

УДК 536.71

Управление экологической безопасностью подземных транспортных сооружений при различных режимах движения транспортных средств

Канд. техн. наук **Волков А.П.** alex78477@ya.ru

Свердлов А.В. alexander.sverdlov@flaktwoods.com

Air Comfort & Fire Safety Europe

117418, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 23

Канд. техн. наук **Рыков С.В.** togg1@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха транспортных тоннелей и подземных автостоянок являются важнейшими средствами жизнеобеспечения человека в условиях высоких концентраций выхлопных газов в архитектурно замкнутом пространстве, зачастую не имеющего естественного притока воздуха. Поэтому расчет выбросов загрязняющих веществ в таких сооружениях и научно обоснованное проектирование этих строений позволяет управлять экологической безопасностью подземных транспортных сооружений. При эксплуатации автодорожных тоннелей, выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух происходит или из портала тоннеля, или из вентиляционной шахты. Концентрация загрязняющих веществ в исходящей воздушной струе определяется протяженностью тоннеля, его сечением, профилем трассы, схемой вентиляции и количеством воздуха, интенсивностью и структурой транспортного потока, скоростью движения транспорта, количеством полос (путей), направлениями движения транспортных средств (однонаправленное или двухнаправленное).

Ключевые слова: системы вентиляции, подземные транспортные сооружения, выбросы от транспортного средства, экологическая безопасность, проектирование тоннелей.

Ecology underground transport facilities with different modes of vehicles movement

Ph.D. Volkov A.P., Sverdlov A.V.

Air Comfort & Fire Safety Europe

117418, Russia, Moscow, Profsoyuznaya St., 23

Ph.D. Rykov S.V.

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Ventilation and air conditioning tunnels and underground Parking lots are the most important means of livelihood of the person in conditions of high concentration of exhaust gases in the architectural confined space, often having no natural airflow. Therefore, the calculation of emissions of pollutants into such structures and the design of these structures is an important scientific and technical challenge. In the operation of road tunnels, the emission of pollutants into the atmospheric air or from the portal of the tunnel, or from the ventilation shafts. The concentration of contaminants in the outgoing air stream is determined by the length of the tunnel, its cross-section profile of the route, the scheme of ventilation and air amount, intensity and structure of traffic flow, speed of traffic, number of lanes (routes), the directions of movement of vehicles (one-way or two-directional).

Keywords: ventilation, underground transport facilities, emissions from vehicles, environmental safety, design of tunnels.

Если отравление выхлопными газами чаще наблюдаются у работников гаражей, авторемонтных мастерских, у водителей и регулировщиков движения транспорта, то дискомфорт и головокружение при проезде по плохо вентилируемым автодорожным тоннелям знакомо многим жителям мегаполисов.

Одним из важнейших аспектов решения проблемы вентиляции подземных сооружений является подготовка специалистов знакомых со способами оценки негативного влияния выбросов транспортных средств и расчета этих сооружений в соответствии с действующими и вступающими в силу в будущем нормативами, принятыми в России и странах Евросоюза, в высших учебных заведениях. Дисциплины, раскрывающие эти вопросы, в данное время преподаются магистрантам направления «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» факультета экономики и экологического менеджмента и направления «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» при обучении по магистерской программе «Компьютерное и математическое моделирование в теплофизике» Университета ИТМО. Подготовка ведется с использованием современных пакетов прикладных программ [9–13].

Угарный газ – оксид углерода (СО) является важнейшим из токсических компонентов выхлопных газов; содержание его в выхлопных газах зависит от степени сгорания топлива. Большое количество оксида углерода скапливается в углублениях местности, в летние безветренные вечера на узких улицах, где часто образуются пробки, в плохо вентилируемых длинных туннелях при активном автомобильном движении в них. В воздухе гаражей и авторемонтных мастерских при работе двигателей могут накапливаться высокие концентрации угарного газа, способные вызвать хронические и острые отравления, в том числе смертельные. Высокие концентрации СО характерны для автотранспорта с бензиновым двигателем.

Если к бензину добавлен ТЭС [тетраэтилсвинец, Pb (CH₃CH₂)₄] для получения этилированного бензина с высоким октановым числом, то токсическое действие выхлопных газов ещё более усиливается за счёт влияния этой присадки.

Другим токсичным химическим соединением, вызывающим отравление человека является группа оксидов азота NO_x, включающая NO и NO₂. Оксиды азота вызывают сильное раздражение слизистых оболочек глаз, при высоких концентрациях (свыше 0,004%) возникают астматические проявления и отек легких. Высокие концентрации NO_x характерны для грузового автотранспорта с дизельными двигателями.

Таким образом, в закрытых и подземных транспортных сооружениях нормируются базовые значения концентраций СО и NO_x в зависимости от скорости автомобиля и угла уклона дороги. Соотношение между данными компонентами зависит от типа двигателя и вида используемого топлива.

Величину выбросов от транспортных средств принимают в зависимости от планируемого года ввода в эксплуатацию тоннеля с учетом технологических стандартов А, В, С, предложенных Техническим комитетом по эксплуатации автодорожных тоннелей Мировой дорожной ассоциации (PIARC) [8].

Технологический стандарт А применим к автомобильному парку стран эмиссионные стандарты которых соответствуют законодательству Евросоюза. Технологический стандарт В применяют для стран принявших эмиссионное законодательство Евросоюза с отставанием в 10 лет. К странам, которые приняли эмиссионное законодательство Евросоюза, но не осуществляют эффективный контроль возраста транспортных средств применим Технологический стандарт С.

Критерием выбора Технологического стандарта может являться количество транспортных средств, использующих топливо экологического стандарта ниже Евро-1 (таблица 1).

Таблица 1

Выбор технологического стандарта

Тип машины	Количество транспортных средств с экологическим стандартом ниже Евро-1, %		
	A	B	C
Легковые с бензиновым двигателем	≤ 20	20 – 30	≥ 30
Легковые с дизельным двигателем	≤ 5	5 – 30	≥ 30
Легкие грузовые с бензиновым двигателем	≤ 40	40 – 60	≥ 60
Легкие грузовые с дизельным двигателем	≤ 5	5 – 25	≥ 25
Тяжелые грузовые с дизельным двигателем	≤ 5	5 – 40	≥ 40

На основе Европейских норм [7] и отечественных нормативных документов были разработаны рекомендации по проектированию [1], позволившие использовать мировой опыт для проектирования систем вентиляции автодорожных тоннелей [2].

На рис. 1–8 представлены значения базовых выбросов одного автомобиля на основе данных [7] для Технологического стандарта А.

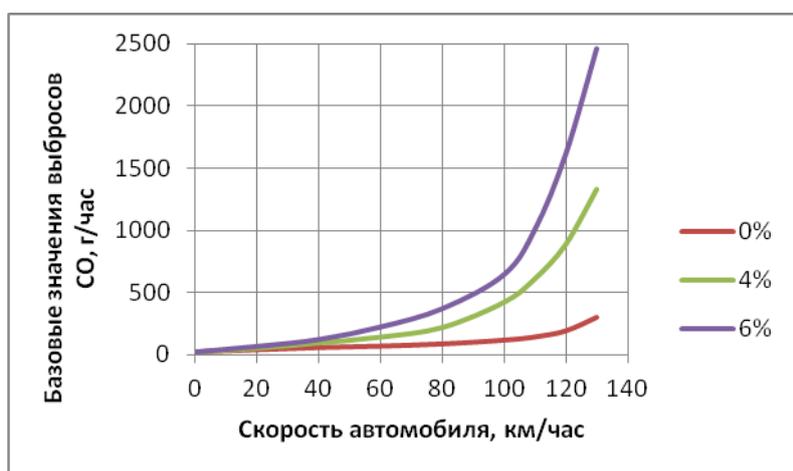


Рис. 1. График базовых значений выбросов CO в зависимости от скорости легкового автомобиля с бензиновым двигателем при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

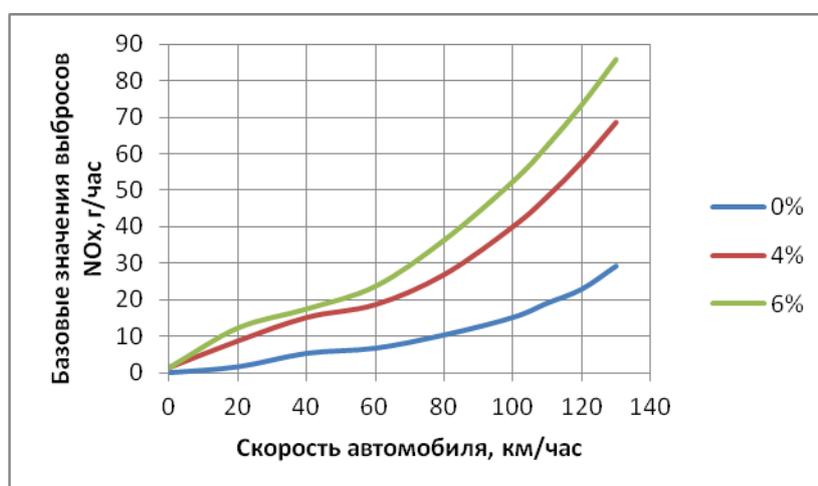


Рис. 2. График базовых значений выбросов NOx в зависимости от скорости легкового автомобиля с бензиновым двигателем при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

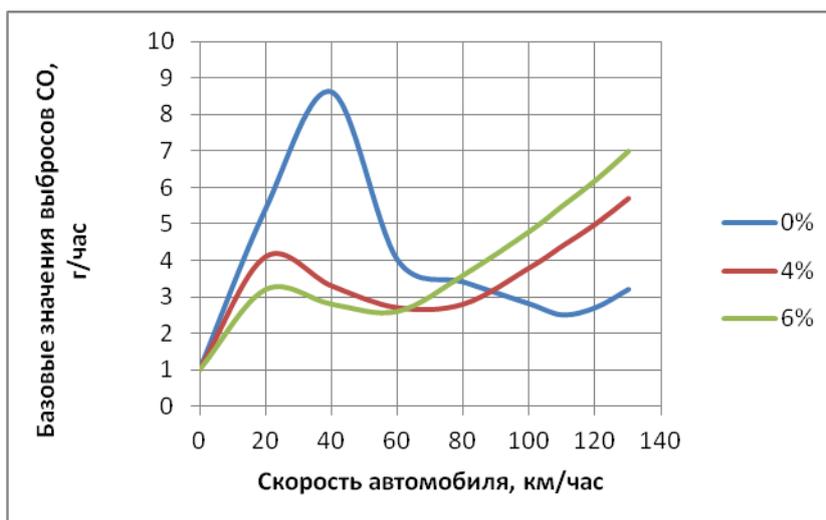


Рис. 3. График базовых значений выбросов CO в зависимости от скорости легкового автомобиля с дизельным двигателем при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

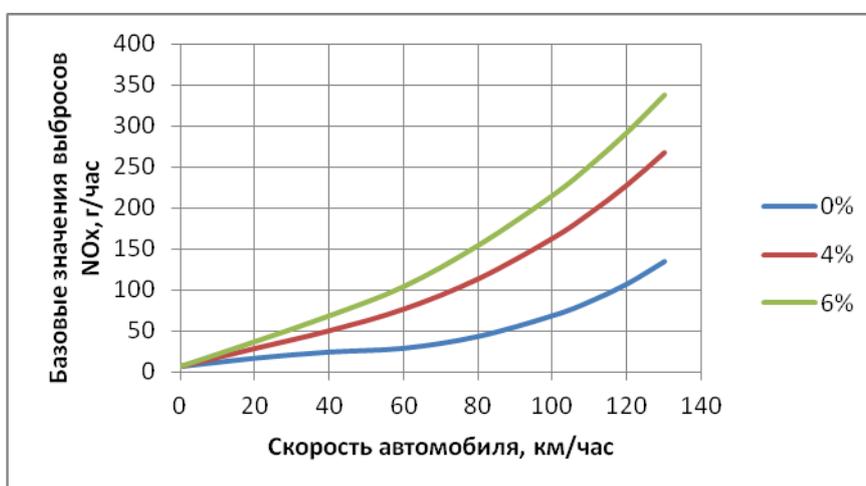


Рис. 4. График базовых значений выбросов NOx в зависимости от скорости легкового автомобиля с дизельным двигателем при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

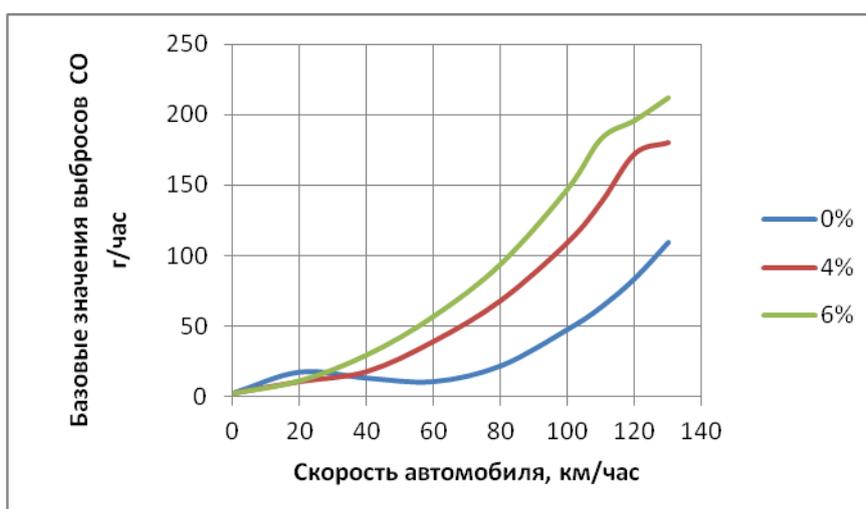


Рис. 5. График базовых значений выбросов CO в зависимости от скорости легкого грузового автомобиля со смешанным топливом при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

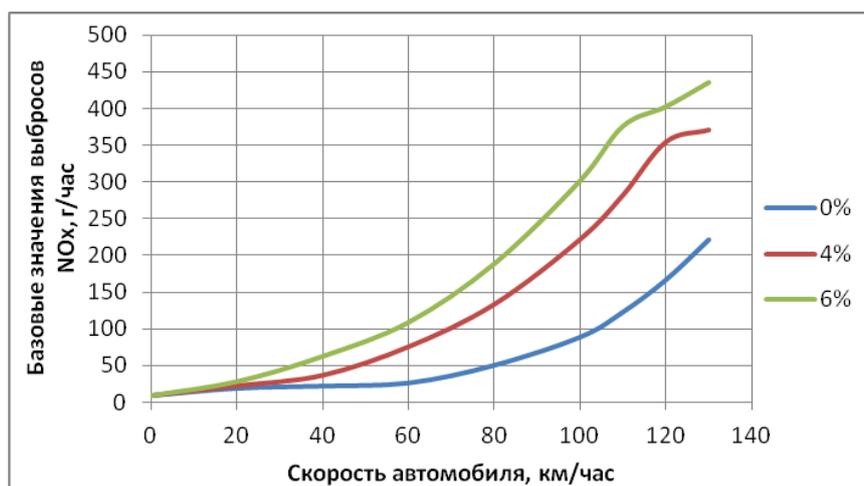


Рис. 6. График базовых значений выбросов NOx в зависимости от скорости легкого грузового автомобиля со смешанным топливом при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

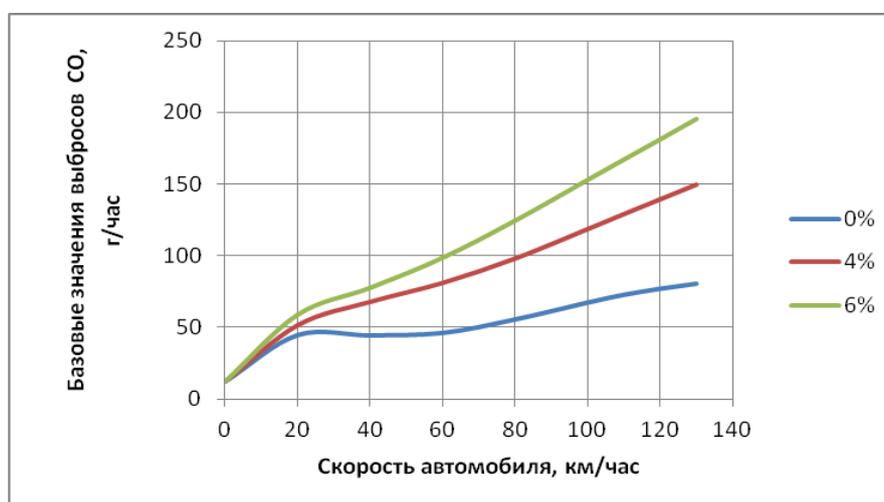


Рис. 7. График базовых значений выбросов CO в зависимости от скорости тяжелого грузового дизельного автомобиля массой до 23 т при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

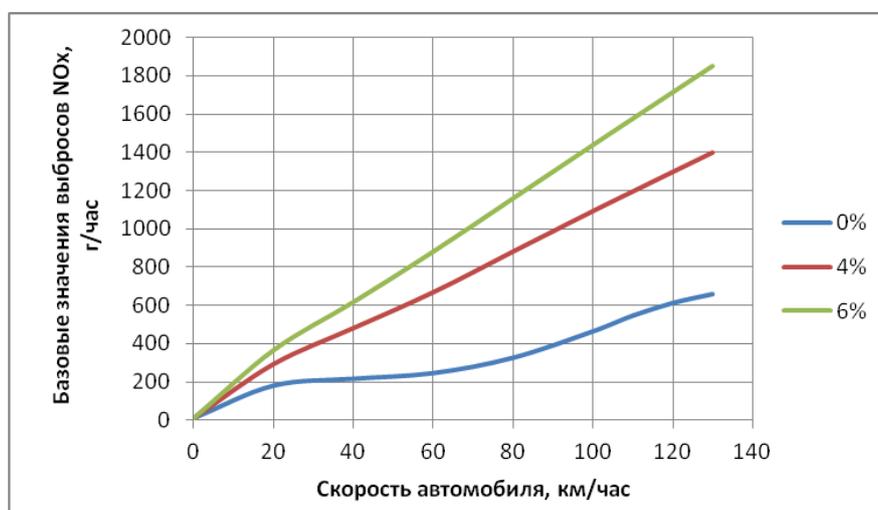


Рис. 8. График базовых значений выбросов NOx в зависимости от скорости тяжелого грузового дизельного автомобиля массой до 23 т при различных положительных (восходящих) углах уклона дороги

Нормируются значение выбросов взвешенных частиц не выхлопного происхождения $q_{вв}$ ($м^2/час$), образующихся в результате разрушения дорожного полотна и тормозных колодок. Значения выбросов взвешенных диаметром до 2,5 мм приведены на рис. 9.

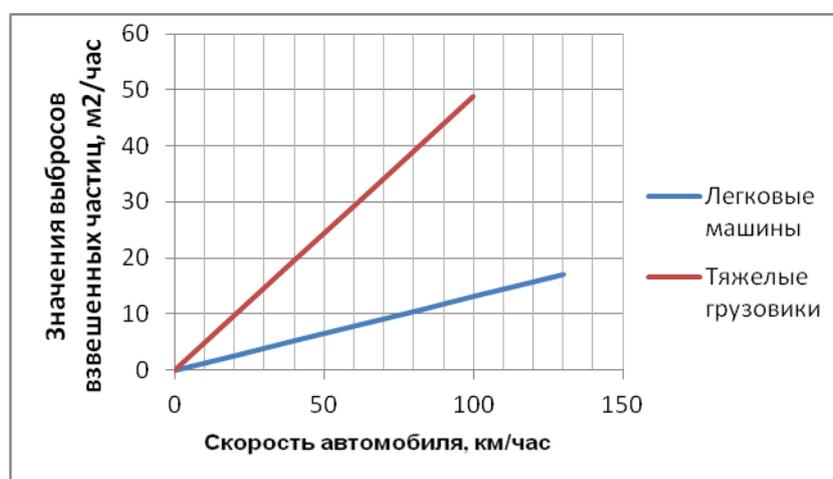


Рис. 9. График значений выбросов взвешенных частиц диаметром до 2,5 мм в зависимости от скорости легковых и тяжелых грузовых автомобилей

Искомое значение $q_{вв}$ ($м^2/час$) = 4,64 $q_{вв}$ ($г/час$).

Потери интенсивности светового потока относительно начальной после прохождения им единичного расстояния через воздушную среду тоннеля характеризуется коэффициентом ослабления $K_{осл}$ ($м^{-1}$).

В соответствии с требованиями СП 122.13330 [3] ПДК загрязняющих веществ в воздухе тоннеля должны соответствовать данным, приведенным в таблице 2. При проектировании вентиляции в мегаполисах следует ориентироваться на данные, выделенные подчеркиванием, соответствующие требованиям Евросоюза.

Таблица 2

ПДК в воздухе тоннеля

Транспортная ситуация	Коэфф. ослабления $K_{осл}$, $м^{-1}$	ПДК CO , $мг/м^3$	ПДК NOx , $мг/м^3$
Движение в час ПИК (50 – 100 км/час)	<u>0,005</u>	70 – <u>80</u>	5
Ежедневное замедленное движение, остановки на всех полосах движения	<u>0,007</u>	<u>80</u> – 150	5
Исключительное замедленное движение, остановки на всех полосах движения до 15 мин.	<u>0,009</u>	<u>115</u> – 200	5
Проведение в тоннеле плановых ремонтных работ	<u>0,003</u>	<u>20</u>	
Закрытие тоннеля	<u>0,012</u>	<u>200</u>	

Видимость в тоннеле не должна быть меньше 130 м.

Для дальнейших расчетов необходимо проанализировать информацию об интенсивности и составе транспортного потока, который будет внутри тоннеля при различных режимах движения.

Для определения суммарной эмиссии вредных веществ необходима информация о характеристиках транспортного потока, а именно:

- число полос движения $n_{пол}$;
- направление движения транспортных средств по полосам движения (однонаправленное или двунаправленное);
- установленная скорость движения по каждой полосе $V_{тр.ср}$, км/ч;
- приведенные интенсивности движения транспортных средств для часа пик при нормальной $D_{нр.ч/н.уст}$ и при замедленной скорости $D_{нр.ч/н.зам}$, усл. лег. авт./ч;
- соотношение $\delta = D_{нр.ч/н.зам} / D_{нр.ч/н.уст}$ в зависимости от района расположения и направления движения по полосам приведено в таблице 3;

Примечание: при определении интенсивности транспортного потока используют понятие – условные легковые автомобили (два условных легковых автомобиля эквивалентны по длине, занимаемой на полосе движения одному автобусу или грузовой машине 15 т, три – тяжелой грузовой машине 32 т с прицепом)

- приведенное количество транспортных средств при полной остановке движения $D_{нр.проб}$, усл. лег. авт./км пол.; принимается для тоннелей в городе 165 усл. лег. авт./км пол. и для тоннелей за городом 150 усл. лег. авт./км пол.

Таблица 3

Соотношение δ между интенсивностями при замедленном и нормальном движении

Тоннель в городе		Тоннель за городом	
Однонаправленное движение	Двунаправленное движение	Однонаправленное движение	Двунаправленное движение
0,5	0,57	0,39 – 0,47	0,43

Необходимыми данными являются интенсивности движения:

- легковых автомобилей с бензиновым двигателем – $A_{лб}$, авт/час;
- легковых автомобилей с дизельным двигателем – $A_{лд}$, авт/час;
- легких грузовых машин до 3,5 т с бензиновым двигателем – $B_{лгрб}$, авт/час;
- легких грузовых машин до 3,5 т с дизельным двигателем – $B_{лгрд}$, авт/час;
- тяжелых грузовых машин до 15 т с дизельным двигателем (грузовики и автобусы) – $B_{тгр15}$, авт/час;
- тяжелых грузовых машин до 32 т с дизельным двигателем (грузовики с прицепом и полуприцепом) – $B_{тгр32}$, авт/час.

При отсутствии точных данных состав транспортного потока оценивают по усредненным данным в соответствии с рекомендациями [1].

Зависимости процентных соотношения между интенсивностями движения транспортных средств различного типа определяется коэффициентами:

Ψ – отношение интенсивности движения тяжелого грузового транспорта к общей интенсивности движения, $\Psi = 100 B_{тгр} / C_{ч/п уст}$, %;

χ – отношение интенсивности движения легкого грузового транспорта к интенсивности движения легковых машин $\chi = 100 B_{лгрб} / A_{л}$, %;

\square – отношение интенсивности движения легковых машин с дизельным двигателем к общей интенсивности движения легковых машин

$\square = 100 A_{лд} / A_{л}$, %;

σ – отношение интенсивности движения легкового грузового транспорта с дизельным двигателем к общей интенсивности движения легкого грузового транспорта $\sigma = B_{лгрд} / B_{лгрб}$, %;

β – отношение интенсивности движения грузовиков и автобусов массой до 15 т к общей интенсивности движения тяжелого грузового транспорта
 $\beta = 100 B_{т гр 15} / B_{т гр}$, %.

Значения перечисленных коэффициентов, приведенных в таблице 4, ориентировочно установлены при анализе усредненного транспортного потока в России, странах Евросоюза, Австралии, Алжире и Китае.

Таблица 4

Коэффициенты, определяющие соотношение между интенсивностями движения транспортных средств различного типа и общей интенсивности всех транспортных средств в час пик

Коэффициент	Ψ	χ	\square	σ	β
Значение, %	20	10 – 25	20 – 30	4 – 50	58 – 83

Рассчитывают общую интенсивность транспортных средств в час пик $C_{ч/п усг}$, предполагая что автобус или тяжелый грузовик занимают место, эквивалентное 2 или 3 легковым автомобилям:

$$C_{ч/пуст} = \frac{D_{пр.ч/п}}{\left(1 - \frac{\Psi}{100}\right) + \frac{\Psi \cdot 2 \text{ или } 3}{100}}, \tag{1}$$

$$A_{лб} = C_{ч/пуст} \cdot 1 - 0,01\Psi \cdot \frac{1 - 0,01\omega}{1 + 0,01\chi}, \tag{2}$$

$$A_{лд} = C_{ч/пуст} \cdot 1 - 0,01\chi \cdot \frac{0,01\omega}{1 + 0,01\chi}, \tag{3}$$

где $D_{пр.ч/п}$ – приведенная интенсивность транспортных средств в час пик, усл. лег. авт./ч.

Аналогично определяются остальные интенсивности движения транспорта.

Определяется средняя скорость транспортного потока $V_{ср тп}$ для каждого из режимов движения, перечисленных в таблице 2 и рассчитывается количество транспортных средств одновременно находящихся в тоннеле автомобилей:

$$n_{лб} = A_{лб} L_T / V_{ср тп}, \tag{4}$$

$$n_{лд} = A_{лд} L_T / V_{ср тп}, \tag{5}$$

$$n_{л гр б} = B_{л гр б} L_T / V_{ср тп}, \tag{6}$$

$$n_{л гр д} = B_{л гр д} L_T / V_{ср тп}, \tag{7}$$

$$n_{т гр 15} = B_{т гр 15} L_T / V_{ср тп}, \tag{8}$$

$$n_{т гр 23} = B_{т гр 23} L_T / V_{ср тп}. \tag{9}$$

Выбросы от каждого из типов автомобиля (4–9) вычисляются в соответствии с формулой:

$$Q_{\text{авт}} = q_{\text{баз}} f_h f_t f_{\text{ст}} f_{\text{ст}h} h, \quad (10)$$

где $q_{\text{баз}}$ – базовое значение CO, NOx и частиц не выхлопного происхождения, определяемая по графикам рис. (1–9), г/час;

f_h – поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов с увеличением высоты над уровнем моря;

f_t – поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов в период до 2030 г относительно 2010 г;

$f_{\text{ст}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов для технологических стандартов В или С относительно технологического стандарта А;

$f_{\text{ст}h}$ – поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины выбросов для технологических стандартов В или С относительно технологического стандарта А с повышением высоты над уровнем моря.

Значения поправочных коэффициентов, приведены в [7] и приложении к рекомендациям [1].

Наибольший интерес представляет коэффициент f_t , позволяющий прогнозировать значения выбросов от автомобилей на период до 2030 г. Данное обстоятельство имеет важное значение по причине достаточно долгого периода строительства транспортных тоннелей, в ряде случаев тоннели строятся от 5 до 20 лет.

На рис. 10 и 11 приведены значения f_t , свидетельствующие об устойчивом снижении выбросов от двигателей легковых и грузовых автомашин.

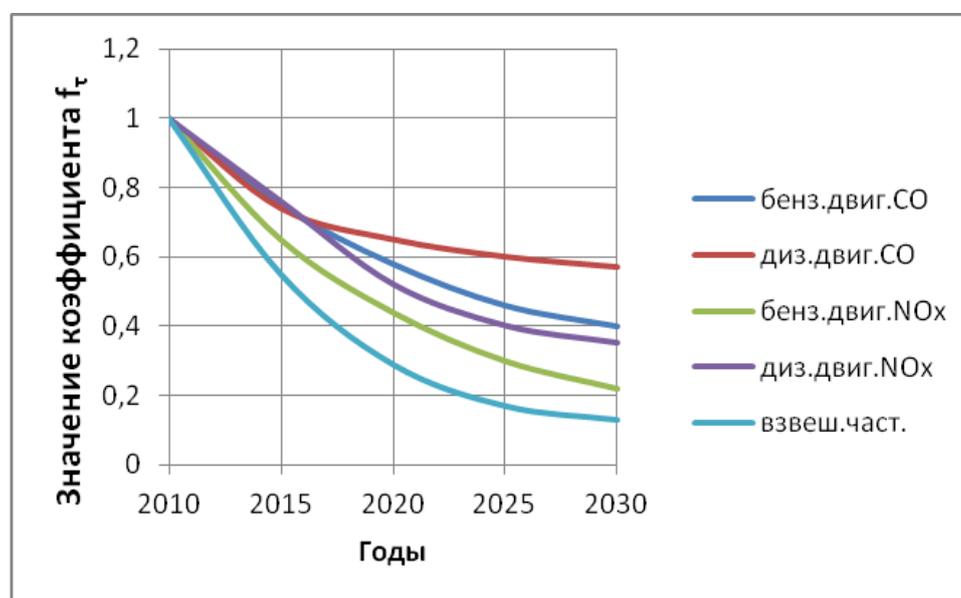


Рис. 10. График значений поправочного коэффициента f_t для легковых автомашин на период до 2030 относительно базового значения на 2010 г

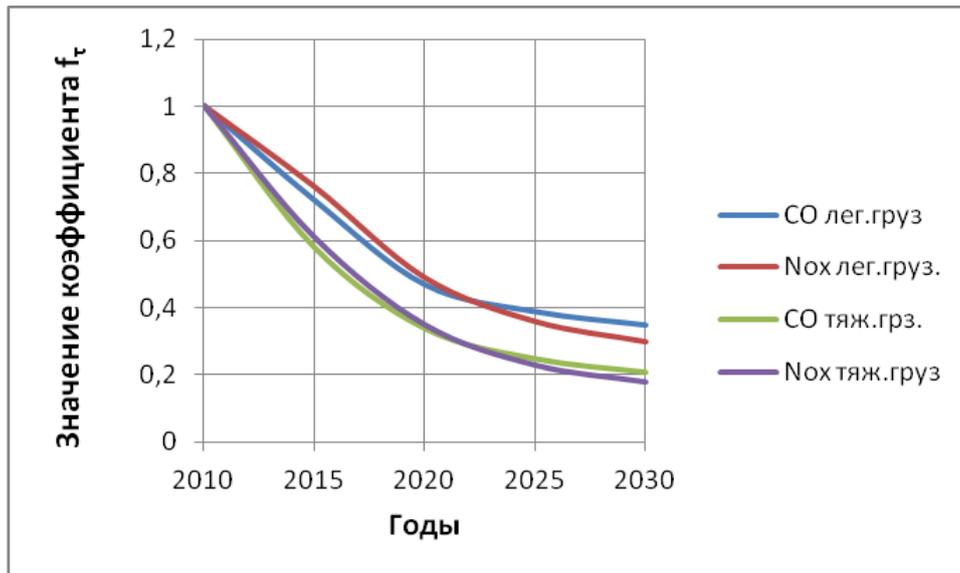


Рис. 11. График значений поправочного коэффициента f_t для грузовых автомашин на период до 2030 относительно базового значения на 2010 г

За 20 лет прогнозируется снижение значений выбросов от тяжелых грузовых машин в 5 раз, что с необходимостью требуется при внедрении технологического стандарта А.

В соответствии с [1] определяют объемные расходы воздуха необходимые для снижения уровней загрязненности воздуха в тоннеле до ПДК.

Объемный расход воздуха, необходимый для обеспечения ПДК CO, NOx и сажи G_6 , м³/с, рассчитывают по формуле:

$$G_6 = \frac{1}{c_{ПДК} - c_{вх}} 0,28 n_{лб} Q_{лб} + n_{лд} Q_{лд} + n_{лгр б} + n_{лгр д} Q_{лгр} + n_{тгр15} Q_{тгр15} + n_{тгр32} Q_{тгр32} \cdot \tag{11}$$

Объемный расход воздуха, обеспечивающий предельно допустимое значение видимости, $G_{вид}$, м³/с, рассчитывают по формуле:

$$G_{вид} = \frac{1}{K_{осл}} 0,00028 n_{лб} Q_{лб} + n_{лд} Q_{лд} + n_{лгр б} + n_{лгр д} Q_{лгр} + n_{тгр15} Q_{тгр15} + n_{тгр32} Q_{тгр32} \cdot \tag{12}$$

где Q , г/час – сумма выбросов взвешенных частиц от различных видов транспорта.

Для определения необходимого для проектирования системы вентиляции тоннеля расчетного значения объемного расхода воздуха из вычисленных значений объемного расхода выбирают максимальное G_{max} .

В данной статье не рассматривается режим максимальной нагрузки на вентиляционную систему тоннеля, возникающий при пожаре [4], поскольку влияние аварийной ситуации на экологическую обстановку не является закономерным и постоянным. Однако, при формировании продольной системы вентиляции данный режим является определяющим при выборе типа и количества вентиляторов [5, 6].

В работе [7] отмечается, что высоты вентиляционной шахты 4,5 м над поверхностью земли достаточно для обеспечения нормативных значений концентрации оксида углерода в атмосфере в

пределах 100 м от портала тоннеля. В случае необходимости высота вентиляционной шахты может быть увеличена, как это показано на рис. 12.

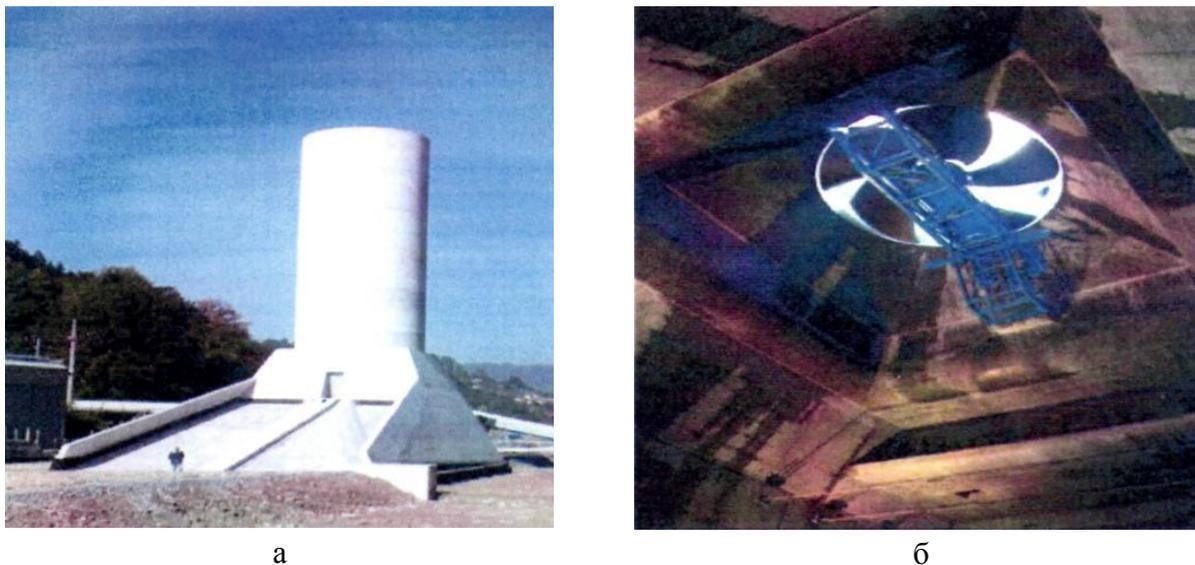


Рис. 12. Сооружения для проветривания автодорожного тоннеля в Швейцарии (г. Люцерн); а) – вентиляционная шахта; б) – вытяжной вентилятор в своде тоннеля

Если не удастся снизить концентрацию загрязняющих веществ, выбрасываемых из тоннеля, в атмосферном воздухе в местах фактического или предполагаемого размещения объектов гражданского строительства до допустимых значений только с помощью вентиляционных методов, системы проветривания должны быть дополнены системами очистки воздуха. Работа этих систем может осуществляться на основе электростатических, каталитических или биологических процессов.

Одним из способов улучшения расчетных характеристик предложенных методов является использование более точной информации о свойствах загрязняющих веществ. Для этого могут быть использованы современные способы построения [14–17] фундаментальных и широкодиапазонных уравнений состояния [17–20]. С другой стороны, для дальнейшего развития предложенных в статье способов проектирования подземных транспортных сооружений требуется оценка экономической эффективности, которая может быть произведена на основе работ [21–23].

Выводы

1. Для расчета выбросов загрязняющих веществ в автодорожных тоннелях необходима оценка интенсивности и структуры транспортного потока.
2. Наблюдается устойчивая тенденция к снижению выбросов загрязняющих веществ всеми видами автотранспорта, в том числе для тяжелых грузовиков примерно в 5 раз к 2030 г.
3. Необходимо снижение концентрации загрязняющих веществ, отводимых из тоннеля в атмосферу за счет увеличения высоты вентиляционной шахты над уровнем земли или с использованием специальной системы очистки.

Список литературы

1. Р НП «АВОК» 7.6 – 2013. Определение параметров продольной системы вентиляции автодорожных тоннелей.
2. Волков А.П. Новое о нормативной базе проектирования продольной вентиляции автодорожных тоннелей // Инженерные системы. АВОК – Северо – Запад. – 2013, №3, С.52–56.

3. СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные (Актуализированная редакция СНиП 32-04-97).
4. Волков А.П. Продольная система дымоудаления в подземных сооружениях, оснащенных струйными вентиляционными системами // С.О.К. Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013, № 8, С.82–88.
5. 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.
6. Волков А.П., Свердлов А.В., Рыков С.В. Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3. С. 9–16.
7. Гендлер С.Г. Особенности выбора систем вентиляции автодорожных тоннелей в условиях мегаполисов // Мир дорог. – 2013. № 69. С. 53–58.
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. № 2. 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. 49.
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. Кудрявцева И.В., Камоцкий В.И., Рыков С.В., Рыков В.А. Расчет линии фазового равновесия диоксида углерода // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4. С. 11.
15. Устюжанин Е.Е., Шишаков В.В., Абдулагатов И.М., Рыков В.А., Попов П.В. Давление насыщения технически важных веществ: модели и расчеты для критической области // Вестник МЭИ. 2012. № 2. С. 34–43.
16. Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L. Scaling models of thermodynamic properties on the coexistence curve: problems and some solutions // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2012. Т. 6. № 8. С. 912–931.
17. Рыков С.В. Фундаментальное уравнение состояния, учитывающее асимметрию жидкости // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 1. С. 33–36.
18. Кудрявцева И.В., Демина Л.Ю. О структуре фундаментального уравнения состояния, учитывающего асимметрию жидкости и пара // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2009. № 1. С. 35–38.
19. Рыков С.В., Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Курова Л.В. Метод построения фундаментального уравнения состояния, учитывающего особенности критической области // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2013. № 1. С. 5.

20. Кудрявцева И.В., Рыков А.В., Рыков В.А., Рыков С.В. Единое неаналитическое уравнение состояния перфторпропана, удовлетворяющее масштабной теории критических явлений // Вестник Международной академии холода. 2013. № 3. С. 22-26.

21. Матвеева О.А., Василенок В.Л. Организация кластеров в экономике России как формы развития хозяйственных связей между предприятиями // Экономика и предпринимательство. 2013. № 9 (38). С. 211–214.

22. Василенок В.Л., Шапиро Н.А. Методологические аспекты содержания курса «современные экономические концепции» // Вопросы экономики. 2012. № 4. С. 154–157.

23. Василенок В.Л., Кургузова Е.Я. Конкуренция на рынке образовательных услуг // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2011. № 1. С. 13–17.

References

1. R NP «AVOK» 7.6 – 2013. Opredelenie parametrov prodol'noi sistemy ventilyatsii avtodorozhnykh tonnelei.

2. Volkov A.P. Novoe o normativnoi baze proektirovaniya prodol'noi ventilyatsii avtodorozhnykh tonnelei // *Inzhenernye sistemy. AVOK – Severo – Zapad.* – 2013, №3, S.52–56.

3. SP 122.13330.2012 Tonneli zheleznodorozhnye i avtodorozhnye (Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 32-04-97).

4. Volkov A.P. Prodol'naya sistema dymoudaleniya v podzemnykh sooruzheniyakh, osnashchennykh struinymi ventilyatsionnymi sistemami // *S.O.K. Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie.* – 2013, № 8, S.82–88.

5. 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.

6. Volkov A.P., Sverdlov A.V., Rykov S.V. Ekologiya i raschet vozdukhoobmena podzemnykh avtostoyanok // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie.* 2014. № 3. S. 9–16.

7. Gendler S.G. Osobennosti vybora sistem ventilyatsii avtodorozhnykh tonnelei v usloviyakh megapolisov // *Mir dorog.* – 2013. № 69. S. 53–58.

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. № 2. 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. 49.

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. Kudryavtseva I.V., Kamotskii V.I., Rykov S.V., Rykov V.A. Raschet linii fazovogo равновесия диоксида углерода // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2013. № 4. S. 11.
15. Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Rykov V.A., Popov P.V. Davlenie nasyshcheniya tekhnicheski vazhnykh veshchestv: modeli i raschety dlya kriticheskoi oblasti // *Vestnik MEI.* 2012. № 2. S. 34–43.
16. Ustyuzhanin E.E., Shishakov V.V., Abdulagatov I.M., Popov P.V., Rykov V.A., Frenkel M.L. Scaling models of thermodynamic properties on the coexistence curve: problems and some solutions // *Russian Journal of Physical Chemistry B.* 2012. T. 6. № 8. S. 912–931.
17. Rykov S.V. Fundamental'noe uravnenie sostoyaniya, uchityvayushchee asimmetriyu zhidkosti // *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya.* 2014. № 1. S. 33–36.
18. Kudryavtseva I.V., Demina L.Yu. O strukture fundamental'nogo uravneniya sostoyaniya, uchityvayushchego asimmetriyu zhidkosti i para // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie.* 2009. № 1. S. 35–38.
19. Rykov S.V., Kudryavtseva I.V., Rykov A.V., Kurova L.V. Metod postroeniya fundamental'nogo uravneniya sostoyaniya, uchityvayushchego osobennosti kriticheskoi oblasti // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie.* 2013. № 1. S. 5.
20. Kudryavtseva I.V., Rykov A.V., Rykov V.A., Rykov S.V. Edinoe neanaliticheskoe uravnenie sostoyaniya perftorpropana, udovletvoryayushchee masshtabnoi teorii kriticheskikh yavlenii // *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda.* 2013. № 3. S. 22–26.
21. Matveeva O.A., Vasilenok V.L. Organizatsiya klasterov v ekonomike Rossii kak formy razvitiya khozyaistvennykh svyazei mezhdru predpriyatiyami // *Ekonomika i predprinimatel'stvo.* 2013. № 9 (38). S. 211–214.
22. Vasilenok V.L., Shapiro N.A. Metodologicheskie aspekty sodержaniya kursa «sovremennye ekonomicheskie kontseptsii» // *Voprosy ekonomiki.* 2012. № 4. S. 154–157.
23. Vasilenok V.L., Kurguzova E.Ya. Konkurentsia na rynke obrazovatel'nykh uslug // *Ekonomika i ekologicheskii menedzhment.* 2011. № 1. S. 13–17.

Статья поступила в редакцию 20.11.2014г.