

УДК 534.282

## Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок

Канд. техн. наук **Волков А.П.** alex78477@ya.ru  
**Свердлов А.В.** alexander.sverdlov@flaktwoods.com  
ООО «Флект Индастриал & Билдинг Системз»  
117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23  
Канд. техн. наук **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru  
Университет ИТМО  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Преимущества от владения автомобилем зависят не только от его технических характеристик, качества дорог, уровня авто сервиса, но и от возможности удобного и недорогого хранения. Сегодня, наличие крытой или подземной автостоянки во многом определяет стоимость объекта. Офисные и торговые центры, жилые здания оборудуются автостоянками. От характеристик автостоянки и её вместительности в значительной степени зависит стоимость этих объектов. Застройщики, чтобы обеспечить своим объектам конкурентные преимущества, стремятся максимально эффективно использовать пространство автостоянки. В условиях дороговизны городской земли такую возможность чаще всего предоставляет устройство подземной автостоянки, обычно размещаемой в цокольных этажах здания. Наиболее рациональной системой воздухораспределения при этом является система струйной вентиляции. В статье рассмотрены способы проектирования таких крытых парковок.*

**Ключевые слова:** подземные автостоянки, системы вентиляции, выбросы от транспортного средства.

---

## Ecology and calculation of ventilation underground parking

Ph.D. **Volkov A.P.** alex78477@ya.ru  
**Sverdlov A.V.** alexander.sverdlov@flaktwoods.com  
JSC Flekt Industrial & Bilding Sistemz  
117418, Russia, Moscow, Profsoyuznaya St., 23  
Ph.D. **Rykov S.V.**  
University ITMO  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*The benefits of owning a car depends not only on its technical characteristics, quality of roads, car service level, but also on an inexpensive storage. Today, the presence of indoor or underground parking largely determines the value of the object. Office and shopping centers, residential buildings are equipped with parking lots. The characteristics of the car park and its spaciousness are largely dependent on the value of these objects. Developers to ensure that their objects competitive advantage, seek to maximize efficient use of space car park. In the context of the high cost of urban land that opportunity often provides a device underground parking, usually placed in the basement of the building. The most efficient air distribution system while the system is jet ventilation. The article deals with how to design such covered parking.*

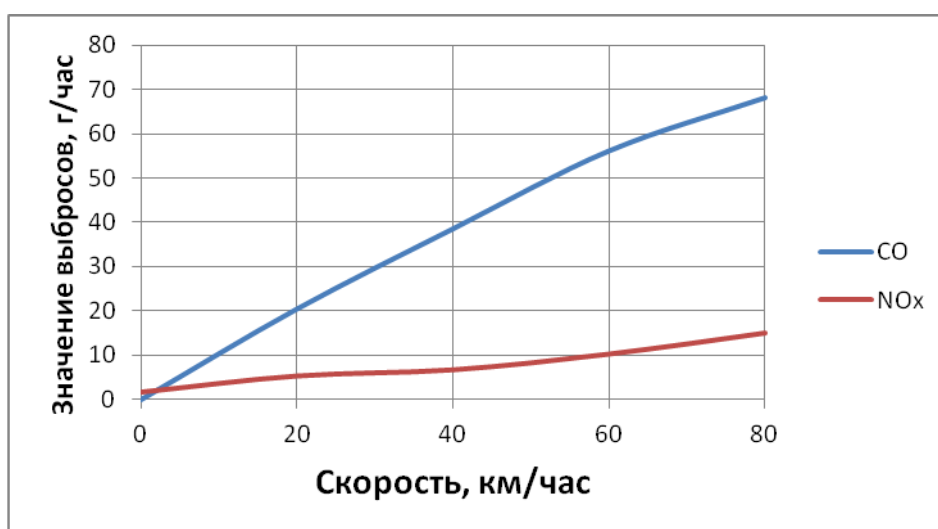
**Key words:** underground parking, ventilation systems, emissions from the vehicle.

Для подземных автостоянок характерно [1]:

- архитектурно замкнутое подземное пространство, зачастую лишенное естественного притока воздуха;
- высокие концентрации выхлопных газов при пиковых нагрузках;
- наличие застойных зон при использовании традиционных канальных систем вентиляции;
- высокие пожарные нагрузки.

Выбросы загрязняющих веществ в штатном режиме работы вентиляционной системы определяют необходимый объем воздухообмена и позволяют правильно оценить параметры приточно-вытяжной вентиляции подземной автостоянки.

Расчет значений вредных выбросов в помещении автостоянки от двигателей автомобилей осуществляют по количеству CO, который принято считать «пилот – газом». Концентрация CO является определяющим параметром среди других компонентов выхлопных газов, это подтверждается европейскими исследованиями [4, 5, 6] и соотношением между выбросами CO и NO<sub>x</sub> для легковых автомобилей с бензиновым двигателем [8, ...] , представленным на рис. 1.



**Рис. 1. График зависимости выбросов вредных компонентов выхлопных газов от работы бензинового двигателя легкового автомобиля**

Тем не менее, датчики системы газ-контроля должны обладать «перекрестной» чувствительностью и к другим компонентам выхлопных газов. В соответствии с [7] проверка перекрестной чувствительности осуществляется по калибровочным газовым смесям с характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Компоненты газовой контрольной смеси	Концентрация порога срабатывания, ppm	Время экспозиции, мин
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (пары бензина)	1000	30
CO <sub>2</sub> (диоксид углерода)	5000	30
NO (монооксид азота)	20	30
SO <sub>2</sub> (диоксид серы)	50	30
H <sub>2</sub> O (пары воды)	11 г/м <sup>3</sup>	30

Важным фактором является продолжительность работы двигателя после запуска из холодного состояния. Наибольшая эмиссия CO наблюдается при холодном каталитическом фильтре. После его разогрева и выходе на рабочий режим выбросы CO существенно снижаются.

Рассчитывается средняя протяженность пути, проходимого автомобилем по закрытой части автостоянки:

$$S_{\text{ср.ст}} = \frac{S_{\text{ст}}}{2} + S_{\text{рамп}} + 10, \tag{1}$$

где  $S_{\text{ст}}$  – максимальная протяженность пути, проходимого в автостоянке, м;  $S_{\text{рамп}}$  – протяженность пути по рампе, м; 10 м – дистанция, необходимая при маневрах во время парковки.

Среднее значение эмиссия CO (г) машин, пакующихся с разогретым (горячим) двигателем:

$$E_{\text{CO гор.}} = 0,008S_{\text{ср.ст}}. \tag{2}$$

Среднее значение эмиссия CO (г) машин, выезжающих с автостоянки с не разогретым (холодным) двигателем:

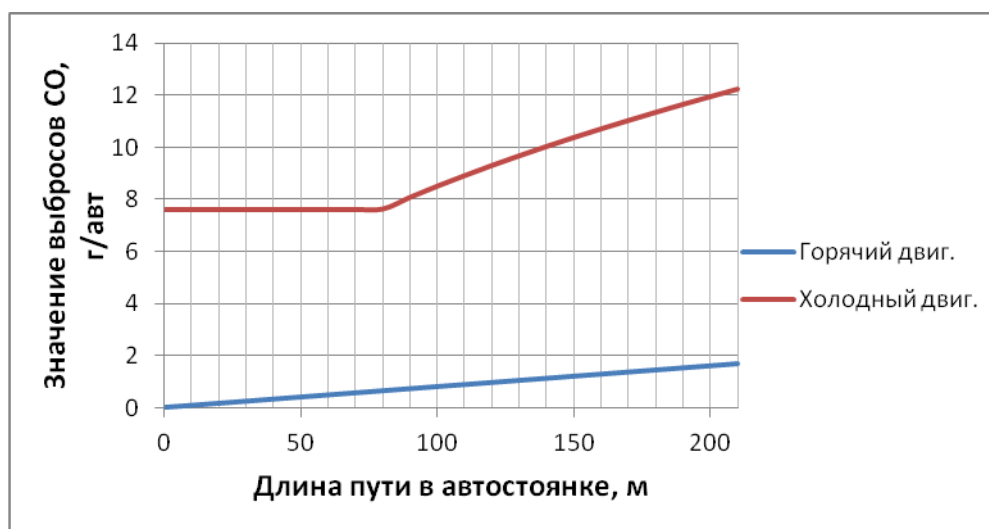
$$E_{\text{CO хол.}} = 7,6 \tag{3}$$

при  $S_{\text{ср.ст}} \leq 50$  м.

$$E_{\text{CO хол.}} = 0,89 S_{\text{ср.ст}}^{0,49} \tag{4}$$

при  $50 \text{ м} < S_{\text{ср.ст}} < 500$  м.

На рис. 2 показано влияние состояния двигателя автомобиля на эмиссию CO при движении по подземной автостоянке.



**Рис. 2. График зависимости эмиссии CO при движении автомобиля с разогретым и холодным двигателем**

Важную роль имеет интенсивность движения транспорта, определяемая частотой транспортного трафика  $f$  (1/с):

$$f = \frac{N_M}{SP}, \quad (5)$$

где  $SP$  – количество парковочных мест, авт;  $N_M$  – количество машин, паркующихся в течении 1 часа, авт/час.

Частота транспортного трафика выбирается по данным технического задания или обследования объекта. В случае отсутствия данных принимаются усредненные значения:  $f = 0,6$  для автостоянок жилых зданий;  $f = 0,8 \dots 1,5$  для автостоянок торговых и бизнес центров и других объектов с высокой посещаемостью, при отсутствии данных принимаем  $f = 1,0$ .

Среднее значение эмиссии CO (г/час) в помещении автостоянки составит:

$$G_{CO} = SP f E_{CO}. \quad (6)$$

При расчете эмиссии CO для парковок жилых зданий принимается допущение о максимуме эмиссии при утреннем холодном запуске двигателей (утреннее движение транспортного потока в деловой центр).

$$E_{CO} = E_{CO \text{ хол.}} \quad (7)$$

При расчете эмиссии CO для парковок с высокой посещаемостью считаем, что все парковочные места заняты, освободившееся место сразу занимает. В этом случае необходимо учитывать суммарную эмиссию от горячих и холодных двигателей.

$$E_{CO} = E_{CO \text{ хол.}} + E_{CO \text{ гор.}} \quad (8)$$

Требуемый воздушный поток внешнего воздуха для снижения концентрации CO в автостоянке составит, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_a = \frac{1000 G_{CO}}{CO_{об} - CO_{об \text{ пр.возд.}}} \cdot k_G, \quad (9)$$

где  $CO_{об}$  – предельная допустимая концентрация (ПДК) CO (мг/м<sup>3</sup>);

$CO_{об \text{ пр.возд.}}$  – значение объёмной концентрации CO в приточном воздухе за пределами автостоянки (мг/м<sup>3</sup>); в жилых районах с малым движением транспорта эта величина пренебрежимо мала и обычно принимается равной нулю; на сильно загруженных дорогах достигает  $CO_{об \text{ пр.возд.}} = 4$  мг/м<sup>3</sup>;

$k_G$  – коэффициент, учитывающий неравномерность вентиляции помещения автостоянки; обычно находится в диапазоне от 1,25 до 1,50, если данные отсутствуют принимается значение 1,25.

В соответствии с рекомендациями VDI-2053 [7], ПДК CO [ $CO^{об}$ ], как интегрального показателя (пилот – газа) всех видов вредных примесей в помещении автостоянки, выбирается равным 70 мг/м<sup>3</sup>, что не противоречит ГОСТ 12.1.005 [3].

В России компании застройщики на стадии эскизного проекта часто затрудняется предоставить информацию по транспортному трафику  $f$  проектируемого объекта. Поэтому возможно использовать

обобщенные рекомендации по нормам воздухообмена автостоянок различного назначения, позаимствованные из земельных положений различных областей Германии, а именно:

- для автостоянок с низкой посещаемостью при частоте транспортного трафика в соответствии с 5.6.2  $f \leq 0,6$  (подземные и крытые автостоянки жилых домов) –  $6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ ;
- для автостоянок с высокой посещаемостью при  $f = 1,0$  (подземные и крытые автостоянки бизнес и торговых центров) –  $12 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ ;
- для автостоянок с очень высокой посещаемостью при  $1,0 \leq f \leq 1,5$  (подземные и крытые автостоянки больших торговых центров, аэропортов и вокзалов) –  $16 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ .

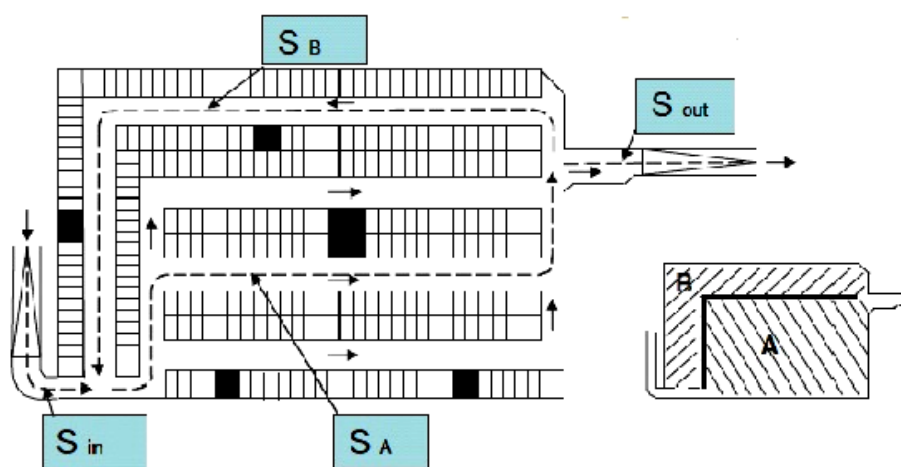
В этом случае мы получаем надежную, но немного завышенную оценку расчетного значения воздухообмена.

В отечественной практике рекомендуют норму воздухообмена автостоянки  $150 \text{ м}^3/\text{час}$  на одно парковочное место.

Рассмотрим результаты расчета воздухообмена подземной автостоянки здания, исходя из следующих условий:

- автостоянка жилого здания при  $f = 0,6$ , утренний максимум нагрузки на общеобменную вентиляцию при запуске двигателей их холодного состояния эмиссия CO в соответствии с формулами (3) и (7);
- автостоянка торгового центра при  $f = 1,0$ , когда парковочное место освобождается оно сразу занимает вновь прибывшей машиной эмиссия CO в соответствии с формулами (2), (3), (4) и (8).

Схема подземной автостоянки представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Схема подземной автостоянки**

Автостоянка общей площадью  $6700 \text{ м}^2$  имеет два пожарных отсека А и В:

- количество парковочных мест в отсеке А  $SP_A = 174$ ;
- количество парковочных мест в отсеке В  $SP_B = 106$ .

Дистанции, проходимые машинами в пожарных отсеках А и В: расстояния:

$$S_{in} = 42 \text{ м};$$

$$S_A = 34 \text{ м};$$

$$S_B = 156 \text{ м};$$

$$S_{out} = 40 \text{ м}.$$

Расстояние, проходимое автомобилями при выезде из отсека А:

$$10 \text{ м} + S_A/2 + S_{out} = 117 \text{ м.}$$

Расстояние, проходимое автомобилями при выезде из отсека В:

$$10 \text{ м} + S_B/2 + S_A + S_{out} = 262 \text{ м.}$$

Результаты расчета воздухообмена автостоянки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование величины	Жилой дом	Торговый центр
Норма расхода воздуха м <sup>3</sup> /час на 1 автомобиль	150	150
Воздухообмен, рассчитанный по норме расхода воздуха на 1 автомобиль, м <sup>3</sup> /час	42000	42000
Норма расхода воздуха м <sup>3</sup> /час м <sup>2</sup>	6	12
Воздухообмен, рассчитанный по норме расхода воздуха на 1 м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup> /час	40000	80000
Воздухообмен, рассчитанный по характеристикам объекта и трафику транспортного потока, м <sup>3</sup> /час	33000	66930

Рациональная схема воздухораспределения в закрытой автостоянке достигается применением систем струйной вентиляции [2], позволяющей избежать появления застойных зон и существенно улучшить экологическую обстановку.

При выполнении исследований использовались современные программные пакеты [9–14]. Одним из путей совершенствования методики проектирования вентиляции подземные автопарковок является использование точных термодинамических свойств рабочих веществ и выхлопных газов [10, 15–17] и вибраций оборудования [18].

### Выводы:

1. Проектирование вентиляционной системы автостоянки требует выбора исходных данных включая объемно планировочные решения и режим движения транспорта (транспортный трафик).
2. Расчет воздухообмена по нормативным данным приводит к существенному завышению или занижению расчетного значения воздухообмена и может быть рекомендовано только при эскизном проектировании, при недостаточных исходных данных.

### Список литературы

1. Вишневецкий Е.П., Волков А.П. Системы струйной (импульсной) вентиляции крытых и подземных автостоянок // Мир строительства и недвижимости. – 2012, № 43, С. 54–57.

2. Волков А.П., Гримитлин А.М., Рыков С.В. Методика расчета вентиляционной системы парковки закрытого типа // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 2 (15). С. 45–57.
3. ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. Zenger, A., T. Gritsch, U. Höpfner, M. Sinn, P. Rabl, N.van derPütten, H. Gabler: Tiefgaragenabluft – Analyse der Luftqualität sowie Entwicklung eines Modells zur Prognose der Emissionen. Tagungsband der VDI-Tagung: Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität 7.–29.4.1999 in Heidelberg. Düsseldorf: VDI Verlag.
5. Zenger, A.: Gesundheitliche Relevanz von Tiefgaragenemissionen. Wohnmedizin, Heft 5, Oktober 1999.
6. Knörr, W., Höpfner, U., Lambrecht, U., Nagel, H.-J., Patyk, A. (IFEU) TREMOD: Transport Emission Estimation Model; im Rahmen des Forschungsvorhabens „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2020“ im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin 1998, 1999.
7. VDI 2053 Air treatment systems for car parcs. January 2004.
8. Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation. PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation. 2012.
9. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Янорская А.Н., Камоцкий В.И. Использование пакета MathCad при подготовке студентов экологических и экономических направлений // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2014 № 1 С. 69.
10. Рыков С.В., Камоцкий В.И., Рыков В.А. Расчет паровой ветви линии насыщения перфторпропана в пакете MathCad // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014 № 2 С. 23.
11. Буткарев А.Г., Рыков В.А., Рыков С.А. Эффективное использование редактора MS Word для оформления документов большого объема // Пособие для самостоятельной работы / Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. ун-т низкотемпературных и пищевых технологий. Санкт-Петербург, 2007.
12. Рыков В.А., Рыков С.А., Кудрявцева И.В., Рыков С.В. Практические занятия в пакете MathCAD по исследованию систем линейных алгебраических уравнений: пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 107 с.
13. Методы оптимизации в примерах в пакете MathCAD 15. Ч. I: Учеб. пособие / И.В. Кудрявцева, С.А. Рыков, С.В. Рыков, Е.Д. Скобов. – СПб.: НИУ ИТМО, ИХиБТ, 2014. – 166 с.
14. Рыков С.А., Рыков С.В. Критерии оценки эффективности мобильных демпферов, установленных на пластинчатых поверхностях холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 2 (15). С. 8–16.
15. Рыков С.В., Кудрявцева И.В. Непараметрическое масштабное уравнение и феноменологическая теория критических явлений // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (8). С. 1687-1692.
16. Рыков А.В., Кудрявцев Д.А., Рыков В.А. Метод расчета параметров масштабной функции свободной энергии // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 50–53.
17. Рыков А.В., Кудрявцева И.В., Рыков В.А. Асимметричное масштабное уравнение состояния хладона R23 // Вестник Международной академии холода. 2012. № 4. С. 26–28.
18. Рыков С.А., Рыков С.В. Критерии оценки эффективности мобильных демпферов, установленных на пластинчатых поверхностях холодильных машин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 2 (15). С. 8–16.



## References

1. Vishnevskii E.P., Volkov A.P. Sistemy struinoi (impul'snoi) ventilyatsii krytykh i podzemnykh avtostoyanok // Mir stroitel'stva i nedvizhimosti. – 2012, № 43, S. 54–57.
2. Volkov A.P., Grititlin A.M., Rykov S.V. Metodika rascheta ventilyatsionnoi sistemy parkovki zakrytogo tipa // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie. 2014. № 2 (15). S. 45–57.
3. GOST 12.1.005–88 SSBT Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozdukhу rabochei zony.
4. Zenger, A., T. Gritsch, U. Höpfner, M. Sinn, P. Rabl, N.van derPütten, H. Gabler: Tiefgaragenabluft – Analyse der Luftqualität sowie Entwicklung eines Modells zur Prognose der Emissionen. Tagungsband der VDI-Tagung: Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität 7.–29.4.1999 in Heidelberg. Düsseldorf: VDI Verlag.
5. Zenger, A.: Gesundheitliche Relevanz von Tiefgaragenemissionen. Wohnmedizin, Heft 5, Oktober 1999.
6. Knörr, W., Höpfner, U., Lambrecht, U., Nagel, H.-J., Patyk, A. (IFEU) TREMOD: Transport Emission Estimation Model; im Rahmen des Forschungsvorhabens „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2020“ im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin 1998, 1999.
7. VDI 2053 Air treatment systems for car parks. January 2004.
8. Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation. PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation. 2012.
9. Rykov S.V., Kudryavtseva I.V., Yanorskaya A.N., Kamotskii V.I. Ispol'zovanie paketa MathCad pri podgotovke studentov ekologicheskikh i ekonomicheskikh napravlenii // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskii menedzhment. 2014 № 1 S. 69.
10. Rykov S.V., Kamotskii V.I., Rykov V.A. Raschet parovoi vetvi linii nasyshcheniya perftorpropana v pakete MathCad // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2014 № 2 S. 23.
11. Butkarev A.G., Rykov V.A., Rykov S.A. Effektivnoe ispol'zovanie redaktora MS Word dlya oformleniya dokumentov bol'shogo ob"ema // Posobie dlya samostoyatel'noi raboty / Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Sankt-Peterburgskii gos. un-t nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii. Sankt-Peterburg, 2007.
12. Rykov V.A., Rykov S.A., Kudryavtseva I.V., Rykov S.V. Prakticheskie zanyatiya v pakete MathCAD po issledovaniyu sistem lineinykh algebraicheskikh uravnenii: posobie. – SPb.: SPbGUNIPT, 2009. – 107 s.
13. Metody optimizatsii v primerakh v pakete MathCAD 15. Ch. I: Ucheb. posobie / I.V. Kudryavtseva, S.A. Rykov, S.V. Rykov, E.D. Skobov. – SPb.: NIU ITMO, IKhiBT, 2014. – 166 s.
14. Rykov S.A., Rykov S.V. Kriterii otsenki effektivnosti mobil'nykh dempferov, ustanovlennykh na plastinchatykh poverkhnostyakh kholodil'nykh mashin // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie. 2014. № 2 (15). S. 8–16.
15. Rykov S.V., Kudryavtseva I.V. Neparаметрическое массштабное уравнение и феноменологическая теория критических явлений // Fundamental'nye issledovaniya. 2014. № 9 (8). S. 1687-1692.
16. Rykov A.V., Kudryavtsev D.A., Rykov V.A. Metod rascheta parametrov masshtabnoi funktsii svobodnoi energii // Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. 2013. № 5. S. 50–53.
17. Rykov A.V., Kudryavtseva I.V., Rykov V.A. Asimmetrichnoe masshtabnoe uravnenie sostoyaniya khladona R23 // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2012. № 4. S. 26–28.
18. Rykov S.A., Rykov S.V. Kriterii otsenki effektivnosti mobil'nykh dempferov, ustanovlennykh na plastinchatykh poverkhnostyakh kholodil'nykh mashin // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie. 2014. № 2 (15). S. 8–16.