



АНАЛИЗ НА СТОМАНОБЕТОНЕН ПРОМИШЛЕН КОМИН

Станислав Цветков, Антони Андонов

st.cvetkov@vsu.bg

***ВСУ “Л. Каравелов”, катедра “Строителни конструкции”, гр. София,
ул. „Суходолска“ № 175
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ***

Ключови думи: стоманобетонен промишлен комин, спектър на реагиране, въздействия върху тръбата, разрезни усилия, напрежения и деформации

Резюме: В доклада са показани етапите, през които се преминава, при проектирането на строително съоръжение- промишлен комин за нуждите на ТЕЦ. Дадени са теоретични сведения и резултати от изчислителен модел, анализиран със софтуер, базиран на работа по Метода на крайните елементи.

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ И ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Комините са необходимо и незаменимо съоръжение във всяко промишлено предприятие. Комините: транспортират, пречистват и отвеждат отпадните газове от производствата на височини, при които биха били безопасни за живота и здравето на хората, и на природата. Като строително съоръжение, комините са изключително сложен ансамбъл от други съоръжения и конструкции, затова проектирането на комин е процес, който е тясно свързан с участието на технолози от съответното производство.

Изследван е стоманобетонен промишлен комин с височина $H=325$ m, намиращ се в района на гр. Стара Загора с референтно земно ускорение $a_{gR}=0,15g$.

Коефициентът на значимост е приет $\gamma_1=1,4$.

Конструкцията на комина е „тръба в тръба“: вътрешна (пряко улавяща газовете) с височина $H=100$ m и външна (служеща като ограждащ кожух) с височина $H=325$ m. Диаметърът на външната тръба е: при основата $D=28,75$ m, а при върха- $D=11,83$ m. Диаметърът на вътрешната тръба е $D=10,00$ m. Наклоните на външната тръба са приети съгласно климатични и конструктивни мерки. Дебелината на външната тръба е 70 cm при основата и 29 cm- при върха, а дебелината на вътрешната е 30 cm- постоянно напречно сечение. След края на вътрешната тръба, външната е иззидана от вътрешната си страна със зидария от киселинно-устойчиви тухли, наредени върху стоманобетонни конзоли (през 15 m- във височина) и анкерирани.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ



Фиг.1 – 3D-модел

Обект на анализа е външната тръба. Използвани са данни, съгласно: [1], [2] и [3].

Използван е софтуерен продукт SAP2000. Черупката е моделирана с наличните за програмния продукт крайни елементи- Shell. Линейните елементи са въведени с Frame-крайни елементи. Въведена и Винклерова константа, съответстваща на земната основа, съгласно инженерно-геоложкото задание. Геометрията на съоръжението е въведена с действителни размери и материали!

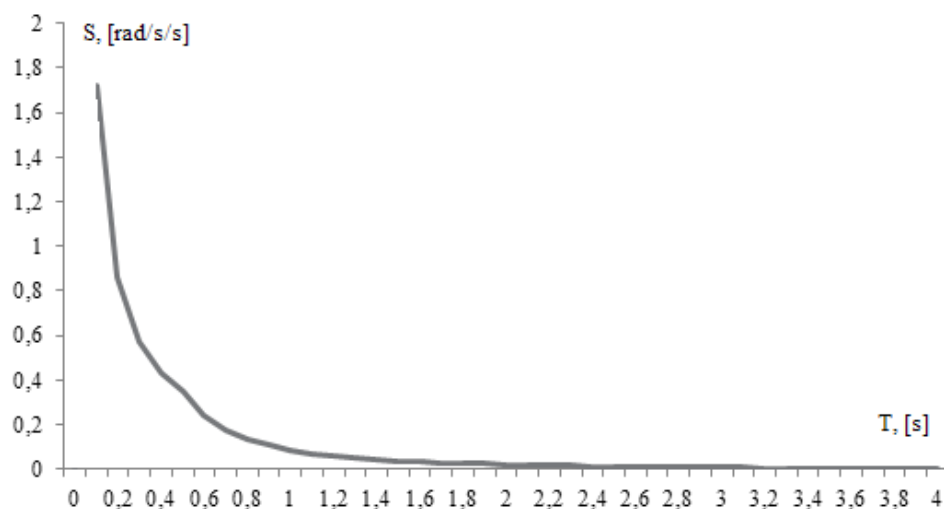
Конструктивният анализ на комин е процес, при който трябва да се вземат предвид: статичните въздействия (тухлени зидарии и изолации, стълби и площадки, светофарни уредби, врати за проходи, димоотводи и др. под.), променливите въздействия (работници, сняг, температури- работна и външна, едностранно слънчево нагряване- радиация, строително-монтажни отклонения, вятър- като основно в повечето случаи въздействие), резонанс и земетръс (за хоризонтална и/или вертикална компоненти на сеизмичното въздействие и/или ротационна компоненти около хоризонтална и/или вертикална оси). Фундамента се проверява: за допустими напрежения под основната плоскост, наклоняване (завъртане) и слягане. Конструкцията се проверява за преобръщане.

Компонентите на сеизмичното въздействие, внимателно са комбинирани, както по между си, така и с останалите въздействия. **Комбинирането на въздействията е особено важен и отговорен процес! Трябва внимателно да се прецени, в действителност кои състояния ще бъдат реално съвместими по между си и кои не, тъй като от своя страна максималното презастраховане, може да доведе до прекалено високи стойности на усилията, а от там и до- неефективно работещо и скъпо струващо съоръжение.**

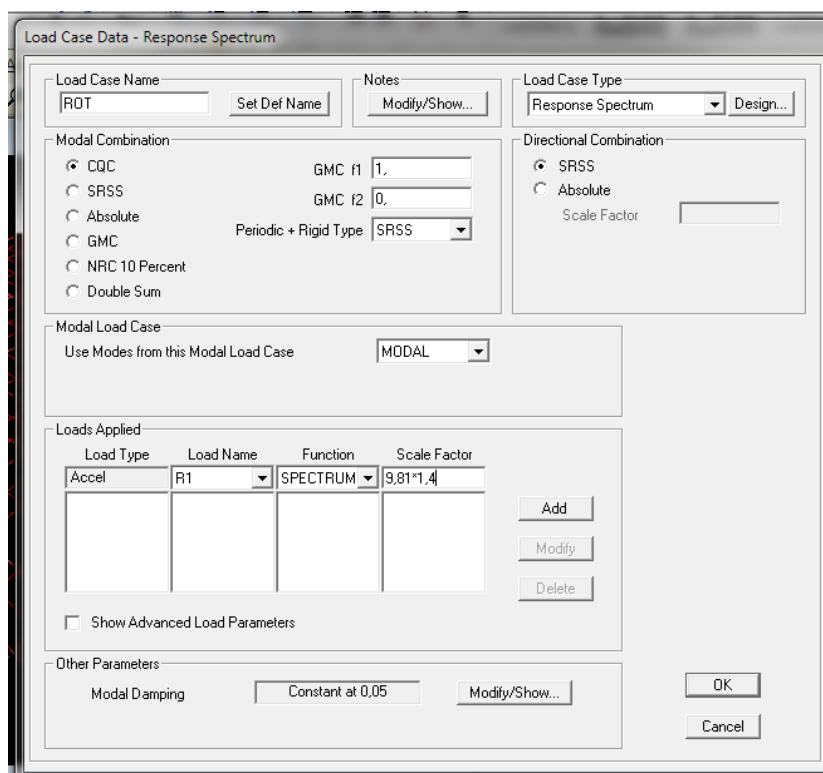
Сеизмични въздействия:

Таблица 1

Направление	Спектър
Хоризонтална посока	Изчислителен спектър на реагиране за хоризонтална компонента на сеизмично въздействие
Вертикална посока	Изчислителен спектър на реагиране за вертикална компонента на сеизмично въздействие
Изследване за ротационна компонента около хоризонтална ос	Еластичен спектър на реагиране за ротационна компонента $R_x^0(T) = \frac{1,7 \cdot \pi \cdot S_e(T)}{v_s \cdot T} = R_y^0(T)$
Изследване на ротационна компонента около вертикална ос	Еластичен спектър на реагиране за ротационна компонента $R_z^0(T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot S_e(T)}{v_s \cdot T}$



Фиг.2 – Графика на спектър за ротационна компонента



Фиг.3 – Действие на опорите за спектър за ротационна компонента и скалиране на графиката в програмен продукт SAP 2000

В доклада са показани по-важни фрагменти от компютърното моделиране за сеизмично изследване на конструкциите!

Изследвани са общо 17 броя форми на собствени трептения (за достигане на активирана ефективна модална маса. Полученият първи собствен период $T_1 = 6,10507\text{ s}$. От направения преглед на формите (анимациите), се установява, че те са типични за такъв вид конструкция- висока, конзолна, с пръстеновидно напречно сечение.

Въздействие от вятър:

Работи се с налягане по височина и с турбулентен характер.

Таблица 2 – Стойности на w_e , [Pa] при различните височини и градуси

0	5	20	30	45	60	75	90	105	135	180	градус, [deg]
1	0,9	0,5	0,1	-0,4	-1,2	-1,5	-1,3	-0,7	-0,7	-0,7	C_{pe}
1	1	1	1	1	1	1	0,999	0,999	0,825	0,825	Ψ_{za}/h_z
89,01322	80,1119	44,50661	8,901322	-35,6053	-106,816	-133,52	-115,717	-62,3093	-62,3093	-62,3093	0,1
1209,542	1088,588	604,7711	120,9542	-483,817	-1451,45	-1814,31	-1572,4	-846,68	-846,68	-846,68	15
1299,32	1169,388	649,66	129,932	-519,728	-1559,18	-1948,98	-1689,12	-909,524	-909,524	-909,524	20
1430,546	1287,492	715,2731	143,0546	-572,218	-1716,66	-2145,82	-1859,71	-1001,38	-1001,38	-1001,38	30
1567,261	1410,535	783,6305	156,7261	-626,904	-1880,71	-2350,89	-2037,44	-1097,08	-1097,08	-1097,08	45
1603,685	1443,316	801,8424	160,3685	-641,474	-1924,42	-2405,53	-2084,79	-1122,58	-1122,58	-1122,58	50
1667,59	1500,831	833,7951	166,759	-667,036	-2001,11	-2501,39	-2167,87	-1167,31	-1167,31	-1167,31	60
1747,314	1572,583	873,6572	174,7314	-698,926	-2096,78	-2620,97	-2271,51	-1223,12	-1223,12	-1223,12	75
1770,682	1593,614	885,3412	177,0682	-708,273	-2124,82	-2656,02	-2301,89	-1239,48	-1239,48	-1239,48	80
1813,688	1632,319	906,8439	181,3688	-725,475	-2176,43	-2720,53	-2357,79	-1269,58	-1269,58	-1269,58	90
1852,55	1667,295	926,2749	185,255	-741,02	-2223,06	-2778,82	-2408,31	-1296,78	-1296,78	-1296,78	100
1888,024	1699,222	944,012	188,8024	-755,21	-2265,63	-2832,04	-2454,43	-1321,62	-1321,62	-1321,62	110
1936,079	1742,472	968,0397	193,6079	-774,432	-2323,3	-2904,12	-2516,9	-1355,26	-1355,26	-1355,26	125
1979,138	1781,225	989,5692	197,9138	-791,655	-2374,97	-2968,71	-2572,88	-1385,4	-1385,4	-1385,4	140
2018,176	1816,359	1009,088	201,8176	-807,27	-2421,81	-3027,26	-2623,63	-1412,72	-1412,72	-1412,72	155
2053,904	1848,514	1026,952	205,3904	-821,562	-2464,69	-3080,86	-2670,08	-1437,73	-1437,73	-1437,73	170
2086,859	1878,173	1043,43	208,6859	-834,744	-2504,23	-3130,29	-2712,92	-1460,8	-1460,8	-1460,8	185
2117,455	1905,709	1058,727	211,7455	-846,982	-2540,95	-3176,18	-2752,69	-1482,22	-1482,22	-1482,22	200
2146,018	1931,416	1073,009	214,6018	-858,407	-2575,22	-3219,03	-2789,82	-1502,21	-1502,21	-1502,21	215
2172,812	1955,531	1086,406	217,2812	-869,125	-2607,37	-3259,22	-2824,66	-1520,97	-1520,97	-1520,97	230
2198,05	1978,245	1099,025	219,805	-879,22	-2637,66	-3297,07	-2857,46	-1538,63	-1538,63	-1538,63	245
2221,909	1999,718	1110,955	222,1909	-888,764	-2666,29	-3332,86	-2888,48	-1555,34	-1555,34	-1555,34	260
2244,538	2020,084	1122,269	224,4538	-897,815	-2693,45	-3366,81	-2917,9	-1571,18	-1571,18	-1571,18	275
2266,062	2039,456	1133,031	226,6062	-906,425	-2719,27	-3399,09	-2945,88	-1586,24	-1586,24	-1586,24	290
2286,587	2057,928	1143,293	228,6587	-914,635	-2743,9	-3429,88	-2972,56	-1600,61	-1600,61	-1600,61	305
2306,205	2075,585	1153,103	230,6205	-922,482	-2767,45	-3459,31	-2998,07	-1614,34	-1614,34	-1614,34	320
2312,557	2081,301	1156,279	231,2557	-925,023	-2775,07	-3468,84	-3006,32	-1618,79	-1618,79	-1618,79	325

Строително-монтажно отклонение:

Неточности по време на изпълнението, могат да изкривят строго вертикалната ос на съоръжението. Състоянието води до възникване на моменти от втори ред. Преместванията от неточности от изпълнение- при върха: $\max : (0,002.H \text{ или } 20\text{cm})$ - разпределя се по линеен закон.

Препоръчителна е проверка за Imperfections (несъвършенства) (по ULS). Например в SAP2000 има опция за тази проверка- Load Case Type: Buckling (изкълчване) и проверка на параметъра Buckling Factor (Scale Factor) $\equiv \alpha_{cr}$.

$$\text{Стойности от еластична линия на комин: } y_i(\xi) = \frac{\left(\frac{p_u \cdot H^4}{E \cdot I_0} \cdot \psi \cdot n \cdot D \right)}{3} \cdot \xi^2 \cdot (6 - 4 \cdot \xi + \xi^2).$$

Въздействие от температура:

Взимат се предвид всички пластове (стоманобетонна конструкция, зидария, изолации), както и експлоатационната и външна температури.

Таблица 3

h	δ_{wall}	1/k ₀	k ₀	ΔT_p	T ₀	T _{in}	ΔT_M
0	0,7	2,292132	0,436275	58,30222	-4,54656	53,75565	24,60455
40	0,66	2,255768	0,443308	55,8568	-4,45865	51,39815	23,46975
50	0,62	2,219405	0,450571	53,33126	-4,36786	48,9634	22,29777
60	0,6	2,201223	0,454293	52,03719	-4,32134	47,71586	21,69726
70	0,59	2,192132	0,456177	51,38211	-4,29779	47,08432	21,39327
80	0,59	2,192132	0,456177	51,38211	-4,29779	47,08432	21,39327
90	0,58	2,183041	0,458077	50,72157	-4,27404	46,44753	21,08674
100	0,57	2,067889	0,483585	52,62282	-3,95519	48,66764	22,35622
110	0,56	2,058799	0,48572	51,9279	-3,9285	47,99941	22,03545
125	0,53	2,031526	0,492241	49,80583	-3,84699	45,95884	21,05592
140	0,5	2,004253	0,498939	47,62599	-3,76326	43,86273	20,04973
155	0,47	1,97698	0,505822	45,38602	-3,67723	41,7088	19,01579
170	0,455	1,963344	0,509335	44,2427	-3,63331	40,60939	18,48804
185	0,44	1,949708	0,512897	43,08338	-3,58878	39,4946	17,95291
200	0,41	1,922435	0,520174	40,71541	-3,49783	37,21758	16,85988
215	0,38	1,895162	0,527659	38,27929	-3,40426	34,87503	15,73538
230	0,35	1,867889	0,535364	35,77202	-3,30796	32,46407	14,57806
245	0,32	1,840617	0,543296	33,19046	-3,2088	29,98166	13,38643
260	0,29	1,813344	0,551467	30,53124	-3,10666	27,42458	12,15896
325	0,29	1,813344	0,551467	30,53124	-3,10666	27,42458	12,15896

Еднострaнно слънчево нагряване (радиация):

Конструкцията на комина се натоварва едностранно (спрямо основото сечение), симулиращо нагряване от слънцето само от едната страна. Това води до разширяване на облъчваната страна, изкривяване на оста на комина и странични изкривявания. Препоръчително е да се работи с температурно въздействие за летния сезон, с максимална стойност на външната температура. На преценката на проектанта се оставя избора, дали тази температура ще се сумира с експлоатационната на съоръжението- работа при летни, горещи условия или ще се работи само с външната (*екстериорна температура*)- неработещо съоръжение. Това товарно състояние има особен характер, тъй като конструкцията ще се намира в динамичен или спокоен режим. Състоянието води до възникването на моменти от втори ред. Хоризонтално преместване от

$$\text{едностранно нагряване: } f(z) = \frac{0,005}{H} \cdot z^2.$$

Резонанс:

Съоръжението се осигурява срещу възникването на резонанс, като допълнителните огъващи моменти и срязващи сили, както и премествания се комбинират (по подходящ начин) с тези от други въздействия. По този начин съоръжението се армира за по-големи усилия (и деформации).

Периодите и формите на собствени трептения с отчитане на деформациите на огъване, хлъзгане и поддаване на земната основа се определят по формулите:

$$x = \frac{1}{1 + \left[\frac{h_j}{H} \cdot 0,75 \left(\frac{I_1}{I_0} - 1 \right) \right]} \cdot \left(\sin \frac{\pi}{2} \cdot \frac{h_j}{H} + A_{i(1,2,3)} \cdot \sin \frac{3\pi}{2} \cdot \frac{h_j}{H} + B_{i(1,2,3)} \cdot \sin \frac{5\pi}{2} \cdot \frac{h_j}{H} \right) \leftarrow$$
$$\leftarrow (A_i, B_i) = f \left(\frac{I_1}{I_0}; \frac{H}{i_0}; \alpha_0 = \frac{2 \cdot E \cdot I_0}{C_z \cdot A_F \cdot H^3} \right)$$

Интензивността на аеродинамичната сила, действаща върху комина се определя по формулата: $F(z) = F(x) \cdot \sin \omega t$; $F(z) = F_0$ - амплитудната стойност на аеродинамичната сила, действаща на ниво z .

$$\left[F_0 = 0,2 \cdot \left(v_{cr} = \frac{d^{up}}{T_1 \cdot Sh} \right)^2 \cdot d_{i, chimney} \right] \cdot \alpha(z) = F(z) \rightarrow F(z, t) = F(z) \cdot \sin \omega t \leftarrow \omega t = \frac{2 \cdot \pi}{T_i}, [\text{rad/s}]$$

На отделен файл или на ръка- коминът се разглежда като вертикална (*безтегловна*) конзола. Натоварва се с $\min 10$ броя хоризонтални сили (от статично действие), разпределени по височина $F(z)$. При такава схема, се получават огъващите моменти от резонанс (комбинират се с моментите от другите комбинации) и преместванията (проверяват се поотделно или заедно с преместванията от другите комбинации).

Резонансната амплитуда на собствените трептения (премествания) и резонансната амплитуда на огъващия момент за ниво (z) се определят по формулите:

$$Y_{res}(z) = 0,8 \cdot \frac{\pi}{(\delta=0,3)} \cdot Y_{stat}(z); M_{res}(z) = 0,8 \cdot \frac{\pi}{(\delta=0,3)} \cdot M_{stat}(z)$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ И ИЗВОДИ

Полученото максимално преместване във върха от „обвивката“ на изчислителна комбинация и изчислителна сеизмична ситуация е : $w_{el} \approx 0,96 \text{ m} \rightarrow w_{el-pl} = k^{reolog} \cdot w_{el}$.

Проверките на връхната конструкция и фундамент са удовлетворени!

Разрезните усилия и армировките са реалистични за такъв вид и размер конструкция.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Георгиев, Г., Станислав Цветков, Ръководство за проектиране на специални стоманобетонни конструкции, част Първа – глава Първа – Общи сведения за анализ и конструиране на специални стоманобетонни конструкции, ВСУ, С., 2014

[2] Георгиев, Г., Станислав Цветков, Ръководство за проектиране на специални стоманобетонни конструкции, част Първа – глава Втора – Подготовка на курсов проект, ВСУ, С., 2014

[3] Еврокодове, Проектиране на кули, мачти, комини, пилоти, подкранови конструкции, Сборник 10, БИС, С., 2010

ANALYSIS OF R.C. INDUSTRIAL CHIMNEY

Stanislav Tsvetkov, Antoni Andonov
st.cvetkov@vsu.bg

*Department "Building Structures", University of Structural Engineering & Architecture
(VSU) "Lyuben Karavelov" – Sofia, 175 Suhodolska Street, 1373 Sofia
BULGARIA*

Key words: *reinforced concrete industrial chimney, response spectrum, impacts on the tube, internal forces, stresses and deformations*

Abstract: *The chimneys are a necessary and indispensable equipment in any industrial undertaking. The chimneys: transported, treated and discharged waste gases from the production of heights, where they were safe for life and health of people and of nature. As a construction, the chimneys are highly complex ensemble of other facilities and structures, so the design of the chimney is a process that is closely connected with the participation of technicians of the all production.*

The analysis is in accordance with the Eurocodes. Analysed is only the outer tube.

The report shows: general information and under study: reinforced concrete structure of high industrial chimney. The constructive system is "pipe in pipe".

Geometry: inner tube: $H=100$ m, $D=10$ m, $b=30$ cm; outer tube: $H=325$ m, ($D_{down}=28,75$ m - $D_{up}=11,83$ m), ($b_{down}=70$ cm - $b_{up}=29$ cm). The chimney is located in Stara Zagora (city). Methods of analysis: used software is SAP2000; described are: constant impacts, variable impacts and seismics; are shown spectra response for rotational components; are given information on: the effects of wind, construction deviations, effects of temperature, unilaterally solar heat (radiation), resonance.

Given are results of experimental data and conclusions.

The report is accompanied by shemes and references.