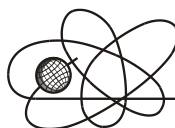




*Российская Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



**ИБРАЭ**

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY  
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2017-1

Preprint IBRAE-2017-1

**Н. С. Цебаковская, В. С. Свительман, Ин. И. Линге, И. А. Пронь,  
В. Ю. Коновалов**

## **СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ СМП НКМ**

**Цебаковская Н. С., Свительман В. С., Линге Ин. И., Пронь И. А., Коновалов В. Ю.**  
СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ СМП НКМ. Препринт / Ин-т проблем безопас. развития  
атом. энергетики РАН, № IBRAE-2017-1 — М: ИБРАЭ РАН, 2017. — 35 с. — Биб-  
лиогр.: 31 назв. — 63 экз.

Аннотация

В работе описана структуры базы данных, созданной для хранения результатов проекта в ходе реализации первого этапа НИР «Разработка проекта стратегического мастер-плана по обеспечению подготовки оценок и обоснований долговременной безопасности ПГЗРО для захоронения РАО 1 и 2 класса в Нижнеканском массиве (участок «Енисейский»).

Представлен краткий обзор зарубежных баз данных и информационных систем (США, Бельгия, Швеция, Финляндия, Швейцария, Япония), разрабатываемых с целью систематизации громадных массивов данных, собранных за несколько десятилетий реализации программ захоронения ОЯТ и РАО.

На основании зарубежного опыта обозначены перспективные направления развития предложенной базы данных по проекту СМП НКМ от архива проекта до полноценной информационной системы, состоящей из трех основных подсистем: подсистемы обоснования безопасности на основании управления требованиями, подсистемы управления знаниями и подсистемы управления НИОКР.

©ИБРАЭ РАН, 2017

**Cebakovskaya N. S., Svitelman V. S., Linge In. I., Pron I. A., Konovalov V. Yu.**  
THE STRUCTURE OF SMP NKM DATA BASE. Preprint / Nuclear Safety Institute RAS  
IBRAE-2017-1 — Moscow: NSI RAS, 2017 — 35 p. — Bibliogr: 31 items.

Abstract

The paper introduces the structure of a database designed to store the outputs of the first R&D phase “Development of a Strategic Master Plan Supporting the Safety Case and Safety Assessments for a Deep Geological Disposal Facility for Class 1 and Class 2 RW in the Nizhnekansk massif (Eniseysk area)”.

The paper overviews the international experience in the development of databases and information systems used to organize huge arrays of data supporting RW and SNF disposal projects gained during the past decades (USA, Belgium, Sweden, Finland, Switzerland and Japan).

Perspectives for the enhancement of the purposed SMP NKM database were outlined based on this analysis enabling its transformation from a design history file into a comprehensive information system involving three main sub-systems: requirement management sub-system, knowledge management sub-system and R&D management sub-system.

©Nuclear Safety Institute, 2017

# Структура базы данных СМП НКМ

*Н. С. Цебаковская, В. С. Свительман, Ин. И. Линге,*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52

тел.: (495) 955-22-31, эл. почта: [svitelman@ibrae.ac.ru](mailto:svitelman@ibrae.ac.ru)

*И. А. Пронь, В. Ю. Коновалов*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОПЕРАТОР ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ»

119017, Москва, ул. Пятницкая, д.49А, стр.2

тел.: (495) 967-94-46, эл. почта: [info@nora.ru](mailto:info@nora.ru)

## Содержание

Введение .....	4
1 Зарубежный опыт создания информационных систем и баз данных по вопросам захоронения ОЯТ и РАО .....	4
1.1 Информационный портал CURIE Министерства энергетики США .....	4
1.2 Банк данных UNF-ST&DARDS Министерства энергетики США .....	7
1.3 Библиотека публикаций SCK·CEN (Центра ядерных исследований Бельгии) .....	8
1.4 Информационная система научных данных по геологии WEBGIS (Бельгия) .....	9
1.5 База данных SICADA SKB (Шведской компании по управлению ядерным топливом и отходами) .....	9
1.6 Система управления требованиями NIRAS/ONDRAF (Бельгийского агентства по обращению с РАО и делящимися материалами) .....	10
1.7 Система управления требованиями SKB (Шведской компании по управлению ядерным топливом и отходами) .....	12
1.8 Система управления требованиями Posiva (Финляндия) .....	16
1.9 Система управления требованиями NAGRA (Национального кооперативного общества по захоронению РАО в Швейцарии) .....	17
1.10 Система для управления знаниями в области захоронения ВАО JAЕА (Агентства по атомной энергии Японии) .....	20
<i>Моделирование системы аргументации</i> .....	22
<i>Система координационного моделирования</i> .....	24
<i>Система информационного синтеза и интерпретации данных (ISIS)</i> .....	24
<i>Портал CoolRep</i> .....	26
2 Структура базы данных СМП НКМ .....	26
3 Перспективное развитие базы данных СМП НКМ .....	29
4 О постановке задачи разработки системы поддержки принятия решений по СМП НКМ .....	30
<i>О функциональности СППР</i> .....	30
<i>Постановка задачи СППР</i> .....	31
<i>Ключевые функции СППР</i> .....	31
<i>Архитектура СППР</i> .....	32
<i>О представлении знаний</i> .....	33
Выводы .....	34
Литература .....	34

## Введение

Данная работа описывает структуру базы данных, созданной для хранения результатов проекта в ходе первого этапа НИР «Разработка проекта стратегического мастер-плана по обеспечению подготовки оценок и обоснований долговременной безопасности ПГЗРО для захоронения РАО 1 и 2 класса в Нижнеканском массиве (участок «Енисейский»)» [1]. Также приводится обзор зарубежных практик создания баз данных и информационных систем, послуживший отправной точкой для понимания направлений развития базы данных для обеспечения информационной поддержки процесса обоснования безопасности.

## 1 Зарубежный опыт создания информационных систем и баз данных по вопросам захоронения ОЯТ и РАО

Зарубежная практика информационного обеспечения и поддержки пунктов геологического захоронения насчитывает несколько десятков информационных систем различной специализации. Это справочные базы данных и архивы документов, систематизирующие большие объемы информации по захоронению, системы проектного управления, системы управления требованиями и системы управления знаниями. Довольно часто встречается ситуация, когда для одного проекта захоронения имеется несколько информационных систем с различными функциями, которые создавались и развивались по мере накопления информации и роста потребностей в них.

Функции хранения и систематизации справочных данных и документов, а также проектного управления в области захоронения РАО и ОЯТ по принципам своего построения мало чем отличаются от функций подобных систем для других областей деятельности. Поэтому в данном обзоре зарубежных информационных систем будет сделан акцент на двух наиболее сложных и специфичных функциях информационных систем – управление требованиями безопасности и управление знаниями.

### 1.1 Информационный портал CURIE Министерства энергетики США

Одним из подвидов информационных систем, разрабатываемых при реализации программ по созданию пунктов геологического захоронения ОЯТ и РАО в мире, являются базы данных, открывающие доступ ко всевозможным материалам по тематике геологического захоронения ОЯТ и РАО (статьи, книги, отчеты, материалы научных конференций). Такие информационные системы, как правило, представляют собой информационные онлайн порталы, оснащенные удобной поисковой системой. В марте 2013 года Министерство энергетики США (DOE) запустило собственный информационный онлайн портал CURIE – Централизованный ресурс по обмену информацией в области обращения с ОЯТ (Centralized Used Fuel Resource for Information Exchange) [2], разработанный специалистами Окриджской национальной лаборатории. CURIE является всеобъемлющей базой данных, предназначенной для систематизации и сведения воедино всего объема накопленных к настоящему времени материалов по хранению, транспортировке и захоронению ОЯТ и РАО, которая требовалась DOE для обеспечения удобного централизованного доступа к сведениям и документам, необходимым для проработки вопросов обращения с ОЯТ и РАО, организации и планирования практических работ. Несмотря на то, что база данных CURIE в основном ориентирована на специалистов, значительный объем документов доступен всем пользователям сети Интернет как в США, так и за рубежом (всего более 1 700 различных документов). Портал оснащен удобной системой интуитивного поиска (Apache Solr), аналогичной применяемой на американском сайте Amazon.com. Также имеется возможность создания закрытых групп, материалы которых доступны для ознакомления и редактирования только для состоящих в них пользователей. Ниже представлено краткое описание основных функциональных возможностей портала CURIE.

Главная страница предоставляет доступ к основным информационным модулям, слагающим портал. В центральной части страницы располагаются три основные вкладки, обеспечивающие быстрый доступ к следующим разделам: недавно добавленные документы, избранное и лента новостей. Вкладки слева на странице ведут к пяти основным разделам сайта:

- хранилище документов (Document Repository) с гибкой системой ролевого доступа к материалам в стандартных форматах (.doc, .docx, .pdf), а также ссылкам на документы, хранящиеся на внешних ресурсах (журналы, статьи, отчеты, новостные сообщения). Доступ к размещенным на портале материалам организован на базе ролевой модели: зарегистрированные пользователи, состоящие в соответствующей группе, могут добавлять и редактировать документы, а администраторы – добавлять и удалять пользователей, а также отменять внесенные в документы изменения. Портал позволяет выполнять поиск документов по ключевым словам, а также фильтровать материалы по заданным в виде перечня

форматам (отчет, данные, презентация, журнал, письмо, новостное сообщение, постановление правительства, аннотация, блог, материалы слушаний), ключевым словам (выбор площадки, ОЯТ, захоронение, хранение ВАО и т.п.), сообществам пользователей и содержанию.

- база данных по опыту поиска площадок для строительства пунктов захоронения (Siting Experience Database) изначально создавалась под руководством Сандийских национальных лабораторий во исполнение рекомендаций, высказанных Экспертной комиссией по ядерному будущему США (BRC) в 2012 году, но с июня 2013 года полностью интегрирована в систему CURIE. Данный раздел содержит: ссылку на полный текст отчета BRC, документы, позволяющие проанализировать накопленный опыт по поиску площадок для строительства пунктов захоронения как в США (WIPP, Якка-Маунтин, пункт централизованного контролируемого хранения ОЯТ с возможностью повторного извлечения), так и за рубежом (Канада, Финляндия, Испания, Швеция), описание международных программ по обращению с ОЯТ и РАО (Cowam, Forum on Stakeholder Confidence, InSOTEC, RISCUM).
- поисковая служба (Search Engine), строящаяся на базе открытой поисковой платформы Solr (<http://lucene.apache.org/solr/>) с системой фасетного поиска, которая также успешно применяется на популярном американском сайте Amazon.com. При запросе материалов по одному или нескольким ключевым словам перед пользователем открывается стандартное окно с перечнем соответствующих запросу материалов, которые можно отфильтровать, воспользовавшись списком слева, не только по основным категориям (тематическое соответствие, заголовок, автор, дата публикации, формат и т.п.), но и по готовому списку из ключевых слов, стран, типов документов и т.д. (рис. 1).

The screenshot shows the CURIE database search interface. At the top, there is a navigation bar with 'Home', 'Search', 'Register', and 'Login' options. Below the navigation bar is a search input field with a refresh button. On the left side, there are two filter sections: 'Filter by Document Type:' and 'Filter by Keywords:'. The 'Filter by Document Type:' section includes buttons for Report (1119), Data (240), Presentation (154), Journal (82), Letter (53), News Article (24), Ruling (5), Abstract (1), Blog (1), and Proceedings (1). The 'Filter by Keywords:' section includes buttons for siting (694), spent fuel (262), repository (260), and used fuel (255). The main content area displays a table of search results with columns for Document Title, Authors, Publication Date, Group, and Relevance. The table lists various documents related to nuclear energy and waste management, such as 'Attachment 2 - Annual Cost Profile', 'Fast Flux Test Facility (FFTF) Reactor Fuel Degraded Criticality Calculation', and 'GLOBAL NUCLEAR ENERGY PARTNERSHIP: YUCCA MOUNTAIN'S SAVIOR OR SAVANNAH RIVER'S FOE?'.

Document Title	Authors	Publication Date	Group	Relevance
Attachment 2 - Annual Cost Profile (in Millions of 2007\$), reply to Letter to Mr. Tim Frazier	Blue Ribbon Commission	11/2010	Public	0.46
Fast Flux Test Facility (FFTF) Reactor Fuel Degraded Criticality Calculation: Degraded SNF Canister	CRWMS	06/1999	Public	0.46
Going the Distance? The Safe Transport of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste in the United States - Summary	National Academy of Sciences	02/2006	Public	0.46
LCE for Research Reactor Benchmark Calculations	CRWMS	03/1999	Public	0.46
CRC Reactivity Calculations for Crystal River Unit 3	CRWMS	06/1998	Public	0.46
Factors Affecting Public and Political Acceptance for the Implementation of Geological Disposal	IAEA	10/2007	Public	0.46
February 16, 2011 - Letter from Secretary Chu to the BRC, February 11, 2011	Steven Chu	02/2011	Public	0.46
Geological Disposal of Radioactive Waste	IAEA	05/2006	Public	0.46
Cigéo, the French Geological Disposal Project	Gonnot, François-Michel	10/2013	Public	0.46
Appendix C - Report of the Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future - Report to the Secretary of Energy	Hamilton, L.H., Scowcroft, B., Ayers, M. H., Bailey, V.A., Carnesale, A., Domenici, P.V., Eisenhower, S., Hagel, C., Lash, J., Macfarlane, A.M., Meserve, R.A., Moniz, E.J., Peterson, P.F., Rowe, J.W., Sharp, P.	01/2012	Public	0.46
GLOBAL NUCLEAR ENERGY PARTNERSHIP: YUCCA MOUNTAIN'S SAVIOR OR SAVANNAH RIVER'S FOE?	W. CHRIS SWETT	04/2008	Public	0.46
From Risk Analysis to the Safety Case. Values in Risk Assessments	Britt-Marie Drott Sjoberg	06/2004	Public	0.46
Summary Report of Commercial Reactor Critical Analyses Performed for the Disposal Criticality Analysis Methodology	CRWMS	08/1998	Public	0.46
Criticality Evaluation of Plutonium Disposition Ceramic Waste Form: Degraded Mode	CRWMS	09/1998	Public	0.46
slides - CFD Best Practice Guidelines	Solis, J.	05/2013	Public	0.46

Рисунок 1 – Организация системы поиска в базе данных CURIE

- карта (Map) – спутниковая карта США, отображающая последнюю информацию о закрытых и эксплуатируемых атомных реакторах, а также установках по обращению с РАО. Данные о реестре ОЯТ в сухих и мокрых хранилищах (количество сборок, масса), а также основных характеристиках других ядерных объектов обновляются на регулярной основе. Кроме того, пользователь может осуществлять поиск интересующей его информации по временной шкале: доступны архивные данные, начиная с 1968 года, а также прогнозные данные до конца 2056 года (рис. 2).
- сообщества, избранное, события и ресурсы (Communities, Favorites, Events and Resources). Система поддерживает работу с сообществами пользователей. Для каждого пользователя в сообществе его администратором может быть задан формат отображения информации, а также предоставлены особые права на добавление и редактирование документов (в настоящее время создано десять таких сообществ). Кроме того, пользователям, входящим в то или иное сообщество, может быть предоставлена возможность редактировать события в централизованном календаре событий системы CURIE, отображающем информацию обо всех значимых мероприятиях в области обращения с ОЯТ и РАО в мире. На отдельной странице ресурса представлены ссылки на сторонние ресурсы, например, сайт DOE, сайты организаций, осуществляющих сотрудничество с разработчиками системы CURIE (национальные лаборатории США), дополнительные материалы сторонних сайтов.

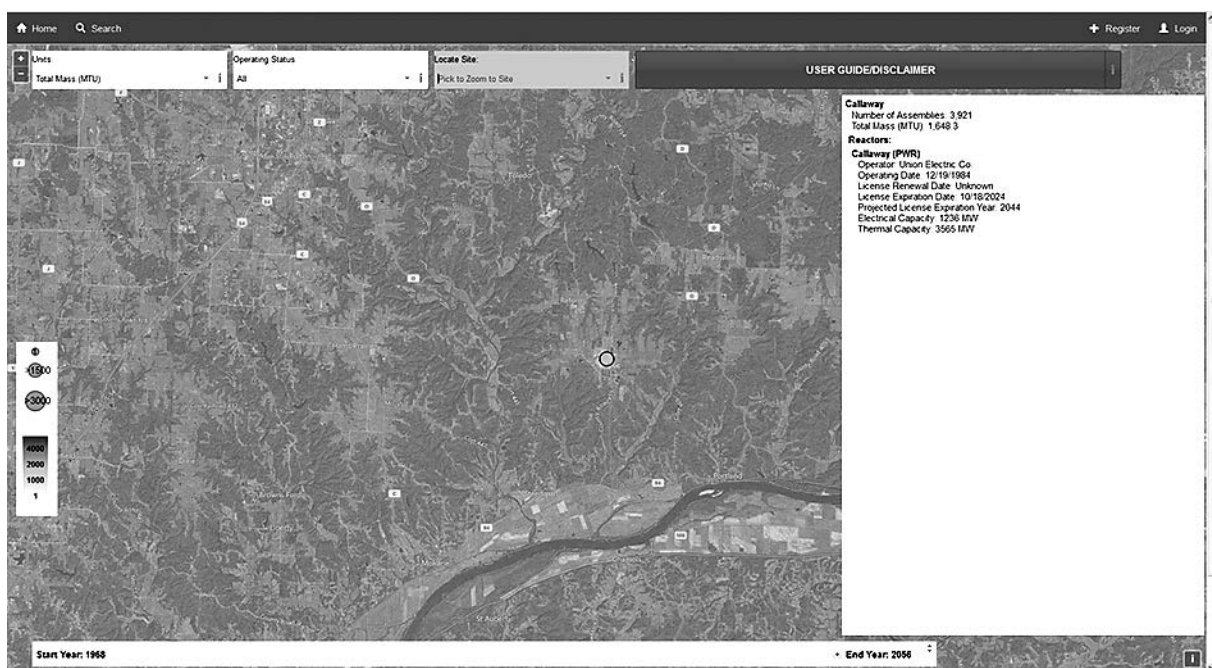


Рисунок 2 – Стандартное отображение объекта в разделе Map системы CURIE (приведены прогнозные данные по количеству и массе ОТВС на 2056 год, а также сведения о реакторах на площадке).

Как уже отмечалось, доступ к большинству материалов, представленных в базе данных, открыт для всех желающих, однако некоторые функции доступны только для зарегистрированных пользователей. Регистрация пользователей на сайте осуществляется стандартным образом. После поступления заявки на регистрацию администратор сайта определяет, к каким именно материалам будет открыт доступ для подавшего заявку пользователя. Все зарегистрированные пользователи имеют право на добавление документов в соответствии с предоставленным им уровнем доступа к системе, а некоторые также могут редактировать уже добавленные в базу данных документы.

Таким образом, к настоящему времени DOE удалось организовать регулярно пополняемую открытую базу данных, в которой сведены воедино все технические сведения о характеристиках ОЯТ, вопросах, связанных с транспортировкой ОЯТ и ВАО, имеющемуся опыте, в том числе и зарубежном, по поиску площадок для строительства ядерных объектов, промежуточному хранению ОЯТ и анализу существующих и разрабатываемых в этой области систем. В будущем функции CURIE будут расширены, что позволит использовать данную систему в разработке маршрутов транспортировки ОЯТ, планировании работ по обращению с отработавшим топливом, а также обеспечит основу для проведения необходимых расчетов и обоснований.

## 1.2 Банк данных UNF-ST&DARDS Министерства энергетики США

Помимо портала CURIE Министерством энергетики США была разработана еще одна база знаний UNF-ST&DARDS (Used Nuclear Fuel Storage, Transportation & Disposal Analysis Resource and Data System) – система регистрации и анализа данных по хранению, транспортировке и захоронению ОЯТ, которая позволяет проводить всесторонний анализ состояния каждой отдельно взятой ОТВС на всех этапах ее жизненного цикла, начиная с выгрузки из реактора и кончая окончательной изоляцией в пункте глубинного геологического захоронения. В виду того, что перед захоронением ОТВС могут многократно передаваться из одного пункта хранения в другой, а срок хранения ОЯТ на реакторных площадках превышает изначально предусмотренный проектом, необходимость создания подобной базы данных была обусловлена потребностью в анализе неопределенностей. Эти неопределенности в первую очередь связаны с физическими характеристиками топливных сборок и контейнерных систем и с течением времени будут неуклонно расти, становясь все сложнее для понимания. При разработке стратегий долгосрочного обращения с ОЯТ такие неопределенности должны быть учтены еще до начала работ по обращению, транспортировке и захоронению ОЯТ [3]. UNF-ST&DARDS (рис. 3) представляет собой платформу, в которой единая база данных по ОЯТ американских реакторов интегрирована с основными аналитическими средствами, используемыми DOE в целях исполнения поставленных задач в области обращения с РАО и управления ЯТЦ.

UNF-ST&DARDS состоит из единой базы данных (всеобъемлющей, но открытой для пополнения новыми сведениями) и комплекса аналитических средств, предназначенных для оценки состояния ОТВС с момента их выгрузки из реакторной установки и вплоть до окончательного захоронения. Также в состав системы входят автоматизированные инструменты, позволяющие генерировать новые данные и интегрировать их базу данных системы. В дальнейшем эти данные могут быть использованы в целях оценки изменения состояния отдельных групп ОТВС (характеризация, анализ нейтронно-физических характеристик, тепловой анализ). В будущем в UNF-ST&DARDS будут интегрированы и другие технические возможности (дозовая оценка, оценка эксплуатационных качеств, связанных с функцией удержания, структурный анализ). Решение таких задач требует применения самых разнообразных вычислительных средств и использования различных типов данных. Так, для целей анализа UNF-ST&DARDS использует данные, полученные из следующих источников [4]:

- сведения от оператора реакторной установки при выгрузке ОТВС;
- сведения от проектировщика ТВС;
- данные по реакторной установке;
- данные от проектировщика контейнера для ОТВС;
- картограмма активной зоны реактора.

Все эти сведения, собранные в единой базе данных, могут быть использованы в целях уменьшения уровня консерватизма проводимых оценок, что также скажется на снижении общих затрат и поможет в принятии решений в процессе проектирования и лицензирования пунктов хранения и захоронения. Как видно из схемы (рис. 3), основой для информационного наполнения UNF-ST&DARDS стала база данных RW-859, содержащая сведения обо всем ОЯТ, выгруженном из американских реакторов или находящемся на хранении по состоянию на 31 декабря 2002 года: 70 292 ОТВС с реакторов типа PWR и 93 351 ОТВС с реакторов BWR. В рамках RW-859 весь объем ОТВС разделен на классы по габаритным размерам сборок, которые, в свою очередь, подразделяются на 134 разных типа. На данный момент идет формирование новой базы данных GC-859 с информацией о реестре ОТВС по состоянию на конец 2013 года. Информация о реестре ОЯТ в единой базе данных UNF-ST&DARDS представлена в виде кривых распада для более чем 150 000 ОТВС и нескольких сотен заполненных систем контейнерного хранения. Для организации данных в системе UNF-ST&DARDS были использованы двумерные таблицы структурированного языка запросов SQL в СУБД MySQL.

Изначально единая база данных создавалась для целей нейтронного и теплового анализа отдельных ОТВС и отдельных контейнеров с ОТВС. Поэтому система предусматривает подключение к ней самых различных вычислительных комплексов, которые могут извлекать сведения, генерировать новые данные на основе результатов проведенных расчетов и заносить полученные результаты в базу данных. В последние годы ведутся работы по импорту в БД дополнительной информации, которая необходима для обеспечения работы новых аналитических и вычислительных средств CALVIN (Civilian Radioactive Waste Management System Analysis and Logistics Visually Interactive), TSM (Total System Modeling), TOM (Transportation Operations Model), а также для внедрения нового поколения средств проектирования системной архитектуры. На схеме (рис. 3) сплошные стрелки черного цвета отображают уже сформированные потоки данных для обмена сведениями между единой базой данных и вычислительными комплексами, пунктирные стрелки красного цвета использованы для тех случаев, когда требования для обмена

данными еще находятся на стадии разработки, а черные пунктирные стрелки означают, что процесс импорта данных в БД еще не завершен.

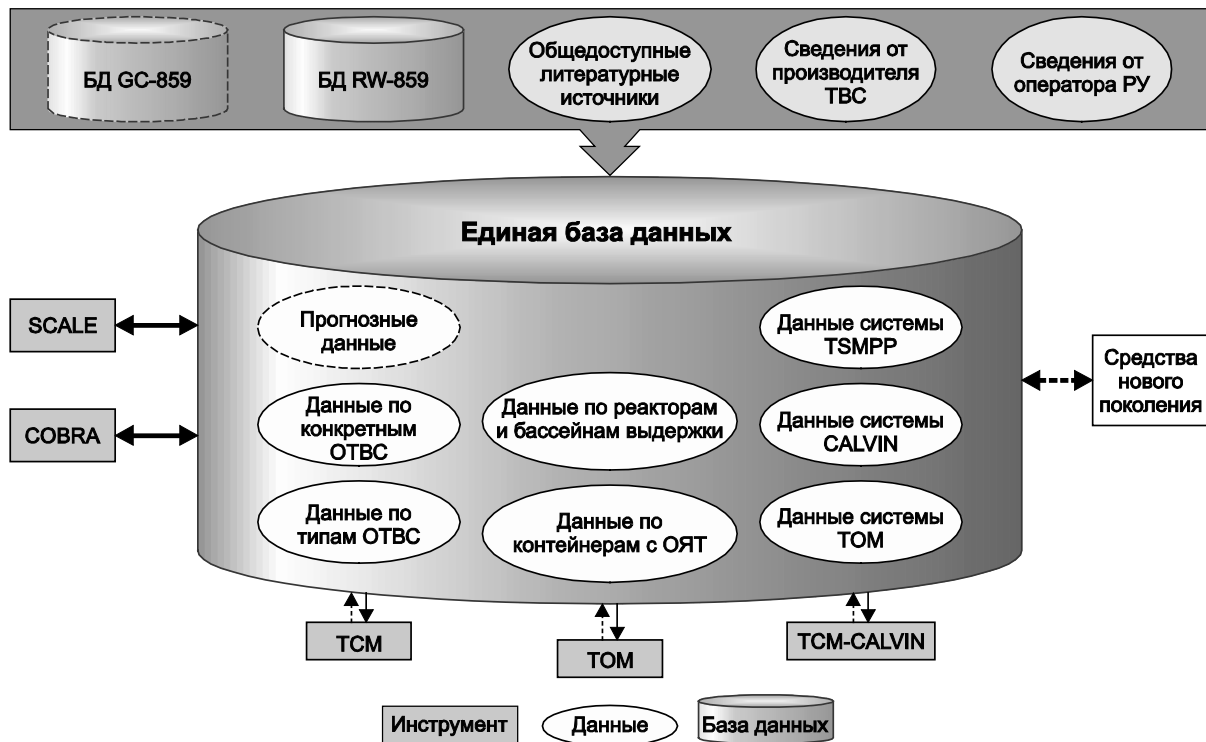


Рисунок 3 – Структура системы UNF-ST&DARDS

Таким образом, с UNF-ST&DARDS могут работать самые разные аналитические программные средства. Ключевым элементом этой базы данных, облегчающим процесс автоматизации программных вычислений, является реляционность данных, т.е. отношения между разными данными внутри базы данных определены заранее. Этот принцип обеспечивает основу для визуализации и интерпретации данных. Еще одной важной особенностью системы является использование всеобъемлющих наборов параметров для проведения комплексного анализа. Банк данных UNF-ST&DARDS работает с системой кодирования SCALE (Standardized Computer Analysis for Licensing Evaluation) и термогидравлическим аналитическим кодом COBRA-SFS (Coolant Boiling in Rod Arrays – Spent Fuel Storage), но может быть адаптирован и к другим вычислительным комплексам.

### 1.3 Библиотека публикаций SCK·CEN (Центра ядерных исследований Бельгии)

Если при создании баз данных в США основной упор делался на решении проблемы систематизации данных о реестре ОЯТ и обобщении наколенного национального и зарубежного опыта в организации работ по поиску площадок для строительства пунктов хранения и захоронения ОЯТ и ВАО, то для Бельгии ситуация обстояла иным образом. В этой стране программа НИОКР по изучению возможности захоронения ОЯТ и РАО в глубинных глиняных формациях стартовала еще в 1974 году. С тех пор был накоплен огромный массив научных данных самой разной направленности: от исследований поведения матрицы отходов и кончая геологическими данными. Вся эти сведения были представлены в самых разных формах и характеризовались разным уровнем детализации (отчеты, научные статьи, результаты лабораторных и полевых исследований, результаты моделирования различных процессов, связанных с захоронением ОЯТ и РАО, результаты ОВОС и т.п.). Поэтому первоочередными задачами для бельгийских специалистов стало [5]:

- собрать воедино все накопленные данные и сведения и обеспечить их доступность и сохранность на протяжении длительного периода времени;
- обеспечить последовательное структурирование и документацию всех собранных материалов;
- оценить данные с точки зрения возможности их интеграции в обоснование безопасности.

В результате началась разработка трех взаимосвязанных систем управления знаниями в области геологического захоронения РАО [5]:



- системы управления знаниями бельгийского исследовательского центра SCK·CEN (SCK·CEN Knowledge Management System);
- информационной системы научных данных по геологии WebGIS (подробнее описывается в подразделе 1.4).
- системы управления требованиями для разработки обоснования безопасности Бельгийского агентства по обращению с РАО и делящимися материалами NIRAS/ONDRAF (подробнее описывается в подразделе 1.6);

SCK·CEN было запущено несколько пилотных проектов по созданию интерактивных интернет-порталов для обмена знаниями в области геологического захоронения, которые позволили бы не только объединить на одном ресурсе все накопленные за годы исследований знания в области захоронения РАО, но и стать платформой для совместного обсуждения и обмена экспертными мнениями по различным проблемам и вопросам в области захоронения ОЯТ и РАО. К настоящему времени все проекты закрыты. В свободном доступе действует лишь онлайн библиотека исследований и публикаций SCK·CEN [6]. По сути это база данных, в которой собраны все статьи, книги, отчеты, материалы научных конференций, подготовленные сотрудниками центра SCK·CEN.

#### 1.4 Информационная система научных данных по геологии WEBGIS (Бельгия)

Информационная система WebGIS [5] является основным референтным источником научной информации по геологии бумских глиняных формаций (гидрогеология, геохимия, стратиграфия, сейсмология и т.п.), собранной бельгийскими учеными за десятки лет исследований. Графический интерфейс системы обеспечивает возможность для комбинирования, отслеживания, представления и архивации геологических данных. WebGIS состоит из реляционной базы данных и веб-портала, открывающего доступ (для пользователей из Центра ядерных исследований Бельгии SCK·CEN, Бельгийского агентства по обращению с РАО и делящимися материалами ONDRAF/NIRAS, и Европейской подземной исследовательской инфраструктуры по захоронению РАО в глиняных формациях EURIDICE) к информации, хранящейся в базе данных, и другим функциональным возможностям системы. База данных GIS состоит из объектов и данных (рис. 4). Под объектами понимаются физические объекты или элементы системы захоронения с заданными координатами в двухмерной или трехмерной системе; а под данными – измеряемые параметры и характеристики таких объектов. При этом данные привязаны к одному объекту, а объект может характеризоваться множеством наборов данных. Для создания базы данных GIS была использована СУБД PostgreSQL.

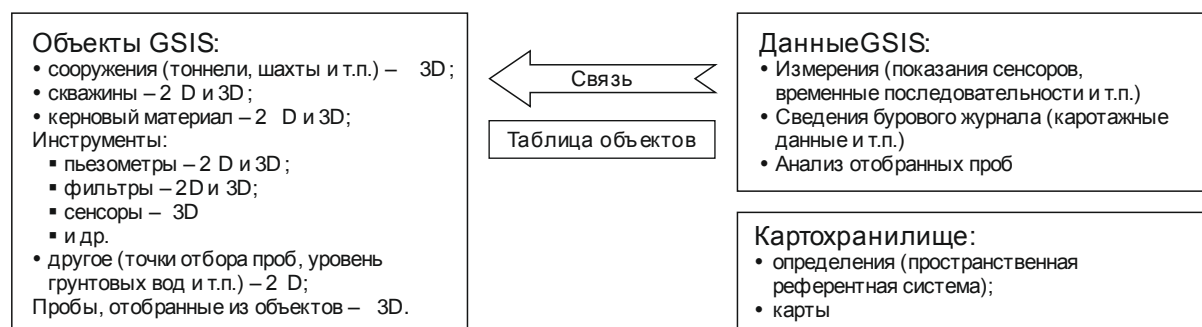


Рисунок 4 – Структура информационной системы GIS

#### 1.5 База данных SICADA SKB (Шведской компании по управлению ядерным топливом и отходами)

Создание информационных систем и баз геологических данных является достаточно распространенной практикой в мировом сообществе. Шведская компания SKB разработала собственную централизованную базу геологических данных по кристаллическим формациям SICADA [7] – единый источник информации для всех специалистов, работающих над проектом создания пункта геологического захоронения в Швеции и занимающихся анализом, оценкой, моделированием и интерпретацией геологических данных в контексте захоронения ОЯТ (рис. 5). SICADA содержит не только первичные данные измерений и расчетов, но и информацию о конкретных мероприятиях, в ходе которых эти данные были получены, а также о работах, которые могли повлиять на результаты измерений. Таким образом, информация о результатах измерений и расчетов связана с данными по соответствующим мероприятиям и их исполнителям. В основе работы системы лежат два основных правила:

- информация, заносится в базу данных строго в соответствии с установленными требованиями к обеспечению качества информации;
- база данных SICADA является единственным источником информации для интерпретации, анализа и моделирования данных по исследуемым площадкам.

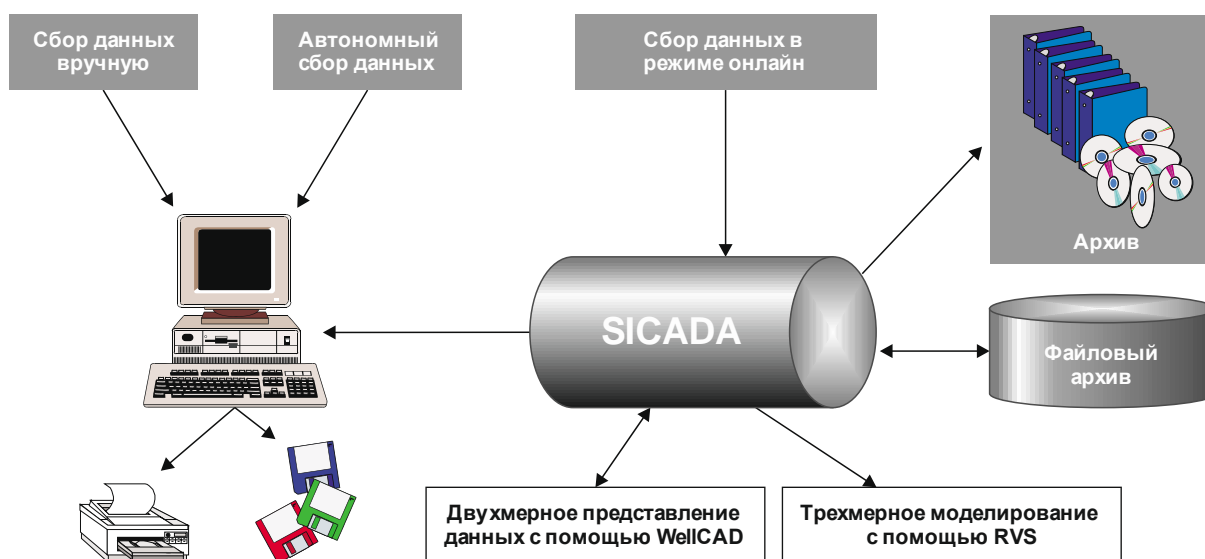


Рисунок 5 – База данных SICADA и ее функции

При извлечении информации из базы данных данное событие регистрируется в системе, что обеспечивает отслеживаемость любых изменений (т.е. сохраняются как исходные данные, так и данные, генерируемые в ходе каждой итерации редактирования). Данные в SICADA отсортированы в соответствии с иерархической структурой: область знаний, вид измерений, а также сведения о мероприятии, в ходе которого эти данные были получены. В основном SICADA содержит информацию о результатах измерений и выполненных на их основе расчетах. Большая часть данных хранится в таблицах, но существует и архив файлов.

База данных SICADA интегрирована в информационную систему GIS (Geographic Information System), отвечающую за обработку и представление данных в двухмерном формате с помощью WellCAD. Трехмерная визуализация обеспечивается с помощью системы RVS (Rock Visualization System), позволяющей создавать геометрические модели геологических объектов. Так, например, эта система отлично справляется с задачей оптимизации выбора мест и направления бурения скважин.

## 1.6 Система управления требованиями NIRAS/ONDRAF (Бельгийского агентства по обращению с РАО и делящимися материалами)

Бельгийское агентство по обращению с РАО и делящимися материалами NIRAS/ONDRAF использует методику построения обоснования безопасности, основывающуюся на так называемой концепции «утверждений о безопасности и осуществимости» (англ. safety statement и feasibility statement), организованных в виде иерархической структуры [8] (рис.6).

Таким образом, согласно бельгийской концепции, имеется одно основное утверждение относительно осуществимости проекта создания пункта захоронения: «Сооружение, эксплуатация и последовательное закрытие системы захоронения осуществляется с учетом требований к обеспечению долгосрочной безопасности, требований эксплуатационной безопасности, а также при условии, что суммарные затраты сопоставимы с доступным финансированием».

Это утверждение подкрепляется четырьмя другими, находящимися на один уровень ниже: техническая осуществимость, обеспечение эксплуатационной безопасности, затраты и обеспечение качества. Остальные утверждения, относящиеся к низшим уровням иерархической организации, каждое из которых относится к определенному элементу системы захоронения, определяются на основании утверждений более высокого уровня (принцип разработки «сверху вниз»), а их обоснование выполняется по принципу «снизу вверх».

Утверждения о безопасности и осуществимости выдвигаются относительно любой деятельности, связанной с захоронением РАО, начиная с извлечения первичной упаковки с РАО из пункта промежуточно-

го хранения и кончая закрытием самого пункта захоронения и осуществлением ведомственного контроля на площадке. В дополнение к утверждениям об осуществимости проекта ведется разработка перечня утверждений безопасности, призванных продемонстрировать и обосновать безопасность проектируемой системы захоронения. Каждое утверждение в программе сопровождается перечнем аргументов и списком вопросов, открытых для обсуждения специалистами.

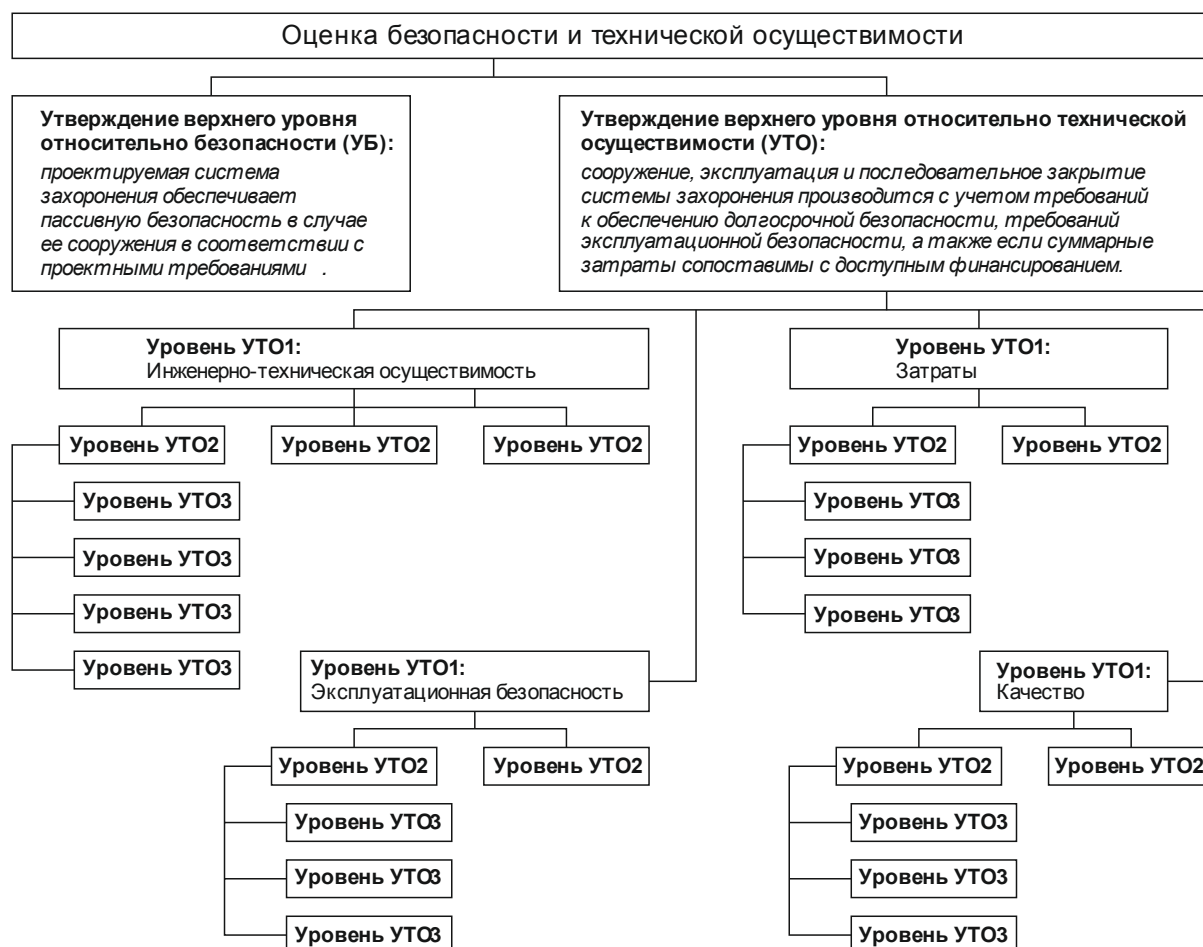


Рисунок 6 – Иерархическая система «утверждений безопасности и осуществимости», лежащая в основе бельгийского обоснования безопасности

Рисунок 7 изображает алгоритм методологии процесса обоснования безопасности в концепции «утверждений о безопасности и осуществимости» [9]

Эта методология состоит из трех повторяющихся шагов:

- выделение утверждений безопасности/осуществимости и идентификация открытых вопросов;
- назначение приоритетов открытым вопросам и проведение исследований;
- проверка утверждений безопасности/осуществимости и интеграция данных исследований.

Реализация описанной системы управления требованиями началась в 2004 году и осуществляется на базе порталного решения по управлению корпоративным контентом Vignette Business Collaboration Server компании Open Text [10]. Система Vignette адаптирована и наполнена информацией, необходимой для разработки обоснования безопасности по проекту создания пункта глубинного геологического захоронения долгоживущих НАО/САО и ВАО. Согласно концепции Vignette любой массив данных можно представить в виде отдельных модулей. Так, отчет по обоснованию безопасности разбит на множество таких модулей, а пользователи приложения могут добавлять новые данные и редактировать уже имеющиеся материалы в соответствии с собственной компетенцией и уровнем доступа.

Всего в системе организовано хранение и редактирование следующих материалов: информация о проводимых НИОКР (предъявляемые требования, принятые решения и результаты прошлых исследований, обосновывающие необходимость проведения новых), протоколы совещаний по продолжающимся НИОКР, материалы научных отчетов и методология проводимых НИОКР, описание планируемых мероприятий и принятых решений и т.п. [11].



Рисунок 7 – Алгоритм методологии работы с утверждениями безопасности

## 1.7 Система управления требованиями SKB (Шведской компании по управлению ядерным топливом и отходами)

Адаптация «систем управления требованиями» (Requirement Management System, RMS), широко применяемых, например, в машиностроительной промышленности, к проектам захоронения РАО в Швеции началась в 2000-х гг.

Главным преимуществом использования RMS при разработке проекта и обоснования безопасности пунктов захоронения является то, что эта система позволяет документировать все принимаемые решения и обосновывающие их аргументы. Причем она хранит не только объективную информацию (данные, модели, понимание функционирования и эволюции систем и т.п.), но и более субъективные качественные оценки и суждения, основывающиеся на текущем научном и техническом понимании различных аспектов, связанных с проблематикой захоронения ОЯТ и РАО. Осознание необходимости внедрения подобных систем в области захоронения РАО пришло, когда с момента запуска программ по созданию таких объектов прошло 30 – 40 лет, и на смену старому поколению ученых и инженеров стало приходиться новое, которое не было в курсе решений, принятых более чем 20 лет назад. А по мере выхода на пенсию сотрудников, ответственных за принятые в те времена решения, проблема сохранения и передачи фундаментальных знаний по проектам становилась все острее [9, 12].

**The proposed disposal system can be constructed, operated and progressively closed taking into account operational safety issues and with adequate funding**

Nirond Safety and Feasibility Base Statement  
 Usage Counts: 0 Views, 0 Edits  
 Email content to: 1.11.57001@nirond-hddev.org

View as Web Folder

- Show:**  People & Policies  Nirond Safety and Feasibility Base Statement Properties  Descriptions  Ratings  Tags  Usage Counts
- Status: Code Number: FS



- (Close hierarchy)
- FS.1: The engineering practicability of the disposal system is proven
    - FS.1.1: The disposal waste packages can be fabricated
      - FS.1.1.1: The supercontainer can be fabricated
        - FS.1.1.1.1: The shafts can be constructed
        - FS.1.1.1.2: The monolith B can be fabricated
        - FS.1.1.1.3: The post-conditioning facilities for category B&C waste can be constructed, operated, decommissioned and dismantled
      - FS.1.1.2: The repository for category B&C waste can be constructed
        - FS.1.1.2.1: The shafts can be constructed
        - FS.1.1.2.2: The category B disposal area can be constructed
        - FS.1.1.2.2.1: The access gallery and the crossings with the disposal galleries of the category B disposal area can be constructed
          - FS.1.1.2.2.1.1: The access gallery and the crossings with the disposal galleries of the category B disposal area can be constructed

Рисунок 8 – Анализ требований: Окно RMS-системы на базе ПО Vignette

Для SKB внедрение RMS было призвано решить три основные задачи [12]:

- облегчить процесс разработки заявки на получение лицензии и ее рассмотрения регулирующими органами;
- упростить процесс информационного обмена и взаимодействия между инженерами и проектировщиками (задать набор исходных данных для проектирования, установить все имеющиеся взаимосвязи и зависимости между данными);
- обеспечить отслеживаемость и документацию всех решений, принимаемых по проекту пункта захоронения.

Рисунок 9 иллюстрирует различные виды требований, положенные в основу проекта по созданию пункта геологического захоронения ОЯТ в Швеции. В структуре RMS SKB можно выделить две основные области – область проблем и область решений. Область проблем отвечает за четкую формулировку сути проблемы с учетом требований, выдвигаемых заинтересованными сторонами (требования высшего уровня). Что касается области решений, то здесь требования к системе, в свою очередь, используемые для формирования проектных требований, определяются на основании требований заинтересованных сторон. На основании требований к системе формируется концепция системы, а проектные требования используются при выработке конкретных решений по проекту.

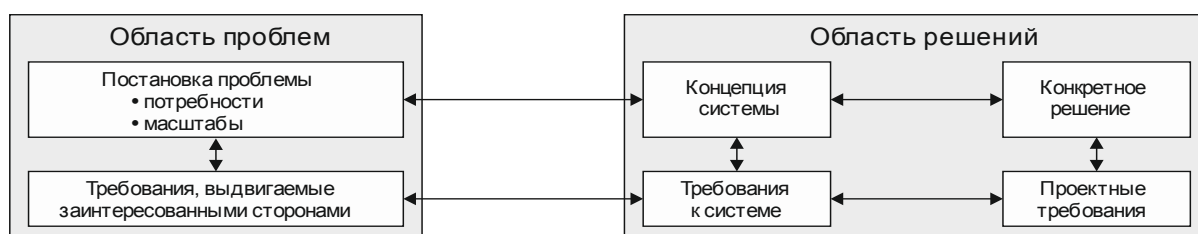


Рисунок 9 – Различные категории требований к проекту создания пункта геологического захоронения ОЯТ в Швеции

Следующим шагом для SKB стало формирование иерархической структуры, систематизирующей весь набор требований.

Идея структурирования требований была позаимствована из V-модели (рис. 10), используемой в системах управления требованиями при разработке программного обеспечения, и адаптирована SKB в соответствии с собственными потребностями.

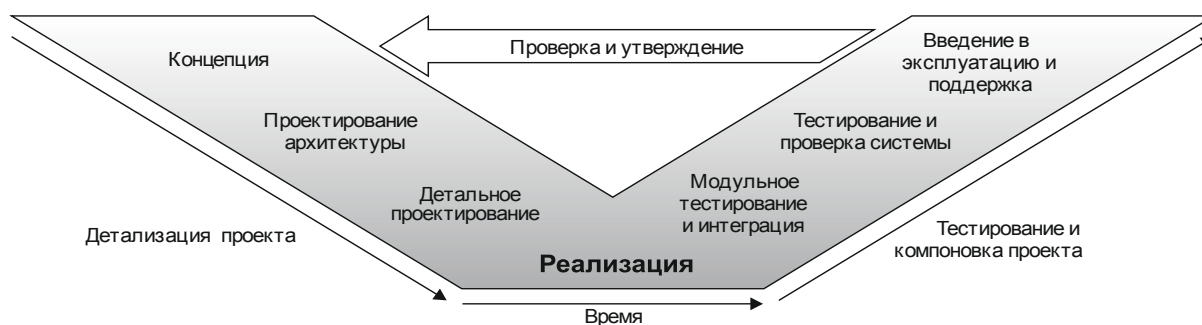


Рисунок 10 – V-модель процесса разработки ПО [13]

Структура требований была разбита на несколько уровней: требования заинтересованных сторон, требования к системе, требования к подсистемам, проектные и технические требования. Требования высшего уровня (требования заинтересованных сторон) представляют собой задаваемый заинтересованными сторонами набор условий, обязательных для соблюдения SKB, а разработкой системных и подсистемных требований занимается непосредственно сама компания SKB. За разработку требований низшего уровня (проектных и технических требований) могут отвечать организации, привлекаемые компанией SKB к разработке проекта захоронения ОЯТ.

Рисунок 11 иллюстрирует полученную структуру требований, ниже приведено краткое описание каждого вида требований:

- требование, выдвигаемое заинтересованной стороной – это требование, отражающее задачи SKB в области построения системы и принципы, слагающие основу проекта системы;
- требование к системе – это требование, отражающее те функции, характеристики или качества, которыми должна обладать система, чтобы удовлетворять требованиям заинтересованных сторон;

- требование к подсистеме – это требование, отражающее те функции, характеристики или качества, которыми должна обладать подсистема, чтобы удовлетворять требованиям, предъявляемым к системе в целом;
- проектное требование – это требование, отражающее то, каким образом должна осуществляться разработка проекта продукции (т.е. объекта производства) и/или процесса по установке, производству, сооружению, герметизации или испытанию, чтобы он отвечал требованиям, предъявляемым к подсистеме;
- технические требования (спецификация) – это документ, содержащий требования, предъявляемые к продукции и/или производственным процессам, связанным с установкой, производством, сооружением, герметизацией или испытанием каких-либо элементов системы захоронения.

Следует отметить, что такая система обеспечивает возможность применения итеративного подхода к обоснованию безопасности – по мере появления новых знаний структура требований может дополняться. Рисунок 12 показывает процесс разработки новых требований и включения их в систему управления требованиями.

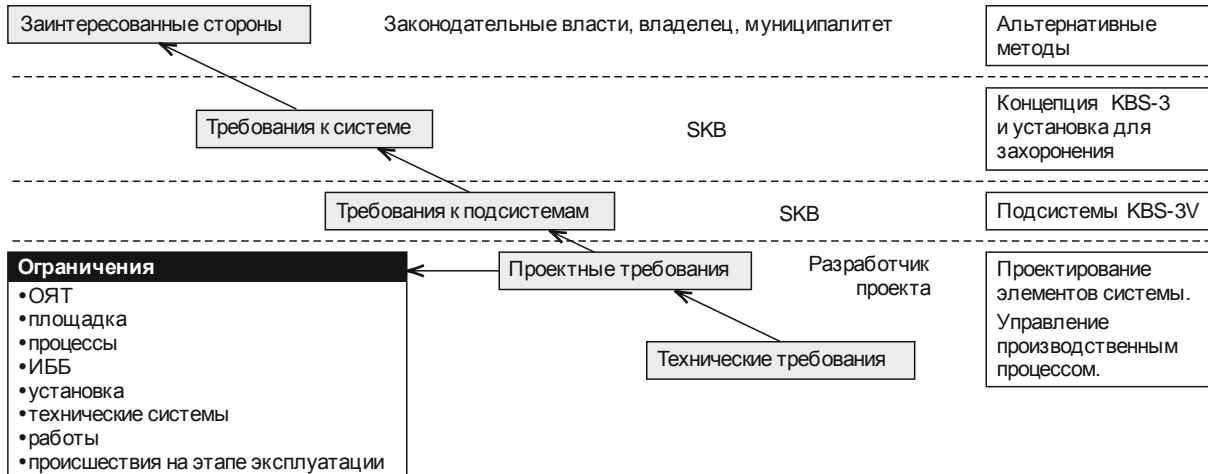


Рисунок 11 – Иерархическая структура построения RMS SKB

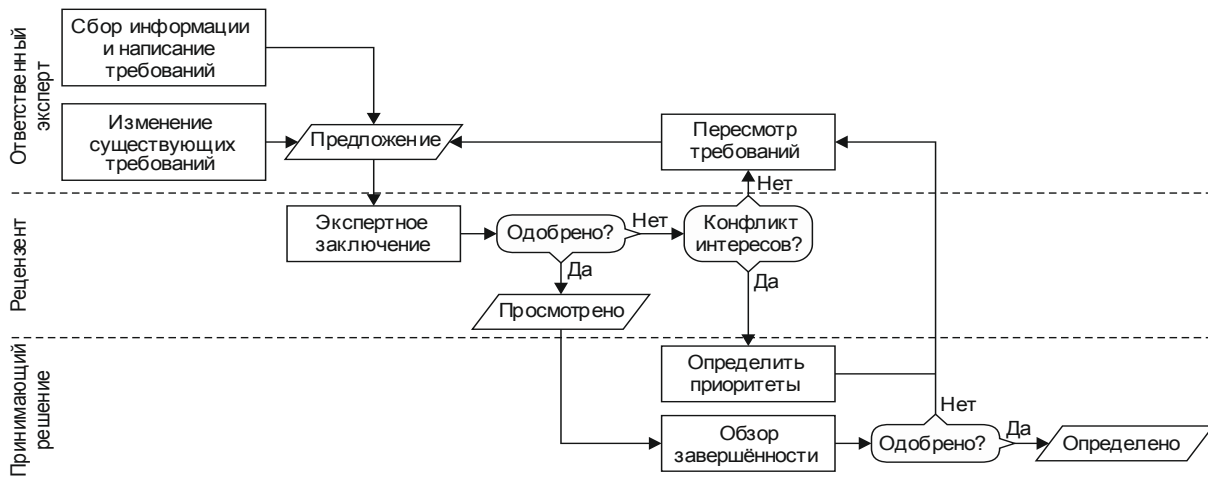


Рисунок 12 – Жизненный цикл требований безопасности в SKB RMS

SKB были также введены такие понятия как «ограничения» и «связи». Ограничения – это заданные условия, в соответствии с которыми должны работать проектировщики. Одним из примеров таких условий являются происшествия, которые могут возникнуть на этапе эксплуатации пункта захоронения. Описание ограничений, связанных с происшествиями, проектировщик может найти в оценке безопасности для этапа эксплуатации пункта захоронения. Связи устанавливаются между требованиями разного уровня. Формально связь формулируется следующим образом:

- 1) при переходе от требований более высокого уровня к требованиям низшего уровня могут использоваться следующие формулировки: «это подразумевает, что...», «это приводит к тому, что...»;
- 2) при переходе от требований более низкого уровня к более высоким – «по этой причине...» или «для соблюдения этого требования...».

Рисунок 13 иллюстрирует состав информации в SKB RMS и связи между всеми необходимыми для реализации описанной концепции объектами. Реализована система управления требованиями в программном обеспечении DOORS [14] (производитель на момент внедрения – DOORS шведская компания Telelogic AB, на данный момент ПО называется Rational DOORS и принадлежит корпорации IBM).

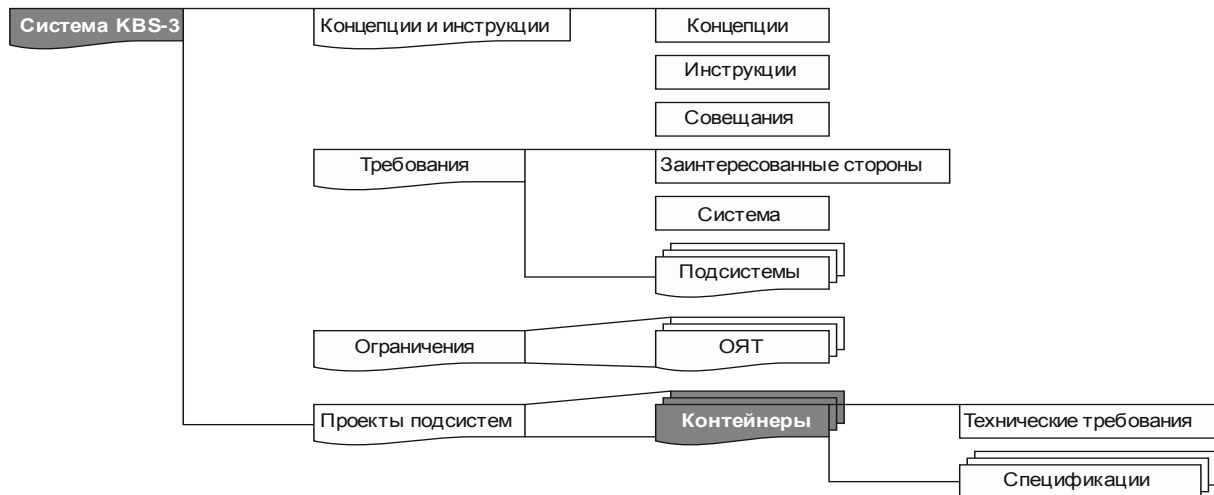


Рисунок 13 – Структура базы данных SKB RMS

## 1.8 Система управления требованиями Posiva (Финляндия)

В начале 2000-х годов проекты по разработке RMS стартовали в целом ряде стран: Японии, Швеции, Швейцарии, Финляндии, Бельгии.

Финская компания Posiva разрабатывала систему управления требованиями на базе шведского опыта, поэтому ее структура аналогична шведской. Структура требований также содержит 5 уровней требований (требования заинтересованных сторон, требования к системе, к подсистемам, проектные и технические требования), а также уровень ограничений. Реализована финская система управления требованиями, как и у шведских коллег, на базе программного обеспечения DOORS. Ниже представлено окно программы с уровнями требований (рис. 14).

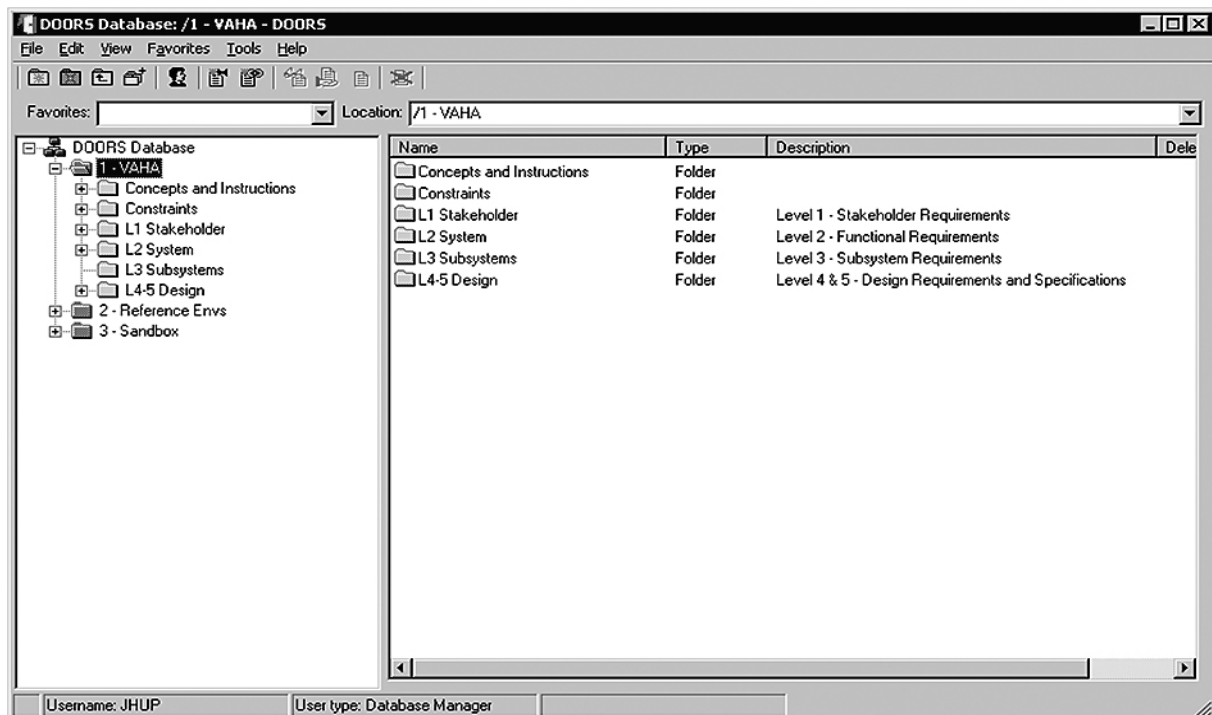


Рисунок 14 – Окно RMS Posiva на базе ПО DOORS



## 1.9 Система управления требованиями NAGRA (Национального кооперативного общества по захоронению РАО в Швейцарии).

NAGRA при разработке собственной RMS, являющейся составной частью общей системы управления качеством в сфере захоронения РАО (Quality Management System), руководствовалось подходом, в главных чертах похожим на шведский и финский. В целях систематизации всей совокупности требований, применимых к швейцарской программе захоронения, было решено классифицировать их на основании четырех основных критериев [15]:

- *Каково происхождение требования?* По происхождению NAGRA разделяет все требования на 5 основных категорий:
  - 1) нормативно-правовые требования;
  - 2) требования заинтересованных сторон (производителей отходов);
  - 3) требования к научно-технической программе, определяемые NAGRA на основании оценки других категорий требований и анализа опыта в разработке программ захоронения РАО и обоснований безопасности и результатов НИОКР как в Швейцарии, так и за рубежом;
  - 4) рекомендации органов власти;
  - 5) ожидания общественности и представителей научного сообщества.
- *Каков характер требования?* В данном контексте требования могут быть классифицированы в соответствии с определенной иерархической структурой, где к верхнему уровню иерархии будут относиться требования качественного и функционального характера, а к нижнему – более детально проработанные технические требования и спецификации. При этом требования нижнего уровня не должны противоречить требованиям, относящимся к более высоким уровням иерархии.
- *К какому элементу проекта данное требование применимо?* Здесь также действует принцип иерархии, согласно которому концепция обращения с РАО относится к верхнему уровню, а концепция захоронения и инженерных барьеров безопасности системы захоронения, а также технический проект расположены на нижних уровнях.
- *Когда и до какого уровня точности должно быть соблюдено требование?* Этот принцип учитывает поэтапный характер разработки проекта захоронения, занимающий десятки лет, и совершенствование знаний о различных элементах системы захоронения с течением времени.

Анализ требований и их ранжирование по уровням позволил NAGRA разработать структуру управления требованиями (рис. 15), во многом напоминающую разработки финских и шведских специалистов, но имеющую ряд отличий. В первую очередь отличия связаны с тем, что SKB и Posiva разрабатывали свои системы исключительно под программу захоронения ОЯТ, а система NAGRA охватывает проекты глубинного геологического захоронения сразу трех категорий отходов (НАО/САО, ВАО, ОЯТ).



Рисунок 15 – Уровни требований и потоки информации в системе управления требованиями NAGRA

Как и у SKB, имеются подуровни требований к системе, подсистемам и спецификации. Под требованиями к системе NAGRA понимает основные принципы проектирования и обеспечения безопасности, которые должны быть выполнены при реализации программы захоронения РАО. Ниже уровнем располагаются требования к разработке концепций захоронения различных категорий радиоактивных отходов. Для каждой из таких концепций устанавливаются свои функциональные требования (например, требование к обеспечению удержания ВАО в течение не менее 1000 лет) и критерии, по которым может быть проверено их соблюдение (например, скорость корродирования стенок канистры сопоставимая с их толщиной). Следующий уровень – требования к подсистемам, т.е. к элементам системы захоронения и их параметрам и характеристикам, выполнение которых обеспечивает соблюдение функциональных требо-

ваний. Нижний уровень требований – уровень проверки (верификации проекта), который позволяет продемонстрировать соответствие функций системы и ее элементов заданной цели. Таким образом, структура швейцарской RMS отражает последовательное повышение детализации требований по мере осуществления программы захоронения.

Интерфейс информационной системы охватывает все уровни требований и соответствующие им задачи (рис. 16, табл. 1).

**Таблица 1 – Состав интерфейса информационной системы NAGRA**

Уровень требований	Процессы	Функции и информационные разделы
Требования акционеров (Anforderungen Genossenschafter)	Управленческие процессы	1.1. Стратегическое управление: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Миссия, философия компании, стратегия</li> <li>• Организация</li> <li>• Обоснование затрат</li> <li>• Планы НИОКР</li> <li>• Стратегические ресурсы</li> <li>• Управление требованиями</li> <li>• Управление знаниями</li> <li>• Долгосрочное/стратегическое планирование</li> </ul> <i>Оперативное управление:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.2. Перечень незаконченных за год дел;</li> <li>1.3. Подготовка финансового года;</li> <li>1.4. Исполнение финансового года;</li> <li>1.5. Завершение финансового года;</li> <li>1.6. Управление ресурсами;</li> <li>1.7. Менеджмент ошибок;</li> <li>1.8. Процессы усовершенствования.</li> </ul>
Требования сотрудников (Mitarbeiterbedarf)	Работа с кадрами	2.1. Привлечение сотрудников; 2.2. Аттестация 2.3. Повышение квалификации, вопросы персонала, увольнение сотрудников
Требования внешних заказчиков (Kundenanforderungen extern)	Процессы проектного управления	3.1. Сопровождение проекта (управление проектом) 3.2. Подготовка проекта (концепции проекта, партнеры, коммерциализация) Осуществление проекта: 3.3. Начало проекта. 3.4. Организация проекта. 3.5. Выполнение работ. 3.6. Завершение проекта
Информирование, требования сторонних заинтересованных лиц (Info-Bedarf, Anspruchsgruppen extern)	Процессы работы с общественностью	<i>Подготовка информации:</i> 4.1. Анализ заинтересованных групп, потребность в информации; 4.2. Спонтанная потребность в информации; 4.3. Планирование информационных мероприятий; 4.4. Обработка информации; Распространение информации: 4.5. Одобрение, производство и распределение (рассылка)
Требования внутренних заказчиков (Kundenanforderungen intern)	Процессы сопровождения	5.1. Подразделения 5.2. Здоровоохранение Внутренние услуги: 5.3. Сопровождение системы менеджмента качества. 5.4. Внутренняя коммуникация. 5.5. Администрация 5.6. Чертежное бюро 5.7. Электронная обработка данных <i>Знания:</i> 5.8. Информационный менеджмент

Информационная система NAGRA первоначально была реализована в виде интранет-портала на базе платформы-конструктора сайтов FileMaker [16] (Рисунок 16 демонстрирует окно интерфейса этой системы). Однако это решение имело недостатки (медленный ввод информации, небольшое количество пользователей), поэтому впоследствии в качестве программного обеспечения выбрана платформа по управлению требованиями IRQA компании Visure Solutions [17] (современное название – Visure Requirements).

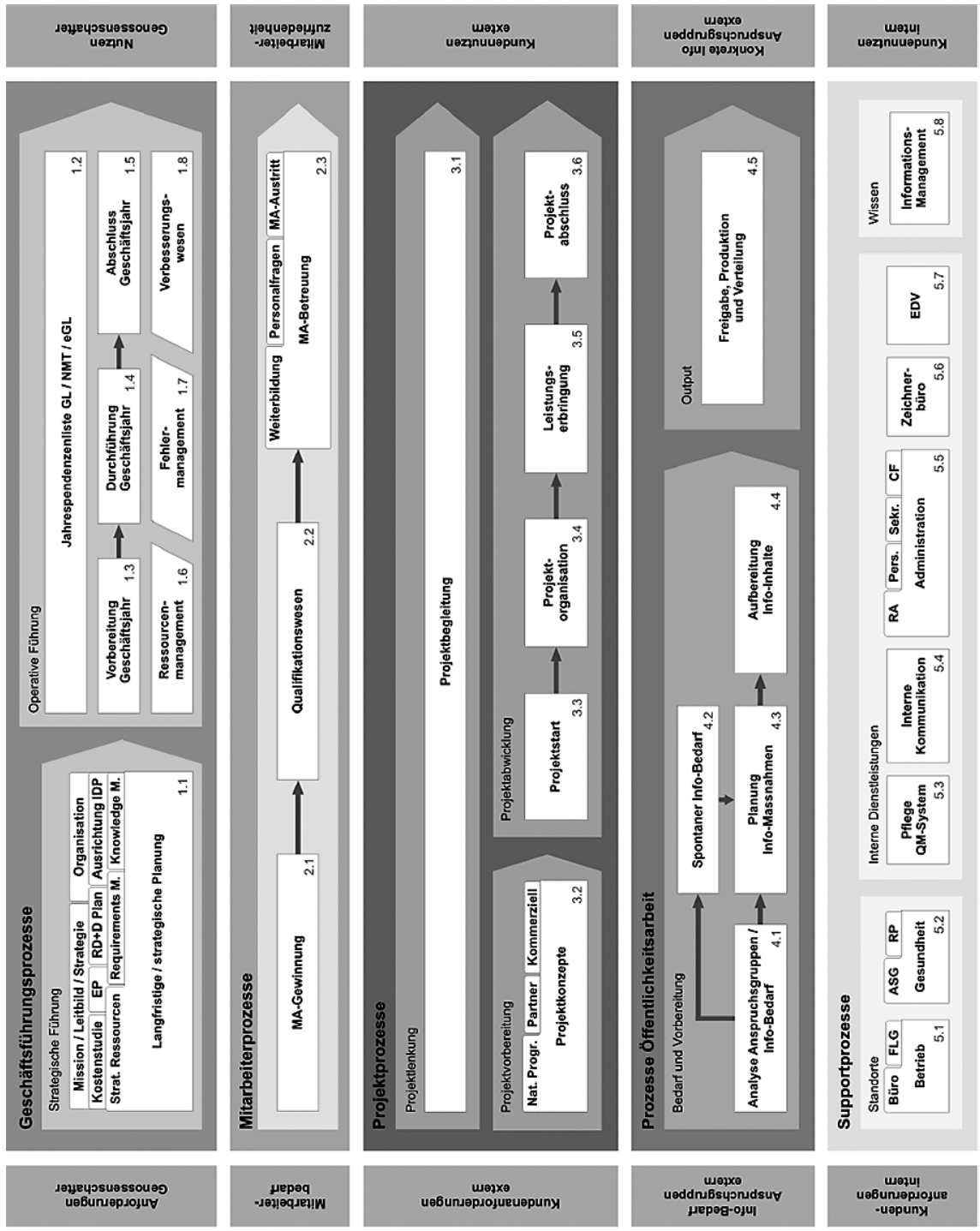


Рисунок 16 – Окно системы управления требованиями NAGRA

## 1.10 Система для управления знаниями в области захоронения ВАО JAEA (Агентства по атомной энергии Японии)

Агентство по атомной энергии Японии подошло к проблеме систематизации данных, которые планируется использовать при подготовке обоснования безопасности, с другой стороны. Здесь акцент в первую очередь на процессе управления знаниями, а работа требованиями уже вытекает из этого процесса.

В Японии с 2005 года реализуется масштабный проект по созданию системы управления знаниями в области захоронения ВАО (Knowledge Management System, KMS), которая бы могла развиваться и пополняться по мере накопления все новых научно-технических знаний в этой области и совершенствования технологий обработки информации.

База знаний KMS представляет собой «фундаментальный массив информации, который позволит удовлетворить потребности всех ее потенциальных пользователей: от специалистов, ответственных за реализацию проекта захоронения, и представителей регулирующих органов, до лиц, принимающих политические решения и представителей широкой общественности». Учитывая последние тенденции в области представления информации, JAEA планирует перейти от традиционных форм структурирования баз данных и архивов в соответствии с той или иной технической направленностью к более гибкому представлению, используя систему перекрестных ссылок. Таким образом, система управления знаниями облегчит структурирование уже имеющейся информации и поможет в выявлении наиболее приоритетных направлений НИОКР в соответствии с заранее определенными требованиями к обоснованию безопасности. Различные компоненты обоснования безопасности могут быть уточнены на основании требований к отдельным областям знаний, которые, в свою очередь, могут быть распределены в соответствии с иерархической системой – переходя от общего к частному путем повышения уровня детализации информации. Анализ таких знаний, их интеграция и синтез в целях разработки обоснования безопасности сами по себе являются источником получения новых знаний. Такой процесс генерации новых знаний можно представить в виде диаграммы информационного потока (рис. 17) [18].

Сбор или создание базовых знаний происходит посредством проведения НИОКР – это нижний уровень схемы. Полученные на нижнем уровне знания синтезируют для представления их в определенной форме, отвечающей поставленным целям (промежуточный уровень): модели, описывающие площадку, проект пункта захоронения, а также модели оценки и различные массивы данных, вместе формирующие основу для всеобъемлющей оценки системы захоронения в целом. Данные, полученные на промежуточном уровне, используют для создания обоснования безопасности и стратегической оценки безопасности, удовлетворяющих требованиям выбранной стратегии безопасности [19].

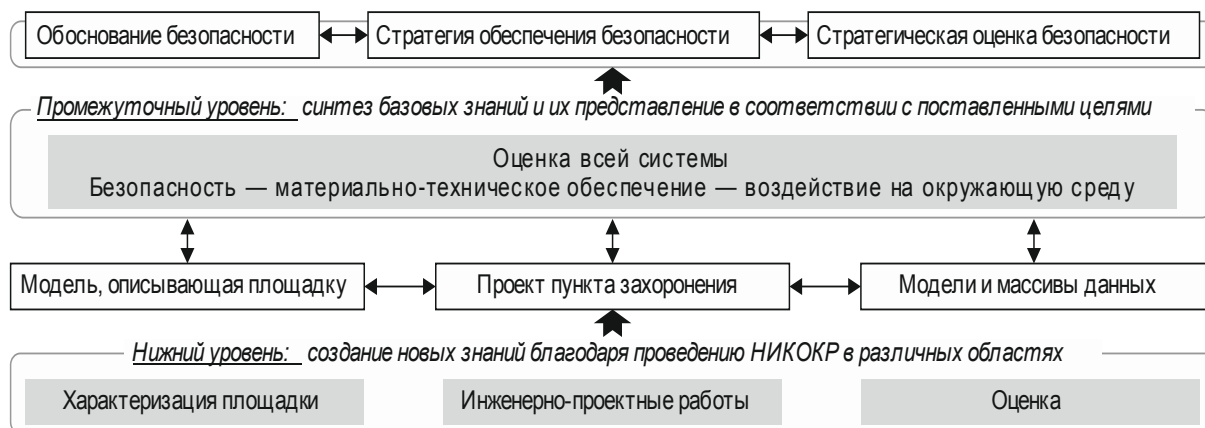


Рисунок 17 – Иерархия построения, синтез и применение знаний в рамках проекта по созданию пункта геологического захоронения ВАО в Японии

Рисунок 18 и таблица 2 отражают общую структуру и содержание KMS. Как видно из таблицы, в KMS интегрирован целый набор программных средств (так называемый «умный помощник»), облегчающих задачу обработки колоссальных информационных потоков [20]:

- компиляция явных знаний (программные средства интеллектуального анализа данных);
- компиляция неявных знаний (экспертные системы);
- автоматизированная система управления данными (средства архивации, оценки качества, обобщения, интеграции и документации);
- наглядное представление данных (средства визуализации).



Рисунок 18 – Структура японской KMS (1 – заполнение пробелов в системе знаний; 2 – целенаправленное формирование новых знаний; 3 – автоматизированная генерация новых знаний; 4 – прогнозирование появления новых требований/ знаний; 5 – долгосрочные задачи программы)

Таблица 2 – Типовое наполнение и структура японской KMS

Форма знаний	Функции управления	Наполнение	Осуществляемые и запланированные работы
данные	управление данными	- исходные данные (от внутренних источников); - данные сторонних источников; - обработанные данные.	- создание робастного архива; - интеллектуальный анализ данных из внутренних и сторонних источников; - автоматическая обработка данных; - автоматическое обеспечение качества; - формализованные подходы к обеспечению качества.
документы	управление обработкой документов	- внутренние документы; - основные документы из сторонних источников.	- создание робастного архива; - автоматическое обеспечение качества/каталогизация, - создание системы перекрестных гиперссылок.
программное обеспечение	управление разработкой и сопровождением системы программного обеспечения	- создание архива по всем программным кодам и базам данных, используемым в проекте; - архивирование информации из всех руководств и справочников; - архивирование соответствующих входных и выходных данных.	- создание робастного архива; - автоматизированный контроль над внесением изменений; - формализованные подходы к обеспечению качества.
опыт и методологии	управление информационными ресурсами	- создание руководств и справочников; - экспертные системы; - обучающие материалы.	- использование экспертных систем в целях фиксации и передачи неявных знаний; - системы повышения квалификации и передачи опыта.
синтез данных	интеграция знаний	- команда опытных экспертов, занимающихся синтезом данных; - экспертные системы.	- формализованное описание основных процессов интеграции данных; - формализованные подходы к обеспечению качества.
руководящие указания	согласование данных	- команда опытных экспертов, занимающихся согласованием данных.	- прогнозирование требований (коллектив специалистов); - нахождение основной недостающей информации.
визуальное представление	информационный обмен между пользователем и разработчиком	- интуитивно понятный пользовательский интерфейс (обеспечение интерактивности диалога);	- высокопроизводительные методы графического представления сложной информации.

### Моделирование системы аргументации

Разработка обоснования безопасности, несомненно, является ключевой задачей при реализации любых работ по проекту создания пункта геологического захоронения РАО. Полученные знания могут быть классифицированы в зависимости от уровня их значимости для обоснования безопасности и влияния на общую систему аргументов, выдвигаемых в рамках обоснования безопасности (рис. 19).

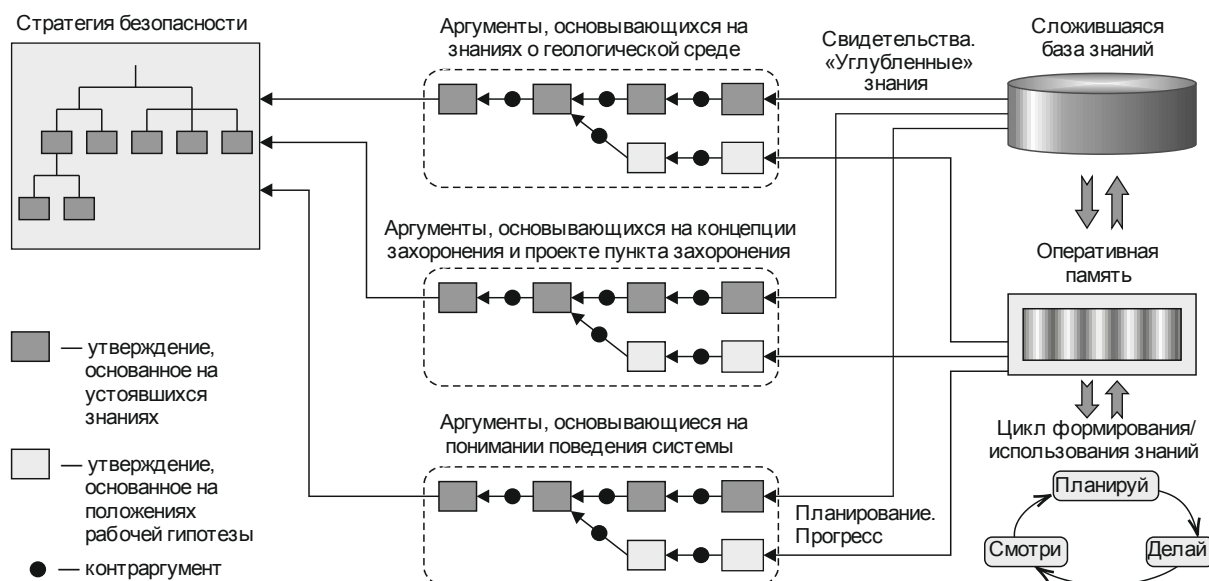


Рисунок 19 – Роль аргументационных моделей в разработке базы знаний обоснования безопасности

Разработанный формализованный подход позволяет классифицировать аргументы, приводимые в рамках разработки обоснования безопасности, и тем самым оценивать сильные стороны связанных с этими аргументами доводов. Постепенно по мере проработки все более тонких технических вопросов такие модели аргументации становятся все сложнее, а между различными подсистемами формируются связи [20].

Процедура аргументационного моделирования помогает выявлять цепочки аргументов и контраргументов. Так, основополагающее исходное требование обоснования безопасности подкреплено набором аргументов. Для каждого такого аргумента подбирается свой контраргумент, после чего происходит сопоставление всей совокупности аргументов и контраргументов, посредством которого итеративно формируется модель, представленная в виде диаграммы аргументов [21]. На рисунке 20 показан пример такой аргументационной модели для низкощелочного цемента [20]. Для построения таких сложных аргументационных моделей было разработано специальное программное обеспечение – редактор аргументационных моделей Scarab (Supporting tool for Constructing ARGumentation models with Associated knowledge-Base).

Scarab позволяет [22]:

- 1) осуществлять организованное хранение имеющихся аргументационных моделей; поиск в хранилище моделей осуществляется по ключевым словам;
- 2) хранить доводы, лежащие в основе выдвигаемых аргументов (так называемые заметки);
- 3) фиксировать любые изменения, внесенные в каждую аргументационную модель, с комментариями о причинах внесения этих изменений;
- 4) хранить сведения, обосновывающие нахождение новых контраргументов;
- 5) обеспечивать возможность совместной работы с программными средствами коллективного пользования.

Отдельно стоит рассмотреть процедуру нахождения новых контраргументов (рис. 21 схематично изображает этот процесс). Реализован этот процесс с помощью отдельного программного средства KNetwork [23]. KNetwork позволяет визуализировать всю информационную сетевую модель, представленную в форме многослойной структуры в трехмерном пространстве. Так, поисковая система осуществит поиск внутри фрагмента информационной сети, связанного с заданным пользователем целевым аргументом. Ее задача – отыскать любой потенциальный недостаток на любом уровне «глубинных» знаний, обосновывающих данный аргумент. При этом основные («глубинные») знания, относящиеся к обоснованию безопасности, содержащиеся в информационной сети, могут быть разбиты на пять категорий (пять слоев системы): относящиеся к аргументации, функциям безопасности, процессам, явлениям и событиям (FEPs), моделям и данным.

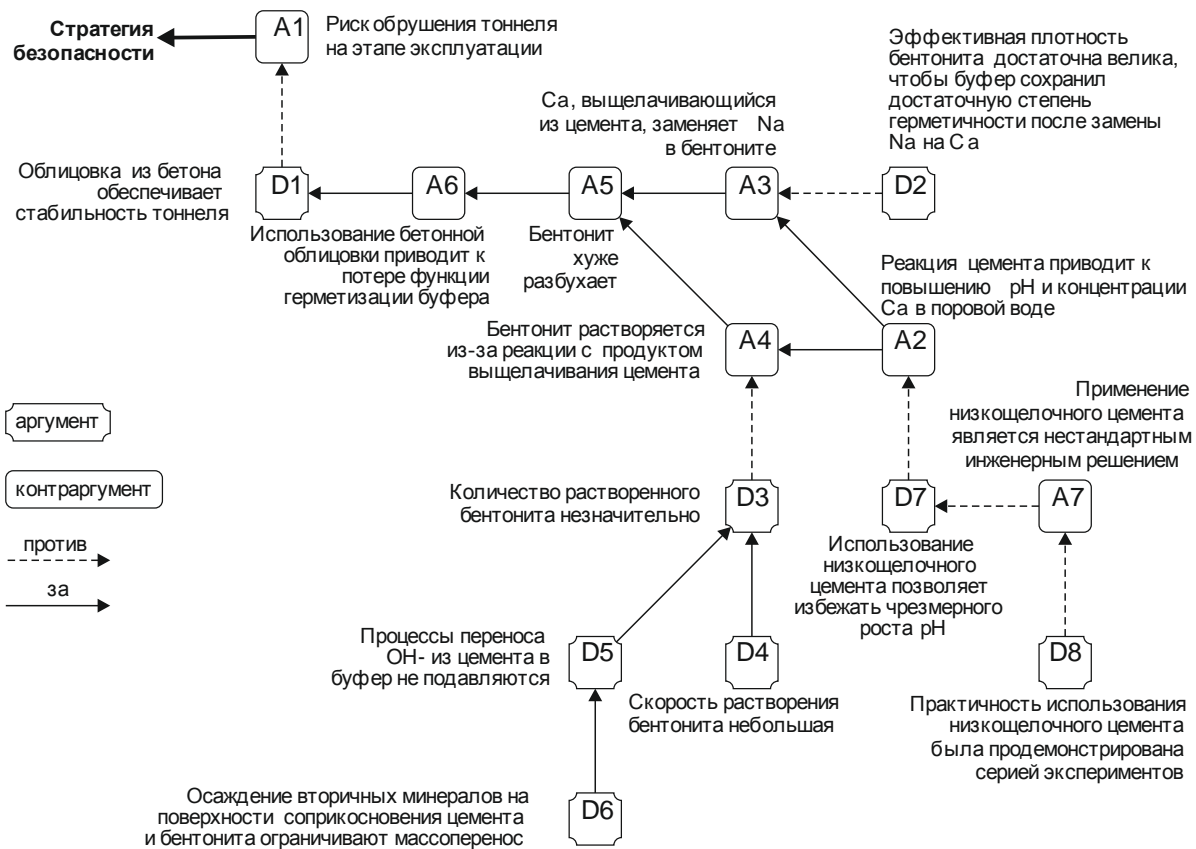


Рисунок 20 – Пример использования аргументационной модели

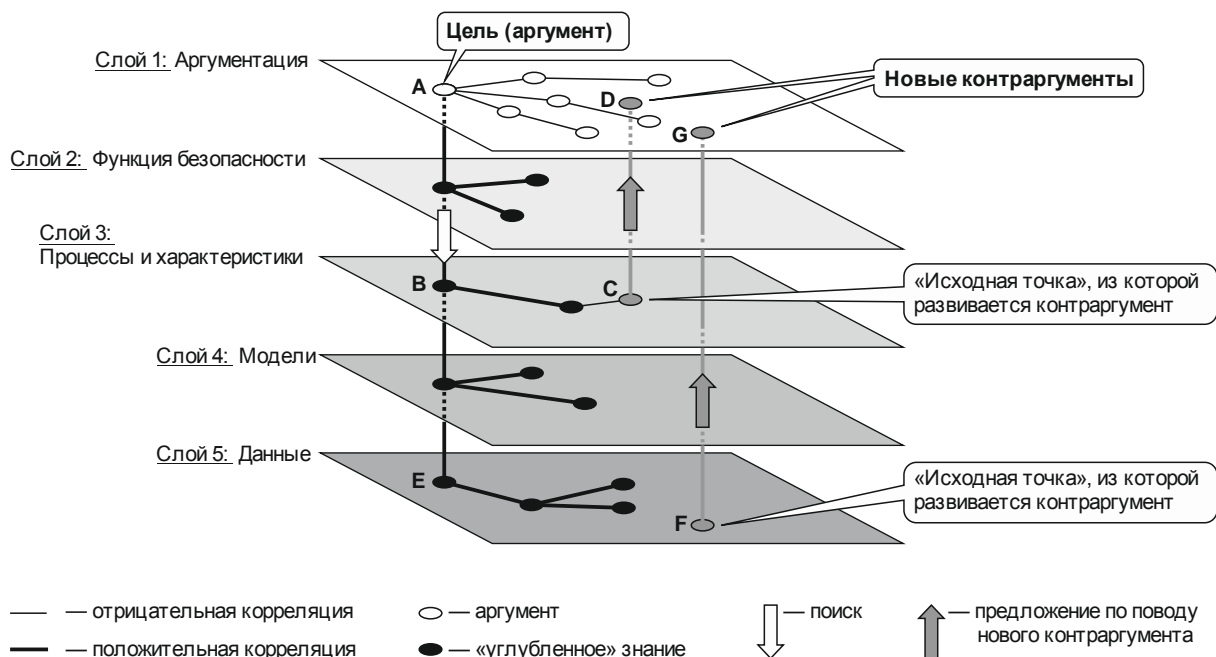


Рисунок 21 – Процесс интеграции новых контраргументов

Связь между элементами знаний сети (узлы сети) может быть выражена в форме положительных утверждений (например, «этот аргумент обосновывает тот факт, что...», «...соответствует тому, что...», «...описывает...») и отрицаний (например, «высказывание противоречит...», «высказывание не соответствует...», «высказывание вступает в конфликт с ...»). В этой сети существует еще одна подсеть, внутри которой все частные аргументы (или контраргументы) связаны между собой при помощи положи-

ных утверждений. Поисковая система находит такую подсеть для заданного пользователем аргумента, а затем выявляет все внешние узлы сети, связанные с ней при помощи отрицаний. Так формируется новая совокупность потенциальных контраргументов.

#### Система координационного моделирования

Помимо системы аргументационного моделирования специалисты JAEA занимаются разработкой еще одного продукта, входящего в состав так называемого пакета «умного помощника» – системы координационного моделирования. Эта система позволит не только работать над точностью данных, но и облегчает процесс информационного обмена между разработчиками проекта, работающими в разных технических областях (рис. 22) [21].

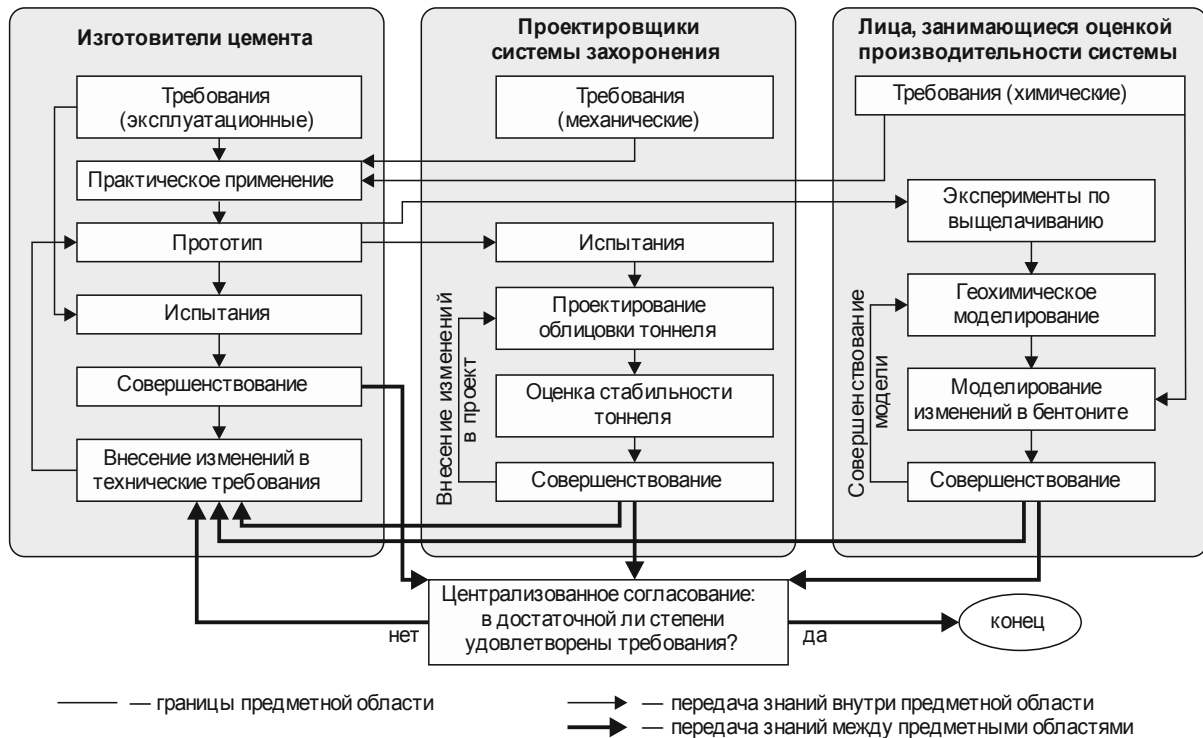


Рисунок 22 – Пример модели координации знаний для случая использования низкощелочного цемента

#### Система информационного синтеза и интерпретации данных (ISIS)

Разрабатываемая система ISIS (Information Synthesis and Interpretation System) призвана помочь в реализации масштабной программы по характеристике потенциальных площадок для строительства пункта захоронения, в ходе которой японским специалистам приходится обрабатывать огромные массивы информации. Совокупность операций по обработке таких массивов данных (интеграция, документация, анализ, архивирование, внесение правок, обеспечение качества и т.п.) называют геосинтезом.

В структуру ISIS (рис.23) планируется внедрить три основных программных средства:

1. Средства разработки экспертных систем (ЭС). Всего различают два класса таких систем:
  - o Экспертные системы на базе правил (*rule-based expert system*). В этом случае модель принятия решений для разных случаев строится в формате правил «если..., то...». Например, если требуется полное извлечение керна, то (да) необходимо применение колонкового бурения со съёмным керноприёмником, (нет) бескерновое бурение (трёхшарошечное буровое долото и т.п.). При использовании данной методики может использоваться как метод прямого построения цепочки рассуждений (ход рассуждений ведётся от заданного набора исходных фактов к целевой гипотезе, которую и требуется доказать), так и метод обратного построения цепочки рассуждений (от гипотезы к фактам). Рисунок 24 показывает окно интерфейса создания такой модели принятия решений, табл. 3 содержит примеры разработанных в рамках ISIS экспертных моделей.
  - o Экспертные системы, использующие прецедентный подход (*case-based expert system*). В этом случае модель принятия решения строится, основываясь на анализе мер, принятых в прошлом для решения конкретных проблем, возникших в ходе инженерно-геологических изысканий.
2. Средство, управляющее информационным обменом в рамках системы ISIS;
3. Средство, позволяющее устранять конфликты между различными требованиями.



**Система информационного синтеза и интерпретации данных (ISIS)**

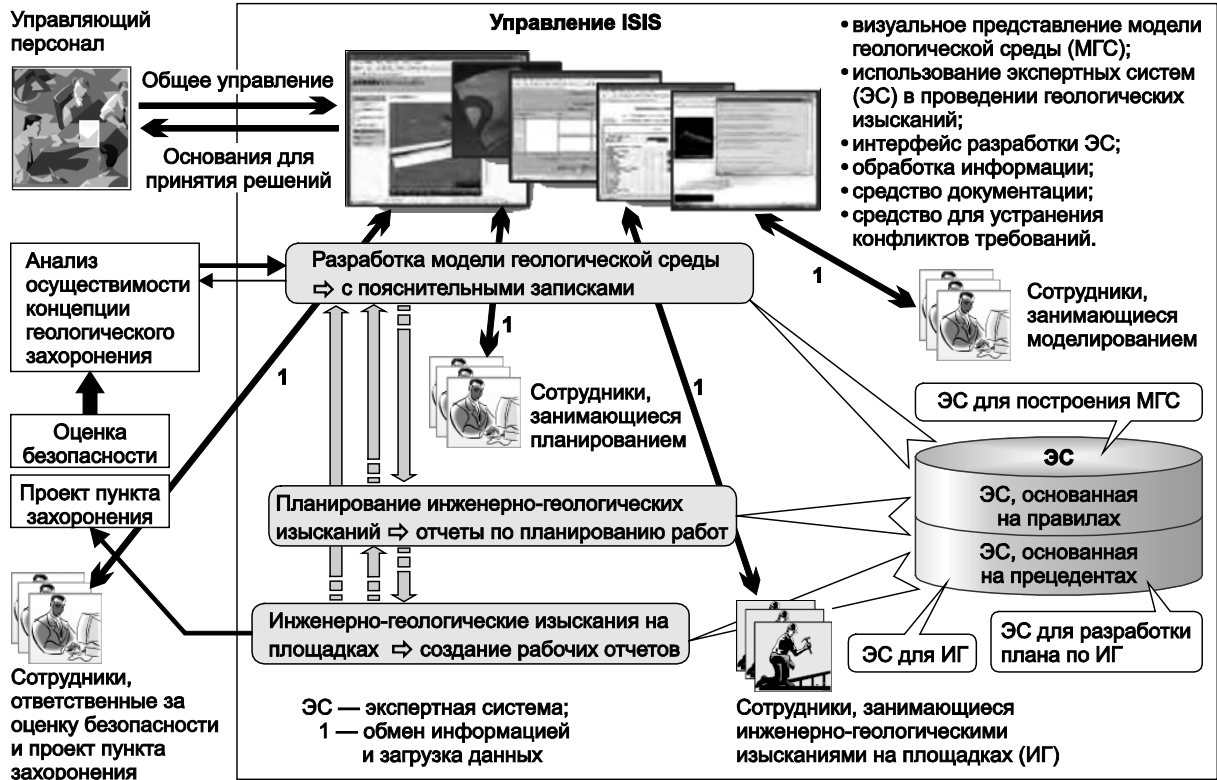


Рисунок 23 – Базовая концепция ISIS

**The interface for the rule base**  
View or Edit the existing Rule file  
Name of the rule file NEW

Rule Number	IF part	Branch	THEN part	Go to the next rule	
01	The residence time of the groundwater can be determined to be longer than 40 years if 3H is not measurable in 14C-1 groundwater. Hence we estimate the transit time from recharge using 14C in the next step. In the transit time estimation, the time point that material	Yes  No	We now execute the correction of the 14C concentration.  Please obtain the following set of data. • Chemical composition and isotope composition of the	02	Add a rule Delete a rule Rich Text Edit Add a Branch Delete a Branch
02	The dilution of the 14C concentration occurs due to mixing with dead carbon (carbonate minerals and organisms, etc.) contained in the rock. Thus, we first construct a modified model which uses the change in the ratio of carbon stable isotopes (C-12, C-13) to		The following equation is applied to calculate the residence time. $A = A_0 \exp(-\ln(2)t/T)$		Rich Text Edit Add a Branch Delete a Branch

Рисунок 24 – Окно интерфейса разработки экспертной модели принятия решения, основанной на правилах

**Таблица 3 – Примеры разработанных в рамках ISIS экспертных систем**

Метод прямой цепочки рассуждений	Метод обратной цепочки рассуждений
ЭС для планирования работ по бурению скважин	ЭС для выявления окислительно-восстановительных пар, оказывающих влияния на измеренные значения окислительно-восстановительного потенциала
ЭС для выбора изотопного индикатора, вводимого в состав буровой жидкости	
ЭС для качественной оценки данных по химическому составу грунтовых вод	

### Портал CoolRep

CoolRep представляет собой электронный интернет-портал, содержащий ссылки на множество документов и материалов, имеющих отношение к проекту по созданию пункта геологического захоронения РАО, с удобным пользовательским интерфейсом. На сайте [24] содержатся около 75 страниц гиперссылок на следующие материалы:

- документы, содержащие более подробное описание основных технических составляющих проекта (KERNELs – Knowledge Elements incorporating Requirements, Novelty, Experience and Limitations);
- общая структура обоснования безопасности и KERNELs, представленные в форме аргументационных моделей;
- гиперссылки на текстовые документы и аргументационные модели, содержащие более подробное техническое описание отдельных вопросов;
- ссылки, позволяющие перейти к программным средствам управления знаниями (Scarab, ES, PAIRS и др.) и базе знаний;
- вспомогательные материалы в графической форме (графики, видео, анимация);
- материалы отчетов, в том числе по контролю качества.

## **2 Структура базы данных СМП НКМ**

Анализ опыта зарубежных коллег, уже на протяжении многих лет работающих над проектами по созданию пунктов геологического захоронения ОЯТ и РАО в разных странах, описанный в разделе 1, позволил задать основные направления развития базы данных, разрабатываемой в рамках обеспечения информационной поддержки процесса обоснования безопасности по проекту СМП НКМ. В перспективе наиболее целесообразным представляется использовать этот опыт при создании подсистемы обоснования безопасности на основании управления требованиями, аналогичной RMS, разработанным в Бельгии, Швеции, Финляндии, Швейцарии, а также подсистемы управления знаниями по аналогии с японской KMS, описанной в разделе 1.10 (подробнее в разделе 3). Однако на данный момент основная цель создания базы данных – это накопление и структуризация архива всех материалов проекта стратегического мастер-плана по обеспечению подготовки оценок и обоснований долговременной безопасности ПГЗРО для захоронения РАО 1 и 2 класса в Нижнеканском массиве (участок «Енисейский»). Это значит, что в базе данных должна быть систематизирована такая информация, как требования к обоснованию безопасности, имеющиеся и будущие отчеты по обоснованию безопасности объекта и необходимые для него данные, программы исследований и другая релевантная информация.

Исходя из этого информация в базе данных структурируется следующим образом (рис. 25):

1. Раздел «Справочник расширенной системы требований». Под расширенной системой требований понимается единая структура описания совокупности требований к обоснованию безопасности из различных источников: действующих ФНП, рекомендаций МАГАТЭ и других, отражающих иные требования заинтересованных сторон.

2. Раздел «Описание объекта ПГЗРО» предназначен для систематизации всей накопленной информации по объекту. Рисунок 26 иллюстрирует классификацию тематик имеющейся информации по Нижнеканскому гранитоидному массиву классифицируется по следующим категориям [25]. Однако категории могут изменяться дополняться по мере в процессе работы, в том числе агрегации результатов экспериментальных исследований и моделирования (в качестве ориентира исчерпывающего классификатора может быть принят международный перечень FERs [26]):

3. Раздел «Досье обоснования безопасности» предназначен для систематизации имеющихся и будущих отчетов по обоснованию безопасности. Также в этом разделе реализованы инструменты для работы в концепции «утверждений о безопасности и осуществимости» (англ. safety statement и feasibility statement), описанной в разделе 1.6 (рис. 27): иерархия утверждений безопасности со ссылками на соответствующие этим требованиям, где к каждому утверждению сопоставляется набор аргументов и контраргументов.

4. Раздел «Управление НИОКР» содержит программы исследований СМП; карты НИР, ссылки на источники информации по темам программы исследований.



Рисунок 25 – Состав информации в базе данных СМП НКМ

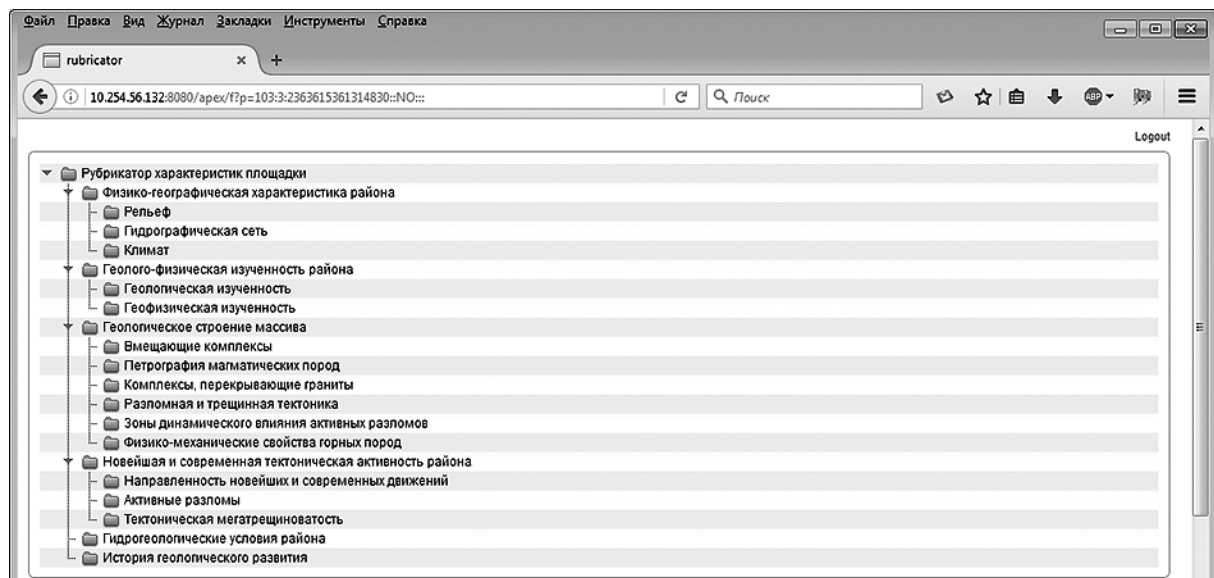


Рисунок 26 – Тематический рубрикатор информации по Нижнеканскому гранитоидному массиву

5. Раздел «Хранилище документов СМП» по мере агрегации всей доступной информации должен стать полноценной электронной библиотекой проекта – любая библиографическая ссылка на документ или публикацию из других разделов будет дополняться электронным документом в хранилище. На данный момент уже собран значительный объем нормативной, научной и технической информации, относящейся к объекту (табл. 4), в дальнейшем будет производиться систематизация этих документов, и хранилище будет постоянно пополняться в процессе реализации СМП НКМ. Также возможен поиск электронных документов в архиве по различным атрибутам (название, автор, тематика и т.д.).

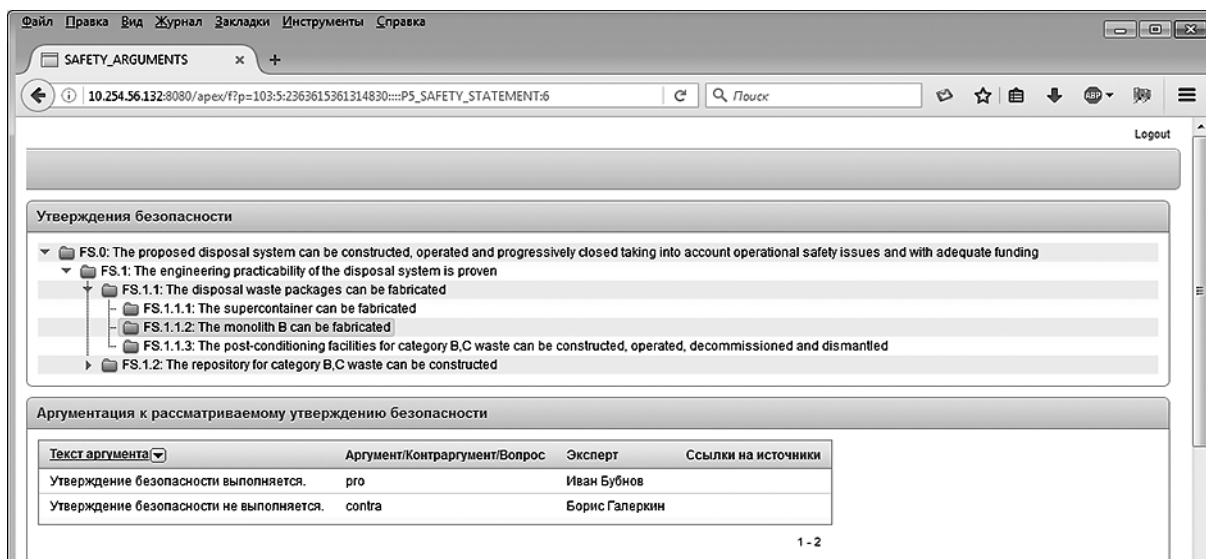


Рисунок 27 – Работа с утверждениями безопасности и аргументацией

Таблица 4 – Библиотека документов СМП НКМ

Тип документов	Количество наименований	Объем (стр.)
ФНП	8	340
Стандарты и рекомендации МАГАТЭ	4	978
Научные отчеты, тома проекта	769	29131
Монографии	5	1374
Научные публикации	160	67
Всего	946	31890

В базе данных предусмотрены функции:

- добавления и редактирования информации в каждом из разделов;
- поиска данных по разделам базы данных архива СМП на основе типовых форм и атрибутов поиска;
- представления данных в виде статических и интерактивных (с фильтрами, сортировкой и группировкой) таблиц-отчетов (рис. 28), иерархических деревьев объектов (рис. 26) и т.д.;
- выгрузки данных в файлы и формирования отчетности.

База данных архива СМП реализуется на клиент-серверной архитектуре с централизованным доступом к базе данных посредством интерфейса внутреннего интранет-сайта (портала).

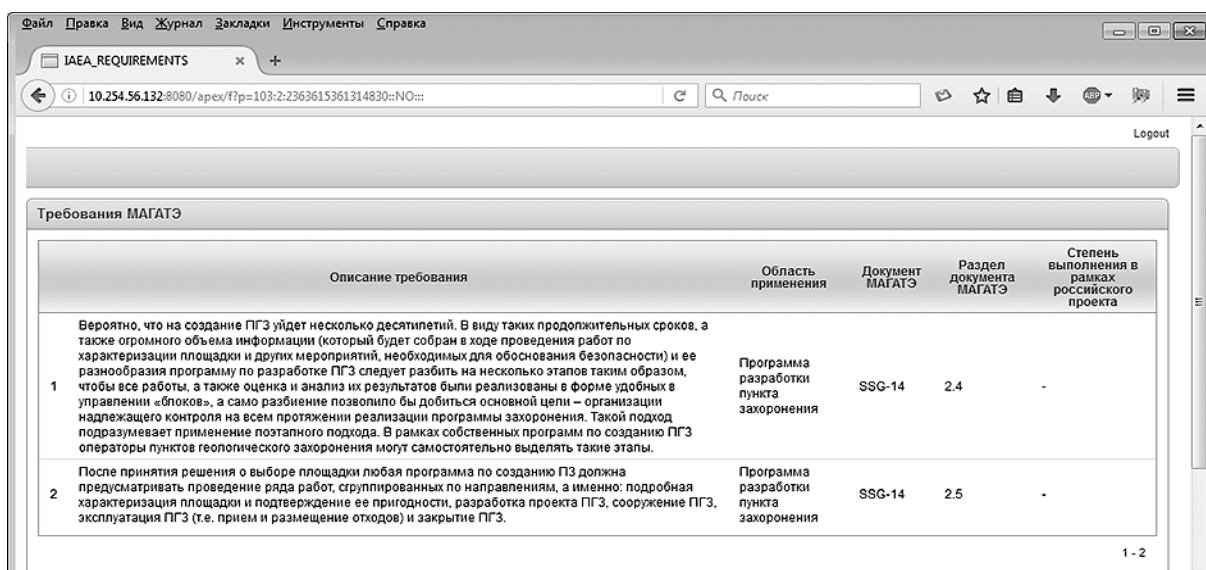


Рисунок 28 – Пример представления данных в интерфейсе базы данных СМП в виде статического отчета

### 3 Перспективное развитие базы данных СМП НКМ

В ходе развития проекта стратегического мастер-плана должна развиваться и информационная поддержка проекта. И хотя в процессе работ последующих этапов понимание требований к этой информационной системе может видоизмениться, на основании зарубежного опыта уже сейчас можно обозначить перспективные направления развития от базы данных архива проекта к полноценной информационной системе.

Первое такое направление – это подсистема обоснования безопасности на основании управления требованиями (по аналогии с RMS Бельгии, Швеции, Финляндии, Швейцарии, описанных в подразделах 1.61.9), которая может развиваться из разделов базы данных «Справочник расширенной системы требований» и «Досье обоснования безопасности»:

- Ключевые элементы этой подсистемы – это *требования* (иерархическая структура), *утверждения безопасности и осуществимости* (иерархическая структура), *аргументы* и *открытые вопросы*.
- Подсистема поддерживает версию элементов и механизмы редактирования без нарушения целостности: старые элементы не удаляются, а отмечаются неактуальными с уведомлением о необходимости актуализации связанных элементов.
- Для каждого *утверждения* задается ссылка на соответствующие *требования* (может быть несколько требований из разных источников, которые описываются одним утверждением безопасности или наоборот).
- Для каждого утверждения экспертами добавляются аргументы, контраргументы или открытые вопросы.
- На первом этапе аргумент содержит текст (мнение эксперта) с флагом «за» или «против» и ссылку на документ из библиотеки (публикации, отчеты и другие документы, поддерживающие этот аргумент). Указывается информация об эксперте и дата добавления аргумента.
- На последующих этапах вместо линейного перечня аргументов может добавляться ссылка на аргументационную модель из подсистемы управления знаниями.
- Для каждого открытого вопроса приводится статус (проводились ли исследования). Если исследования проводились добавляются ссылки на публикации из библиотеки, если есть в программе исследований – ссылка на соответствующий объект подсистемы управления программой исследований, если нет – соответствующий статус и пояснения.

Второе направление развития – это подсистема управления знаниями на основе раздела базы данных «Описание объекта ПГЗРО» (по аналогии с японской KMS, описанной в подразделе 1.10). Она может включать в себя такие элементы, как средство построения аргументационных моделей, инструменты устранения конфликтов требований, средства поддержки принятия решений и т.д.

Третье направление – подсистема управления НИОКР на базе соответствующего справочного раздела для реализации функций планирования и сопровождения исследований:

- Ключевые элементы этой подсистемы: источники данных, исследования, цели
- Каждая цель ссылается на утверждение безопасности и соответствующий исследованию открытый вопрос из подсистемы обоснования безопасности.
- Для цели указывается направление исследования, приоритетность, контрольные сроки. Приоритет может быть вычислен по приоритету соответствующего открытого вопроса в структуре утверждений безопасности либо задан вручную с пояснением и указанием эксперта, принявшего решение. Кроме того, к каждой цели ведут связи от исследований, непосредственно необходимых для ее достижения.
- Для исследований указывается тип (эксперимент или моделирование) и также могут вести связи от других исследований. На этапе реализации программы также указываются приоритеты, сроки и исполнители исследований.
- Для связи должно быть указано, какие данные по ней передаются и тип связи:
  - ◆ блокирующие (исследование строго необходимо для последующего элемента, передаются исходные данные и т.д.);
  - ◆ не блокирующие (исследование желательно для последующего элемента, передаются уточняющие данные)
- Инструмент формирования программы исследований: весь список исследований может быть выгружен в виде таблицы с возможностью группировки и сортировки по тематикам, приоритетам и другим атрибутам, а также проверки на наличие "непривязанных" исследований (таких быть не должно).
- На этапе реализации исследований исполнитель может изменять статус исследования с добавлением ссылок на документы и данные. При изменении статуса исследования происходит оповещение исполнителей связанных исследований.

Рассматривается возможным развитие данных направлений как в рамках одной информационной системы так и в рамках отдельных информационных систем. Далее в разделе 4 приведена реализация данных направлений в рамках системы поддержки принятия решения СМП НКМ.

## 4 О постановке задачи разработки системы поддержки принятия решений по СМП НКМ

В целом можно резюмировать, что направление информационного сопровождения задачи обоснования безопасности долговременного захоронения РАО в ПГЗРО характеризуется:

- управлением большими массивами данных по результатам научных экспериментов и исследований программы СМП;
- условиями вовлечения широкого круга заинтересованных лиц и организаций, как в рамках программы исследований, так и в целом по программе создания пункта ПГЗРО;
- высокой значимостью вопросов, связанных со знаниями как в контексте системы менеджмента знаний, так и инженерии знаний по предметной области программы СМП НКМ как основы аргументации обоснования безопасности;
- зависимостью качества экспертизы и согласования ООБ от понимания всеми участниками процесса заложенной в обоснование безопасности системы аргументации. При этом под «пониманием» можно определить степень раскрытия содержания высказываний аргументации;
- масштабом программы исследований для обоснования безопасности (по временным срокам, объему предметных областей обоснования безопасности, так и вовлекаемых в экспертизу заинтересованных сторон и длительности программы исследований в целом).

Практика информационного сопровождения такого рода специфической и уникальной деятельности подкреплена (как отражено ранее в разделе 1) существенным международным опытом.

Современным направлением развития ИТ инструментов и средств являются системы класса интеллектуальных информационных систем (ИИС). Среди спектра систем информационной поддержки системы класса систем поддержки принятия решений (СППР) рассматриваются наиболее близкими задачам информационной поддержки СМП НКМ.

### О функциональности СППР

При раскрытии функциональности информационных систем традиционным подходом является приведение соответствия к потребностям автоматизации бизнес-процессов организации. Таким образом, отражается и обосновывается место и роль ИТ-ресурсов в структуре бизнес-процессов организации. Для СППР СМП НКМ такой ориентацией на систему бизнес-процессов организации будут следующие позиции:

(1) СППР есть инструмент (ИТ-актив) информационного сопровождения стратегической программы СМП НКМ в целом и как элемент ИТ-инфраструктуры направлен на повышение эффективности информационного сопровождения базовых процессов программы, а именно, комплексного анализа аргументации обоснования безопасности и управления результатами программы исследований. Также среди процессов, поддерживаемых аналитикой СППР:

- управление знаниями по проблематике долгосрочного захоронения РАО;
- первичный учет и сохранение результатов программы исследований СМП НКМ;
- проверка высказывания аргументации обоснования безопасности на соответствие требованиям и FERs;
- проверка высказываний аргументации обоснования безопасности на непротиворечивость;
- анализ экспертных высказываний в отношении обоснования безопасности долгосрочного захоронения РАО в ПГЗРО;
- подготовка и комплектация документации ООБ;
- учет структуры и изученности предметных областей (ЛДК) СМП НКМ;
- подготовка данных и фактов аргументации в отношении заключения/высказывания по обоснованности безопасности долгосрочного захоронения РАО в ПГЗРО;
- информационное сопровождение СМП НКМ.

(2) СППР является информационным активом организации и представляет возможности для аккумуляции интеллектуального капитала организации. Генерация интеллектуального капитала осуществляется за счет:

- количественного прироста мощности сети (объемом и сложностью подсетей создаваемых в едином хранилище по каждой предметной областей);
- качественной оценки формирования заключения-интерпретации аргументации пользователя (чувствительности экспертной подсистемы СППР) на основе правил формирования интерпретации аргументации.

Совокупная оценка стоимости реализации и развития СППР может быть осуществлена на основе оценки стоимости наступления риска утери знаний и информации, стоимости получения информации «с чистого листа», стоимости альтернативных затрат на НИР, упущенной прибыли от масштабирования хотя бы на еще одной площадке или объекте, стоимости сэкономленных затрат на процесс аналитики в целом.

(3) СППР представляет не только инструмент повышения эффективности обозначенных бизнес-процессов (выраженной, например, количественно – число/количество проанализированных/проинтерпретированных, т.е.

раскрытых до приемлемого уровня соответствия замечанию эксперта высказываний, положений документа ООБ), но и предоставляет возможность качественного изменения процессов деятельности по подготовке обоснования безопасности. Примером такого рода качественного изменения процессов является изменение парадигмы информационно-справочной системы на консультационно-экспертную систему поддержки принятия решений в рамках процесса информационного сопровождения СМП НКМ. А именно, систему основанную на обработке знаний правил и фактов при анализе или изучении пользователем деятельности по СМП НКМ. Смена данной парадигмы возможна за счет применения методов и инструментов искусственного интеллекта: реализации естественного интерфейса взаимодействия пользователь-система, описание знаний, развития онтологической модели предметной области обращения с РАО и безопасности, базы данных на основе хранения информации с применением сетевой модели данных, методы и инструменты экспертных систем, интеллектуальный анализ данных, поиск знаний в базах данных, рассуждение на основе прецедентов и др. Данные методы и инструменты предоставляют возможность постановки задачи формализованной оценки глубины (зрелости) изученности объекта, аргументации безопасности, задачи исследования истории СМП НКМ.

#### Постановка задачи СППР

Постановка задачи для интеллектуальной системы поддержки принятия решений по обоснованию безопасности глубинного захоронения РАО (СППР СМП) может быть сформулирована следующим образом.

СППР СМП должна обеспечивать эксперта (пользователя) инструментом **комплексного анализа и интерпретации данных и знаний** предметной области глубинного захоронения РАО в ПГЗРО Нижнеканского массива, включая аспекты безопасности, описания состояния объекта ПГЗРО в целом, в том числе:

- инструментом поддержки принятия и интерпретации решений по любому профессиональному высказыванию предметной области;
- инструментами анализа аргументации безопасности и восприятия безопасности ПГЗРО в целом;
- инструментом управления, исследования и представления знаний по предметным областям программы исследований СМП НКМ и обоснования безопасности.

Особенность такой постановки задачи заключается, во-первых, в **комплексном подходе**. СППР СМП охватывает при таком подходе как задачи хранения первичных данных (документов, требований, данных результатов исследований), так и задачи экспертной поддержки (как то задачи интерпретации высказывания безопасности, задачи оценки программных рисков).

А во-вторых, такая постановка задачи предусматривает, помимо **предоставления данных и информации для принятия решений** (в том числе приведенных к какому либо формализованному виду знаний), задачи **анализа и обработки информации (знаний)**, на основе обработки сложных лингвистических высказываний о безопасности, исследованиях и аргументации.

Таким образом, поставленная задача классифицируется авторами как задача из класса интеллектуальных систем, а именно, задача построения системы поддержки принятия решения (Decision Support System), построенная на архитектуре триплетного хранилища данных (triple stores) [27]. Ключевыми элементами архитектуры такой системы являются уже обозначенные в постановке методы и технологии направления «интеллектуальных систем»:

- интерпретация лингвистического высказывания (информации, решений, знаний по высказыванию эксперта);
- представление знаний (декларативное и процедурное);
- лингвистический интерфейс анализа данных;
- база правил и фактов.

Роль СППР сводится к:

- роли формального инструмента генерации (сбор, систематизация, обработка и накопление) данных, документации и знаний по предметной области долгосрочного захоронения РАО и программе СМП НКМ в целом;
- роли полуавтоматизированного провайдера контента по программе СМП НКМ в целом, по модели аргументации обоснования безопасности и знаний по предметной области долгосрочного захоронения РАО;
- роли формальной системы-интерпретатора высказываний по безопасности долгосрочного захоронения РАО в ПГЗРО НКМ.

#### Ключевые функции СППР

Обозначим функции системы поддержки принятия решений СППР СМП НКМ:

1. Интерпретация и формирование заключения в ответ на лингвистический запрос-высказывание пользователя по обоснованности безопасного захоронения РАО в ПГЗРО;
2. Формальное представление и анализ данных для принятия решений на основе:
  - ◆ элементов модели аргументации обоснования безопасности ПГЗРО;
  - ◆ процессов управления программой исследований СМП НКМ;

- ◆ данных и результатов исследований в рамках ЛДК программы исследований СМП;
- ◆ истории формирования обоснования безопасности ПГЗРО;
- ◆ требования и положения особенностей, событий и процессов (FEPs);

3. Генерация и сохранение (создание новых, обработка и сохранение имеющихся) данных, правил и знаний по обоснованности безопасности ПГЗРО;

4. Предоставление данных, информации и знаний для третьих систем, в частности для частных моделей по предметным областям.

В вопросе **об обоснованности применения системы** такого класса в данной предметной области, отметим следующее:

В некоторых областях деятельности к системам такого класса применяется инфраструктурный подход к обоснованию эксплуатации (внедрению) систем класса поддержки принятия решений (Decision Support System). В частности как ИТ-инструмент поддержки некоего процесса аналитики предметной области. При этом отмечается общая полезность системы через показатели сокращения времени на обработку аналитических запросов, предоставление больших возможностей (или принципиально новых возможностей) по обработке сложных взаимосвязанных данных, количество сложных аналитических запросов.

В контексте применения системы класса «СППР» для задач выбранной предметной области обоснование применения будет поддержано, по мнению авторов, следующими факторами:

- применимостью и удобством использования для аналитики высокоуровневых процессов управления в организации (например, процессов обучения и распространения знаний, общих процессов 4, 5 уровней по моделям зрелости РММІ, ОРМЗ [28] и пр.);
- перспективностью дальнейшего применения методов и технологий направления «искусственного интеллекта» (сети данных предметной области, анализ больших данных, формализованных знаний и пр.) при анализе и обосновании безопасности долгосрочного захоронения РАО;
- перспективами роста интеллектуального капитала организации;
- снижении стоимости управления рисками (как затрат на мониторинг и анализ рисков).

#### Архитектура СППР

Среди рассмотренных ранее международных разработок (подразделы 1.4 – 1.10) архитектура СППР СМП НКМ более близка к системам KMS, Scarab, ISIS.

При этом существенным отличием в архитектуре СППР становятся:

- целевая ориентация на сетевую модель данных (сетевое хранилище и представление всех объектов и сущностей системы в виде элементов сети);
- универсальность применяемой онтологической модели предметной области;
- ориентация и возможности обработки знаний (эксплицитных и имплицитных) в системе;
- квазидинамический характер системы.

А общими характеристиками с системами KMS, Scarab, ISIS (Япония) становятся:

- логика представления аргументации и знаний (как с использованием декларативного подхода так и процедурных знаний) по предметной области;
- функциональность экспертной системы по интерпретации аргументации безопасности;
- интуитивно понятный пользовательского интерфейса на естественном языке между пользователем и системой;
- базы правил по интерпретации цепочек высказываний о безопасности.

Ключевым ядром архитектуры СППР является, как уже отражено, сеть данных или триплетное хранилище, реализованное в виде графовой базы данных [29]. Сеть включает в себя описание объектов и субъектов предметной области, мета-информации, связи между ними. Для классификации элементов сети определены подсети, сегменты, графы, слои, узлы, связи и др. Сеть рассматривается как динамический объект и предполагает историю изменений состояния сети. Сеть описывается онтологической моделью, которая предполагает универсальный подход по насыщению описания данных по конкретным предметным областям дополнительной мета-информацией, например, по геологии, РАО, требованиям по безопасности долгосрочного захоронения РАО в ПГЗРО НКМ. Таким образом, данные представляются как свойства объектов сети (объектов предметной области) в формате «субъект-предикат-объект» (subject-predicate-object), реализуя триплетный подход к описанию данных [27]. При увеличении масштаба описания объектов предметной области (мощности сети) такой подход обеспечивает семантически богатый набор данных, содержащий набор знаний и выводы связей между ними. Каждая предметная область представляет собой подсеть и описывается соответствующей иерархией онтологической модели. В таблице 5 рассматриваются перспективные предметные области (области знаний) которыми должна быть наполнена сеть хранилища СППР.



**Таблица 5 – Пример перечня предметных областей сети хранилища СППР**

<b>Группы предметных областей</b>	<b>Наименование предметной области</b>
Предметные области ЛДК	Геология (дальняя зона)
	Инженерные барьеры безопасности
	РАО
	Теплопроводность
	Напряженно-деформированное состояние верхних горизонтов земной коры
	Научное сопровождение проекта сооружения ПГЗРО
	Эксплуатация и оценка надежности системы
	Оценка и обоснование безопасности
Нормы и правила	Нормативное регулирование РАО
	Программа исследований и ЛДК
	Требования безопасности захоронения РАО
	FEPs
Проект СМП НКМ	Процессы управления СМП НКМ
	Извлеченные уроки реализации СМП НКМ
	Сценарии аргументации
	Сценарии интерпретации
	Модель описания научного знания

Естественным образом онтологический подход порождает проблему зрелости и полноты описания предметной области. Предлагаемые на сегодня решения по автоматизации формирования онтологии предметной области (например, система Brainstern, алгоритм Sonmake в системе «ИСТИНА»[30]) предоставляют достаточно широкие возможности для помощи экспертам в формировании онтологических описаний различных областей знаний. Пример уже реализуемого проекта с онтологией предметной области знаний – NAICS, таксономия знаний о ядерных авариях (Nuclear accident knowledge taxonomy [31]).

Универсальная гибкость архитектуры СППР на основе сети данных заключается в возможности постоянного внесения изменений и нелинейном росте мощности (возможностей) анализа связей элементов сети при ее увеличении.

*О представлении знаний*

Знание в контексте рассматриваемого видения СППР (системы поддержки принятия решений) принимаются как:

1. Результат сценария проверки высказывания или аргументации;
2. Совокупная информация, полученная путем анализа данных и связей сети («выявление, извлечение знаний из сети») и созданная в рамках нового участка сети (графа) сетевого хранилища. Знания при этом рассматриваются как новый участок сети, мета-информация и данные (данные узлов и связей) по совокупности представляют новое «единичное высказывание знания»;
3. Совокупная информация, заданная в СППР внешне (например, экспертным способом как результат процесса сохранения знаний системы менеджмента знаний программы, «наполнение знаний в сеть») путем создания участка сети (графа) сетевого хранилища, обладающая важной мета-информацией по совокупности и объединенное в новый элемент сети («единичное высказывание знания»);
4. Информация, появляющаяся в процессе обработки экспертной системой правил и фактов в рабочей памяти машины логического вывода. Правила созданные в результате обучения экспертной системы (в составе СППР) формируют ключевой массив знаний системы.

В случае вариантов №1, 2, 3 термин «знание» возможно измерить количественно – в виде количества сгенерированных сценариев, «единичного высказывания знания» (элемента сети). При этом, поскольку знание выступает как достаточно абстрактное понятие информативности элементов сети, которая может меняться (дорабатываться новыми элементами, связями, мета-информацией), то ключевым свойством таких знаний будет изменчивость. Это свойство рассматривается весьма полезным для аналитики рассматриваемой предметной области. При наполнении системы СППР функциями оценки и ранжирования знаний как результатов экспертного мнения данное свойство может быть использовано при составлении, например, общей картины по глубине изученности знаний по предметной области обоснования безопасности. В целом такой подход рассматривается полезным и может способствовать более быстрому увеличению в системе СППР объема рабочих данных и знаний, поскольку достаточно легко формулируется задача оценки роста знаний в системе, например, в виде достижения экспертом определенного количества элементов «единичное высказывание знания» в сети.

В случае определения знания как термина по варианту № 3, реализовать количественный подход к наполнению сети элементов и узлов для формирования знаний не удастся. Само по себе «знание» рожда-

ется в процессе проверки на истинность совокупности применяемых правил из базы правил к анализируемым высказываниям аргументации безопасности или иных поставленных вопросов. Здесь важную роль будут играть вопросы научения (обучения) системы, в том числе качественной верификации применяемых правил и алгоритмов для повышения чувствительности системы.

Зачастую наиболее близкие к уровню принятия решений знания формулируются в формате т.н. «лучших практик» (best practices). Реализация такого подхода к знанию рассматривается в рамках СППР как совокупное знание, включающее описательные данные и информацию, данные по исследованиям СМП и совокупной информации по сети (трактовка термина «знание» по вариантам № 1-3) а также истинности тех или иных аргументов и высказываний о безопасности (трактовка термина «знание» по варианту №4). Знания «о лучших практиках» зачастую представляются как формализованный набор данных (метаинформация, текстовые, цифровые, временные) представляющие описание реализованных процессов, задач, работ или иной деятельности по предметной области. Такие данные в рамках архитектуры СППР рассматриваются как сегменты сети, где составляющие узлы и связи описывают характер взаимных свойств этой информации.

## Выводы

На основе проанализированного опыта разных стран можно утверждать, что все зарубежные проекты создания пунктов долгосрочного захоронения РАО осуществляются с учетом обеспечения со стороны информационной архитектуры, интеграции и повышения обмена данными между различными информационными ресурсами и базами данных.

Базисом систем информационной поддержки проектов-аналогов СМП НКМ становится автоматизация информационной поддержки блока задач по управлению требованиями. Также активно развивается направление анализа предметной области, о чем говорит как внедрение в процесс обоснования безопасности таких понятий, как «знание», «правила», «высказывания» и «аргументация», так по появлении информационных ресурсов класса системы управления знаниями (KMS). Существенными вопросами становятся вопросы интеграции систем данного класса с системой менеджмента знаний организации.

Исходя из этого, в рамках СМП НКМ перспективными направлениями являются разработка экспертной системы по интерпретации высказываний по безопасности захоронения РАО в ПГЗРО и развитие инструментов интеллектуального анализа данных.

Например, дальнейшая реализация онтологического подхода к описанию объектов, данных и информации позволит реализовать анализ системы требований и аргументации безопасности на основе алгоритмов машинного обучения. Реализация различных систем представления знаний позволит ускорить переход организаций к управлению процессами на основе знаний.

Информационные ресурсы обеспечивают существенный вклад в общий успех и эффективность СМП НКМ. С учетом реализации данных перспективных направлений возможно соответствие международному опыту, а при долгосрочной постановке задачи об их реализации – и получение многокомпонентного положительного инновационного результата в рамках реализации СМП НКМ.

## Литература

1. Отчет по НИР Разработка проекта стратегического мастер-плана по обеспечению подготовки оценок и обоснований долговременной безопасности ПГЗРО для захоронения РАО 1 и 2 класса в Нижнеканском массиве (участок "Енисейский")». Этап 1
2. CURIE, Centralized Used Fuel Resource for Information Exchange [Электронный ресурс] // URL: <https://curie.ornl.gov/> (дата обращения: 17.08.2016). – загл. с экрана. – яз. англ.
3. Integrated Data and Analysis System for Commercial Used Nuclear Fuel Safety Assessments, J. M. Scaglione, J. Peterson, K. Banerjee and others, WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona, USA
4. A Unified Spent Nuclear Fuel Database and Analysis System, J.M. Scaglione, R.A. LeFebvre, K. Banerjee, Oak Ridge National Laboratory
5. Knowledge Management Related to Geological Disposal of Radioactive Waste, Information Update to the Belgian Approach, Alain Sneyers, SCK-CEN, International Workshop on next generation Knowledge Management System for Geological Disposal of Radioactive Waste, Tokyo, 3-4 December 2009
6. SCK-CEN Institutional Repository [Электронный ресурс] // URL: <http://publications.sckcen.be/dspace/simple-search?query=%28type%3Apaper+proceeding%29&sortfield=sissuedate&sortorder=desc> (дата обращения: 17.08.2016). – загл. с экрана. – яз. англ.

7. Geoscientific programme for investigation and evaluation of sites for the deep repository, Technical Report, TR-00-20, SKB, August 2000
8. The Belgian Research and Development Feasibility Programme for the Geological Disposal of High-Level and Long-Lived Radioactive Waste, Philippe Van Marcke, Hugues Van Humbeeck and Alain Van Cotthem, WM2012 Conference, February 26 – March 1, 2012, Phoenix, AZ
9. RMS2010 Requirements Management Systems (RMS): Status and Recent Developments, Information Exchange Meeting Report, Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO), NUMO-TR-10-07, March 2011
10. Electronic & Transactional Content Management. OpenText, Vignette [Электронный ресурс] // URL: <http://www.opentext.com/what-we-do/products/opentext-product-offerings-catalog/rebranded-products/vignette-is-now-opentext> – загл. с экрана. – яз. англ.
11. ONDRAF/NIRAS Research, Development and Demonstration for the geological disposal of high-level and/or long-lived radioactive waste including irradiated fuel if considered as waste, State-of-the-art report as of December 2012, NIROND-TR 2013-12 E, December 2013
12. Study on Strategy and Methodology for Repository Concept Development for the Japanese Geological Disposal Project, H. Rurikami, S. Suzuki, K. Wakasugi and others, NUMO-TR-09-04, Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO), September 2009
13. Clarus Concept of Operations. Publication No. FHWA-JPO-05-072, Federal Highway Administration (FHWA), 2005
14. IBM – Rational DOORS. [Электронный ресурс] // URL: <http://www-03.ibm.com/software/products/en/ratidoor> – Загл. с экрана. – яз. англ.
15. Technical Report 09-06, The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland, NAGRA, November 2009
16. Create custom apps. FileMaker – An Apple Subsidiary. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.filemaker.com/> – Загл. с экрана. – яз. англ.
17. Visure Requirements. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.visuresolutions.com/requirements-engineering-tool> – Загл. с экрана. – яз. англ.
18. H17 Development and Management of the Technical Knowledge Base for the Geological Disposal of HLW, Knowledge Management Report JNC-TN1400-2005-022, Japan Nuclear Cycle Development Institute, 2005
19. Application of Knowledge Management System for Safe Geological Disposal of Radioactive Waste, H. Umeki, H. Takase, Geological Repository Systems for Safe Disposal of Spent Nuclear Fuels and Radioactive Waste, edited by Joonhong Ahn and Michael J. Apted, Woodhead Publishing Limited, 2010
20. The Challenge on Development of an Advanced Knowledge Management System (KMS) for Radioactive Waste Disposal: Moving from Theory to Practice, Hitoshi Makino, Kazumasa Hioki, Hideki Osawa and others, New Research on Knowledge Management Technology
21. Concept and Design of the JAEA KMS for Geological Disposal of HLW, Hitoshi Makino, Hideaki Osawa, Katusushi Nakano and others
22. Application of Knowledge Management Systems for Safe Geological Disposal of Radioactive Waste, H. Umeki, H. Takase, Geological Repository Systems for Safe Disposal of Spent Nuclear Fuels and Radioactive Waste, Edited by Joonhog Ahn and Michael J. Apted, Woodhead Publishing Series in Energy, Woodhead Publishing Limited, 2010
23. Takase H. et al. Advanced KMS for knowledge sharing and building confidence in CCS //Energy Procedia. – 2011. – Vol. 4. – p. 6202-6209
24. CoolRep. [Электронный ресурс] // URL: <http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep> – Загл. с экрана. – яз. япон., англ.
25. «Подземная изоляция радиоактивных отходов», Андерсон Е.Б., Белов С.В., Камнев Е.Н., Колесников И.Ю., Лобанов Н.Ф., Морозов В.Н., Татаринцов В.Н., 2011
26. A New Approach for Feature, Event, and Process (FEP) Analysis of UNF/HLW Disposal, Freeze, G., S. D. Sevougian, C. Leigh, M. Gross, J. Wolf, J. Mönig, and D. Buhmann, Proceedings of the WM2014 Conference, March 2 – 6, 2014, Phoenix, Arizona USA
27. Kantardzic, M. Data mining: concepts, models, methods, and algorithms. John Wiley & Sons, 2011.
28. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3®) – Third Edition, Project Management Institute, 2013. – 246 с.
29. Робинсон Ян, Вебер Джим, Эифрем Эмиль, Графовые базы данных: новые возможности для работы со связанными данными /пер. с англ. Р.Н. Рагимов; научн. ред. А.Н. Киселев. 2-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 256 с.: ил., ISBN 978-5-97060-201-0
30. Голомазов Д.Д. Методы и средства управления научной информацией с использованием онтологий: дис. канд. физ.-мат. наук: 05.13.17: защищена: 29.02.2012: М., 2012. 188 с.
31. Nuclear accident knowledge taxonomy, NAKT, IAEA Nuclear energy series NG-T-6.8