

УДК 697.922:628.852.2:621.313.333.02

<sup>1</sup>Сукач Сергій Володимирович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри систем автоматичного управління та електропривода

<sup>2</sup>Запорожець Олександр Іванович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності

<sup>1</sup>Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, Київ

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Обґрунтовано необхідність проведення модернізації вентиляційних систем будівель і споруд. Розроблено структурну схему та проведено вибір інтерфейсного устаткування програмно-технічного комплексу автоматизованої системи управління вентиляційної установки. Розглянуто та обґрунтовано доцільність використання вибраної організації програмно-технічного комплексу, до якого входять три системи управління та збирання даних. Розроблено структурні схеми, викладено принципи роботи та функціональні можливості всіх трьох систем.

**Ключові слова:** вентиляційна система, автоматизована система, програмно-технічний комплекс, система керування й збирання даних

**Аннотация.** Обоснована необходимость проведения модернизации вентиляционных систем помещений, разработана структурная схема и проведен выбор интерфейсного оборудования программно-технического комплекса автоматизированной системы управления вентиляционной установки. Рассмотрена и обоснована возможность использования программно-технического комплекса в составе трёх систем управления и сбора данных. Разработаны структурные схемы, рассмотрены принципы работы и функциональные возможности всех трёх систем.

**Ключевые слова:** вентиляционная система, автоматизированная система, программно-технический комплекс, система управления и сбора данных

**Abstract.** The necessity of buildings ventilation systems modernization has been proved. The structural scheme of air handling unit of automated control system of program-technical complex has been developed and its selection has been conducted. The applicability of program-technical complex which includes three systems of control and data collection has been considered and proved. The visualization model of automated ventilation system work has been developed and it permits to realize the monitoring and treatment of information about technological, electrical and microclimate parameters, also it adjust and coordinate the work and manage the devices of ventilation system. The application of various data control and collection systems permits to interrogate the sensors with various sampling frequency depending on experiments conditions that permits to conduct the more precise measurements, the control of technological parameters and the study of energetic processes in complex electrical and electromechanical energy converters. In the case of the fault of one of the program-technical complex systems of ventilation unit the two other fulfill required function of standard microclimate parameters providing in the premises. The technical solutions of ventilation unit automation and dispatching which provide comfort and safe air environment in the premises and efficient conduction of scientific research of automated control system of technological process have been developed.

**Keywords:** ventilation system, automated system, program-technical complex, system control and data collection

### Актуальність роботи

Для підтримки комфортного та безпечного повітряного середовища у виробничих і навчальних приміщеннях під час проведення науково-дослідних

і лабораторних робіт необхідне використання систем вентиляції, кондиціонування та опалювання. Забезпечення належного повітрообміну, подача свіжого повітря та підтримка його параметрів у нормованих санітарно-гігієнічних межах

здійснюється за допомогою вентиляційних комплексів [1-3].

Наявні промислові автоматизовані системи вентиляції дозволяють знайти баланс між створенням комфортного мікроклімату і зниженням енерговитрат, але вони достатньо складні, витратні і головне, непристосовані для проведення науково-дослідних робіт [4].

В умовах лабораторних приміщень кафедри систем автоматичного управління та електропривода КрНУ імені Михайла Остроградського був створений комплекс вентиляційної установки, який дозволяє вести всебічне спостереження за параметрами повітряного середовища лабораторного комплексу й корегувати їх у разі потреби [5-9]. Проте він технічно застарів і став малоефективним для проведення експериментальних і наукових досліджень із використанням сучасних комп'ютерних технологій.

У зв'язку з вищевикладеним, необхідне проведення модернізації вентиляційної системи з використанням наявних систем вимірювання й управління мікрокліматом приміщень і доповнення засобами виміру енергетичних, технологічних параметрів електропривода та введення її в склад сучасної запірно-регулюючої арматури. За таких умов можлива інтеграція технічних пристроїв, засобів вимірювання й системи диспетчеризації у загальний сучасний програмно-технічний вентиляційний комплекс [4; 10]. Це дозволило б точніше контролювати та підтримувати в нормованих межах мікрокліматичні параметри у приміщеннях, оцінювати енергетичну ефективність різних способів регулювання продуктивності вентиляційного комплексу та знаходити оптимальні режими роботи активних та пасивних регуляторів.

### Мета статті

Метою є обґрунтування структури, розроблення систем управління й збирання даних та диспетчеризації автоматизованих вентиляційних систем.

### Матеріали і результати досліджень

У роботі розглянуто сучасний підхід до розробки, побудови й введення в експлуатацію програмно-технічного комплексу (ПТК) автоматизованої системи управління (АСУ) вентиляційним обладнанням.

ПТК побудований з використанням новітніх інформаційних технологій, сучасних технічних засобів автоматизації й управління. Він є єдиною системою, що складається із сукупності різноаспектних компонентів: технічних і програмних засобів, автоматизованої й автоматичної

систем, призначених для збирання, оброблення й передачі інформації та проведення науково-дослідних робіт (рис. 1).



Рис. 1. Апаратні засоби АСУ науково-дослідним вентиляційним обладнанням

У ПТК використовується велика кількість варіантів інтерфейсного устаткування, яке відповідає різним стандартам (рис. 2):

1) зв'язок аналогово-цифрового й цифро-аналогового перетворювача (АЦП-ЦАП), реалізованого на мікроконтролері Atmega128 і призначеного для керування пристроями вентиляційної системи, вимірювання мікрокліматичних і технологічних параметрів, з ПК здійснюється за допомогою інтерфейсів USB-RS-232;

2) вимірювачі-регулятори мікрокліматичних параметрів ТРЦ-02 і ПД-регулятор ТРМ-210 оснащено промисловим перетворювачем інтерфейсів зв'язку RS-232 та RS-485 ОВЕН, призначеним для двоспрямованого обміну даними з ПК;

3) для вивчення режимів роботи системи перетворювач частоти-асинхронний двигун (ПЧ-АД), а також для вимірювання миттєвих значень струмів і напруг використовується мікросистема управління й збирання даних m-DAQ.

Чому вибрано таку стратегію організації ПТК, до якого входять три системи управління й збирання даних (рис. 2)?

По-перше, це зумовлено тим, що системи вентиляції входять до категорії особливо важливих систем, які забезпечують підтримку комфортного та безпечного повітряного середовища приміщень що підвищує рівень охорони праці.

При цьому необхідна безвідмовна робота вентилятора як основного вузла головного виконавчого механізму системи. Хоча кожна система комплексу виконує свою цілеспрямовану функцію, вона має можливість передачі керування деякими компонентами науково-дослідного вентиляційного обладнання.

Друга причина такої організації полягає в тому, що за допомогою комплексу студенти виконують лабораторні роботи з різних дисциплін за напрямом «Електромеханіка».

Третя причина полягає в тому, що комплекс є науково-дослідним і для проведення деяких експериментів не потрібний увесь функціонал комплексу, який використовується під час виконання лабораторного практикуму. Також треба врахувати той факт, що розроблена вентиляційна установка перебуває в постійній модернізації.

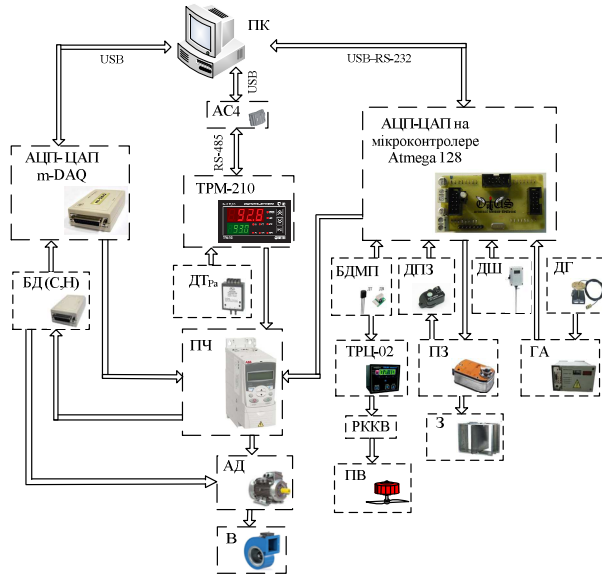


Рис. 2. Структурна схема ПТК АСУ вентиляційним обладнанням:

В – вентилятор; АД – асинхронний двигун; З – засувка; ПЗ – привод засувки; БД (С, Н) – блок датчиків струму й напруги; БДМП – блок датчиків мікрокліматичних параметрів (ДТ – датчик температури, ДВ – датчик вологості); ДТ<sub>ра</sub> – датчик тиску; ПВ – віконний вентилятор; ДШ – датчик швидкості повітря; ДГ – датчик газоаналізатора; ПЧ – перетворювач частоти; ГА – газоаналізатор; АС4 – перетворювач інтерфейсу; ТРМ 210 – ПІД-регулятор; ТРЦ-02 – вимірник-регулятор мікрокліматичних параметрів; РККВ – реле комутації каналних вентиляторів; ДПЗ – датчик положення засувки; АЦП-ЦАП – аналогово-цифровий і цифро-аналоговий перетворювач; ПК – персональний комп'ютер

Розглянемо більш детально принципи роботи й функціональні можливості всіх трьох систем керування й збирання даних ПТК АСУ вентиляційним обладнанням.

Важлива функція в апаратній частині комплексу належить системі управління й збирання даних АЦП-ЦАП, виконаної на мікроконтролері Atmega 128 (MCU AVR 128) (рис.3).

Комутація приладу з ПК відбувається за допомогою USB-RS232, для цього використовується устаткування «FT232», яке узгоджує рівні вхідних і вихідних сигналів мікроконтролера та ПК за допомогою протоколу USART.

Опитування датчиків мікрокліматичних параметрів здійснюється вісімнадцятьма динамічними аналоговими каналами, що підключені до паралельних мультиплексорів, якими керує один

високошвидкісний статичний АЦП мікроконтролера. Керування й комутації виконавчих механізмів, а саме приводами засувок (ПЗ1–ПЗ7), здійснюється дванадцятьма реле, реалізованими у вигляді транзисторного ключа (дискретне керування). Контроль та індикація швидкості руху потоку повітря на ділянках аеродинамічної мережі виконується датчиками швидкості (ДШ1–ДШ5) серії AVU-1-U.

ЦАП мікроконтролера Atmega 128 здійснює управління системою ПЧ-АД вентиляційного обладнання.

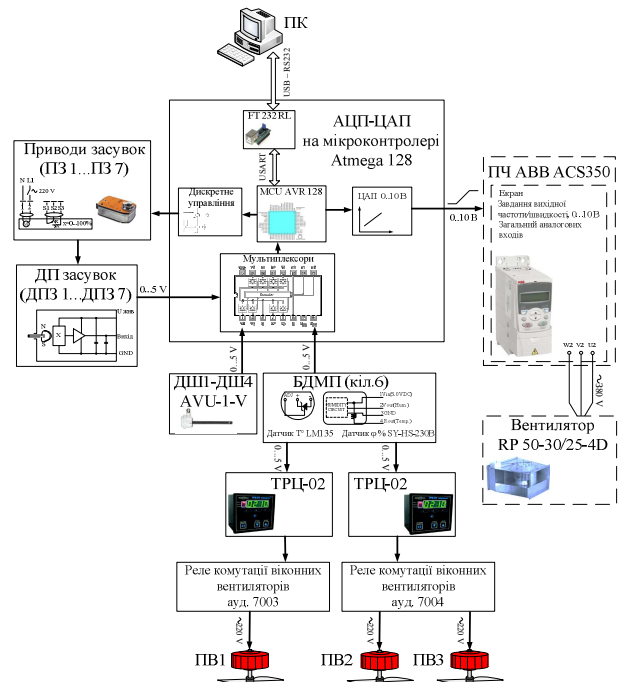


Рис. 3. Структурна схема системи управління й збирання даних АЦП-ЦАП на мікроконтролері Atmega 128

У ПТК використовуються вимірники-регулятори мікрокліматичних параметрів ТРЦ-02, які, опитуючи датчики (БДМП) та комутуючи через реле каналні вентилятори двох лабораторій, забезпечують приплив свіжого повітря до приміщення.

З метою модернізації комплексу на шість вільних статичних каналів АЦП є можливість підключення додаткових динамічних аналогових каналів, які дозволяють вимірювати додаткові параметри повітряного середовища в приміщенні (іонізацію, вуглекислий газ, кисень тощо).

Структурна схема комутацій системи, побудованої на основі ПІД-регулятора ОВЕН ТРМ210, наведена на рис. 4.

ПК за допомогою USB-кабеля комутується з перетворювачем інтерфейсів АС4 ОВЕН, який здійснює перетворення електричних сигналів інтерфейсу RS-485 на сигнали ТТЛ-логіки й навпаки, а також вибір напрямку передачі даних,

оскільки двопровідний інтерфейс RS-485 водночас може або передавати, або приймати дані.

АС4 ОВЕН по двопровідній лінії комутується з ПІД-регулятором ТРМ 210, який опитує датчики тиску (ДТ<sub>Pa1</sub>-ДТ<sub>Pa4</sub>), обчислює за отриманими даними поточні значення вимірюваних величин, відображає їх на цифровому індикаторі й видає відповідні сигнали на вихідні пристрої, а також вихідним аналоговим пристроєм керує ПЧ, регулюючи швидкість обертання асинхронного привода вентилятора.

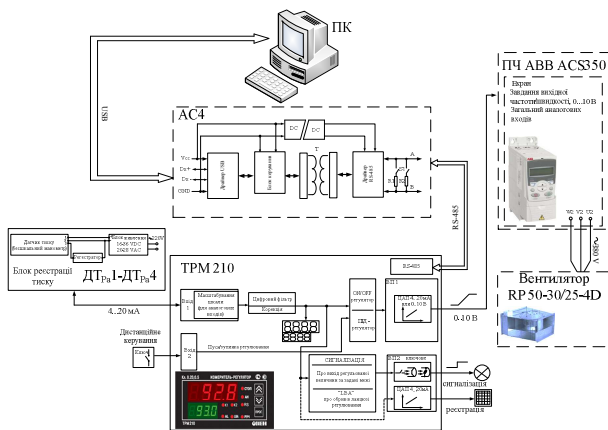


Рис. 4. Структурна схема систем управління й збирання даних фірми ОВЕН

З урахуванням вищевикладеного, розроблені дві перші системи дають змогу:

- за рахунок ефективної спільної роботи вентилятора й засувок забезпечувати необхідну витрату повітря, тим самим створюючи комфортне й безпечне повітряне середовище у приміщеннях;
- забезпечувати зниження енергоспоживання й підвищення енергоефективності роботи устаткування вентиляційної системи, оптимізуючи повітродіагностичний розподіл на ділянках розгалуженої аеродинамічної мережі;
- досліджувати енергетичну ефективність різних методів регулювання продуктивності вентиляторної установки та динамічних процесів при функціонуванні аеродинамічного комплексу, аналізувати розподіл втрат енергії в складній аеродинамічній мережі, налагоджувати апаратні та програмні ПІД-регулятори та ін.

Для збільшення функціональних можливостей науково-дослідної вентиляційної установки прийнято рішення про необхідність вимірювання енергетичних параметрів системи ПЧ-АД. Розроблена система управління й діагностики електропривода вентилятора (m-DAQ), робота якої полягає у вимірюванні миттєвих значень струму і напруги за допомогою блока датчиків струму і напруги в силовому колі ПЧ-АД (рис. 5).

Принцип роботи вимірювального модуля блока датчиків струму і напруги полягає в перетворенні діючих значень цих фізичних величин у силовому колі ПЧ-АД на значення напруги для комутації з АЦП системи збирання даних m-DAQ, частота дискретизації якої становить 1кГц.

Сигнали з датчиків струму безпосередньо комутуються з аналоговими каналами АЦП, а сигнали з датчиків напруги фільтруються (фільтри), де відбувається перетворення ШІМ-сигналу ПЧ на змінну напругу, і потім комутуються з аналоговими каналами. Система збирання даних m-DAQ виконує дві функції – передача даних вимірів на ПК та управління ПЧ.

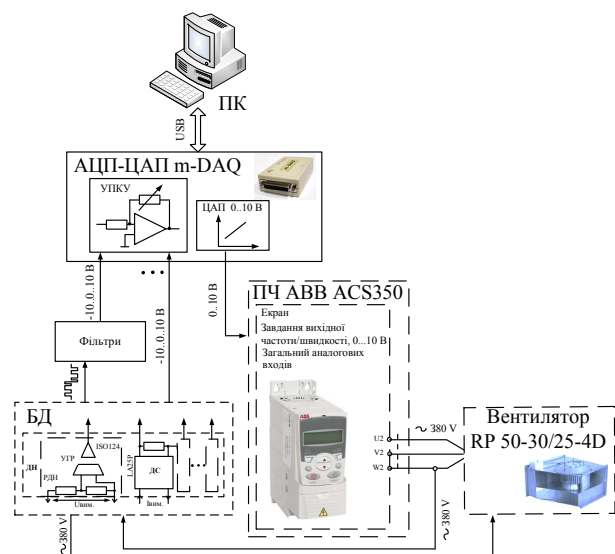


Рис. 5. Структурна схема системи управління й діагностики електропривода вентилятора m-DAQ

Вирішення завдань з обробки та моніторингу технологічних, електричних, мікрокліматичних параметрів, формування сигналів керування, налагодження та узгодження роботи всіх пристроїв науково-дослідного вентиляційного обладнання досягнуто шляхом створення моделі візуалізації (рис. 6), програмне забезпечення якої реалізовано в середовищі Delphi.

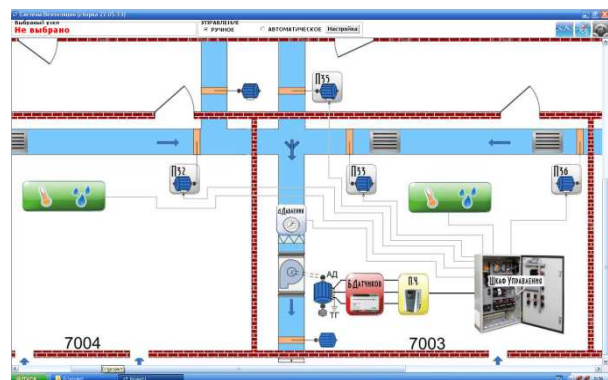


Рис. 6. Головне вікно візуалізації ПТК



Розроблена програма дає змогу управляти системою вентиляції, виконавчими пристроями з можливістю швидкого переналадження і додавання нових компонентів, що робить її зручною та гнучкою. Однією з важливих переваг є можливість підключення більше однієї комутаційної системи і застосування інших програм, додатків у вікнах візуалізації, які можуть використовуватися під час розвитку системи. Після запуску програми візуалізації здійснюється підключення до устаткування автоматизованої вентиляційної системи та з'являється головне вікно (рис. 6), на якому зображено приміщення лабораторного комплексу та встановлені в них компоненти системи, під час використання яких здійснюється контроль та управління згаданими вище параметрами.

На рис. 7 наведено графіки стабілізації мікрокліматичних параметрів.

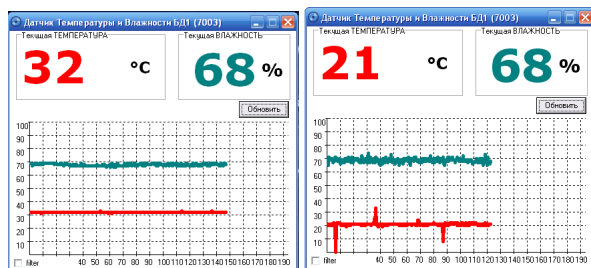


Рис. 7. Графіки зміни температури та вологості повітря у приміщенні

Спостерігаємо, що при вмиканні вентиляційної установки (максимальна частота обертання вентилятора та повністю відкриті засувки) температура у приміщенні знизилася до нормованих значень протягом 12 хв, що пояснюється великою інерційністю, а також тим, що для проведення експериментів встановлено опитування датчиків кожні 0,5 с, тому на графіках спостерігаємо повільну зміну параметрів.

Для вимірювання енергетичних параметрів системи ПЧ-АД використовується візуальне зображення даних показників у програмному пакеті LabView (рис. 8), який інтегрований у загальну систему візуалізації режимів роботи вентиляційної установки.

Такий підхід реалізував «запис даних» (рис. 8) та дозволив обробити дані експериментів за допомогою програмного забезпечення Mathcad для різних частот обертання вентилятора й кутів повороту засувок в аеромережі. Це дозволяє аналізувати енергоефективність методів регулювання параметрів вентиляційної системи й оцінювати енергетичні характеристики, вивчати енергетичні процеси у складних електричних і

електромеханічних перетворювачах енергії, оцінювати енергетичні властивості системи ПЧ-АД при активному й пасивному регулюванні.

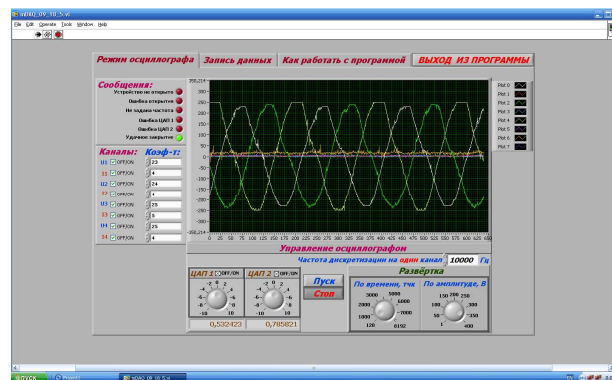


Рис. 8. Вікно вимірювання енергетичних параметрів

Використання віртуального осцилографа (рис. 8) дає змогу оцінювати синусоїдальність електроструму та перекіс фаз, невідповідність яких нормам призводить до аварійних режимів роботи електротехнічного устаткування та появи магнітних полів гігієнічно значущих рівнів, які негативно впливають на здоров'я працівників.

## Висновки

Запропоновано структуру ПТК АСУ вентиляційного обладнання, що об'єднала в єдину систему устаткування вентиляційної системи, пристрої контролю й моніторингу, а також програмно-апаратні засоби.

Створена модель візуалізації роботи автоматизованої вентиляційної системи дозволяє реалізувати моніторинг і обробку інформації про технологічні, електричні та мікрокліматичні параметри; налагоджує, узгоджує роботу та керує пристроями вентиляційної системи.

Використання різноманітних систем управління й збирання даних дає змогу опитувати датчики з різною частотою дискретизації, залежно від умов експериментів, що дозволяє виконувати більш точні вимірювання і контроль технологічних параметрів та проведення досліджень енергетичних процесів у складних електричних і електромеханічних перетворювачах енергії. У випадку виходу з ладу однієї із систем ПТК вентиляційного обладнання дві інші виконують необхідну функцію із забезпечення нормованих мікрокліматичних параметрів у приміщеннях.

Запропоновано технічні рішення з автоматизації й диспетчеризації вентиляційного обладнання, які забезпечують як створення комфортного й безпечного повітряного середовища у приміщеннях, так і ефективне проведення наукових досліджень автоматизованих систем управління технологічним процесом.

## Список літератури

1. 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.
2. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» (Затверджено Наказом МОЗ України № 528 від 27.12.2001): [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua>.
3. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : ГУП ЦПП, 2003. – 74 с.
4. Перцовский М. И. Автоматизированные приборные комплексы и «виртуальные приборы»: из опыта внедрений АСУ ТП «Лабораторией автоматизированных систем (АС)» / М. И. Перцовский, Е. А. Воробьев, М. Г. Евтихов // «Автоматизация в промышленности». – 2004. – № 10. – С. 44–48.
5. Сукач С. В. Энергоэффективность систем проветривания изолированных помещений / С. В. Сукач Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 3 (50), част. 1. – Кременчук : КДПУ, 2008. – С. 149–151.
6. Авраменко М. М. Підтримка параметрів мікроклімату в нормативних межах як засіб створення комфортних умов праці / М. М. Авраменко, С. В. Сукач, М. А. Кобылянський // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Вип. 4/2010 (12). – Кременчук : КНУ, 2010. – С. 94–99.
7. Практическая реализация гибкой системы управления вентиляцией лабораторного комплекса / М. А. Кобылянский, С. В. Сукач, А. В. Мозговой, А. Л. Величко // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 4(63). – Ч. 2. – С. 24–27.
8. 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.
9. Шульга Ю. И. Трифакторна регресійна модель коефіцієнта комфортності мікроклімату приміщень / Ю. И. Шульга, Д. Й. Родькін, С. В. Сукач // Проблеми охорони праці в Україні. – Вип. 21. – К. : ННДПБООП, 2011. – С. 119–124.
10. Метод і засоби контролю та управління якістю повітряного середовища у приміщеннях: монографія / С. В. Сукач, Ю. И. Шульга. – Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2013. – 192 с.

## References

1. GOST 12.1.005-88 SSBT. *Obschie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochei zony [General sanitary hygienic requirements for working zone air]*. – М. : Izdatelstvo standartov, 1988. – 65 p.
2. GN 3.3.5-8-6.6.1-2002 «*Hihienichna klasyfikatsiia pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychogo seredovyscha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovogo protsesu [Hygienic classification of labour according to parameters of working environment factors harmfulness and hazardness, working process heaviness and tenseness]*» (Approved by the Order of Ministry of Health Care of Ukraine № 528 on 27.12.2001): [Electronic source]. – Access: <http://zakon.nau.ua>.
3. SNiP 41-01-2003. *Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozduha [Heating, ventilation and conditioning of air]*. – М. : GUP TsPP, 2003. – 74 p.
4. Pertsovsky, M. I., Vorobyov, E. A. & Evtikhov, M. G. (2012). *Automated in-boric complexes, «virtual devices»: from the experience of automated control systems «Laboratory of automated systems (AS)» application*. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 10, 44 – 48.
5. Sukach, S. V. (2008). *Energy efficiency of ventilation systems in isolated premises*. *Visnyk Kremenchugskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu*, 3(50), 149 – 151.
6. Avramenko, M. M., Sukach, S. V. & Kobylyanski, M. A. (2010). *Support microclimate parameters within the legal framework as a means of creating comfortable working conditions*. *Electromechanical and energy saving systems. Quarterly Journal of Research and Production*, 4 (12), 94 – 99.
7. Kobylyanski, M. A., Sukach, S. V., Mozgovoy, A. V. & Velichko, A. L. (2010). *Practical implementation of flexible ventilation control laboratory complex*. *Journal of KNU M.Ostrogradskogo*, 4(63), 24 – 27.
8. Shul'ga, Yu. I., Cherniy, A. P. & Sukach, S. V. (2010). *On the solution of the climate control in the premises of educational institutions*. *Problems of labor safety in Ukraine*, 19, 37 – 44.
9. Shul'ga, Yu. I., Rod'kin, D. I. & Sukach, S. V. (2011). *Tri-factor regression model coefficient comfortable microclimate of premises*. *Problems of labor safety in Ukraine*, 21, 119 – 124.
10. Sukach, S. & Shulga, Yu. (2013). *Metod i zasoby kontrolyu ta upravlinnya yakistyu povitryanoho seredovyscha u prymyshchennyakh: monohrafiya [The method and means of control and management of the quality of air in premises: monograph]*, PE Shcherbatykh O. V., Kremenchuk, Ukraine, 192.

Стаття надійшла до редколегії 14.10.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедри безпеки життєдіяльності В.А. Глива, Національний авіаційний університет, Київ.