

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСОЁМКИХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

В настоящей статье описаны компоненты системы поддержки принятия решений для анализа и прогнозирования эколого-экономических показателей ресурсоёмких инновационных проектов. В исследование также включены методы и средства автоматизации управления природоохранной деятельностью, информационный портал для сбора и обработки параметров, методика прогнозирования. Новым представляется как комплексность при подходе к решению поставленной задачи, так и применение теории нечётких множеств и модифицированного метода анализа иерархий.

The article describes the components of the decision support system for analysis and forecasting of ecological and economic parameters of industrial innovation projects including methods and automation of environmental management, information portal for the collection and processing parameters, forecasting methodology. It is presented as a new complexity in the approach to the task, and the application of the theory of fuzzy sets and modification of the method of analysis of hierarchies.

**Ключевые слова:** природопользование, искусственный интеллект, принятие решений, экология.

### 1. Введение

В настоящее время в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 26 мая 2011 г. № 669 «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь (ГПИР РБ) на 2011-2015 годы» реализуется Государственная программа инновационного развития экономики страны.

Государственная программа направлена на достижение главного приоритета страны – перевода национальной экономики в режим интенсивного развития в рамках белорусской экономической модели и определяет цели и задачи инновационного развития экономики, направления, механизмы и средства их реализации. В основу государственной программы заложено поэтапное построение национальной инновационной системы (НИС) – современной институциональной модели генерации, распространения и использования знаний, их воплощения в новых продуктах, технологиях, услугах во всех сферах жизни белорусского общества [1].

Вместе с тем, среди контролируемых показателей реализуемых инновационных проектов отсутствуют данные об экологичности работ, то есть эффективность потребления природных ресурсов, безотходность и энергоёмкость напрямую не учитываются. Хотя в современных условиях проект не может быть назван инновационным, если он не в полной мере соответствует требованиям охраны окружающей среды

(ОС). Таким образом, обозначенное направление является достаточно актуальным.

### 2. Анализ существующих методов и средств автоматизации управления природоохранной деятельностью

Современный процесс управления природопользованием и охраной окружающей среды не относится к классу стандартных, теоретически обоснованных и практически отработанных автоматизированных процессов с использованием известных теоретических основ, принципов построения и технических средств, практикуемых в управлении технологическими процессами в любых областях промышленности, сельского хозяйства. Его можно характеризовать как организационно-административный метод управления, основанный на сложном комплексе мероприятий, методов и средств, реализуемых специалистами управленческих структур соответствующих министерств, ведомств и организаций. В качестве механизмов управления здесь применяются законы, нормы, постановления, указы, инструкции, предписания, различные мероприятия. Тем не менее, использование информационных технологий (ИТ) на базе современной компьютерной техники является основной и наиболее перспективной методологией управления природопользованием и охраной окружающей среды.

Проблема разработки информационной технологии формирования и управления информацией о состоянии и использовании природных ресурсов в народном хозяйстве, анализа, оценки и прогнозирования экологического состояния основных природных сред, разработка и реализация на этой основе эффективных природоохранных мероприятий и методов их социально-экономической оценки является важной проблемой мирового уровня. Большое внимание ей уделяется в странах СНГ, в частности, в Российской Федерации и, в первую очередь, разработке комплексных территориальных кадастров природных ресурсов [2]. КТКПР можно рассматривать как аналог создаваемой в Беларуси системы кадастровых данных, отражающих природно-ресурсный потенциал (ПП) административных территорий. Он является предметной частью территориальной автоматизированной системы и представляет собой государственный свод системно-организованных данных о природных ресурсах и природных объектах в границах административных территорий (субъект РФ, округ, район). АИС КТКПР предназначена и для обеспечения процесса принятия управленческих решений по вопросам охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности. Она создаётся на основе информационных и телекоммуникационных технологий, что означает включение в неё систем создания цифровых кадастровых карт и планов, баз данных по учёту природных ресурсов и загрязнения природных сред, а также современных технических и программных средств для работы в различных режимах удаленного доступа [3].

В Украине создаётся свой вариант комплексного территориального кадастра. В нём есть отличия. Для эффективного обеспечения стратегии устойчивого развития регионов информационный свод сведений о природных ресурсах будет не только (и не столько) комплексным территориальным кадастром, сколько многоцелевым комплексным кадастром-инвентаризатором всех наличествующих и используемых в регионе природных ресурсов (КТКПРом). Он будет включать все сведения относительно ценности, практической значимости, перспектив, целесообразности промышленного освоения и использования о каждом из кадастров, проявленных в регионе природных ресурсов, как в текущий момент, так и в обозримом будущем [2].

Среди западных стран обращает на себя внимание методический подход к экологическим исследованиям окружающей среды в Бельгии – одной из наиболее развитых стран ЕС. Здесь, наряду с комплексной оценкой экологического состояния ОС, обращено большое внимание на системную идентификацию практически всех источников загрязнения окружающей среды, включая основные ингредиенты загрязнения. При этом комплекс исследований проводился в течение 10 лет, что позволило выявить ряд важных показателей динамики загрязнения ОС и определить вклад (долю) каждого из основных источников загрязнения в общее экологическое состояние ОС. Если принять общее состояние ОС за 100%, то усреднённое за 10 лет антропогенное воздействие каждого из них следующее: население – 15%, промышленность – 25%, энергетика – 9%, сельское хозяйство – 12%, транспорт – 22%, торговля и бытовые услуги – 17%. На долю остальных факторов (туризм и отдых) приходится 5%. Доминирующим воздействием являются промышленность и транспорт (25% и 22%) [4].

В Беларуси в последнее время также уделяется большое внимание разработке кадастров природных систем, баз и банков данных, АИС и ГИС в области формирования и управления информацией о состоянии природных ресурсов и сред, состоянию ПП и окружающей среды в городах и административных регионах. Так, эта проблема достаточно полно раскрыта в концепции Государственного кадастра территорий, разработанной РУП «Республиканский центр кадастра территорий» [5]. Здесь административные территории рассматриваются как комплексные территориальные природные ресурсы, ресурсы среды жизнедеятельности населения.

На данный момент в Беларуси лучшей интегрированной системой в рассматриваемой области является АИС «Кадастры», разработанная в учреждении «БЕЛНИЦ ЭКОЛОГИЯ». Хотя и она не лишена ряда недостатков: АИС «Кадастры» является клиент-серверным приложением и не может быть тиражирована; сложность обновления данной системы; доступ к базе данных не является мгновенным и постоянным для всех пользователей; система может применяться только на Windows-платформах.

Таким образом, приняв за основу принцип комплексности информации для целей управления инновационными проектами была создана Интернет-ориентированная версия АИС «Кадастры», которая позволяет получать дан-

ные об имеющихся природных ресурсах и их использовании. Однако для анализа и управления эколого-экономическими показателями было предложено отдельное решение.

### 3. Программная реализация средств обработки и отображения параметров экологичности инновационных проектов

Схема информационной структуры Портала изображена на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема информационной структуры Портала

В целом, разработанные и реализованные требования к Интернет-Порталу позволяют обеспечить надёжность и эффективность функционирования системы сбора, хранения, обработки и отображения распределённой информации о параметрах инновационных проектов.

Информационная и логическая структура Портала разработана с учётом поставленных задач и позволяет пользователям осуществлять обратную связь с Администратором, добавлять и редактировать новости, просматривать регламент и осуществлять статистическую обработку параметров инновационных проектов.

Страница «Вход в систему» предназначена для защиты Портала от несанкционированного доступа. Идентификация абонентов системы происходит с помощью ввода имени и пароля абонента, выданного ему администратором Портала. Если имя и пароль абонента будут введены правильно, открывается главная страница Портала. Без аутентификации гостю доступны только ограниченные ресурсы Портала.

### 4. Методика прогнозирования параметров экологичности инновационных проектов

При обработке статистических данных, касающихся наличия природных ресурсов и числовых параметров инновационных проектов, часто возникает задача прогнозирования рассматриваемых числовых рядов на ближайшую перспективу. Сложность в получении адекватных прогнозов состоит в наличии неустранимой неопределённости, которая связана с рядом факторов.

В условиях рынка любая экономическая организация в своей деятельности, в том числе и инвестиционной, неизбежно сталкивается с неопределённостью. Фирма (компания) не обладает дос-

таточными (полными) данными о своём настоящем и будущем, она не в состоянии предугадать все изменения, которые могут произойти во внешней среде. Планирование как одно из составляющих контроллинга бизнес-процессов служит способом прояснения внутренних условий деятельности, уменьшения неопределённости и риска. Однако любой, даже самой крупной фирме, не по силам полностью устранить неопределённость и, следовательно, целиком спланировать свою деятельность.

Следует отметить, что еще одним источником неопределённости может быть и лицо, принимающее решение (ЛПР). Одна из проблем, связанных с ЛПР, – это нечёткость в понятиях, суждениях и предпочтениях, неопределённость временного промежутка, на котором сохраняется монотонность предпочтений и суждений ЛПР.

Как показано в работе [6] неопределённость может быть учтена с использованием теории нечётких множеств (ТНМ). При этом в случае ис-

пользования экспертных оценок последние задаются в интервально-нечётком виде.

Для прогнозирования уровня обеспеченности природными ресурсами реализуемых инновационных проектов и их эколого-экономических параметров нами предлагается следующая новая методика:

1. Ретроспективный числовой ряд, содержащий фактические количественные показатели за истёкшие периоды (не менее 7), обрабатывается с целью построения наиболее адекватной аппроксимирующей кривой. При этом из возможных моделей (линейной, логарифмической, полиномиальной, степенной и экспоненциальной), выбирается та, у которой величина точности аппроксимации наибольшая.

Для приведённого на рис. 2 ряда наиболее адекватной оказалась полиномиальная модель ( $R^2=0,9593$ ). Тут и далее под  $R^2$  понимается оценка точности, рассчитанная по методу среднеквадратичного отклонения.

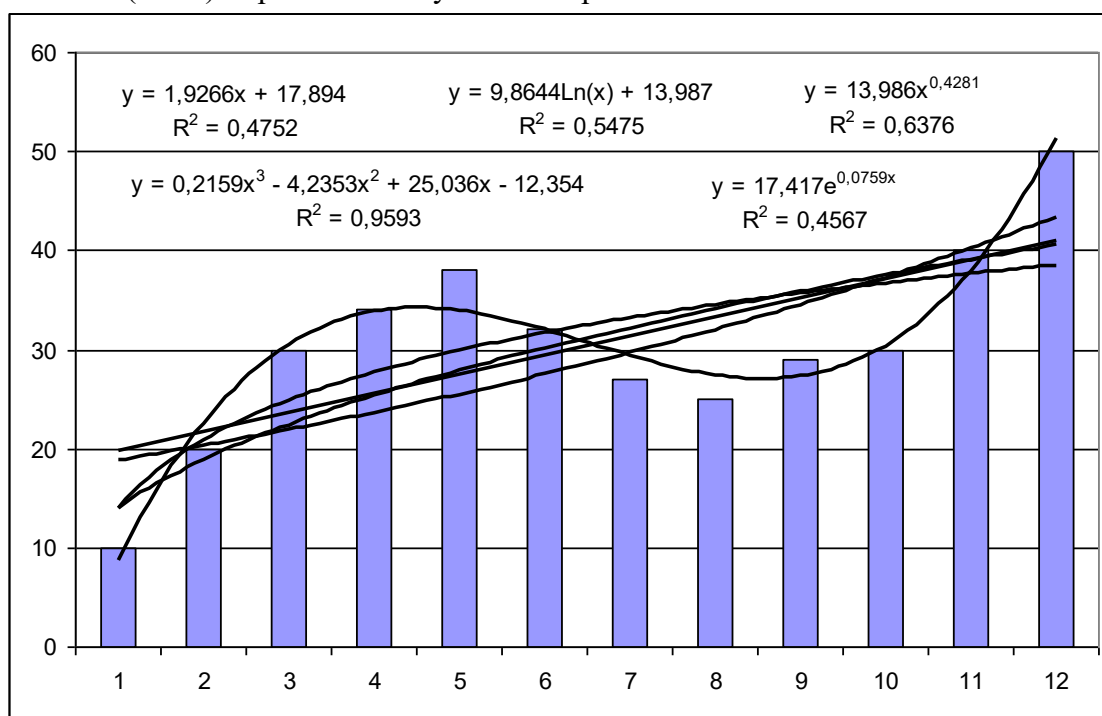


Рисунок 2 – Пример построения аппроксимирующей кривой

2. На основании полученного на предыдущем шаге уравнения рассчитываем прогноз для пред-

стоящих временных интервалов (рис. 3). При  $x=13$  прогнозное значение  $W=71,68$ .

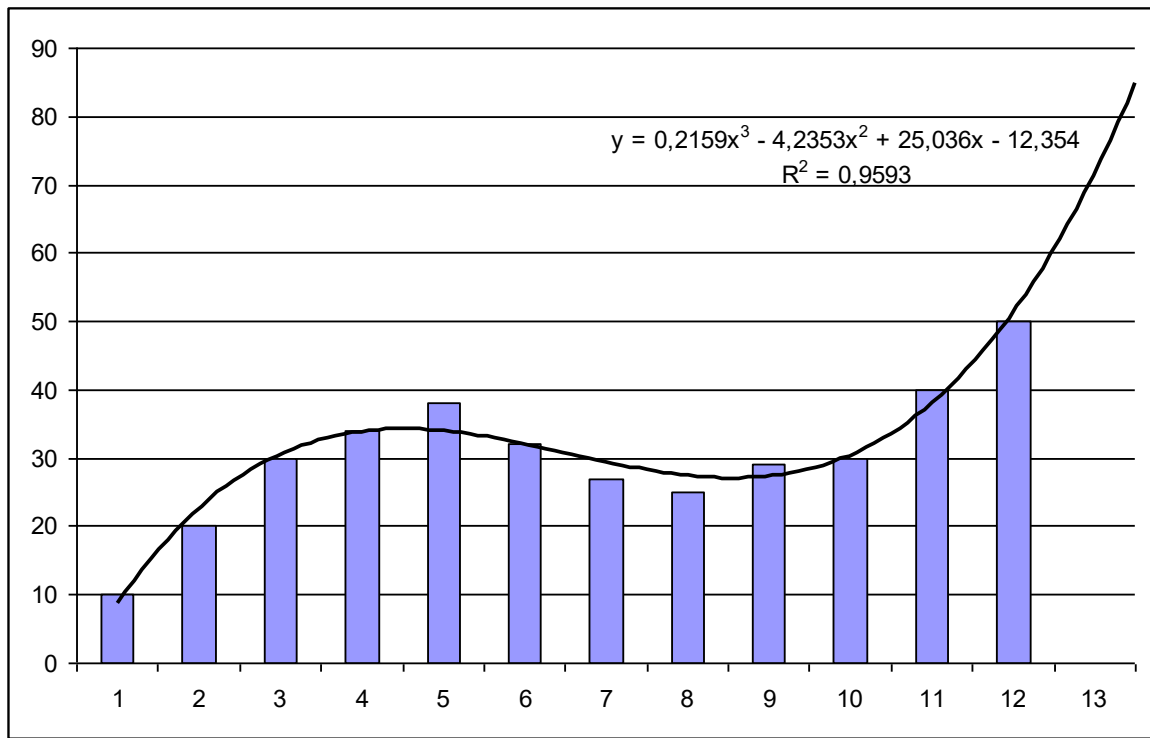


Рисунок 3 – Расчёт прогнозных значений

3. Рассчитанное прогнозное значение представляем в виде нечёткого множества: при  $R^2 < 1$  форма функции принадлежности будет иметь треугольный вид (рис. 4а), при  $R^2 = 1$  – вертика-

льная линия (рис. 4б). При этом основание треугольника будет равно произведению рассчитанного значения на удвоенную разность единицы и величины  $R^2$ . ( $AB = 2W(1 - R^2) = 5,83$ )

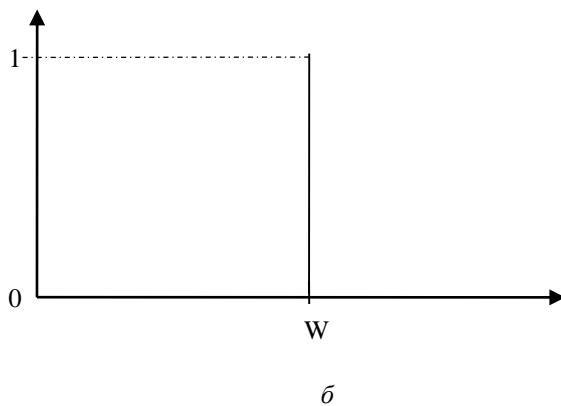
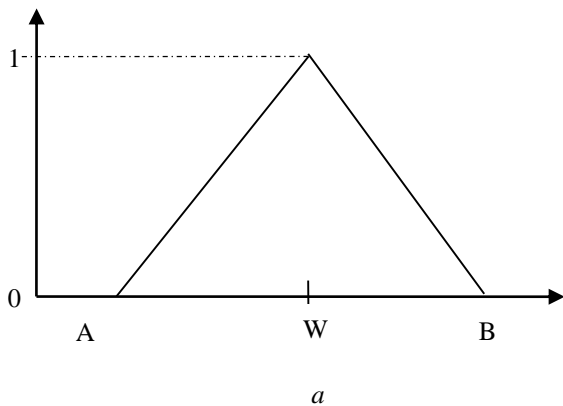


Рисунок 4 – Пример представления прогнозного значения в нечётком виде

4. Для учёта экспертной оценки формируем нечёткое множество, отражающее наиболее веро-

ятное ожидаемое значение прогнозируемого параметра (рис. 5).

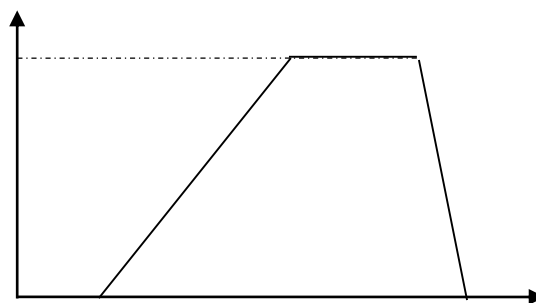


Рисунок 5 – Представление экспертной оценки в нечётком виде

5. Результирующее значение прогноза в виде нечёткого множества  $C$  находим как сумму двух нечётких множеств  $A$  и  $B$ :  $C = A \cup B$ . При этом функция принадлежности множества  $C$  имеет вид:

$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$  (1)  
 для каждого  $x \in X$ . Графическая интерпретация этой операции представлена на рис. 6.

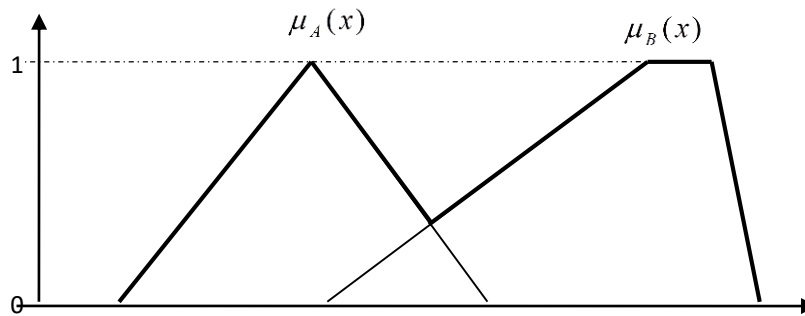


Рисунок 6 – Графическое представление операции суммирования нечётких множеств

Для получения чёткого числа используем методы дефuzziфикации – преобразования нечёткого множества к чёткой форме – методы центра тяжести и среднего центра. В случае если пересечением множеств  $A$  и  $B$  является не пустое множество  $D = A \cap B \neq \emptyset$ , предпочтительнее использовать метод центра тяжести. Искомое значение  $\bar{y}$  при этом рассчитывается как центр тяжести функции принадлежности  $\mu_{B^k}(y)$ , т.е.

$$\bar{y} = \frac{\int y \mu_{B^k}(y) dy}{\int \mu_{B^k}(y) dy} = \frac{\int y \max \mu_{B^k}(y)}{\int \max \mu_{B^k}(y)} \quad (2)$$

при условии, что оба интеграла в приведённом выражении существуют.

В случае непересечения множеств  $A$  и  $B$  для дефuzziфикации используем метод по среднему центру. Значение  $\bar{y}$  рассчитывается по формуле:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k) \bar{y}^k}{\sum_{k=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k)} \quad (3)$$

где  $\bar{y}^k$  - это точка, в которой функция  $\mu_{B^k}(y)$  принимает максимальное значение, т.е.  $\mu_{B^k}(\bar{y}^k) = \max_y \mu_{B^k}(y)$ . Точка  $\bar{y}^k$  называется центром нечёткого множества  $B^k$ . На рис. 7 представлена идея этого метода. Обратим внимание, что значение  $\bar{y}$  не зависит от формы и носителя функции принадлежности  $\mu_{B^k}(y)$ .

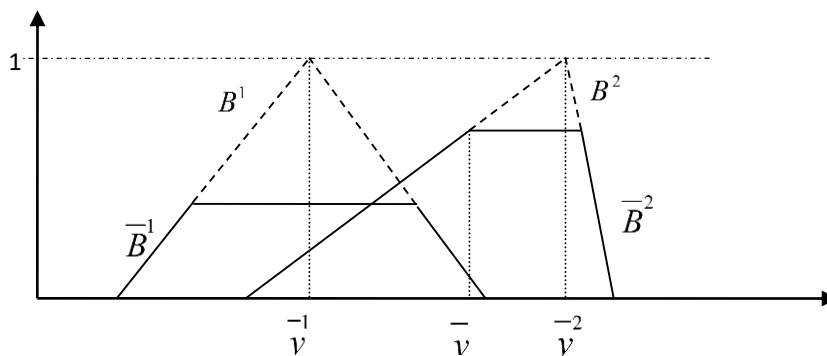


Рисунок 7 – Диффузификация по среднему центру

6. Для учёта значимости экспертной оценки в результирующем прогнозном значении будем использовать коэффициент  $\alpha \in [0..1]$ . С учётом этого формула (1) примет вид:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max([1 - \lambda] \mu_A(x), \lambda \mu_B(x)) \quad (4)$$

Полученный таким образом прогноз лишён ряда недостатков (недостаточность статистиче-

ской информации для обоснованного применения вероятностных методов, высокая доля субъективизма при экспертном назначении оценок вероятностей, отсутствие полноты системы классификации неопределённости) и более адекватно отражает динамику изменения исследуемых параметров.

### 5. Система поддержки принятия решений для анализа эколого-экономических показателей ресурсоёмких инновационных проектов

Описанные выше компоненты информационной системы позволяют собирать, хранить, обрабатывать, прогнозировать и отображать данные, касающиеся эколого-экономических параметров инновационных проектов. Однако лицу, принимающему решение (например, для выбора одного, наиболее оптимального, проекта) необходимо представить инструмент, который позволит автоматизировать данный процесс. В основу системы поддержки принятия решений был положен модифицированный метод анализа иерархий с использованием теории нечётких множеств.

В отличие от строгой шкалы качественных сравнений альтернатив нами предложено использовать функции принадлежности. При этом и важность критериев, по которым производится выбор, определяется с учётом ТНМ. Такой подход представляется наиболее приближенным к реальности, когда в условиях выбора не всегда возможно чётко сравнить имеющиеся варианты и разграничить их по ценности.

В целом, технологическую цепочку описанной системы можно представить схематично (рис. 8). При этом в случае невозможности принятия решений на основании имеющейся информации необходимо вернуться на этап получения исходных данных и постановки задачи – в этом суть обратной связи.

В заключение следует отметить, что описанные выше методы и средства являются инструментами, предназначенными для лица, принимающего решение, и способны повысить эффективность его работы. Хотя разработанные компоненты не связаны единым пользовательским интерфейсом, по сути и назначению предложенные решения являются системой поддержки принятия решений.



Рисунок 8 – Технологическая цепочка предложенной системы

### 6. Заключение

В результате выполненных исследований была разработана новая система для сбора, хранения, обработки и представления кадастровой информации. Информационная и логическая структура созданного интернет-портала разработана с учётом поставленных задач и позволяет пользователям осуществлять обратную связь с Администратором, добавлять и редактировать новости, просматривать регламент системы и осуществлять статистическую обработку параметров инновационных проектов. Разработанная методика

прогнозирования параметров экологичности позволяет за счёт использования теории нечётких множеств учесть фактор неопределённости и использовать экспертные оценки для получения адекватных экстраполяционных моделей. Всё перечисленное позволило на основании полученных предметных данных предложить систему поддержки принятия решений на основании модифицированного метода анализа иерархий, что в свою очередь служит повышению эффективности выбора и реализации ресурсоёмких инновационных проектов.

**Список литературы**

1. Войтов И. В. Научно-аналитические подходы к оценкам состояния и повышения эффективности технологических процессов инновационных производств / И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак // Вестник БГУ. – 2009. – №1. – С. 100-106.
2. Дмитриев В. В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивость экосистем на основе метода сводных показателей / В. В. Дмитриев, Н. В. Мякишева, Н. В. Хованов // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 1996. – Сер. 7. Геология, география. – Вып. 3 (21). – С. 52.
3. Рыбалов А. А. Качество окружающей среды: методы и подходы оценки / А.А. Рыбалов // Экологическая экспертиза. – М. : ВИНТИ, 2001. – С. 12-67.
4. Парницкий Г. Основы статистической информатики / Г. Парницкий ; пер. с венг. Ю. А. Даниловой. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 199 с.
5. Гатих М. А. Концепция развития информационной технологии формирования и управления информацией о состоянии и использовании природно-ресурсного потенциала регионов в Республике Беларусь / М. А. Гатих, О. А. Белый, И. И. Касьяненко ; Минприроды Республики Беларусь, РУП «БелНИЦ «Экология». – Минск : БелНИЦ «Экология», 2004. – 42 с.
6. Рыбак В. А. Методы принятия решений в экологии: от методологических основ к практическим алгоритмам / В.А. Рыбак. – Саарбрюкен: Lap Lambert Academic Publishing, 2014. – 376 с.