

## Визначення підсосів повітря в вакуумну систему цукрового заводу

Штангеев К.О., к.т.н. доцент. кафедри харчових виробництв  
Інституту післядипломної освіти НУХТ

Наприкінці ремонтного періоду на цукровому заводі проводяться випробовування вакуумної системи з метою визначення її придатності в виробничий сезон. Від величини і стабільності розрідження в вакуумній системі залежать як технологічні, так і теплотехнічні показники.

В вакуумні системи (обладнання, трубопроводи, арматура і ін) проникає атмосферне повітря через різного роду нещільності. Кількість цього повітря визначається перепадом тисків та сумарною площею щілин, через які відбувається підсмоктування повітря. Особливістю вакуумних систем є те, що візуально присоси на фіксуються. Тому важливо перевірити її герметичність після проведення ремонтних робіт.

Зазвичай випробовування на герметичність виконуються набором максимально можливого розрідження і фіксацією швидкості падіння розрідження. Іноді застосовують при проведенні випробовувань вакуумних систем коефіцієнт негерметичності %/год:

$$m = \frac{P_2 - P_1}{\tau \cdot P_1} \cdot 100$$

де:  $P_1$  – абсолютний тиск в вакуумній системі на початку випробовувань,

$P_2$  – тиск в системі наприкінці випробовувань

$\tau$  – тривалість випробовувань, год.

Але слід зазначити, що ці методи є малоінформативним і при проведенні випробовувань можливо отримати набагато більше інформації із отриманих даних.

При проведенні випробовувань вакуумної системи слід мати на увазі характер зміни присосів від величини перепаду тисків. Вплив перепаду тисків представлено на рис. 1.

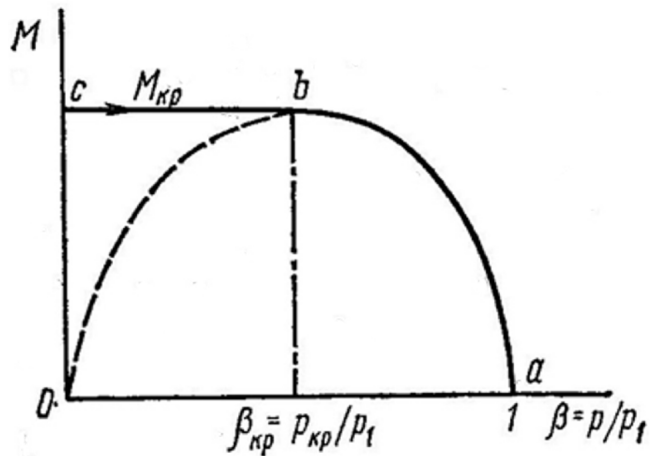


Рис.1. Залежність витрати газу через сопло в залежності від перепаду тисків

Із збільшенням перепаду тисків, тобто зменшенням тиску в системі  $P$ , зменшується відношення  $\beta = P/P_1$  і величина присосів зростає пропорційно кореня квадратного її зменшення. Величина  $\beta$  досягає максимуму при певній критичній величині і надалі залишається сталою. Для повітря  $\beta_{кр} = 0,528$ .

Щоб спростити розрахунки випробовування вакуумної системи слід проводити в діапазоні від максимального розрідження в системі до розрідження  $-0,44$  кгс/см<sup>2</sup>, де величина присосів стала і не залежить від перепаду тисків.

Використовуючи результати випробовувань є можливість розрахувати фактичну величину присосів (швидкість натікання) та сумарну ефективну площу нещільностей вакуумної системи.

Кількість повітря, що надходить в систему під час випробовувань розраховується по рівнянню Клапейрона-Менделєєва.

Кількість повітря в системі на початок випробовувань, кг:

$$G_1 = \frac{MP_1V}{RT}$$

де:  $M$  – молекулярна маса газу, для повітря  $M = 29$ ;

$V$  – об'єм вакуумної системи,  $m^3$ ;  
 $T$  – абсолютна температура газу ( $T = t + 273,15$ );  
 $t$  – температура повітря,  $^{\circ}C$ ;

$R$  – універсальна газова стала ( $R = 8314,41$  Дж/(кмоль $\cdot^{\circ}C$ )  
 Кількість повітря в системі на кінець випробовувань, кг:

$$G_1 = \frac{MP_2V}{RT}$$

Звідси кількість газів, що надходять в вакуумну систему за час випробовування (1):

$$\Delta G = G_2 - G_1 = \frac{MP_2V}{RT} - \frac{MP_1V}{RT} = \frac{MV(P_2 - P_1)}{RT},$$

Якщо проводити випробовування в межах критичного перепаду тисків, величина присосів не залежить від перепаду тисків (розрідження в системі).

розрідження (за вакууметром) від  $-0,45$  кгс/см $^2$  до  $-1,0$  кгс/см $^2$ .

В цьому разі величина присосів повітря в вакуумну систему може бути визначена за формулою (2):

Тобто для повітря це відповідає діапазону

$$G = f \cdot 2471 \cdot \sqrt{P_{ат} \cdot \rho_{ат}},$$

де:  $f$  – сумарна ефективна площа нещільностей вакуумної системи,  $m^2$ ;

$P_{ат}$  – атмосферний тиск, Па ( $1$  кгс/см $^2 = 98065$  Па);

$\rho_{ат}$  – густина атмосферного повітря (залежить від тиску та температури), кг/м $^3$ .

Таким чином, при проведенні

випробовувань вакуумної системи в зоні критичних перепадів, по величині перепадів тиску (падіння розрідження) за певний час  $t$  мається можливість розрахувати величину присосів повітря  $G$ , а потім визначити

сумарну площу нещільностей системи (3):

$$f = \frac{\Delta G}{2471 \cdot \sqrt{P_{ат} \cdot \rho_{ат}}}$$

По величині присосів можливо також оцінити необхідну продуктивність вакуумних насосів.

#### Приклад обробки результатів випробовувань.

Випробовування проводилися протягом 60 хв. при температурі навколишнього повітря  $20^{\circ}C$  ( $20 + 273,15 = 293,15$  K) і атмосферному тиску  $100$  кПа ( $1,02$  ата).

За цей час розрідження змінилося від  $-0,9$  кгс/см $^2$  до  $-0,6$  кгс/см $^2$ .

**Об'єм вакуумної системи (умовно) див.**

#### табл. 1.

При атмосферному тиску  $100$  кПа і температурі  $20^{\circ}C$  густина повітря становить  $1,188$  кг/м $^3$  (див. Додаток 2).

За формулою (2) визначається величина присосу повітря в вакуумну систему:

причому, абсолютний тиск на початку випробовувань становить (в Па)

$(1 - 0,9) \cdot 98065 = 9806,5$  Па, а абсолютний

тиск в кінці випробовувань буде

$(1 - 0,6) \cdot 98065 = 39226$  Па

$$\Delta G = \frac{MV(P_2 - P_1)}{RT} = \frac{29 \cdot 561,89 \cdot (39226 - 9806,5)}{8314 \cdot 293,15}$$

$$= 196,7 \text{ кг}$$

Табл.1

Об'єм вакуумної системи (умовно)

Обладнання	Об'єм	Кіл-ть	Всього
Вакуум-апарати	45	8	360
Конденсатор 1 пр.	32,00	1	32,00
Конденсатор 2,3 пр.	25,00	1	25,00
Групова ловушка	28,15	2	56,30
Вакуумні паропроводи, Ø м	1	100 м	78,54
Повітряний трубопровід до ВВН, Ø м	0,4	80 м	10,05
Всього об'єм вакуумної системи, м <sup>3</sup>			561,89

Це присоси за 1 годину. Якщо тривалість випробовувань вакуумної системи інша розраховується величина присосів за годину.

По формулі (3) розраховуємо сумарну еквівалентну площу нещільностей:

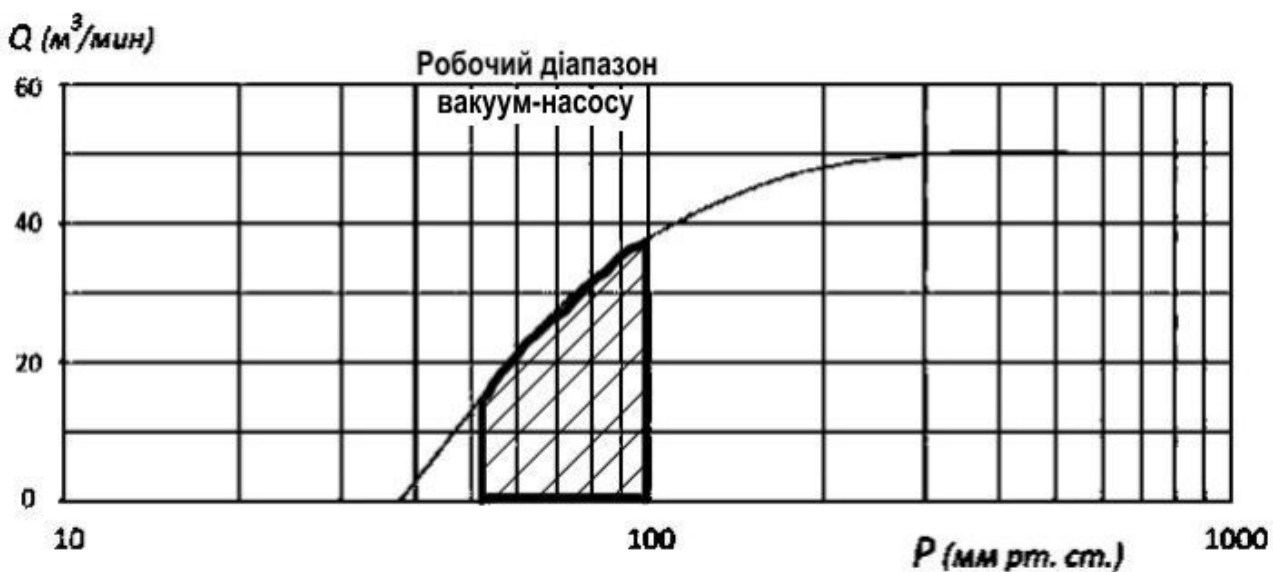
$$f = \frac{\Delta G}{2471 \cdot \sqrt{P_{ат} \cdot \rho_{ат}}} = \frac{196,7}{2471 \cdot \sqrt{100000 \cdot 1,188}} = 0,000231,$$

або 231 мм<sup>2</sup>.

Якщо повторно провести випробовування відключивши окремі елементи вакуумної системи (наприклад вакуум-апарати) можливо визначити величини присосів для них.

По величини присосів в вакуумну систему можливо оцінити мінімальне навантаження на вакуум-насоси і необхідну їх кількість.

На Рис. 2 наведено робочу характеристику вакуум-насосу ВВН-50.



Якщо він має забезпечувати розрідження на рівні  $-0,9 \text{ кгс/см}^2$ , то абсолютний тиск менше атмосферного в 10 разів об'єм газів зростає в 10 раз.

Розрідження  $-0,9 \text{ кгс/см}^2$ , відповідаю абсолютному тиску 0,1 ата або 1000 мм водяного стовпа. Для переведення в мм ртутного стовпчика цю величину маємо розділити на 13,6. Отже робочий тиск ВВН буде становити 73,5 мм рт. ст. Номінальна продуктивність ВВН-50 при такому тиску 28 м<sup>3</sup>/хв.

Величина присосів становить 196,7 кг/год або 3,28 кг/хв.

За умов прикладу об'єм цих газів буде:  $3,28/1,188=2,76 \text{ м}^3/\text{хв}$ . При розрідженні цей об'єм зростає в 10 разів, тобто до 26,7 м<sup>3</sup>/хв.

Але в дійсності продуктивності одного

вакуум-насосу не вистачить для забезпечення потрібного розрідження в виробничих умовах. Адже температура газів із барометричних конденсаторів 30-40 °С, в ній міститься до 50-60% водяної пари. Частина цієї пари конденсується до рівноваги з температурою води в ВВН, а решта разом з газами стискається і викидається в атмосферу.

Крім того, додається повітря, яке виділяється і барометричному конденсаторі із охолоджуючої води і неконденсуючі гази, які відводяться в вакуумну систему (тому рекомендується, по можливості відводити гази із гріючих камер в атмосферу).

Для оцінки величини присосів через окремі елементи вакуумної системи можна використати дані **Додатку 1**.

## Додаток 1

### Орієнтовні величини підсосів в вакуумну систему (кг/год)

Різьбові з'єднання	
– при Ø до 50 мм	0,05
– при Ø понад 50 мм	0,10
Фланцеві з'єднання, смотрові вікна, люки та ін.	
– Ø до 150 мм	0,20
– Ø від 150 до 600 мм	0,35
– Ø від 600 мм до 2 м	0,50
– Ø понад 2 м	1,00
Штоки вентилів з ущільнюючою набивкою	
– до 15 мм	0,25
– понад 15 мм	0,50
Сальники на кожні 25 мм валу	
– з гідроущільненням валу	0,15
– звичайні для мішалок	0,75
– для насосів під розрідженням	0,50
<b>Конічні вентиля із змащуванням</b>	0,05
<b>Водомірні трубки із арматурою</b>	1,00
<b>Смотрові вікна</b>	0,45



Густина повітря (кг/м<sup>3</sup>) в залежності від тиску і температури

t, °C	p, кПа								
	96	97	98	99	100	101	101,3	102	103
0	1,224	1,237	1,250	1,263	1,275	1,288	1,293	1,301	1,314
2	1,216	1,228	1,240	1,253	1,266	1,279	1,283	1,291	1,304
4	1,207	1,219	1,232	1,244	1,257	1,270	1,274	1,282	1,295
6	1,198	1,211	1,223	1,236	1,248	1,260	1,265	1,273	1,285
8	1,190	1,202	1,214	1,227	1,239	1,252	1,256	1,264	1,276
10	1,181	1,193	1,206	1,218	1,230	1,243	1,247	1,255	1,267
12	1,173	1,185	1,197	1,210	1,222	1,234	1,238	1,246	1,258
14	1,165	1,177	1,189	1,201	1,213	1,225	1,229	1,238	1,250
16	1,157	1,169	1,181	1,193	1,205	1,217	1,221	1,229	1,241
18	1,149	1,161	1,173	1,185	1,200	1,209	1,212	1,221	1,232
20	1,141	1,153	1,165	1,177	1,188	1,200	1,204	1,212	1,224
22	1,133	1,145	1,157	1,169	1,180	1,192	1,196	1,204	1,216
24	1,126	1,137	1,149	1,161	1,172	1,184	1,188	1,196	1,208
26	1,118	1,130	1,141	1,153	1,165	1,176	1,180	1,188	1,200
28	1,111	1,122	1,134	1,145	1,157	1,168	1,172	1,180	1,192
30	1,103	1,115	1,126	1,138	1,149	1,161	1,164	1,172	1,184
32	1,096	1,107	1,119	1,130	1,142	1,153	1,157	1,165	1,176



Інновації

Насіння

Сервіс