

УДК 519.876.2: 004.413.4:504.03

Н. П. Садовникова, М. С. Кузнецов, С. В. Васильев

УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРОЕКТОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

На основе проведенных исследований определены основные положения методологии управления экологическими рисками проектов территориального развития. Рассмотрены общие принципы классификации экологических рисков и методы оценки. Рассмотрен пример оценки экологических рисков проекта на основе нечетко-множественного подхода.

К л ю ч е в ы е с л о в а: территориальное планирование, экологическая безопасность, качество городской среды, экологические риски, нечеткие множества, нечеткая логика.

The article carries out the analysis of various approaches to the problem of environmental risk management. Risk assessment model based on fuzzy logic methods has been proposed development planning areas, sustainable development, quality of the urban environment, environmental risk, fuzzy sets, logic.

К е у w o r d s: development planning areas, environmental security, the quality of urban environment, environmental risk, fuzzy sets, fuzzy logic.

Риски сопровождают процесс функционирования и развития любой сложной системы, и потому задача управления рисками является неотъемлемой частью процесса принятия решений о развитии городских территорий.

Для обеспечения экологической безопасности необходимо оценить неопределенность, связанную с антропогенным воздействием, и создать систему мер, позволяющих минимизировать риски и негативные последствия, возникающие в связи с их реализацией. По определению Н. Ф. Реймерса [1], экологическая безопасность — «комплекс состояний, явлений и действий, обеспечивающих экологический баланс на Земле и в ее регионах на уровне, к которому физически, социально-экономически, технически и политически готово или может адаптироваться человечество».

Впервые различие между понятиями «неопределенность» и «риск» определил американский экономист Ф. Найт. Он подчеркивал принципиальную измеримость риска и толковал его как «измеримую неопределенность». Риск является количественной мерой опасности и характеризует уровень безопасности.

Несмотря на значительное число публикаций о методах оценки рисков и концепциях управления экологической безопасностью развития сложных социотехнических систем, на практике они применяются крайне редко. Внедрение экологического риск-менеджмента в структуру систем управления развитием города в нашей стране связано со значительными трудностями как организационными, так и методологическими.

Стратегия экологической безопасности развития территорий подразумевает создание комплексной системы взаимосвязанных процедур, обеспечивающей сопровождение всех проектов, планов и программ развития и позволяющей решать задачи идентификации рисков, классификации угроз, оценки, управления, прогнозирования и страхования рисков. Меры и механизмы, обеспечивающие экологическую безопасность развития города, должны разрабатываться одновременно с программами социально-экономического развития.

В соответствии с законом РФ об охране окружающей среды, экологический риск — это вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и антропогенного характера.

Оценивать только вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия, без учета степени этого воздействия недостаточно, чтобы обосновать общеметодологические принципы и подходы к анализу и управлению экологическими рисками. Потому далее под экологическим риском будем понимать функцию вероятности P реализации отдельным источником угрозы T отдельной потенциальной уязвимости V и результирующего влияния I этого события на экосистему города:

$$\text{Риск} = R(P(T, V), I).$$

Одна из первоочередных задач экологического менеджмента — разработка системы критериев, позволяющих оценивать различные виды экологических рисков при принятии хозяйственных решений и методов поддержки принятия решений для выбора управляющих воздействий, обеспечивающих минимизацию негативных последствий.

Экологический риск характеризуется следующими нормативными уровнями:

приемлемый — это риск, уровень которого оправдан с точки зрения как экологических, так и экономических, социальных и других проблем в конкретном обществе и в конкретное время;

предельно допустимый — максимальный уровень приемлемого экологического риска. Он определяется по всей совокупности неблагоприятных экологических эффектов и не должен превышать независимо от интересов экономических или социальных систем;

пренебрежимый — минимальный уровень приемлемого экологического риска. Экологический риск находится на уровне флуктуаций уровня фоновых риска или определяется как 1 % от предельно допустимого экологического риска. В свою очередь, фоновый риск — это риск, обусловленный наличием эффектов природы и социальной среды обитания человека.

Управление экологическими рисками — практическая деятельность, направленная на обеспечение приемлемого риска ведения хозяйственной деятельности с целью обеспечения гарантий экологической безопасности устойчивого развития города.

Процесс управления рисками направлен на создание условий для снижения риска до приемлемого уровня и минимизацию возможных потерь, вызванных его реализацией.

Для решения задачи управления рисками необходимо:

создание системы экологического мониторинга, позволяющей контролировать источники опасности и создавать банк информации по основным параметрам, используемым для оценки безопасности;

создание информационно-аналитической системы для хранения и анализа информации и прогнозирования рисков;

создание методологии оценки экологической безопасности отдельных проектов и планов и программ развития города;

разработка механизмов анализа экологических рисков и расчета эффективности мер по их снижению;

формирование правовых и организационных норм для внедрения процедур управления экологическим риском.

Первым этапом процесса управления экологической безопасностью является идентификация рисков — выявление угроз и определение степени их опасности. Для этого необходимо собрать и проанализировать информацию, характеризующую виды и особенности стрессоров, определить параметры воздействия, временную и пространственную соподчиненность, выявить источники угроз и недостатки организации системы безопасности.

В процессе идентификации необходимо установить номенклатуру угроз, пространственные, временные и другие характеристики, необходимые для проведения оценки рисков.

В качестве рисков экологической безопасности могут рассматриваться:

- нарушение экологического баланса;
- превышение допустимой антропогенной нагрузки;
- превышение допустимого уровня загрязнения различных сред.

Источники экологических угроз условно могут быть поделены на антропогенные и природные. К природным рискам можно отнести изменение климата и стихийные бедствия. В качестве антропогенных угроз могут выступать следующие факторы:

- изношенность технологического оборудования и инфраструктуры;
- нарушение правил эксплуатации;
- увеличение потребления ресурсов;
- увеличение промышленного производства;
- увеличение бытовых и промышленных отходов;
- экологические преступления;
- неэффективные проектные решения.

Процесс реализации событий, приводящих к нарушению экологической безопасности, может быть представлен схематически (рис. 1). Вероятность наступления неблагоприятного события может быть значительно снижена за счет внедрения систем управления рисками.



Рис. 1. Процесс реализации угроз экологической безопасности

Проблемы, связанные с оценкой экологических рисков, активно изучаются в США, ФРГ, Японии, Нидерландах. В работах [2—5] исследуются вопросы нормирования окружающей среды и ее отдельных компонентов, методы управления природными и техногенными рисками, приводятся методики расчета допустимых воздействий на среду и человека. Оценка экологического риска строится на фундаментальных исследованиях и анализе конкретных условий функционирования экосистем.

Методы оценки риска можно условно разделить на группы: статистические, аналитические, имитационные, экспертные, нечеткие. Существуют также подходы, комбинирующие эти методы.

Статистические методы применимы в случае, когда имеется большой объем наблюдений, позволяющий с достаточной точностью оценить вероятность появления тех или иных событий. Данные методы основаны на оценке средних по времени и пространству характеристик ущербов от различных экологических угроз. Оценивается процент территории, подверженной воздействию, частота реализации угроз, средний материальный ущерб от реализации конкретной угрозы, среднее количество заболеваний, летальных исходов и т. п. Один из распространенных подходов — анализ статистических данных о состоянии здоровья людей, проживающих в данной местности, и сравнение полученных результатов с аналогичными, например, по стране. Такие исследования позволяют оценить общее влияние экологической ситуации на здоровье населения, и сделать вывод о вероятности и величине ущерба в случае сохранения существующих тенденций.

Статистический подход очень распространен ввиду простоты расчетов и может самостоятельно осуществляться работниками ведомств, предприятий, проектных организаций и местных органов власти. Результаты статистических расчетов используются при планировании, проектировании природоохранных действий, при проведении экологической экспертизы и др. Тем не менее, оценка рисков по ретроспективным данным основывается на гипотезах о стационарности изучаемых случайных процессов во времени, тогда как в большинстве своем все процессы, влияющие на формирование экологических рисков, является нестационарным как по математическому ожиданию, так и по дисперсии. К недостаткам статистического подхода можно отнести высокую стоимость процесса организации сбора необходимой первичной информации и ее обработки. В некоторых случаях отсутствие необходимой первичной информации или ее недостаточный для статистической обработки объем делает применимость данного метода оценки экологических рисков невозможным.

К статистическим методам можно отнести подходы, основанные на стохастических испытаниях (метод Монте-Карло) [6]. При известных значениях закона распределения исследуемых случайных величин (факторов риска) генерируются различные комбинации параметров воздействия. На основе компьютерных экспериментов строится распределение величины ущерба и проводится статистический анализ. К недостаткам метода следует отнести:

- наличие корреляции между изучаемыми случайными величинами;
- сложность определения вероятностных распределений;
- относительная неточность получаемых результатов (в сравнении с другими методами).

Аналитические методы предполагают специальное исследование относительно вероятности и тяжести последствий неблагоприятного развития событий в случаях, когда статистика не ведется или неполна, или когда мы сталкиваемся с неизвестными ранее воздействиями поражающего фактора, или при использовании (или утилизации) новых продуктов и технологий. Это наиболее сложные и дорогостоящие исследования. Однако при экономическом сопоставлении затрат на исследования аналитическими методами с возможными ущербами при наступлении наиболее существенных рисков событий оказывается, что анализ в сотни раз выгоднее.

Имитационное моделирование возможных экологических ситуаций и связанных с ними рисков является важнейшим методом получения информации. Имитационную модель можно рассматривать как множество правил, определяющих процессы функционирования некоторой системы и ее переходов из одного временного состояния в следующее. Эти правила могут определяться любым доступным для компьютера способом — в виде блок-схем, дифференциальных уравнений, диаграмм состояний, автоматов, сетей. Имитационные модели, как правило, менее формализованы, чем аналитические, система описывается «как она есть», в терминах, максимально приближенных к реальным.

Для построения имитационных моделей используют динамическое моделирование, дискретно-событийное моделирование, системную динамику и агентное моделирование. Все эти подходы обеспечивают возможность анализировать и предсказывать будущие состояния исследуемой системы и прогнозировать степень негативных воздействий с учетом влияния различных факторов. Непосредственно в ходе имитационного эксперимента можно вводить дополнительные данные, конструировать новые информативные показатели, наблюдать графики изменения показателей и переменных и оценивать происходящие процессы [7].

В качестве входных воздействий используют значения различных показателей. Часть из них может быть с той или иной точностью измерена (концентрации элементов и иные показатели), некоторые заданы в нечеткой форме (например, эффективность использования территорий, экологический баланс и др.). Каждый из явно или неявно определенных показателей порождает соответствующий частный критерий, формализация которого нетривиальна. При формировании критериев необходимо учитывать важность способа градации допустимых воздействий на окружающую среду и учет всех экологических эффектов от добычи сырья до производства и утилизации продукции.

Экспертные методы относительно дешевы, поскольку основываются на опыте и знаниях людей, обладающих требуемым набором знаний, и не требуют привлечения крупных специализированных организаций, дорогостоящих приборов, оборудования и пр. После идентификации и формирования перечня рисков экспертам предлагается оценить вероятность их наступления, руководствуясь специальной системой оценок, после чего применяется процедура взвешивания рисков и формируется интегральный показатель.

Эффективность применения экспертного метода связана с выбором группы экспертов. Поэтому при проведении экспертных опросов для решения задач анализа и оценки риска необходимо использовать методы согласо-

вания групповых решений на основе коэффициентов конкордации, построения обобщенных ранжировок по индивидуальным ранжировкам экспертов с использованием метода парных сравнений и другие.

Сложная система нелинейных связей, определяющих взаимовлияние различных угроз и отсутствие необходимой информации для получения статистических или экспертных оценок, значительно осложняет задачу оценки экологических рисков. Вероятностные или экспертные методы оценки показателей или процессов либо элиминируют неопределенность из модели оценки, что неправомерно, т. к. неопределенность является неотъемлемой характеристикой любого прогноза, либо неспособны формально описать и учесть все возможное разнообразие видов неопределенности [8]. Использование аппарата нечетких множеств для решения задач оценки рисков позволит включать в анализ качественные переменные (например, понятия «малый» и «средний» (уровень загрязнения), «высокая» или «низкая» (вероятность реализации угрозы) и использовать стандартные правила преобразования нечетких данных в четкие числа (методы дефазификации) и алгоритмы нечеткого вывода (Мамдани, Цукамото, Ларсена, алгоритм Сугено) [9].

Рассмотрим для примера задачу оценки экологических рисков некоторого проекта, предполагающего строительство или реконструкцию объектов на территории города. Технологическая неопределенность, связанная с выполнением проекта, и неопределенность исходных данных, полученных в результате предварительных исследований, как правило, не позволяют с достаточной точностью оценить значения показателей экологической безопасности [10]. Интегральный экологический риск будем рассматривать как сумму риска превышения допустимой антропогенной нагрузки и рисков превышения допустимого уровня загрязнения различных сред. Будем считать, что на основе проведенных исследований и экспертного анализа получены значения для оценки воздействия на окружающую среду и определены потенциальные угрозы экологической безопасности. Опишем их следующими лингвистическими переменными: изношенность технологического оборудования и инфраструктуры T_1 , увеличение потребления ресурсов T_2 , увеличение количества бытовых и промышленных отходов T_3 , неэффективные проектные решения T_4 . Для заданных лингвистических переменных с терм-множеством значений Очень низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень Высокий определим соответствующие функции принадлежности (рис. 2).

$$\mu_1 = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq x < 0,1 \\ 10 \cdot (0,2 - x), & \text{при } 0,1 \leq x < 0,2 \\ 0, & \text{при } 0,2 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < 0,05 \\ 10 \cdot (0,15 - x), & \text{при } 0,05 \leq x < 0,15 \\ 1, & \text{при } 0,15 \leq x < 0,35 \\ 10 \cdot (0,45 - x), & \text{при } 0,35 \leq x < 0,45 \\ 0, & \text{при } 0,45 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < 0,3 \\ 10 \cdot (0,4 - x), & \text{при } 0,3 \leq x < 0,4 \\ 1, & \text{при } 0,4 \leq x < 0,6 \\ 10 \cdot (0,7 - x), & \text{при } 0,6 \leq x < 0,7 \\ 0, & \text{при } 0,7 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < 0,55 \\ 10 \cdot (0,65 - x), & \text{при } 0,55 \leq x < 0,65 \\ 1, & \text{при } 0,65 \leq x < 0,85 \\ 10 \cdot (0,95 - x), & \text{при } 0,85 \leq x < 0,95 \\ 0, & \text{при } 0,95 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_5 = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq x < 0,8 \\ 10 \cdot (0,9 - x), & \text{при } 0,8 \leq x < 0,9 \\ 1, & \text{при } 0,9 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

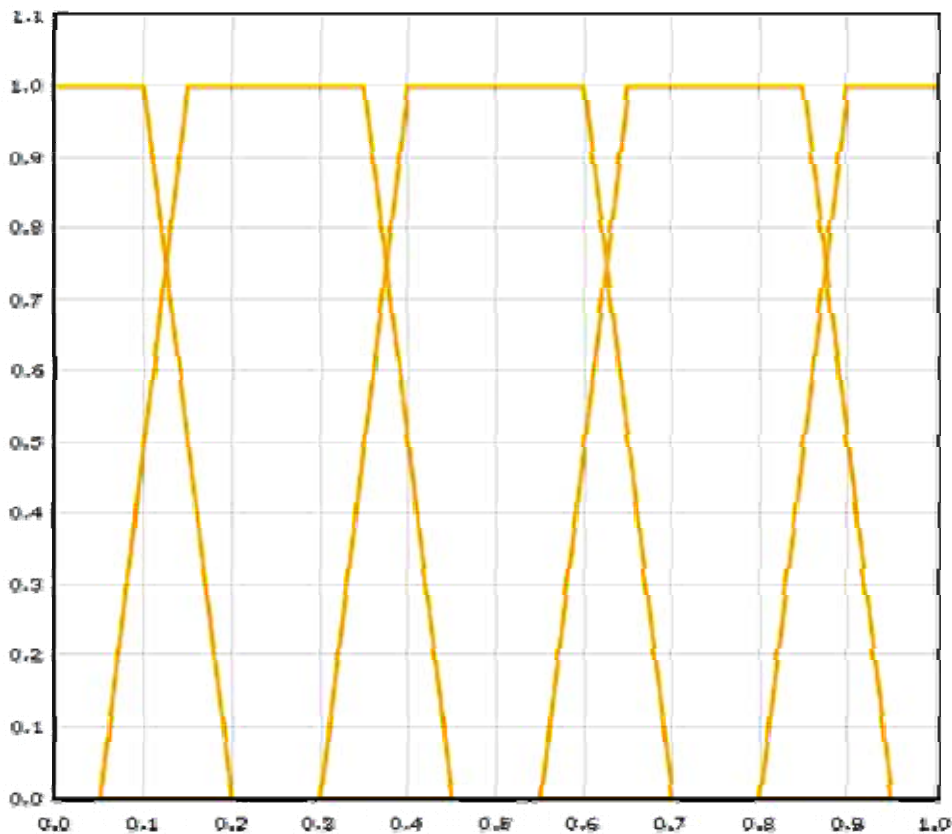


Рис. 2. Функции принадлежности для T_i

Для каждого фактора определим значения весов P_i и оценим возможность реализации V_i (табл.).

Факторы	P_i	V_i	Функции принадлежности				
			Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
T_1	0,4	0,4	0	1	0	0	0
T_2	0,1	0,2	0	1	0	0	0
T_3	0,3	0,5	0	0	1	0	0
T_4	0,2	0,7	0	0	0	1	0
Узловые точки			0,05	0,25	0,5	0,75	0,95

Опишем базу правил системы вывода. Возможность реализации риска описывается лингвистической переменной R с термами: «Высокая», «Средняя» и «Низкая», уровень ущерба — U с термами: «Высокий», «Средний» и «Низкий». Интегральная оценка описывается лингвистической переменной Risk с термами: «Высокий», «Средний», «Низкий».

Тогда:

- 1) если R = «Низкая» и U = «Низкий», то Risk = «Низкий»;
- 2) если R = «Средняя» и U = «Низкий», то Risk = «Низкий»;
- 3) если R = «Высокая» и U = «Низкий», то Risk = «Низкий»;
- 4) если R = «Низкая» и U = «Средний», то Risk = «Низкий»;
- 5) если R = «Средняя» и U = «Средний», то Risk = «Средний»;
- 6) если R = «Высокая» и U = «Средний», то Risk = «Средний»;
- 7) если R = «Низкая» и U = «Высокий», то Risk = «Средний»;
- 8) если R = «Средняя» и U = «Высокий», то Risk = «Средний»;
- 9) если R = «Высокий» и U = «Высокий», то Risk = «Высокий».

Установим соответствие между значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной (рис. 3).

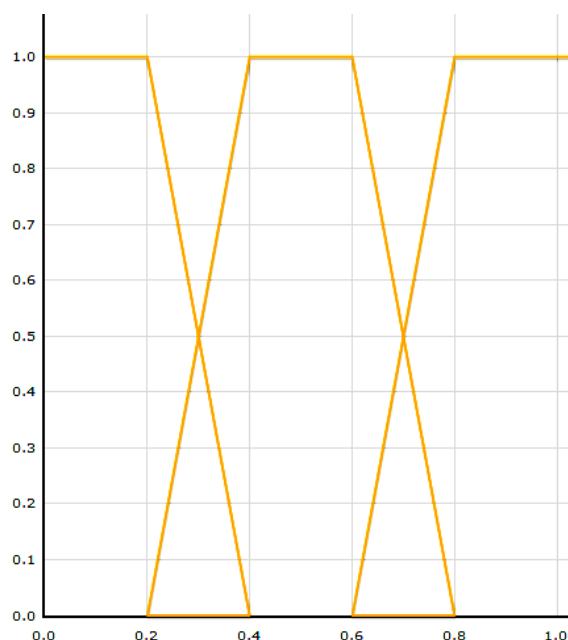


Рис. 3. Функции принадлежности для переменных R , U , Risk

Следующим этапом является определение степени истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода. Истинность правила определяется как минимальное значение каждого из подусловий, входящих в это правило. Применив правила, получим набор нечетких множеств, объединив которые, определим функции принадлежности выходных переменных.

Используя процедуру дефазификации (например, метод центра тяжести [10]) получаем количественное значение для интегрального показателя риска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Реймерс Н. Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 639 с.
2. Sanchez R., McCormick N. J. On the uniqueness of the inverse source problem for linear particle transport theory // Transport Theory and Statist. Phys. 37, 236—263 (2008).
3. BroRasmussen F. The environmental experience: ecosystem protection // Toxicology Letters. Elsevier, Netherlands. P. 4—5. 1996.
4. Penenko V., Tsvetova E. Discrete-analytical methods for the implementation of variational principles in environmental applications // J. of Computational and Applied Mathematics (2008), doi:10.1016/j.cam.2008.08.018.
5. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды / А. А. Быков, Л. Г. Соленова, Г. М. Земляная, В. Д. Фурман. М., 1999. 70 с.
6. Волков И., Грачева М. Вероятностные методы анализа рисков [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/finanalysis/invest>. (дата обращения: 07.11.2012).
7. Садовникова Н. П., Ермощенко А. К. Общие вопросы применения методологии имитационного моделирования для оценки эколого-экономической эффективности проектов градостроительной деятельности // Известия Волгоградского государственного технического университета. Т. 9. 2011. № 11. С. 94—97.
8. Санжапов Б. Х., Копылов А. В., Копылов Д. А. Классификация методов оценки инновационного потенциала предприятия // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 7(21). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru (дата обращения: 14.06.2012).
9. Круглов В. В., Дли М. И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 256 с.
10. Санжапов Б. Х., Садовникова Н. П. Применение методов мягких вычислений и когнитивного моделирования в задачах прогнозирования экологической безопасности строительства // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 4. С. 36—40.

1. Reymers N. F. Prirodopol'zovanie. M.: Mysl', 1990. 639 s.
2. Sanchez R., McCormick N. J. On the uniqueness of the inverse source problem for linear particle transport theory // Transport Theory and Statist. Phys. 37, 236—263 (2008).
3. BroRasmussen F. The environmental experience: ecosystem protection // Toxicology Letters. Elsevier, Netherlands. P. 4—5. 1996.
4. Penenko V., Tsvetova E. Discrete-analytical methods for the implementation of variational principles in environmental applications // J. of Computational and Applied Mathematics (2008), doi:10.1016/j.cam.2008.08.018.
5. Metodicheskie rekomendatsii po analizu i upravleniyu riskom vozdeystviya na zdorov'e naseleniya vrednykh faktorov okruzhayushchey sredy / A. A. Bykov, L. G. Solenova, G. M. Zemlyanaya, V. D. Furman. M., 1999. 70 s.
6. Volkov I., Gracheva M. Veroyatnostnye metody analiza riskov [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.cfin.ru/finanalysis/invest>. (data obrashcheniya: 07.11.2012).
7. Sadovnikova N. P., Ermoshchenko A. K. Obshchie voprosy primeneniya metodologii imitatsionnogo modelirovaniya dlya otsenki ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti projektov gradostroitel'noy deyatel'nosti // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. T. 9. 2011. № 11. S. 94—97.
8. Sanzhapov B. Kh., Kopylov A. V., Kopylov D. A. Klassifikatsiya metodov otsenki innovatsionnogo potentsiala predpriyatiya // Internet-vestnik VolGASU. Ser.: Stroit. informatika. 2012. Vyp. 7(21). Rezhim dostupa: www.vestnik.vgasu.ru (data obrashcheniya: 14.06.2012).
9. Kруглов В. В., Дли М. И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002. 256 с.

10. *Sanzhapov B. Kh., Sadovnikova N. P.* Primenenie metodov myagkikh vychisleniy i kognitivnogo modelirovaniya v zadachakh prognozirovaniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva // *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2011. № 4. S. 36—40.

© Садовникова Н. П., Кузнецов М. С., Васильев С. А., 2012

*Поступила в редакцию
в ноябре 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Садовникова Н. П., Кузнецов М. С., Васильев С. А. Управление экологическими рисками проектов территориального развития // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 8 (24). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.