

УДК504.064:504.3.054:62-135(045)

DOI: 10.18372/0370-2197.2(91).15533

С. В. КАРПЕНКО

Національний авіаційний університет, Київ

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

З'ясовано, що забруднень поверхонь осьових компресорів газотурбінних установок і їх вплив на стан довкілля є актуальним завданням загальної проблеми забруднення шкідливими речовинами навколишнього середовища. Основним джерелом забруднення із атмосферного повітря є пил, а також різні забруднення, які виділяються вузлами газотурбінних установок. Наведена гранулометрична характеристика пилу і його склад. Встановлено, що пил з атмосферного повітря приводить ще й до ерозії лопаток осьового компресора, що має негативний вплив на довкілля, а також два шляхи впливу на ерозійні процеси. Показано, що для захисту газотурбінних установок від пилу атмосферного повітря, насиченого здебільшого пружними частинками забруднення, найбільш ефективно застосовувати пиловловлювачі. Складена і розв'язана система диференціальних рівнянь відносного руху частинки пилу в решітці пиловловлювача. Виділено фактори, які впливають на зниження характеристик ГТУ через забруднення і підвищують негативний вплив на довкілля. Розроблені методи та методика дозволяють оцінити рівень забруднення лопаток ОК ГТУ та їх негативний вплив на довкілля. Запропоновано класифікацію забруднень лопаток ОК ГТУ.

Ключові слова: осьовий компресор, газотурбінна установка, відкладення, забруднення, ерозія, екологічні наслідки, шкідливі викиди.

Вступ. Забруднення лопаток осьових компресорів (ОК), окрім зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) і потужності газотурбінної установки (ГТУ), також впливає на емісію шкідливих викидів, зокрема NO_x , CO_2 та інших парникових газів.

За даними досліджень [1] зниження коефіцієнта надлишку повітря на 0,5 % призводить до зростання викидів NO_x на 20 мг/м³.

Незважаючи на наявність фільтруючого пристрою на вході у компресор, його проточна частина піддається забрудненню зовні – із атмосферного повітря, а також різними забрудненнями, які видаляються вузлами ГТУ.

За даними іноземних спеціалістів забруднення ОК може знижувати продуктивність ОК на 5 %, а потужність ГТУ - на 13 %. При забрудненні ОК ГТУ потужністю 4-5 МВт у разі середньорічного зниження потужності на 3 % і ККД ГТУ на 1 % вартість втрат через перевитрати палива (газу) складає більше 0,5 мільйонів доларів на рік і збільшує викиди забруднень в атмосферу [2].

На даний час загальна потужність ГТУ, які застосовуються, як привід газоперекачувальних агрегатів (ГПА) природного газу в магістральних газогонках України понад 4155 МВт і включає в себе більш як 420 ГТУ. При цьому значна частина установок працює в зоні критичного ризику. Наведені в спеціальній літературі дані свідчать про те, що 40 % основного генеруючого обладнання галузі уже відпрацювало свій ресурс, а тому в процесі роботи таке обладнання збільшить забруднення навколишнього середовища.

За даними ДК «Укртрасгаз» середній паспортний ККД парку ГТУ складає 27 %, з урахуванням значного віку ГТУ та їхнього напрацьованого ресурсу, експерти галузі оцінюють реальний ККД агрегатів на рівні не більше 25 % [3]. Ба-

гаторічний досвід експлуатанта ГТУ показав, що завдяки підвищенню ККД на 1% витрати паливного газу знизяться на 1,4 мільярди м³ т на рік. Отже, суттєвий вплив на скорочення викидів в атмосферу справляє очищення від забруднень ОК ГТУ ГПА, що дозволить підвищити ККД на 8-10 % та отримати економію до 25 % паливного газу. Це, в свою чергу, дасть можливість зменшити викиди парникових газів в атмосферу [4].

У зв'язку з вище викладеним, забруднення поверхонь ОК ГТУ і їх вплив на стан довкілля є актуальним завданням загальної проблеми забруднення шкідливими речовинами навколишнього середовища в галузі економічної безпеки.

Мета: дослідити вплив забруднень лопаток ГТУ на ефективність їх роботи та навколишнє середовище.

Основана частина. Матеріали і методи досліджень. Атмосфера повітря, яке використовується для функціонування ГТУ завжди включає деяку кількість твердих і рідких частинок забруднень. Їх концентрація в повітрі залежить від умов зовнішнього середовища, різко зростає через пилові та піщані буревії, викидів підприємств, тощо. Основним джерелом забруднення із атмосферного повітря є пил. Відкрита поверхня ґрунту є основним джерелом природного пилу, а вітер – головним фактором його розповсюдження. При цьому концентрація пилу пропорційна швидкості вітру в кубі.

Пил в атмосфері являє собою типову дисперсну систему з розміром пилинок до 100 мкм. Заміри свідчать, що в одному літрі атмосферного повітря кількість пилинок може змінюватися від 10 одиниць до 200 тисяч одиниць. Пил постійно переміщується з рухом повітря, частина осідає на поверхню, інша, навпаки підіймається під дією поривів вітру, руху транспорту тощо.

Густина пилу, незважаючи на різне походження, знаходиться в межах 2,6 – 3,0 г/см³. Склад мінерального атмосферного пилу, твердість деяких його компонентів, гранулометричні характеристики пилу наведено в табл. 1 і 2[5]

Таблиця 1

Склад пилу і твердість його компонентів

Головний компонент	Процентний вміст компонентів пилу, %			Твердість за шкалою Мооса
	Київщина	Одещина	Приазов'я	
Кварц	79	68	34,3 – 41,5	7
Окис заліза	-	-	-	6
Окис алюмінію	11	14	-	9
Окис кальцію	1.0	4.0	-	-
Окис магнію	1.0	2.0	-	4.5
Калієвий шпат	-	-	45.0	6 – 6,5

Таблиця 2

Гранулометрична характеристика пилу в регіонах України, % за масою

Розмір часток пилу, мкм	Київщина	Одещина	Приазов'я
0 – 10	10	24,8	3,8
10 – 20	18	31,2	9,3
20 – 30	19	25	13,8
30 – 50	32	13	37,2
Понад 50	21	6	40,0

З даних таблиць видно, що більшість частинок пилу співмірні з вічками фільтру на входів ГТУ, а твердість деяких забруднень значно перевищує твердість матеріалів які застосовуються для виготовлення лопаток ОК ГТУ.

Форма частинок пилу залежить від його мінерального складу. Наприклад, частинки суспенчатого пилу за формою нагадують тетраедр і мають гострі грані. Пил осадкових порід складається з частинок овальної форми. За даними [5], у виробничих приміщеннях вміст пилу складає від 2 до 10 мг/м³.

Крім того, наявність пилу в атмосферному повітрі, яке всмоктується ОК під час роботи ГТУ, приводить не тільки до забруднення лопаток та інших вузлів установки, а й до їх ерозії. Що в свою чергу негативно впливає на довкілля.

Забруднювати атмосферне повітря можуть природні компоненти, такі як, пилок рослин, дрібні комахи, морська сіль тощо.

За даними [6] кількість солі в повітрі поблизу морського узбережжя може складати 40-60 мг/м³. Під час сильних штормів концентрація морської солі збільшується до 800 мг/м³. Засоленість атмосферного повітря, яке всмоктується компресором ГТУ, як відомо веде до ерозії лопаток та інших вузлів ГТУ.

Дослідники Амелюшкін В.М., Агафонов Б.М. стверджують, що головною причиною ерозійного зносу робочих лопаток є їх ударна взаємодія з краплями крупнодисперсної вологи. Як відомо, дрібнодисперсна волога, ерозійного порушення металу не викликає. Порогова швидкість крапель – величина, яка розділяє крупнодисперсну вологу (ерозійно небезпечну) від дрібнодисперсної (ерозійно безпечну) і виражається залежністю:

$$V \cdot d_k = const$$

де V – порогова швидкість краплі; d_k – діаметр краплі; $const$ – для сталі 15X11МФ і для крапель $d = 50-900$ мкм, дорівнює 9000 м²/с.

Із цієї залежності отримуємо наступне: перевищує чи ні швидкість крап заданого розміру її порогове значення. Якщо $V > 0$, то крапля під час удару сприяє порушенню поверхні лопаток.

Якщо $V < 0$, то на напруження в поверхні від удару (потрапляння) краплі порушення не виникає. Отже, ерозія лопаток буде залежати від величини крапель. Чим менший розмір водяних крапель, тим менша ерозія на лопатках.

Таким чином, отримуємо висновок, що впливати на ерозійні процеси можна двома шляхами: де $V_{вх}$, $V_{вих}$ – швидкість на виході і вході відповідно; $l = 1,9$ см – довжина твірної конічних кілець Перший – зменшення до мінімуму наявності вологи від лопаток (нема вологи – нема корозії);

Другий – подрібнення великих крапель на менш дрібні (дрібнодисперсна волога ерозії не викликає).

Для захисту ГТУ від пилу на вході в компресор встановлюється пиловловлювач – апарат для видалення твердої фази із газового середовища (повітрозбірники), одним із головних елементів які є фільтри грубого очищення (зазвичай інерційні) і тонкого (із нетканого та спецматеріалів) очищення. Технічні вимоги до фільтрів на вході в ГТУ повинні отримати на виході достатньо допустиме запылення, яке не викликає ерозію. Для сучасних ГТУ рекомендовано забезпечувати допустиме забруднення на вході в ОК не більше 0,35 мг/м³, при цьому концентрація частинок розміром більше 10 мкм має бути не більше 5 % від загального об'єму пилу після фільтра. Повітряні фільтри на вході в компресор захищають лопатку компресора від забруднень. Це переважно забруднення розміром 2 мкм і менше, маса яких складає 80-90% від загальної кількості пилу

після фільтра. В результаті, через деякий час відбувається зниження ККД ГТУ і збільшення його негативного впливу на навколишнє середовище [7].

Основний елемент пиловловлювачів – пластинчата решітка, яка являє собою пакет пластинок (аналог жалюзів), розміщених під кутом до напрямку руху потоку повітря.

Завдяки цьому потік запиленого повітря, що обтікає решітку, розбивається на тонкі плоскі струминки, кожна з яких здійснює рух в щілині між двома сусідніми пластинами.

У результаті великі частини пилу ударяються об пластинки, причому пружні частинки відскакують від пластинок під кутом, близьким до кута падіння, і тому не проходять через щілини, а, відскакуючи, збільшують концентрацію в основному потоці повітря.

Менш пружні (непружні) частинки і ті, що рухаються під більшими кутами до лінії жалюзі, проходять в щілини і залишаються в потоці повітря.

Система диференціальних рівнянь, яка описує рух частинок забруднення в решітках пиловловлювачів

Як приклад, розглянемо частинки розмірами від 0,001 до 0,005 см та пиловловлювач діаметром $D = 11,5$ см, довжиною $L = 34,2$ см та швидкістю повітря на виході 20 м/с. передусім за умови нерозривності потоку визначалися середні швидкості на вході та виході зі щілин. Вони дорівнювали 261 см/с та 158 см/с відповідно.

Вважаючи рух повітря в щілинах рівномірним, за допомогою кінематичних залежностей визначали час $t = 0,009$ с проходження потоку через щілини та уповільнення $= -11430$ см/с², з виразів:

$$\begin{cases} V_{\text{вих}} = V_{\text{вх}} + \alpha_e t; \\ l = V_{\text{вх}} t + \frac{\alpha_e t^2}{2}, \end{cases}$$

у пристрої.

Відновний рух частинок в окремих щілинах, одна з яких схематично зображена на рис. 1, разом з діючими на частинку силами.

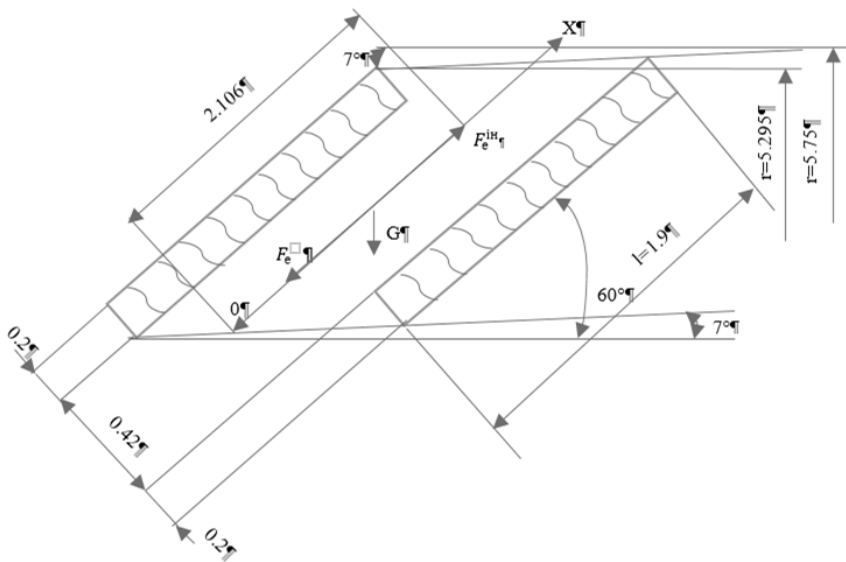


Рис. 1. Схема руху частинки в щілині решітки пиловловлювачів

На частину пилу діють переносна сила інерції

$$\overrightarrow{F_e^{in}} = -m\vec{a}_e, \quad (1)$$

Спрямована протилежно переносному прискоренню, сила ваги $G=mg$ (m – маса частинки, $g = 981 \text{ см/с}^2$ – прискорення вільного падіння) та сила опору, що визначається за формулою Стокса

$$F_0 = 3\pi\mu dV_r \quad (2)$$

де $\mu = 1,81 \cdot 10^{-4}$ дин с/см^2 динамічний коефіцієнт в'язкості повітря; d – діаметр частинки, що береться за кульку; V_r – відносна швидкість частинки.

Маса частинки дорівнює

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \rho, \quad (3)$$

де ρ – щільність частинки: $\rho = 2,67 \text{ г/см}^3$.

Розглядаючи відносний рух частинки, як прямолінійний уздовж осі ОХ, можна згідно з працею [8] записати диференціальне рівняння відносного руху частинки у вигляді

$$m\ddot{x} = F_e^{in} - F_e - G \cos 30, \quad (4)$$

Після підставки виразів (1)- (3) в рівняння (4) та спрощення, маємо:

$$\ddot{x} = \alpha_e - \frac{18m\dot{x}}{d^2\rho} - g \cos 30, \quad (5)$$

де $\dot{x} = V_r$.

Рівняння (5) розв'язували методом поділу змінних для знаходження переміщення x частинок у відносному русі за середній час $t = 0,009$ с переносного руху – переміщення потоку в щілині (табл. 3).

Таблиця 3

Результати розрахунків для частинок різної величини d

d , см	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005
x , см	0,284	1,05	1,56	1,91	2,25

Наприклад, для частинок розміром $d = 0,001$ см рівняння (5) має вигляд

$$\ddot{x} = 10580,5 - 1220\dot{x}$$

$$\text{або } \frac{d\dot{x}}{dt} = 10580,5 - 1220\dot{x},$$

$$\text{Поділяємо змінні: } \frac{d\dot{x}}{10580,5 - 1220\dot{x}} = dt,$$

та інтегруємо обидві частини:

$$-\frac{1}{1220} \int_{261}^{\dot{x}} \frac{d(\dot{x} - \frac{10580,5}{1220})}{\dot{x} - \frac{10580,5}{1220}} = \int_0^t dt;$$

$$-\frac{1}{1220} \ln \left| \frac{\dot{x} - 8,67}{252} \right| = t,$$

звідки

$$\frac{\dot{x} - 8,67}{252} = e^{-1220t},$$

або

$$\dot{x} - 8,67 = 252e^{-1220t},$$

звідси

$$dx = (252e^{-1220t} + 8,67) dt,$$

Інтегруємо обидві частини:

$$x = -\frac{1}{1220} [252e^{-1220t} - 252] + 8,67t = -0,206e^{-1220t} + 0,206 + 8,67t$$

Якщо $t = 0$, $x = 0$

Якщо $t = 0,009$ с, $x \approx 0,284$ см.

Таким чином, непружні частинки майже всі проходять разом з потоком через щілини в решітці, оскільки відносно переміщення $x > 0$, яке збігається з напрямком руху потоку в щілинах. Пиловловлювачі найбільш ефективно застосовувати для очищення повітря насиченого здебільшого пружними частинками.

Забруднення лопаток ОК під час роботи ГТУ відбувається у вигляді нальоту легкого пилу. Відкладання забруднень на лопатках ОК збільшують жорсткість поверхонь профілів, змінюючи їх аеродинамічну форму. Вплив забруднень на аеродинамічні характеристики профілів лопаток веде до зниження ККД ОК.

Ж.П. Сталдер виділяє фактори, які впливають на зниження характеристик ГТУ через забруднення і підвищують негативний вплив на довкілля:

– місцезнаходження ГТУ, стан довкілля і напрям вітру;

– конструкція, параметри і режим роботи ГТУ. Наприклад, форма вхідного патрубку та наявність на вході пристрою охолодження вхідного повітря впливає на швидкість забруднення ОК. ГТУ більшої потужності менше забруднюються, ніж ГТУ з малою потужністю.

– рівень технічного обслуговування обладнання ГТУ, а саме своєчасне проведення очищення від забруднень лопаток ОК, повітряних фільтрів або заміна останніх. Лопатки ОК без покриття швидше забруднюються.

– стан атмосфери: дощ, туман, смог, температура і відносна вологість повітря.

До аналогічних висновків дійшли інші дослідники.

Дослідження під керівництвом Ольховської Г.Г. показали, що відкладення на лопатках ОК на 25-85 % складаються з органічних з'єднань і 30 % з яких є ефірні масла, отримані в результаті експлуатації. Мінеральні забруднення включають переважно окисли і солі Al, Fe, Ca, Pb та інші тяжкі метали.

Середня маса відкладень на лопатках ступенів ОК ГТ-25-700-1 ЛМЗ, розподіляється нерівномірно: 83 % приходить на лопатки КНТ і 17 % на лопатки КВТ [9].

Методика дослідження забруднень лопаток осевого компресора. Для визначення наявності забруднення використовуються два основних методи – візуальний контроль з наступним фотографуванням забруднених поверхонь, контроль за зміною характеристик агрегату [10] і фізико-хімічні методики.

Авторами разом зі спеціалістами було проведено дослідження забруднення лопаток 16-ступеневого ОК агрегату ГТК-25Н в умовах роботи компресорної станції магістрального трубопроводу.

Напрацювання агрегату після капремонту складає приблизно 16900 год, при цьому агрегат працював без очищення ОК, агрегат на вході обладнано пакетними фільтрами, але вони не забезпечують повного очищення повітря від частинок діаметром 2-3 мкм і менше, які змішуючись з вологою атмосферного повітря і підтіканням оливою із переднього підшипника, викликали забруднення лопаток ОК.

Відкладення з лопаток знімалися спеціальними пластмасовими шпателями, щоб не пошкодити покриття лопаток.

На рис. 3 наведено розподілення мас відкладень на спинках однієї з лопаток з 1-го до 6-го ступенів ОК.

Із отриманих даних витікає, що забрудненню підлягають перші п'ять ступенів ОК. Забруднення лопаток зменшується впродовж проточної частини за ру-

хом повітря. Лопатки інших ступенів мають дуже тонкий наліт, практично майже чисті.

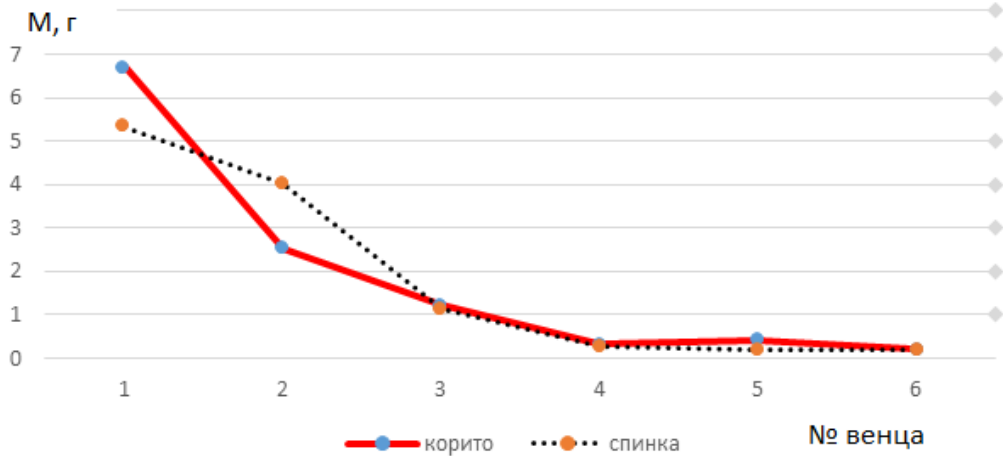


Рис. 3. Розподіл відкладень на спинці і кориті робочих лопаток ОК агрегату ГТК-25Н

Дослідження розподілення забруднень на поверхні лопатки візуально з наступним фотографуванням.



Рис. 4. Забруднення лопаток ВНА, НА-1 На-2 у верхній половині статора



Рис. 5. Забруднення лопаток НА-4, НА-5, НА-6 і НА-7 у верхній половині статора

Проведені авторами дослідження відкладень відібраних із лопаток показали, що вони містять - вуглеводного конденсата 35-50%, вологи 45-70%, механічних домішок 8-12 %, мінеральної сажі 3-5 %, продуктів корозії – 0,5-1,5 %.

Хімічний склад проб пилу із повітряного фільтру і відкладень на лопатках ОК ГТУ наведено в таблиці 4 і таблиці 5.

Хімічний склад із відкладень на фільтрі (проба 1) і на лопатках (проба 2), наведені в таблиці 4, і як видно, має слабо кислу реакцію ($pH=4,5+5,6$) ближче до нейтральної.

Склад мінеральної складової осаду в пробі № 1 – 62%, в пробі № 2 – 28 %. Мінеральна складова відкладень на фільтрі(проба 1) складається із окислів і солей: Si - 11%, Al – 5,8%, Fe – 4,2%, Ca – 2,8%, S – 1,5%, K – 1,4 %, Na- 0,88 %, Zn і Pb- в незначних кількостях. Вміст масла в пробах з фільтрів – 3,8%.

У зразках відкладень з лопаток перших ступенів проба 2, табл. 5 кількість масла - 9,2 % від загального складу пилу, що свідчить про підсмоктування масляних парів із підшипника ОК. Крім того, Fe – 7,3%, S- 3,4 %, Ca– 1,3 %, Si- 1.1%, Na – 0,82 %, K– 0,63 %, Al, Zn, Pb.

Таблиця 4

Вміст отримуваних компонентів

Проба	pH	Залишок після прокалювання, %
№ 1	5,6	62
№ 2	4,5	28

Таблиця 5

хімічний склад пилу з повітряного фільтра і відкладень на лопатках ОК ГТУ

Проба	Масова концентрація, %									
	Na	K	Zn	Pb	Ca	Fe	Si	Al	S	Масло
№ 1	0,88	1,4	0,12	0,028	2,8	4,2	11	5,8	1,5	3,8
№ 2	0,82	0,65	0,44	0,047	1,3	7,3	1,1	0,53	3,4	9,2

Проведені фізико-хімічні аналізи відкладень дозволили встановити, що основною причиною утворення відкладень на лопатках ОК є машинне масло, яке в середині компресора при підвищеному тиску і температурі активно взаємодіє з киснем, вологою і двоокисом сірки, що мають місце у повітрі компресорного цеху. Процеси їх взаємодії призводять до утворення твердих погано розчинних сульфо- і карбонових кислот, а також їх ефірів. Такі продукти є зв'язуючим елементом для пилу, який заноситься з повітрям, що збільшує швидкість утворення і товщину відкладень на лопатках ОК [9].

Таким чином, запропоновано поділяти забруднення, які присутні в компресорі ГТУ на атмосферні (зовнішні) і технологічні (внутрішні) рис. 6. До атмосферних (зовнішніх) відносяться:

природні – пил, пари води та інших рідин, краплі дощу, солоної морської води, комахи, пилок рослин, гербіциди тощо;

промислові та транспортні – хімічні викиди та пил від виробництва, сажа, дим і пил від транспортних засобів.

До технологічних (внутрішніх) забруднень відносяться: продукти згорання, ерозії, корозії, підтікання оливи із роз'ємів підшипників, ущільнень та оливоохолоджувачів, солі із установок водовипаровуючого охолодження на вході ОК, тощо.

Висновки

1. Пил в атмосферному повітрі являє собою типову дисперсну систему з розміром пилинок до 100 мкм. У виробничих цехах вміст пилу складає від 2 до 10 г/м³.

2. Впливати на ерозійні процеси можна двома шляхами: зменшення до мінімуму наявності вологи від лопаток (немає вологи – немає ерозії); дробленням великих крапель на менш дрібні (дрібнодисперсна волога ерозії металу не викликає).

3. Очищення атмосферного повітря, що надходить в ГТУ від пилу за допомогою пиловловлювачів є одним з першочергових завдань захисту довкілля. Розв'язання диференціального рівняння відносно руху частини забруднення в решітці пиловловлювача дозволило зробити наступні висновки: непружні частинки забруднень майже всі проходять разом з потоком повітря через щілини в решітці, оскільки відносне переміщення $x > 0$, яке збігається з напрямком руху

потоків в щілинах; пиловловлювачі найбільш ефективно застосовувати для очищення повітря, насиченого здебільшого пружними пластинками.

4. З'ясування факторів, які впливають на знищення характеристик ГТУ через забруднення дозволяє зменшувати негативний вплив на довкілля.

5. Результати проведених досліджень забруднень ОК на діючій ГТУ, а також аналіз опублікованих робіт вітчизняних і зарубіжних авторів показують, що найбільш забруднюються потоки перших 4-5 ступенів. Ступінь забруднення лопаток зменшується впродовж проточної частини.

6. Створена система розподілення об'єктів дослідження за групами відповідно до визначених ознак. Різноманіття забруднень в ГТУ, які відрізняються за фізико-хімічними властивостями, призводить до різнопланової дії на їх роботу і до негативних екологічних наслідків.

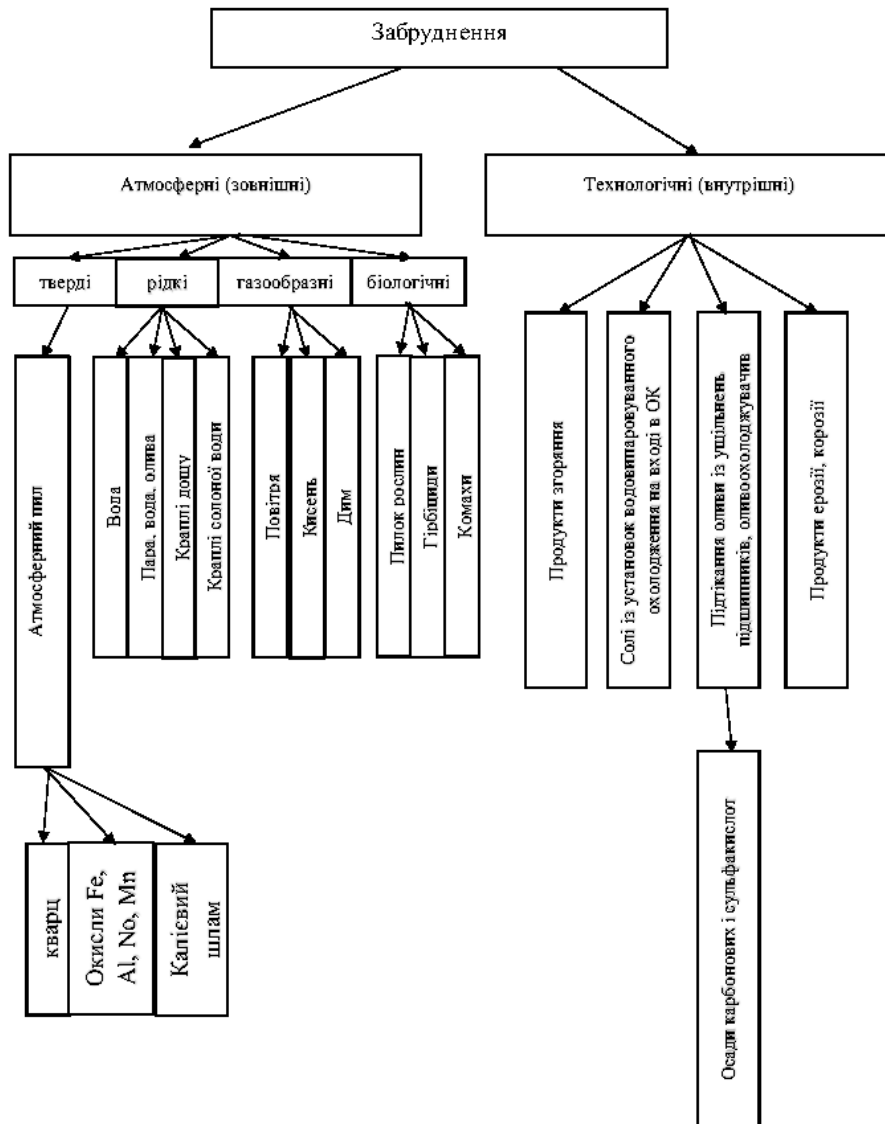


Рис. 6. Класифікація забруднень ОК ГТУ

Список літератури

1. Noeft R.F. Heavy-Dcoty gasturbine operation and Maintenance considerations. GER-3620B, 1998.
2. Diakunchak I.S. Perfonionce Deterioration in industrial Gas Turbine, 1991, Paper #51-61-228p.
3. Стан і перспективи розвитку нафтового комплексу України: ред. Івченко О.Г. – К: Наукова думка, 2006 – 310 с.
4. Лещенко І.Ч. Впровадження сучасних технологій у газотранспортній системі України для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу // Проблему загальної енергетики. 2010 – Вип. 3(23). – С.41-47.
5. Никитин Г.А., Никитин Л.Г., Данилов В.М. Экономия нефтепродуктов используемых в технологических целях. – К.: Техника, 1984. – 128с.
6. Амелюшкин В.Н. Эрозия лопаток турбин: прогноз и предупреждение. Учеб. пособие С-Пет.: Энерготех. 2000г. – 340 с.
7. Куц В.П. Науково практичні основи створення високоефективного пилоочисного обладнання комбінованої дії: дис. док. техн. наук: 05.17.08 // Куц Віктор Петрович, Тернопіль. 2015. – 379с.
8. Пузік С.О. Характер руху пилу в решітках жалюзійних пиловловлювачів /С.О. Пузік, В.С. Шевчук, В.С. Манзій, В.І. Терьохін // Вісник НАУ. – 2006ю - №2(28) – С.82-84.
9. Скварский Л.Н. и др. Опыт эксплуатации газотурбинного ГРЭС. – Труды ВГН, 1978г. Вып. 16. С.74-98.
10. Ремонт технологічного обладнання компресорних станцій: курс лекцій укря та англ. мовами // О.І. Духота, А.М. Хімко, О.Є. Якобчук, О.П. Ящук – К:НАУ, 2013. – 80с.

Стаття надійшла до редакції 25.05.2021

Карпенко Сергій Володимирович – старший науковий співробітник наукової групи кафедри цивільної та промислової безпеки, Національного авіаційного університету. Національний Авіаційний Університет, 03058 пр. Гузара Любомира 1, Київ, Україна.
E-mail:karpenko_serg@ukr.net. Конт. тел. +380674116363

S. KARPENKO

POLLUTION OF AXIAL AXIS TURBINE TURNING COMPRESSOR SURFACES AND THEIR ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES

It was found that the contamination of the surfaces of axial compressors of gas turbines and their impact on the environment is an urgent task of the general problem of pollution by harmful substances in the environment. The main source of air pollution is dust, as well as various pollutants emitted by gas turbine units. The granulometric characteristics of dust and its composition are given. It has been established that dust from atmospheric air also leads to erosion of axial compressor blades, which has a negative impact on the environment, as well as two ways of influencing erosion processes.

The atmosphere of the air used for the operation of gas turbines always includes a number of solid and liquid particles of pollution. Their concentration in the air depends on environmental conditions, increases sharply due to dust and sandstorms, emissions from enterprises, and so on. The main source of air pollution is dust. The open surface of the soil is the main source of natural dust, and wind is the main factor in its spread. The concentration of dust is proportional to the wind speed in the cube.

It is shown that dust collectors are most effective for protection of gas turbine units from dust of atmospheric air, saturated mostly with elastic particles of pollution. A system of differential equations for the relative motion of a dust particle in a dust collector lattice is compiled and solved. Factors that reduce the performance of gas turbines due to pollution and increase the negative impact on the environment are identified.

The developed methods and techniques allow to estimate the level of pollution of the blades of axial compressors of gas turbines and their negative impact on the environment.

The classification of pollution of blades of axial compressors of gas turbine installations is offered.

Key words: axial compressor, gas turbine unit, sediment, pollution, erosion, environmental consequences, harmful emissions.

Referens

1. Noeft R.F. Heavy-Dcoty gasturbine operation and Maintenance considerations. GER-3620B, 1998.
2. Diakunchak I.S. Perfonionce Deterioration in industrial Gas Turbine, 1991, Paper #51-61-228p.
3. Stan i perspektyvy rozvytku naftovoho kompleksu Ukrainy: red. Ivchenko O.H. – K: Naukova dumka, 2006 – 310 s.
4. Leshchenko I.CH. Vprovadzhennya suchasnykh tekhnolohiy u hazotransportniy systemi Ukrainy dlya zmeshennya vykydiv shkidlyvykh rechovyn v atmosferu // Problemu zahal'noyi enerhetyky. 2010 – Vyp. 3(23). – S.41-47.
5. Nykytyn H.A., Nykytyn L.H., Danylov V.M. Ékonomyya nefteproduktov yspol'zuemykh v tekhnolohycheskykh tselyakh. – K.: Tekhnyka, 1984. – 128s.
6. Amelyushkyn V.N. Érozyya lopatok turbyn: prohoz y preduprezhdenye. Ucheb. posoby S-Pet.: Énerhotekh. 2000h. – 340 s.
7. Kuts V.P. Naukovo praktychni osnovy stvorennya vysokoefektyvnogo pyleochysnoho obladdannya kombinovanoi diyi: dys. dok. tekhn. nauk: 05.17.08 // Kuts Viktor Petrovych, Ternopil'. 2015. – 379s.
8. Puzik S.O. Kharakter rukhu pyly v reshitkakh zhalyuziynykh pylovlovluyuvachiv /S.O. Puzik, V.S. Shevchuk, V.S. Manziy, V.I. Ter'okhin // Visnyk NAU. – 2006yu - №2(28) – S.82-84.
9. Skvarskyy L.N. y dr. Opyt ékspluatatsyy hazoturbynnoho HRÉS. – Trudy VTN, 1978h. Vyp. 16. S.74-98.
10. Remont tekhnolohichnoho obladdannya kompresornykh stantsiy: kurs lektsiy ukryu ta anh. movamy // O.I. Dukhota, A.M. Khimko, O.YE. Yakobchuk, O.P. Yashchuk – K:NAU, 2013.