

New Zealand. Prepared by a Joint Working Group of the Ministry for the environment, local authorities, and petroleum marketing companies Ministry for the environment. – PO Box 10362, Wellington, New Zealand, December 1998. 10. Le brevet d'invention République Française INT CL⁸ E 03 F 5/16 (2006.01). Separateur a hydrocarbures destine au traitement d'eaux de ruissellement/ Le Prince Guy.– № 2932825; date of depot: 18.06.2008; date du public de la demande: 25.12.2009, bull. № 09/52. 11. Montgomery J. M. Water treatment principles and design. – John Wiley and Sons, New York, 1981. – pp. 135-151. 12. Patent GB INT CL BOID 17/04 (2006.01). Oil/water separator for use in drainage systems/ Car W.A., Taylor S.– № 2423299; date of filing: 17.02.2006; date of a publication: 23.08.2006, appl. № 0603234.6. 13. Patent GB INT CL⁷ BOID 17/028 17/032 17/035. Separator for glycol or other de-icing additives from water/ Burt D.A.– №2366745; date of filing: 14.09.2000; date of a publication: 20.03.2002, appl. № 0022574.8. 14. Romano F. Oil and water don't mix: the application of oil-water separation technologies in stormwater quality management. – Office of water quality, municipality of metropolitan seattle, WA, 1990. 15. Rommel W., Blass E., Meon W. Plate separators for dispersed liquid-liquid systems: multiphase flow, droplet coalescence, separation performance and design. – Chemical engineering science, volume 47, number 3, 1992. – P. 555–564. 16. Wilbur N. L. Petroleum Refinery Engineering. – McGraw-Hill Book Company, New York, 1969.

УДК 629.113.06:628.83

С.С. Жуковський, О.М. Довбуш
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ТЕРМІЧНО-ТИСКОВІ ВПЛИВИ В ГАЗОПОВІТРЯНОМУ ТРАКТІ ТЕПЛОГЕНЕРУВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ І ДИМОПРОВІДНІЙ ТРУБИ

О Жуковський С.С., Довбуш О.М., 2011

Обгрунтовано визначення величини перепаду термоспонуканих тисків у газоповітряному тракті теплогенерувального устаткування і біля верхівки димопровідної труби.

Ключові слова: перепад термоспонуканих тисків, конвекційний струмінь, газоповітряний тракт.

In the article the method of determination the calculation size of overfall thermal pressures (TP) in gas tract of heat equipment and near the top of gas pipe is grounded.

Key words: overfall of thermal pressures, convective stream, gas tract.

Постановка проблеми. Визначення величини перепаду термоспонуканих тисків (ТСТ) у газоповітряному тракті теплогенерувального устаткування і у димопровідній трубі потребує уточнення та обгрунтування на підставі визначальних чинників впливу. Величину тяги пов'язують із висотою димопровідної труби і різницею густин навколишнього зовнішнього повітря і димових газів у трубі без врахування величини термотискових впливів у генераторі тепла (котлі) і біля верхівки труби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрізняють такі схеми газоповітряних трактів теплогенерувального устаткування [1]:

- з «природною тягою», створюваною димопровідною трубою;

- із засмоктуванням повітря і видаленням продуктів згорання палива (надалі продуктів згорання «диму») вентилятором для диму (продуктів згорання) і димопровідною трубою;
- з нагнітанням повітря вентилятором і видаленням продуктів згорання вентилятором для диму і трубою;
- з нагнітанням повітря роздільно в пилоприготувальне устаткування і паливник (топку) та видаленням продуктів згорання вентилятором для диму і димопровідною трубою;
- з нагнітанням повітря вентилятором і виштовхуванням продуктів згорання внаслідок плюсового надлишкового тиску в газовому тракті.

У теплогенерувальному устаткуванні, що функціонує внаслідок природного перепаду ТСТ, створюваного «димопровідною трубою», а також із засмоктуванням повітря і видаленням продуктів згорання через димопровідну трубу вентилятором для диму, сумарний тисковий потенціал Δp повинен перевищувати сумарні втрати тиску в газоповітряному тракті $\Delta p_{\text{втр}}$ [1–5]:

$$\Delta p = (1,1 \dots 1,2) \cdot \Delta p_{\text{втр}} ; \quad (1)$$

$$\Delta p_{\text{втр}} = \Delta p_{\text{п}} + \Delta p_{\text{к}} + \Delta p_{\text{ш}} + \Delta p_{\text{діл}} , \quad (2)$$

де $\Delta p_{\text{п}}$ – мінімальне розрідження в паливнику, Па ($\Delta p_{\text{п}} = 30$ Па); $\Delta p_{\text{к}}$ – аеродинамічний опір котла, Па; $\Delta p_{\text{ш}}$ – аеродинамічний опір шибера за котлом, Па ($\Delta p_{\text{ш}} = 10$ Па); $\Delta p_{\text{діл}}$ – втрати тиску в ділянці, що з'єднує котел з димопровідною трубою, Па.

З формули (2) видно, що величину $\Delta p_{\text{п}}$ не можна сумувати з іншими трьома плюсовими складниками, оскільки вона є зі знаком «мінус». Отже, рівність у вигляді (2) не є коректною.

Окрім цього, в рівності (2) не враховані втрати тиску в димопровідній трубі і в повітропроводі, в межах від повітрозабору до паливника.

Вважається, що перепад ТСТ створює вертикальна димопровідна труба, причому ця умова однозначно не обґрунтована визначальними чинниками впливу. Величину перепаду ТСТ («тягу») в димопровідній трубі рекомендовано визначати за формулою [1–5]:

$$\Delta p_{\text{ттр}} = h_{\text{тр}} \cdot (\rho_{\text{з}} - \rho_{\text{г}}) \cdot g , \text{ Па} \quad (3)$$

де $h_{\text{тр}}$ – висота димопровідної труби (різниця вертикальних відміток верхівки і дна труби), м; $\rho_{\text{з}}$ – густина межевого зовнішнього повітря при температурі холодної п'ятиденки, кг/м^3 ; $\rho_{\text{г}}$ – густина димових газів в межах труби за середньої температури цих газів по її довжині, кг/м^3 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Мета і задачі дослідження. Обґрунтовано встановити визначальні чинники термічно-тискових впливів в газоповітряному тракті теплогенерувального устаткування, включно з димопровідною трубою, а також запропонувати уточнений метод визначення величини перепаду ТСТ.

Наукова новизна одержаних результатів. Відомо, що умови природної конвекції характеризуються модифікованим числом Архімеда:

$$Ar = \frac{g \cdot l}{\nu_{\text{к}}^2} \cdot \left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \right) , \quad (4)$$

де ρ_1, ρ_2 – відповідно, густини газу на границях процесу (наприклад у конвекційному струмені і в навколишньому повітрі), кг/м^3 ; $\nu_{\text{к}}$ – середня за витратою швидкість, наприклад, в шийці конвекційного струменя, м/с; l – характерний розмір струменя, м.

Похідним від числа Ar є модифіковане число Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot l}{\nu_{\text{к}}^2} \cdot \beta \cdot (t_1 - t_2) , \quad (5)$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення, $1/\text{К}$; t_1, t_2 – відповідно температури газу на границях процесу.

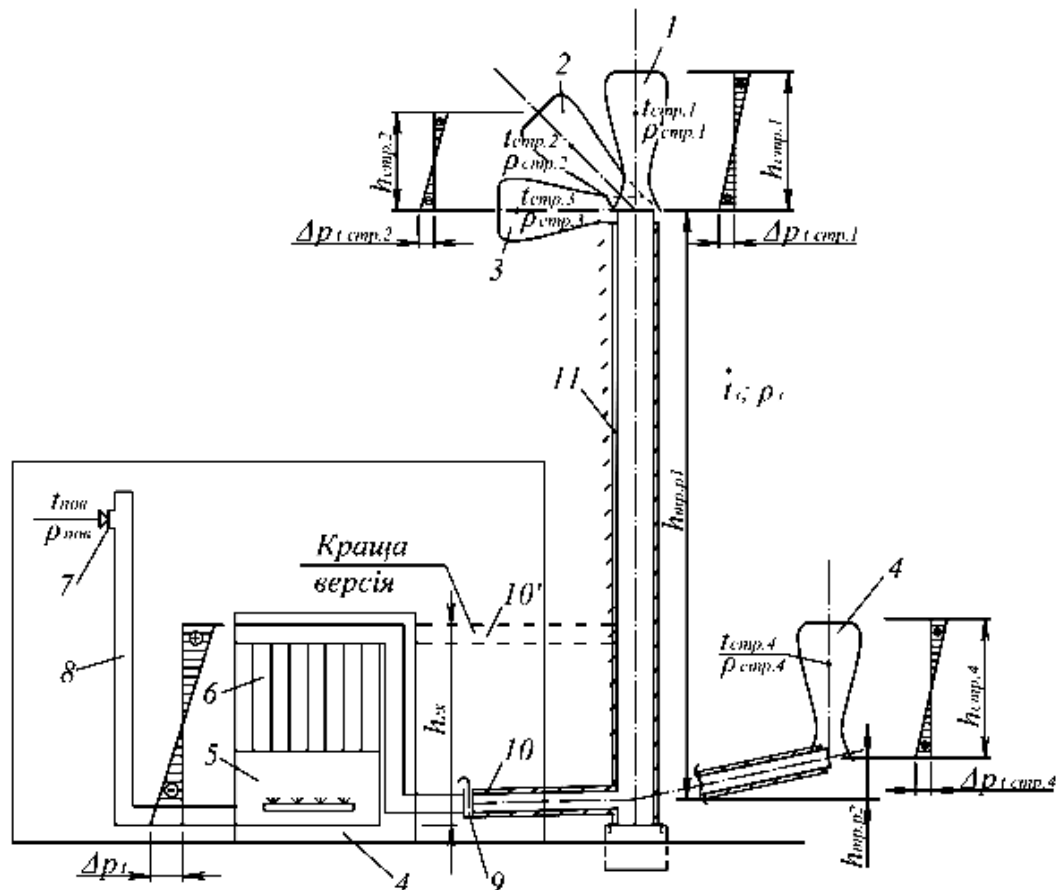
Внаслідок теплоенергетичного живлення конвекційних струменів продуктами згорання палива в межах висоти газоходів котла виникає перепад ТСТ величиною:

$$\Delta p_{t_{ГХ}} = h_{ГХ} \cdot (\rho_{пов} - \rho_{Г.сер}) \cdot g, \quad (6)$$

де $\rho_{пов}$ – густина внутрішнього повітря в межевій зоні отвору повітрязабору; $\rho_{Г.сер}$ – середня густина продуктів згорання в пристельовому просторі газоходів котла; $h_{ГХ}$ – вертикальна відстань від підлоги паливника до стелі газоходів, м.

При підлозі паливника («топки») наявне максимальне розрідження, а при стелі газоходів – максимальний плюсовий надтиск (рис. 1).

Розраховані за формулою (6) величини перепаду ТСТ Δp_t за різних $h_{ГХ}$ і $t_b = 25$ °С та $t_{Г.сер} = 700$ °С наведено в табл. 1.



Умовна схема газоповітряного тракту теплогенерувального устаткування та димовідвідної труби з етюрами перепаду ТСТ:

- 1 – вертикальний струмінь диму висотою $h_{стр.1}$ за майже безвітряної погоди; 2 – нахилений струмінь диму висотою $h_{стр.2}$; 3 – горизонтальний струмінь диму ($h_{стр.3} = 0$); 4 – струмінь диму за нахиленої димової труби висотою $h_{стр.4} \approx h_{стр.1}$ за безвітряної погоди; 4 – котел; 5 – паливник (топка); 6 – вертикальні газоходи; 7 – повітрязабір; 8 – повітропровід; 9 – шибер; 10 – ефективно теплоізолюваний димпровід; 11 – ефективно теплоізолювана димпровідна труба з розрахунковою висотою (довжиною) $h_{стр.п.1}$

Цифрові величини, наведені в табл. 1, вказують на незначні перепади ТСТ, що виникають в котлі.

Достатньо значний перепад ТСТ $\Delta p_{t_{стр}}$ виникає біля кінцівки димової труби при витоку диму (гарячих продуктів згорання палива) в прохолоднішу атмосферу і формування, наприклад, вертикально скерованого неізотермічного (конвекційного) струменя висотою $h_{стр.1}$ (рисунок). Величину цього перепаду ТСТ можна наближено визначити за формулою:

$$\Delta p_{t \text{ стр}} = h_{\text{стр}} \cdot (\rho_3 - \rho_{\text{стр.сер}}) \cdot g \quad (7)$$

де $h_{\text{стр}}$ – висота димового струменя над верхнім рівнем труби, м; ρ_3 – густина межевого з верхівкою труби атмосферного повітря (рекомендовано приймати при $t_3 = t_{x.5}$, де $t_{x.5}$ – нормативна температура холодної п'ятиденки), кг/м³; $\rho_{\text{стр.1}}, \dots, \rho_{\text{стр.4}}$ – середні густини димових струменів, що виникають біля верхівки димопровідної труби (вертикальної і нахиленої), кг/м³.

Таблиця 1

Величини перепаду ТСТ $\Delta p_{t \text{ ГХ}}$, що виникає в котлах середньої теплопродуктивності з різною висотою газоходів $h_{\text{ГХ}}$ (початкові умови $t_{\text{в}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ та $t_{\text{Г.сер}} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$)

$h_{\text{ГХ}}, \text{ м}$	1	2	3	4	5
$\Delta p_t, \text{ Па}$	8,0	16,1	24,2	32,2	40,3

З рисунка видно, що за вертикальної димопровідної труби за вертикально скерованого димового струменя величина $\Delta p_{t \text{ стр.1}}$ буде найбільшою, оскільки $h_{\text{стр.1}} > h_{\text{стр.2}} > h_{\text{стр.3}}$. Отже в цьому випадку величина сумарного перепаду ТСТ в котлі і біля кінцівки димопровідної труби, внаслідок дії неізотермічного димового струменя $\Delta p_{t \text{ сум}} = \Delta p_{t \text{ Г.Х}} + \Delta p_{t \text{ стр.1}}$ буде найбільшою.

Оскільки на величину $\Delta p_{t \text{ стр}}$ впливає середня густина струменя, величина якої пов'язана з початковою густиною диму в кінцівці труби, а отже, із його температурою, то потрібно уникати зменшення тепловтрат від труби в довкілля, наприклад, внаслідок її ефективного теплоізолювання, і відповідної мінімізації температури продуктів згорання по довжині.

З рис. 1 видно, що значний перепад ТСТ виникає і біля кінцівки умовно горизонтальної димопровідної труби з вертикально скерованим неізотермічним димовим струменем 4, причому $\Delta p_{t \text{ стр.4}} \approx \Delta p_{t \text{ стр.1}}$ (при $h_{\text{стр.4}} = h_{\text{стр.1}}$) та інших однакових початкових умовах.

Результати спостережень за висотою димових струменів, що виникали біля верхівки димової труби Львівської ТЕЦ-1 (висотою 100 м) у безвітряну погоду, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Висота димового неізотермічного струменя, що спостерігався над верхівкою димової труби Львівської ТЕЦ-1

Дата заміру		23.02.2011	24.02	25.02	1.03	3.03	5.03	9.03.
Температура приземного зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$		-8	-8	-9	-5	-4	-3	0
Температура продуктів згорання на виході з котла, $^\circ\text{C}$		160	160	160	160	160	160	160
Висота димового струменя над верхівкою труби, м	12^{00}	30	40	40	20	20	10	15
	12^{30}	60	80	70	40	20	10	10
Швидкість вітру в приземному шарі, м/с		2-3	3-5	3-5	4-5	4-5	3-5	4-5

Розрахункові перепади ТСТ, які виникають внаслідок дії вертикально скерованого димового неізотермічного струменя різної висоти при $t_{x.5} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ і початковій температурі струменя $+160 \text{ }^\circ\text{C}$, наведені в табл. 3.

Розрахункові перепади ТСТ від вертикально скерованих димових струменів різної висоти за початкової температури 160 °С та температури межевого атмосферного повітря $t_3 = -20$ °С

Початкова температура димового струменя, °С	160	160	160	160
Висота димового струменя, м	10	20	30	40
Висота димопровідної труби, м	10	20	30	40
Перепад ТСТ димового струменя $\Delta p_{t \text{ стр}}$, Па	41,5	83,0	124,5	166,0
Перепад ТСТ («тяга») димової труби $\Delta p_{t \text{ тр}}$ (ф-ла 3) $\Delta p_{t \text{ тр}} = 0,75 \cdot h \cdot 9,85$, Па	73,6	147,2	220,8	294,3

Зувага. В розрахунках прийнято, що трубопровідні ділянки для транспортування диму від котла до атмосфери ефективно теплоізолювані і тепловтрати в довкілля мінімізовані, тобто що температура димових газів на виході в атмосферу приблизно дорівнює їх температурі на виході з котла.

З табл. 3 видно, що розрахункові величини перепаду ТСТ («тяги») димопровідної труби, визначені за нормативною формулою (3), приблизно на 40 % перевищують величини перепаду ТСТ, спричинених дією димових конвекційних струменів відповідної висоти, сформованих біля кінцівки труби.

При аеродинамічному розрахунку газоповітряного тракту теплогенерувального устаткування і димопровідної труби, за дії лише термотискових впливів, повинна задовольнятися умова

$$\Delta p_{t \text{ сум}} = (1,1 \dots 1,2) \cdot [\Delta p_{\text{втр}} + \Delta p_{\text{пов}} + \Delta p_{\text{тр}}], \quad (8)$$

де $\Delta p_{\text{втр}}$ – див. формулу (2); $\Delta p_{\text{пов}}$ – втрати тиску в повітропроводі в межах від повітрязабору до витоку повітря в паливник, Па; $\Delta p_{\text{тр}}$ – втрати тиску в димопровідній трубі включно із втратами на удар при витоку повітря в атмосферу (раптовому розширенні), Па.

За наявності в газоповітряному тракті котлового устаткування вентилятора для диму до сумарного перепаду ТСТ додається штучноспонуканий перепад, створений вентилятором $\Delta p_{\text{вент}}$. Тоді умова задовільного аеродинамічного розрахунку матиме вигляд:

$$\Delta p_{t \text{ сум}} + \Delta p_{\text{вент}} = (1,1 \dots 1,2) \cdot [(\Delta p_{\text{втр}} + \Delta p_{\text{пов}} + \Delta p_{\text{тр}})]. \quad (9)$$

Висновки. 1. Дотепер при визначенні перепаду ТСТ у газоповітряному тракті теплогенерувального устаткування і в димопровідній трубі основним чинником вилування вважають «тягу», яка виникає в трубі і величина якої визначально залежить від її висоти. Однак термотискові впливи наявні і в горизонтальній димопровідній трубі, коли розрахункова її висота дорівнює нулю.

2. Встановлено, що внаслідок теплоенергетичного живлення конвекційних струменів продуктами згорання палива в котлах виникає порівняно незначний за величиною перепад ТСТ, який спричиняє максимальне розрідження при підлозі паливника (топки) та максимальні плюсові надтиски при стелі газоходів (котел є малотисковим термічним насосом).

3. Біля верхівки вертикальної (нахиленої чи горизонтальної) димопровідної труби, за порівняно безвітряної погоди, виникає вертикальний неізотермічний димовий струмінь, який спричиняє значний за величиною перепад ТСТ з максимальним розрідженням біля верхівки труби, яке і поширюється по ній в напрямку до теплогенерувального устаткування.

4. Сумарний перепад ТСТ у межах від повітрязабору до розвіювання диму в атмосфері, який дорівнює сумі перепадів ТСТ у котлі і в неізотермічному (конвекційному) димовому струмені та навколишній атмосфері, повинен перевищувати сумарні втрати тиску в газоповітряному тракті і димопровідній трубі.

5. Перепади ТСТ («тяга») розраховані згідно рекомендації, що «тяга» в димопровідній трубі пов'язана із її висотою та різницею густин межевого зовнішнього повітря і продуктів згорання

палива (диму) в трубі, приблизно на 40 % перевищують розрахункові перепади ТСТ, внаслідок дії неізотермічного димового струменя відповідної висоти.

6. Вертикальна димопровідна труба є лише транспортною комунікацією для переміщення продуктів згорання палива на якомога вищий рівень порівняно із рівнем розміщення теплогенерувального устаткування і ефективного розвіювання їх в атмосфері, а не генератором перепаду ТСТ.

1. Лебедев В.И. и др. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения: Учеб. пособие для вузов / В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков, П.А. Хаванов. – М.: Стройиздат, 1992. – 360 с. 2. Роддатис К.Ф., Полторецкий А.И. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 487 с. 3. Аэродинамический расчёт котельных установок (нормативный метод). – Л.: Энергия, 1977. – 236 с. 4. Бузников Е.Ф. Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 268 с. 5. Щукин А.А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1973. – 224 с.

УДК 629.113.06:628.83

С.С. Жуковський, О.М. Довбуш
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ТИСКОВІ ВПЛИВИ І ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАГАЛЬНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ ПРИМІЩЕНЬ

© Жуковський С.С., Довбуш О.М., 2011

Розглянуто основні схеми перетікання повітря через приміщення та проаналізовано тискові впливи на ефективність вентилявання приміщень.

Ключові слова: термічна та гігієнічна ефективність, схеми перетікання повітря.

In the article there are considered the basic charts of apartments ventilation and analised the pressures influence on efficiency of ventilation.

Key words: thermal and hygienical efficiency, charts of ventilation.

Постановка проблеми. Основним завданням вентилявання приміщень є забезпечення у всьому об’ємі їх зони обслуговування (ЗО) рівномірності нормованих термічних і гігієнічних параметрів внутрішнього повітря з допускними відхиленнями за мінімального чи оптимального повітрообміну, а також мінімізація часу перебування повітря в них, який впливає на якість внутрішнього повітря ЗО. Дотепер прийнято оцінювати ефективність загальної вентиляції приміщень повітрообміном (кратністю повітрообміну) [1, 2 тощо]. Ця величина є загальноінформаційною, оскільки не оцінює термічних і гігієнічних параметрів внутрішнього повітря і часу його перебування в ЗО та в приміщенні загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальну вентиляцію приміщень запропоновано оцінювати показниками термічної m_t [3, 5] і концентраційної m_c [4–6] ефективності, величина яких може змінюватись в межах від нуля до одиниці, а також віком внутрішнього повітря [5], який впливає на його якісні параметри.