

# **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ к разработке автоматизированных информационно-аналитических систем управления охраной окружающей среды для объектов переработки, хранения и сбыта нефтехимической продукции**

**М.В. Баюкин**, канд. техн. наук, заместитель директора по управлению проектами и информационным технологиям, ЗАО "Научно-производственная фирма "ДИЭМ"

**К.К. Нечеухин**, начальник отдела экологических системных разработок,  
ЗАО "Научно-производственная фирма "ДИЭМ"

В работе представлены результаты системных исследований процессов управления охраной окружающей среды (ООС) для территориально-распределенных производственных объектов. Рассмотрены основные методологические подходы, предложены проектные и технические решения по созданию вертикально-интегрированных информационных систем, обеспечивающих экологическое сопровождение производственной деятельности объектов переработки, хранения и сбыта нефтехимической продукции.

**Ключевые слова:** информационные системы, системный анализ, управление охраной окружающей среды, территориально-распределенные объекты.

## **METHODOLOGICAL APPROACHES to the development automated information-analytical systems environmental management for the processing facilities, storage and marketing of petrochemical products**

**M.V. Bayukin**, candidate of technical sciences, Deputy Director of project management and information technology, JSC "Scientific and Production Company "DIEM"

**K.K. Necheuhin**, Head of Environmental Systems Engineering,  
JSC "Scientific and Production Company "DIEM"

This paper presents the results of studies concerning environmental management processes for geographically distributed production facilities. Considered main methodological approaches, proposed design and technical solutions to create a vertically-integrated information systems that provide environmental support industrial activity objects of processing, storage and marketing of petrochemicals.

**Keywords:** information systems, systems analysis, environmental management, geographically distributed objects.

Активное развитие нефтехимического комплекса, расширение сетей объектов хранения и сбыта моторных топлив ставит новые задачи по обеспечению экологической безопасности, информационному сопровождению природоохранной деятельности компаний—участников рынка оборота нефтехимической продукции.

В настоящее время расширяется комплекс услуг, предоставляемых на автозаправочных станциях (АЗС); функционируют автомобильные мойки, создаются центры ремонта, магазины широкого профиля, размещаются объекты общественного питания. Развивающаяся производственно-хозяйственная деятельность характеризуется разнооб-



разными видами воздействия на окружающую среду (ОС): образованием отходов производства и потребления, сбросами сточных вод, выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Управление охраной окружающей среды является сложным комплексным процессом, основанным на контроле основных факторов воздействия на ОС и обеспечивающим выполнение требований природоохранного законодательства, а также положений корпоративной экологической политики.

Опыт работы с предприятиями нефтехимического профиля, компаниями, осуществляющими транспортировку топливной продукции и эксплуатацию АЗС, позволяет выделить основные прикладные задачи, непрерывно решаемые экологическими подразделениями: сбор данных о выбросах, сбросах загрязняющих веществ, объемах обращения с отходами; ведение первичной учетной документации; формирование комплекта отчетной документации (расчета платы за негативное воздействие на ОС, госстатотчетности), а также документации, связанной с деятельностью контрагентов (вывоз отходов, прием сточных вод); анализ контролируемых показателей на соответствие природоохранным нормативам, подготовка и получение разрешительной природоохранной документации.

На основе анализа требований природоохранного законодательства определено порядка 25 отчетных таблиц, которые должны периодически формироваться природопользователями по данным первичного учета и на основе результатов производственного экологического мониторинга и контроля (ПЭМиК).

Часть отчетной документации ведется по каждому структурному подразделению или производственной территории компании, что обуславливает высокую трудоемкость процессов сбора и обработки данных в зависимости от территориальной распределенности и структуры юридического лица.

Исходя из организационной специфики компаний, осуществляющих эксплуатацию объектов переработки, хранения и сбыта нефтехимической продукции, можно выделить следующие проблемные области, возникающие при осуществлении природоохранной деятельности:

- отсутствие кадровых ресурсов для обработки больших объемов экологической информации и формирования отчетности, необходимость систематизации различных видов экологической информации;

- территориальная распределенность подразделений, объектов сбыта нефтехимической промышленности, расположение их в нескольких административно-территориальных образованиях;

- высокая трудоемкость процессов сбора и обработки информации, обусловленная масштабами предприятий, многообразием видов и многочисленностью объектов ПЭМиК.

Как следствие, принятие экологически ориентированных управленческих решений осуществляется в условиях неопределенности, вызванной отсутствием оперативной информации (по контуру обратной связи управляющей системы) о контролируемых показателях природоохранной деятельности, результатах ПЭМиК. Обработка экологической информации осуществляется с периодичностью, ограниченной загруженностью кадровых ресурсов компаний, и, как правило, соответствует периоду подготовки отчетной документации, регламентируемому нормативно-правовой документацией. Низкое разрешение контролируемых показателей по времени ограничивает возможность прогнозирования их динамики и среднесрочного планирования природоохранной деятельности, негативно влияет на время реагирования системы управления в целом [1].

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих решение вышеуказанных проблем, является использование современных информационно-аналитических систем управления охраной окружающей среды (ИАС).

Информатизация управления охраной окружающей среды для сложных территориально-распределенных объектов основана на системной интеграции компьютерных средств, информационных и коммуникационных технологий с целью получения новых общесистемных свойств, позволяющих более эффективно организовать природоохранную деятельность компании.

Проведение автоматизации управления охраной окружающей среды неразрывно связано с процедурой формализации процессов природоохранной деятельности подразделений компаний, созданием логической и функциональной моделей исследуемой системы, что требует комбинации различных специальных методик и разработки соответствующей оптимальной последовательности их применения.

Системный подход к разработке ИАС для промышленных предприятий подразумевает, как правило, решение следующего круга задач:

- разработка функциональной модели системы управления охраной окружающей среды;



- построение матриц взаимодействия автоматизируемых процессов и процессов маршрутизации данных;
- моделирование логической архитектуры хранилища данных;
- проектирование и разработка комплекса программных и технических средств;
- оценка наблюдаемости и управляемости систем с использованием ИАС.

Главным методологическим инструментом для выполнения всех этапов программного проектирования служит системный анализ – SADT (Structured Analysis & Design Technique).

При обследовании объекта автоматизации (первый этап разработки информационной системы [2]), для описания автоматизируемых функций и процессов положительно зарекомендовали себя методологии семейства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), применяющиеся при моделировании деятельности широкого спектра сложных систем в различных разрезах (стратах) и уровнях декомпозиции.

Для проведения первичного анализа и описания укрупненных процессов управления природоохранной деятельностью применяется подход, предложенный Дж. Захманом. Применение модели Захмана обеспечивает комплексную формализацию процессов ООС и описание их с помощью различных представлений.

Дальнейшее решение задач проектирования осуществляется посредством использования следующих методологий: проектирование функциональной модели – методология IDEF0, рекомендованная Госстандартом [3]; моделирование потоков данных – DFD (Data Flow Diagrams); разработка логической архитектуры хранилища данных – IDEFIX.

На рис. 1 представлен общий подход к разработке системной модели ИАС, иллюстрирующий последовательность операций моделирования и применения соответствующих методологий.

По результатам анализа существующей системы оперативного управления природоохранной деятельностью на предприятии создается принципиальная IDEF0-диаграмма работ и операций по сбору, обработке и управлению экологическими данными.

Множество моделей некоторой  $x$  системы имеет вид:

$$\dot{X} = \{ \dot{M}_{xy} | y = \overline{0, Y_x} \},$$

где  $\dot{M}_{xy}$  – кортеж, представляющий в  $x$  системе  $y$  модель;  $Y_x$  – число моделей в  $x$  системе. Каждая  $y$

модель  $x$  системы представлена в виде блока на системной диаграмме (контекстного блока модели), описываемой в виде кортежа:

$$S = \langle I, C, O, F, M \rangle,$$

где  $I, C, O, F, M$  – атрибуты информационных потоков системы и реализуемая ею функция ( $I$  – Input,  $C$  – Control,  $O$  – Output,  $F$  – Function,  $M$  – Mechanism).

В рамках данного этапа исследования устанавливаются качественные характеристики системы управления: взаимозависимость, возможная избыточность.

В структуре IDEF0-диаграммы определяется место проектируемой ИАС, после чего осуществляется оценка и сравнение потребности в ресурсах для существующей системы управления и проектируемой ИАС.

Для учета выявленных информационных коммуникаций и составления матриц взаимодействия автоматизируемых процессов возможно использование ресурсной матрицы или матрицы смежности, применяемой в теории графов. Описание ресурсной матрицы предполагает формализацию объемов ресурсов (трудозатрат) на сбор, обработку и передачу информации. При этом сбор и передача информации осуществляются по коммуникационным каналам между подсистемами структуры, в то время как обработка информации является процессом, производимым исключительно внутри каждого структурного блока.

К примеру, для фрагмента типичной линейной системы управления с одним ЛПР и тремя подчиненными ресурсная матрица принимает вид:

$$R = \begin{pmatrix} R_{11} & 0 & 0 & R_{14} \\ 0 & R_{22} & 0 & R_{24} \\ 0 & 0 & R_{33} & R_{34} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} \end{pmatrix},$$

где диагональные элементы  $R_{ii}$  обозначают ресурсы, необходимые для осуществления обработки информации структурными подразделениями. Элементы  $R_{ij}$  – ресурсы, затрачиваемые структурными подразделениями на информационное взаимодействие с ЛПР. К  $R_{i4}$  относятся ресурсы, необходимые для осуществления управляющих воздействий ЛПР по типу обратной связи к структурным подразделениям.



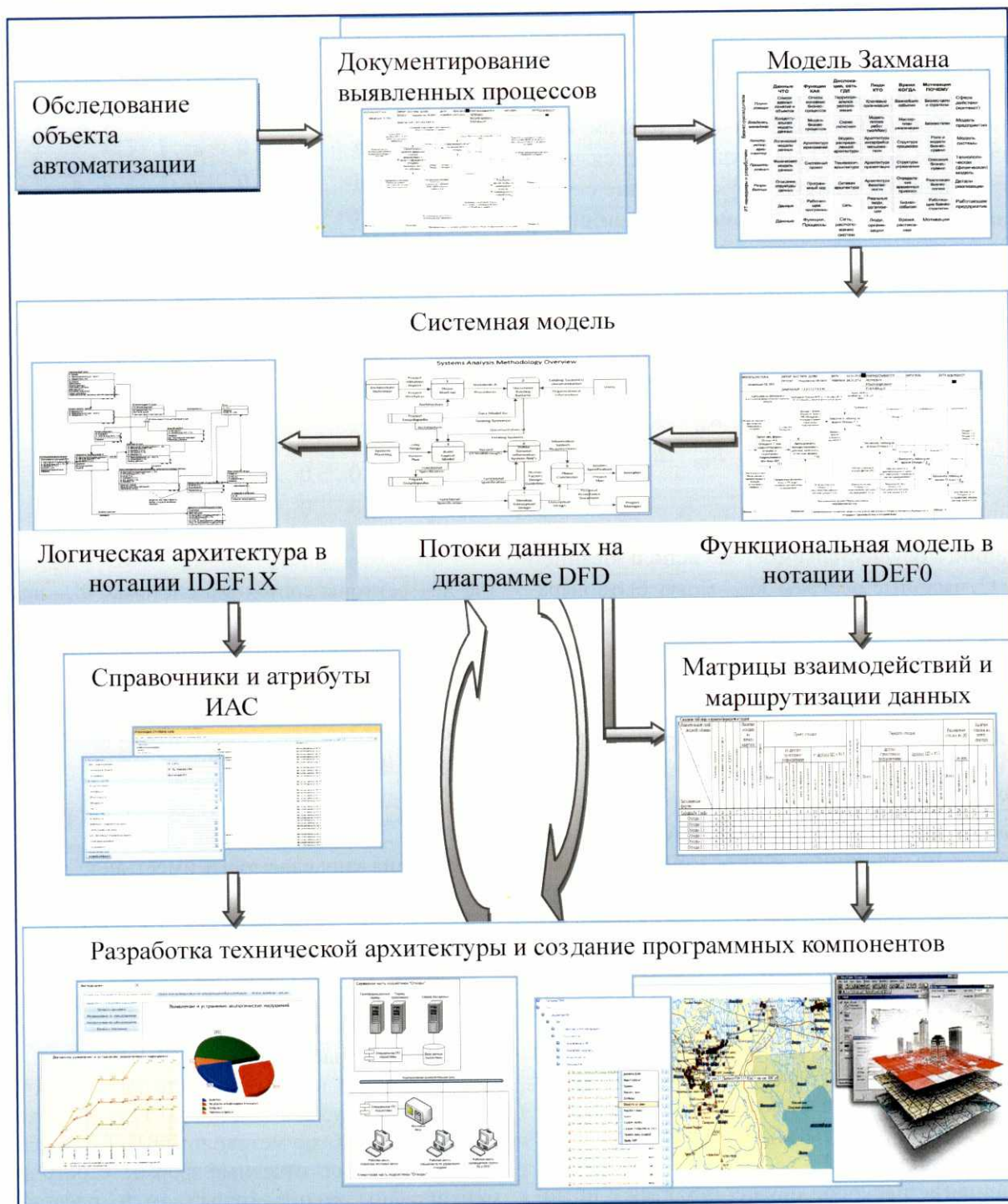


Рис. 1. Иллюстрация методологического подхода к разработке ИАС

Суммарные ресурсы  $R_{\Sigma}$ , затрачиваемые на функционирование модели линейной структуры, равны сумме ресурсов на сбор, передачу и обработку информации:

$$R_{\Sigma}(t) = R_{\Sigma c}(t) + R_{\Sigma n}(t) + R_{\Sigma o}(t); \quad (1)$$

где  $R_{\Sigma c}$  – сумма ресурсов на сбор (отправку) данных, при этом  $R_{\Sigma c} = R_{14} + R_{24} + R_{34}$  – сумма верхних

недиагональных элементов матрицы;  $R_{\Sigma n}(t)$  – сумма ресурсов на передачу данных (осуществление управляющих воздействий),  $R_{\Sigma n} = R_{41} + R_{42} + R_{43}$  – сумма нижних недиагональных элементов матрицы;  $R_{\Sigma o}(t)$  – сумма ресурсов на обработку данных,  $R_{\Sigma o} = R_{11} + R_{22} + R_{33} + R_{44}$  – сумма диагональных элементов матрицы;  $R_{44}$  – трудозатраты на выра-



ботку управляющих воздействий с осуществлением содержательного преобразования информации (семантическая обработка).

Для модели с функциональным блоком ИАС управляющие воздействия осуществляются через информационную систему (двухсторонние связи). В данном случае ресурсная матрица принимает вид:

$$R_{\text{ИАС}} = \begin{bmatrix} R_{11} & 0 & 0 & 0 & R_{1\text{И}} \\ 0 & R_{22} & 0 & 0 & R_{2\text{И}} \\ 0 & 0 & R_{33} & 0 & R_{3\text{И}} \\ 0 & 0 & 0 & R_{44} & R_{4\text{И}} \\ R_{\text{И}1} & R_{\text{И}2} & R_{\text{И}3} & R_{\text{И}4} & R_{\text{ИИ}} \end{bmatrix}.$$

Индексы "И" обозначают преобразование информации, осуществляемое с использованием ИАС. Суммарные ресурсы  $R_{\text{ИАС}}$  могут быть выражены формулой, аналогичной (1).

Необходимо учесть следующие особенности функционирования автоматизированных систем:

–  $R_{\text{ИИ}} \rightarrow 0$ , так как обработка информации в ИАС происходит в автоматическом режиме;

–  $R_{11}, R_{22}, R_{33} \rightarrow 0$ , так как предварительно обученные программные механизмы ИАС, функционирующие по принципу многослойного перцептрона, позволяют обрабатывать данные каждого структурного подразделения в рамках единого информационного центра, необходим лишь ввод данных в систему;

–  $R_{1\text{И}}, R_{2\text{И}}, R_{3\text{И}}$  – трудозатраты на ввод информации в базу данных ИАС, в зависимости от степени автоматизации производств данные трудозатраты могут быть минимизированы;

–  $R_{\text{И}4}, R_{4\text{И}}$  – ресурсы, отражающие интерфейс взаимодействия с ЛПР.

Сравнение ресурсов осуществляется с помощью вычисления соответствующих норм матриц.

Для оценки управляемости и наблюдаемости полученную диаграмму IDEF0 преобразуют в модель пространства состояний.

Уравнение состояния линейного объекта отражает его динамические свойства и записывается в виде векторного дифференциального уравнения в форме Коши. Для блока ИАС в линейной организационной системе управления, состоящей, к примеру, из ЛПР, ИАС и 3 структурных подраз-

делений уравнение в матричной форме примет вид:

$$\begin{cases} \dot{X} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & a_{1\text{И}} \\ 0 & a_{22} & 0 & a_{2\text{И}} \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{3\text{И}} \\ a_{\text{И}1} & a_{\text{И}2} & a_{\text{И}3} & a_{\text{ИИ}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_{\text{ИИ}} \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & 0 \\ 0 & 0 & b_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}; \\ Y = \begin{bmatrix} c_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{\text{ИИ}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_{\text{ИИ}} \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $X$  – векторы состояния системы;  $Y$  – векторы выхода;  $u$  – векторы управления;  $a$  – матрица системы;  $b$  – матрица управления;  $c$  – матрица выхода.

Для оценки управляемости и наблюдаемости системы определяется ранг специальных матриц. Матрица наблюдаемости имеет вид:

$$N_{\text{Н}} = [C^T | (CA)^T | (CA^2)^T | \dots | (CA^{n-1})^T].$$

Матрица управляемости имеет вид:

$$N_{\text{У}} = [B | AB | A^2B | \dots | A^{n-1}B].$$

Исходя из расчетов, проводимых для блока ИАС уравнения (2), следует, что ранг матриц  $N_{\text{Н}}$  и  $N_{\text{У}}$  отличен от нуля, соответственно система с ИАС управляема и наблюдаема.

Дальнейшее проектирование ИАС включает в себя разработку логической архитектуры хранилища данных ИАС по методологии IDEF1X. Так как практически все отчетные формы строго регламентированы законодательством и, следовательно, детерминирован набор отчетных показателей, целесообразным является создание ER-диаграммы, обладающей необходимой универсальностью.

Переход между моделями при разработке ИАС осуществляется по пути постепенного структурирования (выделения) носителей экологической информации при переходе от динамической модели к модели реляционной базы данных.

Опыт разработки ИАС показал целесообразность создания отдельных программных модулей, соответствующих направлениям природоохранной



деятельности (предметным областям): управление процессами обращения с отходами производства и потребления; охрана вод; охрана атмосферного воздуха.

Подразделение ИАС на программные модули обусловлено результатами моделирования логической архитектуры хранилища экологических данных. При проведении нормализации концептуальной модели и приведения ее к третьей нормальной форме установлено, что часть нормализованных таблиц является универсальными носителями информации, которая используется для формирования отчетной документации по всем направлениям природоохранной деятельности. В то же время определенные фрагменты логической архитектуры хранилища данных уникальны для каждого про-

граммного модуля, что является следствием разнообразия структуры объектов и типов экологических данных для каждой предметной области природоохранной деятельности.

На основе полученной модели логической архитектуры разработаны 35 уникальных справочников и наборов атрибутов ИАС, обеспечивающих систематизацию широкого спектра экологической информации и минимизацию трудозатрат на ее обработку за счет устранения повторно вводимых (избыточных) данных и снижения вероятности ошибок при вводе информации в ИАС.

Обобщая полученные в ходе системных исследований результаты, можно предложить следующую концептуальную модель программных компонентов ИАС (рис. 2).

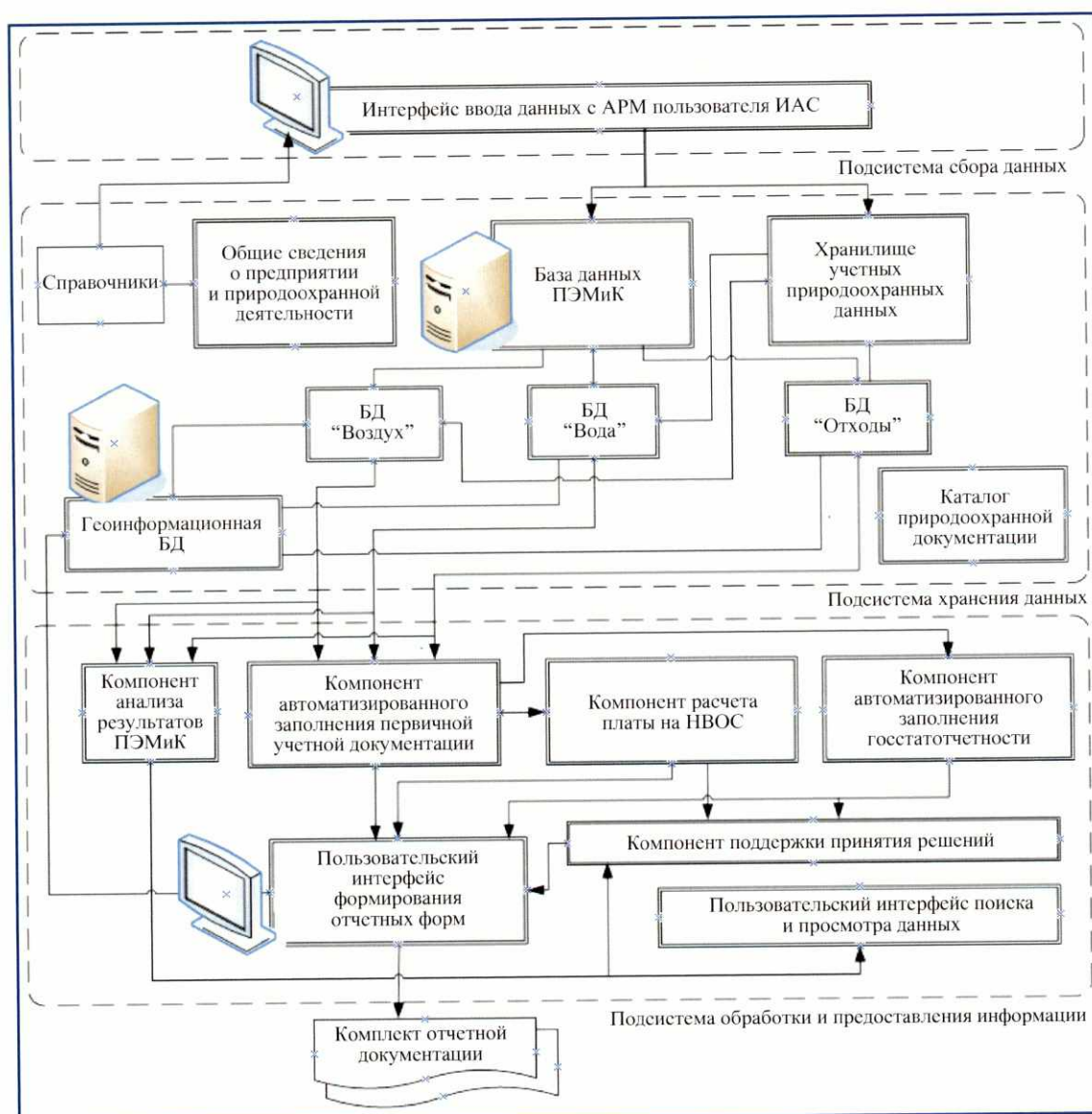


Рис. 2. Концептуальная модель архитектуры программных компонентов ИАС



Основной архитектурный принцип заключается в использовании единого хранилища данных, которое обеспечивает сбор, хранение и обработку данных, поступающих от всех модулей системы. При этом источниками данных для ИАС могут быть как средства автоматического измерения контролируемых показателей, так и непосредственные пользователи системы, осуществляющие первичный учет процессов обращения с отходами, водопотребления и водоотведения, контроля за выбросами загрязняющих веществ.

Рассмотрим отдельные программные компоненты, представленные в концептуальной модели.

Геоинформационная БД предназначена для работы с пространственно-распределенными данными (объекты ПЭМиК, движение отходов и др.). Интеграция ИАС с геоинформационной системой обеспечивает возможность использования инструментов картографической поддержки для поиска геокодированной экологической информации и решения задач логистики при осуществлении природоохранной деятельности. Оптимизация маршрутов сбора и транспортирования опасных отходов основана на решении задачи коммивояжера с помощью вычислительных ГИС-средств.

Компонент поддержки принятия решений предназначен для повышения эффективности функций управления посредством поиска решений в экспертной базе знаний. Формирование экспертной базы знаний должно осуществляться под руководством пользователей ИАС в соответствии со спецификой производственной и природоохранной деятельности заказчика. База знаний состоит из правил анализа информации, содержащейся в ИАС; система анализирует ситуацию и, в зависимости от направленности и задач природоохранной деятельности, в автоматическом режиме дает рекомендации по разрешению проблемы и принятию решений. Представленная программная технология может быть актуальной при реализации отдельных функций управления охраной окружающей среды для предприятий нефтехимического комплекса, в частности:

- принятия решений об изменении периодичности контроля показателей, в случае выявления их устойчивой негативной динамики;
- принятия решений о проведении дополнительных инструктажей персонала, в случае выявления экологических нарушений (в зависимости от их количества, типов, атрибутов в базе данных);

– принятия решений о планировании и проведении природоохранных мероприятий на основе результатов ПЭМиК (например, проведение рекультивации почв в случае фиксации загрязнителей на определенной территории);

– принятия решений об изменении маршрутизации размещаемых отходов в зависимости от свободных объемов карт полигонов, тарифов контрагентов.

Эффективное регулирование природоохранной деятельности зависит от скорости реакции на возникшие отклонения, в частности: времени ожидания, получения и обработки полученных результатов ПЭМиК и времени принятия решений.

Для автоматизации процессов обработки исходных данных и заполнения отчетной документации в рамках соответствующих компонентов ИАС предусматривается разработка специальных программных алгоритмов. Сложность логических операций и алгоритмов обработки экологических данных обусловлена их многофакторной зависимостью: от выданной разрешительной природоохранной документации, от территориального распределения структурных подразделений юридического лица в разных муниципальных образованиях и субъектах РФ, от характеристик объектов природопользования. Как следствие, данные факторы подлежат учету при проектировании логической архитектуры хранилища данных. При этом дополнительным эффектом от внедрения ИАС является унификация процессов документирования природоохранной деятельности и подходов к порядку формирования отчетной документации.

Обобщение и ранжирование данных осуществляется в зависимости от их территориальной и организационной структуры, а также вида обрабатываемых данных в соответствии с действующими методическими рекомендациями и нормативными требованиями.

Так как процессы формирования отчетной природоохранной документации, обработки результатов ПЭМиК характеризуются высокой частотой (периодичностью) выполнения, важной прикладной задачей при разработке ИАС является анализ и подбор информационных технологий и средств связи, обеспечивающих возможность коллективной одновременной работы широкого круга пользователей. Использование в этом случае web-технологий для работы с ИАС имеет ряд преимуществ: возможность доступа к системе без установ-



ки дополнительного программного обеспечения, использование широкого круга мобильных устройств (в том числе планшетных персональных компьютеров (ПК)), обновление и обслуживание только серверной части системы, минимальные требования к ПК пользователей. При проектировании конкретных технических решений по передаче данных необходимо руководствоваться требованиями, установленными политикой информационной безопасности заказчиков ИАС.

Предложенные в настоящей статье подходы к разработке ИАС позволяют улучшить две фундаментальные характеристики системы управления: повысить оперативность и информированность при принятии управленческих решений в области охраны окружающей среды. Снижение трудоемкости подготовки отчетной документации за счет автоматизации ручных операций при обработке форм обуславливает возможность непрерывного контроля экологических показателей в режиме, приближенном к реальному времени. При функционировании ИАС вычислительные мощности системы и принципы ввода и обработки данных, представленные на рис. 2, позволяют сократить период обновления отчетных форм до периода, равного отрезку времени между единичными вводами данных в систему.

Значительное повышение оперативности получаемых и анализируемых данных позволяет не только повысить скорость реакции управляющей системы в целом, но и отслеживать динамику изменений контролируемых экологических показателей с высоким временным разрешением. Таким образом, обеспечивается возможность прогнозирования контролируемых экологических показателей с применением различных методов экстраполяции данных (индекс сезонности и др.) и, как следствие, облегчается задача планирования различных видов природоохранных мероприятий.

Обобщая изложенные решения, можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный подход к разработке ИАС, последовательность применяемых методологий

и приемов моделирования позволяет постепенно выделить носители экологической информации из динамической модели системы с сохранением взаимосвязи между процессом, результатом его функционирования и записью в базе данных.

2. Системы охраны окружающей среды предприятий нефтехимического комплекса с использованием ИАС являются управляемыми и наблюдаемыми, что подтверждается определением рангов соответствующих матриц.

3. Использование справочников, универсальных для данных различных направлений природоохранной деятельности, минимизирует трудозатраты на обработку информации за счет устранения повторно вводимых (избыточных) данных. Применение модульного принципа разработки ИАС обеспечивает масштабируемость создаваемых систем под отдельные объекты, подразделения или филиалы компаний, направления природоохранной деятельности.

4. Автоматизированное заполнение природоохранных отчетных форм основано на использовании алгоритмов с многофакторной зависимостью от организационных, территориально-административных и других характеристик объектов природопользования, которые необходимо выделить при проектировании логической архитектуры хранилища данных.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Костров А.В.** Основы информационного менеджмента. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2009. 528 с.
2. **ГОСТ 34.601–90.** Автоматизированные системы. Стадии создания.
3. **Р 50.1.028–2001.** Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования (приняты постановлением Госстандарта РФ от 2 июля 2001 г. № 256-ст).

