

УДК 681.518

Информационно-управляющие системы охраны окружающей среды для объектов нефтегазового комплекса

А.Г. Ишков (ОАО «Газпром»), Г.А. Ярыгин, В.И. Равикович, М.В. Баюкин, К.К. Нечеухин (ЗАО «Научно-производственная фирма «ДИЭМ»)

В статье рассмотрены основные методологические подходы к формированию и построению информационно-управляющих систем охраны окружающей среды (ИУС ООС) для предприятий нефтегазового комплекса. На основе анализа управляющих воздействий, формируемых лицом, принимающим решение (ЛПР), разработаны и представлены оптимальные, с точки зрения авторов, проектные и технические решения по реализации ИУС, необходимые для поддержки принятия решений и автоматизации процессов формирования отчетной природоохранной документации.

Управление охраной окружающей среды – сложный комплексный процесс, обеспечивающий экологическую безопасность предприятия и направленный на выполнение требований природоохранного законодательства, а также положений корпоративной экологической политики. Активное развитие отечественного нефтегазового комплекса, масштабность и территориальная распределенность его объектов ставят новые задачи по экологическому сопровождению производственной деятельности и эффективному управлению охраной окружающей среды.

Информатизация управления охраной окружающей среды основана на системной интеграции компьютерных средств, информационных и коммуникационных технологий в целях получения новых общесистемных свойств, позволяющих более эффективно организовать природоохранную деятельность предприятия.

Опыт работы с предприятиями нефтегазового комплекса позволяет выделить основные прикладные задачи, непрерывно решаемые экологической службой предприятия на этапе эксплуатации: сбор данных о выбросах и сбросах

загрязняющих веществ на предприятии, объемах обращения с отходами; подготовка первичной учетной документации; формирование комплекта отчетной документации (расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду, государственной отчетности); анализ контролируемых показателей на соответствие природоохранным нормативам и утвержденной разрешительной природоохранной документации; разработка природоохранных мероприятий.

На основе анализа требований природоохранного законодательства определено примерно 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 предприятия, что обуславливает высокую трудоемкость процессов сбора и обработки данных в зависимости от территориальной распределенности и организационной структуры юридического лица.

Условно зависимость числа природоохранных отчетных форм и информационных взаимодействий от организационной структуры юридического лица может быть представлена на рис. 1.

Экспоненциальный характер роста числа информационных взаимодействий обусловлен необходимостью учета процессов между структурными подразделениями предприятия (прием/передача отходов, водоотведение и водопотребление), что описывается соответствующими выражениями комбинаторного анализа.

Исходя из организационной специфики объектов нефтегазового комплекса 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;

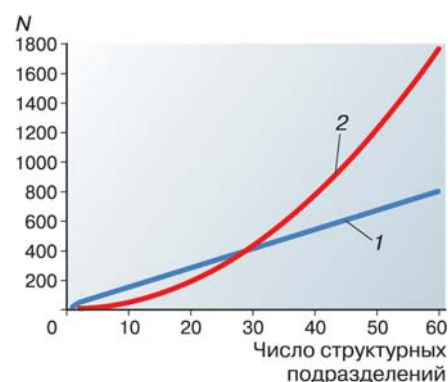


Рис. 1. Зависимость числа природоохранных отчетных форм (1) и информационных потоков (2) от числа структурных подразделений предприятий

- территориальная распределенность подразделений и объектов ПЭМик;
- высокая трудоемкость процессов сбора и обработки информации, обусловленная масштабами предприятий, многообразием видов и многочисленностью объектов ПЭМик.

Как следствие, принятие 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 предприятия, и, как правило, соответствует периоду подготовки отчетной документации, регламентируемому нормативно-правовой документацией. Низкое временное разрешение контролируемых показателей ограничивает возможность прогнозирования их динамики и среднесрочного планирования природоохранной деятельности компании, негативно влияя на время реагирования системы управления в целом.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих решение вышеуказанных проблем, является использование современных информационно-управляющих систем охраны окружающей среды. Цель создания ИУС ООС – комплексная автоматизация процессов управления природоохранной деятельностью предприятия, в том числе контроль за негативным воздействием производственно-хозяйственной деятельности на окружающую среду, обеспечение поддержки принятия экологически ориентированных управленческих решений.

Реализация ИУС направлена на решение следующих задач:

- сбора экологических данных от территориально распределенных подразделений и ввода их в единое хранилище данных посредством заполняемых пользователями шаблонов электронных форм, а также от действующих автоматизированных измерительных звеньев предприятия;

- автоматизированного анализа полученных данных на соответствие установленным природоохранным нормативам (НООЛР, НДС, ПДВ), информирование пользователей в случае выявления несоответствий и негативной динамики показателей;
- автоматизации расчетов платы за негативное воздействие на окружающую среду, формирования первичной учетной документации, госстатотчетности на основе программных алгоритмов, разработанных в соответствии с формулами и операциями по обработке (обобщение, ранжирование) данных, изложенных в утвержденных методиках;
- поддержки принятия решений на основе экспертных баз знаний, алгоритмов выявления и устранения типовых проблемных ситуаций в области охраны окружающей среды.

ИУС может являться составной частью единого информационного пространства компании, выступать как типовая информационно-управляющая система предприятий (обособленные подразделения, филиалы), обеспечивающая процессы охраны окружающей среды, а также выполнять функции по сбору, обработке и анализу ключевых показателей эффективности природоохранной деятельности в рамках единого хранилища корпоративных данных. Базы данных результатов расчетов экономической составляющей природоохранной деятельности ИУС (объемы платы за НВОС по месту возникновения затрат, текущие затраты на проведение природоохранных мероприятий и т. д.) целесообразно интегрировать с автоматизированными системами бюджетирования, формирования финансовой отчетности предприятия.

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

Системный подход к разработке ИУС для промышленных предприятий подразу-

мекает, 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;
- разработка комплекса программных и технических средств;
- оценка наблюдаемости и управляемости систем с использованием ИУС.

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

При обследовании объекта автоматизации, являющегося первым этапом разработки информационной системы*, 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**; моделирование потоков данных – DFD (Data Flow Diagrams); разработка логической архитектуры хранилища данных – IDEF1X.

На рис. 2 приведен общий подход к разработке системной модели ИУС, иллюстрирующий последовательность операций моделирования и применения соответствующих методологий.

* ГОСТ 34.601–90 «Автоматизированные системы. Стадии создания».

** 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).

По результатам анализа существующей системы оперативного управления природоохранной деятельностью на предприятии создается принципиальная IDEF0-диаграмма

ма работ и операций по сбору, обработке и управлению экологическими данными.

Множество моделей некоторой х-системы имеет вид:

$$\dot{X} = \{\dot{M}_{xy} | y = \overline{0, Y_x}\}, \quad (1)$$

где \dot{M}_{xy} – кортеж, представляющий в х-системе у-модель; Y_x – число моделей в х-системе.

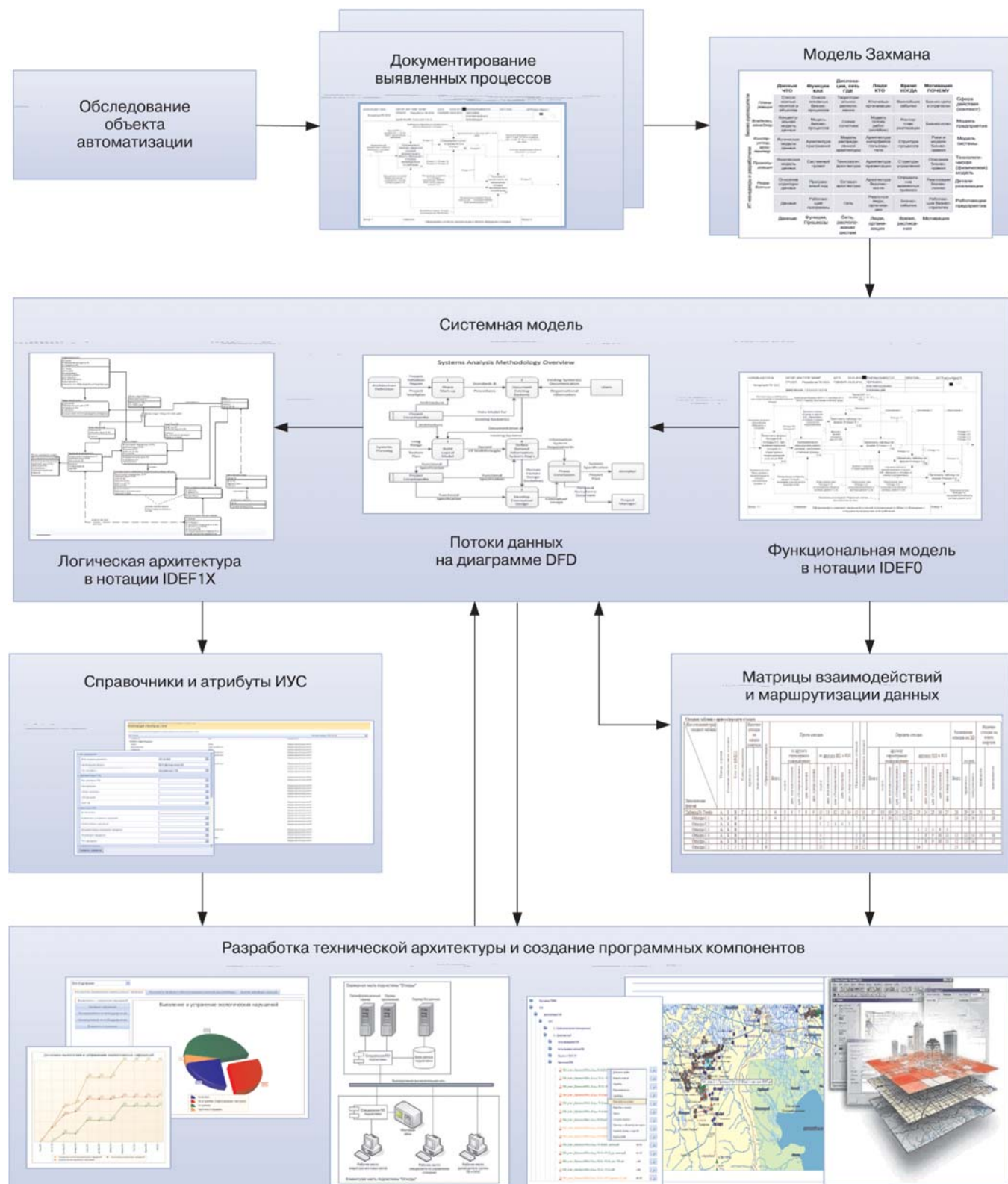


Рис. 2. Методологический подход к разработке ИУС

Каждая у-модель х-системы представлена в виде блока на системной диаграмме (контекстного блока модели), описываемой в виде кортежа:

$$S = \langle I, C, O, F, M \rangle, \quad (2)$$

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 IDEFO-диаграммы определяется место проектируемой ИУС, после чего осуществляются оценка и сравнение потребности в ресурсах для существующей системы управления и проектируемой ИУС. Для учета выявленных информационных коммуникаций и составления матриц взаимодействия автоматизируемых процессов возможно использование ресурсной матрицы или матрицы смежности, применяемой в теории графов.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод: использование ИУС в классических для нефтегазового комплекса линейных организационных системах управления ООС обеспечивает ее наблюдаемость и управляемость, что подтверждается определением соответствующих критериев в модели пространства состояний (выраженной в виде векторного дифференциального уравнения в форме Коши)***.

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

Опыт разработки ИУС для предприятий нефтегазового комплекса 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 ИУС на программные модули обусловлено результатами модели-

рования логической архитектуры хранилища экологических данных. При проведении нормализации концептуальной модели и приведении ее к третьей нормальной форме установлено, что часть нормализованных таблиц являются 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 программного модуля, что является следствием разнообразия структуры объектов и типов экологических данных для каждой предметной области природоохранной деятельности.

На основе полученной модели логической архитектуры разработано 35 уникальных справочников (и наборов атрибутов) ИУС, 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 ИУС.

Обобщая полученные в ходе системных исследований результаты, можно предложить следующую концептуальную модель программных компонентов ИУС (рис. 3).

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 ИУС 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 некоторые из представленных на схеме программных компонентов.

Геоинформационная БД предназначена для работы с пространственно распределенными данными (объекты ПЭМик, движение отходов и др.). Интеграция ИУС с геоинформационной системой обеспечивает возможность использования инструментов картографической поддержки для поиска

геокодированной экологической информации и решения задач логистики при осуществлении природоохранной деятельности. Оптимизация маршрутов отбора проб, 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 ИУС в соответствии со спецификой производственной и природоохранной деятельности заказчика. База знаний состоит из правил анализа информации, содержащейся в ИУС; 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 нефтегазового комплекса, в частности принятия решений:

- об изменении периодичности контроля показателей в случае выявления их устойчивой негативной динамики;
- о проведении дополнительных инструктажей персонала в случае выявления экологических нарушений (в зависимости от их числа, типов, атрибутов в базе данных);
- о планировании и проведении природоохранных мероприятий на основе результатов ПЭМик (проведение рекультивации почв в случае фиксации загрязнителей на определенной территории);
- об изменении маршрутизации размещаемых отходов в зависимости от свободных объемов карт полигонов.

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 процесса обработки исходных данных и заполнения отчетной документации в рамках соответствующих

*** Ишков А.Г., Смирнов Т.Ю., Гопа О.К. и др. Разработка информационно-аналитической системы управления охраной окружающей среды на основе ГИС-технологий при строительстве магистральных газопроводов // Наука и техника в газовой промышленности. – 2011. – № 1. – С. 90–95.

компонентов ИУС предусматривается разработка специальных программных алгоритмов. Важный аспект информатизации системы управления охраной окружающей среды – соответствие разрабатываемых

алгоритмов автоматизируемой обработки данных требованиям регламентирующих документов. 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

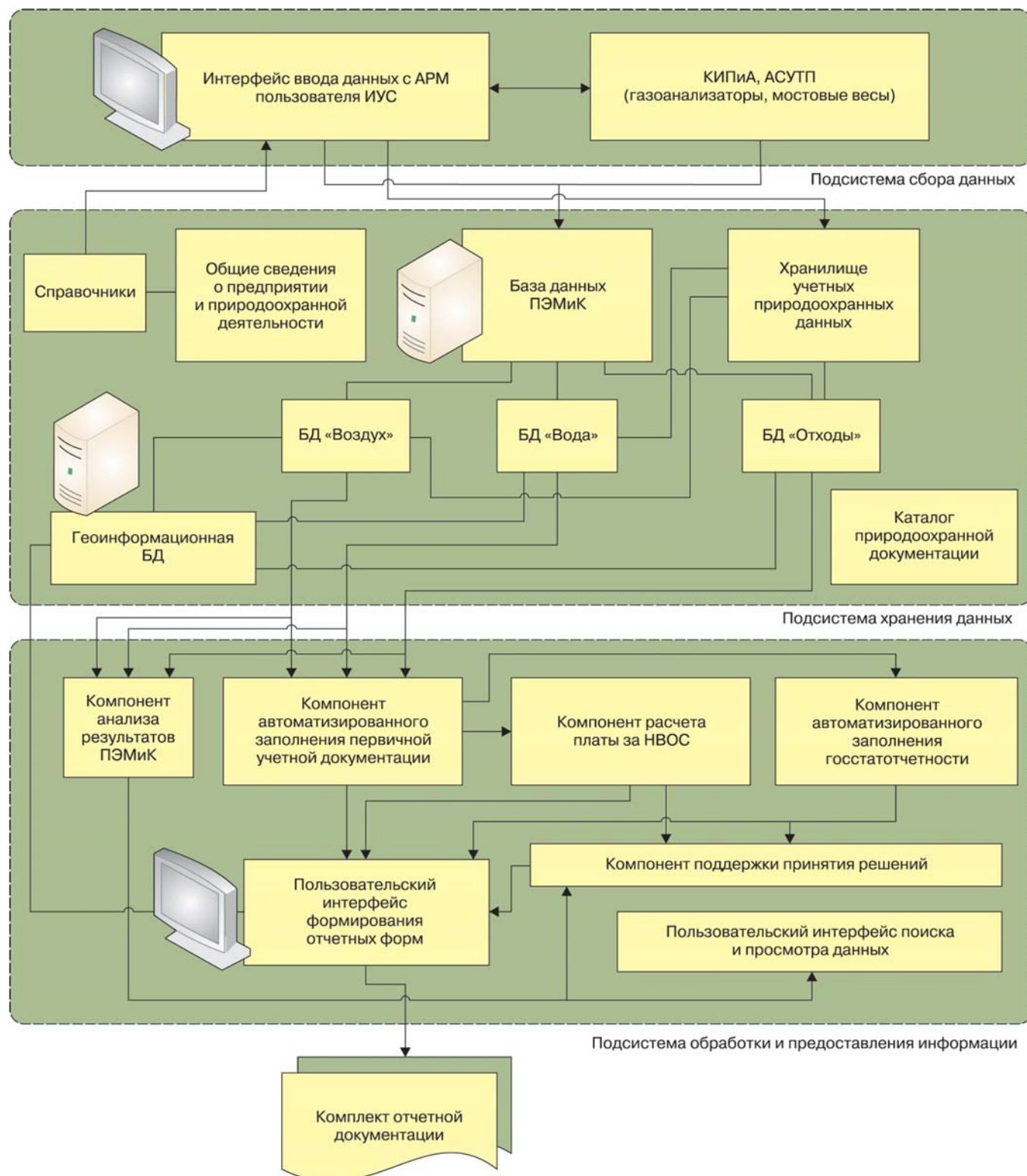


Рис. 3. Концептуальная модель архитектуры программных компонентов ИУС

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 ИУС является унификация процессов документирования природоохранной деятельности и подходов к порядку формирования отчетной документации.

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

В настоящее время для структур любой организационной и территориальной сложности полностью описаны и программно реализованы алгоритмы автоматизированного формирования следующих типов отчетной природоохранной документации:

- первичная учетная документация в области обращения с отходами (утв. Приказом Минприроды России от 1 сентября 2011 г. № 721);
- первичная учетная документация в области водопотребления и водоотведения (утв. Приказом Минприроды России от 8 июля 2009 г. № 205);
- формы госстатотчетности: форма № 2-тп (водхоз) и форма № 2-тп (отходы) (утв. приказами Росстата от 19 октября 2009 г. № 230, от 28 января 2011 г. № 17);
- формы квартального расчета платы за НВОС (утв. Приказом Ростехнадзора от 5 апреля 2007 г. № 204).

Так как процессы формирования отчетной природоохранной документации, обработки результатов ПЭМик характеризуются высокой частотой (периодичностью) выполнения, важной прикладной задачей при разработке ИУС являются 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 ИУС имеет ряд преимуществ: возможность доступа

к системе без установки дополнительного программного обеспечения, использование широкого круга мобильных устройств (в том числе планшетных 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 ИУС.

Предложенные в настоящей статье подходы к разработке ИУС 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. Так, периодичность оценки соответствия текущих показателей производственной деятельности природоохранным нормативам, установленным в разрешительной документации, например соответствие объемов образовавшихся отходов установленным НООЛР, равна периоду формирования первичной учетной документации и времени на обработку и обобщение данных по предприятию (не чаще 1 раза в месяц). При функционировании ИУС вычислительные мощности системы и принципы ввода и обработки данных (см. рис. 3) 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:

- предложенный подход к разработке ИУС, последовательность применяемых методологий и приемов моделирования позволяют постепенно выделить носители экологической информации из динамической модели системы с сохранением взаимосвязи между процессом, результатом его функционирования и записью в базе данных;
- 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 ИУС обеспечивает масштабируемость создаваемых систем под отдельные проекты, подразделения или филиалы компаний, направления природоохранной деятельности;
- 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.

Отдельные положения и технические решения, предложенные авторами, использованы при разработке базы данных ПЭМик на этапе строительства МГ Сахалин – Хабаровск – Владивосток (ООО «Газпром инвест Восток»), создании природоохранного модуля «ЭКОГИС» для объектов Кириинского ГКМ (ООО «Газпром добыча шельф»), системы управления экологическими данными (ТОО «Тенгизшевройл») и находятся на стадии реализации при разработке программного комплекса по формированию отчетности в области охраны окружающей среды ООО «Газпром добыча Ямбург».