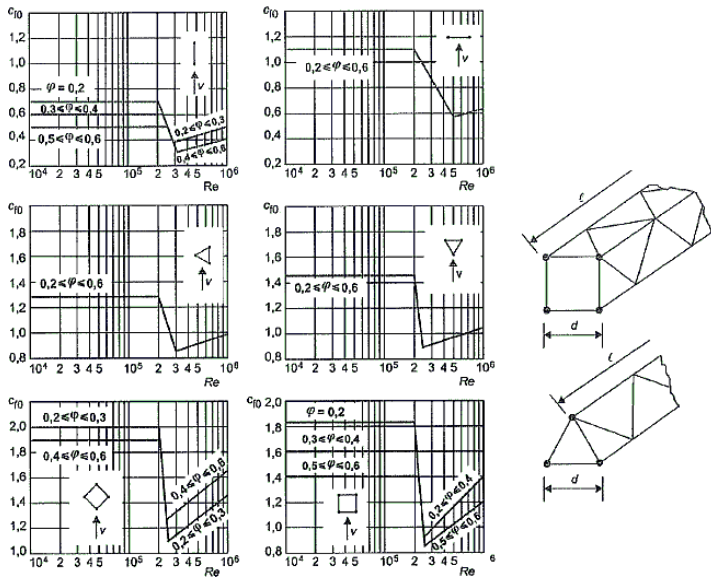


Рисунок 4 – Коэффициент усилия $c_{f,0}$ для плоских и пространственных решетчатых конструкций из профилей с круглым поперечным сечением

Коэффициент ψ_λ зависит от эффективной гибкости и коэффициента проемности и определяется по рисунку 5.

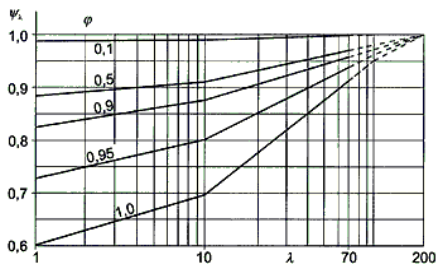


Рисунок 5 – Коэффициент ψ_λ

Сравнение методик расчёта динамической составляющей по СНиП 2.01.07–85* и по ТКП EN 1991-1-4–2009

Для удобного сравнения методик расчета динамической составляющей изобразили каждый расчет в виде блок-схемы, рисунок 6 соответствует СНиП, а рисунок 7 – ТКП EN.

В динамическую составляющую по СНиП входят следующие составляющие:

w_m – нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки

ξ – коэффициент динамичности

ζ – коэффициент пульсации давления ветра

ν – коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра.

A в динамическую составляющую по ТКП EN:

k_p – пиковый коэффициент как отношение максимального значения пульсационной составляющей реакции сооружения к его стандартному отклонению

l_v – интенсивность турбулентности

B^2 – фоновая составляющая реакции, учитывающая отсутствие полной корреляции давления на поверхность конструкции

R^2 – резонансная составляющая реакции, учитывающая резонансные колебания с учетом формы колебаний вследствие турбулентности.

Для определения динамических составляющих по двум документам необходимо знать частоту собственных колебаний, которая определялась в ПК Лира.

Расчет ветровой нагрузки по СНиП 2.01.07–85*

Расчет производился в табличной форме для одного нагружения (направление ветра принято перпендикулярно грани башни). Результаты приведены в таблицах 1, 2 и 3.

Расчет ветровой нагрузки по ТКП EN 1991-1-4–2009

Расчет выполнен также в табличном виде и для одного нагружения с направлением ветра на грань. Результаты приведены в таблицах 4, 5 и 6.

Блок-схема определения пульсационной составляющей ветровой нагрузки по СНиП 2.01.07--85*

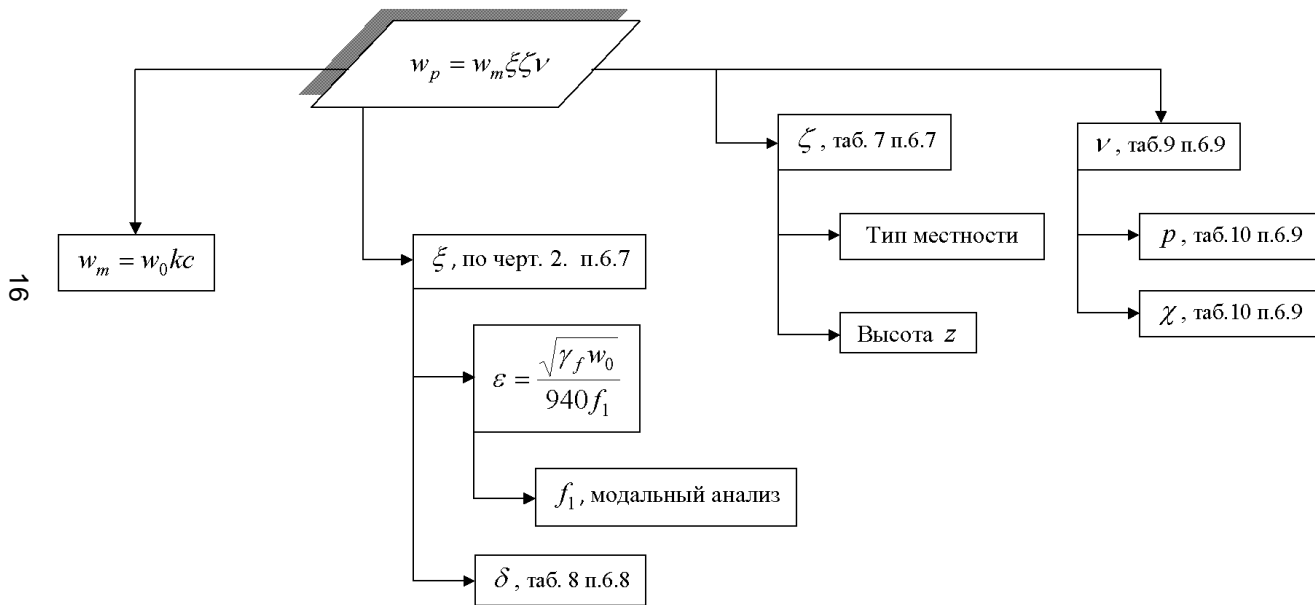


Рисунок 6 – Определение пульсационной составляющей

Схема определения конструкционного коэффициента c_{sca}

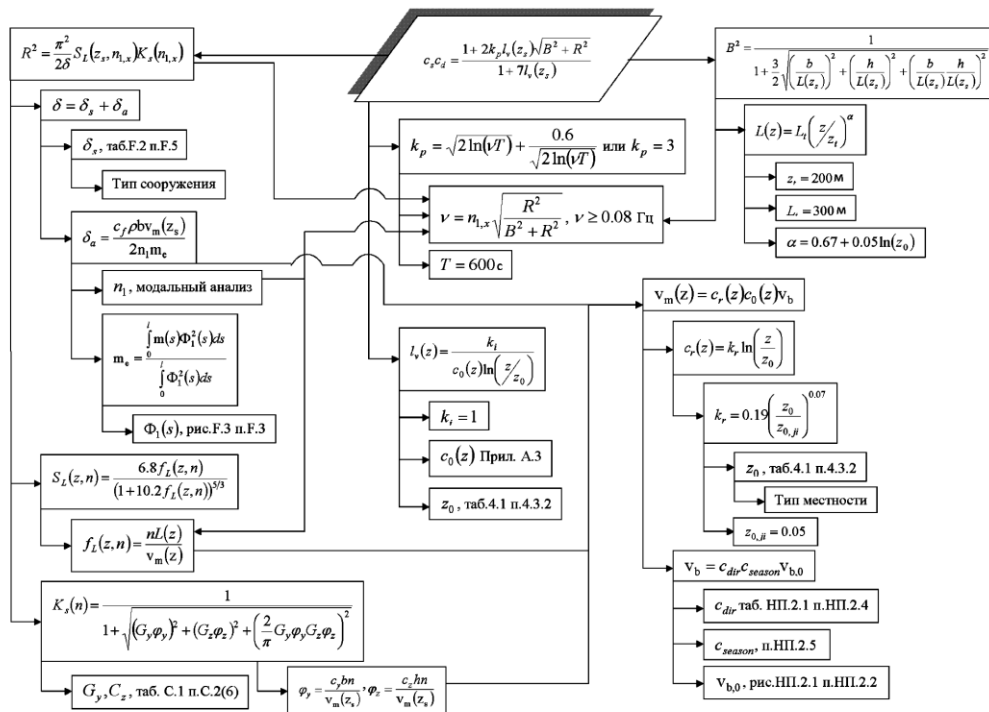


Рисунок 7 – Определение конструкционного коэффициента c_{sca}

Таблица 1 – Определение статической составляющей

№	$z, \text{ м}$	$k(z)$	γ_f	$d_{\bar{n}\delta, \text{ м}}$	$w_0, \text{ Па}$	$\text{Re} \cdot 10^5$	c_x	η	k_1	c_{t1}	c_{t2}	$w_{m1}, \text{ Па}$	$w_{m2}, \text{ Па}$
1	5	0.75	1.4	0.212	230	2.91	0.179	0.53	1	0.179	0.0947	43.293	22.858
2	15	1.125	1.4	0.212	230	3.56	0.1816	0.53	1	0.1816	0.0959	65.793	34.739
3	25	1.31	1.4	0.212	230	3.84	0.184	0.53	1	0.184	0.0971	77.608	40.977
4	35	1.438	1.4	0.212	230	4.02	0.186	0.95	1	0.186	0.1768	86.174	81.865
5	45	1.5	1.4	0.212	230	4.11	0.1875	0.95	1	0.1875	0.1781	90.573	86.044

Таблица 2 – Определение пульсационной составляющей

№	ε	ξ	ζ	ν	$w_{p1}, \text{ Па}$	$w_{p1}, \text{ Па}$
1	0.015686	1.6	0.85	0.91	75.01035	39.60547
2	0.015686	1.6	0.725	0.873	93.2785	49.25105
3	0.015686	1.6	0.67	0.845	98.42002	51.96577
4	0.015686	1.6	0.638	0.823	101.3544	96.28664
5	0.015686	1.6	0.61	0.8	99.00662	94.05629

Таблица 3 – Определение ветрового давления и ветрового усилия

№	$w_1, \text{ Па}$	$w_1, \text{ Па}$	$F_1, \text{ Н}$	$F_2, \text{ Н}$
1	118.3029	62.46392	1175.718	620.7789
2	159.0717	83.98988	1580.887	834.7082
3	176.0276	92.94255	1749.397	923.6817
4	187.5279	178.1515	1863.69	1770.505
5	189.5791	180.1002	1884.075	1789.872

Таблица 4 – Определение элементов статической составляющей

№	$z, \text{ м}$	$v_b, \text{ м/с}$	$c_e(z)$	q_b	$q_p(z)$	$v(z)$	$\text{Re} \cdot 10^5$	$c_{f,0}$	ψ_λ	c_f
1	5	18.72	1.276	219.024	279.4746	21.14614	2.995704	1.6	0.964	1.5424
2	15	18.72	2	219.024	438.048	26.47408	3.750494	1.6	0.964	1.5424
3	25	18.72	2.341	219.024	512.7352	28.64221	4.057647	1.6	0.964	1.5424
4	35	18.72	2.591	219.024	567.4912	30.1328	4.268814	1.6	0.964	1.5424
5	45	18.72	2.795	219.024	612.1721	31.29657	4.433681	1.6	0.964	1.5424

Таблица 5 – Определение конструкционного коэффициента и ветрового усилия

№	$c_r(z)$	$v_m(z), \text{ м/с}$	δ_s	δ_a	δ	$l_v(z)$	$L(z), \text{ м}$	B^2	$f_L(z, n)$	$S_L(z, n)$
1	0.606	11.344	0.02	0.0823	0.1022	0.35544	31.636	0.29537	3.39382	0.059855
2	0.843	15.774	0.02	0.1144	0.1344	0.25562	61.820	0.451101	4.769466	0.048358
3	0.953	17.834	0.02	0.1293	0.1493	0.22601	84.414	0.528923	5.760401	0.042887
4	1.025	19.191	0.02	0.1392	0.1591	0.21011	103.64	0.57962	6.572323	0.039414
5	1.079	20.204	0.02	0.1465	0.1665	0.19958	120.80	0.616467	7.276583	0.036915
№	φ_y	φ_z	$K_s(n)$	R^2	$v, \text{ Гц}$	k_p	γ_f	$c_s c_d$	$F_{w1}, \text{ Н}$	$F_{w2}, \text{ Н}$
1	3.70	61.68	0.0363	0.1049	0.6229	3.6163	1.5	0.7529499	5019.118	4838.43
2	2.66	44.36	0.0581	0.1032	0.5251	3.5689	1.5	0.8455033	8833.971	8515.948
3	2.35	39.24	0.0682	0.0966	0.4782	3.5427	1.5	0.8777663	10734.73	10348.28
4	2.19	36.46	0.0747	0.0912	0.4488	3.5247	1.5	0.8957389	12124.37	11687.89
5	2.08	34.63	0.0795	0.0869	0.4278	3.5112	1.5	0.90754998	13251.44	12774.39

Сравнение полученных результатов

Таблица 6 – Усилия полученные по СНиП

№ элемента	№ сечения	Усилие N, кН
1	1	50.44643
2	1	-50.4272
3	1	50.44643
4	1	-50.4272
23	1	42.32752
24	1	-42.3093
25	1	42.32752
26	1	-42.3093

Таблица 7 – Усилия полученные по ТКП EN

№ элемента	№ сечения	Усилие N, кН
1	1	354.71832
2	1	-354.7121
3	1	354.71832
4	1	-354.7121
23	1	297.81851
24	1	-297.8126
25	1	297.81851
26	1	-297.8126

Результаты расчётов отличаются, т.к. не учтены факторы, связанные с определением РСУ по европейским нормам, пикового значения скоростного напора по отечественным нормам.

Необходимо продолжить исследование в этом направлении, для получения достоверных результатов.