

місяця, це дає можливість керувати електричним навантаженням промислового підприємства.

Результати прогнозування дають підприємству більш повну картину для можливості заощадження коштів промислового підприємства на оплату електричної енергії.

### Список використаних джерел

1. Родыгина, С.В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки промышленных предприятий с применением интеллектуальных информационных технологий [Текст]: автореф. канд. дис. к.т.н. ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» / С.В. Родыгина // Новосибирск, 2010. – 26 с.
2. Кудрин, Б.И. Расчет электрических нагрузок потребителей: история, состояние, комплексный метод [Текст]: автореф. доктор техн. наук НИУ «МЭИ» / Б.И. Кудрин // Москва, 2015. – 14 с.
3. Анушина, Е.С. Система краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки [Текст]: автореф. к.т.н.: спец. 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» / Е.С. Анушина // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова // Санкт-Петербург, 2009 – 12 с.
4. Васильев, Д.А. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий [Текст]/ УДК 626.519 ББК 31 / Саратовский государственный технический университет / Д.А. Васильев, М.В. Колоколов // Саратов, 2011 – 2 с.
5. Розен, В.П. Управление нагрузкой энергосистем с использованием потребителей регуляторов промышленных объектов [Текст] // Специализированная Конференция «Автоматизация. ТЭК. Украина-2010» - К.: Выставочный центр «АККО Интернешнл» / В.П. Розен, О.Н. Закладной // Киев, 2010.

*Стаття надійшла до редакції 08.04.2016 р.*

УДК 628.88

**В.М. Пермяков**, к.т.н., доц., **О.В. Чермалих**, к.т.н., доц., **І.Я. Майданський**, ст. преп., **В.О. Бровко**, магістрант (НТУУ «КПІ»)

### **ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРООБМІНОМ ГЛЯДАЦЬКОЇ ЗАЛИ КІНОТЕАТРУ**

---

**V.M. Permiakov, O.V. Chermalykh, I.Y. Maidanskyi, V.O. Brovko** (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

## OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF AIR EXCHANGE CONTROL SYSTEM IN THE SCREENING ROOM OF THE CINEMA

*У статті розглянуті принципи побудови системи управління вентиляцією в залі для глядачів кінотеатру в залежності від фактичної потреби повітря. В якості критерію оптимальності обрано концентрацію вуглекислого газу CO<sub>2</sub> в приміщенні зали, що дозволяє регулювати кількість повітря практично в залежності від числа глядачів. Такий підхід дає можливість зниження енергоспоживання вентиляційною установкою при забезпеченні потрібної нормованої витрати повітря на одну людину.*

**Ключові слова:** мікроклімат; повітрообмін; регулювання швидкості вентилятора; витрата повітря.

*В статье рассмотрены принципы построения системы управления вентиляцией в зрительном зале кинотеатра в зависимости от фактической потребности воздуха. В качестве критерия оптимальности выбрана концентрация углекислого газа CO<sub>2</sub> в помещении зала, что позволяет регулировать количество воздуха практически в зависимости от числа зрителей. Такой подход дает возможность снизить энергопотребление вентиляционной установкой при обеспечении требуемого нормированного расхода воздуха на одного человека.*

**Ключевые слова:** микроклимат; воздухообмен; регулирование скорости вентилятора; расход воздуха.

*The article describes the principles of ventilation control systems in the visual cinema hall according to the actual air demand. The optimality criterion is selected concentration of carbon dioxide CO<sub>2</sub> in the indoor room, which allows regulate the amount of air substantially depending on the number of viewers. This approach makes it possible to reduce the power consumption of the ventilation system, while ensuring the required flow rate normalized for one person.*

**Keywords:** microclimate; ventilation; fan speed control; air flow.

**Вступ.** Кінотеатри відносяться до культурно-видовищних закладів, для яких однією з найважливіших задач є забезпечення комфортних умов перебування людей. Відповідно до основного приміщення кінотеатрів – зали для глядачів, згідно з положеннями [1], рекомендується застосування припливно-витяжної системи вентиляції зі штучним припливом та підігрівом повітря. Впровадження такої системи є ефективним рішенням для створення оптимального мікроклімату в закритих приміщеннях за рахунок одночасного відбору відпрацьованого повітря та подачі свіжого. Для економії тепла зимою, а літом – холоду, застосовується рециркуляція повітря.

Основними параметрами, які забезпечують комфортні кліматичні умови перебування людей в залі кінотеатру є газовий склад повітря, температура й вологість.

До останнього часу при вентиляції зали для глядачів в більшості випадків враховувалась тільки температура, регулювання якої здійснювалось зміною кількості повітря, яке подає вентилятор. Для цього існує фактично два способи. Простий але неекономічний – дроселювання засувкою і найбільш ефективний – застосування регульованого електроприводу вентиляторного агрегату. В усіх випадках зміна подачі вентилятора впливає не тільки на температуру, але й на

якість і вологість повітря в зоровій залі, що може призвести до відчуття дискомфорту у глядачів.

Сучасною тенденцією є побудова систем регулювання повітрообміну в громадських приміщеннях в залежності від кількості людей з урахуванням динаміки їх наявності. При цьому головним параметром вважається якість повітря відносно вмісту вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ .

**Мета роботи.** Розробка імітаційної моделі системи вентиляції зали кінотеатру для дослідження технологічних режимів роботи й енергетичних процесів.

**Результати дослідження.** Нормативні документи регламентують комфортні умови перебування людей в громадських приміщеннях за декількома параметрами, зокрема для кінотеатрів це температура, вологість, вміст  $\text{CO}_2$ , швидкість повітря, рівень шуму [2]. Перші три безпосередньо визначають стан мікроклімату. Особливістю регулювання повітрообміну в залі кінотеатру є значна інерційність за всіма трьома параметрами, як з боку каналу управління, так і з боку зовнішніх впливів. При цьому існує поняття оптимальних та допустимих значень. Для оцінки можливості забезпечення оптимального повітрообміну в залі для глядачів та попереднього розрахунку параметрів регулюючих пристроїв є потреба в розробці спеціалізованих моделей для проведення дослідження технологічних режимів роботи системи вентиляції зорового залу кінотеатру.

В роботі в якості об'єкту дослідження розглянуто кінотеатр в м. Києві із залом для глядачів на 300 місць.

В світовій практиці вміст  $\text{CO}_2$  використовується як індикатор якості повітря. Вуглекислий газ обрано тому, що його концентрацію легко вимірювати з достатньо високою точністю за допомогою існуючих датчиків і за масою виділення  $\text{CO}_2$  значно більше інших шкідливих речовин. При зниженні рівня  $\text{CO}_2$  розбавленням припливним повітрям одночасно зменшується рівень концентрації й інших газів. У вітчизняних нормативних документах з проектування вентиляції в приміщеннях, де перебувають люди, рівень  $\text{CO}_2$  враховується тільки побічно в питомих нормах повітрообміну. В західних стандартах надаються рекомендації із застосування кількісних показників щодо концентрації  $\text{CO}_2$ .

Для визначення кількості повітря на одну людину в залежності від рівня  $\text{CO}_2$  можна скористатись даними американських організацій із стандартизації і технічного регулювання *ASHRAE* та *OSHA*. При концентрації вуглекислого газу  $1000 \text{ ppm}$  потрібно подавати  $25,5 \text{ м}^3/\text{год}$  на людину, витрата повітря  $34 \text{ м}^3/\text{год}$  на людину відповідає концентрації  $800 \text{ ppm}$ . Таким чином, якщо забезпечити оптимальне нормоване значення витрати  $Q_n = 20 \text{ м}^3/\text{год}$  на одного глядача в залі кінотеатру, то отримаємо концентрацію  $C_n = 1130 \text{ ppm}$ . Для порівняння, наприклад, стандарт *ANSI/ASHRAE 62.1-2004* встановлює допустиме прийнятне значення вмісту  $\text{CO}_2$  на рівні  $1000 \text{ ppm}$  [3].

Важливо підкреслити, що традиційні системи вентиляції кінотеатрів запроектовані на повну наповненість залу для глядачів, але з практичного

досвіду, максимальна присутність глядачів в залі відбувається лише в 10 % випадків. При цьому, система вентиляції постійно працює з повною максимальною потужністю, що неефективно з точки зору як енергоспоживання так і ресурсозбереження.

Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є створення системи вентиляції зі змінною витратою повітря. Передбачається можливість регулювання повітрообміну в зоровій залі кінотеатру в залежності від фактичної кількості глядачів. Така система дозволяє отримати оптимальний баланс між якістю повітря і енергетичними показниками, а також сформувати й підтримувати комфортний мікроклімат в приміщенні [4].

Найбільш простим з точки зору технічної реалізації варіантом підрахунку числа глядачів є використання практично пропорційної залежності концентрації  $\text{CO}_2$  від кількості людей в залі. Таким чином, вихідний сигнал датчика  $\text{CO}_2$  побічно визначає фактичну кількість глядачів в залі і здійснює регулювання повітрообміну в бік зменшення або збільшення подачі повітря з постійним підтриманням норми оптимальної витрати  $Q_n = 20 \text{ м}^3/\text{год}$  на одного глядача.

З використанням системи *MATLAB* на базі пакету *Simulink* синтезована імітаційна модель для дослідження каналу управління якістю повітря в залі кінотеатру [5], яка представлена на рис. 1.

Буквені позначення перемінних для каналу регулювання кількості повітря в залі для глядачів наступні:

$N$  – кількість людей в зоровій залі, осіб;

$C$  – концентрація  $\text{CO}_2$  в повітрі, *ppm*;

$Q$  – витрата повітря в приміщенні,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Основні функціональні елементи моделі каналу управління витратою повітря:

$OQ$  – об'єкт каналу регулювання витрати повітря з загальним коефіцієнтом передачі  $K_{oq} = Q_{nom} / U_{yqmax}$  і сталою часу  $T_{oq} = 30 \text{ с}$  (інерційність зміни вмісту  $\text{CO}_2$ ), де  $Q_{nom} = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$  – номінальна величина витрати повітря при повному заповненні зали глядачами,  $U_{yqmax} = 10 \text{ В}$  – максимальне значення сигналу управління;

$AQ$  – пропорційно-інтегруючий регулятор витрати повітря з коефіцієнтами пропорційної частини  $K_{pq} = 1,5$  та інтегруючої  $K_{iq} = 0,5$ ;

$FQ$  – фільтр на вході системи управління для зменшення перерегулювання за кількістю повітря;

$EQ$  – блок завдання нормованого значення повітрообміну на одну людину в залі кінотеатру  $Q_n = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$EN$  – блок ступеневого завдання кількості глядачів  $N = 0, 75, 150, 225$  і  $300$  осіб (відповідно  $0, 25, 50, 75$  та  $100$  % наповненості зали);

$RLN$  – елемент формування лінійної залежності зміни глядачів за часом.

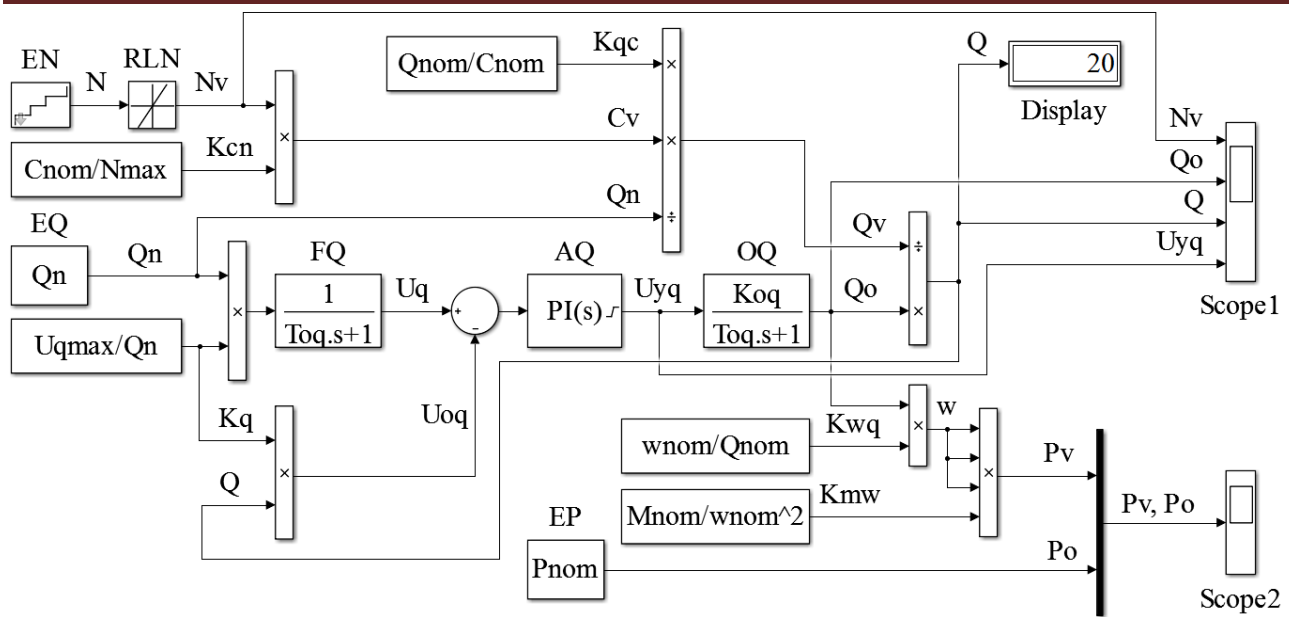


Рис. 1. Модель каналу регулювання витрати повітря в залі кінотеатру

Коефіцієнти  $K_{cn}$ ,  $K_{qc}$ ,  $K_q$  забезпечують зв'язок перемінних та сигналів між собою за формулами

$$K_{cn} = \frac{C_{nom}}{N_{max}}, \quad K_{qc} = \frac{Q_{nom}}{C_{nom}}, \quad K_q = \frac{U_{qmax}}{Q_n}, \quad (1)$$

де  $C_{nom} = 1130 \text{ ppm}$  – номінальне значення концентрації в залі,  $N_{max} = 300$  осіб – максимальна кількість людей в залі,  $Q_{nom} = 6000 \text{ м}^3/\text{год}$  – номінальна витрата повітря в зоровій залі при максимальному її заповненні,  $U_{qmax} = 10 \text{ В}$  – максимальне значення сигналу завдання нормованої кількості повітря на одного глядача  $Q_n = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Алгоритм функціонування моделі:

$0 \leq t < 300 \text{ с}$  – поступове заповнення зорової зали до 25 % (75 глядачів);

$300 \leq t < 600 \text{ с}$  – збільшення наповнення зали до 50 % (150 людей);

$600 \leq t < 1000 \text{ с}$  – наповнення зали глядачами на 75 % (225 осіб);

$1000 \leq t < 1400 \text{ с}$  – максимальне заповнення зали на 100 % (300 глядачів);

$t = 1400 \text{ с}$  – закінчення процесу моделювання.

Осцилограф *Scope1* дозволяє відстежити динаміку поведінки системи регулювання повітрообміну за зміною у часі кількості глядачів в зоровій залі  $N_v$ , фактичної витрати повітря в цілому  $Q_o$  та на одну людину  $Q$ , а також сигналу  $U_{yq}$  на виході регулятора продуктивності вентилятора. Зазначені залежності (рис. 2, а) зображені у вигляді графіків  $N_v(t)$ ,  $Q_o(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $U_{yq}(t)$ .

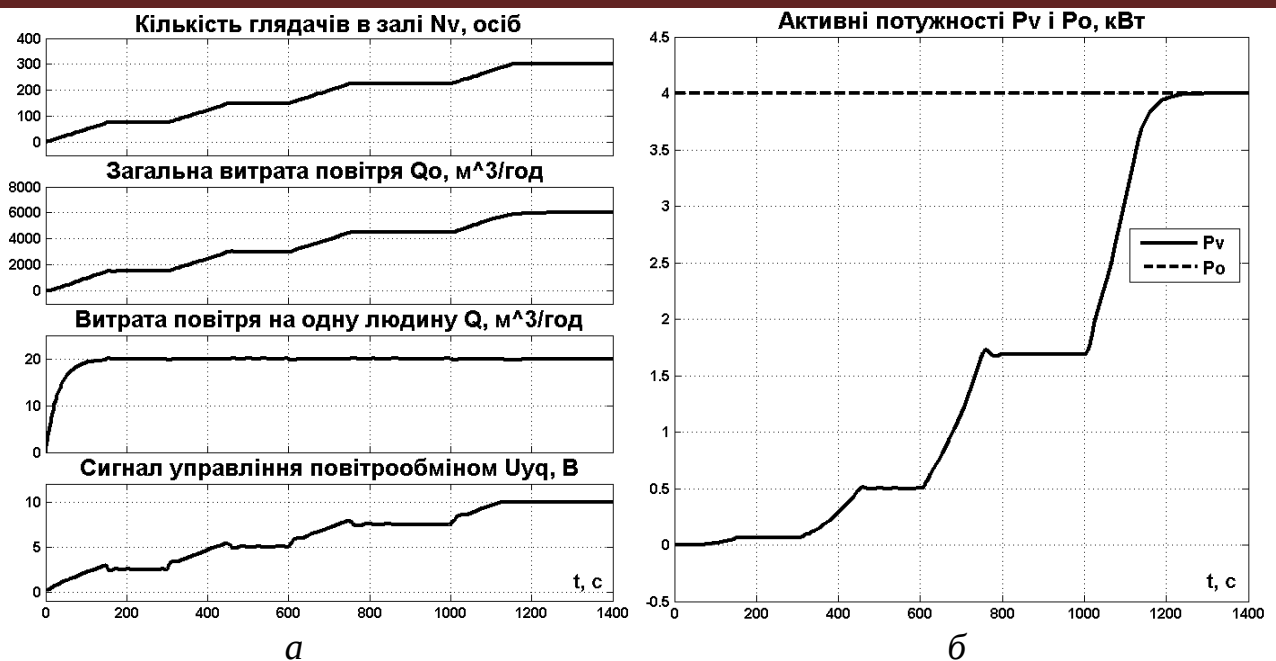


Рис. 2. Графіки зміни перемінних каналу регулювання повітря у часі:

*a* – технологічних  $N_v(t)$ ,  $Q_o(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $U_{yq}(t)$ ; *б* – енергетичних  $P_v(t)$ ,  $P_o(t)$

Діаграми  $N_v(t)$  та  $Q_o(t)$  відображають потрібну залежність подачі повітря в зорову залу від кількості глядачів, тобто для змодельованої ситуації поступового збільшення кількості людей відповідно зростає витрата повітря.

Графік  $Q(t)$  наочно ілюструє можливість настроювання системи таким чином, щоб забезпечити в кожний момент часу незалежно від кількості глядачів необхідну нормовану витрату повітря на одну людину, що становить  $20 \text{ м}^3/\text{год}$ . Це підтверджують показання цифрового вимірювача *Display* (див. рис. 1).

Графічна залежність  $U_{yq}(t)$  показує характер зміни сигналу управління на виході регулятора, котрий фактично і відповідає за організацію процесу регулювання повітрообміну в залі кінотеатру.

Для реальної системи вентиляції вихідний сигнал ПІ-регулятора витрати повітря  $U_{yq}$  подається в каналі регулювання кількості повітря на вхід перетворювача частоти електроприводу вентилятора. Чисельні значення сигналу управління  $U_{yq}$  задають частоту і величину напруги на статорній обмотці асинхронного двигуна за рахунок ШІМ-модуляції в інверторі перетворювача частоти. Тим самим змінюються оберти двигуна і, відповідно, вентилятора, що забезпечує необхідну витрату повітря в залі.

Крім технологічного режиму роботи системи вентиляції модель дозволяє оцінити також енергетичні показники стосовно споживання активної потужності системою вентиляції з регульованим та нерегульованим повітрообміном. Для цього застосовані математичні блоки, які обчислюють поточні значення кутової швидкості двигуна вентилятора  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$  та активної потужності на валу електродвигуна  $P_v$ , кВт за наступними залежностями:

$$\omega = K_{\omega q} \sqrt[3]{Q_o}, \quad P_v = K_{m\omega} \sqrt[3]{Q_o^3}, \quad K_{\omega q} = \frac{\omega_{nom}}{Q_{nom}}, \quad K_{m\omega} = \frac{M_{nom}}{\omega_{nom}^2}, \quad (2)$$

де  $\omega_{nom} = 157,5 \text{ c}^{-1}$  – номінальна кутова швидкість приводного двигуна вентилятора,  $M_{nom} = 25,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$  – номінальний електромагнітний момент двигуна.

Блок *EP* задає значення номінальної потужності двигуна  $P_{nom} = 4 \text{ кВт}$ .

В разі нерегульованого електроприводу вентилятора активна потужність  $P_o$  залишається незмінною, тобто  $P_o = P_{nom}$ .

Діаграми активних потужностей нерегульованого  $P_o$  та регульованого  $P_v$  електроприводу вентилятора в порівнянні між собою отримані за допомогою осцилографа *Score2* (див. рис. 1) і зображені на рис. 2, б.

Графічні залежності показують суттєву економію споживання активної потужності двигуном при регулюванні кутової швидкості вентилятора в функції кількості глядачів в залі в порівнянні з нерегульованим приводом, коли весь час система працює з максимальним навантаженням. При цьому, чим менше людей в залі, тим економія стає більш значною.

## Висновки

Розглянуто принцип побудови системи управління повітрообміном в зоровій залі кінотеатру в залежності від числа глядачів за критерієм вмісту  $\text{CO}_2$  в приміщенні. При цьому одночасно вирішено дві задачі – зменшення енергоспоживання вентиляційною системою за рахунок регулювання швидкості вентилятора і, відповідно, кількості повітря, що подається в зорову залу, а також забезпечення потрібної нормованої витрати повітря на одну людину незалежно від кількості присутніх.

## Список використаних джерел

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 141 с.
2. ДБН В.2.2-12:2005 Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвілєві заклади [Текст]. – К.: Держбуд України, 2005. – 65 с.
3. Квашнин, И.М. К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию  $\text{CO}_2$  в наружном и внутреннем воздухе [Текст] / И.М. Квашнин, И.И. Гурин // АВОК. – 2008. - № 5. – С. 34 – 41.
4. Наумов, А.Л.  $\text{CO}_2$ : критерий эффективности систем вентиляции [Текст] / А.Л. Наумов, Д.В. Капко // АВОК. – 2015. - № 1. – С. 12 – 21.
5. Дьяконов, В.П. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник [Текст] / В.П. Дьяконов, А.А. Пеньков. – М.: Горячая линия, 2009. – 816 с.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2016 р.