



DOI: 10.34220/2311-8873-2022-36-46

УДК 656.09

2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ АВТОТРАНСПОРТОМ В АТМОСФЕРУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

✉¹**Зеликов Владимир Анатольевич**

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой организации
перевозок и безопасности движения
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, РФ
e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Денисов Геннадий Александрович
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры организации перевозок и
безопасности движения ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Тарасова Елена Вячеславовна
аспирант направления 23.06.01 техника и
технологии наземного транспорта,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф.
Морозова», г. Воронеж, РФ

Князев Александр Владимирович
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры механизации лесного хозяйства и
проектирования машин ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

Проскурина Ирина Юрьевна
кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры менеджмента и экономики
предпринимательства ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г.Ф.
Морозова», г. Воронеж, РФ

INVESTIGATION OF THE SPREAD OF EMISSIONS OF POLLUTANTS BY MOTOR TRANSPORT INTO THE ATMOSPHERE USING A COMPUTER

✉¹**Zelikov Vladimir Anatolievich**

doctor of technical sciences, associate professor,
head of the department of organization of
transportation and traffic safety, Federal State
Budget Educational Institution of Higher Education
«Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G. F. Morozov»,
Voronezh, RF
e-mail: zelikov-vrn@mail.ru

Denisov Gennady Alexandrovich
candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of organization of transportation
and traffic safety, Federal State Budget Educational
Institution of Higher Education "Voronezh State
University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov", Voronezh, RF

Tarasova Elena Vyacheslavovna
postgraduate student of the direction
23.06.01 engineering and technology of land
transport, Voronezh State Forestry
Engineering University named after
G.F. Morozov, Voronezh, RF

Knyazev Alexander Vladimirovich
candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the Department of Forestry
Mechanization and Machine Design Federal State
Budget Educational Institution of Higher Education
"Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

Proskurina Irina Yurievna
candidate of economic sciences, associate
professor, associate professor of the department of
management and business economics, Federal State
Budget Educational Institution of Higher Education
"Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, RF

Аннотация.

В работе использованы методы определения загрязняющих веществ в атмосфере по ГОСТ совместно с методом математической статистики, позволяющие определить количество выбросов от автомобильного транспорта, находящегося в очереди на запрещающем сигнале светофора в зоне регулируемого перекрестка. Методика позволяет произвести расчет таких экологических показателей как: масса выбросов загрязняющих веществ, концентрация загрязняющих веществ и индекс загрязнения атмосферного воздуха. Предлагаемая методика расчета позволяет определить количество выбросов, загрязняющих атмосферу. Достоверность данной методики подтверждает проверка гипотезы о законе распределения загрязняющих веществ по Пирсону. На основании скомбинированной методики разработано программное обеспечение, целью которого является проведение мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Такой подход позволит качественно оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха и своевременно принять меры при возникновении опасных экологических ситуаций.

Ключевые слова: АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, МАССА И КОНЦЕНТРАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ИНДЕКС ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ, МОНИТОРИНГ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.

¹Автор для ведения переписки

Annotation.

The paper uses methods for determining pollutants in the atmosphere according to GOST together with the method of mathematical statistics, which allow to determine the amount of emissions from motor transport that is in line at a traffic light prohibiting signal in the area of a regulated intersection. The methodology makes it possible to calculate such environmental indicators as: the mass of pollutant emissions, the concentration of pollutants and the index of atmospheric air pollution. The proposed calculation method allows to determine the amount of emissions polluting the atmosphere. The reliability of this technique is confirmed by testing the hypothesis about the law of distribution of pollutants according to Pearson. Based on the combined methodology, software has been developed, the purpose of which is to monitor atmospheric air pollution. This approach will allow us to qualitatively assess the level of atmospheric air pollution and take timely measures in the event of dangerous environmental.

Keywords: ROAD TRANSPORT, POLLUTANTS, MASS AND CONCENTRATION OF POLLUTANTS, AIR POLLUTION INDEX, MONITORING, SOFTWARE.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Экономическое развитие государства, обеспечивающееся стремительным ростом отраслей промышленности, потребляющих природные ресурсы, сопровождается многими негативными факторами. Эти отрасли производят выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и загрязняют планету промышленными отходами. Все это негативным образом влияет на качество атмосферы и окружающей природной среды, ухудшая состояние здоровья населения. Вредное воздействие промышленности и энергопотребления на окружающую среду и здоровье населения имеет не только местный и региональный, но и глобальный характер [1-4].

Автотранспортный комплекс (АТК), состоящий из подвижного состава, автотранспортных предприятий, гаражей, стоянок, станций техобслуживания, автозаправочных станций, дорожного хозяйства и др. оказывает непосредственное участие в ухудшении состояния окружающей среды. Каждый год мировой АТК перерабатывает в энергию около 2,2 миллиарда тонн топлива, в результате чего загрязняет атмосферу 750 миллионами тонн загрязняющих вредных веществ (ЗВ), которые включают в себя количество оксидов углерода (СО) –

450 миллионов тонн, окиси углеводородов (СН) – 180 миллионов тонн, оксидов азота (NOX) – 80 миллионов тонн, сажи – 18 миллионов тонн и свинца – 0,7 млн. тонн. При этом общая доля загрязнения атмосферы автотранспортом в развитых странах достигла 47 ... 55 %. Дополнительно на предприятиях АТК скапливаются производственных отходов до 520 миллионов тонн в год [5].

Непростая обстановка сложилась и в АТК Российской Федерации. Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями АТК приблизилось к 42 %. Отметим, что в городах доля загрязнения составила 52 ... 62 %, в мегаполисах 86 ... 92 %, а количество производственных отходов на предприятиях АТК за год достигло 22 миллионов тонн.

Очевидно, всем странам, и особенно развитым, имеющим значительный автомобильный парк, следует принимать срочные меры по снижению вредного воздействия АТК и повышению экологической безопасности его деятельности [6, 7].

В связи с этим, для контроля уровня качества атмосферного воздуха и состояния окружающей природной среды нужно осуществлять экологический мониторинг (мониторинг окружающей природной среды), который представляет собой комплекс мероприятий, направленных на исследование: качества окружающей среды, в том числе ее компонентов; происходящих в них процессов и явлений; изменений состояния окружающей среды в целом [3, 4].

Мониторинг или систему наблюдений за качественным уровнем состояния воздуха, концентрацией и перечнем содержащихся в нем примесей и вредных веществ осуществляют забором проб из воздуха и дождевой воды мобильными станциями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России, станциями санитарно эпидемиологического надзора и другими службами [3].

Проблема загрязнения окружающей природной среды и негативного влияния на здоровье населения становится всё более актуальной с течением времени. Эта проблема загрязнения определена совершенствованием и развитием систем экологического контроля, осуществляемого с использованием современной технологической основы.

Целью работы является определение массы выбросов ЗВ автомобильным транспортом, расчетное определение концентрации выбросов ЗВ и комплексного индекса загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА).

В работе для достижения поставленной цели авторы попытались решить следующие задачи.

1 Определить фактическое количество автомобильного транспорта, которое находится в очереди перед запрещающим сигналом светофора, и рассчитать массы выбросов ЗВ, концентрации ЗВ и ИЗА на улично-дорожной сети (УДС) городского округа г. Воронежа.

2 Получить кривую распределения для проверки гипотезы о законе распределения по Пирсону.

3 Разработать программное обеспечение для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха с помощью ЭВМ на УДС городского округа г. Воронежа с последующей возможностью использования ее для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на участках лесовозных автомобильных дорог.

2 Материалы и методы

В работе за основу оценки показателей загрязненности воздуха взят ГОСТ Р 56162-2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов, методы математической статистики». Исследование осуществлялось на основе наблюдений за конкретным участком улично-дорожной сети г. Воронежа и их статистической обработки с использованием информационных технологий, математического моделирования и программирования, пространственного анализа в среде VBA (MS EXCEL) [8-10]. Обследовали регулируемые пересечения, определяли массу выбросов и концентрацию ЗВ. Использовали модели, алгоритмы, методические, программные и аппаратные средства, компьютерное оборудование, камеры видео наблюдения и фиксации.

3 Результаты исследований

Воронеж 17 декабря 2012 года стал городом-миллионщиком, состоящим из шести муниципальных районов. Улицы города были построены еще в 1960-х годах и не соответствуют требованиям современных нормативных документов. Транспортная инфраструктура города плотно заселенных микрорайонов имеет невысокую пропускную способность, что не обеспечивает жилую застройку и население города защитой от воздействия выхлопных газов и автомобильного шума. Экологическая ситуация в городе с каждым годом ухудшается, качество жизни горожан не соответствует современным градостроительным нормативным требованиям [11-18].

Загрязнение атмосферного воздуха в г. Воронеже происходит при выбросах ЗВ автотранспортом как на пересечениях, так и на перегонах улично-дорожной сети. Основная доля выбросов на пересечениях происходит при нахождении автомобилей в очереди на проезде к светофорному объекту (наибольшее количество выбросов автомобилей осуществляется при работе двигателя на холостом ходу). На перегонах выбросы происходят в процессе движения автомобилей, причем наименьший выброс осуществляется при скорости движения автомобиля в интервале 50-60 км/ч [6]. В случае если заторовая ситуация от пересечения охватывала всю длину перегона, расчет выбросов производили на перегоне как для очереди перед пересечением.

Для мониторинга экологической ситуации на УДС города и лесовозных дорогах в Воронежской области использовали методику по ГОСТ Р 56162-2014.

Первоначально рассчитали массы выбросов ЗВ в зоне регулируемого перекрестка по формуле [19, 20], г.:

$$M_{\text{пи}} = \frac{P}{3600} \cdot \sum_{n=1}^{N_{\text{ц}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{гр}}} (M'_{\text{пи},k} \cdot G_{k,n}), \quad (1)$$

где P – время свечения запрещающего сигнала светофора (включая желтый цвет), с; $N_{\text{ц}}$ – общее количество циклов действия запрещающего сигнала светофора за 60-минутный период времени; $N_{\text{гр}}$ – количество групп автомобилей; $M'_{\text{пи},k}$ – удельный выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями k -ой группы, находящихся в «очереди» у запрещающего сигнала светофора, г/мин; $G_{k,n}$ – количество автомобилей k -ой группы, находящихся в «очереди» в зоне перекрестка в конце n -го цикла запрещающего сигнала светофора.

В работе исследовали выбросы 5 видов загрязняющих веществ: CO, CH, NO₂, SO₂, сажа.

Далее провели расчеты для построения кривой распределения и проверили гипотезу о её нормальности.

1) По выборке объема $n = 24$ рассчитали характеристики случайной величины (где X – суммарная масса выбросов пяти видов загрязняющих веществ).

Для этого первоначально определили количество интервалов распределения случайной величины:

$$k = 1 + 3,2 \cdot \lg(n). \quad (2)$$

Затем рассчитали длину каждого интервала:

$$h = (x_{\text{max}} - x_{\text{min}}) / k. \quad (3)$$

Вычислили границы классов:

для первого – $x_{\text{min}} \dots x_{\text{min}} + h$,

для второго – $x_{\text{min}} + h \dots x_{\text{min}} + 2 \cdot h$,

для n -го – $x_{\text{min}} + h(n-1) \dots x_{\text{min}} + n \cdot h$.

- 2) Нашли основные числовые характеристики случайной величины X по формулам:
– для выборочной средней:

$$\bar{x}_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot n_i ; (\bar{x}_e \approx M(X)) ; \quad (4)$$

- для выборочной дисперсии:

$$D_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot n_i - (\bar{x}_e)^2 ; \quad (5)$$

- для выборочного среднего квадратического отклонения:

$$\sigma_e = \sqrt{D_e} ; \quad (6)$$

- для исправленного выборочного среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации:

$$S = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot D_e} ; (S \approx \sigma(X)) ; \quad (7)$$

$$V = \frac{\sigma_e}{\bar{x}_e} \cdot 100 \% . \quad (8)$$

- 3) Построили кривую распределения на основе эмпирических данных [1].

- 4) Рассчитали выравнивающие частоты по следующей формуле:

$$n'_i = \frac{n \cdot h}{S} \cdot \varphi(t_i) , \quad (9)$$

где $t_i = \frac{x_i - \bar{x}_e}{S}$ (x_i – середина i -го частичного интервала); $\varphi(t_i)$ – значения функции [1].

На третьем этапе обработки данных проверили гипотезу о законе распределения по критерию согласия Пирсона.

Гипотезу о предполагаемом законе распределения проверили следующим образом.

- 1) Выдвинули гипотезу H_0 , что случайная величина распределена по нормальному закону.

- 2) Рассчитали значение критерия $\chi_{набл}^2$.

$$\chi_{набл}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} . \quad (10)$$

- 3) Определили выравнивающие частоты n'_i по формуле (9).

- 4) Определили число степеней свободы

$$m = k - 1 - r , \quad (11)$$

где k – число частичных интервалов выборки; r – число параметров предполагаемого распределения.

Для нормального закона число степеней свободы

$$m = k - 3.$$

Далее нашли критическую величину критерия $\chi_{кр}$:

$$\chi_{кр}^2 = \chi^2(\alpha; m), \quad (12)$$

где α – уровень значимости заданный ($\alpha = 0,05$).

Получили $\chi_{кр}^2 = \chi^2(0,05; 2) = 5,99$.

Если $\chi_{набл}^2 \leq \chi_{кр}^2$, то закон теоретического распределения не противоречит опытными данным и нет оснований отвергать гипотезу о выбранном законе распределения.

Четвертый этап исследования заключался в нахождении среднесуточной концентрации выбросов ЗВ над улицей, и если гипотеза о нормальном законе не отвергалась, то использовалась модель распределения Гаусса. Далее сравнили рассчитанные значения с нормативными по формуле (1), г/м³:

$$C_i = \frac{M_{иссуточная}}{1800 \cdot \sigma \cdot U \cdot 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 3,14}}, \quad (13)$$

где σ – стандартное отклонение гауссовского рассеяния над автомагистралью, м; U – скорость ветра над автомагистралью, м/с; h – средняя высота расположения источника выбросов отработанных газов выхлопной трубой легкового автомобиля, м (приняли $h = 0,3$ м).

Пятый этап посвящен расчету ИЗА с использованием значений среднегодовых концентраций

$$In = \sum \left(\frac{x_i}{ПДК_i} \right) \cdot C_i, \quad (14)$$

где $x_{год i}$ – средняя за сутки концентрация i -го вещества; ПДК _{i} – предельно допустимая среднесуточная концентрация i -го вещества; C_i – коэффициент перевода степени загрязнения i -тым ЗВ к степени загрязнения воздуха диоксидом серы.

После этого сравнивалось полученное значение ИЗА с нормативным.

Если полученное значение ниже 5, то принимался низкий уровень, если 5-8 – повышенный, если 8-13 – высокий, если более 13 – очень высокий.

При разработке программного обеспечения (ПО) для мониторинга экологической обстановки на улично-дорожной сети г. Воронежа использовали исходные данные, расчетную методику по ГОСТ Р 56162-2014 и критерий согласия Пирсона [1].

В случае, если концентрация ЗВ не соответствует закону нормального распределения, ПО будет запрашивать дополнительные исходные данные для проведения новых расчетов ЗВ.

Разработанное ПО представляет собой среду VBA (MS EXCEL) [19, 20] и работает следующим образом. При запуске программы открывается окно дополнительных параметров ввода длительности цикла сигнала светофора на пересечении (рис. 1). Далее вводятся данные времени суток по часам и количество АТ, находящегося в очереди перед запрещающим сигналом светофора, по группам: легковые автомобили; грузовые автомобили грузоподъемностью до 2 тонн включительно; грузовые автомобили грузоподъемностью 8 ... 14 тонн; микроавтобусы; автобусы.

После ввода данных в утренние, дневные и вечерние часы открываем окно для определения кривой нормального распределения массы выбросов загрязняющих веществ, выбираем требуемые параметры, после чего ПО автоматически производит их вычисления.

Затем появляется окно ввода данных для расчета концентрации выбросов ЗВ. В окне выбирается из выпадающего списка уровень радиации по времени суток, удаленность от дороги и вводится скорость ветра, затем запускается расчет концентрации и ИЗА воздуха.

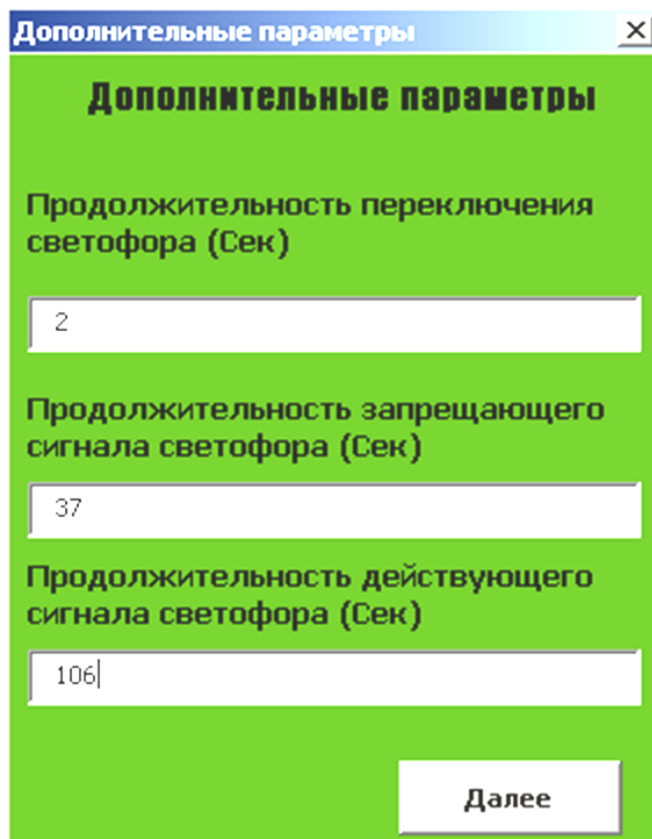


Рисунок 1 – Окно ввода данных по длительности цикла светофорного регулирования

Кроме вывода концентрации ЗВ и комплексного индекса ИЗА, программное обеспечение осуществляет сравнение полученных значений с нормативными [4].

Если показатели ИЗА превышены, появляется кнопка рекомендации мероприятий, позволяющих снизить негативное воздействие автотранспорта на атмосферный воздух.

Для наглядности программное обеспечение выводит диаграммы массы выбросов ЗВ, концентраций и сравнение их с нормативными значениями.

Также в каждом отдельном листе программа выводит диаграммы полученных при расчете значений: состав транспортного потока (в процентном соотношении); состав загрязняющих веществ (в процентном соотношении); выбросы ЗВ в утренние часы с 8.00-12.00 (по массе); выбросы ЗВ в дневные часы с 12.00-16.00 (по массе); выбросы ЗВ вечерние часы с 16.00-20.00 (по массе); выбросы ЗВ за сутки (по массе); концентрация выбросов каждого ЗВ (из 5) и сравнение его с нормативными значениями; значение комплексного индекса загрязнения атмосферного воздуха и сравнение его с нормативными значениями.

В программе обозначена и справочная информация, которая позволяет ознакомиться с основной информацией по программному продукту, каким образом она работает и какие формулы применялись для расчетов, влияние рассмотренных загрязняющих веществ на здоровье населения и окружающую природную среду.

Для апробации программы производилось обследование одного из наиболее загруженных транспортом пересечений в Коминтерновском районе г. Воронежа. Таковым явилось пере-

сечение улиц Антонова-Овсеенко и 45-й Стрелковой дивизии, которое является пересечением в одном уровне. Выбирали усредненные за час значения количества единиц трех типов автотранспорта перед запрещающим сигналом светофора, производили замер времени цикла светофорного регулирования (табл. 1.) и вводились полученные данные в программу ЭВМ.

Таблица 1 – Длительность светофорного цикла

$T_{ц}, \text{сек}$	$t_3, \text{сек}$	$t_{кр2}, \text{сек}$	$t_{ж}, \text{сек}$
142	112	28	2

При расчете экологических параметров на исследуемом пересечении с помощью ПО получили следующие результаты: 90 % параметров ЗВ (4 загрязняющих веществ из 5) превышают нормативные значения, соответственно ИЗА повышенный.

Распространение выбросов ЗВ принимается соответствующим нормальному закону (рис. 2), т.к. $\chi^2_{кр} = \chi^2(0,05;1) = 3,81$ и $\chi^2_{набл} \leq \chi^2_{кр}$, а именно $0,87 < 3,81$, т.е. нет оснований отвергать гипотезу о выбранном нормальном законе распределения.

Полученные значения экспериментальных данных достоверны, поскольку:

- коэффициент вариации $V = 15\%$ (коэффициент вариации не превышает 20%);
- сравнение графиков показывает, что построенная теоретическая кривая удовлетворительно отражает данные наблюдений.

Близкое совпадение теоретических и эмпирических частот подтверждает предположения о нормальном законе распределения распространения массы выбросов загрязняющих веществ.

Так как уровень комплексного индекса загрязнения атмосферного воздуха повышенный, предлагаем следующие мероприятия, позволяющие снизить негативное влияние автотранспорта:

- 1 Совершенствование системы отвода отработанных газов из автомобиля и его технического состояния.
 - 2 Увеличение темпов и объемов работ по озеленению и благоустройству города.
- Программа выводит их в отдельной вкладке.

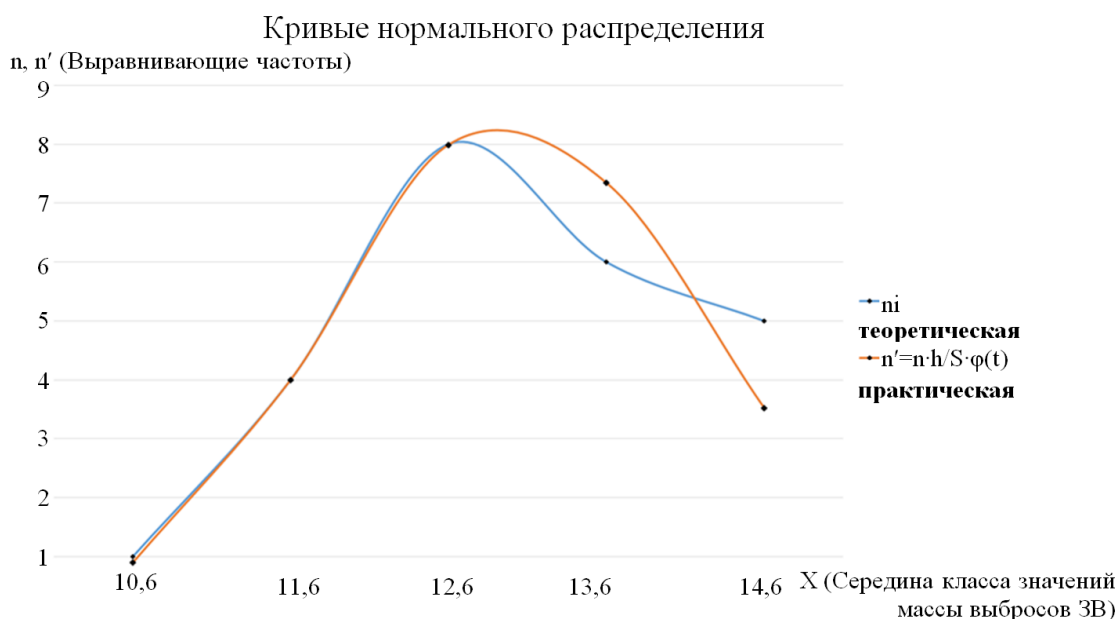


Рисунок 2 – Диаграмма кривых нормального распределения теоретической (синего цвета) и экспериментальной (красного цвета)

4 Обсуждение и заключение

Предложенная работа посвящена подробному изучению воздействия автомобильного транспорта на экологическое состояние крупных городов и мегаполисов методом хронометражных наблюдений за интенсивностью транспортных потоков с последующим аналитическим расчетом выбросов загрязняющих веществ CO, CH, NO₂, SO₂, сажа в атмосферу.

Использован метод расчета выбросов по ГОСТ Р 56162-2014 с применением закона нормального распределения. Написано программное обеспечение для ЭВМ, позволяющее рассчитать выбросы каждого из указанных ЗВ, определить ИЗА и выдать рекомендации по улучшению экологической обстановки на улично-дорожной сети городов. Приведены результаты апробации программы на конкретном участке магистральной улицы в г. Воронеже.

Для практического использования результатов работы рекомендуется дополнительно обосновать и разработать мероприятия по снижению выбросов ЗВ в атмосферу в различные времена года, предложить дополнительно мероприятия по обеспечению экологической безопасности на участках улично-дорожной сети города в различные промежутки времени суток.

Работа имеет практическую значимость и может быть использована при мониторинге уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне регулируемого пересечения и перегона на участках УДС городов, лесовозных автомобильных дорог и дорог общего пользования различных технических категорий. Результаты работы могут быть использованы Департаментом природных ресурсов и экологии, а также научно-исследовательскими институтами. Будет полезна аспирантам и молодым ученым.

Список литературы

- 1 Сапронов, И. В. Прикладная математика : лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 / И. В. Сапронов, С. С. Веневитина, Е. О. Уточкина // М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2015. – 107 с.
- 2 Гукетлев, Ю. Х. Оптимальное распределение сезонного дополнительного пассажирского транспорта в летний период времени в городах юга России / Ю. Х. Гукетлев, Э. Ю. Гукетлев, Я. С. Ткачева // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-1 (78). С. 50-57.
- 3 Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчётным методом). – М. : НИИАТ, 1998 г. – 44 с.
- 4 Novikov, A. V. Impact factory assessment on the air on the pekhorka river basin / A. V. Novikov, M. A. Shiryaeva, O. V. Sumarukova, N. V. Lagutina, M. V. Barsukova // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. "International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Green Energy, Ecology and Earth Science" - Green Energy and Earth Science" 2021. С. 052005.
- 5 Бондаренко, Е. В. Дорожно-транспортная экология: учебное пособие / под. Ред. А. А. Цыцур / Е. В. Бондаренко, Г. П. Дворников // Издательство : Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004 г. – 113 с.
- 6 Ерохов, В. И. Токсичность современных автомобилей. Методы и средства снижения вредных выбросов в атмосферу / В. И. Ерохов // Издательство : Форум, Инфра-М, 2013 г. – 448 с.
- 7 Минько, Р. Н. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте / Р. Н. Минько // Издательство : ТрансЛит, 2011 г. – 80 с.
- 8 Комолова, Н. В. Программирование на VBA в Excel 2016. Самоучитель / Н. В. Комолова, Е. С. Яковлева. – СПб. : БХВ-Петербург, 2017. – 432 с.
- 9 Казанский, А. А. Прикладное программирование на Excel 2013 : учеб. Пособие для прикладного бакалавриата / А. А. Казанский. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 159 с.
- 10 Зеликов, В. А. Разработка программного обеспечения "мониторинг загрязнения

атмосферного воздуха автомобильным транспортом" / В. А. Зеликов, Г. А. Денисов, Е. В. Тарасова, Е. А. Маклакова, Н. С. Попова // Бюллетень транспортной информации. 2019. № 7 (289). С. 3-7

11 Новиков, А. Н. Оптимизация состава автобусного парка для обслуживания городского маршрута / А. Н. Новиков, С. В. Еремин. // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 3 (66). – С. 84-90.

12 Глаголев, С. Н. Снижение экологической нагрузки городской территории за счет минимизации влияния грузового транспорта / С. Н. Глаголев, А. Г. Шевцова, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 3 (70). – С. 97-106.

13 Васильева, В. В. Снижение уровня выбросов CO автотранспорта путем определения рациональных режимов работы светофорных объектов на перекрестке / В. В. Васильева, А. А. Катунин, Ю. Чарский, Д. О. Кожин, Д. Е. Алёкминский // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1 (56). – С. 119-125.

14 О снижении выбросов загрязняющих веществ на пересечениях путем применения интеллектуальных светофоров / Н. И. Злобина, В. А. Зеликов, Г. А. Денисов, О. Н. Бурляева В сборнике : Автотракторостроение и автомобильный транспорт. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. Минск, 2021. С. 174-177.

15 Zolotukhin, S. I. The influence of automobile traffic on the ecology / S. I. Zolotukhin, A. A. Puzina / В сборнике: Менеджер года. материалы международного научно-практического форума. Воронеж, 2021. С. 60-62.

16 Анохин, С. А. Анализ токсичности выхлопных газов транспортных средств / С. А. Анохин // В сборнике : Технология транспортных процессов – настоящее и будущее. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор В. А. Зеликов. Воронеж, 2021. С. 86-93.

17 Ионов, Е. В. Использование интеллектуальных систем для повышения безопасности дорожного движения / Е. В. Ионов, Г. Е. Пышная, А. Ю. Свистунова // Бюллетень транспортной информации. 2020. № 3 (297). С. 25-28.

18 Григорьев, И. В. Современный программный комплекс для повышения безопасности, надёжности и энергоэффективности автолесовозов / И. В. Григорьев, М. В. Зорин // Вестник АГАТУ. 2021. № 4 (4). С. 65-72.

19 Зеликов, В. А. Совершенствование методики расчета выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом в атмосферу / В. А. Зеликов Г. А. Денисов, Е. В. Шаталов, О. В. Фесикова, Е. В. Тарасова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 3. – С. 31-40.

20 Денисов, Г. А. Программа для расчета выбросов загрязняющих веществ автотранспортом на участке улично-дорожной сети г. Воронежа / Г. А. Денисов, Е. В. Тарасова, А. М. Кулабухов, И. В. Шерстяных, В. А. Зеликов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018660345, 22.08.2018. Заявка № 2018617181 от 10.07.2018.

References

1 Sapronov, I. V. Applied mathematics: laboratory practice. At 2 p. Part 1 / I. V. Sapronov, S. S. Venevitina, E. O. Utochkina // Ministry of Education and Science of the Russian Federation, VGLTU. – Voronezh, 2015. – 107 p.

2 Guketlev, Yu. Kh. Optimal distribution of seasonal additional passenger transport in the summer in the cities of southern Russia / Yu. Kh. Guketlev, E. Yu. Guketlev, Ya. S. Tkacheva // World of Transport and Technological Machines. 2022. № 3-1 (78). pp. 50-57.

3 Methodology for conducting an inventory of emissions of pollutants into the atmosphere for motor transport enterprises (calculation method). – М. : НИИТ, 1998 – 44 p.

4 Novikov, A. V. Impact factory assessment on the air on the pekhorka river basin / A. V. Novikov, M. A. Shiryaeva, O. V. Sumarukova, N. V. Lagutina, M. V. Barsukova // IOP Conference

Series : Earth and Environmental Science. "International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Agriculture, Green Energy, Ecology and Earth Science" – Green Energy and Earth Science" 2021. P. 052005.

5 Bondarenko, E. V. Road transport ecology: textbook / under. Ed. A. A. Tsytsury / E. V. Bondarenko, G. P. Dvornikov // Publisher : Orenburg: GOU OGU, 2004 – 113 p.

6 Erokhov, V. I. Toxicity of modern cars. Methods and means of reducing harmful emissions into the atmosphere / V. I. Erokhov // Publisher : Forum, Infra-M, 2013 – 448 p.

7 Minko, R. N. Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport / R. N. Minko // Publisher : TransLit, 2011 – 80 p.

8 Komolova, N. V. Programming in VBA in Excel 2016. Self-tutor / N. V. Komolova, E. S. Yakovleva. – St. Petersburg. : BHV-Petersburg, 2017. – 432 p.

9 Kazansky, A. A. Applied programming on Excel 2013 : textbook. Handbook for Applied Baccalaureate / A. A. Kazansky. – M. : Yurayt Publishing House, 2016. – 159 p.

10 Zelikov, V. A. Development of software "monitoring of atmospheric air pollution by road transport" / V. A. Zelikov, G. A. Denisov, E. V. Tarasova, E. A. Maklakova, N. S. Popova // Transport Information Bulletin. 2019. № 7 (289). pp. 3-7.

11 Novikov, A. N. Optimization of the composition of the bus fleet for servicing the urban route / A. N. Novikov, S. V. Eremin. // World of transport and technological machines. – 2019. – № 3 (66). – S. 84-90.

12 Glagolev, S. N. Reducing the environmental load of the urban area by minimizing the impact of freight transport / S. N. Glagolev, A. G. Shevtsova, V. V. Vasilyeva // World of Transport and Technological Machines. – 2020. – № 3 (70). – S. 97-106.

13 Vasilyeva, V. V. Reducing the level of CO emissions from vehicles by determining the rational modes of operation of traffic light objects at the intersection / V. V. Vasilyeva, A. A. Katunin, Yu. Charsky, D. O. Kozhin, D. E. Alekminskiy // World of transport and technological machines. – 2017. – № 1 (56). – S. 119-125.

14 On the reduction of pollutant emissions at intersections through the use of intelligent traffic lights / N. I. Zlobina, V. A. Zelikov, G. A. Denisov, O. N. Burlyaeva In the collection: Auto-tractor building and road transport. Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference. In 2 volumes. Minsk, 2021, pp. 174-177.

15 Zolotukhin, S. I. The influence of automobile traffic on the ecology / S. I. Zolotukhin, A. A. Ilunina / In the collection : Manager of the Year. materials of the international scientific and practical forum. Voronezh, 2021. S. 60-62.

16 Anokhin, S. A. Analysis of the toxicity of vehicle exhaust gases / S. A. Anokhin // In the collection : Technology of transport processes – the present and the future. Materials of the All-Russian scientific-practical conference. Rep. editor V. A. Zelikov. Voronezh, 2021. S. 86-93.

17 Ionov, E. V. The use of intelligent systems to improve road safety / E. V. Ionov, G. E. Pyshnaya, A. Yu. Svistunova // Bulletin of transport information. 2020. № 3 (297). pp. 25-28.

18 Grigoriev, I. V. Modern software package for improving the safety, reliability and energy efficiency of timber trucks / I. V. Grigoriev, M. V. Zorin // Vestnik AGATU. 2021. № 4 (4). pp. 65-72.

19 Zelikov, V. A. Improving the methodology for calculating emissions of pollutants by road transport into the atmosphere / V. A. Zelikov, G. A. Denisov, E. V. Shatalov, O. V. Fesikova, E. V. Tarasova // Transport. Transport facilities. Ecology. – 2019. – № 3. – S. 31-40.

20 Denisov, G. A. Program for calculating pollutant emissions by motor vehicles on the road network of Voronezh / G. A. Denisov, E. V. Tarasova, A. M. Kulabukhov, I. V. Sherstyanykh, V. A. Zelikov // Certificate of registration of the computer program RU 2018660345, 22.08.2018. Application No. 2018617181 dated 07/10/2018.