

УДК 681.324:354(478)

И. В. Войтов, М. А. Готих, А. И. Киселева, Е. В. Логинова

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НЕФОРМАЛИЗОВАННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Рассмотрены основные принципы построения многоцелевой экспертной системы применительно к реализации всех этапов государственных экологических экспертиз проектов и решению неформализованных управленческих задач в области природопользования и охраны окружающей среды. дано описание структуры, состава и содержания функциональных блоков, решаемых задач, информационного и программного обеспечения, предметной модели системы.

Начиная с семидесятых годов нынешнего столетия исследования по искусственному интеллекту постепенно оформились в самостоятельное направление, получившее название “экспертные системы”. Их основное назначение — рассмотрение неформализуемых и трудноформализуемых задач, не имеющих алгоритмического (формализованного) решения. В настоящее время они нашли широкое применение в различных предметных областях: медицине, вычислительной технике, геологии, математике, промышленности, сельском хозяйстве, электронике, юриспруденции, планировании, прогнозировании, контроле, управлении, административно-управленческой деятельности и т. д. Из всех перечисленных областей для нас представляют интерес контроль, управление и административно-управленческая деятельность.

Экспертные системы основаны на знаниях, логике и дедуктивных рассуждениях. Их технологические и функциональные возможности обусловлены в первую очередь “мощностью” (структурой, составом и содержанием) базы знаний (БЗ), возможностью ее получения и пополнения и только во вторую очередь — методологией и принципами их построения. При этом знания являются эвристическими, экспериментальными (фактографическими), предметно-аналитическими и теоретическими, правдоподобными (достоверными) и формируются в основном применительно к конкретной области, для которой предназначена ЭС.

Экспертные системы, так же как и любые другие автоматизированные информационные системы (АИС), отличаются разнообразием структуры, состава, реализуемых функций, программно-математических комплексов, информационных моделей и т. д., которые, как правило, определяются назначением, целями, комплексом решаемых задач, структурой и составом БЗ [2, 4, 5]. Есть сложные многоцелевые ЭС, решающие большой круг задач и функционирующие в основном в автоматизированном режиме с минимальным участием человека (ЛПР, эксперта), а есть относительно простые системы, функционирующие в режиме диалога, называемом режимом консультаций [5]. Такие системы находят широкое применение, например, для информационной и методической поддержки принятия управленческих решений в условиях риска и неопределенности руководителями — лицами, принимающими решения (ЛПР), в своей административно-управленческой деятельности [2]. Именно такого класса ЭС будет разработана применительно к автоматизированной системе управления (АСУ) природопользовательской и природоохранной деятельностью структур Минприроды Республики Беларусь (АСУ “Природопользование”) [1].

Близкими к ЭС по функциональному назначению являются так называемые информационные системы обеспечения решений (ИСОР), которые являются основной подсистемой любой АСУ. Отличие состоит в том, что ИСОР предназначены для информационной поддержки принятия любых управленческих решений — простых, сложных, однофакторных, многофакторных, однокритериальных, многокритериальных, одноуровневых, многоуровневых и т. д., включая и задачи с неформализованными методами решений в условиях риска и неопределенностей. Для выполнения последнего класса задач и предназначена ЭС, входящая в состав ИСОР, а следовательно, и АСУ “Природопользование” [1]. Кроме решения указанных функциональных задач, реализующих функции АСУ, создаваемая экспертная система имеет и другое назначение — автоматизированное выполнение всех

этапов государственных экологических экспертиз проектов. С этой целью ЭС может работать и в автономном режиме, основываясь на собственных программном и информационном обеспечениях (в дальнейшем экспертная система “Экспертиза”).

На рис. 1 представлена обобщенная функциональная структура экспертной системы “Экспертиза” в составе ИСОП. Она состоит из трех основных блоков (компонент): комплекса решаемых задач, функциональной структуры ЭС и предметно-информационной модели (области) ИСОП. Рассмотрим более подробно содержание указанных компонент ЭС.

Комплекс задач экспертной системы предназначен для автоматизации работ, выполняемых при проведении государственных экологических экспертиз проектов строительства и реконструкции промышленных предприятий, мелиоративных и линейных сооружений и выдачи разрешений на бурение скважин. Он охватывает все этапы прохождения материала — от заявки о намерениях по размещению объектов до экспертного заключения по разделу “Охрана окружающей среды” проектной документации на строительство (реконструкцию) объектов хозяйственной деятельности. Комплекс задач будет функционировать на трех уровнях АСУ: районные (городские) инспекции, отделы экспертизы областных комитетов и специнспекция центрального аппарата Минприроды Республики Беларусь.

В состав комплекса задач ЭС “Экспертиза” входят следующие:

1. Задача “Размещение” предназначена для разработки экологических условий на проектирование и выдачу разрешений на размещение объектов хозяйствования. В задаче поддерживается и накапливается база знаний для принятия обоснованных решений по размещению объектов. Задача используется на всех уровнях иерархии ЭС.

2. Задача “Экспертиза проектов” представляет собой информационную систему для осуществления поэтапного контроля прохождения экологической экспертизы и согласования проектных и обосновывающих материалов по объектам различного типа, рассматриваемых в задаче “Размещение”. Задача предполагает создание и поддержку базы знаний и данных по разделу “Охрана окружающей среды”.

3. Задачи “Оценка воздействий антропогенных факторов на состояние окружающей среды (ОВОС)” представляют собой комплекс информационных систем в составе трех АИС для анализа, оценки и прогнозирования экологического состояния почвенного покрова (АИС “Оценка почв”), атмосферного воздуха (АИС “Атмосфера”) и водных объектов (АИС “Гидросфера”). Они предназначены, с одной стороны, для определения уровня экологической опасности планируемых к строительству народнохозяйственных объектов по проектам, переданным на государственную экологическую экспертизу, с другой — для оценок экологического состояния основных природных сред и ресурсов при принятии сложных управленческих решений [1]. В состав ОВОС включены следующие подзадачи: выбросы, стоки, отходы и моделирование распространения примесей в атмосфере. База данных для оценки в задачах ОВОС описана ниже в блоке “Информационное обеспечение экспертизы”.

4. Программа “Выбросы, стоки, отходы” предназначена для выполнения расчетной инвентаризации источников загрязнения окружающей среды и машинной реализации расчетов выбросов в атмосферу и стоков в водные объекты вредных веществ от различных производств.

5. Комплекс программ моделирования распространения примесей в атмосфере предназначен для выполнения поверочных расчетов при нормировании выбросов для предприятий различного назначения, промузлов и города в целом.

6. Нормативно-справочное обеспечение и блок “Законодательство” предназначены для ведения справочников и электронных каталогов баз знаний и данных, используемых в процессе работы эксперта, работы с законодательными и нормативными актами, СНИП, СН, ГОСТами и другими материалами при проведении экологической экспертизы проектов. Эти задачи ЭС будут оформлены в виде информационно-поисковой системы, построенной на гипертекстовой основе. Эти блоки данных входят в состав БД “Законодательно-нормативная информация”, информационная модель которой представлена на рис. 2.

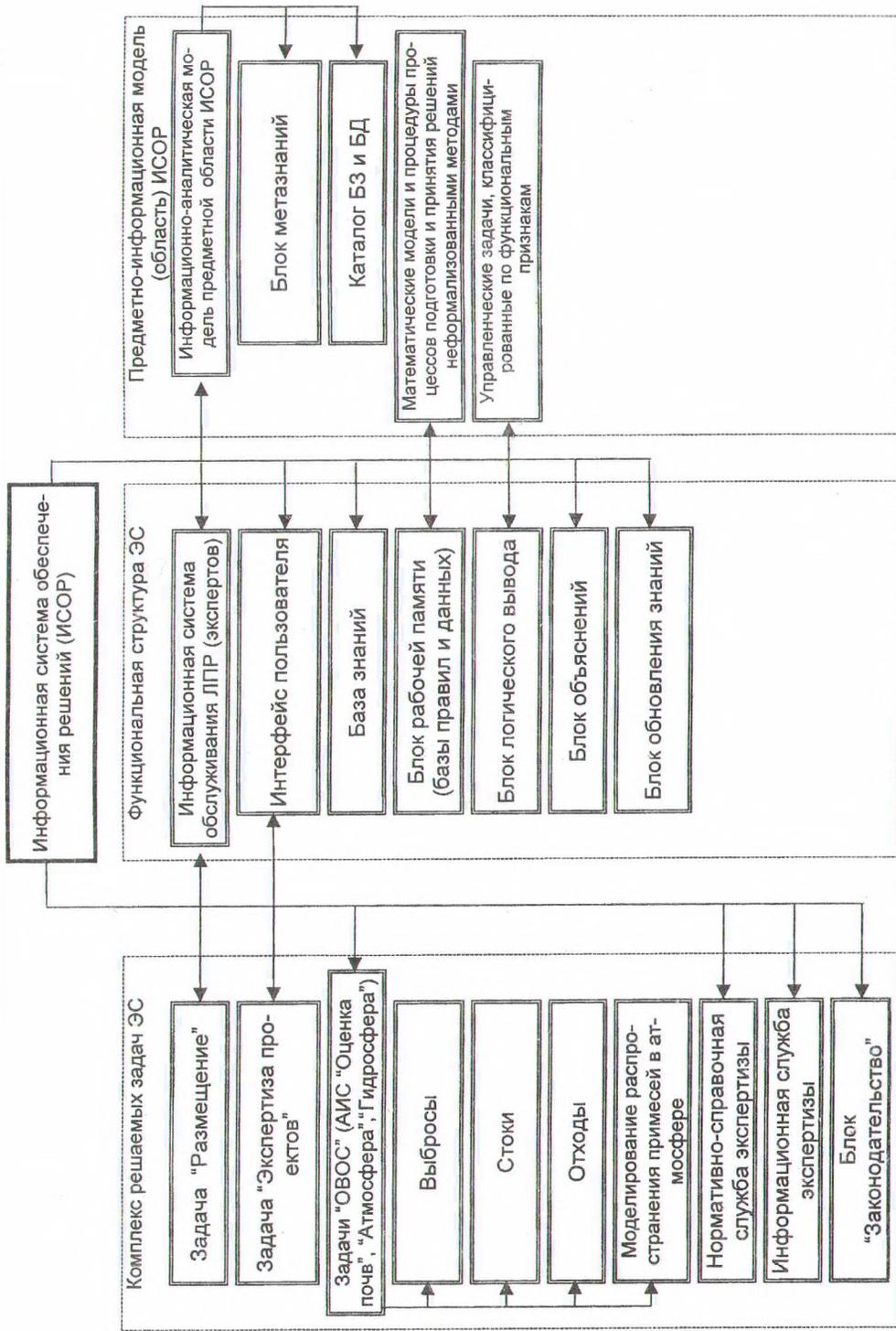


Рис. 1. Обобщенная функциональная структура ИСОР с функциями ЭС "Экспертиза"

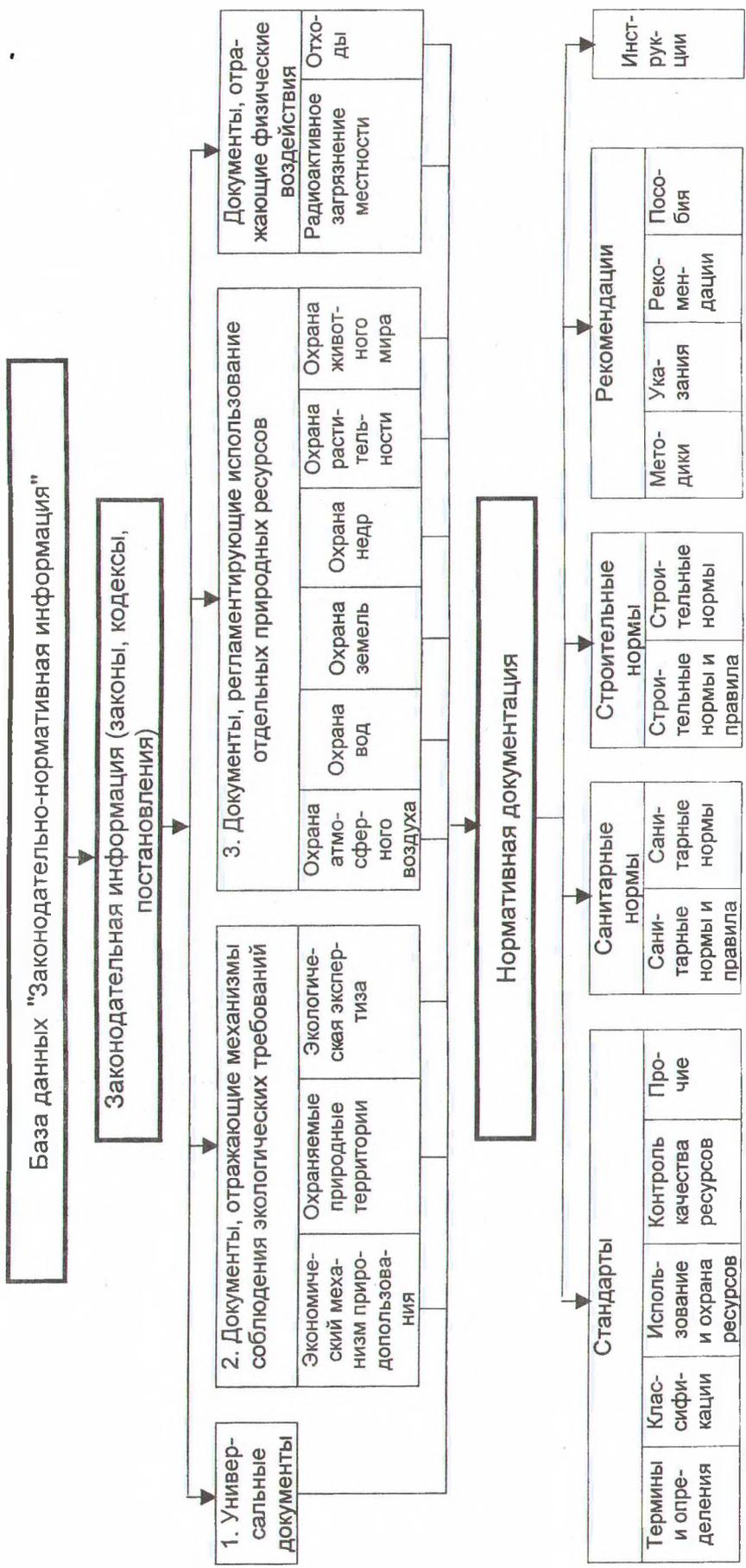


Рис. 2. Информационная модель базы данных "Законодательно-нормативная информация"

7. Информационное обеспечение экспертизы представляет собой комплекс программных средств, обеспечивающих доступ к информационным ресурсам АСУ “Природопользование” и ведение (СУБД) информационной базы (баз знаний и данных) ЭС, работающей в автономном режиме. В информационное обеспечение АСУ входят следующие предметные базы данных: законодательно-нормативная и картографическая информация; земельные, водные, климатические, торфяные и сапропелевые ресурсы, недра, животный мир, флора и растительность, загрязнение природных сред, состояние атмосферного воздуха [1]. В состав информационной базы ЭС “Экспертиза” включены БД: законодательно-нормативная информация (рис. 2), загрязнение природных сред, климатические ресурсы, земельные ресурсы, водные ресурсы, картографическая информация. Указанные базы данных входят в состав интегрированной БД, предназначенной (помимо распределенной БД) для оснащения областного уровня АСУ.

Распределенная БД АСУ “Природопользование” будет формироваться централизованно в системе Минприроды Республики Беларусь. Основное ее назначение — сбор и обновление информации, поступающей из различных внешних систем (Госкомгидромет, землеустроительные ведомства, институты НАН Беларуси, БелНИЦ “Экология” и др.), приведение данных к виду, пригодному к совместной обработке (логическая нормализация) и представление данных в совместимых по протоколу ODBC (Open Data Base Community) формату (информационная интеграция) (табл. 1).

Таблица 1

Основные блоки БД ЭС “Экспертиза”.  
База данных “Загрязнение природных сред”. Источник данных — Госкомгидромет Республики Беларусь. Спецификация БД “Загрязнение природных сред”

Раздел БД, таблицы БД	Примечание	Обновление
<i>Радиационное загрязнение территории</i>		
Справочник метеостанций, ведущих наблюдения за МЭД (мощность экспозиционной дозы, нРн/ч)	По городам, в которых ведется наблюдение	
Средние значения МЭД за текущий период по месяцам		1 раз в год
<i>Загрязнение атмосферного воздуха</i>		
Характеристики загрязнения атмосферного воздуха городов по месяцам (кварталам)		Ежеквартально
Полный перечень и основные характеристики ингредиентов, по которым ведется наблюдение на постах		
Список постов в городах, где проводится отбор проб		
<i>Загрязнение поверхностных вод</i>		
Среднегодовые максимальные значения измеряемых приоритетных загрязняющих веществ	Принадлежность к классу приоритетных веществ, определяется по списку в БД	1 раз в год в январе
Полный список ингредиентов, по которым проводится наблюдение за загрязнением поверхностных вод	С указанием признаков определения в пробах воды в Республики Беларусь и принадлежности к группе приоритетных веществ	— “ —
Список пунктов отбора проб по областям Республики Беларусь		
База данных “Климатические ресурсы”. Источник данных — Госкомгидромет Республики Беларусь Спецификация БД “Климатические ресурсы”		
Среднемесячные климатические характеристики по регионам	Среднемесячная температура, абсолютный минимум и максимум температуры воздуха, минимальная и максимальная сумма осадков, средняя и максимальная скорость ветра (м/с), число дней с туманом	Ежеквартально
Число случаев со шквалом ( $V > 25$ м/с)		
Повторяемость инверсий (по аэрологическим станциям), %		
Повторяемость различных градаций скорости ветра, %		
Повторяемость направлений скорости ветра по основным 8 румбам, %		
Данные о годовом стоке на створах рек, м/с		

Раздел БД, таблицы БД	Примечание	Обновление
База данных "Земельные ресурсы". Источник — Государственный комитет по земельным ресурсам. Спецификация БД "Земельные ресурсы"		
Агрохимические показатели почв	По хозяйствам и элементарным участкам	1 раз в 4 года
Бонитет	Фактический и перспективный бонитет	
Каменистость земель		
Контурность полей		
Леса	Характеристики по районам и видам рубки и восстановления	
Механический состав почв		
Нарушенные земли	По районам	
Охраняемые территории	По районам, типам	
Уклоны		
Эродированность земель		
База данных "Водные ресурсы". Источник данных — ЦНИИКИВР и Госкомгидромет Республики Беларусь. Спецификация БД "Водные ресурсы"		
Месячные расходы воды	На постах наблюдений	Ежегодно
Обеспеченные расходы воды	На расчетных створах	
Параметры озер и водохранилищ		
Качество поверхностных вод	В пунктах наблюдения, динамика по датам отбора проб	
Общие сведения о реке и водосборе		
Гидрографические характеристики рек		
Ресурсы и запасы подземных вод	По водохозяйственным участкам, горизонтам	
Качество подземных вод	— " —	
Параметры крупных водохозяйственных объектов		
Разрешения на спецводопользование		
Характеристика и размеры очистных сооружений		
Размеры водоохраных зон (полос) рек и водоемов		
Утвержденные запасы подземных вод		

*Картографическая информация.* На областном уровне используется топографическая карта области масштаба 1 : 200 000, которая должна состоять из следующих карт-слоев:

- 1) транспортная сеть, включающая: автомагистрали, дороги с твердым покрытием, дороги без покрытия, железные дороги;
- 2) гидросеть — реки I...IV порядков;
- 3) населенные пункты и демографическая сеть;
- 4) землепользование, включающее: сельхозугодья, лесные земли, селитебные земли, нарушенные земли, карьеры, отвалы, свалки, могильники, выработанные торфяники, прочие;
- 5) охраняемые территории: заповедники, заказники, лесоохотничьи территории, водоемы и болота, леса, зеленые зоны городов, водоохраные прибрежные полосы, национальные парки, парки-памятники;
- 6) административные границы;
- 7) рельеф;
- 8) водоемы;
- 9) леса;
- 10) болота;
- 11) четвертичные отложения;
- 12) почвенный покров (с дифференциацией по типам почв и механическому составу почв);
- 13) водоносный горизонт (основной источник водоснабжения);
- 14) растительность (по видам);
- 15) водосборные бассейны;
- 16) санитарно-защитные зоны;
- 17) зоны радиоактивного загрязнения (стронцием, цезием);
- 18) сеть мониторинга (стационарные посты наблюдения).

На республиканском уровне используются по мере необходимости карты областей.

Топографические карты городов и населенных пунктов масштаба 1 : 2000, 1 : 1000 должны состоять из следующих карт-слоев: контуры проезжей части, тротуары, застройка, газоны, парки, скверы, водоемы (реки, каналы, водохранилища), крупные промышленные предприятия, санитарно-защитные зоны предприятий, объекты повышенного экологического контроля (детские сады, школы, больницы и др.), границы административных районов, стационарные посты наблюдения за состоянием воздуха, схемы ливневой канализации, водоснабжения и водозабора, источники сброса в воду и водоочистные сооружения, места складирования и захоронения отходов.

Кроме того, каждый слой будет иметь отдельный подслой надписей, которые можно включать или выключать. Электронные карты будут изготавливаться по заказу или приобретаться в готовом виде каждым пользователем или отделом структур Минприроды Республики Беларусь.

В основу функциональной структуры ЭС положена структура наиболее распространенных в настоящее время продукционных экспертных систем. Их также иногда называют системами, основанными на правилах, или системы с логическим выводом, использующим сопоставление по образцу [2, 5]. Действие этих систем основано на правилах логического вывода, суть которого состоит в следующем: пусть известно, что истинно утверждение А и существует правило вывода “Если А, то В”, тогда утверждение В тоже истинно. Правила срабатывают, когда находятся в базе знаний факты, удовлетворяющие их левой части. Эти правила можно рассмотреть на примере ЭС диагностики работоспособности двигателя внутреннего сгорания:

Если	двигатель не заводится
и	стартер двигателя не работает
то	неполадки в системе электропитания стартера
Если	двигатель не заводится
и	стартер двигателя работает
то	неполадки в системе подачи топлива
Если	неполадки в системе подачи топлива
и	показатель уровня топлива находится на нуле
Вывод	газовая камера пуста
Если	неполадки в системе электропитания стартера
и	нарушены контакты аккумулятора
Вывод	плохо присоединен аккумулятор и т. д.

Такие конструкции получили название продукционных правил, складывающихся из двух частей. Первая часть (антецедент) состоит из элементарных предложений, соединенных логическими связками “и”, “или” и т. д., вторая (консеквент) часть — заключение, состоящее из одного или нескольких предложений, формирующих выдаваемое правилами решение либо указывающее на действие, подлежащее выполнению.

База правил и данных хранится в *блоке рабочей памяти* (рис. 1). В этом блоке содержатся также все необходимые текущие сведения, описывающие объект (объекты) принимаемого решения (решений), которые динамически изменяются и пополняются.

*Блок (механизм) логического вывода* включает программу, которая осуществляет поиск решения, используя для этих целей базы данных и знаний. Этот блок иногда называют интерпретатором правил, выполняющим две функции: просмотр существующих фактов в рабочей памяти и базе знаний, добавление в рабочую память новых фактов и определение порядка просмотра и применения правил. Этот механизм управляет процессом решения задач, сохраняя для пользователя (ЛПР, эксперта) информацию о полученном заключении или решении, а также запрашивает у него информацию, когда для реализации очередного правила в рабочей памяти оказалось недостаточно данных.

*База знаний*, являющаяся информационной моделью предметной области экспертной системы, содержит факты, закономерности, расчетные формулы и математические модели, методики, справочные данные, физические закономерности, данные о состоянии окружающей среды и т. д., отражающие формальные и неформальные знания о предметной области. Используются различные способы представления знаний: логические исчисления, фреймы, семантические сети, продукции и др.

*Блок объяснений* должен “уметь объяснить” пользователю различные аспекты работы ЭС. Объяснения позволяют проследить цепочку процессов (циклов) подготовки и принятия решений, осуществляемых экспертной системой. Он отвечает на вопросы пользователя о том, как именно получено решение, обосновывает основные положения последнего.

Блок обновления (приобретения) знаний позволяет изменять, дополнять и изымать несовершенные (устаревшие) модели знаний, вводить новые и осуществлять модификацию имеющихся. В задачу этого блока включена также функция приведения правил к виду, позволяющему механизму вывода применять эти правила в процессе работы.

Информационная система обслуживания ЛПР с интерфейсом пользователя поддерживает “дружественный” диалог системы с пользователем на естественно ограниченном языке. Задания на поиск нужной информации формируются в диалоговом режиме. На каждый из вопросов (запросов) пользователю предлагается “подсказка”. Этот процесс будет описан ниже более подробно.

В данной работе не имеется возможности дать содержательное описание информационно-аналитической модели предметной области ИСОП (рис. 1). Эта работа будет выполнена в других публикациях авторов. С точки зрения методологии построения и работы экспертной системы значительно больший интерес представляет рассмотрение вопроса о принципах формирования предметной модели ЭС и, в первую очередь, модели формализации запросов пользователя, эксперта или ЛПР с целью реализации жизненного цикла принятия управленческого решения или этапов государственных экологических экспертиз.

Как известно [2, 5, 6], один из первых вопросов, решаемых экспертами при реализации жизненного цикла любой управленческой задачи, является оценка проблемной ситуации, анализ состояния вопроса и, в первую очередь, информационного обеспечения и возможностей ее решения. При этом следует отметить, что в АСУ будет использована методология в основном распределенных баз знаний (РБЗ) и данных (РБД), теоретические основы которых разработаны достаточно основательно и широко применяются при проектировании и эксплуатации последних [3].

Рассмотрим основные принципы формализации модели пользовательских запросов (ПЗ) каждого из экспертов  $\mathcal{E}_n$ , входящих в состав экспертной комиссии (группу экспертов), обслуживающих ИСОП и, в частности, экспертную систему, являющуюся составной частью ИСОП (АСУ).

Для построения модели многофункциональной ЭС с многоуровневой структурой, большим количеством экспертов и ПЗ на различных уровнях ИСОП наиболее целесообразно использовать теорию графов, а именно, графы иерархического типа с древовидной структурой. На рис. 3 представлена структура модели ЭС для реализации функций экспертов при решении управленческих задач на основе диалога (запросов) с базами знаний и данных. В ее основу положены два графа древовидной структуры. Первый из них соединяет группу экспертов ( $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3, \dots, \mathcal{E}_n$ ) с центральным сервером ЦС<sub>1</sub> верхнего уровня иерархии ИСОП (АСУ) — центрального аппарата Минприроды Республики Беларусь, который, в свою очередь, соединяет эксперта с базами знаний ( $\mathcal{BZ}_1^1, \mathcal{BZ}_2^1, \mathcal{BZ}_3^1, \mathcal{BZ}_4^1, \dots, \mathcal{BZ}_m^1$ ) в каждом из структурных подразделений центрального аппарата и с конкретным информационным элементом ИЭ в каждом из них.

В центральном (корневом) узле графа, отображающего вычислительную сеть верхнего уровня ИСОП, расположен центральный сервер (ЦС) распределенных баз знаний. С ЦС (ПЭВМ) соединены серверы отдельных структурных подразделений ( $\mathcal{C}_1^1, \mathcal{C}_2^1, \mathcal{C}_3^1, \mathcal{C}_4^1, \dots, \mathcal{C}_m^1$ ). На каждом из них (ПЭВМ) расположены базы знаний с множеством ИЭ ( $\mathcal{IE}_1^1, \mathcal{IE}_2^1, \dots, \mathcal{IE}_i^1; \mathcal{IE}_1^2, \mathcal{IE}_2^2, \dots, \mathcal{IE}_i^2; \mathcal{IE}_1^m, \mathcal{IE}_2^m, \dots, \mathcal{IE}_i^m$ ).

В корневом узле второго графа, отображающего региональные сети передачи данных, расположен второй центральный сервер ЦС<sub>2</sub>, соединенный с серверами ( $\mathcal{C}_1^2, \mathcal{C}_2^2, \dots, \mathcal{C}_m^2$ ) баз данных ( $\mathcal{BB}_1^2, \mathcal{BD}_2^2, \dots, \mathcal{BD}_m^2$ ) второго уровня иерархии ИСОП — областными комитетами Минприроды Республики Беларусь. В свою очередь каждый из серверов областных комитетов связан с ПЭВМ районных инспекций, на которых расположены информационные базы ( $\mathcal{IB}_1^1, \dots, \mathcal{IB}_2^2, \dots, \mathcal{IB}_i^1; \mathcal{IB}_1^2, \mathcal{IB}_2^2, \dots, \mathcal{IB}_i^2; \dots; \mathcal{IB}_1^m, \mathcal{IB}_2^m, \dots, \mathcal{IB}_i^m$ ) с первичной информацией о состоянии природных ресурсов и сред. С

центральными серверами ЦС<sub>1</sub> и ЦС<sub>2</sub> соединены ПЭВМ экспертов ( $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$ ). Оба графа объединены посредством центральных серверов в единый граф, отображающий структуру ЭС ИСОП. Базы данных областных комитетов увязаны с районными БД и будут пополняться из информационных баз районных инспекций.

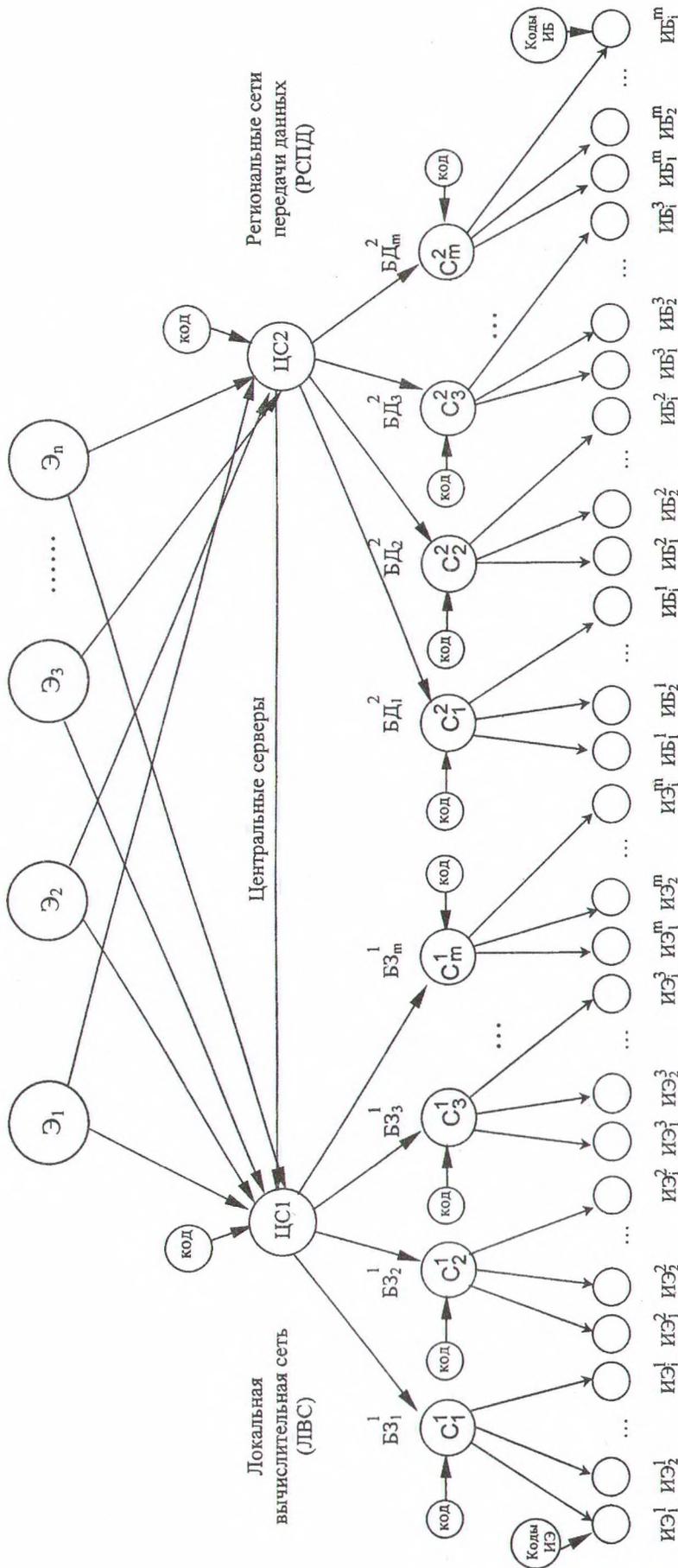


Рис. 3. Каноническая структура предметной модели экспертной системы в ИСОР с распределенными базами знаний и данных

Структура ЭС, основанная на вычислительных сетях (ВС) верхнего и второго уровней иерархии АСУ, соединенных между собой региональными сетями передачи данных (РСПД), позволит любому эксперту в зависимости от назначения и решаемой проблемной ситуации (посредством реализации управленческого решения) сформулировать пользовательский запрос и получить из любой БЗ или БД, расположенных в любом узле ВС или РСПД, необходимую информацию для выполнения решения (задачи). Безусловно, эксперт-исполнитель решения (ИР) должен хорошо ориентироваться, знать структуру и состав БЗ и БД, а именно какой информационный элемент из их множества {ИЭ<sub>i</sub>} и {ИБ<sub>i</sub>} необходим для конкретной задачи. Сказанное относится к любому ИР на каждом из уровней иерархии структуры Минприроды Республики Беларусь и АСУ, т. к. основное назначение АСУ — решение функциональных задач на каждом из них.

Рассмотрим основные принципы формирования и реализации пользовательских запросов. Пусть  $Z = \{Z_{n_0}\}$ ,  $n_0 = (\overline{1, n})$  — множество детерминированных запросов экспертов-пользователей и  $Z_{jn}$  —  $j$ -й запрос  $n$ -го эксперта, тогда основной количественный показатель ЭС — количество генерируемых в ней запросов — можно выразить следующей зависимостью:

$$Z = \sum_{n_0=1}^n \sum_{i=1}^k Z_{jn}; j = (\overline{1, k}) \quad (1)$$

где  $k$  — количество запросов каждого из  $n$  экспертов.

Естественно предположить, что количество запросов функционально связано с количеством информационных элементов {ИЭ<sub>i</sub>} базы знаний БЗ и информационных баз данных {ИБ<sub>i</sub>}, которые можно формализовать следующими выражениями

$$БЗ = \sum_{m_0=1}^m БЗ_{m_0}^1 \sum_{i_0}^i ИЭ_{i_0}; m_0 = (\overline{1, m}); i_0 = (\overline{1, i}) \quad (2)$$

$$БД = \sum_{m_0=1}^m БД_{m_0}^2 \sum_{i_0}^i ИБ_{i_0}; m_0 = (\overline{1, m}); i_0 = (\overline{1, i}) \quad (3)$$

где ИЭ<sub>i</sub> —  $i$ -й информационный элемент в  $m$ -й базе знаний; ИБ<sub>i</sub> —  $i$ -я информационная база в  $m$ -й БД второго уровня иерархии АСУ.

Зависимость  $(БЗ + БД) = F(Z)$  и отдельных ее компонентов (1—3) может быть использована также для формирования структуры и состава БЗ и БД в процессе проектирования АСУ.

Структура запроса представляется деревом поиска (рис. 3), задаваемым на предметной модели ЭС. Корневой вершиной поиска может быть не только любой узел {Э<sub>i</sub>}, но и каждый из узлов (группа узлов) ВС и РСПД, т. к. все они имеют выход на базы данных и знаний {ИЭ<sub>i</sub>} и {ИБ<sub>i</sub>}. Запрос формируется как множество операций  $\beta_0^1, \beta_0^2, \dots, \beta_0^r$  на множестве {ИЭ<sub>i</sub>} и {ИБ<sub>i</sub>}, где  $r$  — количество операций обработки запроса на пути от вершины дерева поиска до соответствующего информационного элемента, который используется в запросе. Исходный сигнал представляет собой комбинированный код, включающий коды узлов дерева поиска: ЦС1 и ЦС2,  $\{БЗ_1^1, БЗ_2^1, \dots, БЗ_m^1\}$ ,  $\{БД_1^2, БД_2^2, \dots, БД_m^2\}$  — и коды информационных элементов (информационных баз), состоящие из наименования, количества экземпляров, длины (формата) и логической связи. По мере прохождения запроса по операционному графу происходит его декомпозиция (разложение на отдельные составляющие). Первая из них осуществляется в центральных серверах ЦС1 и ЦС2, вторая — в серверах  $(C_1^1, C_2^1, \dots, C_m^1)$  ЛВС и серверах  $(C_1^2, C_2^2, \dots, C_m^2)$  РСПД. Дальше запрос поступает в соответствии с кодом ИБ (ИЭ) в ту или иную базу данных или знаний для формирования файла информации из ИЭ или ИБ по конкретному информационному запросу. Технические и программные функции реализации операции обработки запроса по мере прохождения по дереву поиска в данной работе не рассматриваются.

Таким образом, технологический процесс реализации запроса эксперта (пользователя) в РБЗ и РБД ИСОП состоит из выполнения ряда этапов: определение с помощью сетевых каталогов места расположения (узла операционного графа) локальных БД и БЗ, содержащих требуемые типы записей; выбор и реализация про-

грамм прикладного и сеансовых уровней протоколов, обеспечивающих разложение запроса на подзадачи; выбор маршрута, установление виртуального соединения между узлами ВС или РСРД и передача запросов (подзадач) в локальные БД (БЗ) для их реализации. Процесс заканчивается инициированием в узлах хранения (ПЭВМ) локальных БД программ транспортной сети протоколов, обеспечивающих выбор маршрута, установление соединения и передачу на ПЭВМ эксперта массивов данных, хранящихся в выходных табличных формах БД, которые объединяются, редактируются и передаются эксперту в виде, удобном для применения.

Множество запросов  $Z = \{Z_p\}$ ,  $p = (\overline{1, p_0})$  целесообразно задавать как пару  $\langle D_p^3, A \rangle$ , которая с помощью матриц состава  $N = \|n_{ij}\|$  групп информации в виде отдельных таблиц  $n_{ij}$  выходных форм БД отображается в пару  $\langle D_p^3, A^t \rangle$ , где  $D_p^3 = \{d_{ip}^3\}$  — вектор простых информационных элементов (цифровые значения) из  $n_{ij}$ , а  $\langle D_p^3 = \{d_{ip}^3\}$  — вектор групп, требуемых для выполнения  $p$ -го запроса.  $A = \|a_{ij}\|$  и  $A^t = \|a_{ij}^t\|$  — структурированные матрицы семантической смежности, соответственно для простых цифровых и групповых (выходных таблиц) информационных элементов ИЭ и ИБ, которые определяют отношения между элементами векторов  $D_p^3$  и  $D_p^{\Gamma 3}$ , т. е. структуру дерева запросов. Множество запросов  $Z = \{Z_p\}$  в конечном варианте можно представить как  $\langle W^3, A \rangle$ , где  $W^3 = \|W_{pi}^3\|$  — матрица использованных групп ИЭ при выполнении запроса. Более подробно процесс поиска информации и реализации функции запросов описан в [3].

В основу программного обеспечения ЭС, ИСОП и АСУ в целом положено объектно-ориентированное программирование (ООП) — новая технология разработки программ, альтернатива традиционному процедурному программированию. Основная идея ООП состоит в том, что данные и обрабатывающие программы рассматриваются как единое целое, естественным образом описывающее некоторый объект реального мира. Объект — это программный пакет, в котором объединены данные, работающие с ними процедуры и программы. ООП позволяет строить программные продукты по модульному принципу, решать все функциональные задачи АСУ и работать с цифровыми базами данных (таблицы) реляционного типа.

Операционной системой и базовым программным обеспечением комплекса задач “Экспертиза” является ОС Windows 95 или Windows NT. Информационная база задач организована в форматах MDB Access 2.0. В качестве базовых программных средств разработки приложения используются Access 2.0, Visual Basic 4.0 и (или) Visual C++ 4.0.

Минимальные требования к компьютеру для функционирования комплекса задач “Экспертиза” следующие:

процессор Pentium с тактовой частотой не менее 100 МГц;

объем оперативной памяти (ОЗУ) — 16 Мб;

объем кэш-памяти — 256 Кб;

видеоадаптер SVGA с видеопамью (VRAM) 1 Мб;

объем памяти на жестком магнитном диске (HDD) — 800 Мб.

Оптимальная работа комплекса задач обеспечивается при установке Windows 95 на компьютере Pentium-133 или выше с объемом ОЗУ 32 Мб.

#### • Список литературы

1. **Войтов И. В., Гатих М. А.** Научно-методические и организационные принципы разработки информационной технологии управления природопользованием и охраной окружающей среды в Республике Беларусь. — Мн., 1999. — 29 с.
2. Информационные системы для руководителей/Под общей ред. Ф. И. Перегудова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 176 с.
3. **Мамионов А. Г., Кульба В. В., Косяченко С. А., Ужастов И. А.** Оптимизация структур распределенных баз данных в АСУ. — М.: Наука, 1990. — 236 с.
4. **Попов Э. В.** Экспертные системы. Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. — М.: Наука и техника, 1987. — 283 с.

5. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. — М.: Финансы и статистика, 1990. — 320 с.
6. Юсупов И. Ю. Автоматизированная система принятия решений. — М.: Наука, 1983. — 88 с.

**Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, БелНИЦ “Экология”, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси**

*I. V. Voitov, M. A. Gatikh, A. I. Kiselyova, A. U. Loginova*  
**ПРЫНЦЫПЫ ПАБУДОВЫ ШМАТМЭТАВАЙ ЭКСПЕРТНАЙ СІСТЭМЫ ДЛЯ  
 РЭАЛІЗАЦЫІ НЕФАРМАЛІЗАВАННЫХ КІРУЮЧЫХ РАШЭННЯЎ У ГАЛІНЕ  
 ПРЫРОДАКАРЫСТАННЯ І АХОВЫ НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ**

*Разглежданы асноўныя азначэнні і прынцыпы пабудовы прадукцыйных экспертных сістэм (ЭС), іх прызначэнні і вырашаемыя задачы ў розных сферах чалавечай дзейнасці. Выканана апісанне структуры, складу і зместу шматмэтавай ЭС у дачыненні да рэалізацыі функцый дзяржаўных экалагічных экспертыз праектаў і рашэння нефармалізаваных кіруючых задач экспертамі, спецыялістамі, асобамі, што прымаюць рашэнні (АПП) і карыстальнікамі ў дачыненні да прыродакарыстальнай і прыродаахоўнай дзейнасці структур Мінпрыроды Рэспублікі Беларусь. Дадзена апісанне задач, вырашаемых ЭС, усіх блокаў, функцыянальнай структуры, інфармацыйнага і праграмага забеспячэння сістэмы. Разгледжаны інфармацыйная (прадметная) мадэль і кананічная структура ЭС, якая рэалізуе функцыі пошуку інфармацыі і любыя карыстальніцкія запыты экспертаў і АПП да інфармацыйных элементаў у базах ведаў і даных для рашэння функцыянальных задач, апісаны тэхналагічны працэс функцыянавання мадэлі пошуку звестак на ўсіх узроўнях іерархіі ЭС.*

*I. V. Voitov, M. A. Gatikh, A. I. Kiselyova, E. V. Loginova*  
**PRINCIPLES OF CONSTRUCTING MULTI-PURPOSE EXPERT SYSTEM  
 TO REALIZE NON-FORMALIZED MANAGEMENT DECISIONS IN THE  
 SPHERE OF NATURE MANAGEMENT AND ENVIRONMENT PROTECTION**

*Basic definitions and principles of constructing production expert systems (ES), their assignment and tasks to be solved in various spheres of human activity have been considered. The description of the structure, composition and contents of multipurpose ES regarding realisation of functions of state ecological examination of projects and solutions of non-formalized management tasks by experts, decision-makers and users was carried out regarding nature-managing and nature-protection activity of the Ministry of Nature resources of the Republic of Belarus.*

*The description of tasks, solved by the ES, of all blocks, functional structure, information and program provision of the system is given. An information (subject) model and canonic ES structure have been regarded, that implement the functions of information search and any users' requests of experts and decision-makers toward information elements in knowledge bases. Data for the solution of functional tasks have been regarded, the technological process of the functioning of the model of data search at all levels of the expert system hierarchy is described.*