

**В. Н. Сулейманов**, канд. техн. наук, профессор;  
**В. А. Баженов**, канд. техн. наук, доцент; **Т. Л. Кацадзе**, канд. техн. наук, доцент  
**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»**  
**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ СЕТЕЙ**  
**ЭНЕРГОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ**

*В статье проведен анализ действующей методики оптимизации развития и технико-экономического обоснования проектных решений по перспективному развитию современных электроэнергетических систем. Представлена методика определения оптимальной конфигурации основной сети электроэнергетической системы, базирующаяся на методе исключения ветвей. Показаны потенциальные угрозы, направленные на снижение качества принятых проектных решений, среди которых – недостаточная объективность экономических критериев эффективности технических решений, искусственное ограничение пространства поиска на предыдущем этапе отбора возможных решений. Для решения оптимизационных задач по перспективному развитию электроэнергетических систем предложено использовать математический аппарат генетических алгоритмов. Показано, что предлагаемый подход обеспечивает устойчивую сходимость процесса поиска за приемлемое количество шагов без искусственного ограничения пространства поиска и использования дополнительной экспертной информации о целесообразности возможных проектных решений.*

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, принятие проектных решений, технико-экономическое обоснование, оптимизация, генетический алгоритм.

Надійшла 30.10.2014

Received 30.10.2014

**Д.С. Серета; М.Ф. Боженко**, канд. техн. наук, доцент  
**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

**ВИСОКОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ І**  
**КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ГРОМАДСЬКИХ ТА**  
**ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

*Наведена методика порівняння за зведеними витратами п'яти найбільш відомих постачальників на ринок України припливно-витяжних камер місцевих систем механічної вентиляції та місцевих автономних систем кондиціювання повітря (спліт-систем). Отримано графіки залежності зведених витрат від повітропродуктивності (для припливних камер) та холодопродуктивності (для спліт-систем кондиціювання повітря).*

**Ключові слова:** вентиляція, припливна камера, кондиціювання, спліт-система, зведені витрати.

**Вступ**

Завданням вентиляційних пристроїв є створення у приміщеннях повітряного середовища, яке б задовольняло санітарно-гігієнічним вимогам та умовам виробництва. Це досягається шляхом видалення із приміщення забрудненого повітря та подачою до нього свіжого зовнішнього.

За допомогою систем механічної вентиляції можна очистити повітря від пилу та шкідливих речовин, в деяких випадках зволожити його та підігріти в холодний період року [1].

Найпоширенішими для громадських та промислових будівель є системи припливно-витяжної механічної вентиляції, основними елементами яких є: повітрозабірні пристрої, фільтри, калорифери, припливні та витяжні вентилятори, повітророзподільні та витяжні пристрої, повітропроводи. Обладнання для очищення повітря від пилу, нагрівання та переміщення повітря розташовується в припливних камерах.

Необхідною умовою в сучасних системах вентиляції є використання теплоти вентиляційних викидів для нагріву припливного повітря в спеціальних пристроях (рекуператорах, регенераторах).

Вищим ступенем вентиляції є системи кондиціонування повітря, за допомогою яких у приміщеннях можна також забезпечити необхідну температуру і відносну вологість повітря у будь-який період року.

Системи вентиляції і кондиціонування повітря можуть бути місцевими і центральними.

При централізації таких систем зменшуються капіталовкладення, але суттєвими є перевитрати електричної енергії, що пов'язано з великою їх продуктивністю та збільшеною довжиною повітропроводів. При децентралізації цих установок (при можливості) сумарна довжина магістральних повітропроводів зменшується, а в деяких випадках повітропроводи відсутні зовсім, що призводить до зниження аеродинамічних опорів і витрат електроенергії на переміщення повітря в цілому.

Тому при подальшому аналізі розглянуті місцеві системи вентиляції та кондиціонування повітря.

#### **Постановка задачі**

Сьогодні на ринку України є припливні та припливно-витяжні системи вентиляції та місцеві системи кондиціонування повітря таких відомих виробників як Dospel, Global Vent, Gree, Mitsubishi Electric, Remak, Salda, Soler&Palau, Systemair, Vents, Carrier, ВЕЗА-Україна та ін. [2].

Системи вентиляції та кондиціонування вибирають з урахуванням призначення будівлі; об'єму приміщень; характеру шкідливих речовин, які виділяються; кліматичного району об'єкта і т. ін. При цьому керуються державними будівельними нормами.

*Метою роботи* є порівняльний техніко-економічний аналіз припливних систем вентиляції та місцевих систем кондиціонування повітря найбільш поширених виробників, що є на ринку України, і визначення найбільш ефективних відповідних систем, що характеризуються меншими зведеними витратами.

#### **Техніко-економічний аналіз припливних вентиляційних камер та спліт-систем кондиціонування повітря**

В табл. 1 наведений порівняльний аналіз технічних характеристик припливно-витяжних камер з рекуперацією теплоти найбільш поширених виробників: Global Vent (1), Веза-Україна7 (2), Mitsubishi Electric (3), DAIKIN (4), Gree (5).

Таблиця 1

Основні технічні критерії порівняння припливних камер

Технічні особливості припливних камер	Виробники				
	1	2	3	4	5
Наявність вбудованої автоматики	+	+	-	-	+
Можливість монтажу за межами будівлі	-	-	+	+/-	+
Повернення вологи в приміщення у зимовий період	-	+	+	-	-
Можливість віддаленого керування (WiFi, за допомогою мобільного пристрою на базі системи Android)	-	+	-	-	-
Додаткова шумоізоляція з вогнетривких матеріалів	+	+	-	+	-

Аналізуючи дані табл. 1 можна зробити висновок, що при умові монтажу припливної камери в окремому приміщенні всередині будівлі установка виробника 2 має низку переваг стосовно інших виробників. Особливо можна відмітити можливість віддаленого керування роботою припливної камери, що робить її більш енергоефективною.

Кондиціонування повітря - це створення і автоматична підтримка в закритих приміщеннях температури, вологості, чистоти, складу, швидкості руху повітря, які є найбільш сприятливими для самопочуття людей (комфортне кондиціонування) або ведення технологічних процесів, роботи обладнання і приладів (технологічне кондиціонування).

Місцеві системи кондиціонування повітря можуть бути автономними (моноблочними, спліт-системами та мультиспліт-системами) і неавтономними. Порівняльний аналіз між ними потребує більш детального дослідження.

Основними перевагами спліт-систем в порівнянні з моноблочними кондиціонерами є:

- високий рівень контролю та підтримання мікроклімату в приміщеннях;
- суттєво нижчий рівень шуму, оскільки компресорно-конденсаторний блок винесений за межі приміщення, а шумність внутрішнього блоку становить 24-26 дБ;
- різноманіття варіантів розміщення внутрішнього блоку в приміщенні (у підвісній стелі, на стінах, у підлозі тощо);
- можливість обігрівання приміщення при використанні інверторних спліт-систем (можливе лише при температурі зовнішнього повітря не вище за 0 °C) [3].

Надалі порівнюються автономні спліт-системи таких само чотирьох виробників, як і припливних камер систем вентиляції.

#### **Результати розрахунків**

##### *а) Припливні вентиляційні камери*

Економічну ефективність припливних вентиляційних камер визначали за величиною зведених витрат, грн [4]

$$V_{зв} = K + (V_{екс} + aK) z_n, \quad (1)$$

де  $K$  – капіталовкладення, грн;  $V_{екс}$  – експлуатаційні витрати, грн/рік;  $a$  – коефіцієнт амортизаційних відрахувань, 1/рік;  $z_n$  – нормативний термін окупності капіталовкладень, років [5].

Капіталовкладення, грн, визначали з урахуванням вартості обладнання ( $K_{об}$ ), повітропроводів ( $K_{пв}$ ) та вартості будівельно-монтажних робіт ( $K_M$ ), тобто

$$K = K_{об} + K_{пв} + K_M. \quad (2)$$

У зв'язку з тим, що установки порівнювали для однакових умов експлуатації і терміну служби, то вважатимемо, що перемінною величиною в капіталовкладеннях буде тільки вартість установок в залежності від повітропродуктивності, а капіталовкладення в повітропроводи та монтажні роботи ( $K_{пв}$ ,  $K_M$ ) однаковими для всіх варіантів розрахунків.

Експлуатаційні витрати, грн/рік, обчислювали за формулою

$$V_{екс} = V_{ел} + V_T + 3, \quad (3)$$

де  $V_{ел}$ ,  $V_T$ , 3 – витрати на електричну енергію на переміщення повітря, теплоту для нагрівання повітря, зарплату обслуговуючому персоналу, відповідно, грн/рік.

Приймаємо, що величини  $V_T$  і 3 будуть однаковими для всіх припливних камер, тоді експлуатаційні витрати

$$V_{екс} = V_{ел} = N n_0 24 \Pi_e, \quad (4)$$

де  $N$  – потужність, яка споживається, приводу вентилятора на подолання опору, брали за каталогами припливних камер від виробників, кВт;  $n_0$  – тривалість опалювального періоду, діб;  $\Pi_e$  – вартість однієї кВт-год електричної енергії, грн.

Враховуючи, що термін зміни виробничої технології для систем вентиляції складає 40 ... 50 років, в розрахунках брали величину  $a = 0,025$  1/рік, а  $z_n = 8,33$  роки, як для енергетики; тривалість опалювального періоду  $n_0 = 176$  діб (м. Київ); вартість одиниці електроенергії  $\Pi_e = 0,9574$  грн/кВт-год.

*б) спліт-системи кондиціонування повітря*

При економічному аналізі спліт-систем величину зведених витрат визначали за формулою (1), при цьому в капіталовкладеннях враховувалась лише вартість обладнання ( $K_{обл}$ ), а капіталовкладення в монтаж ( $K_M$ ) вважатимемо однаковими.

Експлуатаційні витрати визначали за формулою (3), в якій буде відсутня величина  $V_T$ , при цьому витрати на електроенергію, грн/рік, становитимуть

$$V_{екс} = V_e = N n_{охл} z_{охл} \Pi_e, \quad (5)$$

де  $N$  – споживана потужність установки, кВт;  $n_{охл}$  – період охолодження, діб;  $z_{охл}$  – продовжуваність роботи системи кондиціонування упродовж доби, год.

Величину  $n_{охл}$  визначають згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27 [6] як проміжок часу, впродовж котрого сума середньої місячної температури зовнішнього повітря та половини середньої добової амплітуди коливання цієї температури перевищують верхню межу діапазону оптимальних температур внутрішнього повітря для приміщень охолоджуваної будівлі. Для м. Києва за наведеними відповідними температурами [6] отримана величина  $n_{охл} = 92$  доби.

Величину  $z_{охл}$  брали 16 год/добу, як для вентиляції і кондиціонування з обмеженням.

#### Результати розрахунків

В табл. 2, як приклад, наведені результати розрахунків зведених витрат для припливної вентиляційної установки FBQ в залежності від повітропродуктивності, а на рис. 1 – результати розрахунків зведених витрат для всіх проаналізованих припливних установок.

Таблиця 2.

Залежність експлуатаційних витрат від повітропродуктивності для припливної камери FBQ

Тип установки	Характеристики				
	Повітро-продуктивність $V$ , м <sup>3</sup> /год	Потужність $N$ , кВт	Капіталовкладення, $K$ , грн	Експлуатаційні витрати $V_{екс}$ , грн/рік	Зведені витрати $V_{зв}$ , грн
FHBQ-D3.5-K	360	0,165	10032	1383	30464
FHBQ-D8-K	800	0,4	11237	3354	56682
FHBQ-D10-K	1000	0,44	12276	3690	62239
FHBQ-D15-M	1500	0,6	18295	5032	86913
FHBQ-D20-M	2000	0,95	18700	7967	124137
FHBQ-D30-M	3000	2,8	33897	23483	338028

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільш ефективними припливними камерами за мінімальними зведеними витратами в усьому діапазоні повітропродуктивностей є припливні камери фірм DAIKIN (4) і Gree (5).

Аналогічно розрахункам для припливних камер проведені розрахунки для місцевих спліт-систем кондиціонування повітря.

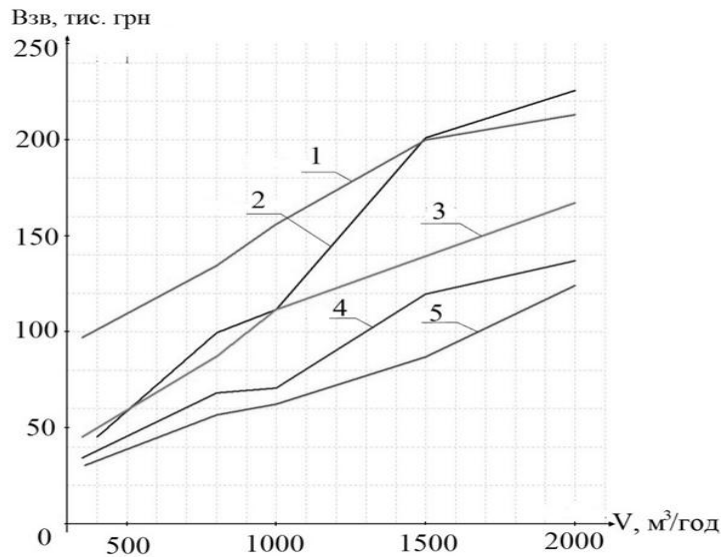


Рис.1. Залежність зведених витрат ( $B_{зв}$ ) від повітропродуктивності припливних камер ( $V$ ):  
1 – 5 номери постачальників

Аналіз показує, що найбільш доцільним є використання спліт-систем кондиціонування повітря з мінімальними зведеними витратами, якими є спліт-системи фірми DAIKIN (4).

В табл. 3, як приклад, наведені результати розрахунків зведених витрат для спліт-системи типу МНІ в залежності від холодопродуктивності, а на рис. 2 – результати розрахунків зведених витрат для всіх проаналізованих установок спліт-систем.

Таблиця 3.

Залежність експлуатаційних витрат від холодопродуктивності спліт-системи установки МНІ

Тип установки	Характеристики			
	Холодопродуктивність $Q$ , кВт	Капіталовкладення $K$ , грн	Експлуатаційні витрати $B_{екс}$ , грн/рік	Зведені витрати $B_{зв}$ , грн
МНІ SRK 20 ZJX-S	2	15350	2264	38014
МНІ SRK 25 ZJX-S	2,5	19354	2935	46954
МНІ SRK 30 ZJX-S	3	21750	4109	60011
МНІ SRK 35 ZJX-S	3,5	24458	7044	87625
МНІ SRK 40 ZJX-S	4	26354	8075	92165
МНІ SRK 60 ZJX-S	6	39527	9782	96154

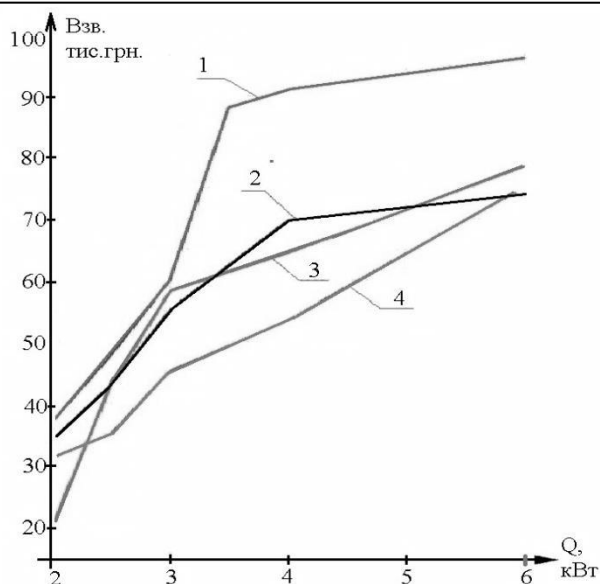


Рис.2. Залежність зведених витрат ( $B_{зв}$ ) від холодопродуктивності спліт-систем ( $Q_c$ ):  
1 – 4 номери постачальників

#### Висновки

1. Особливістю використаної в роботі методики порівняльного аналізу є те, що економічна ефективність відповідних установок оцінюється за зведеними витратами, які враховують і капіталовкладення, і експлуатаційні витрати.

2. Для практичного вибору обладнання систем механічної вентиляції та кондиціонування повітря необхідно враховувати не лише їх технічні переваги та недоліки, але й величину зведених витрат для відповідних умов експлуатації, яка для найбільш ефективного варіанту повинна бути мінімальною, що продемонстровано на прикладі припливних камер систем вентиляції та спліт-систем кондиціонування повітря.

#### Список літератури

1. Русланов Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий: Проектирование : справочник / Г.В. Русланов, М.Я. Розкин, Э.Л. Ямпольский. – К. : Будівельник, 1983. – 272 с.
2. Євротерм [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://euro-term.com.ua/stats/vent>. – Назва з екрана.
3. Енциклопедія TechTrend-технічні терміни [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://techtrend.com.ua>. – Назва з екрана.
4. Боженко М.Ф. Енергозбереження в тепlopостачанні : навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.
5. Богуславский Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : справ. пособ. / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П.Титов и др.; под ред. Л.Д. Богуславского и В. И.Ливчака. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.
6. ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – Чинний від 2011 – 11 – 01. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.

D.S. Sereda, M.F. Bozhenko

#### National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute» HIGHLY EFFECTIVE AIR SUPPLY AND COOLING SYSTEMS OF CIVIL AND INDUSTRIAL BUILDINGS

*It is shown the method of comparing the reduced costs of five most popular suppliers in the Ukraine's market local air-supply systems (jet chambers) and local air conditioning systems (split-systems). We obtain the graphs of depending reduced costs from air performance (for jet chambers) and chill performance – for split-systems.*

**Keywords:** ventilation, jet chamber, conditioning, split-system, reduced costs.