

МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

О.А. ИВАЩУК

О.Д. ИВАЩУК

*Белгородский
государственный
национальный
исследовательский
университет*

e-mail:

ivaschuk@bsu.edu.ru

Представлены результаты разработки моделей интеллектуального анализа данных в автоматизированных системах управления экологической безопасностью с целью их преобразования в знания, необходимые для интегральной оценки динамики экологической ситуации и принятия научно обоснованных управленческих решений по ее регулированию.

Ключевые слова: модель, интеллектуальный анализ данных, автоматизированная система управления, экологическая безопасность

Современный уровень развития информационно-телекоммуникационных технологий, методов компьютерного и математического моделирования, средств автоматизации и соответствующего приборного оснащения позволяет создавать автоматизированные системы для решения проблем в сфере регулирования экологической ситуации на различных территориях: организация мониторинга, осуществление оценок, прогнозов, поддержка принятия управленческих решений и др.

При этом эффективность реализации всех функций систем рассматриваемого класса, их качество работы в целом в значительной степени определяется результатом анализа данных: характеристика состояния природной и техногенной сфер, выявление причинно-следственных связей и обнаружение закономерностей взаимодействия их объектов и др. Подобные знания позволят не только проводить необходимые оценки и прогнозирование развития экологической ситуации, но и формировать альтернативные сценарии управления, осуществлять рациональный выбор действий.

Следует отметить, что техногенные и природные объекты, а также процессы их взаимодействия характеризуются сложностью и высокой динамичностью; значительная часть этих процессов до настоящего времени не изучена и не формализована. Поэтому одно из важнейших направлений анализа данных в рассматриваемой области - моделирование на основе интеллектуальных технологий и экспертных оценок. В работах ученых из различных стран (см., например, [1-4]) показана высокая эффективность применения аппарата искусственных нейронных сетей и нечеткой логики при решении отдельных задач обработки экоданных и прогнозирования динамики природных сред.

Авторами была поставлена задача разработки моделей интеллектуального анализа данных, обеспечивающих возможность получения знаний для принятия научно обоснованных решений при функционировании автоматизированных систем управления экологической безопасностью на урбанизированных территориях.

Входные и выходные параметры рассматриваемых моделей будут определяться параметрами состояния объекта управления системы. На основе комплекса теоретических и эмпирических исследований [5-8] построена концептуальная модель экологической безопасности урбанизированной территории одновременно как объекта мониторинга и объекта управления. Она представлена не «черным ящиком», как традиционно рассматриваются объекты экологического мониторинга, а имеющей определенную структуру многокомпонентной системой природных, социальных и техногенных объектов, взаимодействующих между собой и влияющих на здоровье и жизнедеятельность населения. Формально такую модель можно описать на основе теоретико-множественного подхода как $ECO = \langle WCO, Q, R, FCO, OSC \rangle$, где WCO - множество компонентов объекта управления; Q - внешние воздействия на WCO ; R - множество состояний элементов WCO ; FCO - отображения на WCO , Q и R . Определены основные составляющие WCO , характеристики со-

стояния которых определяют выбор параметров моделей анализа данных: *природная система* ($w_{пс}$ - множество компонентов природной среды на урбанизированной территории (атмосфера, акустическая среда, водные, почвенные ресурсы и др.), подвергающихся негативному воздействию и влияющих на качество жизни населения; *социальная система* ($w_{сс}$) - множество элементов социума (человеческий фактор), влияющих на динамику экологической ситуации; *техническая система* ($w_{тс}$) - множество техногенных объектов, воздействующих на природную среду. Реализация конкретных управляющих воздействий, влияющих на динамику экологической ситуации, связана с изменением параметров технической и социальной систем.

В результате, объект управления автоматизированной системы управления экологической безопасностью урбанизированной территории можно определить как сложную динамичную природно-социо-техническую систему. Множество Q включает управляющие U (изменение технических и технологических параметров объектов, разработка и исполнение экологической политики, обеспечение эффективного планирования и использования функциональных зон рассматриваемой территории и др.) и внешние y (метеорологические условия, особенности инфраструктуры территории, фон и т.д.) воздействия: $Q = \{U, B\}$; $y = \{B_{пс}, B_{сс}, B_{тс}\}$, где $B_{пс}, B_{сс}, B_{тс}$ - воздействия внешней среды на природную, социальную и техническую системы соответственно. $U = \{U_{сс}, U_{тс}\}$, где $U_{сс}$ - управляющие воздействия на социальную, а $U_{тс}$ - на техническую системы. Множество состояний $R = \{XZ\}$, где X характеризует состояние природной системы (концентрации загрязнений, уровень физических воздействий и т.п.), а Z - подсистем, на которые оказываются управляющие воздействия: $Z = \{Z_{сс}, Z_{тс}\}$ - технические и технологические параметры, объемы и качество продукции и услуг и др.

Схематично разработанная модель управления показана на рисунке 1.



Рис. 1. Модель экологической безопасности как объекта мониторинга и автоматизированного управления

Цель управления экологической ситуацией на урбанизированной территории в рассматриваемой автоматизированной системе управления - минимизация (в результате реализации управляющих воздействий U как вариации параметров Z с учетом внешних условий y) негативного социо-техногенного воздействия на природную среду данной территории, что связано с минимизацией разности ΔX между фактическим X и целевым X_0 состояниями природной подсистемы: $\Delta X \wedge 0$. При этом состояние технической и социальной подсистем должно соответствовать необходимому уровню развития экономики и социокультурного пространства региона.

Выделенные в составе объекта управления как природно-социо-технической системы компоненты $w_{пс}, w_{сс}$ и $w_{тс}$ будут осуществлять следующие основные отображения (являющиеся подмножествами FRO):

$f_x : Z_{сс} \times Z_{тс} \times B_{пс} \wedge X$ — осуществляет природная подсистема - процесс формирования состояния $w_{пс}$ под воздействием техногенных и социальных объектов и внешней среды.

f_{zcc} : БИСС*СС*zee^x Ucc[^]Zcc - осуществляет социальная подсистема - процесс формирования состояния w_{ss} при осуществлении определенных управляющих воздействий и под воздействием природной, техногенной и внешней сред.

f_{zjc} : ыТС*лГС*zТС^x UTC[^]ZTC - осуществляет техническая подсистема - процесс формирования состояния WTC под воздействием внешней среды с учетом влияния природной и социальной подсистем при осуществлении определенных управляющих воздействий.
Т.о., FCO = { f_x , f_{zcc} , f_{ztc} }.

Построение адекватных моделей интеллектуального анализа данных соответствует реализации всех составляющих FCO. Это связано с решением задачи оценки и прогнозирования экологической ситуации в целом и качества отдельных компонентов природной среды (класс прямых задач) и задач определения необходимых управляющих воздействий на техногенные и социальные объекты на основе альтернативных сценариев развития экологической ситуации (класс обратных/комбинированных задач).

Соответствующие модели для урбанизированных территорий Центрального федерального округа РФ разработаны авторами на основе аппаратов искусственных нейронных сетей, нечеткой логики и лингвистического подхода. При построении моделей был учтен тот факт, что в современных условиях основная составляющая техногенного комплекса густонаселенных городских территорий, формирующая зоны с неблагоприятной экологической ситуацией (в которых показатели качества компонентов природной среды не соответствуют нормативам) - это передвижные объекты, а именно потоки автотранспорта. При этом экологически неблагоприятные зоны, которые являются устойчивыми в пространстве и во времени, находятся непосредственно вблизи автодорог, в том числе на территориях жилой застройки.

Разработаны следующие виды моделей анализа данных в автоматизированной системе управления экологической безопасностью урбанизированной территории в виде обученных искусственных нейронных сетей (ИНС):

- для оценки и прогноза качества атмосферы (по содержанию в ней оксида углерода, оксидов азота и двуокиси серы, обладающих эффектом суммации) / качества акустической среды на прилегающих территориях / уровня загрязнения поверхностного стока нефтепродуктами и взвешенными веществами в зависимости от параметров потока автотранспорта (интенсивности, структуры, скоростного режима), инфраструктуры территории (расстояния до жилой застройки, плотности и высотности застройки, коэффициента озеленения) и метеопараметров (температура воздуха, скорость и направление ветра).

- для определения параметров потоков автотранспорта согласно требуемому уровню содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе / поверхностном стоке / требуемым значениям эквивалентного уровня шума при данных метеопараметрах.

Для тестирования на корректность соответствующих прямых и обратных/комбинированных задач был выбран тип ИНС с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Конкретная архитектура каждой ИНС определялась путем построения и последующей проверки на адекватность и предсказательные способности большого количества различных ИНС. В них варьировалось число слоев (1,2,3), число нейронов в скрытых слоях, изменялись функции активации; обучение ИНС проводилось с использованием различных обучающих алгоритмов (использована среда MATLAB). В результате достигнуто высокое качество обучения и хорошие прогностические возможности для всех созданных ИНС: средняя квадратичная ошибка, минимизируемая в процессе обучения, составила $(0,74 \wedge 1,87) \cdot 10^{-4}$, средняя ошибка аппроксимации для обучающей выборки - $0,01 \wedge 1,47$ %; средняя ошибка аппроксимации для тестовой выборки - $0,31 \wedge 5,10$ %.

Следует отметить, что экологическая ситуация на урбанизированной территории характеризуется совокупным состоянием качества различных компонентов природной среды, которые оказывают влияние на здоровье и жизнедеятельность населения. Это очень важно при принятии управленческих решений, при выборе из множества представленных альтернативных сценариев управления наиболее рационального, в том числе



и при реализации конкретных регулирующих мероприятий. Так, изменение одних и тех же техногенных параметров, например, параметров транспортных потоков, может по-разному повлиять на изменение качественного состояния различных компонентов природной среды. Однако обеспечение требуемой экологической ситуации связано с удержанием (при нормальном функционировании всех объектов промышленности и транспорта на рассматриваемой территории) в области допустимых состояний одновременно всех составляющих природного комплекса. Таким образом, при организации работы автоматизированной системы управления экологической безопасностью на урбанизированной территории необходимо располагать моделями анализа данных, обеспечивающими возможность интегральной оценки по совокупному состоянию качества различных компонентов природной среды.

Подобная модель является синтезирующей: результат анализа данных синтезируется на основе отдельных элементов знаний. Эти знания есть результат либо экспериментальной (натурные измерения), либо теоретической (математическое моделирование) оценки отдельных показателей качества каждой из выбранных для контроля компонентов природной среды. Авторами разработан метод для моделирования интегральной оценки динамики экологической ситуации на урбанизированной территории, в котором используется понятие лингвистической переменной (для формирования характеристики) и аппарат нечеткой логики (для синтеза знаний о состоянии отдельных компонентов природной среды). Введена следующая лингвистическая переменная $ES = \langle B, T, B, K, I \rangle$, где $S =$ «экологическая ситуация на урбанизированной территории»; T - термножество переменной S , областью определения которого является числовое множество B ; R - синтаксические правила, порождающие название терма; H - семантические правила. $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5\}$, где термы: $T_1 =$ «нормальная» - показатели качества всех компонентов природной среды соответствуют нормативам для данной территории; $T_2 =$ «относительно опасная» - загрязнение отдельных компонентов природной среды превышает допустимый уровень, но отклонения от норм не являются устойчивыми (в пространстве и во времени); $T_3 =$ «опасная» - загрязнение каждого из компонентов природной среды превышает допустимый уровень, но без образования устойчивых экологически опасных зон, или загрязнение только отдельных компонентов превышает допустимый уровень, но отклонение от нормы является значительным и способствует образованию устойчивых экологически опасных зон; $T_4 =$ «очень опасная» - характеристики качества всех компонентов природной среды не соответствуют нормам, при этом отклонения для некоторых из них являются значительными и способствуют образованию устойчивых экологически опасных зон; $T_5 =$ «критическая» - загрязнение всех компонентов природной среды значительно превышает допустимый уровень с образованием устойчивых экологически опасных зон. Термы T_2, T_3, T_4, T_5 характеризуют неблагоприятную экологическую ситуацию. Целесообразно использование составной лингвистической переменной $ES = (S_1, S_2, \dots, S_j)$, где $S_j \in ES$ («уровень загрязнения воздушного бассейна», «уровень загрязнения воды», «скопление отходов» и др.), $j = 1, \dots, J$. Процесс классификации экологической ситуации в данном случае проходит как анализ взаимодействия ряда частей, включенных в ES , а результат является синтезированным. Для его реализации необходим набор условных правил логического вывода.

Пример данного метода реализован при построении модели интегральной оценки экологической ситуации по состоянию качества воздушного бассейна, оцениваемого по совокупному состоянию двух его основных компонентов: атмосферного воздуха, состояние которого отражает уровень химического загрязнения (S_1), и акустической среды, состояние которой отражает уровень физического загрязнения (S_2). Результатами химического и физического загрязнения различных компонентов природной среды городов от потоков автотранспорта являются увеличение как острых, так и хронических заболеваний легких, сердечнососудистой системы, новообразований у населения, а также головные боли, усталость, стрессы и нервные проявления. В качестве показателя уровня химического загрязнения воздушного бассейна рассматривается отношение содержания в атмосферном воздухе определенного загрязняющего вещества (или их совокупности) к предельно допустимой концентрации, а показателя уровня физического загрязнения - зна-

чение эквивалентного уровня шума. Оценка экологической ситуации ведется по пяти-балльной шкале. Программная реализация построенных моделей осуществлена на платформе системы компьютерной математики *MATLAB*. На рисунке 2 для примера показано окно просмотра правил, в котором введены значения 3,2 и 79 дБА соответственно (для ул. Брестской г. Орла, май 2012 г.), и *ES* определяет экологическую ситуацию по качеству воздушного бассейна как *очень опасную* (балл 4).

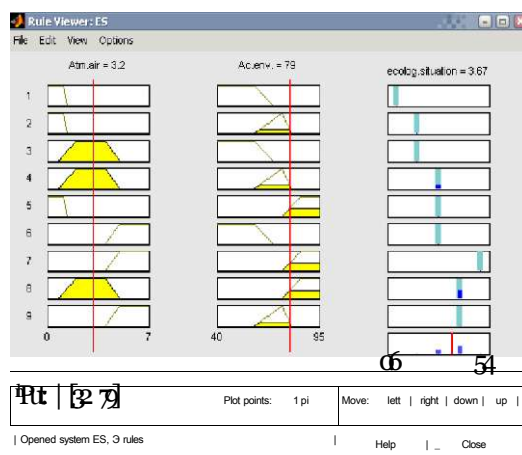


Рис. 2. Окно просмотра правил для *ES*

На основе оценок и прогнозов, проведенных с использованием разработанных моделей анализа данных выявлены территории, которые характеризуются опасной и очень опасной экологической ситуацией по состоянию воздушного бассейна (устойчивые зоны химического загрязнения и акустического дискомфорта); для этих территорий разработаны мероприятия, в том числе оперативные, по снижению негативного влияния транспортных потоков на воздушный бассейн жилого комплекса; определено рациональное размещение по территории города стационарных контрольно-измерительных постов для сбора и первичной обработки данных.

Согласно требованиям адаптивности, оперативности и объективности процесса управления, рассматриваемая система должна быть наделена функцией динамического формирования моделей интеллектуального анализа данных, по результатам использования которых будут генерироваться научно обоснованные управляющие воздействия. При выполнении данного условия автоматизированные системы управления экологической безопасностью урбанизированной территории смогут стать неотъемлемой частью общей интеллектуальной сети «умного города» и способствовать обеспечению высокого уровня качества жизни населения.

Список литературы

1. Werner H., Obach M. New neural network types estimating the accuracy of response for ecological modelling // *Ecological Modelling*. 2001. V. 146. № 1-3. P. 289-298.
2. M. Gevrey, I. Dimopoulos, S. Lek Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models/ *Ecological Modelling*. 2003, V. 160. № 3. pp. 249-264.
3. S. Ciavatta, R. Pastres, C. Badetti, G. Ferrari, M.B. Beck Estimation of phytoplanktonic production and system respiration from data collected by a real-time monitoring network in the lagoon of venice / *Ecological Modelling*. 2008. V. 212. № 1-2. pp. 28-36.
4. A.B. Ramadan, F. Zaky, M. Hefnawi New environmental prediction model using fuzzy logic and neural networks/ *International Journal of Computer Science Issues*. 2012. Vol. 9. Issue 2. No 3.
5. Константинов И.С., Иващук О.А. Адаптивное управление экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса. // *Научные Ведомости Белгородского государственного университета*. - 2009. - № 7(62)2009. - Вып. 10/1. - С. 53-58.
6. Иващук О.Д. Управление экологической ситуацией на территории жилой застройки на основе моделирования // *Строительство и реконструкция*. - 2011. - №3 (35) май-июнь. - С. 30 - 39.



7. Иващук О.А., Константинов И.С., Иващук О.Д. Моделирование автоматизированной системы управления экологической безопасностью территории жилой застройки//Жилищное строительство, 2012. - № 3.-С.32-34.

8. Olga Ivashchuk, Orest Ivashchuk Automation and Intellectualization to Control the Ecological Situation in the Urbanized Territories // Proceedings of the 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS) September 12-14, 2013, Berlin, Germany. - Volume 2. P. 814-820. - IEEE Catalog Number: CFP13803-PRT. ISBN: 978-1-4799-1426-5

DATA MINING MODELS IN INFORMATION SYSTEMS OF ECOLOGICAL SAFETY

O.A. IVASHCHUK
O.D. IVASHCHUK

*Belgorod National
Research University*

*e-mail:
ivaschuk@bsu.edu.ru*

Presents the results of creating data mining models in automated control systems by environmental safety in order to convert them to the knowledge necessary for an integrated assessment of the dynamics of the environmental situation and the adoption of science-based management decisions on its regulation.

Keywords: automated control system, ecological situation, simulation, intellectualization, integral estimation