

УДК 004.896:502.35

## ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДОРОЖНЫМ СТРОИТЕЛЬСТВОМ НА ПРИНЦИПАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

<sup>1</sup>Ивашук О.А., <sup>1</sup>Ерошенко Я.Б., <sup>2</sup>Шоркин И.Н.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,  
Белгород, e-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru;

<sup>2</sup>ООО «Интерактивные технологии и системы», Москва, e-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

В данной статье представлены результаты исследований существующих подходов к реализации поддержки принятия решений в сфере управления строительством и реконструкцией автомобильных дорог, проблем поддержки принятия решений рациональных с экономической и экологической точки зрения. Проведен анализ формирования экологической ситуации в условиях увеличения строительства и реконструкции автомобильных дорог. Проведено системное описание процесса управления строительством и реконструкцией автомобильных дорог на принципах экологической безопасности. Предложена концептуальная модель исследуемой подсистемы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством и реконструкцией на принципах экологической безопасности. Разработан метод визуализированной оценки и прогнозирования комплексного техногенного воздействия на качество состояния атмосферного воздуха в зоне влияния строительства и реконструкции автодорог с применением 3D моделирования и ГИС-технологий. Построен алгоритм, реализующий разработанный метод. Реализовано построение ситуационных моделей программной реализации для обеспечения управления строительством и реконструкцией автомобильных дорог, а также разработаны практические рекомендации по применению моделей, алгоритмов и программ. С помощью разработанных программ проведены экспериментальные исследования для оценки адекватности построенных моделей и алгоритмов на территории Белгородских агломераций.

**Ключевые слова:** поддержка принятия решений, ГИС-технологии, дорожное строительство, загрязняющие вещества

## ROAD BUILDING DECISION SUPPORT BASED ON ENVIRONMENTAL SAFETY PRECEPT

<sup>1</sup>Ivaschuk O.A., <sup>1</sup>Eroshenko Ya.B., <sup>2</sup>Shorkin I.N.

<sup>1</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education

«Belgorod National Research University», Belgorod, e-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru;

<sup>2</sup>ООО «Interactive technologies and systems», Moscow, e-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

This article presents the results of studies of existing approaches to the implementation of decision support in the field of roads construction and renovation on the point of view of economical and environmental rationality. The analysis of environment forming in the face of increasing construction and roads renovation was performed. A systematic description of managing the roads construction and renovation on the principles of environmental safety has been carried out. Proposed a conceptual model of the decision support subsystem for managing roads construction and renovation based on the principles of environmental safety. The method of visualized assessment and forecasting of complex technogenic impact on the quality of atmospheric air in the zone of influence of the roads construction and renovation using 3D modeling and GIS technologies has been developed. An algorithm of developed method is built. Implemented the situational models of software implementation building that ensures the management of the roads construction and renovation, also developed practical guidelines on the use of models, algorithms and programs. An experimental studies to assess the adequacy of the built models and algorithms on the territory of the Belgorod agglomerations were performed with the help of the developed programs.

**Keywords:** decision support, GIS technology, road construction, air pollutants

По данным Всемирной организации здравоохранения, от 40 до 50% заболеваний человека в современных условиях могут быть связаны с изменением состояния биосферы, прежде всего атмосферного воздуха. По данным Росстата и Росприроднадзора [1] в 2017 г. в 139 городах (57% городов, где проводятся регулярные наблюдения) средние за год концентрации какого-либо вещества в атмосферном воздухе превышают 1 ПДК; например взвешенных веществ в 52 городах, бенз(а)пирена – в 56, диоксида азота – в 50. В этих городах проживает более 52 млн человек. В 2017 г. общий

объем выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу равнялся 32068 тыс. т (на 1,4% больше, чем в предыдущем году), в том числе от стационарных источников – 17477,5 тыс. т (на 0,7% больше), а от автотранспорта – 14448,2 (на 2,4% больше). Наибольший объем выбросов от передвижных источников наблюдался в Центральном федеральном округе – в 2017 г. он составил 3 822 тыс. т или 26,2% от общероссийского показателя.

С каждым годом растет количество автотранспорта. По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», в 2007 г. в России

насчитывалось 28 млн легковых автомобилей, а по результатам 2017 г. автопарк составил уже более 42 млн машин, его рост за десять лет составил более 40%, при этом остается значительная доля автомобилей старше 10 лет – 54% (рис. 1).

С ростом автопарка увеличивается и негативное воздействие на окружающую среду, прежде всего на атмосферный воздух. При этом причиной увеличения техногенного воздействия является не только эксплуатация автотранспорта, но и значительное расширение строительства и реконструкции автомобильных дорог, объектов транспортной инфраструктуры.

Следует отметить, что, несмотря на соблюдение экологических нормативов при использовании дорожной техники, выборе сырья и материалов, удовлетворяющих современным требованиям для строительства и реконструкции, сегодня не производится оценка и прогнозирование динамики экологической ситуации при работе одновременно нескольких единиц дорожной техники различного вида, а также совокупного воздействия с учетом потоков автотранспорта. Кроме того, не учитываются условия рассеивания и накопления выбросов на прилегающей территории от используемых техники и материалов.

До настоящего времени исследования по созданию информационного обеспечения, моделей и алгоритмов для поддержки принятия решений в сфере управления дорожным строительством с учетом указанных выше особенностей не проводились.

Таким образом, разработка методов, моделей, алгоритмов и их программной ре-

ализации, обеспечивающих возможность адекватной оценки и прогнозирования результатов комплексного техногенного воздействия на атмосферу при строительстве и реконструкции автомобильных дорог является актуальной научной задачей.

Цель исследования: совершенствование процессов управления строительством и реконструкцией автомобильных дорог на основе принципов экологической безопасности за счет разработки методов и моделей оценки и прогнозирования комплексного техногенного воздействия на атмосферу.

Поставленная цель связана с необходимостью учёта следующих принципиальных особенностей техногенного влияния на атмосферу при проведении дорожно-строительных работ:

– основные загрязнители атмосферы обладают эффектом суммации, следовательно, необходимо учитывать одновременное воздействие не только работающей техники (в различной комбинации строительного оборудования используемого вида), но и результатов воздействия используемых строительных материалов, а также воздействия транспортных потоков, движущихся по прилегающим дорогам (с учётом изменения режима их движения на перегонах, перекрёстках, парковках и т.д.);

– загрязняющие вещества, поступающие в атмосферный воздух при строительстве и реконструкции автомобильных дорог, характеризуются различной степенью рассеивания и накопления, в том числе в зависимости от погодных и климатических факторов.



Рис. 1. Парк легковых автомобилей в России

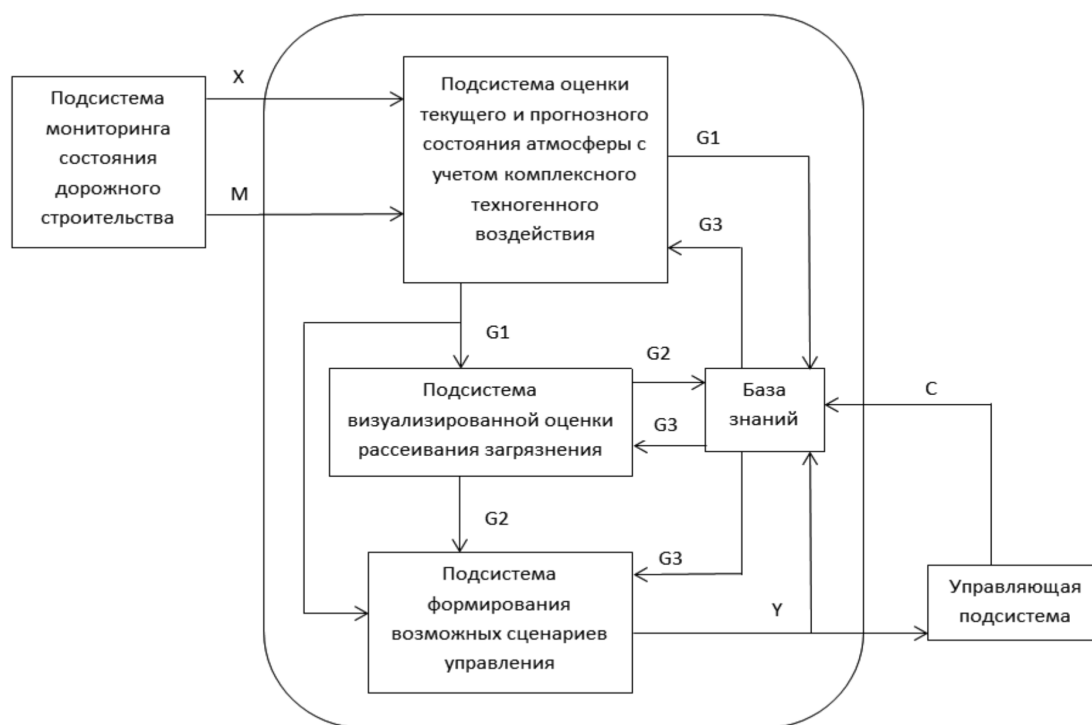


Рис. 2. Структурная модель системы поддержки принятия решений

### Материалы и методы исследования

Анализ существующих подходов к поддержке принятия решений в сфере управления дорожным строительством на принципах экологической безопасности показал [2–3], что сегодня это фрагментарное решение отдельных задач регионального экологического мониторинга, использование методов расчета выбросов от отдельных единиц техники для формирования отчетности. На сегодняшний день отсутствуют подходы к проведению оценки и прогнозирования комплексного техногенного воздействия при строительстве и реконструкции автомобильных дорог.

Многолетние научные исследования и масштабная практика проведения наблюдений за состоянием и загрязнением атмосферного воздуха, в том числе и в жилой зоне, показали, что уровень загрязнения атмосферы формируется в результате поступления вредных (загрязняющих) веществ от всех источников, расположенных на рассматриваемой территории и вне ее под влиянием диффузионных процессов в атмосфере на рассеивание и перенос этих веществ на большие расстояния [4].

Нами были проведены экспериментальные исследования на территориях, где проводились дорожно-строительные работы в летний период 2017/18 гг. Измерялись концентрации следующих ЗВ:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{PM}$ . При проведении расчетов результаты показали расхождение полученных экспериментальных значений концентраций с рассчитанными по методикам [5] на 18%. В I полугодии 2017 г. уже зафиксировано 26 случаев высокого загрязнения атмосферного воздуха, из них 4 случая признаны аварийными [6].

### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 представлена структурная модель предлагаемой системы поддержки принятия решений в сфере обеспечения экологической безопасности при проведении дорожно-строительных работ.

На рис. 2 представлены следующие параметры: X – параметры состояния объекта управления; M – параметры влияния внешней среды; C – параметры обратной связи в системе; Y – возможные сценарии управления;  $G = \{G1, G2, G3\}$  множество параметров взаимодействия компонентов системы.

Данная система является одной из важнейших составляющих (подсистемой) системы управления развитием транспортной инфраструктуры.

Концептуальную модель исследуемой подсистемы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством и реконструкцией на принципах экологической безопасности можно представить в теретико-множественном виде:

$$TM = \langle SS, G, X, Y, B, K \rangle,$$

где SS – множество компонентов подсистемы; G – множество параметров взаимодействия SS,  $G = \{G1, G2, G3\}$ ; X – множе-

ство входов (параметры состояния объекта управления),  $X = \{TT, TG, TX, ZV, R\}$ ;  $Y$  – множество выходов (результат работы подсистемы формирования возможных сценариев управления);  $V$  – множество внешних воздействий,  $V = \{M, C\}$ ;  $K$  – отображение,  $K: (X, M, Y, C) \rightarrow Y$ .  $TT$  – множество единиц дорожно-строительной техники, участвующих в строительстве и ремонтных работах;  $TG$  – множество параметров потока транспорта;  $TX$  – множество параметров паркующихся машин на прилегающей территории;  $ZV$  – множество ЗВ;  $R$  – коэффициенты, зависящие от выбранного региона;  $G1$  – состояния подсистемы оценки текущего и прогнозного состояния;  $G2$  – состояние подсистемы визуализированной оценки рассеивания;  $G3$  – модели, карты, программы;  $M$  – параметры влияния внешней среды;  $C$  – параметры обратной связи;

В данной модели мы учитываем комплексное воздействие на атмосферный воздух при проведении дорожно-строительных работ как технологического транспорта, так

и транспортного потока на прилегающих автодорогах, а также отдельных движущихся и паркующихся автомобилей.

Расчет выбросов от отдельных источников дорожной техники и автотранспорта производится по утвержденным методикам выбросов ЗВ [5], а рассеивание определяется с использованием уравнения турбулентной диффузии [4].

На рис. 3 представлен алгоритм визуализированной оценки и прогнозирования комплексного техногенного воздействия на атмосферу.

Была разработана программная реализация предложенных моделей и алгоритма, которая позволяет производить расчет максимальной приземной разовой концентрации ЗВ и обеспечивает построение трехмерной сетки рассеивания ЗВ.

На рис. 4 представлен пример работы программы, на основании полученных расчетных данных построены соответствующие гистограммы выбросов от каждого вида техники и общей концентрации исследуемых ЗВ.

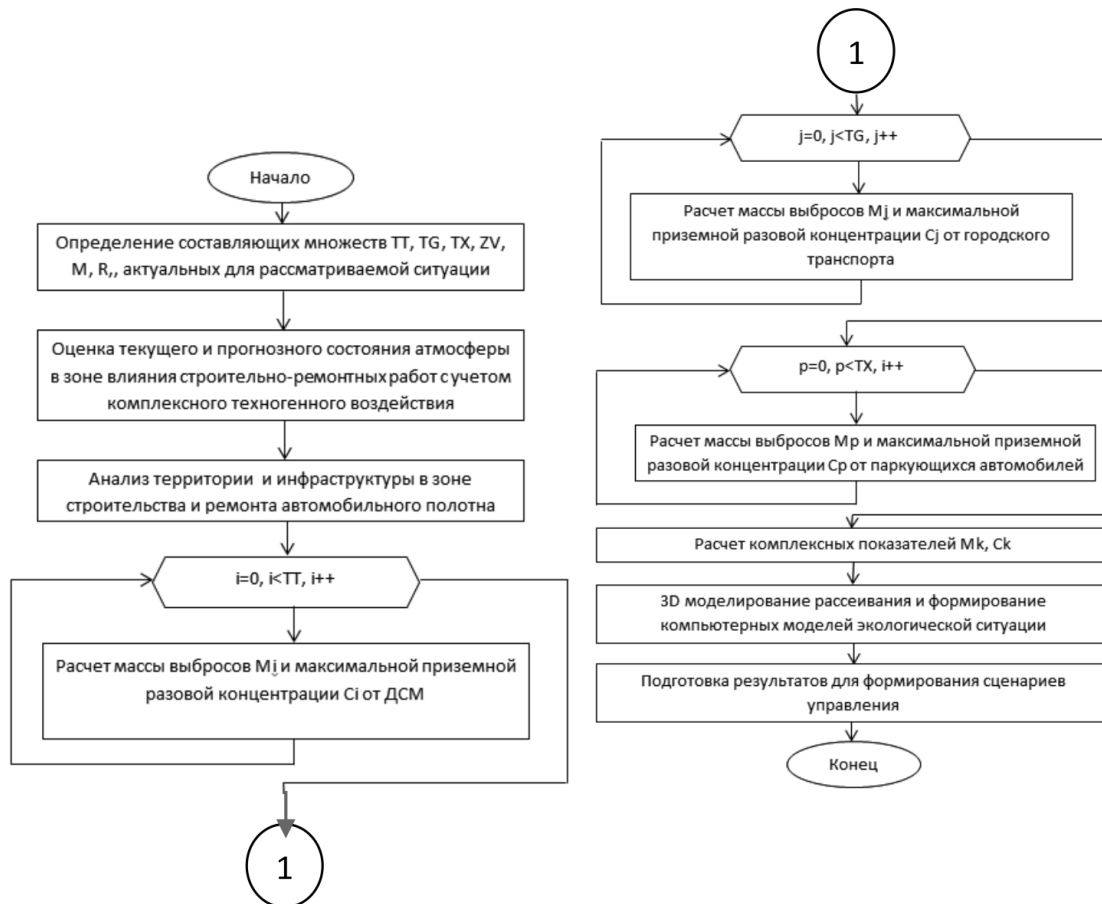


Рис. 3. Алгоритм визуализированной оценки и прогнозирования комплексного техногенного воздействия на атмосферу



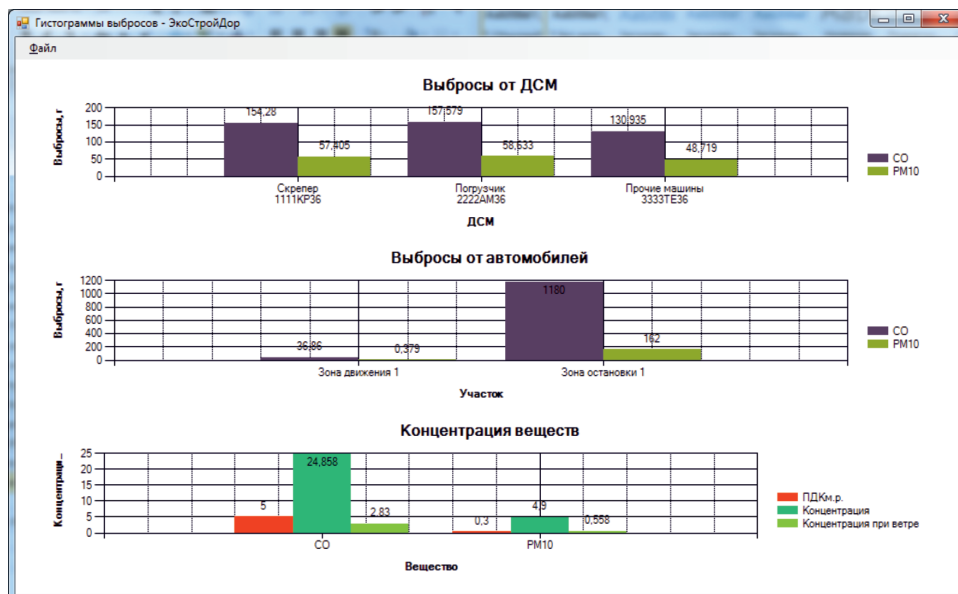


Рис. 4. Расчетные данные построения гистограмм

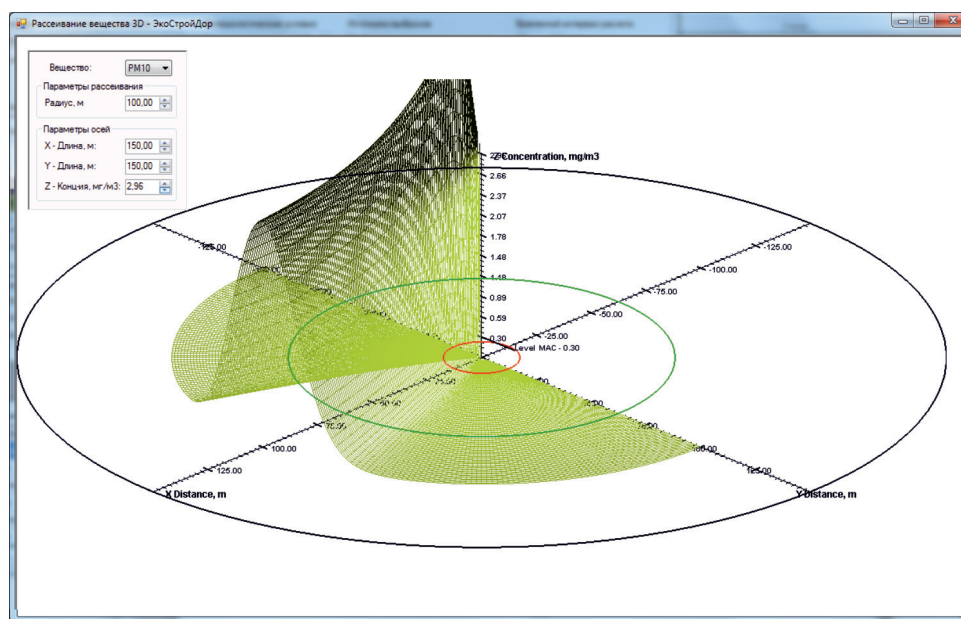


Рис. 5. Построение сетки рассеивания 3В

На рис. 5 показана работа программы при построении диаграммы рассеивания для РМ.

### Выводы

Построена и исследована концептуальная модель системы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством на принципах экологической безопасности, которая обеспечивает возможность оценки и прогнозирования динамики качества состояния атмосферного воздуха

в зоне строительства и реконструкции автодорог, возможность формирования результативных сценариев управления с учетом комплексного техногенного воздействия.

Предложен подход визуализированной оценки и прогнозирования комплексного техногенного воздействия на качество состояния атмосферного воздуха в зоне влияния строительства и реконструкции автодорог с применением 3D моделирования и ГИС-технологий. Разработана программная реализация для построения сценариев

экологической ситуации в виде компьютерных 3D моделей.

На территории Белгородской области проведены экспериментальные исследования в рамках мониторинга атмосферного воздуха при проведении ремонта автодорог. Построены конкретные ситуационные модели состояния атмосферы на исследуемых территориях, проведена оценка комплексного техногенного воздействия, прогнозирование развития ситуации, оценка реализации возможных управляющих воздействий.

#### Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
2. Ивашук О.А., Константинов И.С., Ивашук О.Д. Моделирование в системах экомониторинга, прогнозирования и управления экологической ситуацией на территориях жи-

лой застройки: монография. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. 104 с.

3. Теличенко В.И., Гутенев В.В., Слесарев М.Ю. Подходы к интерпретации систем управления экологической безопасностью в строительстве // Экология урбанизированных территорий. 2006. № 2. С. 32–37.

4. Приказ Минприроды России от 06 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/#ixzz4sqFY4uHz> (дата обращения: 12.03.2019).

5. Ерошенко Я.Б., Самхарадзе К.К. Компьютерный анализ рассеивания выбросов в атмосферный воздух дорожно-строительной техникой // Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика. 2018. Т. 45. № 1. С. 111–117.

6. Информационно-аналитические материалы по результатам мониторинга загрязнения окружающей среды. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/91/> (дата обращения: 18.03.2019).