

Термодинамический анализ процесса воздухоподготовки чистых помещений

А.С. Рябышенков

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия*

ryabyshenkov@mail.ru

Исследована возможность применения эксергетического метода термодинамического анализа как средство мониторинга энергоэффективности системы воздухоподготовки чистых помещений. Повышение энергоэффективности можно достичь за счет тщательного термодинамического анализа затрат энергии при изменении состояния воздушного потока в системе кондиционирования и фильтрации воздуха.

Использована математическая модель системы кондиционирования воздуха с рециркуляционным контуром. Проведены оценки эксергетической эффективности в выбранной системе кондиционирования и потерь эксергии в основных ее элементах в зависимости от различных факторов. Получена диаграмма Грассмана потоков и потерь эксергии для выбранной системы кондиционирования в теплый и холодный периоды года.

Применение эксергетического анализа позволяет определить основные способы уменьшения энергетических потерь и выбрать оптимальный вариант схемного решения системы кондиционирования и фильтрации воздуха.

Ключевые слова: системы кондиционирования воздуха; чистые помещения; рециркуляционный контур; энергоэффективность; эксергетический баланс; диаграмма Грассмана.

Для цитирования: Рябышенков А.С. Термодинамический анализ процесса воздухоподготовки чистых помещений // Изв. вузов. Электроника. – 2017. – Т. 22. – № 4. – С. 341–349. DOI: 10.24151/1561-5405-2017-22-4-341-349

Thermodynamic Analysis of Process of Clean Rooms Air Handling

A.S. Ryabyshenkov

National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia

ryabyshenkov@mail.ru

For determination of the optimal thermodynamic processes in the air conditioning and filtration the exergy method has been used. The estimation of separate elements and of the whole complex the air conditioning and filtration based on the exergy efficiency calculation is the main purpose of the exergy analysis.

The possibility of using the method of thermodynamic exergy analysis as the means of monitoring the energy efficiency of clean rooms air handling system has been investigated. The mathematical model of an air conditioning system with the recirculation circuit has been used. The estimates of the exergy efficiency in the selected system, air conditioning and the Exergy losses in its base elements depending on various factors have been performed.

The application of the exergy analysis enables to identify the main ways to reduce the energy losses and choose the best option circuitry air conditioning and air filtration.

Keywords: air-conditioning system; clean rooms; a recirculation loop; energy efficiency; exergy balance; diagram Grassmann.

For citation: Ryabyshenkov A.S. Thermodynamic Analysis of Process of Clean Rooms Air Handling // Proc. of Universities. Electronics. – 2017. – Vol. 22. – No. 4. – P. 341–349. DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-4-341-349

Введение. В настоящее время довольно широко применяется эксергетический подход для определения оптимальных термодинамических процессов в системе кондиционирования и фильтрации воздуха (СКФВ) чистых помещений (ЧП) микроэлектроники [1–3]. Использование эксергетического подхода для анализа СКФВ позволит выбрать наиболее энергетически эффективную схему обработки воздуха за счет сравнительного анализа различных вариантов схем воздухоподготовки (прямоточная система, рециркуляционный контур) с последующей оптимизацией основных процессов работы СКФВ. Основная цель эксергетического анализа – оценка эффективности элементов (тепло-массообменное оборудование, вентиляторы, фильтры, насосы, воздуховоды) и всего комплекса СКФВ на основе расчета эксергетического КПД. При этом необходимо учитывать, что при производстве изделий микроэлектроники в современных условиях потребляется большой объем чистого воздуха, а это, в свою очередь, предполагает еще большие затраты. Повышение энергоэффективности можно достичь за счет тщательного термодинамического анализа затрат энергии (эксергии) при изменении состояния воздушного потока в СКФВ и выработке соответствующих мероприятий по снижению энергозатрат [4–8].

В настоящей работе использована сравнительно новая математическая модель системы кондиционирования с рециркуляцией воздуха ЧП [3,6,9]. С этой целью проведена компьютерная оценка эксергетической эффективности в исследуемой схеме воздухоподготовки и потерь эксергии в основных элементах в зависимости от различных фак-

торов, влияющих на ее эффективность. Построены диаграммы Грассмана потоков и потерь эксергии для выбранной схемы кондиционирования воздуха в теплый (ТПГ) и холодный периоды года (ХПГ).

Эксергетический метод анализа – универсальный способ термодинамического исследования в различных процессах превращения энергии в СКФВ, в которых все термодинамические процессы обработки воздуха необратимы, что является причиной отклонения от условий идеального процесса. Использование эксергетического подхода для исследуемой СКФВ позволяет определить потери эксергии в основных ее элементах и тем самым повысить эффективность функционирования СКФВ в целом [10–13].

Описание объекта анализа и результаты работы. Для исследуемой СКФВ вначале составляют материальный и тепловой балансы и, следовательно, эксергетический. В отличие от теплового эксергетический баланс учитывает потери энергии от необратимости процессов в СКФВ и приближает систему к идеальной с $\eta_o = 1$.

Эксергетический баланс для СКФВ ЧП имеет следующий вид:

$$E_{\text{вх}} = E_{\text{вых}} + \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

$$\text{или } \sum_{i=1}^n E_i = E_{\text{вх}} - E_{\text{вых}},$$

где $E_{\text{вх}}$ – подаваемая эксергия в СКФВ, кДж/кг; $E_{\text{вых}}$ – эксергия воздуха на выходе из СКФВ, кДж/кг; $\sum_{i=1}^n E_i$ – сумма эксергетических потерь СКФВ, кДж/кг.

На основе эксергетического баланса определяются абсолютные или относительные характеристики СКФВ и отдельных ее элементов, далее строится диаграмма Грассмана, в полной мере отражающая потоки и потери эксергии в исследуемой СКФВ.

Эксергетический баланс СКФВ составляется на основе принципиальной схемы, приведенной на рис.1.

Очевидно, что эффективность функционирования СКФВ и основных ее элементов будет тем выше, чем меньше потери эксергии. Для повышения эффективности СКФВ необходимо использовать эксергетический КПД, который определяется из эксергетического баланса [4–6]:

$$\eta_o = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вх}}}. \quad (2)$$

Эксергетический КПД определяет энергию, зависящую от параметров наружного воздуха (НВ).

Расчеты балансов и различных характеристик СКФВ с учетом потерь эксергии дают возможность простым и наглядным способом решать научно-технические задачи. С их помощью можно свести к минимуму погрешности и пренебречь качественными преобразованиями для создания условий экономии энергоресурсов в СКФВ [4,5].

Эксергетический КПД СКФВ ЧП рассчитывают по формуле (2), в которой числитель является полезным эксергетическим эффектом, а знаменатель – затратами эксергии, тогда формула (2) примет следующий вид:

$$\eta_o = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вых}} + \sum_{i=1}^n E_i} = \frac{E_{\text{эф}}}{E_{\text{пот}}}. \quad (3)$$

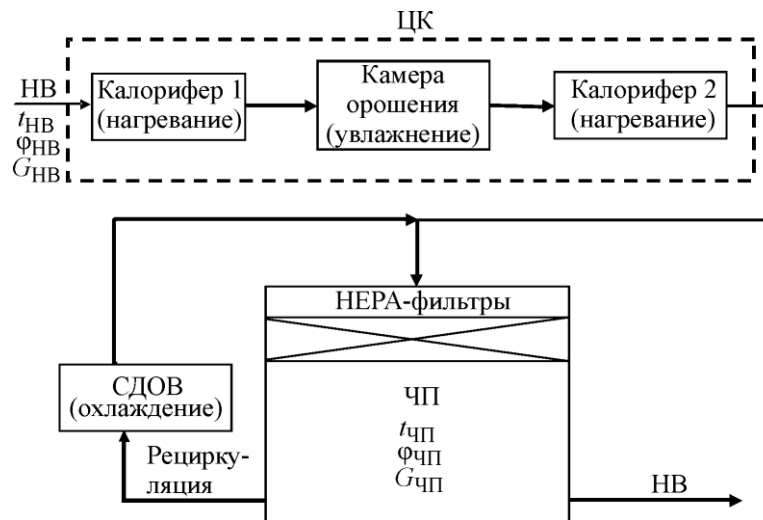


Рис.1. Принципиальная схема рециркуляционной СКФВ ЧП: СДОВ – система доводки и обработки воздуха; $G_{НВ}$ – объемный расход наружного воздуха; $t_{чп}$, $\phi_{чп}$, $G_{чп}$, $t_{вых}$, $\phi_{вых}$, $G_{вых}$ – температура, относительная влажность, объемный расход воздуха в ЧП и на выходе из ЧП соответственно

Fig.1. Schematic diagram of the recirculation air conditioning and air filtration system (ACAFA) in cleanrooms (CR): НВ – outside air; CR – air conditioning system; $t_{НВ}$, $\phi_{НВ}$, $G_{НВ}$ – temperature, relative humidity, outside air volume flow; $t_{чп}$, $\phi_{чп}$, $G_{чп}$ – temperature, relative humidity, air volume flow in cleanroom; $t_{вых}$, $\phi_{вых}$, $G_{вых}$ – temperature, relative humidity, air volume flow at the exit of CR

Основная цель СКФВ ЧП – поддержание параметров внутрипроизводственной среды в соответствии с заданным классом ЧП. При этом регулированию подлежит температура $t_{НВ}$ и относительная влажность $\phi_{НВ}$ воздуха, а также концентрация частиц пыли в ЧП [14].

Работа исследуемой СКФВ с рециркуляцией воздуха в ТПГ и ХПГ зависит от параметров НВ природно-технической геосистемы (температуры и влагосодержания окружающей среды). Воздух из окружающей среды поступает в центральный кондиционер (ЦК), далее проходит через калорифер 1 (К1) первый подогрев, затем увлажняется (охлаждается) в камере орошения (КО), подогревается в калорифере 2 (К2), а потом посредством вентилятора через НЕРА-фильтры подается в ЧП (см. рис.1).

Построена $I-d$ -диаграмма процесса кондиционирования воздуха с рециркуляцией воздуха для следующих значений параметров наружного и внутреннего воздуха в ТПГ: $t_{НВ} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; влагосодержание $d_{НВ} = 10,9\text{ г/кг}$; $\phi_{НВ} = 41\%$; энтальпия $I_{НВ} = 58,1\text{ кДж/кг}$; барометрическое давление $p_{НВ} = 101325\text{ Па}$; $t_{чп} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$; $d_{чп} = 6,2\text{ г/кг}$; $\phi_{чп} = 40\%$; $Q_{чп} = 115000\text{ Вт}$; разница температур между воздухом в ЧП и наружным воздухом зависит от теплоизбытков в ЧП $\Delta t_{чп} = t_{НВ} - t_{чп} = 9\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ХПГ: $t_{НВ} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $d_{НВ} = 0,2\text{ г/кг}$; $\phi_{НВ} = 95\%$; $I_{НВ} = -29,8\text{ кДж/кг}$; параметры внутреннего воздуха в ЧП такие же, как для ТПГ.

Последовательность изменений, которые происходят с влажным воздухом, проходящим через различные элементы СКФВ в ТПГ и ХПГ, показана на рис.2. Для предложенной математической модели с влажным воздухом построена диаграмма Грассмана потоков и потерь эксергии при температуре наружного воздуха $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ТПГ и $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ХПГ.

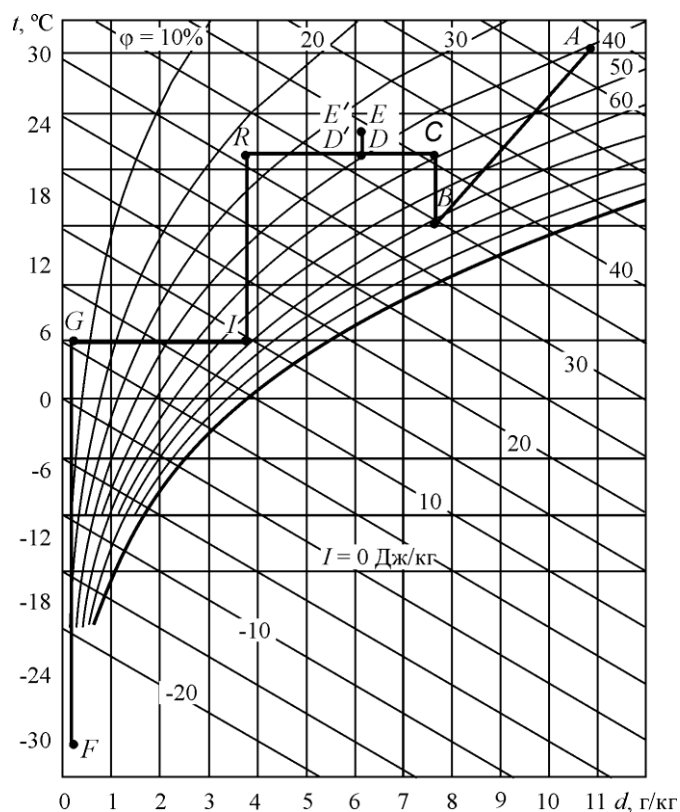


Рис. 2. I - d -диаграмма рециркуляционной системы кондиционирования воздуха в ТПГ и ХПГ

Fig. 2. I - d -diagram of air condition recirculation system for warm and cold periods of year

Эксергетический КПД характеризует эффективность работы СКФВ с рециклом в ТПГ и ХПГ и определяется по формуле (3), где $E_{\text{вых}} = \Delta E_{\text{пол ЧП}} = E_{\text{пол}} - E_{\text{ЧП}}$ – уменьшение эксергии кондиционируемого воздуха в ЧП (полезно потраченная эксергия), кДж/кг; $E_{\text{пол}}$ и $E_{\text{ЧП}}$ – эксергия поступающего и внутреннего воздуха в ЧП соответственно; $\Delta E_{\text{КО}} = E_{\text{КО}} - E_{\text{НВ}}$ – потеря эксергии воздуха в камере орошения; $E_{\text{КО}}$ и $E_{\text{НВ}}$ – эксергия обрабатываемого воздуха соответственно на выходе и входе (наружный воздух) в камеру орошения; $\Delta E_{\text{К2}} = E_{\text{К2}} - E_{\text{КО}}$ – потеря эксергии воздуха в калорифере 2; $E_{\text{К2}}$ и $E_{\text{КО}}$ – эксергия обрабатываемого воздуха соответственно на выходе и входе в калорифер 2.

Удельная эксергия воздуха в отдельных элементах СКФВ E_i определяется по формуле

$$E_i = t_{o,c} \left\{ (C_{pc} + d_i C_{pp}) \left(\frac{t_i}{t_{o,c}} - 1 - \ln \frac{t_i}{t_{o,c}} \right) + R \left[(0,622 + d_i) \ln \frac{p_i (0,622 + d_o)}{p_{o,c} (0,622 + d_i)} + d_i \ln \frac{d_i}{d_{o,c}} \right] \right\},$$

где $t_{o,c}$ и $d_{o,c}$ – температура и влагосодержание воздуха окружающей среды, К и г/кг; C_{pc} , C_{pp} – удельная теплоемкость сухого воздуха и водяного пара, кДж/кг·К; p_i , $p_{o,c}$ – парциальное давление воздуха в i -элементе СКФВ и в окружающей среде, Па; R – газовая постоянная водяного пара, Дж/(кг·К); t_i , d_i – температура и влагосодержание воздуха в i -элементе СКФВ, К и г/кг.

Необходимо отметить, что при выполнении расчетов не учтены потери эксергии, связанные с потерей аэродинамического давления, которыми можно пренебречь. Параметры, характеризующие состояние обрабатываемого воздуха в основных элементах исследуемой системы СКФВ, приведены в таблице.

Параметры воздуха при рециркуляционном режиме СКФВ в ТПГ и ХПГ
Air parameters for recirculation mode ACAFS for WPY and CPY

Точки на I-d-диаграмме	$t, ^\circ\text{C}$	$I, \text{кДж/кг}$	$d, \text{г/кг}$	$\phi, \%$
ТПГ				
A (НВ)	30	58,1	10,9	41,0
B (КО)	15	34,7	7,7	95,0
C (К2)	21	40,8	7,7	50,0
D (ЧП)	21	36,9	6,2	40,0
E (СДОВ)	23	38,7	6,1	35,0
ХПГ				
F (НВ)	-30	-29,8	0,2	95,0
G (К1)	5	5,6	0,2	4,0
I (КО)	5	36,9	3,8	70,0
R (К2)	21	30,8	3,8	25,0
D' (ЧП)	21	36,9	6,2	40,0
E' (СДОВ)	23	38,7	6,1	35,0

Для построения диаграммы Грассмана СКФВ в ТПГ определялись потери эксергии (X_i) в основных ее элементах (в процентном соотношении подаваемой эксергии в исследуемую СКФВ):

- в камере орошения: $X_{\text{КО}} = \frac{\Delta E_{\text{КО}}}{E_{\text{ВХ}}} \cdot 100 = 75,55\%$;

- в калорифере 2: $X_{\text{К2}} = \frac{\Delta E_{\text{К2}}}{E_{\text{ВХ}}} \cdot 100 = 22,04\%$;

- в ЧП: $X_{\text{ЧП}} = \frac{\Delta E_{\text{ЧП}}}{E_{\text{ВХ}}} \cdot 100 = 0,1\%$;

- в СДОВ: $X_{\text{СДОВ}} = \frac{\Delta E_{\text{СДОВ}}}{E_{\text{ВХ}}} \cdot 100 = 2,3\%$.

Для построения диаграммы Грассмана составлялся эксергетический баланс рециркуляционной схемы СКФВ в ТПГ:

$$E_{\text{ВХ}} = X_{\text{КО}} + X_{\text{К2}} + X_{\text{ЧП}} + X_{\text{СДОВ}} = 100\% .$$

Далее строилась диаграмма Грассмана для ТПГ (рис.3).

Аналогично составлялся эксергетический баланс СКФВ и строилась диаграмма Грассмана для ХПГ (рис.4).

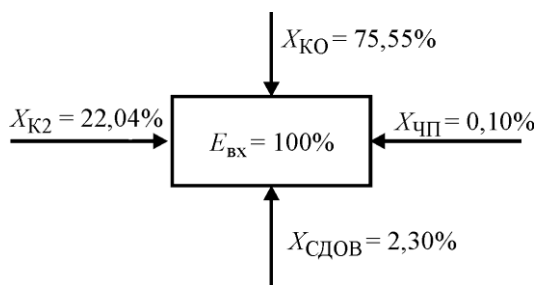


Рис.3. Диаграмма Грассмана СКФВ для ТПГ
 Fig.3. Grassman diagram of ACAFS
 for warm period of year

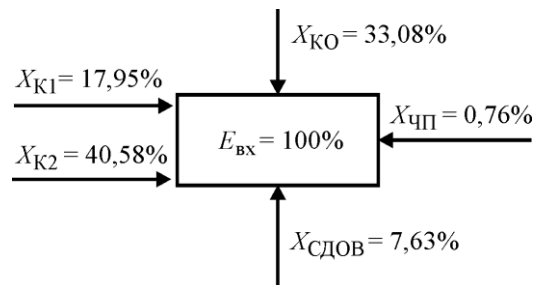


Рис.4. Диаграмма Грассмана СКФВ для ХПГ
 Fig.4. Grassman diagram of ACAFS
 for cold period of year

Потери эксергии в основных ее элементах (в процентном соотношении к подаваемой эксергии в исследуемую СКФВ):

- в калорифере 2: $X_{K1} = \frac{\Delta E_{K1}}{E_{BX}} \cdot 100 = 17,95\%$;

- в камере орошения: $X_{KO} = \frac{\Delta E_{KO}}{E_{BX}} \cdot 100 = 33,08\%$;

- в калорифере 2: $X_{K2} = \frac{\Delta E_{K2}}{E_{BX}} \cdot 100 = 40,58\%$;

- в ЧП: $X_{ЧП} = \frac{\Delta E_{ЧП}}{E_{BX}} \cdot 100 = 0,76\%$;

- в СДОВ: $X_{СДОВ} = \frac{\Delta E_{СДОВ}}{E_{BX}} \cdot 100 = 7,63\%$.

Для построения диаграммы Грассмана эксергетический баланс рециркуляционной схемы СКФВ в ХПГ имеет вид:

$$E_{BX} = X_{K1} + X_{KO} + X_{K2} + X_{ЧП} + X_{СДОВ} = 100\% .$$

Закключение. Проведенный анализ диаграмм Грассмана показал, что для увеличения эксергетического КПД в исследуемой схеме для ТПГ необходимо уменьшить потери эксергии при процессах увлажнения и нагревания воздуха, а для ХПГ – при процессах нагревания в калорифере 2, а также при увлажнении воздуха в камере орошения. Построенные диаграммы для ТПГ и ХПГ дают возможность оценить относительные потери эксергии в отдельных элементах и СКФВ в целом. Это позволяет разработать необходимые мероприятия по уменьшению энергетических потерь в СКФВ ЧП, среди которых основными являются повышение эффективности обработки воздуха при уменьшении расхода воды за счет оптимизации энергозатрат при нагревании в калорифере и увлажнении в камере орошения, а также вследствие уменьшения количества водозапорной арматуры и длины воздухопроводов по ходу движения обрабатываемого воздуха в элементах СКФВ.

Литература

1. **Рябышенков А.С., Захаров А.Н., Гаврилин В.А.** Эксергетический анализ рециркуляционной системы кондиционирования и фильтрации воздуха в чистых помещениях // Актуальные проблемы повышения эффективности производств микроэлектроники: сб. науч. тр. / Под ред. В.И. Каракеяна. – М.: МИЭТ, 2016. – С. 28–33.
2. **Каракеян В.И., Дисветова Н.М.** Система кондиционирования воздуха чистых помещений как объект термодинамического анализа // Актуальные проблемы повышения эффективности производств микроэлектроники: сб. науч. тр. / Под ред. В.И. Каракеяна. – М.: МИЭТ, 2016. – С. 3–8.
3. **Labay V., Harasym D.** Innovation model for energy effective investigations of air conditioning systems for cleanrooms // Econtechmod. – 2014. – Vol. 3. – No. 1. – P. 47–52.
4. **Бродянский В.М.** Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.
5. 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. – Киев: Наукова думка, 1991. – 360 с.
6. **Labay V.Y., Harasym D.I.** The diagram of Grassman in exergetic analysis of air conditioning systems for cleanrooms // Refrigeration Engineering and Technology. – 2014. – №5(151). – P. 17–22.
7. **Архаров А.М.** Почему эксергетический вариант термодинамического анализа нерационален для исследования основных низкотемпературных систем // Холодильная техника. – 2011. – №10. – С. 8–12.

8. **Архаров А.М., Шишов В.В.** Энтропийно-статистический анализ распределения затрат энергии на компенсацию необратимости рабочих процессов систем кондиционирования // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2013. – №2. – С. 84–93.
9. **Рябышенков А.С.** Системный анализ функционирования чистых помещений для микроэлектроники // Изв. вузов. Электроника. – 2016. – Т. 21. – № 3. – С. 218–223.
10. **Шишов В.В.** Энтропийно-статистический анализ холодильных циклов для систем кондиционирования // Наука и инновации. – 2012. – № 5 (5). – С. 143–156.
11. **Цыганков А.В., Гримитлин А.М.** Состояние и перспективы развития систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. – 2013. – №4. – С. 47–50.
12. **Коченков Н.В., Коченков В.Н.** Сравнительная оценка годовых энергозатрат в центральной и децентрализованной системах кондиционирования воздуха // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Холодильная техника и кондиционирование. – 2014. – №3. – С. 37–49.
13. **Емельянов А.Л., Киселев И.Г., Приймин В.П.** Методика оценки энергетической эффективности мобильных систем кондиционирования воздуха // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Холодильная техника и кондиционирование. – 2016. – №3. – С. 5–12.
14. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч.1. Классификация чистоты воздуха. – М., 2002.

Поступила 16.01.2017 г.; принята к публикации 25.04.2017 г.

Рябышенков Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1), ryabyshenkov@mail.ru

References

1. Ryabyshenkov A.S., Zakharov A.N., Gavrilin V.A. Eksergeticheskij analiz retsirkulyatsionnoj sistemy konditsionirovaniya i fil'tratsii vozdukha v chistyx pomeshheniyakh [Exergetic Analysis of air condition and air filtration recirculation system in cleanrooms]. *Sbornik nauchnykh trudov «Aktual'nye problemy povysheniya ehffektivnosti proizvodstv mikroehlektroniki»* [Proc. Actual problems of increasing the efficiency of microelectronics production]. Pod red. V.I. Karakeyana. Moscow, MIET, 2016, pp. 28–33. (In Russian).
2. Karakeyan V.I., Disvetova N.M. Sistema konditsionirovaniya vozdukha chistyx pomeshhenij kak ob"ekt termodinamicheskogo analiza [The cleanrooms air conditioning system as an object of thermodynamic analysis]. *Sbornik nauchnykh trudov «Aktual'nye problemy povysheniya ehffektivnosti proizvodstv mikroehlektroniki»* [Proc. Actual problems of increasing the efficiency of microelectronics production]. Pod red. V.I. Karakeyana. Moscow, MIET, 2016, pp. 3–8. (In Russian).
3. Labay V., Harasym D. Innovation model for energy effective investigations of air conditioning systems for cleanrooms. *ECONTECHMOD*, 2014, vol. 3, no.1, pp. 47–52.
4. Brodyanskij V.M. *Eksergeticheskij metod termodinamicheskogo analiza*. Moscow, Energiya, 1973. 296 p. (In Russian).
5. Brodyanskij V.M., Verkhivker G.P., Karchev Ya.Ya et al. *Eksergeticheskie raschety tekhnicheskikh sistem. Sprav.posobie* [Exergetic computations of technical systems. Reference book]. Pod red. A.A. Dolinskogo, V.M. Brodyanskogo. Kiev: Nauk.dumka, 1991. 360 p. (In Russian).
6. Labay V.Y., Harasym D.I. The diagram of Grassman in exergetic analysis of air conditioning systems for cleanrooms. *Refrigeration engineering and technology*, 2014, no. 5(151), pp. 17–22.
7. Arkharov A.M. Pochemu ehksergeticheskij variant termodinamicheskogo analiza neratsionalen dlya issledovaniya osnovnykh nizkotemperaturnykh sistem [Why exergetic method of thermodynamical analysis is irrational for main low-temperature systems]. *Zurnal «Kholodil'naya tekhnika*, 2011, no. 10, pp. 8–12. (In Russian).
8. Arkharov A.M., Shishov V.V. Entropijno-statisticheskij analiz raspredeleniya zatrat ehnergii na kompensatsiyu neobratimosti rabochikh protsessov sistem konditsionirovaniya [Statistical entropy distribution analysis of energy expenses on compensation for irreversibility of air condition system operation processes]. *Vestnik MGTU im. N.Eh. Bauman. Ser. Mashinostroenie – Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Mechanical engineering*, 2013, no. 2, pp. 84–93. (In Russian).

9. Ryabyshenkov A.S. Sistemnyj analiz funktsionirovaniya chistykh pomeshhenij dlya mikroelektroniki [System analysis of cleanrooms functioning for microelectronics] *Izvestiya vuzov. Elektronika – Proceedings of Universities. Electronics*, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 218–223. (In Russian).
10. Shishov V.V. Entropijno-statisticheskij analiz kholodil'nykh tsiklov dlya sistem konditsionirovaniya [Statistical entropy analysis of air condition refrigeration cycles]. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovatsii – Journal of engineering: science and innovations*, 2012, no. 5 (5), pp. 143–156. (In Russian).
11. Tsygankov A.V., Gritlin A.M. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem konditsionirovaniya vozdukh [Situation and development prospects of air condition systems]. *Vestnik Mezhdunarodnoj Akademii kholoda – Vestnik of International Academy of Refrigeration*, 2013, no. 4, pp. 47–50. (In Russian).
12. Kochenkov N.V., Kochenkov V.N. Sravnitel'naya otsenka godovykh ehnergozatrast v tsentral'noj i detsentralizovannoj sistemakh konditsionirovaniya vozdukh [Comparative estimation of annual energy costs in central and decentralized air conditioning systems]. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Ser. Kolodil'naya tekhnika i konditsionirovanie – The scientific series Refrigeration and Air Conditioning. ITMO University*, 2014, no. 3, pp. 37–49. (In Russian).
13. Emel'yanov A.L., Kiselev I.G., Prijmin V.P. Metodika otsenki ehnergeticheskoy ehffektivnosti mobil'nykh sistem konditsionirovaniya vozdukh [Assessment methodology of energy efficiency for mobile air condition system]. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Ser. Kolodil'naya tekhnika i konditsionirovanie – The scientific series Refrigeration and Air Conditioning. ITMO University*, 2016, no. 3, pp. 5–12. (In Russian).
14. GOST ISO 14644-1-2002. CHistye pomeshheniya i svyazannye s nimi kontroliruemye sredy. Chast' 1. Klassifikatsiya chistoty vozdukh [Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1. Classification of air cleanliness]. Moscow, 2002. (In Russian).

Submitted 16.01.2017; accepted 25.04.2017.

Ryabyshenkov Andrey S. – candidate of technical sciences, the senior lecturer of the Industrial Ecology Department, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), ryabyshenkov@mail.ru

Информация для читателей журнала

«Известия высших учебных заведений. Электроника»

Вы можете оформить подписку на 2018 г. в редакции с любого номера. Стоимость одного номера – 1000 руб. (с учетом всех налогов и почтовых расходов).

Адрес редакции: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, МИЭТ, комн. 7231.

Тел.: 8-499-734-62-05. E-mail: magazine@miee.ru

<http://www.miet.ru>