

## ПІДТРИМКА ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В НОРМАТИВНИХ МЕЖАХ ЯК ЗАСІБ СТВОРЕННЯ КОМФОРТНИХ УМОВ ПРАЦІ

Авраменко М.М., магістр, Сукач С.В., ст. викл., Кобилянський М.А., ас.  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук  
E-mail: saue@polytech.poltava.ua

Розроблено математичну модель вентиляційного комплексу, що дозволяє досліджувати динамічні характеристики в аеромережі та створення зони стабілізації температури та відносної вологості повітря.

**Ключові слова:** математична модель, вентиляція, коефіцієнт комфортності.

**Вступ.** Створення здорових умов праці - процес складний і залежить від цілого комплексу чинників: зовнішніх атмосферних (температури повітря, тиску, сонячної активності), організаційних (активності проведення робіт, годинного проміжку, кількісного складу), мікрокліматичних (концентрації кисню, вологості, температури приміщень і так далі), фізіологічних (самопочуття, стан здоров'я, психологічний стан). Однією з таких основних умов є створення комфортного і безпечного повітряного простору, що досягається своєчасним видаленням шкідливих чинників та підтримкою параметрів повітря в приміщенні в регламентованих межах, застережених нормативними документами [1-3]. Основні параметри повітряного середовища, такі як, температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря та теплове випромінювання нагрітих поверхонь, отримали назву мікроклімату.

Очевидно, що для забезпечення необхідних параметрів приміщень потрібна відповідна сукупність устаткування, елементів для переміщення, розподілу повітря і очищення забрудненого повітря, тобто потрібна сукупність виконавчих пристроїв і система управління ними.

**Аналіз попередніх досліджень.** Розрахунку, побудові і автоматизації систем вентиляції і кондиціонування повітря присвячені публікації [4-6], проте вони недостатньо описують фізичні аспекти формування необхідного повітряного режиму в приміщенні. З іншого боку, багато літературних джерел, присвячених саме теплофізичним аспектам формування необхідного температурного або тепловологісного режиму в приміщенні, які враховують динамічні характеристики вентиляційних агрегатів, але не забезпечують керування мікрокліматичними параметрами в зоні комфортності [7, 8].

Параметри повітряного середовища взаємозв'язані між собою, зміна одного приводить до зміни інших. Безліч параметрів повітряного середовища, які необхідно враховувати, обумовлюють необхідність створення багатофункціональних моделей систем управління, які б підтримували дані параметри в межах санітарно-гігієнічних норм, тим самим створюючи здорові умови праці.

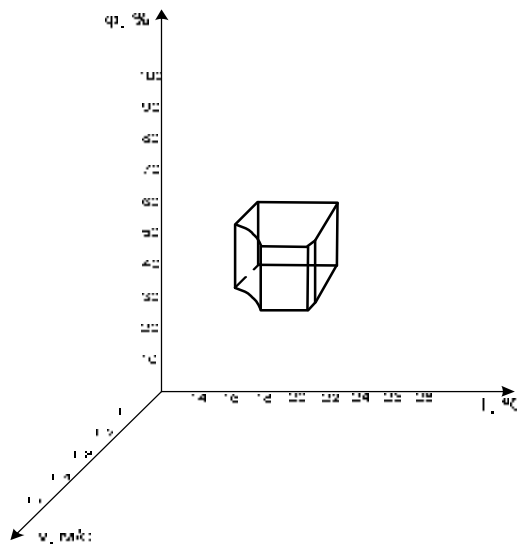
**Мета роботи.** Розробка математичної моделі та дослідження мікрокліматичних параметрів у приміщеннях під час динамічних режимів роботи вентиляційного комплексу.

**Матеріал і результати дослідження.** Відчуттю комфорту людини відповідає визначений діапазон температури (Т), відносної вологості (φ) і швидкості повітря (υ), що наведено у табл. 1.

**Таблиця 1 – Діапазон комфортних значень температури, відносної вологості і швидкості повітря**

Т, °С	υ, м/с	φ, %
18	0..0,1	60..75
19	0..0,12	39..73
20	0..0,15	38..72
21	0..0,2	37..69
22	0..0,25	35..67
23	0..0,3	34..57
24	0,19..0,36	35..40

Трьохвимірною моделлю розглянутого діапазону представлена на рисунку 1 [9].



**Рисунок 1 – Трьохвимірною моделлю діапазону комфортних умов**

У цілому поняття комфортності не має чіткого подання, особливо в тих випадках, коли параметр комфортності залежить не від одного, а від низки факторів.

У випадку наявності одного фактора, що впливає на комфортність, залежність показника комфортності може бути представлена відповідною кривою, легко апроксимованою відповідними математичними

прийомами. При двох факторах можна одержати деяку фігуру на площині, при трьох і більше – об'ємні пересічні, що накладаються одна на одну й т.д. [10].

Аналіз літературних джерел довів, що відсутній математичний апарат, за допомогою якого можна виразити параметри комфортності від заданої сукупності факторів. У такій постановці задача зводиться до застосування методів планування експерименту [10, 11].

На першому етапі проведемо дослідження для двох параметрів мікроклімату – температури та відносної вологості (табл. 3).

При плануванні експерименту необхідно вибрати критерій оптимізації – параметр, по якому оцінюється досліджуваний об'єкт і який зв'язує чинники в математичну модель. При дослідженні параметрів повітряного середовища, як основний критерій оптимізації прийнята комфортність [10], запропоновано введення додаткового параметру – коефіцієнту комфортності (К).

**Таблиця 2 – Основні фактори, що впливають на комфортність**

Фактори	Позначення	Межі досліджень
Температура, °C	T	14..28
Вологість, %	φ	10..100

Математична обробка отриманих даних дозволила встановити сумісний вплив температури, вологості повітря на коефіцієнт комфортності. Як спосіб побудову синтезу поліноміальної моделі було застосовано двофакторне рототабельне планування другого порядку (РЦКП). Функцією відгуку був коефіцієнт комфортності. Дисперсії відтворюваності, перевірка гіпотез відтворюваності дослідів здійснювалася по критерію Кохрена, розраховувалися коефіцієнти регресії.

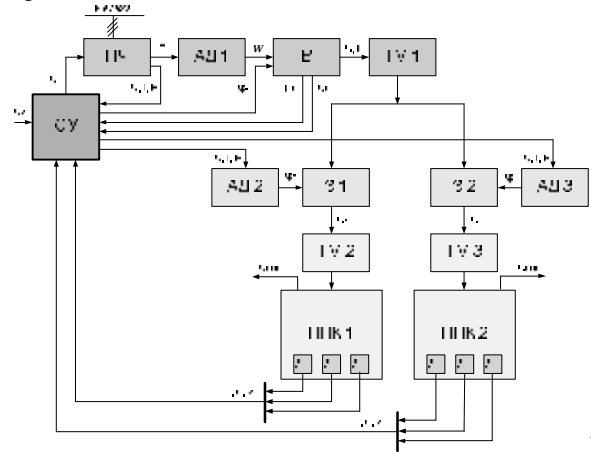
У результаті розрахунків було отримано рівняння регресії, математична модель залежності коефіцієнта комфортності від параметрів повітряного середовища отримана у вигляді:

$$K = -6,5536 + 0,5916 \cdot T + 0,05038 \cdot j - 0,01293 \cdot T^2 - 0,000872 \cdot T \cdot j - 0,000307 \cdot j^2. \quad (1)$$

Створення оптимального складу повітряного середовища в приміщенні може здійснюватися шляхом видалення тепло-, газо- і вологонадлишків, пилу і додавання необхідної кількості свіжого повітря для досягнення оптимальних параметрів повітряного середовища усередині приміщення. Ці процеси забезпечуються за допомогою систем вентиляції (СВ), завданням яких є підтримка таких параметрів повітряного середовища, при яких людина могла відчувати себе комфортно і не помічати впливу цього середовища.

З метою дослідження та аналізу динамічних режимів роботи розроблено блок-схему (рис. 2) та наведено математичний опис елементів, що входять до складу моделі.

Прийняті в блок-схемі (рис. 2) позначення: СУ – система управління параметрами повітряного середовища; ПЧ – перетворювач частоти; АД – асинхронний двигун; В – вентилятор з аеродинамічним пристроєм регулювання; ТМ – трубопровідна аеромережа; З – засувка; ППК – приміщення підвищеної комфортності; Д – датчик параметрів повітряного середовища.



**исунок 2 – Блок-схема системи управління вентиляційним комплексом з розгалуженою аеромережею**

Розроблена структурна схема математичної моделі вентиляційного комплексу в процесі стабілізації мікрокліматичних параметрів [4] одного та двох приміщень з розгалуженою аеромережею та двома засувками для регулювання витрати повітря (рис. 3).

Прийняті позначення (рис. 3):

- відцентровий вентилятор ВВ:  $H_0$  – тиск, що розвиває вентилятор при нульовій подачі, м;  $R_{vn}$  – внутрішній опір вентилятора,  $c^2/m^5$ ;  $n = w_{ven} / w_{ven,n}$  – відносна швидкість обертання робочого колеса вентилятора;  $w_{ven}$ ,  $w_{ven,n}$  – поточна та номінальна частоти обертання вентилятора,  $c^{-1}$ ;  $H_{vh}$ ,  $H_{vuh}$  – напори на вході та виході робочого колеса вентилятора відповідно, м;  $T_g$  – постійна часу, що враховує динамічні властивості вентилятора, с;  $M_{nom}$  – номінальний момент двигуна, Н·м;  $M_0$  – момент неробочого ходу машини, Н·м;

- ділянка трубопровідної аеромережі ТМ:  $Q_{sp}$  – гідравлічна витрата;  $r_0, l_0, c_0$  – питомі параметри ТМ;  $l_d$  – довжина ділянки трубопроводу;  $R_s$  – опір трубопроводу;

- засувка З:  $x_z$  – коефіцієнт опору засувки;  $b = j_{shp} / (2pn)$  – відносний ступінь відкриття засувки;  $j_{shp}(t) = \int w_{shp}(t) dt$  – поточний кут повороту шпінделя запірної арматури, рад.;  $w_{shp} = w_d / i$  – поточна частота обертання шпінделя арматури,  $c^{-1}$ ;  $w_d$  – поточна частота обертання вала приводного електродвигуна,  $c^{-1}$ ;  $i$  – передаточне відношення

редуктора електроприводу засувки;  $n$  – кількість обертів, необхідна для повного закриття засувки;

$$R_{zad}(t) = \frac{x_{zad}(b(t))}{2gS^2} - \text{аеродинамічний опір засувки, } c^2/m^5;$$

– асинхронний двигун АД:  $T_{ed}$  – електромагнітна стала часу АД, с;  $b_d$  – жорсткість механічної характеристики;  $M$  – електромагнітний момент АД,  $H \cdot m$ ;  $M_c$  – статичний момент,  $H \cdot m$ ;  $J$  – момент інерції АД,  $kg \cdot m^2$ ;  $p_n$  – число пар полюсів;

- регулятор температури РТ;
- регулятор вологості РВ;
- блок завдання коефіцієнту комфортності  $K_k$ .

Дана модель дозволяє досліджувати динамічні характеристики в аеромережі при стабілізації параметрів повітряного середовища в приміщенні шляхом управління продуктивністю повітря вентиляційного агрегату та регулювання положенням дросельних засувок в каналах аеромережі.

Регулятори температури (РТ) та відносної вологості (РВ) повітря в приміщенні, представлені на рис. 4. На вхід регулятора (РТ) подається значення температури повітря після закриття засувки. Відповідно сигнал подається на ключі в системі, які мають

задане значення діапазону комфортних значень температури повітря. Температурному діапазону відповідають наступні значення: нижня межа 18 °С, верхня 22 °С. Якщо значення температури на вході не виходить із зазначеного діапазону, то на виході суматора ми отримуємо нуль, якщо перевищує верхню межу – «-1», нижню межу – «1». Далі отримане значення перемножується на різницю температур (температура на вході мінус температура завдання), взяту по модулю, та подається на суматор, де додається до температури на вході регулятора, та одержуємо відрегульовану температуру повітря в кімнаті.

Аналогічно регулятору температури будується регулятор відносної вологості повітря (РВ) із заданими діапазонами комфортних значень, які відповідають: верхня межа – 40 %, нижня – 60 %, вологість завдання – 50 %.

Значення температури та відносної вологості повітря, отримані після регуляторів, подаються на підсистему математичної моделі приміщення. Блок коефіцієнту комфортності ( $K_k$ ) на основі параметрів повітряного середовища приміщення подає керуючий сигнал ( $K$ ) на систему управління засобами вентиляційного комплексу.

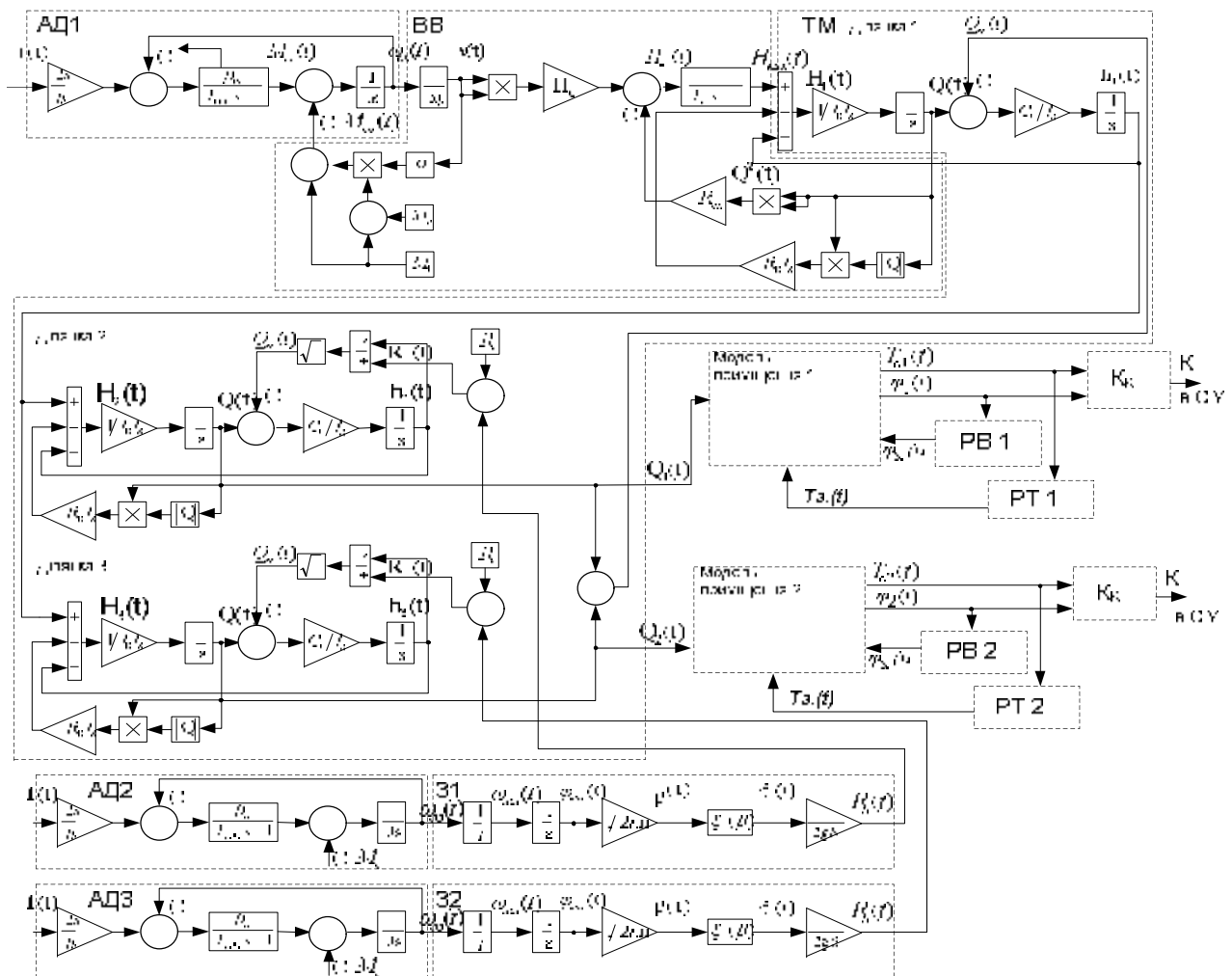


Рисунок 3 – Структурна схема математичної моделі вентиляційного комплексу з розгалуженою аеромережею

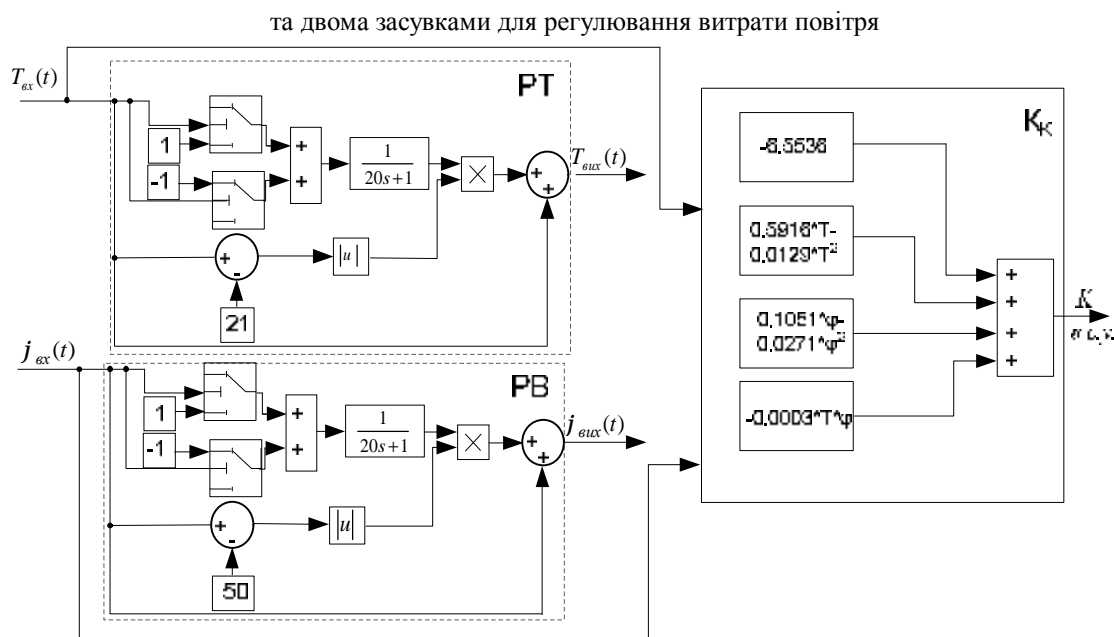


Рисунок 4 – Структурна схема регуляторів параметрів повітряного середовища та рівняння регресії

Проведені дослідження математичної моделі вентиляційного комплексу при поданні в приміщення різних за величиною температури та відносної вологості. Перше приміщення характеризується температурою повітря – 25 °С та вологістю – 50 %. В другому приміщенні температура – 27 °С, відносна вологість – 60 % та температура зовнішнього повітря – 10 °С та вологість – 80 %.

Запуску вентилятора та виходу на номінальний рівень продуктивності відповідає відрізок часу  $t_1=246$  с (рис. 5,а). Водночас з цим спостерігається збільшення вологості та об'єму повітря, що подається до приміщення, та зменшення температури повітря в приміщенні. По досягненню об'єму повітря в приміщенні, що складає – 98,8 м<sup>3</sup> та відповідає відрізок часу  $t_1$ , подається сигнал на управління засувкою. Після закриття засувки на регулятори подається значення температури та відносної вологості повітря, у відповідності до заданих діапазонів комфортних значень відбувається регулювання мікрокліматичних параметрів. Оскільки ні температура, ні відносна вологість повітря не перевищили задані діапазони, то регулювання не здійснюється. Але так як під час управління засувкою робота вентилятора продовжується і деяка продуктивність повітря в аеромережі все ще зберігається, то температура повітря продовжує знижуватись до +18,6 °С, а відносна вологість збільшується до 58,7 %. В момент часу, що відповідає відрізок  $t_2 = 400$  с засувка повністю закрита, коефіцієнт комфортності при цьому дорівнює 0,93.

Отримані графіки стабілізації температури в другому приміщенні (рис. 5,б). Запуск вентилятора та встановлення номінального рівня витрат, зміни вологості, об'єму та зменшення температури повітря відповідає відрізок  $t_1 = 322$  с. По досягненню об'єму

повітря в приміщенні, що складає – 123,76 м<sup>3</sup>, подається сигнал на управління засувкою ( $t = 322$  с). Подається сигнал управління на зменшення обертів вентилятора, при цьому продуктивність знижується до мінімуму, температура, не перевищуючи задані діапазони комфортних значень, має стабільне значення, а відносна вологість повітря, перевищивши верхню межу на 1,2 %, зменшується за допомогою регулятора до 50 %, коефіцієнт комфортності при даних значеннях дорівнює 1.

Також були проведені дослідження математичної моделі вентиляційного комплексу при поданні в приміщення других за величиною температури та відносної вологості. Перше приміщення характеризується температурою повітря – 26 °С та вологістю – 60 %. В другому приміщенні температура – 24 °С, відносна вологість – 70 % та температура зовнішнього повітря – 28 °С та вологість – 40 %.

На графіках (рис. 6) представлено ввімкнення вентилятора, встановлення номінального рівня продуктивності вентилятора, криві стабілізації відносної вологості, температури повітря приміщення та об'єму повітря (відрізок  $t_1$ ).

В першому приміщенні (рис. 6,а) після закриття засувки температура перевищує задані діапазони комфортних значень, тому відбувається ввімкнення регуляторів та зменшення температури до – 21 °С, відносна вологість зменшується до 54 % за рахунок вентиляювання, що не перевищує значення діапазону комфортних умов, коефіцієнт комфортності при даних значеннях дорівнює 1.

Відносна вологість повітря в другому приміщенні (рис 6,б) не перевищує задані значення, отже регулювання не відбувається, а температура перевищує верхню межу, тому регулюється до 21°С, коефіцієнт комфортності при цьому дорівнює 1.

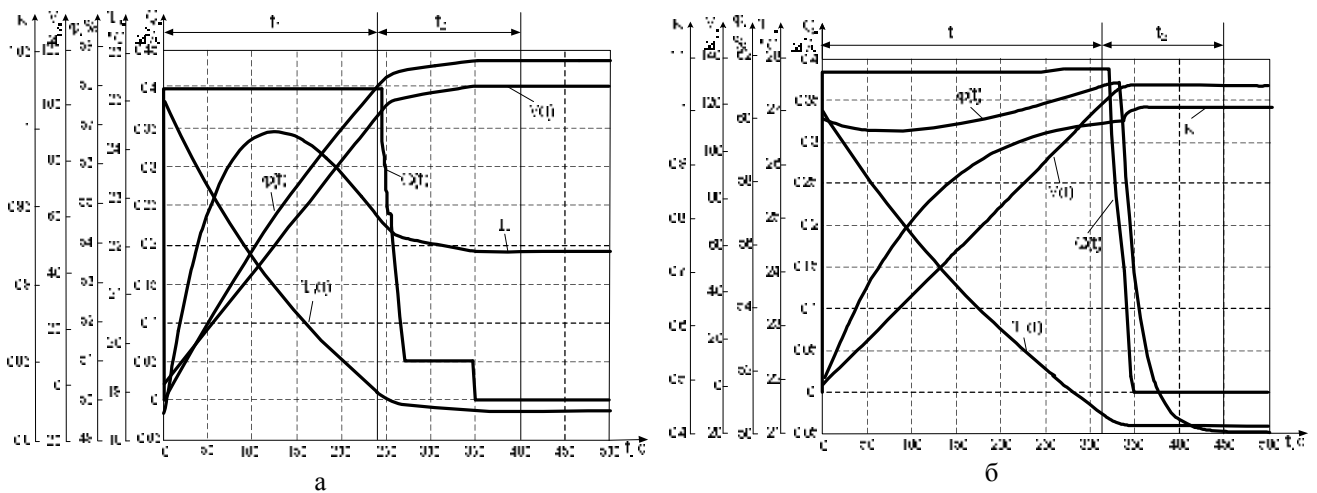


Рисунок 5 – Графіки зміни продуктивності вентилятора, об'єму повітря, коефіцієнту комфортності, температури та відносної вологості повітря в приміщенні 1 (а) та приміщенні 2 (б)

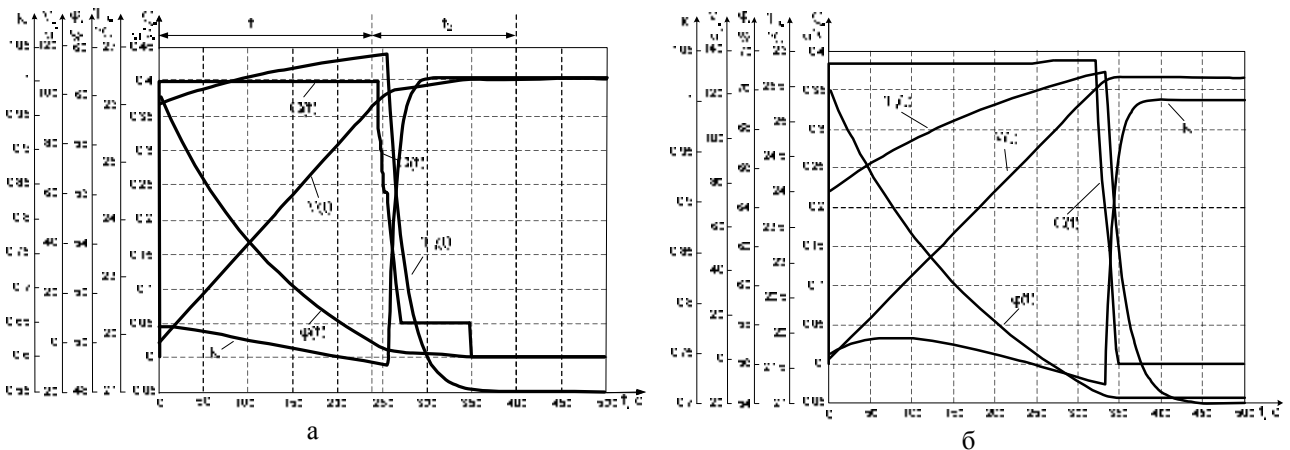


Рисунок 6 – Графіки зміни продуктивності вентилятора, об'єму повітря, коефіцієнту комфортності, температури та відносної вологості повітря при зміні мікрокліматичних параметрів в приміщенні 1 (а) та приміщенні 2 (б)

**Висновки.** Створена регресійна модель, що забезпечує керування по ряду чинників, які впливають на показники комфортності та введено показник, коефіцієнт комфортності, який дозволяє контролювати мікрокліматичні фактори згідно нормативних показників.

Розроблений математичний опис та отримана математична модель вентиляційного комплексу, що дозволяє проводити дослідження мікрокліматичних параметрів у приміщеннях під час динамічних режимів роботи.

Отримані результати свідчать про те, що зона стабілізації параметрів мікроклімату досягається згідно нормативних показників.

Результати досліджень свідчать про доцільність використання запропонованої моделі в процесі нормалізації інших чинників повітряного середовища приміщень.

Встановлено необхідність оснащення приміщень загального користування датчиками параметрів повітряного середовища відповідно до чинників, по яких здійснюється керування.

Запропонована модель і установка дозволяє перевірити відповідність встановленого устаткування на можливість виведення шкідливих речовин за встановлений нормами час, оскільки при прийомі в експлуатацію подібних вентиляційних установок необхідна перевірка на ефективність видалення шкідливих чинників.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – Затверджені МОЗ України 1.12.99, постанова № 37. – 29 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Взамен ГОСТ 12.1.005 – 76; Введен с 01.01.89. М.: Изд-во стандартов, 1988. – 65 с.
3. ДБН В. 2.5-23-2033. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: – Затверджені наказом Державного комітету з будівництва та архітектури від 24.09.2003 р. № 160 та введені в дію з 1.06.2004 № 228. – К.: Держбуд України, 2004. – 129 с.
4. Шутька О. В. Модель вентиляційного ком-

плексу в задачах стабилизации температурного режима в помещении / О. В. Шутька, С. В. Сукач // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 3/2010 (62), ч. 1. – С. 57–62.

5. Сукач С. В. Технічні рішення з підвищення ефективності системи індивідуального провітрювання лабораторних приміщень / С. В. Сукач, О. В. Шутька // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 3/2010 (62). Ч. 2. – С. 51–55.

6. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [учебное пособие] / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич. – М.: Аванпост-Прим, 2005. – 560 с.

7. Богословский В. Н. Отопление и вентиляция: [учеб. для вузов] / В. Н. Богословский, В. П. Щеглов, Н. Н. Разумов. – М.: Стройиздат, 1980. – 180 с.

8. Вентилювання приміщень / [С. С. Жуковский, О. Т. Возняк, О. М. Довбуш, З. С. Люльчак]. – Л.: Львівська політехніка, 2007. – 476 с.

9. Седов А.В. Обеспечение комфорта человека в помещении посредством инженерных систем / Седов А.В., Челишков П.Д., Редин И.В. // Вісник ДНАБА. – 2009. – Вип. 5/2009(79). – С. 94–97.

10. Шульга Ю. И. К решению задач управления микроклиматом в помещениях учебных заведений / Ю. И. Шульга, А. П. Черный, С. В. Сукач // Проблеми охорони праці в Україні. – 2010. – Вип. 19. – С. 37–44.

11. Налимов В.В. Статистические методы планирования экспериментов / Налимов В.В., Чернова Н.А. – М.: Наука, 1965. – 365 с.

Стаття надійшла 28.11.2010 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Каліновим А.П.

## ПОДДЕРЖКА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В НОРМАТИВНЫХ ПРЕДЕЛАХ КАК СРЕДСТВО СОЗДАНИЯ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА

*Авраменко М.М., магiстр, Сукач С.В., ст. преп., Кобылянский М.А., асс.  
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг  
E-mail: saue@tipolytech.poltava.ua*

Разработана математическая модель вентиляционного комплекса, которая позволяет исследовать динамические характеристики в аэросети при стабилизации температуры и относительной влажности воздуха.

**Ключевые слова:** математическая модель, вентиляция, коэффициент комфортности.

## SUPPORT OF PARAMETERS OF MICROCLIMATE IS IN NORMATIVE LIMITS AS MEAN OF CREATION OF COMFORT TERMS OF LABOUR

*Avramenko M., master, Sukach S., Sen. Lect., Kobilyans'kiy M., ass.  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine  
E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

The mathematical model of a vent complex is worked out, that allows to investigate dynamic descriptions in an aeronetwork during stabilizing of temperature and relative humidity of air.

**Key words:** mathematical model, ventilation, coefficient of comfort.