



Управление в социальных и экономических системах

УДК 504.064:004.9

В.А. Рыбак
Минск, Республика Беларусь

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

V.A. Rybak
Minsk, Belarus

TECHNOLOGY DECISION SUPPORT FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Описана новая технология интеллектуальной поддержки принятия решений в области рационального природопользования и охраны окружающей среды. Предложен метод решения оптимизационных экологических задач с использованием генетических алгоритмов. Показана возможность применения теории нечетких множеств и метода анализа иерархий для выбора наилучшей альтернативы в системах поддержки принятия решений в области рационального природопользования.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ. ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ. ТЕОРИЯ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ.

In the article new technology intelligent decision support for the management of natural resources and environmental protection is described. The method of solving optimization ecological problems using genetic algorithms is proposed. The possibility of using fuzzy set theory and the analytic hierarchy process to select the best alternative in the decision support systems in the field of environmental management is showed.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. DECISION SUPPORT. GENETIC ALGORITHMS. FUZZY SETS THEORY.

Процессы принятия решения лежат в основе любой целенаправленной деятельности: в технике они предшествуют разработке технологии создания новых устройств, выбору управляющих воздействий сложными агрегатами или системами; в социальной сфере используются для организации функционирования и развития социальных процессов; в медицине предшествуют постановке диагноза и выбору метода лечения; в экономике обеспечивают оптимальное функционирование и взаимодействие производственных и хозяйственных организаций.

Особую роль системы поддержки принятия решений (СППР) призваны играть в области эко-

логии, где их применение, с одной стороны, обусловлено многокритериальностью выбора возможной альтернативы, а с другой – должно быть основой компромисса между интересами социума и природы.

Далее мы будем говорить о принятии решений в широком (государственном) смысле. Последствия таких решений носят глобальный характер, а просчеты могут стать причиной экологического (социально-экономического, санитарно-гигиенического) кризиса.

Конкретизируя область наших исследований, следует заметить, что в общем случае СППР можно назвать телефонный справочник или любой ре-

кламный буклет, однако в данной статье мы будем рассматривать информационно-аналитические (ИА) интеллектуальные СППР (ИАИСППР). Первая часть аббревиатуры – ИА – означает, что данные системы уже содержат в себе, помимо набора некоторой информации, средства ее анализа и представления. Интеллектуальность СППР наследуется от применения методов, разработанных в рамках искусственного интеллекта, таких, как рассуждение на основе прецедентов, имитационное моделирование, генетические алгоритмы, эволюционные вычисления, нейронные сети и др.

Следует обозначить соседей и ближайшие аналоги СППР – экспертные системы и автоматизированные системы управления. При этом в настоящее время можно говорить о полной или частичной инкапсуляции методов последних в ИАИСППР.

Современные СППР представляют собой системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь лицам, принимающим решения. С помощью СППР может производиться выбор решений некоторых неструктурированных и слабо структурированных задач, в т. ч. и многокритериальных.

СППР, как правило, являются результатом мультидисциплинарного исследования, включающего теории баз данных, искусственного интеллекта, интерактивных компьютерных систем, методов имитационного моделирования. В нашем случае будут использованы знания из области информатики, экономики, математики, геоэкологии, медицины, биологии и физики.

Методом, общим для всех задач принятия решений и представляющим основу его методологии, является метод диалектической логики. Из него вытекает определенный порядок процедур принятия решений и содержание структурно-логических элементов системного анализа, логика их использования.

Этот общий метод при решении конкретных задач принятия решений дифференцируется и воплощается в самых различных методах, которые в зависимости от принятого принципа классификации могут быть разделены на разные группы, например, на методы анализа и синтеза, описательные и экспериментальные, по отдельным этапам процесса принятия решений.

В зависимости от степени использования при подготовке решений формальных элементов можно выделить три группы методов: 1) математические (формальные), при применении которых преобладают объективные начала; 2) эвристические (неформальные), при применении которых преобладают субъективные начала; 3) комбинированные математические и эвристические.

Далее описывается технология интеллектуальной поддержки принятия решений в области рационального природопользования и охраны окружающей среды (ОС), состоящая из научных методов и программных средств. При этом под технологией в общем виде понимается совокупность методов и инструментов для достижения желаемого результата. Информационные технологии (ИТ, от англ. information technology, IT) – широкий класс дисциплин и областей деятельности, относящихся к технологиям создания, сохранения, управления и обработки данных, в т. ч. с применением вычислительной

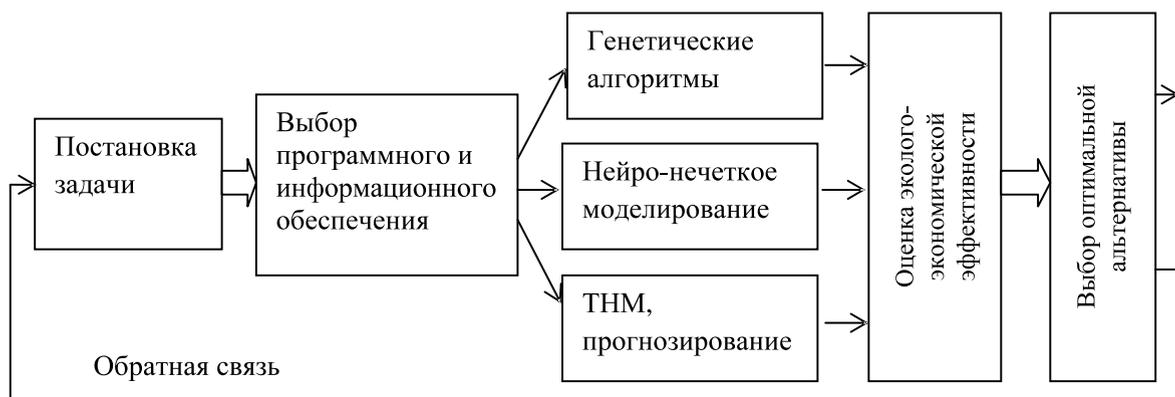


Рис. 1. Компонентная схема технологии ППР

техники [4].

Схематично разработанную технологию можно представить в виде блоков, изображенных на рис. 1 (ТНМ – Теория нечетких множеств).

Как следует из представленной на рисунке схемы, после постановки задачи наступает этап выбора необходимых исходных данных и инструментов для их получения и обработки. Если на данном этапе не удастся выбрать необходимое программное и информационное обеспечение, то необходимо вернуться к первому этапу и переформулировать задачу. Также следует воспользоваться обратной связью в случае, когда после выполнения последнего шага технологии не удастся осуществить выбор наилучшей оптимальной альтернативы (например, по причине их равнозначности).

Метод решения задач оптимизации качества городской окружающей среды с применением генетических алгоритмов (ГА), использующий новый алгоритм расчета антропогенной нагрузки [1], описан нами в [3]. В процессе оценки эффективности использования ГА подтвердилось ранее высказанное предположение о том, что с увеличением числа обрабатываемых параметров эффективность использования ГА возрастает. Так, для количества итераций менее 1000 применение ГА не дает преимуществ по сравнению с алгоритмами прямого поиска (полного перебора), но при возрастании пространства поиска выигрыш становится существенным и, например, для 61 млн вариантов оптимальное решение находится менее чем за 9 000 итераций ГА. Максимальная эффективность применения ГА в задачах оптимизации экологического состояния городской среды в наших исследованиях составила 41,8 (раз).

Метод нейро-нечеткого моделирования позволяет исследовать многокритериальные зависимости, такие, например, как влияние экологического состояния атмосферного воздуха и почвенного покрова на здоровье населения. Получаемая при этом нечеткая модель точнее линейной и квадратичной регрессий описывает исследуемые зависимости. Важно также заметить, что использование вместо простого метода решетчатого разбиения (Grid partition в системе MatLab) метода сложной кластеризации (Sub. clustering) позволяет еще больше снизить уровень ошибки синтезированной нейро-нечеткой сети и тем самым повысить ее адекватность.

В случае необходимости получения количественного прогноза и необоснованности применения вероятностных моделей технология предлагает использовать новый метод прогнозирования с использованием ТНМ.

Для оценки эколого-экономической эффективности предложен новый метод, комплексно учитывающий эколого-экономический и социальный эффект [3].

Для решения задач выбора оптимальной альтернативы из множества имеющихся предлагается использовать ТНМ и метод анализа иерархий.

В качестве примера использования разработанной технологии для принятия решений в нечетких условиях риска и неопределенности рассмотрим сравнение четырех природоохранных проектов (P_1 – перенос промышленного производства за черту города; P_2 – установка нового технологического оборудования, позволяющего снизить объем выбросов; P_3 – закупка и использование новейшего безотходного сырья; P_4 – установка очистных фильтров) с целью выбора и реализации наиболее оптимального. Для оценки проектов воспользуемся такими критериями: G_1 – уровень научной проработки проекта; G_2 – ожидаемый эколого-экономический эффект; G_3 – риски; G_4 – скорость реализации проекта; G_5 – перспективы дальнейшего развития проекта; G_6 – стоимость проекта.

Экспертным высказываниям соответствуют следующие матрицы парных сравнений (при этом $A_{ji}=1/A_{ij}$; отсутствию преимущества соответствует единица, слабому преимуществу – тройка, существенному – пятерка, явному – семерка):

$$A(G_1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(G_2) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(G_3) = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(G_4) = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(G_5) = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 \\ 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A(G_6) = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 & 1/7 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

В каждой матрице шесть элементов соответствуют парным сравнениям, остальные элементы найдены с учетом того, что матрица парных сравнений является диагональной и обратно симметричной.

Учитывая, что степени принадлежности, как правило, принимают равными соответствующим координатам собственного вектора матрицы парных сравнений, и, применяя правила нахождения собственного вектора, получаем следующие нечеткие множества:

$$\tilde{G}_1 = \left\{ \frac{0,38}{P_1}, \frac{0,38}{P_2}, \frac{0,17}{P_3}, \frac{0,07}{P_4} \right\}$$

$$\tilde{G}_2 = \left\{ \frac{0,57}{P_1}, \frac{0,23}{P_2}, \frac{0,13}{P_3}, \frac{0,07}{P_4} \right\}$$

$$\tilde{G}_3 = \left\{ \frac{0,41}{P_1}, \frac{0,13}{P_2}, \frac{0,41}{P_3}, \frac{0,05}{P_4} \right\}$$

$$\tilde{G}_4 = \left\{ \frac{0,08}{P_1}, \frac{0,23}{P_2}, \frac{0,46}{P_3}, \frac{0,23}{P_4} \right\}$$

$$\tilde{G}_5 = \left\{ \frac{0,08}{P_1}, \frac{0,23}{P_2}, \frac{0,23}{P_3}, \frac{0,46}{P_4} \right\}$$

$$\tilde{G}_6 = \left\{ \frac{0,05}{P_1}, \frac{0,4}{P_2}, \frac{0,15}{P_3}, \frac{0,4}{P_4} \right\}$$

Из приведенных нечетких множеств следует, что проект P_1 является лучшим по критериям G_1 , G_2 и G_3 , проект P_2 – по критериям G_1 и G_6 , проект P_3 – по критериям G_3 и G_4 , а проект P_4 – по критериям G_5 и G_6 . Поэтому выбор проекта будет зависеть от важности критериев.

Для расчета коэффициентов относительной важности критериев воспользуемся экспертным методом парных сравнений. Пусть экспертным высказываниям соответствует следующая матрица парных сравнений:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/2 & 3 & 1 & 3 \\ 4 & 1 & 2 & 6 & 3 & 6 \\ 2 & 1/2 & 1 & 5 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/6 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1 & 1/3 & 1/2 & 3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/6 & 1/3 & 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

Применяя те же походы, что и при нахождении указанных выше нечетких множеств, находим коэффициенты относительной важности критериев $G_1 - G_6$.

$\alpha_1 = 0,15$; $\alpha_2 = 0,37$; $\alpha_3 = 0,23$; $\alpha_4 = 0,04$; $\alpha_5 = 0,13$; $\alpha_6 = 0,08$, что означает наибольшую важность при принятии решения ожидаемого эколого-экономического эффекта (G_2) и рисков (G_3).

С учетом того, что при неравновесных критериях степени принадлежности нечеткого множества \tilde{D} находят как $\mu_D(P_j) = \min_{i=1,n} (\mu_{G_i}(P_j))^{\alpha_i}$, $j = \overline{1, k}$, где α_i – коэффициент относительной важности критерия G_i , $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1$, получаем такие нечеткие множества:

$$\widetilde{G}_1^{\alpha_1} = \left\{ \frac{0,38^{0,15}}{P_1}, \frac{0,38^{0,15}}{P_2}, \frac{0,17^{0,15}}{P_3}, \frac{0,07^{0,15}}{P_4} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,865}{P_1}, \frac{0,865}{P_2}, \frac{0,767}{P_3}, \frac{0,671}{P_4} \right\};$$

$$\widetilde{G}_2^{\alpha_2} = \left\{ \frac{0,57^{0,37}}{P_1}, \frac{0,23^{0,37}}{P_2}, \frac{0,13^{0,37}}{P_3}, \frac{0,07^{0,37}}{P_4} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,812}{P_1}, \frac{0,581}{P_2}, \frac{0,470}{P_3}, \frac{0,374}{P_4} \right\};$$

$$\widetilde{G}_3^{\alpha_3} = \left\{ \frac{0,41^{0,23}}{P_1}, \frac{0,13^{0,23}}{P_2}, \frac{0,41^{0,23}}{P_3}, \frac{0,05^{0,23}}{P_4} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,815}{P_1}, \frac{0,625}{P_2}, \frac{0,815}{P_3}, \frac{0,502}{P_4} \right\};$$

$$\widetilde{G}_4^{\alpha_4} = \left\{ \frac{0,08^{0,04}}{P_1}, \frac{0,23^{0,04}}{P_2}, \frac{0,46^{0,04}}{P_3}, \frac{0,23^{0,04}}{P_4} \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{0,904}{P_1}, \frac{0,943}{P_2}, \frac{0,969}{P_3}, \frac{0,943}{P_4} \right\};$$

$$\begin{aligned} \widetilde{G}_5^{\alpha 5} &= \left\{ \frac{0,08^{0,13}}{P_1}, \frac{0,23^{0,13}}{P_2}, \frac{0,23^{0,13}}{P_3}, \frac{0,46^{0,13}}{P_4} \right\} = \\ &= \left\{ \frac{0,720}{P_1}, \frac{0,826}{P_2}, \frac{0,826}{P_3}, \frac{0,904}{P_4} \right\}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widetilde{G}_6^{\alpha 6} &= \left\{ \frac{0,05^{0,08}}{P_1}, \frac{0,4^{0,08}}{P_2}, \frac{0,15^{0,08}}{P_3}, \frac{0,4^{0,08}}{P_4} \right\} = \\ &= \left\{ \frac{0,787}{P_1}, \frac{0,929}{P_2}, \frac{0,859}{P_3}, \frac{0,929}{P_4} \right\}; \end{aligned}$$

Пересечение этих нечетких множеств дает следующие степени принадлежности нечеткого решения \tilde{D} :

$$\mu_D(P_1) = \min(0,865, 0,812, 0,815, 0,904, 0,720, 0,787) = 0,720;$$

$$\mu_D(P_2) = \min(0,865, 0,581, 0,625, 0,943, 0,826, 0,929) = 0,581;$$

$$\mu_D(P_3) = \min(0,767, 0,470, 0,815, 0,969, 0,826, 0,859) = 0,470;$$

$$\mu_D(P_4) = \min(0,671, 0,374, 0,502, 0,943, 0,9046, 0,929) = 0,374.$$

В результате получаем нечеткое множество $\tilde{D} = \left\{ \frac{0,720}{P_1}, \frac{0,581}{P_2}, \frac{0,470}{P_3}, \frac{0,374}{P_4} \right\}$, которое свидетельствует о преимуществе проекта P_1 над

остальными. Таким образом, проект P_1 лучше других одновременно удовлетворяет всем критериям с учетом их важности, а его выбор является результатом применения технологии интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в социально-экологических системах [2].

В рамках описываемой технологии нами также разработан информационно-аналитический Интернет-портал, который может использоваться на шагах 2 и 5 (см. рис. 1), позволяющий автоматизировать процессы сбора, хранения, обработки и отображения предметных данных, поддержки принимаемых решений.

К основным разделам портала относятся: Главная страница, Регламент, Новости, Запасы и использование ресурсов, Тенденции и прогнозы, Поддержка принимаемых решений, Обратная связь (рис. 2).

Таким образом, описанная технология поддержки принятия решений в области рационального природопользования позволяет повысить эффективность в соответствующих системах управления благодаря применению генетических алгоритмов, нейро-нечеткого моделирования, теории нечетких множеств и метода анализа иерархий.

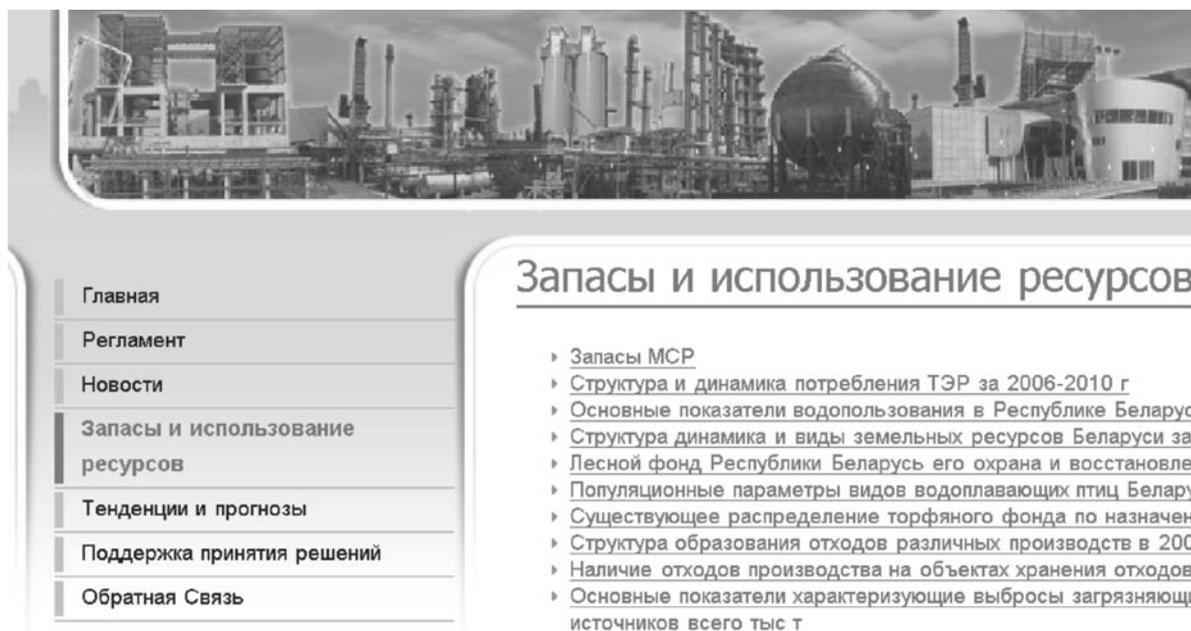


Рис. 2. Фрагмент страницы портала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыбак, В.А.** Интегральная оценка экологического состояния урбанизированных территорий на примере города Могилева [Текст] / В.А. Рыбак, В.В. Валентейчик, В.И. Матвеева [и др.] // Экология урбанизированных территорий. –2010. –№ 1. –С. 97–103.
2. **Рыбак, В.А.** Методологические основы принятия решений для управления природоохранной деятельностью [Текст] / В.А. Рыбак. –Минск: РИВШ, 2009. –274 с.
3. **Рыбак, В.А.** Анализ и оптимизация антропогенной нагрузки на окружающую среду [Текст] / В.А. Рыбак // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. –2012. –№ 3 (150). –С. 93–99.
4. [Электронный ресурс] /Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

REFERENCES

1. Rybak V.A., Valenteichik V.V., Matveeva V.I. i dr. Integral'naia otsenka ekologicheskogo sostoianiia urbanizirovannykh territorii na primere goroda Mogileva / Ekologiya urbanizirovannykh territorii. – 2010. – № 1. – S. 97–103.
2. Rybak V.A. Metodologicheskie osnovy priniatiia reshenii dlia upravleniia prirodookhrannoi deiatel'nost'iu. –Minsk: RIVSh, 2009. –274 s.
3. Rybak V.A. Analiz i optimizatsiia antropogennoi nagruzki na okruzhaiushchuiu sredu / Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie. – 2012. – № 3 (150). – S. 93–99.
4. Available <http://ru.wikipedia.org/wiki/>