

АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 681.121

НОВІ АСПЕКТИ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ СТАНДАРТНИХ УМОВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

Крук І.С., Українська нафтогазова академії, нормативно-аналітичний центр дочірньої компанії «Укртрансгаз», м. Київ, Україна

У роботі проведено аналіз показників якості природного газу та обґрунтовано вибір їх значень для доповнення стандартних умов вимірювання витрати природного газу

Вступ. Постановка проблеми

При вимірюванні витрати природного газу методом змінного перепаду тиску зі стандартними діафрагмами та об'єму газу лічильниками їхні значення необхідно приводити до стандартних умов вимірювання (СУВ). Сьогодні за СУВ прийняті числові значення лише таких фізичних величин як абсолютного тиску $P_c = 101325$ Па і абсолютної температури $T_c = 293,15$ К. Аналізуючи результати останніх досліджень в області визначення та оцінки якісних показників природного газу, стає очевидним, що стандартні умови вимірювання необхідно доповнити ще й таким значенням фізичної величини, як температурою t_p точки роси по волозі, $^{\circ}\text{C}$, або відносною вологістю ϕ природного газу в %. Можна вибрати й інший показник, що характеризує якість газу, зокрема: абсолютну вологість a наявних у газі парів рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$; молярну концентрацію $X_{\text{H}_2\text{O}}$ наявних у газі парів води, мол. %; вологовміст f , $\text{г}/\text{м}^3$ або ppmV .

Розв'язком проблеми в технічному аспекті є використання систем автоматизованого проектування та розрахунку витратомірів змінного перепаду тисків, а у правовому аспекті – міждержавних стандартів, регламентів, технічних угод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постановка задачі

Природний газ при вимірюванні витрати має бути сухим. Згідно [1] газ є сухим при значенні відносної вологості ϕ , яка не перевищує 10%. У нових міждержавних стандартах [2] відсутні вимоги щодо кондиційності природного газу. У Технічній угоді між ВАТ «Газпром» і НАК «Нафтогаз України» записано, що (мовою оригіналу) «точка росы природного газа по влаге, измеренная при рабочем давлении и пересчитанная к давлению 3,92 МПа (40 кгс/см²) для концентрации водяных паров при стандартных условия не может быть выше минус 8⁰С». На сьогодні в Україні відсутній нормативний документ, який встановлює норми фізико-хімічних показників (ФХП) природного газу, дотримання яких необхідно для забезпечення надійності та ефективності роботи газотранспортних систем.

З 1 січня 2006 р. втратили чинність технічні умови [3] у зв'язку з закінченням їх терміну дії. Єдиним нормативним документом державного рівня, за яким визначаються норми ФХП газу, що подається для транспортування та подальшого використання, є міждержавний стандарт [4]. Необхідно відзначити, що технічні вимоги, які регламентовані цим стандартом, не забезпечують транспортування кондиційного газу, не захищають від корозії газопроводи та газотранспортне обладнання.

Основною задачею статті є врахування показників якості газу при вимірюванні його витрати або об'єму та приведенні цих значень до СУВ, які обов'язково мають бути доповнені обґрунтованими значеннями одного із параметрів, що характеризує якість газу, наприклад, температура t_p точки роси по волозі або відносна вологість ϕ природного газу.

Метою роботи є аналіз показників якості газу та обґрунтування вибору їх значень для доповнення стандартних умов вимірювання при розрахунку витрати сухого природного газу.

Основна частина. Вибір критерію для визначення значення показника якості газу.

При проведенні оцінки достовірності одного із наведених і вибраних вище показників для вимірювання витрати за СУВ візьмемо значення густини природного газу ρ_C за стандартних умов вимірювання. Її визначають хроматографічним методом, аналізуючи взятую пробу газу. При подачі проби газу з балону на вхід хроматографа його пропускають через, який забирає певну частку парів рідини, що міститься у газі. Кількісно її не оцінюють і не визначають лабораторним методом зважування фільтру.

Враховуючи той факт, що густина ρ_C виміряна з допустимим вмістом парів рідини, то її значення можна прийняти за дійсне і таке, що може служити базовим значенням при виборі та обґрунтуванні показника якості газу та його числового значення, який повинен доповнити стандартні умови вимірювання.

Критеріями для визначення значення показника якості газу та введення його значення як параметру СУВ можуть служити рівності густин відповідно вологого газу $\rho_{ВГ}$ і сухої частини газу $\rho_{СГ}$ для одержаних значень температури точки роси по волозі при розрахунку відповідно витрат $Q_{ВГ}$ і $Q_{СГ}$, зокрема:

при довільних значеннях абсолютного тиску газу P і температури T

$$\rho_{ВГ} = \rho_{СГ} ;$$

при значеннях абсолютного тиску газу P , що дорівнює абсолютному тиску $P = P_C = 101,325$ кПа та абсолютній температурі T газу, що дорівнює відповідно значенням температури $T = T_C = 293,15$ К (або інших прийнятих за T_C значенням температури, наприклад: 273,15 К; 288,15 К і 285,65 К)

$$\rho_{ВГ} = \rho_{СГ} = \rho_C .$$

Проведемо відповідні розрахунки витрати сухої частини вологого газу $Q_{СГ}$ та вологого газу $Q_{ВГ}$ за СУВ, а також і значень густин відповідно вологого газу

$\rho_{ВГ}$ і сухого газу $\rho_{СГ}$, використавши методику зворотнього перерахунку стандартних діафрагм згідно до нового міждержавного стандарту ГОСТ 8.586.1-5:2005 і системи автоматизованого проектування витратомірів змінного перепаду тисків - САПР "Расход-РУ". За вихідні дані для розрахунків взяті параметри пункту вимірювання витрати газу газовимірювальної станції, зокрема: діаметр отвору діафрагми $d_{20} = 240,04$ мм; внутрішній діаметр вимірювального трубопроводу $D_{20} = 404,50$ мм; перепад тисків на діафрагмі $\Delta P = 25$ кПа; густина газу за СУВ $\rho_C = 0,6860$ кг/м³; мольні концентрації: азоту $X_{N_2} = 1$ % мол., діоксиду вуглецю $X_{CO_2} = 0,2$ % мол.

Відносна вологість φ природного газу визначається як відношення густини парів рідини $\rho_{ПВ}$ до густини насичених парів рідини (води) $\rho_{Н\text{ПВ}}$ при температурі $T = T_C = 293,15$ К, значення якої дорівнює $\rho_{Н\text{ПВ}} = 0,01729$ кг/м³, додаток 6 [1], тобто

$$\varphi = \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_{Н\text{ПВ}}} 100\%. \quad (1)$$

Густину $\rho_{ПВ}$ парів рідини у формулі (1) розраховують як різницю густин

$$\rho_{ПВ} = \rho_{ВГ} - \rho_{СГ}. \quad (2)$$

Похибку δ , яка фізично характеризує вологовміст f , визначають за формулою

$$\delta = \frac{Q_{ВГ} - Q_{СГ}}{Q_{ВГ}} 100\%. \quad (3)$$

Результати розрахунків наведені в таблицях 1- 4.

У таблиці 5 наведені також розрахунки витрат вологого газу та його сухої частини для різних значень перепаду тисків на діафрагмі.

Таблиця 1 – Результати розрахунків витрат газу при температурі: $T = T_C = 293,15$ К ($t = 20^0$ С), абсолютному тиску $P = P_C = 101,325$ кПа

№ з/п	$Q_{ВГ},$ м ³ /Г	$Q_{СГ},$ м ³ /Г	$t_p,$ °С	$\rho_{ВГ},$ кг/м ³ / $\rho_{СГ},$ кг/м ³	$\delta,$ %	$\rho_{ПВ},$ кг/м ³	$\varphi,$ %	$f,$ ppmV
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	26426	26252	0	0,68636 / 0,68183	0,65844	0,00453	26,2	6584
2	26424	26298	-5	0,68625 / 0,68298	0,47684	0,00327	19,0	4768
3	26423	26320	-8	0,68620 / 0,68352	0,38981	0,00268	15,5	3898
4	26423	26332	-10	0,68618 / 0,68383	0,34440	0,00235	13,6	3444
5	26422	26353	-14	0,68613 / 0,68435	0,26115	0,00178	10,3	2611
6	26422	26355	-14,5	0,68612 / 0,68441	0,25358	0,00171	9,89	2536
7	26422	26358	-15	0,68612 / 0,68446	0,24222	0,00166	9,60	2422
8	26421	26376	-20	0,68608 / 0,68492	0,17032	0,00116	6,71	1703
9	26420	26399	-30	0,68602 / 0,68549	0,07948	0,00053	3,06	795
10	26419	26410	-40	0,68600 / 0,68577	0,03407	0,00023	1,33	341
11	26419	26415	-50	0,68599 / 0,68589	0,01514	0,00010	0,58	151
12	26419	26418	-60	0,68598 / 0,68595	0,00378	0,00003	0,17	38
13	26419	26418	-70	0,68598 / 0,68597	0,00757	0,00001	0,058	76
14	26419	26418	-71	0,68598 / 0,68597	0,00757	0,00001	0,058	76

15	26419	26419	-72	0, 68599 / 0,68598	0	0,00001	0,058	76
----	-------	-------	-----	--------------------	---	---------	-------	----

Таблиця 2 – Результати розрахунків витрат газу при температурі:
 $T = T_C = 288,15 \text{ K}$ ($t = 15^{\circ}\text{C}$), абсолютному тиску $P = P_C = 101,325 \text{ кПа}$

№ з/п	Q _{ВГ} , м ³ /Г	Q _{СГ} , м ³ /Г	t _p , °C	ρ _{ВГ} , кг/м ³ / ρ _{СГ} , кг/м ³	δ, %	ρ _{ПВ} , кг/м ³	φ, %	f, ppmV
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	26671	26101	20	0, 69921/ 0,68426	2,13710	0,01495	86,5	21371
2	26665	26234	15	0, 69891/ 0,68760	1,61635	0,01131	65,4	16163
3	26660	26337	10	0, 69867/ 0,69021	1,21155	0,00846	48,9	12115
4	26657	26417	5	0, 69849/ 0,69221	0,90033	0,00628	36,3	9003
5	26654	26479	0	0, 69835 / 0,69375	0,65656	0,00460	26,6	6566
6	26652	26525	-5	0, 69824 / 0,69491	0,47665	0,00333	19,3	4766
7	26651	26547	-8	0, 69819 / 0,69546	0,39023	0,00273	15,8	3902
8	26651	26560	-10	0, 69817 / 0,69578	0,34145	0,00239	13,8	3414
9	26650	26581	-14	0, 69812 / 0,69631	0,25891	0,00181	10,5	2589
10	26650	26583	-14,5	0, 69811 / 0,69637	0,25358	0,00174	10,1	2536
11	26650	26585	-15	0, 69811 / 0,69642	0,25141	0,00169	9,8	2514
12	26649	26604	-20	0, 69807 / 0,69689	0,16886	0,00118	6,8	1689
13	26648	26627	-30	0, 69801 / 0,69747	0,07880	0,00054	3,1	788
14	26647	26638	-40	0, 69799 / 0,69775	0,03377	0,00024	1,4	338
15	26647	26643	-50	0, 69798 / 0,69788	0,01501	0,00010	0,6	150
16	26647	26646	-60	0, 69797 / 0,69794	0,00375	0,00003	0,2	37
17	26647	26646	-65	0, 69797 / 0,69795	0,00375	0,00002	0,1	37
18	26647	26647	-70	0, 69797 / 0,69796	0	0,00001	0,06	0

Таблиця 3 – Результати розрахунків витрат газу при температурі:
 $T = T_C = 273,15 \text{ K}$ ($t = 0^{\circ}\text{C}$), абсолютному тиску $P = P_C = 101,325 \text{ кПа}$

№ з/п	Q _{ВГ} , м ³ /Г	Q _{СГ} , м ³ /Г	t _p , °C	ρ _{ВГ} , кг/м ³ / ρ _{СГ} , кг/м ³	δ, %	ρ _{ПВ} , кг/м ³	φ, %	f, ppmV
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	27382	27050	10	0, 73733 / 0,72840	1,21247	0,00893	51,6	12125
2	27378	27133	5	0, 73714 / 0,73053	0,89488	0,00661	38,2	8949
3	27376	27196	0	0, 73700 / 0,73215	0,65751	0,00485	28,0	6575
4	27374	27243	-5	0, 73689 / 0,73337	0,47856	0,00352	20,4	4785
5	27373	27266	-8	0, 73684 / 0,73396	0,39090	0,00288	16,7	3909
6	27372	27279	-10	0, 73681 / 0,73429	0,33976	0,00252	14,6	3398
7	27371	27300	-14	0, 73676 / 0,73485	0,25940	0,00191	11,0	2594
8	27371	27303	-14,5	0, 73675 / 0,73491	0,24844	0,00184	10,6	2484
9	27371	27305	-15	0, 73675 / 0,73497	0,24113	0,00178	10,3	2411
10	27370	27324	-20	0, 73670 / 0,73546	0,16807	0,00124	7,2	1681
11	27369	27348	-30	0, 73665 / 0,73607	0,07673	0,00058	3,3	767
12	27369	27359	-40	0, 73662 / 0,73637	0,03654	0,00025	1,4	365
13	27369	27365	-50	0, 73661 / 0,73651	0,01461	0,00010	0,6	146
14	27368	27367	-60	0, 73660 / 0,73657	0,00365	0,00003	0,2	36
15	27368	27368	-65	0, 73660 / 0,73658	0	0,00002	0,1	0

Таблиця 4 – Результати розрахунків витрат газу при температурі
 $T = T_c = 285,65 \text{ K}$ ($t = 12,5^{\circ}\text{C}$), абсолютному тиску $P = P_c = 101325 \text{ Па}$

№ з/п	$Q_{\text{ВГ}}, \text{ м}^3/\text{Г}$	$Q_{\text{СГ}}, \text{ м}^3/\text{Г}$	$t_p, ^{\circ}\text{C}$	$\rho_{\text{ВГ}}, \text{ кг/м}^3 / \rho_{\text{СГ}}, \text{ кг/м}^3$	$\delta, \%$	$\rho_{\text{ПВ}}, \text{ кг/м}^3$	$\varphi, \%$	$f, \text{ ppmV}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	26781	26348	15	0,70507 / 0,69366	1,61682	0,01141	66,0	16168
2	26778	26403	12,5	0,70494 / 0,69506	1,40040	0,00988	57,1	14004
3	26778	26413	12	0,70492 / 0,69532	1,36306	0,00960	55,5	13631
4	26776	26452	10	0,70483 / 0,69629	1,21004	0,00854	49,4	12100
5	26773	26532	5	0,70465 / 0,69832	0,90016	0,00633	36,6	9002
6	26770	26594	0	0,70451 / 0,69987	0,65745	0,00464	26,8	6574
7	26768	26640	-5	0,70440 / 0,70104	0,47818	0,00336	19,4	4782
8	26767	26663	-8	0,70435 / 0,70159	0,38854	0,00276	16,0	3885
9	26767	26675	-10	0,70432 / 0,70191	0,34371	0,00241	13,9	3437
10	26766	26696	-14	0,70427 / 0,70245	0,26152	0,00182	10,5	2615
11	26766	26699	-14,5	0,70427 / 0,70250	0,25032	0,00177	10,2	2503
12	26766	26701	-15	0,70426 / 0,70256	0,24284	0,00170	9,8	2428
13	26765	26720	-20	0,70422 / 0,70303	0,16813	0,00119	6,9	1681
14	26764	26743	-30	0,70417 / 0,70362	0,07846	0,00055	3,2	785
15	26763	26754	-40	0,70414 / 0,70390	0,03363	0,00024	1,4	336
16	26763	26759	-50	0,70413 / 0,70403	0,01495	0,00010	0,6	149
17	26763	26762	-60	0,70412 / 0,70409	0,00374	0,00003	0,2	37
18	26763	26763	-65	0,70412 / 0,70410	0	0,00002	0,1	0

Таблиця 5 – Результати розрахунків витрат газу для різних значень перепадів тисків, для діаметрів діафрагми $d_{20} = 240,04 \text{ мм}$ і трубопроводу $D_{20} = 404,50 \text{ мм}$ при температурі точки роси $t_p = -8^{\circ}\text{C}$ і температурі газу $T = T_c = 293,15 \text{ К}$

№ з/п	$\Delta P, \text{ кПа}$	$Q_{\text{ВГ}}, \text{ м}^3/\text{Г}$	$Q_{\text{СГ}}, \text{ м}^3/\text{Г}$	$\delta, \%$	$f, \text{ ppmV}$	Похибка $\delta_Q, \%$ **
1	2	3	4	5	6	7
7	6,3	92649	92640	0,00971	971	1,00
11	10	116684	116673	0,00943	943	1,00
12	16	147522	147508	0,00949	949	1,00
13	20	164881	164865	0,00970	970	1,00
14	25	184269	184252	0,00922	922	1,00
15	30	201773	201754	0,00942	942	1,00
16	35	217852	217831	0,00964	964	1,00
17	40	232801	232780	0,00902	902	1,00
18	45	246828	246804	0,00972	972	1,00
19	50	260080	260055	0,00961	961	1,00
20	55	272660	272634	0,00953	953	1,00
21	63	291635	291608	0,00926	926	1,00
22	101,325	368747	368713	0,00922	922	1,00
26	630	880915	880832	0,00942	942	1,03

27	980	1065967	1065867	0,00939	939	1,16
----	-----	---------	---------	---------	-----	------

Примітки:

* – похибка визначення витрати сухої частини вологого газу при температурі $t_p = -8^{\circ}\text{C}$ точки роси по волозі, абсолютному тиску газу $P = 3,92 \text{ МПа}$ та температурі газу $T = T_C = 293,15 \text{ К}$ у середньому складає 0,01 %;

** – значення похибок вимірювання витрати при розрахунку вимірювального комплексу δ_Q для перепадів тисків: від 1 кПа до 400 кПа – 1,0 %; 630 кПа - 1,03 % і 980 кПа - 1,16 %.

Густина парів води для розрахунків, що наведені в таблиці 5, дорівнює $\rho_{\text{пв}} = 0,003 \text{ кг/м}^3$, а значення відносної вологості - $\varphi = 17,35 \%$.

Перспективою подальших досліджень є розроблення методики та алгоритмів розрахунку кількості (об’єму) сухої частини вологого природного газу та програмного забезпечення для обчислювачів витрат вимірювальних комплексів, а також доповнення розробленою методикою міждержавний стандарт [2].

Висновки

1. Обґрунтованим значенням відносної вологості, яка обов’язково має доповнити стандартні умови вимірювання витрати та об’єму сухого природного газу є виконання умови $\varphi_C \leq 10 \%$ при значенні температури t_C точки роси по волозі, яка дорівнює (мінус) – $14,5^{\circ}\text{C}$.

2. Стандартні умови вимірювання доповнити стандартним значенням, що характеризує кондиційність природного газу, увівши додатково стандартні позначення відповідно відносної вологості φ_C , температури точки роси по волозі t_{pC} , вологовмісту f_C , тобто:

- $T_C = 293,15 \text{ К}$; $P_C = 101,325 \text{ кПа}$ і $\varphi_C = 10 \%$;
- $T_C = 293,15 \text{ К}$; $P_C = 101,325 \text{ кПа}$ і $t_{pC} = -14,5^{\circ}\text{C}$;
- $T_C = 293,15 \text{ К}$; $P_C = 101,325 \text{ кПа}$ і $f_C = 2600 \text{ ppmV}$.

3. Вибір і обґрунтування параметрів вологості до внесення їх значень у стандартні умови вимірювання підтверджені результатами розрахунків, що наведені в таблицях 1-4 і 5.

4. Для умов дії Технічної угоди між ВАТ “Газпром” і НАК “Нафтогаз України” при $t_p = -8^{\circ}\text{C}$ значення відносної вологості природного газу $\varphi_C > 10 \%$ і змінюється від 15,5 % до 17,35 %, що не забезпечує подачі кондиційного газу в газотранспортну систему України та відповідно газу в країни Західної Європи.

5. У всі діючі по витраті стандарти (міжнародні, міждержавні, національні, технічні умови, регламенти) внести запропоновані в п. 2 стандартні значення відповідно відносної вологості φ_C , температури точки роси по волозі t_{pC} , вологовмісту f_C , а умови Технічної угоди між ВАТ “Газпром” і НАК “Нафтогаз України” змінити на температуру точки роси по волозі $t_p = -14,5^{\circ}\text{C}$ замість попереднього значення $t_p = -8^{\circ}\text{C}$.

6. Методику виконання вимірювань [2] необхідно доповнити розробленою методикою, алгоритмами та програмним забезпеченням для вимірювання витрати та визначення кількості (об'єму) сухої частини вологого природного газу.

7. Для обчислювачів витрати вимірювальних комплексів необхідно розробити та впровадити програмне забезпечення розрахунку кількості (об'єму) сухої частини вологого природного газу.

Література

1. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. Изд-во стандартов. М.: 1982. – 319 с.
2. ГОСТ 8.586.5:2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Методика выполнения измерений. Часть 5. М.: Стандартинформ, 2007. - с. 149 –244.
3. ТУ У 320.00158764.007-95 Гази горючі природні, що подаються в магістральні газопроводи. Технічні умови.
4. ГОСТ 5542-87 Газ природный горючий для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.

<p>Крук И.С. Новые аспекты обоснования выбора физических параметров для стандартных условий измерения расхода В работе проведен анализ показателей качества природного газа, обоснован выбор значений для включения их в стандартные условия измерения при расчете расхода газа.</p>	<p>Kruk I. New aspects of choice reasoning of physical parameters for standard flow metering terms The paper analyze the quality factors of natural gas and the choice of their values to supplement the standard conditions of flow measuring of natural gas was reasoned.</p>
---	--

Надійшла до редакції
22 березня 2009 року

УДК 519.713

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ВИКИДАМИ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНОГО ЗАВОДУ

*Безрук З.Д., Порєв В.А., Харагоргієв С.М., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Показано, що за допомогою дворівневої системи моніторингу можна підвищити ефективність засобів контролю складу димових газів сміттєспалювального заводу. Запропоновано метод ідентифікації координат джерел забруднень атмосфери, який дозволяє знаходити розв'язок за порівняно невелику кількість ітерацій

Вступ

Особливе місце серед проблем екологічного моніторингу займають проблеми контролю забруднення атмосфери мегаполісів, де мешкає значна частина населення країни, і необхідно враховувати значні відмінності екологічних параметрів (промислова зона, рекреаційна зона, житловий масив).

Для ефективного та успішного вирішення цих проблем контроль забруднення атмосфери повинен базуватися на принципах достовірності та орієнтованості на забезпечення своєчасних управлінських рішень, що, в свою чергу, вимагає комплексного підходу до екологічного моніторингу.

Одними із найшкідливіших джерел забруднення атмосфери мегаполісів та навколишнього середовища є сміттєспалювальні заводи (ССЗ).

При спалюванні сміття утворюються високотоксичні викиди, що містять більш ніж 400 шкідливих хімічних сполук. Дослідження забруднення територій навколо ССЗ, що проводилися в 90-х роках в Україні, США, Японії та Європі, показали значні перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Проте, незважаючи на подальше вдосконалення технологічного обладнання, ССЗ до цього часу входять в число основних джерел забруднення навколишнього середовища [1].

При цьому локальні перевищення ГДК забруднюючих речовин в міській атмосфері спостерігаються досить часто, що в умовах одночасного функціонування значної кількості потенційних джерел забруднення породжує проблему їх ідентифікації та ускладнює прийняття ефективних управлінських рішень в сфері охорони навколишнього середовища.

Аналіз проблеми контролю забруднення атмосфери мегаполісів

Сучасні мобільні та стаціонарні автоматизовані системи екологічного моніторингу надають оперативну інформацію про забрудненість атмосфери найбільш небезпечними забруднювачами, що дозволяє оцінити поточну якість повітря в районах, де знаходяться станції моніторингу [2].

Але для ефективного екологічного моніторингу цієї інформації недостатньо, так як для оцінки впливу забруднень на населення та для прогнозування екологічних ситуацій необхідні дані про значення концентрацій викидів ССЗ на значній території мегаполісу.

Існуючі розрахункові методи дозволяють оцінювати концентрації шкідливих домішок в складі димових газів в двометровому шарі на рівні землі, а також в вертикальному та горизонтальному перерізі димового факела на відстані до 100 км від джерела. Розрахункові моделі враховують висоту та діаметр труби, температуру газів, які виходять з труби та повні витрати димових газів на перерізі труби, середню по перерізу труби швидкість газів, властивості атмосфери та метеорологічні дані (температуру навколишнього середовища, швидкість вітру).

Однак, ефективність такої схеми екологічного моніторингу мегаполісу не може вважатися задовільною через низьку достовірність розрахункових моделей, яка залежить від точності задання параметрів атмосфери, серед яких найважливішу роль відіграють дані про швидкість і напрям вітру в точці розташування джерела викидів. Але стан атмосфери та її стабільність у часі і просторі є складними, динамічними функціями висоти, тому моделювання процесу поширення забруднень при значній нестабільності атмосфери в ближній до дже-

рела викидів зоні, яке базується на даних метеостанцій для фіксованих координат і значень висоти, пов'язане із значними похибками.

Отже, підвищення достовірності та інформативності екологічного моніторингу атмосфери мегаполісів неможливе без підвищення ефективності інструментальних засобів та вдосконалення методів розрахунку приземних концентрацій викидів сміттєспалювального заводу, в тому числі і за рахунок отримання додаткової інформації про джерела та чинники, які впливають на стан атмосферного повітря.

Метою даної роботи є дослідження можливості підвищення ефективності інструментальних засобів контролю складу димових газів та вдосконалення підходів до моделювання розповсюдження шкідливих речовин шляхом визначення причин зміни стану забрудненості повітря.

Підвищення ефективності засобів контролю складу димових газів

На сьогодні вже практично використано точностний потенціал засобів контролю складу димових газів і в цьому плані подальше підвищення достовірності екологічного моніторингу та покращення екологічної ситуації можливе тільки внаслідок розширення функціональних можливостей наявних інструментальних засобів, наприклад, за рахунок створення дворівневої ієрархії функціонування. При цьому до рівню екологічного моніторингу додається рівень технологічного моніторингу димових газів, які виникають під час технологічних процесів. При відповідному керуванні режимами горіння оптимізується сам технологічний процес, знижується споживання сировини і енергоносіїв, та поліпшуються екологічні та економічні показники підприємства.

Типова газоаналітична система контролю (ГАСК) складається з комплексу автоматичних стаціонарних газоаналізаторів для вимірювання концентрацій димових газів (CO , SO_2 , NO_x , CH) з системою відбору і підготовки проби, сенсорів-вимірювачів температури, тиску і інших параметрів димового потоку [3]. На сьогодні ГАСК знайшли найбільше розповсюдження в Західній Європі, США і Японії (західна класифікація таких систем – СЕМС).

АТ “Украналіт” на базі типової ГАСК вперше в СНД розробив і впровадив в промислову експлуатацію на київському ССЗ “Енергія” дворівневу систему екологічного і технологічного моніторингу та оптимізації процесів горіння [4].

Перший рівень системи представляє собою чотири комплекти газоаналітичних комплексів ТК-1, по одному на кожен з 4-х котлоагрегатів ССЗ. Комплекс ТК-1 складається з високочутливого газоаналізатора 151ЭХ02, що вимірює концентрацію кисню (O_2) у зоні виходу продуктів горіння кожного котла. Високотемпературний зонд газоаналізатора 151 ЭХ02 через фланець у стінці котлоагрегату вводиться безпосередньо в камеру згоряння сміття. На торці зонда знаходиться цирконієвий сенсор-датчик (ZiO_2), здатний працювати і проводити виміри O_2 в зоні високих температур $\sim 600^\circ\text{--}800^\circ\text{C}$. Конструкція газоаналізатора дозволяє експлуатацію без складних пристроїв пробовідбору і пробопідго-

товки та забезпечує довгостроковий режим експлуатації в екстремальних умовах.

Контроль кисню в енергетичних установках визначається необхідністю забезпечення оптимального співвідношення паливо/повітря в процесі горіння. Якщо згорання повне, то його продукти складаються тільки з інертних компонентів, тобто нездатних до подальшого окислювання газів. Це здебільшого водяний пар, CO_2 . При недостатності кисню окислювання вуглецю є неповним, отже, наявність CO в димових газах говорить про неефективність використання енергоресурсів. Якщо процес спалювання не відповідає оптимальним технологічним умовам, то в продуктах згорання з'являються горючі компоненти — CO , H_2 , і CH_4 .

До складу комплексу входить також багатоканальний газоаналізатор 325 ФА01, який вимірює концентрації оксиду і діоксиду вуглецю (CO , CO_2), сумарних вуглеводнів (НС) на вихідному газоході кожного з котлоагрегатів. В газоаналізаторі 325ФА01 вперше застосована оптична схема з однією вимірювальною кюветою, яка дозволяє одночасно вимірювати концентрації CO , CO_2 , CH_4 в широкому діапазоні концентрацій з високою точністю.

Комплекси ТК-1 дозволяють у реальному часі вимірювати склад димових газів кожного з 4 котлоагрегатів і корегувати співвідношення повітря/паливо для оптимізації процесів горіння і зменшення токсичних викидів в атмосферу.

Другий рівень системи являє собою екологічний комплекс ЕК-1, встановлений на вихідних газоходах після пилових електрофільтрів. Основу комплексу складає газоаналізатор "СПЕКТР 4", в якому вперше впроваджена багатоходова оптична кювета для вимірювання концентрації CO , SO_2 , NO_x у широкому діапазоні концентрацій. Така оптична схема дозволяє досягти високої чутливості при похибці вимірювань не більше $\pm 3\%$, реалізувати принцип багатоканальності вимірювань в одному приладі.

Комплекси ТК-1 і ЕК-1 відповідають вимогам методичної та інструментальної однорідності, що означає застосування єдиної методики в межах кожного з функціональних блоків та використання уніфікованої технічної бази.

Вдосконалення методу ідентифікації координат джерел забруднень

Збільшення інформативності моніторингу можливе завдяки отриманню додаткової інформації про джерела та чинники, які впливають на стан атмосферного повітря. Для цього зазвичай застосовується ітераційний метод при якому початкові параметри моделювання оптимізуються так, щоб його результати найкраще відповідали даним вимірювань [5].

Ітераційний метод є особливо ефективним в локальному масштабі розсіювання забруднень (масштаб міста), при можливості застосування порівняно простих та швидкодіючих моделей розсіювання забруднень. Проблемами ітераційного методу є низька достовірність, обумовлена його чутливістю до похибок у даних вимірювань та необхідність значної кількості ітерацій (до 10^4) алгоритму оптимізації [6].

Нами показано, що внаслідок збільшення швидкості пошуку можна вдосконалити метод ітераційного розв'язування обернених задач розсіювання забруднень в локальних масштабах.

Задамо n точок вимірювання концентрацій забруднень з координатами

$$X_i, Y_i, i=1, n. \quad (1)$$

В цих точках на протязі певного часу вимірюється концентрація забруднень C_{ik} в моменти часу t_k

$$C_{ik}, k=1, l. \quad (2)$$

Зміна концентрацій забруднень пов'язана з впливом m джерел забруднень, координати яких позначимо

$$X_j^*, Y_j^*, j=1, m$$

На рис. 1 приведено дані вимірювань концентрацій CO, які отримані постом автоматизованого моніторингу "Атмосфера-10" протягом 10 діб. Можна бачити, що на рівні деякої фонові концентрації забруднень, яка суттєво не змінюється на протязі доби, спостерігаються збільшення концентрацій у декілька разів, викликані впливом певних джерел.

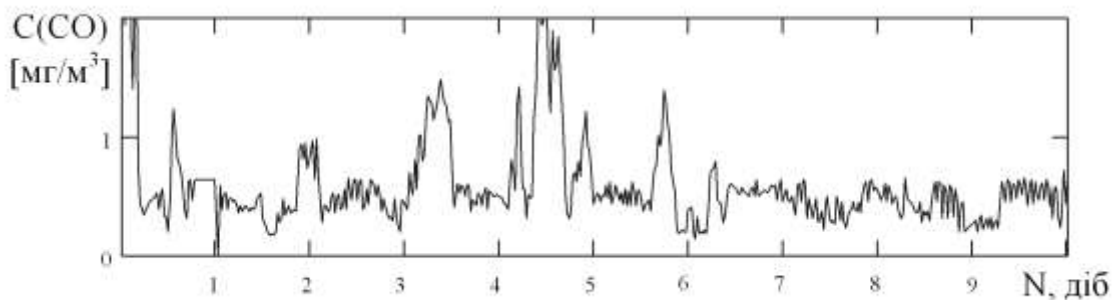


Рис. 1. Дані моніторингу, отримані станцією "Атмосфера-10"

Якщо вважати метеорологічні умови сталими, то розрахована результуюча концентрація забруднень в точці i , перенесена з джерела j , залежить від координат джерела та точки вимірювання

$$C_{ijk}^* (X_i, Y_i, X_j^*, Y_j^*), i=1...n, j=1...m, k=1...l. \quad (3)$$

Оскільки на кожну точку вимірювання впливають кілька джерел, сумарна концентрація може бути розрахована як сума

$$C_{ik}^* = \sum_{j=1}^m C_{ijk}^* (X_i, Y_i, X_j^*, Y_j^*), i=1...n, k=1...l. \quad (4)$$

При цьому розрахована концентрація забруднень буде близькою до вимірюваної концентрації C_{ik}

$$C_{ik} \approx C_{ik}^*. \quad (5)$$

У випадку, коли координати джерел (X_j^*, Y_j^*) невідомі, вони можуть бути знайдені внаслідок пошуку таких значень, при яких розрахована концентрація

найближча до вимірюваної. Отже, йдеться про мінімізацію розходження між розрахунковими та вимірюваними концентраціями, що можна сформулювати як оптимізацію за критерієм розбіжності між розрахунковими та вимірюваними даними. В подібних задачах розбіжність характеризують середнім квадратом різниць між порівнюваними даними

$$F(X_j^*, Y_j^*) = \sum_{i=1}^n (C_i - C_i^*)^2 \rightarrow \min_{X_j^*, Y_j^*}, i=1 \dots n, j=1 \dots m, \quad (6)$$

де $C_i = \sum_{k=1}^l C_{ik}$, $C_i^* = \sum_{k=1}^l C_{ik}^*$, $k=1 \dots l$.

Розв'язком вихідної задачі буде розв'язок задачі мінімізації

$$F(X_j^*, Y_j^*) \rightarrow \min_{X_j^*, Y_j^*, j=1 \dots m}. \quad (7)$$

Внаслідок проведеного нами аналізу встановлено, що методи оптимізації, які мають стохастичну складову, наприклад, метод “рою частинок”, дозволяють отримувати розв'язок за менше число ітерацій.

Метод “рою частинок” полягає в ітераційному розрахунку за кількома евристичними координатами та швидкостями абстрактних частинок, що рухаються в багатовимірному просторі пошуку. Координати частинки відповідають набору шуканих параметрів, для кожного з яких розраховується значення критерію оптимізації. Пошук закінчується прибуттям всіх частинок до точки глобального мінімуму.

В даній роботі пропонується вдосконалення критерію оптимізації, що підвищує ефективність методу рою частинок. Критерій оптимізації розбіжності між даними вимірювань та розрахунковими даними у вигляді (6) не враховують значимість даних. Аналіз типових даних моніторингу (рис. 1) дає змогу припустити, що характерною для вихідних даних ознакою є координати пікових значень, які виділяються над фоновим рівнем. Розглядаючи при розрахунку критерію лише пікові значення, можна спростити процедуру порівняння, а також зменшити чутливість пошуку до незначних змін вихідних даних. Пікові значення знаходяться будь-яким методом та нормуються в діапазоні [0..1]. Фоновий рівень відкидається шляхом віднімання. Чисельно критерій може бути виражений як сума різниць між піковими значеннями результатів моделювання і даних вимірювань. Окрім цього, необхідно врахувати розбіжності в кількості пікових значень.

Для розрахунку критерію використовуються наступні вихідні дані

$\hat{x}_i, \hat{y}_i, i=1 \dots N$ – координати пікових значень, отриманих при вимірюваннях;

$\bar{x}_j, \bar{y}_j, j=1 \dots M$ – координати пікових значень, отриманих при моделюванні, за

деякими початковими умовами;

N – кількість пікових значень, отриманих при вимірюваннях;

M – кількість пікових значень, отриманих при моделюванні;

K – коефіцієнт, що задає вплив на значення критерію різниці кількостей пікових значень, прийmemo $K=10$;

Для розрахунку критерію F використаємо алгоритм, що складається з наступних кроків.

1. Прийняти $F=0$.
2. Для кожного значення $i=1..N$, якщо $N < M$, або $i=1..M$, якщо $N > M$:
 - а) знайти таке значення j , що $|\hat{x}_i - \bar{x}_j| \rightarrow \min$;
 - б) обчислити $F_i = |\hat{x}_i - \bar{x}_j| + |\hat{y}_i - \bar{y}_j|$;
 - в) обчислити $F = F + F_i$
3. Обчислити $F = F + |N - M| \cdot K$.

На рис. 2 показаний приклад даних, нормованих в діапазоні $[0..1]$, для яких показані координати пікових значень, що використовуються при розрахунку критерію.

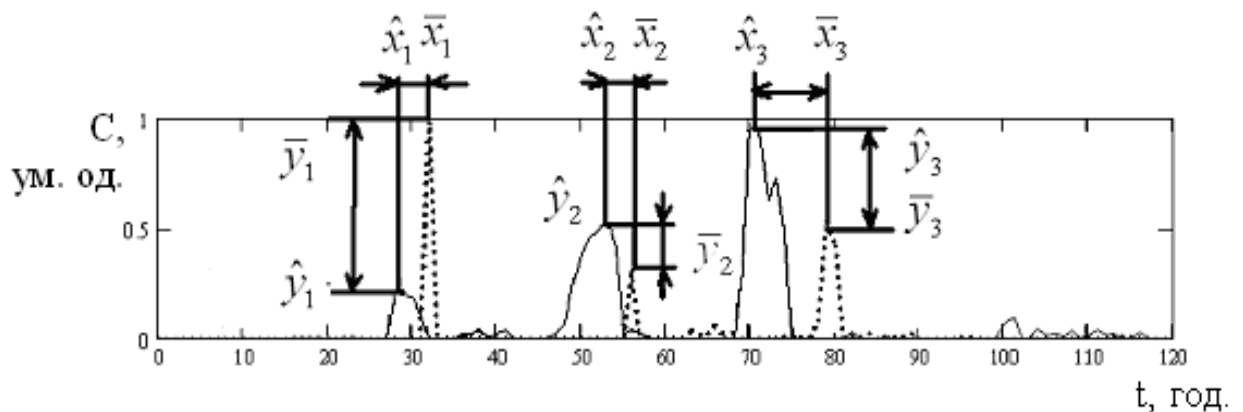


Рис. 2. Відстані між характеристичними точками наборів даних для оцінки розходження між даними, що використовується в якості критерію оптимізації

Для даного прикладу при $N = M = 3$ маємо

$$F = (|\hat{x}_1 - \bar{x}_1| + |\hat{y}_1 - \bar{y}_1| + |\hat{x}_2 - \bar{x}_2| + |\hat{y}_2 - \bar{y}_2| + |\hat{x}_3 - \bar{x}_3| + |\hat{y}_3 - \bar{y}_3|).$$

Отже, внаслідок цих розрахунків значення F буде тим більше, чим більша розбіжність між даними моделювання та вимірювань.

Для спрощення розробки тестового програмного забезпечення в якості такої моделі використана модель ISC3ST, що реалізована як окремий модуль. Ця модель стандартизована агентством з охорони навколишнього середовища США [7] та відкрита для вільного використання.

Результати досліджень та їх аналіз

Для перевірки однозначності рішення оберненої задачі і збіжності до рішення внаслідок оптимізації використаємо імітацію даних вимірювань, отриману за допомогою моделювання.

Задамо певний сценарій розсіювання забруднень, тобто оберемо (довільно) розташування джерел і точок вимірювання та метеорологічні умови за певний

період. Проведемо моделювання, отримавши зміну концентрації в точках вимірювання та використаємо ці дані замість даних реальних вимірювань.

У випадку кількох джерел зручним для аналізу параметром є ступінь впливу кожного окремого джерела на загальну концентрацію. Виразимо цей вплив як коефіцієнт, що дорівнює відношенню розрахованої концентрації забруднень, перенесених з джерела в точку, до сумарної концентрації в точці за весь час вимірювань

$$K_i = \frac{\sum_{k=1}^l C_{ijk}^*}{\sum_{k=1}^l C_{ik}^*} \cdot 100\%, i = 1 \dots n, j = 1 \dots m. \quad (8)$$

Оберемо тестові умови (рис. 4): в області площею 100 км² розташована точка моніторингу (1) та два джерела викидів (2) та (3), вклад яких в концентрацію забруднень в точці (1) складає, відповідно, 18% та 81%. За даними моделювання застосуємо методику пошуку джерел, вважаючи їх координати невідомими параметрами.

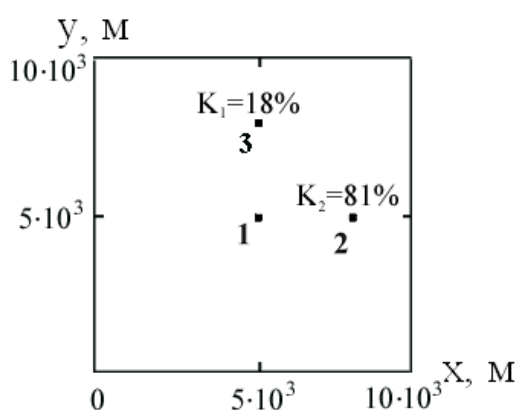


Рис. 3. Приклад сценарію тестування: 1 – точка, для якої розраховується імітація вимірювань; 2, 3 – модельні джерела забруднень; K_1 , K_2 – коефіцієнти за формулою (7)

Результати застосування методики, за якими можна бачити процес сходження пошуку до оптимального рішення, показано на рис. 4. Порівняння рис.3 та рис 4d показує, що пошук координат джерел забруднень збігається до координат, заданих початково. Співпадають також, з незначним відхиленням, знайдені за формулою (8) коефіцієнти впливу.

Ці результати на основі тестування з використанням синтетичних вхідних умов показують принципову можливість ідентифікації джерел забруднень.

Порівняння отриманих результатів з результатами інших робіт може бути лише якісним, оскільки при схожій меті, постановки задач суттєво відрізняються.

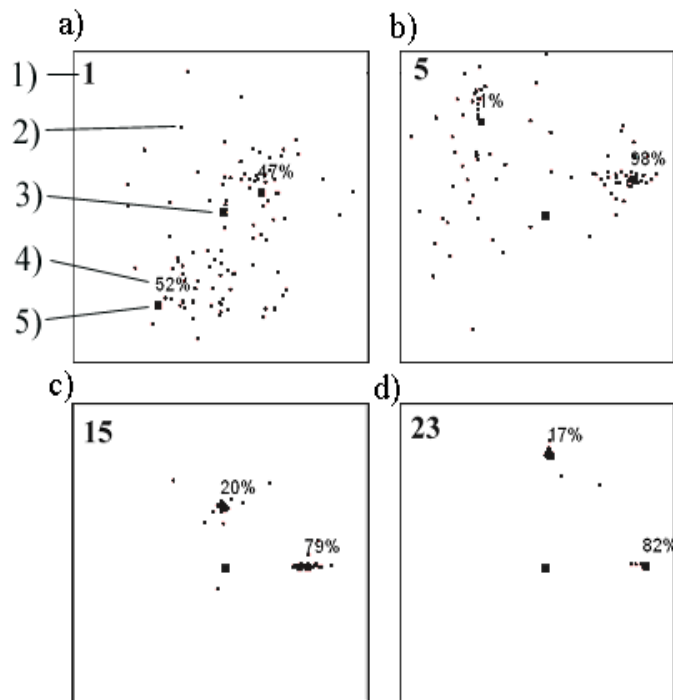


Рис 4. Процес пошуку координат джерел. 1) номер ітерації; 2) частинки в просторі пошуку; 3) точка вимірювань; 4) коефіцієнт впливу за (8); 5) найкраще поточне наближення

Наприклад, в роботі [6] приймаються відомими координати джерел і координати точок вимірювання, отже, пошук проводиться лише для коефіцієнтів впливу джерел. На основі аналізу таких даних за достатній період часу можна встановити зони найбільшого екологічного ризику для людини.

Висновки

За допомогою дворівневої системи моніторингу можна підвищити ефективність інструментальних засобів контролю складу димових газів ССЗ, оптимізувати процес горіння, знизити витрати палива, зменшити шкідливі викиди в атмосферу на 10-15 %, збільшити кількість спалюваного сміття на питому одиницю палива.

Запропонований підхід до ідентифікації координат джерел забруднень атмосферного повітря відрізняється вдосконаленим методом пошукової оптимізації та алгоритмом розрахунку критерію оптимізації.

Метод пошукової оптимізації порівняно з аналогічними методами дозволяє знаходити наближений розв'язок у великому просторі пошуку за порівняно невелику кількість ітерацій.

Практична реалізація і тестування алгоритму пошуку показали його задовільну збіжність, оскільки знайдені в результаті координати з незначним відхиленням співпадають з заданими. Розроблене тестове програмне забезпечення

можна використати в якості основи для створення програмного продукту аналізу реальних даних автоматичних станцій екологічного моніторингу з метою ідентифікації джерел забруднення.

За результатами моделювання можна визначати зони для встановлення додаткових інструментальних засобів моніторингу.

Література

1. Гринин А.С.,Новиков В.Н. Промышленная переработка и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка. –М.:ФАИР-ПРЕСС, 2002.-336с.
2. Дашковский А.А., Рыжков В.Ф. Автоматические станции контроля загрязнения атмосферы в экологическом мониторинге Украины // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. –2003. № 1 – С.10-12.
3. Приміський В.П. Багатоканальний газоаналітичний комплекс для оптимізації процесу горіння і екологічного моніторингу сміттєспалювального виробництва// Вісник НТУУ “КПІ” Приладобудування № 24, 2002.-с. 93-98.
4. Приміський В.П., Визнюк А.А., Безрук З.Д. Створення систем технолого-екологічного моніторингу забруднення атмосфери // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. Київ. № 2, 2004. с. 66-71.
5. Seibert P. Methods for source determination in the context of the CTBT radionuclide monitoring system // Proceedings Informal Workshop on Meteorological Modelling in Support of CTBT Verification, 2000.
6. Haupt S. A demonstration of coupled receptor/dispersion modeling with a genetic algorithm // Atmospheric Environment. –2005, №39, P. 7181–7189.
7. Guideline on Air Quality Models (Revised) and Supplements. — EPA-450/2-78-027R et seq., published as Appendix W to 40 CFR Part 51 (7-1-99 Edition). U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, 1999.

<p>Безрук З.Д., Порев В.А., Харагоргієв С. М. Усовершенствование методов и средств контроля загрязнения атмосферы выбросами мусоросжигающих заводов При помощи двухуровневой системы мониторинга можно повысить эффективность средств контроля дымовых газов мусоросжигающего завода. Предложен метод идентификации координат источника загрязнения, позволяющий находить решение в течение сравнительно небольшого количества итераций.</p>	<p>Bezruk Z.D., Poryev, V.A. Haragorgiev S.M. Improving the means for the control of atmospheric pollutions caused by exhaust of waste-processing plants It is shown that by using the two-tiered system of monitoring it is possible to raise the efficiency of means used to control of the exhaust gases in the waste-processing plant. A method to identify the coordinates of pollution sources is proposed. This method allows for the solution in a relatively low number of iterations.</p>
---	--

*Надійшла до редакції
8 травня 2009 року*