

УДК 697.94.(075)

*В.Й. Лабай, Д.І. Гарасим*

Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, Львів, 79013

## ДИАГРАМА ГРАССМАНА В ЕКСЕРГЕТИЧНОМУ АНАЛІЗІ СИСТЕМ КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ

*У статті використана авторська інноваційна математична дослідницька модель центральної прямотечійної системи кондиціювання повітря чистого приміщення. Мета моделі – комп'ютерне оцінювання ексергетичної ефективності вибраної системи кондиціювання та втрат ексергії в її елементах залежно від різних факторів, що впливають на її роботу. Завдяки цій моделі отримано діаграму Грассмана потоків та втрат ексергії для вибраної системи кондиціювання за температури зовнішнього повітря 42°C.*

**Ключові слова:** Ексергетичний баланс – Системи кондиціювання повітря – Чисті приміщення – Ексергетична ефективність – Діаграма Грассмана

*В.И. Лабай, Д.И. Гарасым*

Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, Львов, 79013

## ДИАГРАММА ГРАССМАНА В ЕКСЕРГЕТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

*В статье использована авторская инновационная математическая исследовательская модель центральной прямоточной системы кондиционирования воздуха чистого помещения. Цель модели – компьютерная оценка эксергетической эффективности избранной системы кондиционирования и потерь эксергии в ее элементах в зависимости от разных факторов, какие влияют на ее работу. Благодаря этой модели получено диаграмму Грассмана потоков и потерь эксергии для избранной системы кондиционирования при температуре наружного воздуха 42°C.*

**Ключевые слова:** Эксергетический баланс – Системы кондиционирования воздуха – Чистые помещения – Эксергетическая эффективность – Диаграмма Грассмана

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.5/2014.28691>



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

### I. ВСТУП

Ексергетичний метод термодинамічного аналізу енерготехнологічних систем (ЕТС), до яких належить система кондиціювання повітря чистого приміщення, заснований на широкому використанні поняття ексергії. У самому загальному розумінні ексергія речовини – це максимальна робота, яку вона може здійснити у процесі з навколишнім середовищем як джерелом дарової теплоти, коли у кінці цього процесу всі види матерії, які приймають у ньому участь, переходять у стан термодинамічної рівноваги з усіма компонентами навколишнього середовища. Використання ексергетичного методу аналізу обґрунтоване у роботах Р.К. Клаузіуса, Дж.В. Гіббса, Ж. Гюї, А. Стодоли, Я. Шаргута та Р. Петели [6-10].

Ексергетичний метод є універсальним способом термодинамічного дослідження різних процесів перетворення енергії у ЕТС. Всі реально діючі процеси – незворотні, і у кожному випадку незво-

ротність є причиною зниження досконалості процесу. Це відбувається не через втрати енергії, а через *зниження її якості* тому, що у незворотних процесах енергія не зникає, а знецінюється. Отже, кожне незворотне явище – це *причина безповоротного знецінення енергії*. Виконання ексергетичного аналізу для ЕТС дає можливість встановити втрати ексергії у кожному її елементі та підвищити ефективність роботи як кожного її елемента, так і ЕТС у цілому. Це і є основною метою ексергетичного методу аналізу ЕТС.

Під час дослідження ЕТС першою чергою складають матеріальний і тепловий баланси, а відтак ексергетичний.

Тепловий баланс не відображає ступінь наближення ЕТС до ідеальної, її термодинамічну досконалість. На відміну від теплового балансу ексергетичний баланс враховує втрати від незворотності в ЕТС і тим самим відображає ступінь наближення системи до ідеальної, для якої ексергетичний ККД дорівнює одиниці.

Перед складанням ексергетичних балансів потрібно виділити ЕТС, яка підлягає дослідженню, для чого уявно відділяють її від інших об'єктів контрольною поверхнею, а ексергії всіх потоків речовини та ексергії, що проходять через неї включають в ексергетичний баланс.

Ексергетичний баланс для даної ЕТС, тобто системи кондиціонування повітря чистого приміщення, має такий вигляд:

$$E_{\text{вх}} = E_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n D_i, \text{ Вт}, \quad (1)$$

або

$$\sum_{i=1}^n D_i = E_{\text{вх}} - E_{\text{вих}}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{вх}}$  – ексергія приводу СКП, яка витрачається на підтримання процесу, Вт;  $E_{\text{вих}}$  – приріст ексергії повітря у кондиціонованому приміщенні, Вт;  $\sum_{i=1}^n D_i$  – сума ексергетичних втрат ЕТС, Вт.

На основі ексергетичного балансу визначаються абсолютні або відносні характеристики ЕТС та її окремих частин і будується діаграма Грассмана, яка наочно відображає потоки і втрати ексергії у даній ЕТС.

Ексергетичний баланс будь-якої ЕТС складають на основі її принципової схеми (рисунок 1).

Вочевидь, досконалість ЕТС та її елементів тим вища, чим менші втрати ексергії, і тому ступінь досконалості ЕТС та її елементів звичайно характеризує так званий ексергетичний ККД, який визначають з ексергетичного балансу, а саме [6-10, 12, 13, 15-20]:

$$\eta_e = \frac{E_{\text{вих}}}{E_{\text{вх}}}. \quad (3)$$

Ексергетичний ККД дозволяє врахувати той факт, що енергія залежно від зовнішніх умов може мати різну цінність для практичного використання.

Розрахунки балансів і різних характеристик ЕТС, зокрема систем кондиціонування повітря, з врахуванням ексергії дає можливість найпростіше і наглядніше вирішувати безліч наукових і технічних задач. Вони допомагають вилучити часті помилки, які зустрічаються і пов'язані з ігноруванням якісного боку перетворень, та створюють умови для вирішення питання економії паливно-енергетичних ресурсів [7, 8, 11-14, 16, 18, 19].

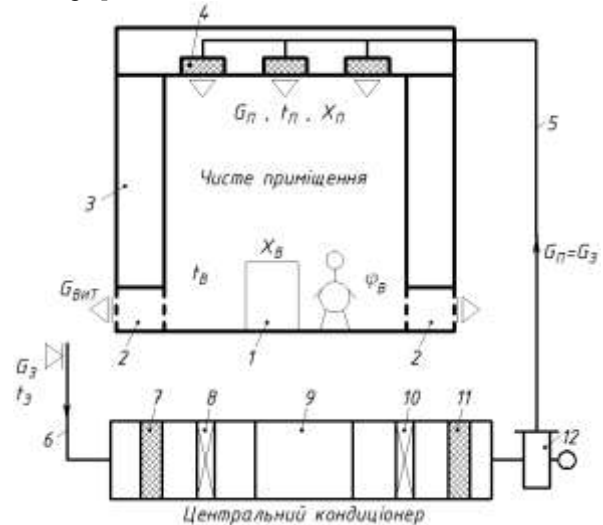
Отже, ексергетичний ККД ЕТС обраховують за формулою (3), в якій неважко зауважити, що чисельник є корисним ексергетичним ефектом, а знаменник – затратами ексергії, а значить ексергетичний ККД можна визначати за формулою:

$$\eta_e = \frac{E_{\text{вих}}}{E_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n D_i} = \frac{E_{\text{еф}}}{E_{\text{затр}}} \quad (4)$$

Суттєву допомогу за ексергетичного аналізу ЕТС, а у даному випадку центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря (СКП) чистого приміщення, надає діаграма Грассмана потоків і втрат ексергії, яка і подана у цій статті.

## II. ОПИСАННЯ ОБ'ЄКТУ АНАЛІЗУ ТА ІННОВАЦІЙНОЇ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ МОДЕЛІ

Метою кондиціонування повітря є підтримання у деякому обмеженому просторі (у даному випадку у чистому приміщенні) певних параметрів повітря. Звичайно регулюванню підлягає температура  $t_{\text{в}}$  і відносна вологість  $\varphi_{\text{в}}$  повітря, а у чистих приміщеннях це ще й концентрація пилюнок  $x_{\text{в}}$  у повітрі [1-5].



**Рисунок 1** – Принципова схема центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення: 1 – технологічне обладнання, 2 – витяжені канали, 3 – шлюзові приміщення, 4 – фільтри припливного повітря у приміщення, 5 – припливний повітропровід, 6 – повітрязабірна шахта, 7 – фільтр зовнішнього повітря, 8 – повітрянагрівник I підігрівання, 9 – камера зрошення, 10 – повітрянагрівник II підігрівання, 11 – фільтр припливного повітря у кондиціонері, 12 – вентиляторний агрегат

Як приклад можна розглянути центральну прямотечійну СКП чистого приміщення, схематично зображену на рисунку 1. Робота такої системи в теплий період року (ТПР) залежить від домінуючих у навколишньому (зовнішньому) середовищі умов, тобто від температури і вологості повітря зовнішнього середовища. Повітря з навколишнього середовища через повітрязабірну шахту 6 забирається центральним кондиціонером, очищається у фільтрі зовнішнього повітря 7, далі проходить через повітрянагрівник I підігрівання 8, охолоджується та осушується за політропою у камері зрошення 9, підігрівається у повітрянагрівнику II підігрівання 10, а відтак вентилятором

агрегатом 12 подається у чисте приміщення через фільтр припливного повітря 11 у центральному кондиціонері, припливні повітропроводи 5 та фільтри припливного повітря 4 на вході у приміщення.

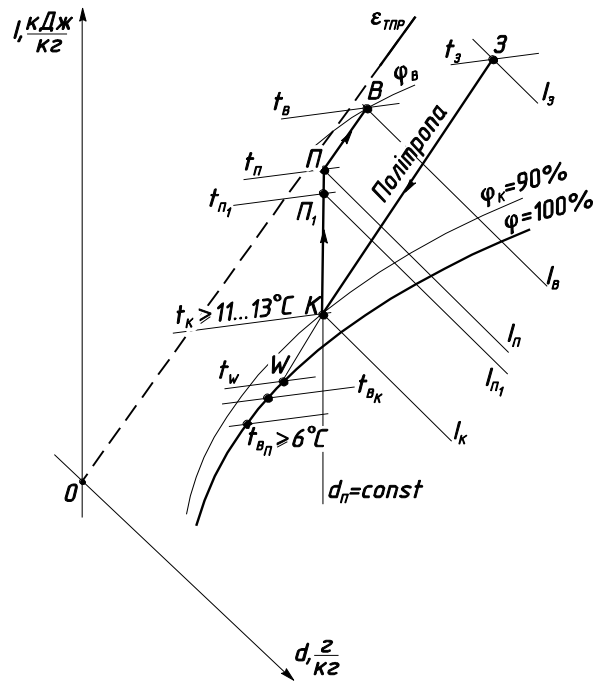
Розглянемо технічні характеристики роботи досліджуваної СКП у ТПР, коли вологовміст  $d_b < d_3$  і температура  $t_b < t_3$ . На рисунку 2 наведена у системі координат  $I, d$  послідовність зміни параметрів повітря, яке проходить через різне обладнання центральної прямотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення у ТПР. У дослідженнях прийнято масову продуктивність СКП, порашовану за кількістю пилинок,  $G = 10000$  кг/год, параметри зовнішнього повітря вибрані такими:  $t_3 = 42^\circ\text{C}$ ;  $d_3 = 13,9$  г/кг (відповідно, питома ентальпія  $I_3 = 78,0$  кДж/кг; відносна вологість  $\phi_3 = 27\%$ ), барометричний тиск  $p_3 = 1010$  гПа; параметри внутрішнього повітря відповідно –  $t_b = 30^\circ\text{C}$ ;  $\phi_b = 50\%$  (відповідно,  $d_b = 13,4$  г/кг;  $I_b = 64,4$  кДж/кг); різниця температур між внутрішнім і припливним повітрям залежно від теплонадлишків у чистому приміщенні, а також температури зовнішнього повітря  $\Delta t_{\Pi} = t_b - t_{\Pi} = 6,0^\circ\text{C}$ ; кутовий коефіцієнт процесу асиміляції тепло- і вологонадлишків у чистому приміщенні припливним повітрям з кондиціонера  $\varepsilon = 16867$  кДж/кг; температура води (холодоносія) для камери зрошення: початкова  $t_{B_n} = 14,9^\circ\text{C}$ ; кінцева  $t_{B_k} = 17,3^\circ\text{C}$ ; температура теплоносія (води) для повітрянагрівника II підігрівання: початкова  $t_{\text{Гар}} = 70^\circ\text{C}$ ; кінцева  $t_{3B} = 42^\circ\text{C}$ .

Послідовність змін, які відбуваються з вологим повітрям, що проходить через різне обладнання системи кондиціонування повітря, наведені на рисунку 2. Побудова на  $I-d$  – діаграмі виконана згідно з [11]. Параметри повітря у характерних точках процесу (рисунок 2) встановлювались за прийнятими значеннями параметрів для зовнішнього повітря та підраховувались на запропонованій інноваційній математичній дослідницькій моделі за відомими аналітичними залежностями для вологого повітря.

Окрім цього, завдання дослідницької моделі – комп’ютерне оцінювання ексергетичної ефективності вибраної системи кондиціонування та втрат ексергії в її елементах залежно від різних факторів, що впливають на її роботу [20]. Завдяки цій моделі отримано діаграму Грассмана потоків та втрат ексергії для вибраної системи кондиціонування за температури зовнішнього повітря  $42^\circ\text{C}$ .

Ексергетичний ККД, який характеризує ефективність роботи центральної прямотечійної системи кондиціонування чистого приміщення у ТПР, визначали за формулою (4), у якій  $E_{\text{вих}} = \Delta E_{\Pi B} = E_{\Pi} - E_B$  – зменшення ексергії кондиціонованого повітря у чистому приміщенні (корисно використана ексергія), Вт;  $E_{\Pi}$  і  $E_B$  – відповідно, ексергія припливного і внутрішнього

повітря у чистому приміщенні, Вт;  $D_{\text{к.зр}} = \Delta E_{\text{к.зр}} = E_K - E_3$  – втрата ексергії повітря у камері зрошення, Вт;  $E_K$  і  $E_3$  – відповідно, ексергія оброблюваного повітря на виході та вході (зовнішнього повітря) у камеру зрошення, Вт;  $D_{\text{нагр}} = \Delta E_{\text{нагр}} = E_{\Pi_1} - E_K$  – втрата ексергії повітря у повітрянагрівнику II підігрівання, Вт;  $E_{\Pi_1}$  і  $E_K$  – відповідно, ексергія оброблюваного повітря на виході та вході у повітрянагрівник II підігрівання, Вт;  $D_{\text{виг}} = \Delta E_{\text{виг}} = E_B - E_3$  – втрата ексергії з витяжним кондиціонованим повітрям з чистого приміщення, Вт;  $D_{\text{х.в}} = N_{\text{сп}}^{\text{х.в}}$  – втрата ексергії з насосом холодної води для камери зрошення, Вт;  $D_{\text{г.в}} = N_{\text{сп}}^{\text{г.в}}$  – втрата ексергії насосом гарячої води для повітрянагрівника II підігрівання, Вт;  $D_{\text{вент}} = N_{\text{сп}}^{\text{вент}}$  – втрата ексергії з двигуном вентилятора прийнятого центрального кондиціонера, Вт;  $D_{\text{ХМ}} = N_{\text{сп}}^{\text{ХМ}}$  – втрата ексергії з холодильною машиною для центрального кондиціонера, Вт.



**Рисунок 2** – Зображення процесів зміни стану вологого повітря у прямотечійній СКП в ТПР на  $I-d$  – діаграмі: **ЗК** – процес політропного оброблення (охолодження та осушування) повітря  $G_{\text{к.зр}} = G_{\Pi}$  у камері зрошення; **КП<sub>1</sub>** – процес нагрівання повітря  $G_{\Pi}$  у повітрянагрівнику II підігрівання; **П<sub>1</sub>П** – підігрівання повітря  $G_{\Pi}$  на  $1^\circ\text{C}$  у вентиляторі та припливному повітропроводі; **ПВ** – процес асиміляції тепло- і вологонадлишків в чистому приміщенні припливним повітрям  $G_{\Pi}$  з кондиціонера

Як визначали величини, що входять у формулу (4) подано у [20].

Результати розрахунків питомої ексергії вологого повітря у певних точках процесів, які характеризують роботу прямооточної центральної СКП, зводимо у таблицю 1.

Варто відзначити, що нами не були враховані втрати ексергії, пов'язані з втратою аеродинаміч-

ного тиску потоку повітря, які є порівняно незначними і ними можна знехтувати, а також невраховані втрати у навколишнє середовище, окрім цього прийнято, що процес зволоження у камері зрошення відбувається за політропою. Параметри, які характеризують стан повітря у всіх точках процесів для даної СКП, зведені в таблицю 1.

**Таблиця 1** – Параметри точок, які характеризують стан вологого повітря під час роботи СКП

Точки на I-d – діаграмі	Температура $t$ , °C	Питома ентальпія $I$ , кДж/кг	Вологовміст $d$ , г/кг	Відносна вологість $\varphi$ , %	Питома ексергія $e$ , кДж/кг
<b>З (О)</b>	42	78,0	13,9	27	0,0
<b>В</b>	30	64,4	13,4	50	0,2428
<b>П</b>	24,0	57,3	13,0	69	0,5545
<b>П<sub>1</sub></b>	23,0	56,2	13,0	74	0,6187
<b>К</b>	19,7	52,8	13,0	90	0,8570

### III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ

Для побудови діаграми Грассмана визначаємо втрати ексергії в елементах системи кондиціонування повітря чистого приміщення у відсотках до ексергії входу у досліджувану ЕТС:

- у камері зрошення

$$D_{\text{к.зр}} = \frac{\Delta E_{\text{к.зр}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 6,4 \% \quad (5)$$

- у повітряонагрівнику II підігрівання

$$D_{\text{нагр}} = \frac{\Delta E_{\text{нагр}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 1,8 \% \quad (6)$$

- з насосом холодної води для камери зрошення

$$D_{\text{х.в}} = \frac{N_{\text{сп}}^{\text{х.в}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 10,3 \% \quad (7)$$

- з насосом гарячої води для повітряонагрівника II підігрівання

$$D_{\text{г.в}} = \frac{N_{\text{сп}}^{\text{г.в}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 0,1 \% \quad (8)$$

- з двигуном вентилятора

$$D_{\text{вент}} = \frac{N_{\text{сп}}^{\text{вент}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 10,0 \% \quad (9)$$

- з холодильною машиною

$$D_{\text{ХМ}} = \frac{N_{\text{сп}}^{\text{ХМ}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 67,3 \% \quad (10)$$

- з витяжним повітрям

$$D_{\text{вит}} = \frac{\Delta E_{\text{вит}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 1,8 \% \quad (11)$$

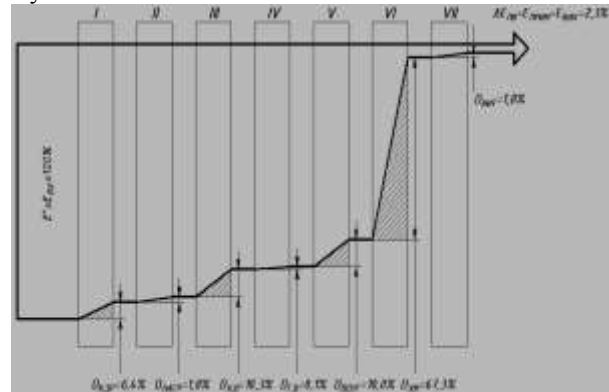
Підраховуємо корисно використану ексергію у чистому приміщенні системи кондиціонування повітря у відсотках до ексергії входу у досліджувану ЕТС:

$$E_{\text{прим}} = \frac{\Delta E_{\text{ПВ}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = \frac{E_{\text{вих}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100 = 2,3 \% \quad (12)$$

Складаємо ексергетичний баланс для діаграми Грассмана досліджуваної системи кондиціонування повітря чистого приміщення з метою проведення відповідного оцінювання ЕТС:

$$E^+ = E_{\text{вх}} = D_{\text{к.зр}} + D_{\text{нагр}} + D_{\text{х.в}} + D_{\text{г.в}} + D_{\text{вент}} + D_{\text{ХМ}} + D_{\text{вит}} + E_{\text{прим}} = 100\% \quad (13)$$

Будуємо діаграму Грассмана для досліджуваної ЕТС:



**Рисунок 3** – Діаграма Грассмана потоків та втрат ексергії для досліджуваної системи кондиціонування повітря за температури зовнішнього повітря 42°C: I-камера зрошення; II-повітряонагрівник II підігрівання; III-насос холодної води; IV-насос гарячої води; V-вентилятор; VI-холодильна машина; VII-витяжка з приміщення

Отже, ексергетичний аналіз центральної прямомотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення виконаний на створеній авторами інноваційній математичній дослідницькій моделі дав можливість побудувати діаграму Грассмана потоків та втрат ексергії для досліджуваної системи кондиціонування повітря у даному випадку за температури зовнішнього повітря 42°C.

#### IV. ВИСНОВКИ

Аналізуючи отримані дані досліджень на рисунку 3, можна дійти таких висновків. Для побудови діаграми Грассмана використана авторська інноваційна математична дослідницька модель центральної прямомотечійної системи кондиціонування повітря чистого приміщення для комп'ютерного оцінювання ексергетичної ефективності вибраної системи кондиціонування та втрат ексергії в її елементах залежно від різних факторів, що впливають на її роботу. Наведена діаграма Грассмана потоків та втрат ексергії для досліджуваної системи кондиціонування повітря за температури зовнішнього повітря 42°C, що дає можливість оцінити відносні втрати ексергії в ЕТС, зрозуміти над зменшенням яких втрат треба працювати, а значить отримати економічно найвигідніший варіант використання вибраної системи кондиціонування повітря. З аналізу діаграми Грассмана для вибраної прямомотечійної центральної СКП, яка обслуговує чисте приміщення, видно, що для підвищення ексергетичного ККД вибраної ЕТС потрібно зменшити втрати ексергії на отримання холодної води в холодильній машині, на транспортування холодної води у камеру зрошення і у вентиляторному агрегаті на транспортування повітря.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Федотов А.Е.** Чистые помещения. Второе изд., перераб. и доп. – М.: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
2. **Хаякава И.** Чистые помещения. Пер. с японск. – М.: Мир, 1990. – 456 с.
3. **Уайт В.** Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. – М.: Клинрум, 2002. – 304 с.
4. **Уайт В.** Проектирование чистых помещений. Пер. с англ. – М.: Клинрум, 2004. – 360 с.
5. **ГОСТ ИСО 14644-1.** Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха.
6. **Соколов Е.Я.** Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учеб. пособие для вузов.- 2-е изд., перераб. / Е.Я. Соколов, В.М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
7. **Шаргут Я.** Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М.: Энергия, 1968. – 280 с.
8. **Эксергетические расчеты технических систем:** справ. пособие / [В.М. Бродянский, Г.П. Верхивкер, Я.Я. Карчев и др.]; под ред. А.А. Долинского, В.М. Бродянского; Ин-т технической теплофизики АН УССР. – Киев: Наук. думка, 1991. – 360 с.
9. **Бродянский В.М.** Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
10. **Бэр Г.Д.** Техническая термодинамика / Г.Д. Бэр. – М.: Мир, 1977. – 518 с.
11. **Богословский В.Н.** Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учебник для вузов / В.Н. Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров. – Стройиздат, 1985. – 367 с.
12. **Прохоров В.И.** Метод вычисления эксергии потока влажного воздуха / В.И. Прохоров, С.М. Шилклопер // Холодильная техника. – 1981, № 9. – С. 37–41.
13. **Шилклопер С.М.** Эксергетический анализ систем обеспечения микроклимата и энергообеспечения / С.М. Шилклопер, С.И. Жадин // Строительство и архитектура. Сер. 9. – 1982, вып. 4. – С. 18–27.
14. **СНиП 2.04.05–86.** Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 64 с.
15. **Янговский Е.И.** Потoki энергии и эксергии / Е.И. Янговский. – М.: Наука, 1988. – 144 с.
16. **Bes T.** Egzergia w procesach ogrzewania, klimatyzacji i suszenia / T. Bes // Energetyka Przemysłowa. – 1962. – 10, № 11. – S. 388–392.
17. **Łabaj Włodzimierz.** Efektywność egzergetyczna autonomicznych klimatyzatorów miejscowych / Włodzimierz Łabaj, Oksana Omelczuk // XIV Konferencja ciepłowników „Perspektywy rozwoju ciepłownictwa”. Materiały konferencyjne. – Solina: Politechnika Rzeszowska, 26-28 września 2002 r. – S. 137–144.
18. **Лабай Володимир.** Ексергетична ефективність центральних кондиціонерів / Володимир Лабай, Тарас Іванух // V Konferencja naukowa Rzeszowsko-Lwowsko-Koszycka „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”. Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej «Budownictwo i inżynieria środowiska». – Z. 32, część 2: Inżynieria Środowiska. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 25-26 września 2000 r. – S. 229–235.
19. **Лабай В.Й.** Оцінка ефективності систем кондиціонування повітря методом ексергетичного аналізу / В.Й. Лабай, Т.В. Іванух // Вісник Держ. унів. «Львівська політехніка». – 2000. – № 404: Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – С. 66–70.
20. **Labay V.** Innovation model for energy effective investigations of air conditioning systems for cleanrooms / V. Labay, D. Harasym // ECONTechMOD – Lublin-Rzeszow: 2014 – Vol. 3, № 1. – P. 47–52.

V.Y. Labay, D.I. Harasym

Lviv Polytechnic National University, 12 St. Bandery str., Lviv, 79013

## THE DIAGRAM OF GRASSMANN IN EXERGETIC ANALYSIS OF AIR CONDITIONING SYSTEMS FOR CLEANROOMS

*In modern technologies, which are related to energy transformation, namely in the air conditioning systems, important place are occupied by objects creation and improvement of which requires the use of innovation thermodynamics. Classic apparatus of this science is often insufficient to solve new tasks; it is necessary not only to its further development, but its combination with the elements of a systematic approach and energetic. Innovation mathematical research model of the central straight flow air conditioning system for cleanroom in order to computer's estimation its energy effective by virtue of exergetic output-input ratio and losses of exergy depending on different factors, which have influence on its work, was used in this article. The diagram of Grassmann of exergy flows and losses for chosen air conditioning system at outdoor air temperature 42°C was defined thanks to this model. It is shown that the chosen air conditioning system has high losses of exergy in the refrigeration machine, in the pump of cold water and in the fan unit, decreasing which will give the opportunity to gain the highest exergetic output-input ratio  $\eta_e$ , and it means to gain the most advantageous economical variant of exploitation of chosen air conditioning system.*

**Keywords:** Exergy balance – Air conditioning systems – Cleanrooms – Exergy efficiency – Diagram of Grassmann

### REFERENCES

1. **Fedotov A.E. 2003.** Chistye pomeshcheniia. Vtoroe izd., pererab. i dop. – Moskva: ASINKOM, 2003. – 576 (in Russian).
2. **Hayakava I. 1990.** Chistye pomeshcheniia. Per. s iaponsk. – Moskva: Mir. – 456 (in Russian).
3. **Whyte W. 2002.** Tekhnologiiia chistykh pomeshchenii. Osnovy proektirovaniia, ispytaniia i ekspluatatsii. – Moskva: Klinrum. – 304 (in Russian).
4. **Whyte W. 2004.** Proektirovanie chistykh pomeshchenii. Per. s angl. – Moskva: Klinrum. – 360 (in Russian).
5. **GOST ISO 14644-1.** Chistye pomeshcheniia i sviazannye s nimi kontroliruemye sredy. Chast' 1. Klassifikatsiia chistoty vozdukha (in Russian).
6. **Sokolov E.Ia. 1981.** Energeticheskie osnovy transformatsii tepla i protsessov okhlazhdeniia: ucheb. posobie dlia vuzov. – 2-e izd., pererab. / E.Ia. Sokolov, V.M. Brodianskii. – Moskva: Energoizdat. – 320 (in Russian).
7. **Shargut Ia. 1968.** Eksergiia / Ia. Shargut, R. Petela. – Moskva: Energiia. – 280 (in Russian).
8. **Eksergeticheskie raschety tekhnicheskikh sistem. 1991:** sprav. posobie / [V.M. Brodianskii, G.P. Verhivker, Ia.Ia. Karchev i dr.]; pod red. A.A. Dolinskogo, V.M. Brodianskogo; In-t tekhnicheskoi teplofiziki AN USSR. – Kiev: Nauk. dumka. – 360.
9. **Brodianskii V.M. 1973.** Eksergeticheskii metod termodinamicheskogo analiza / V.M. Brodianskii. – Moskva: Energiia. – 296 (in Russian).
10. **Ber G.D. 1977.** Tekhnicheskaiia termodinamika / G.D. Ber. – Moskva: Mir. – 518 (in Russian).
11. **Bogoslovskii V.N. 1985.** Konditsionirovanie vozdukha i kholodosnabzhenie: Uchebnik dlia vuzov / V.N. Bogoslovskii, O.Ia. Kokorin, L.V. Petrov. – Stroiizdat. – 367 (in Russian).
12. **Prokhorov V.I. 1981.** Metod vychisleniia eksergii potoka vlazhnogo vozdukha / V.I. Prokhorov, S.M. Shilkloper // Kholodil'naia tekhnika. – № 9. – 37–41 (in Russian).
13. **Shilkloper S.M. 1982.** Eksergeticheskii analiz sistem obespecheniia mikroklimata i energosnabzheniia / S.M. Shilkloper, S.I. Zhadin // Stroitel'stvo i arkhitektura. Ser. 9. – Vyp. 4. – 18–27 (in Russian).
14. **SNiP 2.04.05–86. 1987.** Otoplenie, ventilatsiia i konditsionirovanie. – Moskva: TsITP Gosstroia SSSR. – 64 (in Russian).
15. **Iantovskii E.I. 1988.** Potoki energii i eksergii / E.I. Iantovskii. – Moskva: Nauka. – 144 (in Russian).
16. **Bes T. 1962.** Egzergia w procesach ogrzewania, klimatyzacji i suszenia / T. Bes // Energetyka Przemyslowa. – 10, № 11. – 388–392 (in Polish).
17. **Łabaj Włodzimierz. 2002.** Efektywność egzergiczna autonomicznych klimatyzatorów miejscowych / Włodzimierz Łabaj, Oksana Omelczuk // XIV Konferencja ciepłowników „Perspektywy rozwoju ciepłownictwa”. Materiały konferencyjne. – Solina: Politechnika Rzeszowska, 26-28 września. – 137–144 (in Ukrainian).
18. **Łabai Wolodymyr. 2000.** Eksergetychna efektywnist' tsentral'nykh kondytsioneriv / Wolodymyr Łabai, Taras Ivanukh // V Konferencja naukowa Rzeszowsko-Lwowsko-Koszycka „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”. Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej «Budownictwo i inżynieria środowiska». – Z. 32, część 2: Inżynieria Środowiska. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 25-26 września. – 229–235 (in Ukrainian).
19. **Łabai V.I. 2000.** Otsinka efektyvnosti system kondytsionuvannia povitria metodom eksergetychnogo analizu / V.I. Łabai, T.V. Ivanukh // Visnyk Derzh. univ. «L'viv's'ka politekhnika». – № 404: Teploenergetyka. Inzheneriia dovkillia. Avtomatyzatsiia. – 66–70 (in Ukrainian).
20. **Labay V. 2014.** Innovation model for energy effective investigations of air conditioning systems for cleanrooms / V. Labay, D. Harasym // ECONTECHMOD – Lublin-Rzeszow: 2014 – Vol. 3, № 1. – 47–52 (in English).

Отримана в редакції 10.09.2014, прийнята до друку 14.09.2014