

В.С. Антонюк, д-р техн. наук, Ю.Г. Мережаний, канд. техн. наук,
А.І. Пономаренко, Київ, Україна

АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ ТА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ СКЛАДАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПРИЛАДІВ

Розглянуто забезпечення спеціальних умов технологічного процесу складання та регулювання приладів та систем орієнтації і навігації. Запропоновано математичну модель параметрів мікроклімату виробничого приміщення. Розроблено автоматизовану систему контролю та керування параметрами мікроклімату приміщення для прецизійного складання приладів.

Рассмотрены вопросы обеспечения специальных условий технологического процесса сборки и регулирования приборов и систем ориентации и навигации. Предложена математическая модель параметров микроклимата производственного помещения. Разработана автоматизированная система контроля и управления параметрами микроклимата помещения для прецизионной сборки приборов.

V.S. ANTONJUK, JU.G. MEREZHANIJ, A.I. PONOMARENKO
THE AUTOMATED MONITORING AND MANAGEMENT OF A MICROCLIMATE OF AN
INDUSTRIAL PREMISE OF ASSEMBLY OF PRECISION DEVICES

Questions of assemblage technological process special conditions maintenance and devices regulation and orientation and navigation systems are considered. The mathematical model of industrial premise microclimate parameters are offered. It is developed the monitoring system and premise microclimate parameters management for precision assemblage of devices.

Вступ

Сучасне приладобудівне виробництво висуває досить високі вимоги, щодо забезпечення спеціальних умов технологічного процесу виготовлення, складання та регулювання, як окремих деталей та елементів приладів, так і самих приладів в цілому. Для забезпечення умов технологічного процесу дуже важливим етапом є створення певного технологічного середовища, параметри якого чітко контролюються та регулюються відповідно до технічних вимог. До основних параметрів такого технологічного середовища відносяться: концентрація аерозольних часток в повітрі, швидкість руху повітря, тиск, температура і вологість повітря.

Для створення спеціальних умов мікроклімату технологічного середовища використовуються так звані «чисті приміщення». Згідно стандарту ISO 14644-1, чисте приміщення – це приміщення, в якому контролюється рахункова концентрація аерозольних часток й яке побудовано і використовується таким чином, щоб звести до мінімуму надходження, генерацію та нагромадження часток в середині приміщення, і в якому, при необхідності, контролюються інші параметри, наприклад, температура, вологість й тиск [1]. Чисті приміщення класифікуються по ступеню чистоти повітря в них відповідними

класами чистоти, від класу 9 ISO (найнижчий) до класу 1 ISO (найвищий) Для галузі приладобудування найчастіше використовуються класи чистоти від 8 ISO до 5 ISO класу [2].

З практичного досвіду відомо, що збільшення концентрації часток пилу в повітрі негативно впливає на якість роботи гіроскопічних приладів, зменшує вибіг гіромоторів, призводить до зниження точності за рахунок зміщення мас рухомих частин, збільшує моменти тертя в опорах. Останнє є особливо важливим, оскільки інші елементи гіроскопічного приладу не дають такого впливу на зниження точності, як порушення в роботі головних опор, що може впливати на зміщення центра мас гіромотору, збільшувати динамічну нерівновагу і вібрацію ротора, збільшувати потужність яку споживає гіромотор [3].

При складанні деяких прецизійних гіромоторів використовують керамічні підшипники з робочими зазорами близько 4 мкм. В якості мастила використовується гелій-воднева суміш, що збільшує свою густину при робочих обертах, на яких працюють підшипники. При наявності часток бруду в робочих парах тертя підшипників їх нормальна робота стає практично неможливою. В таких умовах відповідальні елементи підшипників починають працювати в критичних режимах, що не дає змоги досягти необхідної точності та дуже сильно зменшує якість та ресурс кінцевого виробу. Тобто перевищення допустимої концентрації часток бруду в повітрі технологічного середовища, під час виконання прецизійних операцій складання та регулювання, фактично призводить до браку продукції.

Ще одним досить важливим параметром мікроклімату технологічного середовища є температура. Зміна температури приладу впливає на лінійні розміри деталей, жорсткість окремих елементів конструкції. При зміні температури можуть деформуватись окремі деталі конструкцій приладів із-за нерівномірних внутрішніх напружень. При низьких температурах, в наслідок зменшення зазорів в зчленуваннях і підвищення в'язкості змазки, можуть значно підвищуватись моменти тертя в опорах і навіть може відбутись заклинення механізму [3]. Також необхідним є підтримка та розподілення температури повітря по об'єму виробничого приміщення, оскільки при відсутності системи стабілізації параметрів мікроклімату, коливання температури можуть досягати 1,5 - 2 °С/м, що призводить до коливання номінальних розмірів деталей від 2 - 3 мкм [4].

Метою роботи є створення спеціальної автоматизованої системи моніторингу ТА керування параметрами мікроклімату виробничого приміщення, призначеного для складання прецизійних приладів, що використовуються в системах орієнтації і навігації.

Сучасний підхід до «чистого» складального виробництва прецизійних приладів полягає у створенні окремих чистих ділянок (зон), в межах виробничого комплексу, за рахунок використання боксів, або мікробоксів. Повітря в такі бокси подається не з вулиці, а з інших приміщень виробництва, попередньо очищене, певної температури та вологості, що дає значну економію коштів

за рахунок меншої потужності спеціалізованих вентиляційно-опалювальних систем та більш довготривалого терміну служби HEPA і ULPA фільтрів тонкої очистки повітря.

При складанні приладів і систем орієнтації та навігації, згідно вимог технологічного процесу, в виробничому приміщенні слід підтримувати концентрацію аерозольних часток в повітрі на рівні 8 часток на 1 літр повітря, які за своїм розміром повинні бути рівними або перевищувати 1 мкм. Згідно стандарту [1], щодо чистоти повітря для кожного з класів чистоти при складанні гіроскопічних приладів такі вимоги практично відповідають класу чистоти 6 ISO (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Класи чистоти по зваженим у повітрі часткам для чистих приміщень і чистих зон

Клас ISO	Межі максимальних концентрацій (частки/м ³ повітря) часток розміром, рівним і більшим наведеного нижче, мкм					
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0
Клас 1 ISO	10	2				
Клас 2 ISO	100	24	10	4		
Клас 3 ISO	1 000	237	102	35	8	
Клас 4 ISO	10 000	2 370	1 020	352	83	
Клас 5 ISO	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
Клас 6 ISO	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
Клас 7 ISO				352 000	83 200	2 930
Клас 8 ISO				3 520 000	832 000	29 300
Клас 9 ISO				35 200 000	8 320 000	293 000

Для забезпечення умов технологічного процесу зі створення відповідного технологічного середовища, параметри якого чітко контролюються та регулюються запропоновано використання математичної моделі для моделювання мікроклімату.

При розробці математичної моделі, призначеної для чисельного моделювання мікроклімату виробничих приміщень, слід було виходити з таких задач: розрахунок потоку повітря всередині приміщення з розміщеним у ньому обладнанням, перегородок, джерел тепла, вологи і забруднень; розрахунок розподілення температури в приміщенні; розрахунок розподілення вологості в приміщенні; розрахунок потоків розповсюдження та концентрації забруднень в приміщенні.

В основу математичної моделі покладено систему нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса, рівнянь переносу тепла, вологи та концентрації забруднень [5]:

$$\frac{du_1}{dt} = \frac{\partial p}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{13}}{\partial x_3},$$

$$\begin{aligned} \frac{du_2}{dt} &= \frac{\partial p / \rho}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial x_3}, \\ \frac{du_3}{dt} &= \frac{\partial p / \rho}{\partial x_3} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{33}}{\partial x_3} + g\beta\theta, \\ \frac{du_1}{\partial x_1} + \frac{du_2}{\partial x_2} + \frac{du_3}{\partial x_3} &= 0, \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{L}{C_p} \Phi + \frac{\partial H_1}{\partial x_1} + \frac{\partial H_2}{\partial x_2} + \frac{\partial H_3}{\partial x_3} + J_\theta, \\ \frac{dq}{dt} &= -\Phi + \frac{\partial P_1}{\partial x_1} + \frac{\partial P_2}{\partial x_2} + \frac{\partial P_3}{\partial x_3} + J_q, \\ \frac{dc}{dt} &= \frac{\partial C_1}{\partial x_1} + \frac{\partial C_2}{\partial x_2} + \frac{\partial C_3}{\partial x_3} + J_c, \end{aligned}$$

де x_i ($i = 1, 2, 3$) – декартові координати; u_i – компоненти швидкості; t – час; p – тиск; ρ – густина повітря; θ – температура, що відрховується від середнього значення $\bar{\theta}$; T – абсолютна температура повітря; q – питома вологість; c – об'ємна концентрація домішок; J_θ, J_q, J_c – штучні джерела тепла, вологи і забруднюючих домішок; δ_{ij} – символ Кронекера; $\nu_u, \nu_\theta, \nu_q, \nu_c$ – коефіцієнти кінематичної в'язкості, температуропровідності, дифузії вологи і домішок; Φ – швидкість формування рідкої фази; L – прихована теплота конденсації (або сублимації); q_n – питома вологість насичення; g – прискорення вільного падіння; β – коефіцієнт об'ємного теплового розширення.

При чому вважаємо, що $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_j \frac{\partial}{\partial x_j}$.

Враховуючи відносно малі розміри розрахункової області, при проведенні числових експериментів можна враховувати, що $u_1 = u_2 = u_3 = \theta = q = c = 0$ при $t = t_0$.

Граничні умови при цьому будуть мати наступний вигляд:

$$u_n = 0, \quad u_\tau = 0, \tag{8}$$

$$\theta = \theta_n \quad \text{або} \quad (v_\theta + k_H) \frac{\partial \theta}{\partial n} = \tau_0, \quad \frac{\partial q}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial c}{\partial n} = 0, \tag{9}$$

для твердої поверхні;

$$u_\tau = 0, \quad u_n = u_m, \quad v = \theta_m, \quad q = q_m, \quad c = c_m,$$

на вході потоку в розрахункову область;

$$u_{\tau} = 0, u_n = u_{out}, \frac{\partial \theta}{\partial n} = \frac{\partial q}{\partial n} = \frac{\partial c}{\partial n} = 0,$$

на виході потоку з розрахункової області.

де u_{τ} , u_n – нормальна і дотична складові швидкості; θ_n – температура на поверхні; τ_{θ} – тепловий потік; нижніми індексами *in* або *out* супроводжуються параметри на вході потоку в розрахункову область або виходу з неї.

На основі запропонованої математичної моделі розроблено систему автоматизованого моніторингу та керування мікрокліматом виробничого приміщення для прецизійного складання приладів.

Система автоматизованого моніторингу та керування мікрокліматом

Застосування спеціалізованих систем вентиляції «прецизійного» типу регламентується технологічними умовами виробництва та вимогами стандартів ISO 9001, ISO 14644 та інших.

Основні задачі спеціалізованої системи вентиляції полягають у контролі та забезпеченні:

- заданих класів чистоти (таблиця 1);
- параметрів мікроклімату (температури й відносної вологості повітря, швидкості руху повітря тощо);
- необхідного обсягу зовнішнього повітря по санітарно-гігієнічних нормах;
- перепадів тиску між чистими приміщеннями й допоміжними зонами;
- необхідної швидкості повітряного потоку в зонах з ламінарним потоком повітря;
- часу відновлення класу чистоти після внесення забруднення в приміщення;
- видаленні шкідливих речовин, що можуть утворюватись в ході технологічного процесу.

Ці вимоги повинні виконуватися для кожного приміщення з підвищеним класом чистоти за рахунок забезпечення необхідних кратностей повітрообміну, швидкості потоку повітря, тощо. Система керування вентиляцією, в свою чергу, повинна стежити за роботою вентиляційної системи і в процесі роботи керувати вузлами вентиляційного устаткування, корегувати роботу вентиляції відповідно до заданих параметрів, а також сигналізувати про збої в роботі системи.

Система керування вентиляцією повинна забезпечувати в автоматизованому режимі виконання наступних основних функцій:

- керування процесом нагнітання та очищення приточного повітря;
- сигналізація про засмічення повітряних фільтрів вентиляції;
- контроль і сигналізація про несправності устаткування й аварійні ситуації.

Розробка автоматизованої системи управління тепловим режимом приміщення (АСУ ТРП) проводилась у відповідності з нормативними документами [7].

АСУ ТРП повинна забезпечувати:

- необхідні для нормального протікання технологічних процесів режиму температури, вологості і повітряний режим у зоні розташування технологічного устаткування;
- задані значення температури, вологості й рухливості внутрішнього повітря в робочій зоні відповідно до санітарно-гігієнічних вимог;
- економію витрат паливно-енергетичних ресурсів на експлуатацію приміщення.

В основу розробки системи АСУ ТРП закладені наступні принципи:

- можливість стадійного створення системи й поетапного введення її в експлуатацію;
- термодинамічний підхід до створення математичної моделі і її ідентифікації за даними натурних досліджень;
- виявлення необхідних параметрів й особливостей теплового поведіння експлуатованого приміщення й системи опалення за допомогою експериментальних натурних досліджень і настроювання (ідентифікації) математичної моделі;
- можливість звичайного функціонування системи опалення при виході АСУ ТРП із ладу;
- відкритість системи до подальшого вдосконалення й розвитку.

Конструктивно вентиляційно-опалювальні можуть бути реалізовані по-різному, але в малих промислових приміщеннях (боксах), де необхідне і опалення, і вентиляція, в основному застосовується повітряне опалення, сполучене з вентиляцією. Важливою особливістю такої вентиляційно-опалювальної системи є відсутність великого числа громіздкого і металоємкісного опалювального обладнання, тому що гаряче повітря передає акумульоване йому тепло безпосередньо приміщенню, що опалюється, змішуючись із внутрішнім повітрям, що є особливо актуальним для приміщень невеликої кубатури.

Відповідно до СНіП 2.04.05-86 температура, відносна вологість і швидкість руху повітря у виробничому приміщенні повинні відповідати їх допустимим значенням, і залежать від характеристики приміщення та категорій робіт, що в ньому виконуються [7].

Для повітряного опалення характерно забезпечення санітарно-гігієнічних показників повітряного середовища приміщення на високому рівні, що є важливим у випадку виконання прецизійних операцій складання та регулювання, оскільки ці операції вимагають від працівників підвищеного напруження та уваги. Також вентиляційно-опалювальна система забезпечує рухливість повітря, що є сприятливим для нормального самопочуття людей, рівномірності температури в приміщенні, а також для зміни, зволоження та очищення повітря, що також відіграє особливу роль для приміщень з підвищеним класом чистоти, до яких відносяться виробничі бокси для складання прецизійних гіроскопічних приладів [8].

Практична реалізація автоматизованої системи моніторингу та керування мікрокліматом

Блок-схему розробленої автоматизованої системи моніторингу та керування мікрокліматом виробничого приміщення, призначеного для складання прецизійних приладів представлено на рис. 1.

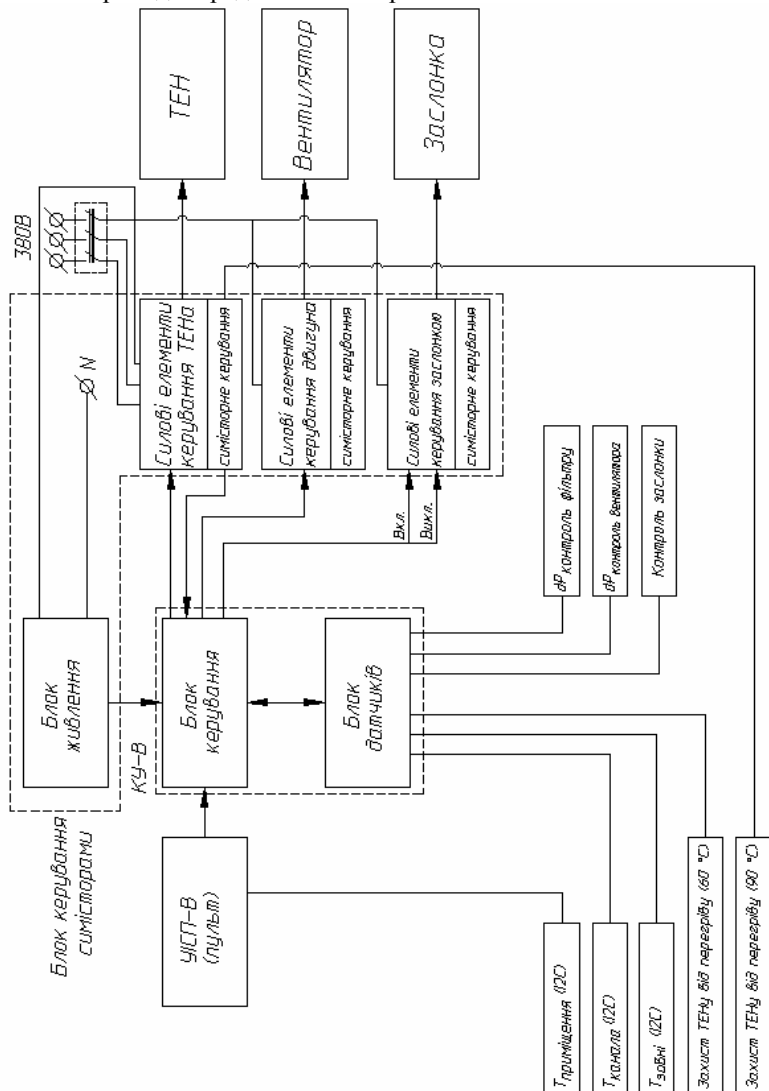


Рисунок 1 – Блок-схема системи моніторингу та керування мікрокліматом виробничого приміщення

Конструктивно система моніторингу та керування мікрокліматом виробничого приміщення складається з контролера управління вентиляцією (КУ-В), пульта управління вентиляцією (УІСП-В) та блоку керування силовими елементами вентиляційної системи (блок керування семісторами). Додатково в систему включено датчик температури приміщення, датчик температури каналу, датчик зовнішньої температури, датчики температури для захисту теплового електронагівача (ТЕН) від перегріву на 60°C і 90°C. Для контролю стану роботи приточного вентилятора та контролю ступеня засміченості фільтра тонкої очистки повітря використовуються датчики вимірювання перепаду тиску (dP), та контроль роботи заслонки зовнішнього повітря.

В загальному випадку система фільтрації повітря працює наступним чином. Приточний вентилятор нагнітає зовнішнє повітря у систему вентиляції через фільтр, що очищає повітря від пилу. Мікропроцесорний блок, що знаходиться в блоці керування, опитує датчик тиску контролю вентилятора, що порівнює різницю тиску до приточного вентилятора і після нього, та датчик тиску контролю фільтра, що порівнює різницю тиску до повітряного фільтра і після нього, й видається сигнал на керування приточного вентилятора. Якщо порівнювана датчиками різниця тиску більше заданої, то мікропроцесорний блок видає сигнал на зупинку роботи приточного вентилятора. Якщо порівнювана датчиками різниця тиску менше заданої, то мікропроцесорний блок продовжує опитування датчиків тиску. Таким чином контролюється потік повітря, що нагнітає приточним вентилятором, а також контролюється ступінь засміченості повітряного фільтра, і в разі потреби подається сигнал про необхідність заміни фільтра. Блок живлення подає живлення на блок керування і приточний вентилятор [6].

Система очищення приточного повітря забезпечує постійний автоматичний контроль процесу вентиляції та ступінь засміченості повітряних фільтрів. Засміченість повітряного фільтра впливає на ступінь чистоти виробничого приміщення. У випадку одержання сигналу з датчиків тиску про падіння тиску повітря після приточного вентилятора або після повітряного фільтра нижче заданої межі – здійснюється зупинка роботи системи вентиляції і виконується відповідна сигналізація.

Для того щоб виключити інфільтрацію повітря в чисте приміщення із суміжних, менш чистих приміщень, системою вентиляції передбачається створення надлишкового тиску чистого повітря відносно сусідніх приміщень з меншим класом чистоти. Це досягається шляхом подачі в приміщення великої кількості повітря з необхідною швидкістю. Системою передбачається контроль ступеня перепаду тиску між чистим приміщенням та допоміжними приміщеннями. Можливе використання системи і в тому випадку, коли необхідно створювати різний тиск в декількох різних чистих приміщеннях. Наприклад, в основному виробничому приміщенні, де виконується прецизійне складання та регулювання гіроскопічних приладів, необхідно встановити та контролювати

клас чистоти 6 ISO. В той же час, технологічним процесом передбачається використання ще одного приміщення, з меншим класом чистоти – 8 ISO, для виконання доводочних операцій. Також додатково передбачається використання шлюзу (тамбуру) між основним приміщенням класу чистоти ISO 6 та допоміжним приміщенням класу ISO 8, в якому теж необхідно підтримувати клас чистоти на рівні ISO 9. В такому випадку система забезпечує необхідні каскадні перепади тиску (повітряні підпори) в кожному з приміщень.

Система підігріву приточного повітря працює наступним чином. Блок живлення забезпечує живленням всі елементи системи. Блок керування керує роботою вентилятора приточного повітря. Вентилятор нагнітає зовнішнє повітря у приміщення через ТЕН, призначений для підігріву повітря. Протягом певного часового інтервалу блок керування опитує датчик температури, встановлений до вентилятора, датчик температури, встановлений після вентилятора, та датчик температури, встановлений в приміщенні. Якщо температура на датчику температури зовнішнього повітря менше температури на датчику температури в приміщенні, блок керування включає ТЕН, якщо температура більше або дорівнює, то блок керування припиняє роботу ТЕНа. Таким чином досягається необхідне значення температури приточного повітря в приміщенні. Датчик температури в каналі додатково виконує функцію захисту нагрівача повітря від перегріву. Якщо температура на цьому датчику більше значення температури заданої блоком керування, то блок керування примусово припиняє роботу ТЕНа, не даючи йому перегрітися і вийти з ладу; якщо температура менше або дорівнює – блок керування продовжує роботу ТЕНа.

В ході виконання роботи, для підтвердження теоретичних розрахунків було розроблено експериментальну установку, що представляє собою цифрову інформаційно-вимірювальну систему моніторингу та керування мікрокліматичними параметрами складального виробничого приміщення, побудовану на базі мікроконтролера AT89C55 фірми ATMEL, що представлена на рисунку 2.

Для виробничого приміщення об'ємом 50 м³ класу вентиляційна система нагнітання приточного повітря забезпечує наступні параметри:

- перепад тиску між чистим і іншими приміщеннями 20 Па;
- кратність повітряного обміну 20 год⁻¹;
- приток повітря – інфільтрація 0 м³/год і примусовий потік 1100 м³/год;
- витяжка повітря – ексільтрація 100 м³/год і загальобмінна 1000 м³/год;
- загальний баланс повітрообміну складає 1100 м³/год;
- швидкість потоку повітря 0,2-0,5 м/с.

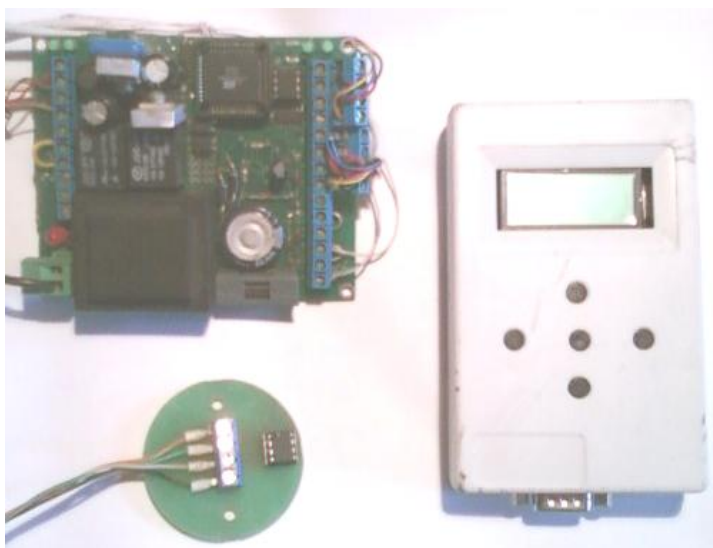


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд системи керування мікрокліматом виробничого приміщення

Контролер управління (КУ-В) системи можна встановлювати прямо в приточній вентиляції. Розроблена система забезпечує виконання наступних основних функцій:

- вимірювання температури зовнішнього середовища, температури в вентиляційному каналі й температури в приміщенні;
- контроль і сигналізація про виниклі несправності в керованому устаткуванні й при аварійних ситуаціях;
- сигналізація про засмічення фільтрів повітря;
- підтримка заданої температури в вентиляційному каналі або в приміщенні в автоматичному режимі за рахунок керування зовнішнім устаткуванням;
- обігрів виробничого приміщень у холодний та перехідний періоди року, за рахунок підігріву приточного повітря зовнішнім електронагрівачем;

В основу роботи системи керування закладений принцип неперервного контролю вентиляційного процесу, шляхом керування відповідного устаткування. Через спеціальні колодки система керування з'єднується з вентиляційним устаткуванням, а саме: заслонкою, вентилятором, електронагрівачем з аварійними датчиками та датчиками температури (рис. 3), датчиками тиску (рис. 4).



Рисунок 3 – Електронагівач повітря (ТЕН) з аварійними датчиками температури та датчиком температури повітря в каналі



Рисунок 4 – Датчики тиску розміщені в системі приточної вентиляції

Система керування може працювати як у ручному, так і в автоматичному режимі:

- автоматичний режим – після подачі живлення система керування автоматично запускає процес вентиляції згідно з встановленими параметрами;
- ручний режим – після подачі живлення система керування перебуває в режимі очікування дозволу на початок роботи.

Контролер керування стежить за процесом вентиляції, управляючи в процесі роботи вузлами вентиляційного устаткування, корегуючи роботу вентиляції відповідно до заданих параметрів, а також сигналізує про збої, передаючи відповідну інформацію на пульт керування. Пульт керування, в свою чергу, забезпечує зв'язок користувача з системою керування та дає можливість контролювати і управляти процесом вентиляції.

Висновки

Розроблена прямоточна вентиляційно-опалювальна система з рециркуляцією повітря забезпечує з великою точністю параметри мікроклімату виробничого боксу, а саме: температуру повітря, перепад тиску між чистим і іншими приміщеннями, кратність повітряного обміну, баланс повітрообміну, швидкість потоку повітря.

Забезпечення параметрів мікроклімату виробничого боксу дає можливість створити в виробничому приміщенні спеціальне технологічне середовище, необхідне для проведення прецизійних операцій складання та регулювання гіроскопічних приладів згідно класу чистоти 6 ISO, що гарантує випуск якісної та надійної продукції.

Перелік використаної літератури: 1. Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air cleanliness. (ISO 14644-1, IDT): ISO 14644-1:1999. – [Чинний від 1999-05-01]. – USAINFO.COM.: COPYRIGHTED MATERIAL LICENSED TO NASA, 1999. – I, 24 с. – (Міжнародний стандарт). 2. Чистые помещения / [Абрамов А.А., Федотов А.Е., Шихт Г.Г. и др.]; под ред. А.Е. Федотова. – [2-е изд.]. – М.: АСИНКОМ, 2003 г. – 576 с. 3. Гироскопические системы, ч. III. Элементы гироскопических приборов. / [Никитин А.Е., Шестов С.А., Матвеев В.А.]; под ред. Д.С. Пельпора. – М.: «Высш. школа», 1972. – 472 с. с илл. 4. Заярный В.П., Волков И.В., Шилин А.Н. Автоматизированная стабилизация температуры на измерительных участках сборочных цехов. // Научно-технический и производственный журнал «Сборка в машиностроении, приборостроении». – 2010. – №6. – С. 3-6. 5. Сарманаев С.Р., Десятков Б.М., Бородулин А.И., Ярыгин А.А. Описание пакета прикладных программ для моделирования микроклимата внутри помещений. // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2003. – Том VI, №4(16). – С. 94-110. 6. Пат. №55401 Україна, МПК Антонюк В.С., Мережаній Ю.Г., Демченко М.О., Матвієнко С.М. Спосіб очищення приточного повітря в системах вентиляції / Заявка №201007542 від 16.06.2010, Опубл.10.12.2011. – Бюл. 23. 7. Государственный таможенный комитет РФ ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. Пособие по проектированию автоматизированных систем управления микроклиматом производственных зданий. – М.: Стройиздат, 1989. – 216 с. 8. Проектирование чистых помещений. / Под. ред. В. Уайта, пер. с англ. [Алексашин О.Ф., Балаханов М.В., Власенко В.И. и др.]; под ред. В.И. Калечица. – М.: изд. «Клирум», 2004. – 360 с.

Надійшла до редколегії 15.05.2011

Bibliography (transliterated): 1. Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air cleanliness. (ISO 14644-1, IDT): ISO 14644-1:1999. – [Chinnij vid 1999-05-01]. – USAINFO.COM.: COPYRIGHTED MATERIAL LICENSED TO NASA, 1999. – I, 24 с. – (Mizhnarodnij standart). 2. Chistye pomewenija / [Abramov A.A., Fedotov A.E., Shiht G.G. i dr.]; pod red. A.E. Fedotova. – [2-e izd.]. – M.: ASINKOM, 2003 g. – 576 s. 3. Giroskopicheskie sistemy, ch. III. Jelementy giroskopicheskikh priborov. / [Nikitin A.E., Shestov S.A., Matveev V.A.]; pod red. D.S. Pel'pora. – M.: «Vyssh. shkola», 1972. – 472 s. s ill. 4. Zajarnyj V.P., Volkov I.V., Shi-lin A.N. Avtomatizirovanaja stabilizacija temperatury na izmeritel'nyh uchastkah sborochnyh cehov. // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Sborka v mashinostroenii, priboro-stroenii». – 2010. – №6. – S. 3-6. 5. Sarmanaev S.R., Desjatkov B.M., Borodulin A.I., Jarygin A.A. Opisaniye paketa prikladnyh programm dlja modelirovaniya mikroklimate vnutri pomewenij. // Sibirskij zhurnal industrial'noj matematiki. – 2003. – Tom VI, №4(16). – S. 94-110. 6. Pat. №55401 Ukraina, MPK Antonjuk V.S., Merezhanij Ju.G., Demchenko M.O., Matvienko S.M. Sposib ochiwennja pritochnogo povitrtja v sistemah ventiljacji / Zajavka №201007542 vid 16.06.2010, Opubl.10.12.2011. – Bjul. 23. 7. Gosudarstvennyj tamozhennyj komitet RF VNII VODGEO Gos-stroja SSSR. Posobie po proektirovaniju avtomatizirovannyh sistem upravlenija mikroklimate-tom proizvodstvennyh zdaniy. – M.: Strojizdat, 1989. – 216 s. 8. Proektirovanie chistyh pome-wenij. / Pod. red. V. Uajta, per. s angl. [Aleksashin O.F., Balahanov M.V., Vlasenko V.I. i dr.]; pod red. V.I. Kalechica. – M.: izd. «Klinrum», 2004. – 360 s.