

## **СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

**О.В. Адмаев**

доцент, к.ф.-м.н., e-mail: oadmaev@mail.ru

**И.В. Ильинский**

аспирант, e-mail: aspirantura@krsk.irkups.ru

**А.В. Казаков**

аспирант, e-mail: akzk83@mail.ru

**С.В. Ковтун**

соискатель, e-mail: svkovtun@mail.ru

**Е.О. Смольников**

аспирант, e-mail: 1244-z@mail.ru

**А.М. Ткаченко**

аспирант, e-mail: ale42053557@yandex.ru

Красноярский институт железнодорожного транспорта — филиал ИРГУПС,  
г. Красноярск, Россия

**Аннотация.** Актуальность решения проблемы снижения уровня загрязнения атмосферы промышленного города определяется, во-первых, назревшей необходимостью решать рассматриваемую задачу – в Красноярске уже возник термин «режим чёрного неба» как характеристика режима неблагоприятных условий, во-вторых, её недостаточной решённостью в настоящее время, в-третьих, потенциальной возможностью её решения. Объектом исследования является атмосфера города Красноярска, предмет исследования – улично-дорожная сеть, промышленные предприятия, объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта. Цели работы – выработка рекомендаций для снижения уровня загрязнения атмосферы города Красноярска и создание механизма их реализации. В связи с поставленной целью возникают задачи: оценка уровня выбросов транспорта на улично-дорожной сети, промышленных предприятий. К методам решения поставленных задач относятся: создание экспертной системы, в которой определены такие базы знаний, как химические вещества и различные соединения с описанием их свойств, характеристика городской застройки, улично-дорожной сети, транспортных потоков, других факторов; постановка математической модели, описывающей эмиссию выбросов и последующее её решение. Авторами получен один из результатов – выяснение причин резкого увеличения значений выбросов.

**Ключевые слова:** Экспертные системы, улично-дорожная сеть, эмиссия транспортного потока, режим черного неба, математическая модель массопереноса.

Экспертные системы (ЭС) применяются в различных областях человеческой деятельности. ЭС могут быть разработаны с расчётом на процесс обучения, т.к.

они уже содержат необходимые знания и способны объяснить процесс своего рассуждения. Кроме того, должны быть включены знания о методах обучения и возможном поведении пользователя. Реальные ЭС содержат большое количество дополнительных блоков, специфичных для каждой предметной области. Главным структурным отличием ЭС от всех других типов программ является наличие базы знаний и, как следствие, способность к обучению и самообучению. Она предназначена для хранения исходных и промежуточных данных решаемой в текущий момент задачи. Функциональная схема ЭС показана на рис. 1

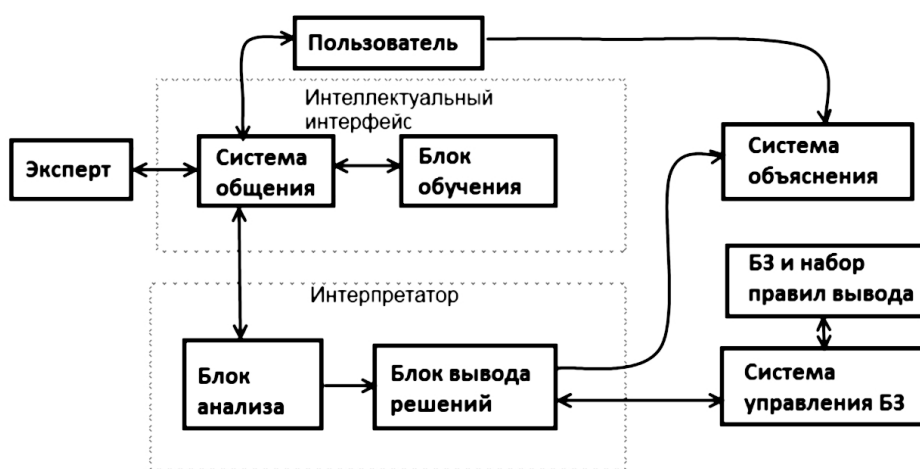


Рис. 1. Функциональная схема экспертной системы

В режиме приобретения знаний общение с ЭС осуществляет эксперт через посредничество инженера знаний. Эксперт описывает предметную область в виде совокупности данных и правил. Данные определяют объекты, их характеристики и значения, существующие в области экспертизы. Правила определяют способы манипулирования данными, характерные для данной предметной области. Рассмотрим элементы базы знаний экспертной системы экологического мониторинга воздушной среды г. Красноярска. Проект «Живой Красноярск» позволяет наблюдать обстановку на городских дорогах как в режиме реального времени, так и в записи (рис.2). На сайте ведётся круглосуточная трансляция с видеокамер, установленных на ключевых магистралях и перекрёстках города. Это позволяет оперативно определять улицы с повышенной загруженностью, количественные оценки транспортного потока во всем городе и, соответственно, оценивать степень экологического неблагополучия его районов (<http://live.krsn.ru>).

Распространение вредных веществ в городской атмосфере представляет собой сложную задачу, так как зависит от очень большого числа параметров: метеорологического режима, рельефа, наличия водных объектов и открытых пространств, плотности и характера застройки и т.д. При расчёте рассеивания



Рис. 2. Пример транспортного потока

выбросов от автотранспорта и определения концентрации токсичных веществ на различном удалении от проезжей части используется модель нормального распределения примесей в атмосфере. Для автомобильных дорог, представляющих собой линейный источник выбросов, распределение рассматривают только в направлении перпендикулярном оси дороги. Если ветер дует со скоростью  $V$  под углом  $\phi$  к оси трассы, то выражение для определения концентрации  $i$ -го вещества в воздухе определяется по формуле

$$C_i = \frac{2M_i^{\Pi}}{\sqrt{2\pi}\sigma V \sin \phi} + F,$$

где  $2M_i^{\Pi}$  — мощность эмиссии, г/(м.с);  $\sigma$  — стандартное отклонение Гауссова рассеивания, зависящее от расстояния от оси дороги, м;  $V$  — скорость ветра, м/с;  $\phi$  — угол между направлением ветра и осью трассы (при  $\phi < 30^\circ$ ,  $\sin \phi = 0,5$ );  $F$  — фоновая концентрация загрязнения воздуха, г/м<sup>3</sup>. Данные по направлению и скорости ветра берутся с метеостанции, расположенной в Центральном районе Красноярска. Необходимая метеорологическая информация поступает в режиме реального времени и доступна на сайте Красноярского отделения Росгидромета <http://meteo.krasnoyarsk.ru>. На рис. 3. представлены метеорологические параметры, зафиксированные во время проведения наблюдений за транспортным потоком и взятия проб воздуха на посту.

Экспертная часть исходных данных может быть получена в результате соответствующей обработки статистических данных, в частности, по методике, изложенной ниже. В качестве элемента базы знаний рассмотрена вероятностная матрица перехода состояний уровня концентрации вредных выбросов в окружающую среду. В г. Красноярске контроль состояния атмосферного воздуха осуществляется территориальным Центром по мониторингу загрязнения

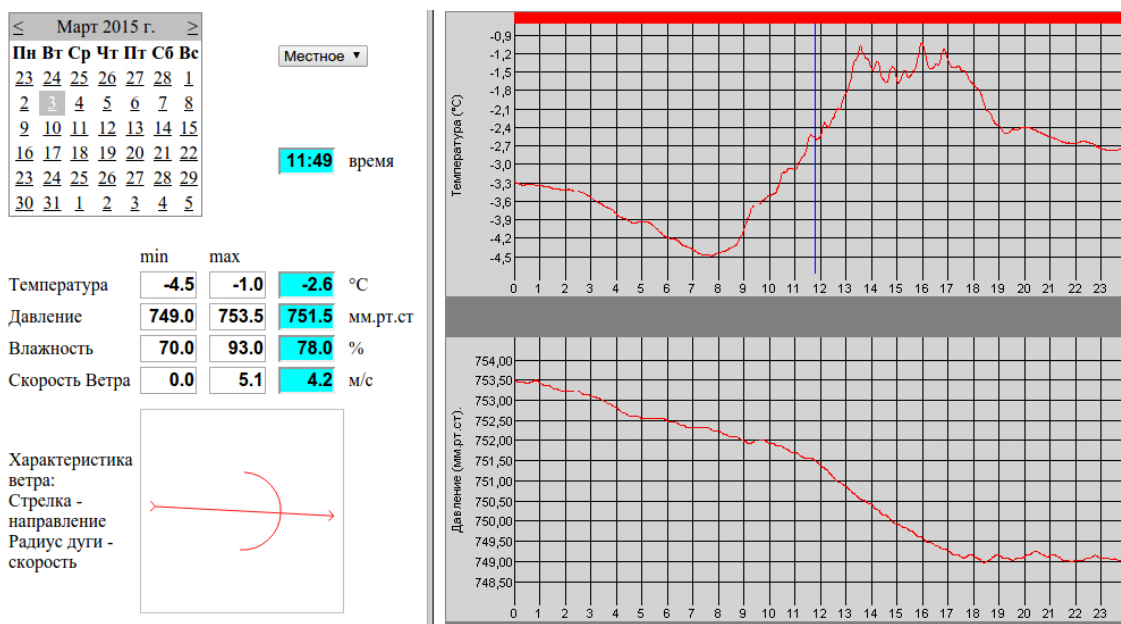


Рис. 3. Данные метеорологической станции Центрального района г. Красноярск

окружающей среды. Наблюдения ведутся в стационарных пунктах, расположенных в разных административных районах города. На рис. 4 приведены еженедельные значения ПДК по диоксиду азота  $NO_2$ . Он был выбран для анализа экологической безопасности воздушного пространства города, так как является токсичным газом. На организм человека он действует как острый раздражитель. Диоксид азота относится ко второму классу опасности и его максимальная разовая величина ПДК составляет  $0,085 \text{ мг/м}^3$  («Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест: ГН 2.1.6.695-98. — М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2000»).

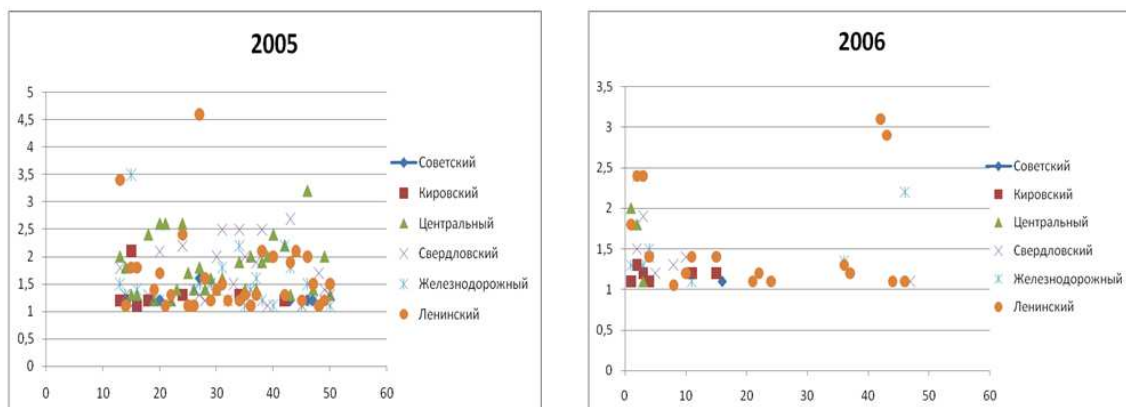


Рис. 4. Данные метеорологической станции Центрального района г. Красноярск

**Выводы**

Степень достоверности полученных результатов оценивается по общепризнанным критериям — совпадению теоретических и экспериментальных результатов, в данном случае найденное численно рассеивание вредных веществ хорошо коррелирует с распределением эмиссии от транспортных потоков в городе. Результаты исследования сравнивались с авторскими работами других учёных, посвящёнными проблемам загрязнения в схожих геологических и климатических условиях, а также проверенными практикой научными исследованиями для новых строящихся объектов внутри города. Новизна полученных результатов заключается в сочетании учёта транспортных потоков, основанного на рассмотрении случайных процессов, и решении дифференциальных уравнений переноса веществ на территории города. Новое знание (научность результатов) определяется в результате использования экспертной системы в качестве инструмента для выработки рекомендаций по улучшению качества окружающей среды мегаполиса. В работах других авторов, работающих с данной проблемой, в том числе и в Красноярске, данное сочетание почти не рассматривается, соответственно, авторы не имеют возможности моделировать отдельные критические неблагоприятные явления, тем самым, не изучают способы их предотвращения. Практическая значимость работы определяется возможностью увеличения периода времени для возникновения критических неблагоприятных условий с одной стороны и, с другой стороны, возможностью уменьшения продолжительности временного периода существования режима неблагоприятных условий. Указанные эффекты обеспечиваются разработанным программным обеспечением, соответствующими базами знаний, математическими моделями и их решениями при различных определяющих параметрах. Рекомендации по изменению режима работы предприятий, движения и интенсивности транспортных потоков позволят получить желаемый практический эффект, а также связана с использованием в экспертной системе решений нестационарной математической модели при различных параметрах.

## **CREATION OF EXPERT SYSTEM OF THE TRANSPORT COMPLEX IN THE URBANIZED TERRITORIES**

**O.V. Admaev**

Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, e-mail: oadmaev@mail.ru

**I.V. Ilyinskiy**

Postgraduate student, e-mail: aspirantura@krsk.irkups.ru

**A.V. Kazakov**

Postgraduate student, e-mail: akzk83@mail.ru

**S.V. Kovtun**

Ph.D. doctoral candidate, e-mail: svkovtun@mail.ru

**E.O. Smolnikov**

Postgraduate student, e-mail: 1244-z@mail.ru

**A.M. Tkachenko**

Postgraduate student, e-mail: ale42053557@yandex.ru

Krasnoyarsk Institute of Railway Engineering Branch of Irkutsk State Transport  
University

**Abstract.** The problem of reducing the level of atmosphere pollution of an industrial city should be solved nowadays as over the last years the problem has significantly worsened and even spawned such terms as "mode of the black sky" while opportunities for solving it do exist. The object of current research is the atmosphere of the city of Krasnoyarsk. The subjects of the research are the road network, the industrial enterprises and the objects of railway transport infrastructure. The paper purpose is to develop recommendations for reducing pollution of Krasnoyarsk atmosphere and to create a mechanism of their implementation. To fulfill the purpose one should assess the level of emissions generated by transport on the road network and by industrial enterprises. The assessment can be fulfilled via creation of an expert system in which such knowledge bases as chemicals and their compounds with the description of their properties, the characteristics of urban development, the road network, traffic streams and other factors are defined as well as via defining and solving the mathematical model of exhaust emissions.

**Keywords:** expert systems, road network, issue of a transport stream, mode of the black sky, mathematical model of mass transfer.