



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-4-36-43>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.2

СИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

РЫБАК В.А., РЯБЫЧИНА О.П.

Белорусская государственная академия связи (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 21 февраля 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Цель работы – разработка и апробирование аппаратно-программной системы для экологического мониторинга атмосферного воздуха в режиме реального времени. В статье обоснована актуальность создания заявленной системы, показано, что имеющимися средствами невозможно получать оперативные данные о степени загрязнения атмосферного воздуха, хотя данная информация является важной для населения крупных городов и промышленных центров. Изложены результаты создания и использования автоматизированной системы для мониторинга атмосферного воздуха с использованием моделирования переноса загрязняющих веществ. В основу системы лег аппаратно-программный комплекс, состоящий из микрокомпьютера, датчиков загрязнения, модуля беспроводной связи и беспилотного летательного аппарата. Получаемые в режиме реального времени показатели загрязненности обрабатываются с целью построения актуальных карт, в том числе для предоставления возможности выбора оптимального маршрута следования с учетом неблагоприятного воздействия загрязнения. Разработанное мобильное приложение предоставляет возможность конечному пользователю получать информацию on-line и строить прогнозы, основанные на данных о скорости ветра и его направлении в краткосрочной и среднесрочной перспективе. В качестве основной модели переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выбрана методика ОНД-86, являющаяся обязательной в Республике Беларусь. Информация о силе и направлении ветра для построения прогнозов берется из открытых Интернет-источников метеоданных. С использованием реальных данных о массе выбросов производится построение карты планируемой концентрации, которая рассеивается пропорционально удалению от источника выброса с учетом силы и направления ветра. Получаемый таким образом прогноз может быть использован для выбора оптимального маршрута следования, оптимизации транспортных потоков и организации действий при чрезвычайных ситуациях, связанных с утечкой и выбросов вредных веществ.

Ключевые слова: мониторинг атмосферного воздуха, карты загрязненности, прогнозирование переноса загрязняющих веществ, аппаратно-программный комплекс.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Рыбак В.А., Рябычина О.П. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха. Доклады БГУИР. 2020; 18(4): 36-43.

ECOLOGICAL MONITORING SYSTEM OF THE ATMOSPHERE

VICTOR A. RYBAK, OLGA P. RYABICHINA

Belarusian State Academy of Telecommunications (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 21 February 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. The research is targeted at the development and testing of a hardware-software system for environmental monitoring of atmospheric air in real time. The relevance of creating the system is substantiated in the article where it is shown that one cannot obtain operational data on the degree of atmospheric air pollution using available means, although this information is important for the population of large cities and industrial centers. The results of the creation and use of the automated system for monitoring atmospheric air using the modeling of transfer of pollutants are presented. The system was based on a hardware-software complex consisting of a microcomputer, pollution sensors, a wireless communication module, and an unmanned aerial vehicle. Real-time pollution indicators are processed in order to build up-to-date maps, including to provide the opportunity to choose the optimal route taking into account the adverse effects of pollution. The developed mobile application provides the opportunity for the end user to receive information on-line and make forecasts based on the data on wind strength and direction in the short and medium term. The OND-86 methodology, which is mandatory in the Republic of Belarus, was chosen as the main model for the transfer of pollutants in the air. Information about the strength and direction of the wind for building forecasts is taken from open Internet sources of weather data. Using real data on the mass of emissions, a map of the planned concentration is constructed, which is scattered in proportion to the distance from the source of the emission, taking into account the strength and direction of the wind. The forecast obtained in this way can be used to select the optimal route, optimize traffic flows and organize actions in emergency situations associated with leakage and emissions of harmful substances.

Keywords: monitoring of atmospheric air, pollution maps, forecasting the transfer of pollutants, hardware-software complex.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Rybak V.A., Ryabichina O.P. Ecological monitoring system of the atmosphere. Doklady BGUIR. 2020; 18(4): 36-43.

Введение

В современных условиях крупных городов и промышленных центров проблема загрязнения окружающей среды является достаточно критичной, оказывающей влияние на людей и их состояние. Среди всех природных компонентов атмосферный воздух является наиболее важным для жизни населения, а его загрязнение сразу и непосредственно оказывает неблагоприятное воздействие. Поэтому видится актуальной разработка системы экологического мониторинга атмосферного воздуха, которая позволит в режиме реального времени получать достоверные данные о его качестве [1, 2].

Существующие комплексы мониторинга обладают рядом недостатков, главные из которых: пакетная обработка данных, неравномерное распределение по территории страны и невозможность оперативного получения актуальной информации. Все это не позволяет конечному пользователю получить информацию о концентрации загрязняющих веществ по пути его следования, а также спрогнозировать изменение состояния с учетом направления и силы ветра.

Методика проведения эксперимента

Для решения вышеуказанной научно-технической проблемы был разработан аппаратно-программный комплекс для мобильного мониторинга состояния атмосферного воздуха, состоящий из микрокомпьютера, датчиков загрязнения, модуля беспроводной связи и беспилотного летательного аппарата [1, 3]. Получаемые данные позволяют строить карты загрязненности в режиме реального времени. Вместе с тем представляет научный и практический интерес прогнозирование изменения загрязненности атмосферного воздуха с учетом направления и силы ветра, например, для получения наиболее безопасного маршрута следования группы детей, оптимизации транспортных потоков, эвакуации в случае техногенных аварий.

Для оценки переноса загрязняющих веществ в окружающей среде применяется моделирование. Точность и адекватность модели обуславливается несколькими факторами, среди которых количество учитываемых параметров и размер территории. Условно разделяя масштаб модели на локальный, региональный и глобальный, становится возможным упрощать расчет и корректировать точность. Другими словами, при значительном удалении от источника загрязнения большее значение приобретает средняя концентрация, а не пики выбросов, рассредоточенные во времени.

Для решения поставленных задач будет рассматриваться масштаб моделей, соответствующий локальному и городскому уровню. Поэтому самым весомым компонентом, оказывающим неблагоприятное влияние на окружающую среду, будет локальный перенос. Это позволяет несколько упростить модель. Однако неоднородность городской застройки и изменчивость ландшафта наоборот вносят дополнительную сложность в процесс моделирования. Также известно, что на урбанизированных территориях в результате повышенной температуры создаются дополнительные процессы движения воздушных масс, включая смог и «парниковый» эффект, оказывающих неблагоприятное воздействие на здоровье человека.

Таким образом, моделирование процесса переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на городских территориях должно базироваться на сложных и точных моделях, учитывающих много факторов, но, с другой стороны, – не быть обремененным большим количеством трудно получаемых показателей. Главными источниками данных о массе выбросов стационарных объектов являются тома предельно допустимых концентраций, утверждаемые структурами Минприроды [4, 5].

Известны различные типы моделей для расчета переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, в основу которых легли теоретические и эмпирические закономерности турбулентной диффузии. Существуют также упрощенные модели, позволяющие осуществлять быстрые приближенные оценки распространения загрязнения. Такие модели, как правило, базируются на гауссовых уравнениях, коэффициенты для которых максимально адаптированы для той или иной местности и детерминированы климатическими особенностями.

В Республике Беларусь для оценки переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе официальной является методика ОНД-86. Согласно этой методике, загрязнение атмосферы выбросами одиночного источника рассчитывается, как максимальное значение приземной концентрации вредного вещества c_m (мг/м³) при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем, которое достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m (м) от источника и определяется по формуле [6, 2]:

$$c_m = \frac{AMF_{mn}}{H^2 \sqrt[3]{V_1 T}}, \quad (1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м (для наземных источников при расчетах принимается $H = 2$ м);

φ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\varphi = 1$;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b , °С;

V_1 (м³/с) – расход газовой смеси.

Расстояние от источника выброса $x_{ми}$ (м), на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения $c_{ми}$ (мг/м³), определяется по формуле

$$x_{ми} = p x_m, \quad (2)$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_m по формулам:

$$p = 3 \text{ при } u/u_m \leq 0,25; \quad (3 \text{ а})$$

$$p = 8,43 \left[1 - \frac{u}{u_m} \right]^3 + 1 \text{ при } 0,25 < u/u_m < 1; \quad (3 \text{ б})$$

$$p = 0,32u/u_m + 0,68 \text{ при } u/u_m \geq 1. \quad (3 \text{ в})$$

При опасной скорости ветра u_m приземная концентрация вредных веществ c (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника выброса определяется по формуле

$$c = s_1 c_m, \quad (4)$$

где s_1 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения x/x_m и коэффициента F по формулам:

$$s_1 = 3 \left[\frac{x}{x_m} \right]^4 - 8 \left[\frac{x}{x_m} \right]^3 + 6 \left[\frac{x}{x_m} \right]^2 \text{ при } x/x_m \leq 1; \quad (5 \text{ а})$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \left[\frac{x}{x_m} \right]^2 + 1} \text{ при } 1 < x/x_m < 8; \quad (5 \text{ б})$$

$$s_1 = \frac{3,58 \left[\frac{x}{x_m} \right]^2 - 35,2 \left[\frac{x}{x_m} \right] + 120}{1} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } x/x_m > 8; \quad (5 \text{ в})$$

$$s_1 = \frac{1}{0,1 \left[\frac{x}{x_m} \right]^2 + 2,47 \left[\frac{x}{x_m} \right] + 17,8} \text{ при } F > 1,5 \text{ и } x/x_m > 8. \quad (5 \text{ г})$$

Для нескольких веществ, которые оказывают объединенное неблагоприятное воздействие, безразмерная суммарная концентрация q или приведенная к одному веществу суммарная концентрация c рассчитываются с использованием для каждого источника значений мощности M_q или M соответственно, где:

$$M_q = \frac{M_1}{ПДК_1} + \frac{M_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{M_n}{ПДК_n}, \quad (6)$$

$$M = M_1 + M_2 \frac{ПДК_1}{ПДК_2} + \dots + M_n \frac{ПДК_1}{ПДК_n}, \quad (7)$$

где M_1, M_2, \dots, M_n – мощности выброса каждого из n веществ; $ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ – максимальные разовые предельно допустимые концентрации этих веществ.

В остальном расчетная схема остается без изменения. В частности, учет суммации вредного действия для одиночного источника не влияет на значения расстояния x_m , где достигается наибольшее загрязнение воздуха, и опасной скорости ветра u_m .

С учетом практической направленности исследований исходными данными для работы являются: радиус выброса, концентрация, коэффициент скорости оседания. Актуальные данные о направлении и скорости ветра берутся с метеорологических Интернет-источников. В результате моделирования получается нанесенная на карту зона распространения загрязнителя с количественными градациями, выделенными различным цветом [7].

Предложен алгоритм прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха, который берет данные об уровне загрязнения и ветре в начальной точке, исходя из направления и скорости ветра, вычисляются новые две точки с 15-минутным интервалом и высчитывается концентрация по формуле (4). Затем строится полигон по новым двум точкам и двум старым. Такой расчет производится каждые 15 минут. Каждые три часа информация о значениях воздуха обновляется. В качестве источника информации с актуальными данными о скорости и направлении ветра используется сайт openweathermap.org.

Результаты и их обсуждение

Для моделирования переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в программном комплексе должны выполняться следующие функции: получение данных с датчиков экологического мониторинга, которые будут использоваться для расчета концентрации загрязнения в точках; моделирование переноса вредных веществ и отображение результатов на карте [8].

Функция моделирования должна быть реализована с учетом следующих требований:

- функция должна рассчитывать концентрацию загрязняющих веществ, опираясь на данные, полученные с датчиков;
- функция должна рисовать смоделированную картину переноса загрязняющих веществ на карте;
- функция должна отображать степень концентрации загрязняющих веществ, используя цветовую палитру;
- зависимость цвета от концентрации должна быть показана на легенде на карте.

Программный комплекс для моделирования переноса загрязняющих веществ в атмосферном воздухе представлен на рис. 1.

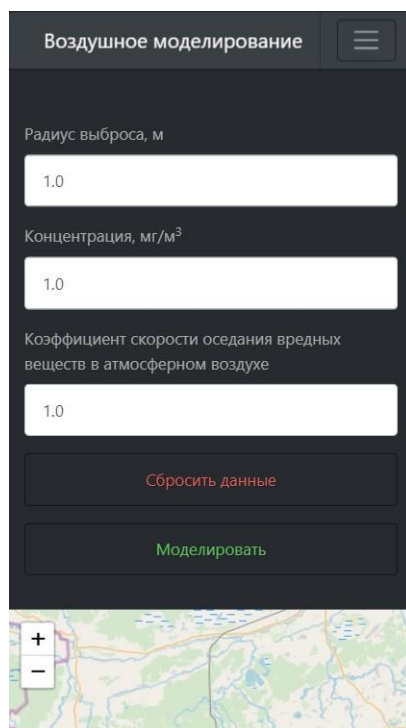


Рис. 1. Мобильная версия главной страницы программного комплекса
Fig. 1. Mobile version of the main page of the software package

Получаемые таким образом прогнозы более точно отражают движение загрязнителей при локальном выбросе и могут быть использованы, в том числе, при внештатных, чрезвычайных ситуациях (рис. 2).

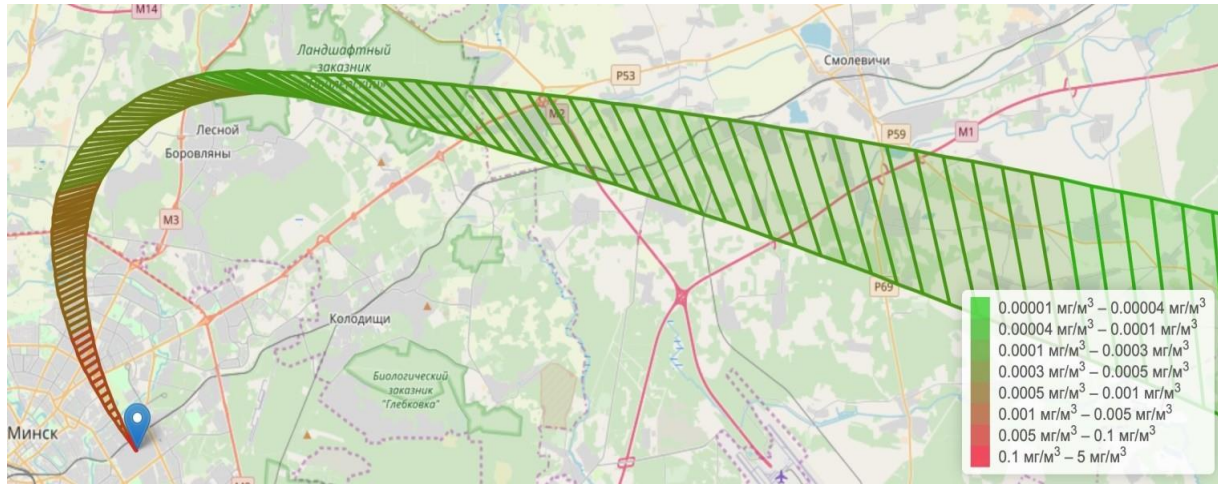


Рис. 2. Прогнозирование движения загрязнения атмосферного воздуха с учетом изменения силы и направления ветра

Fig. 2. Prediction of the movement of air pollution, taking into account changes in the strength and direction of the wind

В общем виде структура разработанной системы представлена на рис. 3.

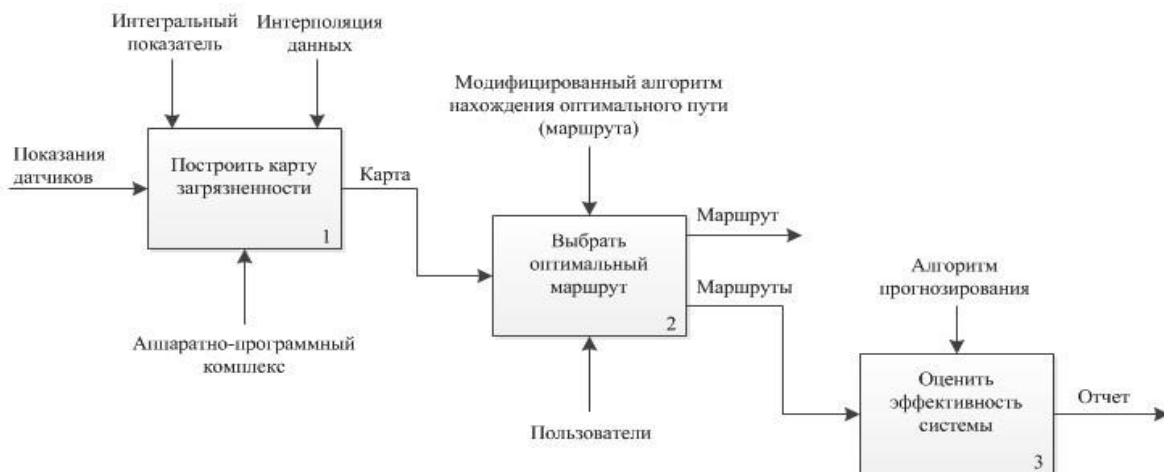


Рис. 3. Структура предложенной системы поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута с учетом загрязненности воздуха

Fig. 3. The structure of the proposed decision-making support system when choosing the optimal route taking into account air pollution

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных работ была создана и апробирована система экологического мониторинга атмосферного воздуха, позволяющая в режиме реального времени получать актуальные данные о загрязненности, строить карты и прогнозы изменения качества с учетом выбросов, силы и направления ветра [8, 9]. В результате получаемые данные могут быть использованы для выбора оптимального маршрута следования людей с точки зрения минимизации неблагоприятного воздействия на их здоровье.

Список литературы

1. Рябычина О.П., Рыбак В.А. Методы и средства мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. *Проблемы инфокоммуникаций*. 2018;1(7).
2. Рыбак В.А. *Методологические основы принятия решений для управления природоохранной деятельностью*. Минск: РИВШ; 2009.
3. Рыбак В.А., Рябычина О.П. Обзор методов и средств мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2018;4.
4. Рябычина О.П., Рыбак В.А. Информационная подсистема анализа загрязнения атмосферного воздуха. *Вестник связи*. 2019;2(154).
5. Рыбак В.А. *Антропогенная нагрузка на окружающую среду: количественная оценка, анализ, нормирование: монография*. Минск: РИВШ; 2010.
6. Рыбак В.А. *Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения*. Минск: РИВШ; 2008.
7. Рыбак В.А., Ахмад Ш., Гриб А.Д. *Научно-методические основы и программные средства автоматизации оценки и анализа параметров перспективных эколого-безопасных*. Минск: РИВШ; 2017.
8. Рыбак В.А., Ганбари З., Рябычина О.П. Перспективы применения новейших информационных технологий в экологической диагностике, распознавании образов и томографии. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2018;6.
9. Рыбак В.А., Гриб А., Ахмад Ш. Анализ сущности «зеленой экономики» и инструментов управления качеством окружающей среды на примере Республики Беларусь. *Интерактивная наука*. 2016;4.

References

1. Ryabychina O.P., Rybak V.A. [Methods and means of monitoring air pollution]. *Infocommunication problems*. 2018;1(7). (In Russ.)
2. Rybak V.A. [Methodological basis for decision-making for environmental management]. Minsk: RIVSH; 2009. (In Russ.)
3. Rybak V.A., Ryabychina O.P. [Overview of methods and means of monitoring air pollution]. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tehicheskie nauki = Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2018;4. (In Russ.)
4. Ryabychina O.P., Rybak V.A. [Information subsystem for analysis of air pollution]. *Vestnik svyazi = Vestnik svyazi*. 2019;2(154). (In Russ.)
5. Rybak V.A. [Anthropogenic load on the environment: quantitative assessment, analysis, rationing: monograph]. Minsk: RIVSH; 2010. (In Russ.)
6. Rybak V.A. [The effect of environmental pollution on public health]. Minsk: RIVSH; 2008. (In Russ.)
7. Rybak V.A., Ahmad Sh., Mushroom A.D. [Scientific and methodological foundations and software for automating the assessment and analysis of promising environmental-friendly parameters]. Minsk: RIVSH; 2017. (In Russ.)
8. Rybak V.A., Ganbari Z., Ryabychina O.P. [Prospects for the use of the latest information technologies in environmental diagnostics, pattern recognition and tomography]. *Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tehicheskie nauki = Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*. 2018;6. (In Russ.)
9. Rybak VA, Mushroom A., Ahmad Sh. [Analysis of the essence of the “green economy” and environmental quality management tools using the example of the Republic of Belarus]. *Interaktivnaya nauka = Interactive science*. 2016;4. (In Russ.)

Вклад авторов

Рыбак В.А. выдвинул идею исследования, выполнил оформление статьи.
Рябычина О.П. провела исследования и апробирование их результатов.

Authors' contribution

Rybak V.A. put forward the idea of research and completed the design of the paper.
Ryabychina O.P conducted the research and tested the results.

Сведения об авторах

Рыбак В.А., к.т.н., доцент, проректор по учебной работе Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Рябычина О.П., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры программного обеспечения сетей телекоммуникаций Белорусской государственной академии связи.

Адрес для корреспонденции

220022, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-29-677-43-38;
Рыбак Виктор Александрович

Information about the authors

Rybak V.A., PhD, Associate Professor, vice-Rector for Academic Affairs, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Ryabychina O.P., master of technical sciences, Senior Lecturer, Telecommunication Networks Software Department, Belarusian State Academy of Communications.

Address for correspondence

220022, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-29-677-43-38;
Rybak Victor Aleksandrovich