



**Российский федеральный ядерный центр –
ВНИИ технической физики
им. Е.И. Забабахина**



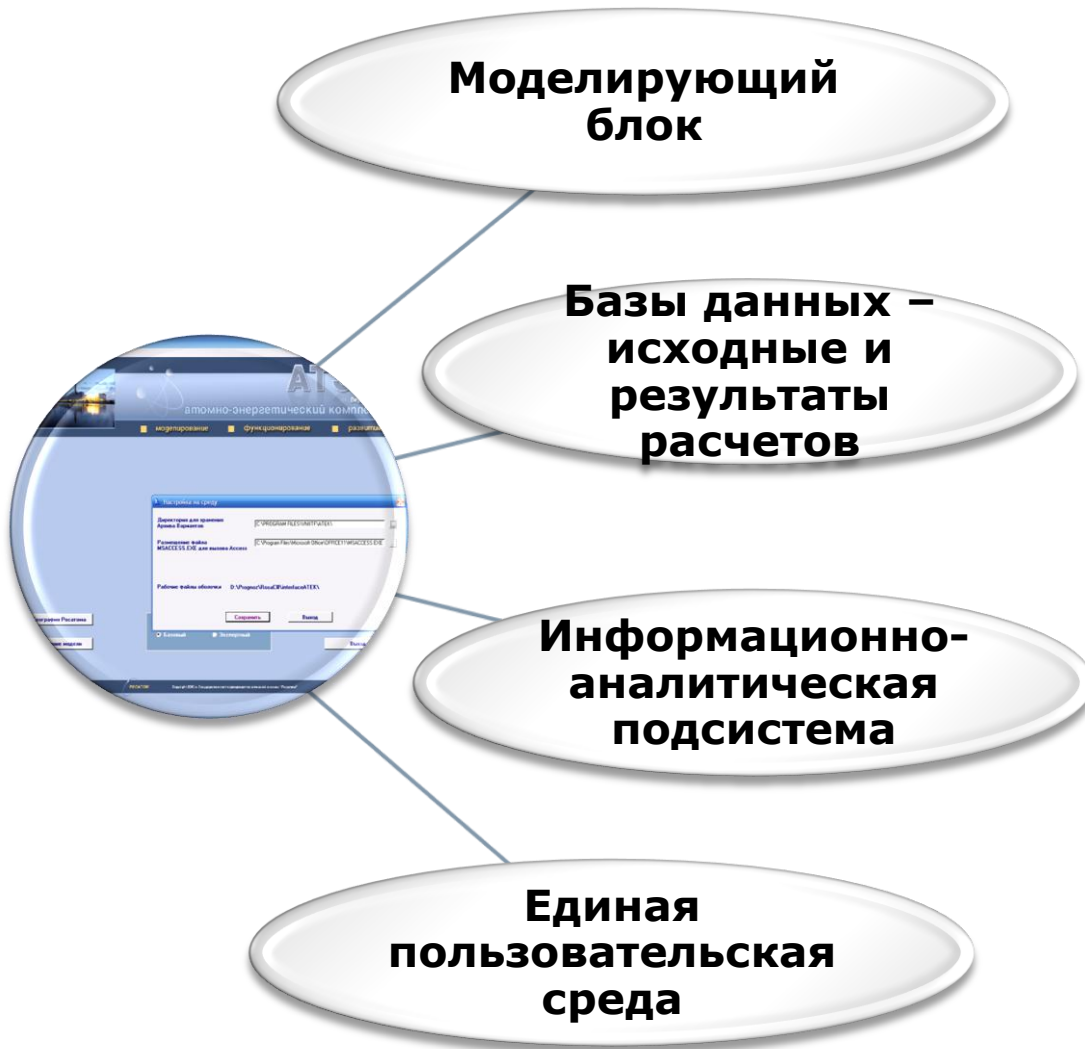
Технологические и технико- экономические модели в сфере бек-энд: состояние и перспективы разработки

Инга Равильевна Макеева, В.П. Соколов

Начало разработки – 2008 год



Состав комплекса и участники разработки



- РФЯЦ-ВНИИТФ (Снежинск)**
- ГНЦ Курчатовский институт (Москва),**
- НПО ВНИИНМ им. акад. А.А. Бочвара (Москва),**
- НПО РИ им. В.Г. Хлопина (С. Петербург),**
- НПО ВНИИХТ (Москва),**
- НИИАР (Дмитровград),**
- ФЦЯРБ (Москва),**
- ГИ ВНИПИЭТ (С. Петербург),**
- ФЭИ (Обнинск),**
- НИКИЭТ (Москва),**
- ПО Маяк (Озёрск),**
- ФГУП «ГХК» (Железногорск)**



Развитие комплекса

▶ **Логистика обращения с ОЯТ**

- Детализация послереакторной стадии
- Учет транспортных перевозок
- Дискретно-событийная модель
- Версия 2

▶ **Анализ экономической эффективности обращения с ОЯТ**

- Техничко-экономические расчеты процесса обращения с ОЯТ
- Динамический пользовательский интерфейс создания расчетной схемы
- Версия 3

▶ **Моделирование технологических процессов**

- Фабрикации топлива (карботермический синтез)
- Переработки ОЯТ
- Версия 4

▶ **Среда для моделирования ТП ЗЯТЦ**

- Материальный баланс комбинированной переработки ОЯТ, рефабрикации топлива
- Экономика обращения с ОЯТ на ОДЦ ГХК
- Библиотека моделей отдельных ТП



Состав комплекса

Среда для моделирования технологий ЯТЦ

АТЭК

Стратегические расчеты для описания развития ЯЭК, исследований и выбора режимов замыкания ЯТЦ

ПогОЯТ

Моделирование системы обращения с ОЯТ, оптимизации с учетом экономической эффективности

ТТС

Экономика транспортно-технологических схем обращения с некондиционным ОЯТ РБМК-1000 с учетом различных технических решений

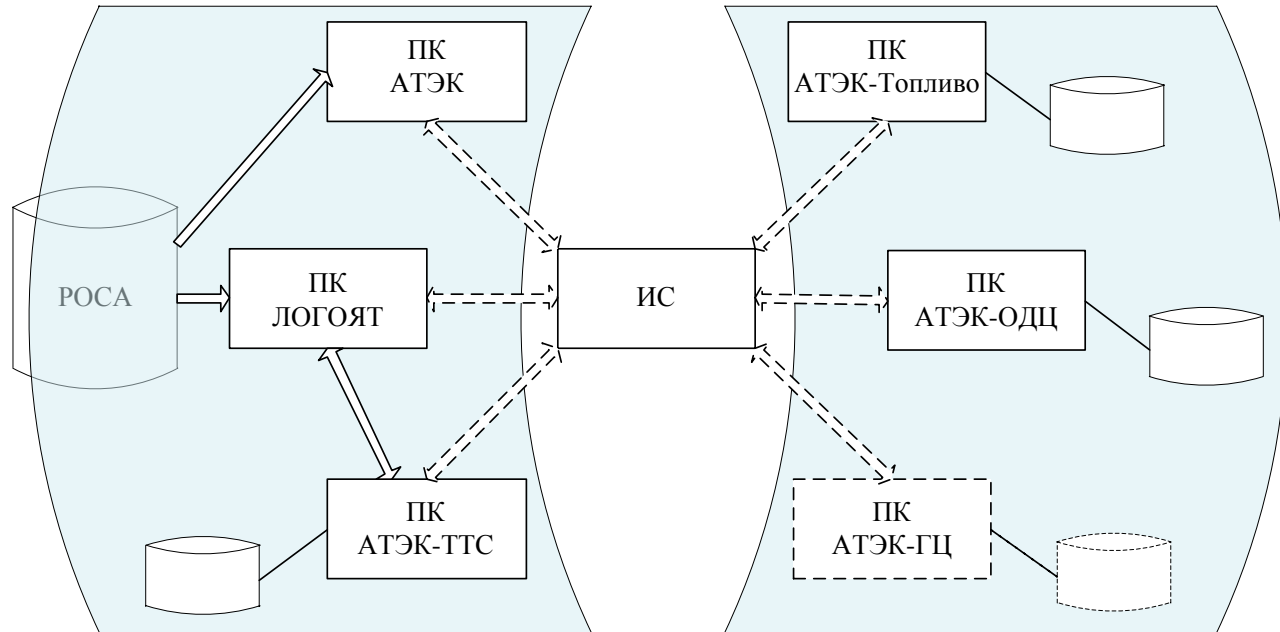
ОДЦ

Моделирование технологии переработки ОЯТ методом ПУРЕКС-процесса

ТП

Моделирование различных технологий фабрикаци топлива для перспективных реакторов

Состав АТЭК



Все проекты реализовывались как самостоятельные модули, разработанные на единой платформе – компоненты комплекса.



АТЭК. Особенности моделирования

Описание характеристик материального потока (химический, нуклидный составы, активности, количество) в зависимости от времени

Описание функционирования узлов и аппаратов с точки зрения эксплуатации в заданных условиях – сроки эксплуатации, потребности и периодичности профилактики, коррозионный износ и т.п.

Описание экономических характеристик технологий и соответствующих производств

Описание физико-химических процессов в отдельных узлах и аппаратах с различной степенью точности от инженерной до первопринципной на уровне физико- и химико-математических моделей процессов

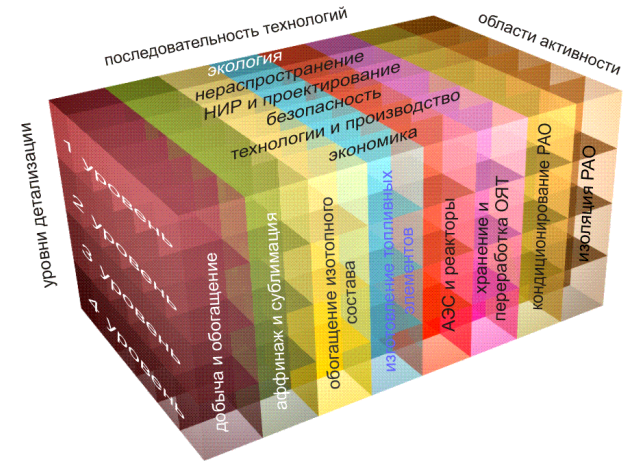
АТЭК. Принципы развития

Согласованное описание всех объектов ЯТЦ

Описание объектов с разной степенью детализации

Описание объектов группами параметров – физико-химические, технологические, эксплуатационные, экономические...

Зависимости и характеристики, полученные при моделировании с большей степенью детализации применяются как интегральные характеристики на менее детальном уровне



Уровни детализации

1	Системный
2	Инженерный
3	“Первопринципный”
4	Производственный

АТЭК. Реализация

Модульность, плагин-архитектура, архитектура «клиент-сервер»

Динамическая иерархическая организация структур данных (уровни детализации)

Разделяемые ресурсы данных

Динамический пользовательский интерфейс

Возможность подключения сторонних модулей



Структурная организация модели

Система и ее структурные компоненты топологически подобны

**Иерархическая
организация
системы**

**Параметризация
характеристик объектов**

Физико-химические

Технологические

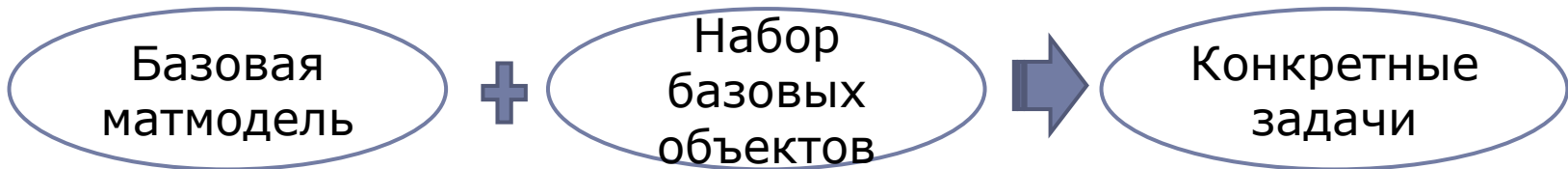
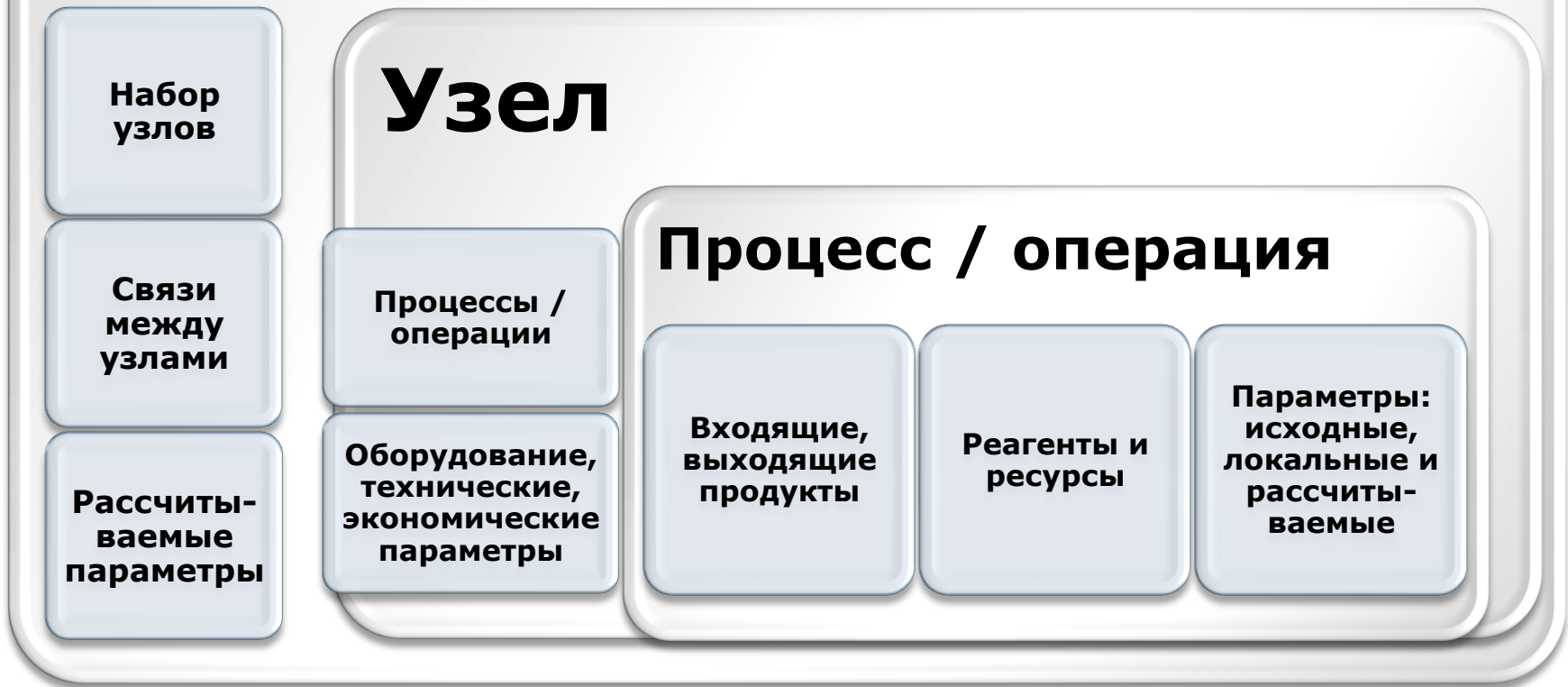
Эксплуатационные

Экономические

**Объектная
организация**

**по аппаратам,
технологиям и
предприятиям**

Технологическая схема





Учет эволюции нуклидных составов





Стратегические расчеты

База данных объектов ЯТЦ – существующие и перспективные

Динамическое подключение объектов к расчетной модели

Интерактивная параметризация объектов модели

Топливный цикл

- ТР на обогащенном уране, открытый топливный цикл с окончательной изоляцией ОЯТ,
- ТР, замкнутый топливный цикл по урану или урану и плутонию,
- БР, замкнутый топливный цикл, производство «свежего» топлива из регенерированных ДМ, в том числе и МА

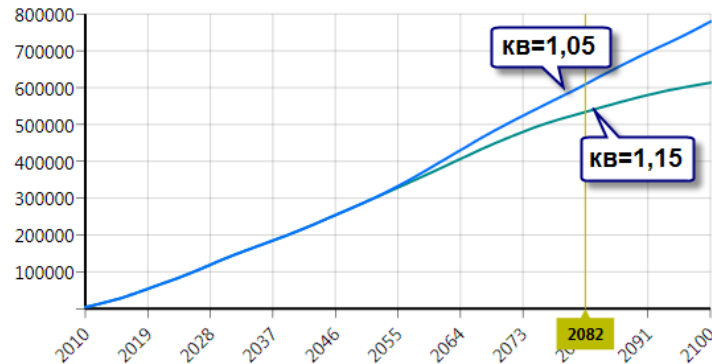
Характеристики реакторов на быстрых нейтронах

- $K_B = 1,15; 1,05; 1,3$
- Время охлаждения до переработки – 1, 3 и 7 (годы)
- Использование U235 при дефиците плутония
- Учитывается выход реакторов в стационарный режим

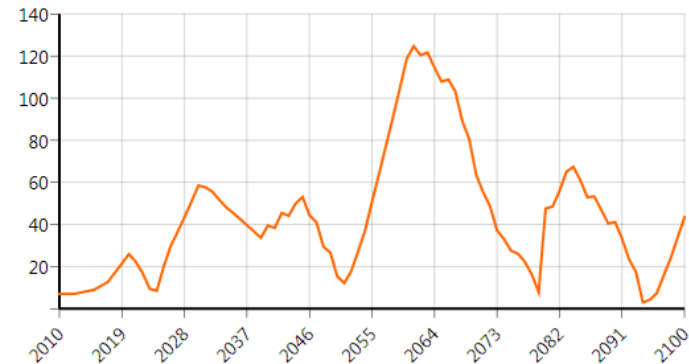


Развитие энергетики на БР с кв=1,05

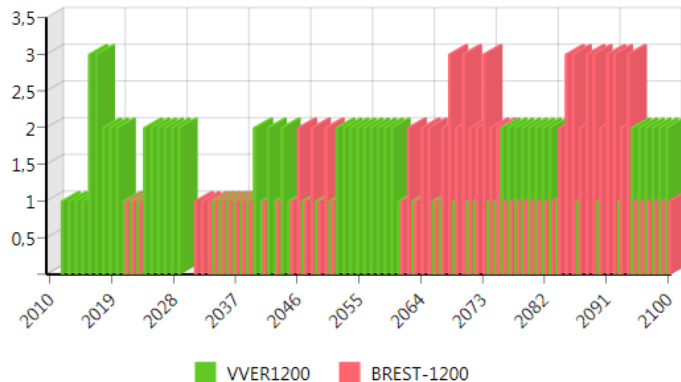
Интегральное потребление природного урана, т
расчет: StrategyProgressive1_1 (БРЕСТ опт.)



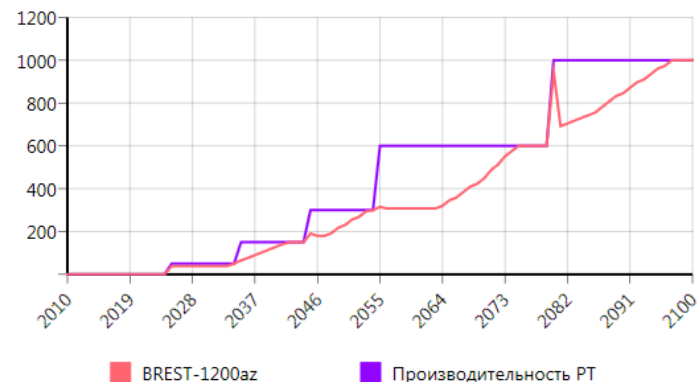
Запас сырья, т
расчет: StrategyProgressive1_1 (БРЕСТ опт.)



Вводимые, шт
расчет: StrategyProgressive1_1 (БРЕСТ опт.)

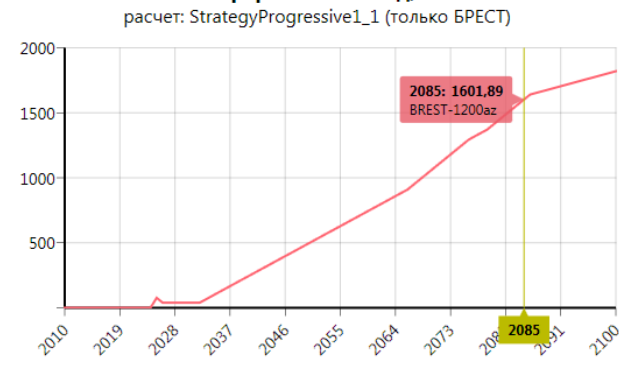
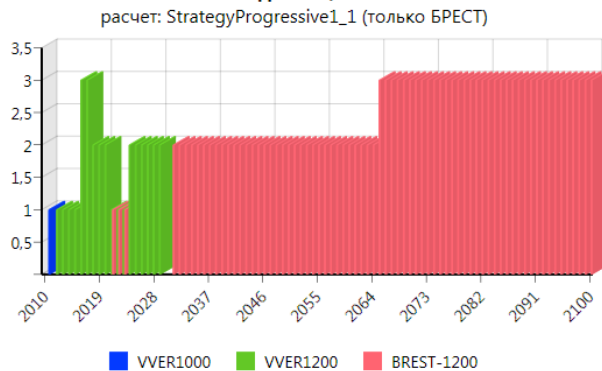
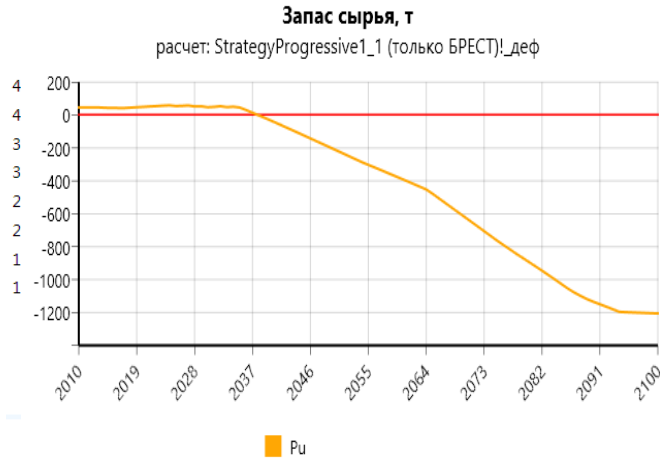


Переработано в год, т
расчет: StrategyProgressive1_1 (БРЕСТ опт.)



- В 2100 г. 75 блоков БРЕСТ, 58 блоков ВВЭР-1200
- Потребность в переработке ОЯТ БРЕСТ – 1000 т т.м. в год
- Разница в потреблении природного урана составляет ≈ 250 тыс. т (на 2100 г.)

Ввод только БР с кв=1,05 после 2030 г.



Дефицит плутония ≈ 1000 т (к 2100 г) или потребление природного урана ≈ 195 тыс. т
Необходимая мощность переработки ОЯТ БР – 1800 т т.м.



Задачи логистического уровня

- Определение потребностей в инфраструктуре при заданных сценарных условиях;
- Капитальные, эксплуатационные расходы;
- Расчет тарифов.

Моделирующий аналитический комплекс АТЭК

Моделирование | БД и документы | ТТС | Настройки

Запросы к БД | Запросы к отчетам | Учет ОТВС | Коллекция презентаций по ЯТЦ | Веб-сайт по ЯТЦ | Справочные запросы | Справочные документы

Транспорти

Используемые вагоны-контейнеры(транспортеры)
(выберите строку с вагоном - получите соответствующий вагону тук)

Наимен.	Дата ввода	Год вывода	План работа	Парк	Примеч.	Год модерн.	Продление	Затраты на эксл.	Затраты на рейс	Затраты на проектные и НИОКР
TK-6	1980-1986	2015	35	11	ПО "Мамк"	0	0	0	0	0
TK-13	1987-1991	2011	20	12	ГЛК	0	0	0	0	0
TK-10	1983-1985	2011	20	6	ГЛК	0	0	0	0	0
TK-109	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
TK-11	1983-1987	2011	20	7	ПО "Мамк"	0	0	0	0	0
TK-5	1990	0	20	16	ПО "Мамк", СВ НИОКР	0	0	0	0	0
TK-6Г-18	1994	0	25	3	ГЛК РФ-НИИЯР	0	0	0	0	0
TK-6Г-18	1988-1989	0	25	52	ПО "Мамк"	0	0	0	0	0
TK-6	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
TK-18	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0

Существующие вагон-контейнеры данного типа.

Заводской номер вагона	Наимен.	Дата ввода	Год вывода	План работа	Год модерн.	Продление	Парк	Затраты на эксл.	Затраты на рейс	Затраты на проектные и НИОКР
39525001	TK-6	1979	0	35	0	0	16	0	16	10
39525019	TK-6	1979	0	35	0	0	16	0	16	10
39525027	TK-6	1979	0	35	0	0	16	0	16	10
39525035	TK-6	1982	0	35	0	0	16	0	16	10

Данные по технологиям переработки ОТВС
Выберите технологию переработки

Технология переработки	Сокращ. название	Время переработки, мес.	Колво типов ОТВС	Мощность(год)
Газофторимания	GFT	0	7	1000
Пурекс	PLUR	0	5	1000
Пурекс_PT	RPUR	0	0	1000
Суперпурекс	SPUR	0	0	1000
Флюидный Пурекс	FPUR	0	0	1000

Характеристики ОТВС до переработки

TBC	Глубина выгорания	Выдержка(лет)
VVER1000az	50	3
VVER1000az	60	3
VVER1000az	70	3
BN800az	67	1
BN1200az	106	1

Хим. состав текущей ОТВС

Ag	0.000230675010243431
Am	0.000827465322799981
As	1.79841833869432E-06
Ba	0.00349462009035051
Br	5.23425878782291E-05
Cd	0.00084012997103855
Ce	0.00474115274846554
Cm	0.00027716026175767
Cs	0.0054329251870513
Dy	9.27541350392858E-06

Изот. состав текущей ОТВС № 101

Ag107	2.82527543598879E-10
Ag108	2.94781750309192E-19
Ag108M1	9.33475542645774E-11
Ag109	0.00023067504094833944
Ag109M1	7.39564067942768E-20
Ag110	8.52802015136215E-18
Ag110M1	5.36348473330081E-10
Ag111	1.29009565089127E-18
Ag111M1	1.46937015646807E-22
Ag112	1.67814553005117E-20

Варьируемые параметры

Реакторные блоки – сроки эксплуатации, ввод новых, ежегодная наработка ОЯТ

Даты ввода и сроки эксплуатации хранилищ, производительность узла приемки, производительности и год ввода в эксплуатацию узлов разделки ОТВС на станциях

Максимальное количество рейсов эшелона в год, сроки эксплуатации МБК ТУК-109, эшелонов

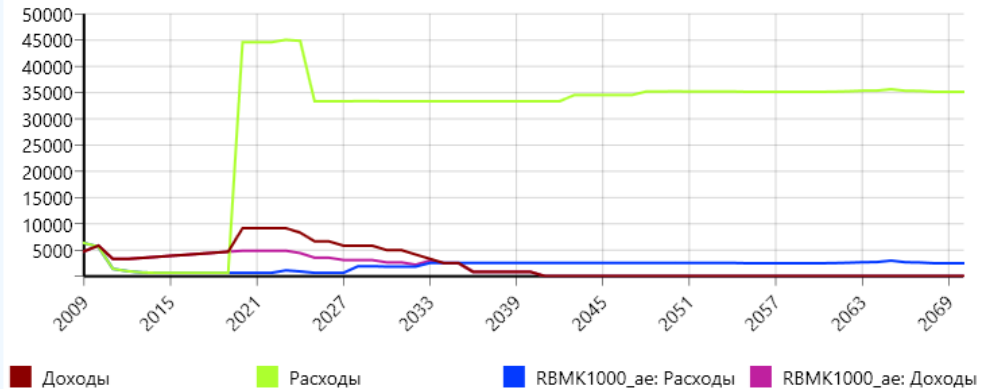
Дата ввода в эксплуатацию и производительность переработки

Пример расчета

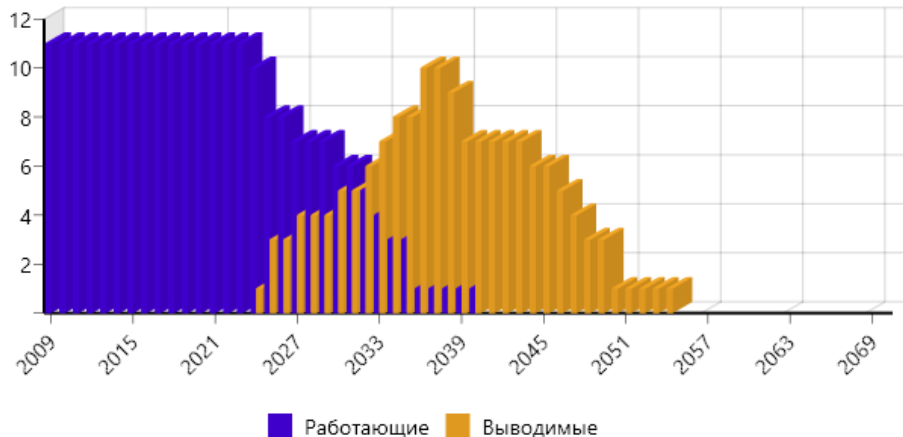
Количество ОТВС, шт
расчет: RBMK1000_ae_Rc



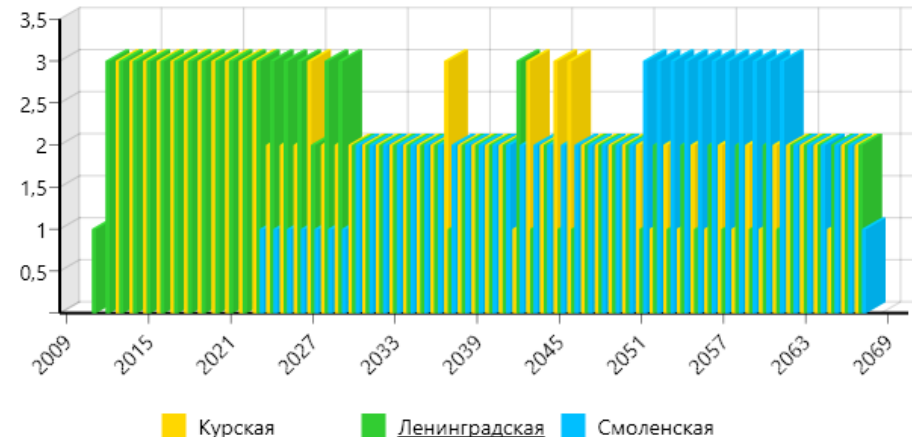
Доходы и расходы, млн. руб
расчет: RBMK1000_ae_Rc



RBMK1000, шт
расчет: RBMK1000_ae_Rc



Количество рейсов эшелонов в год, шт
расчет: RBMK1000_ae_Rc





Работы 2011-2012 года

Заказчик

ФЦЯРБ (ПО «Маяк» - Росатом (ДОЯТВЭ))

Проект № 3/1

«Проведение сравнительного анализа экономики ЯТЦ для транспортно-технологической схемы (ТТС) с переработкой и ТТС с окончательной изоляцией ОЯТ РБМК при различных сценарных вариантах с учетом принятых технических решений»

Проект № 3/2

«Экономический модуль ПК «ЛогОЯТ». Расчет экономики переработки некондиционного ОЯТ РБМК-1000 при различных сценариях развития ТТС»

Название проекта: **ТТС** (на платформе АТЭК)

Проект № 4

«Разработка математической модели деятельности ОДЦ с последующим поэтапным созданием завода РТ-2 для расчета различных сценариев переработки и построения ЯТЦ»

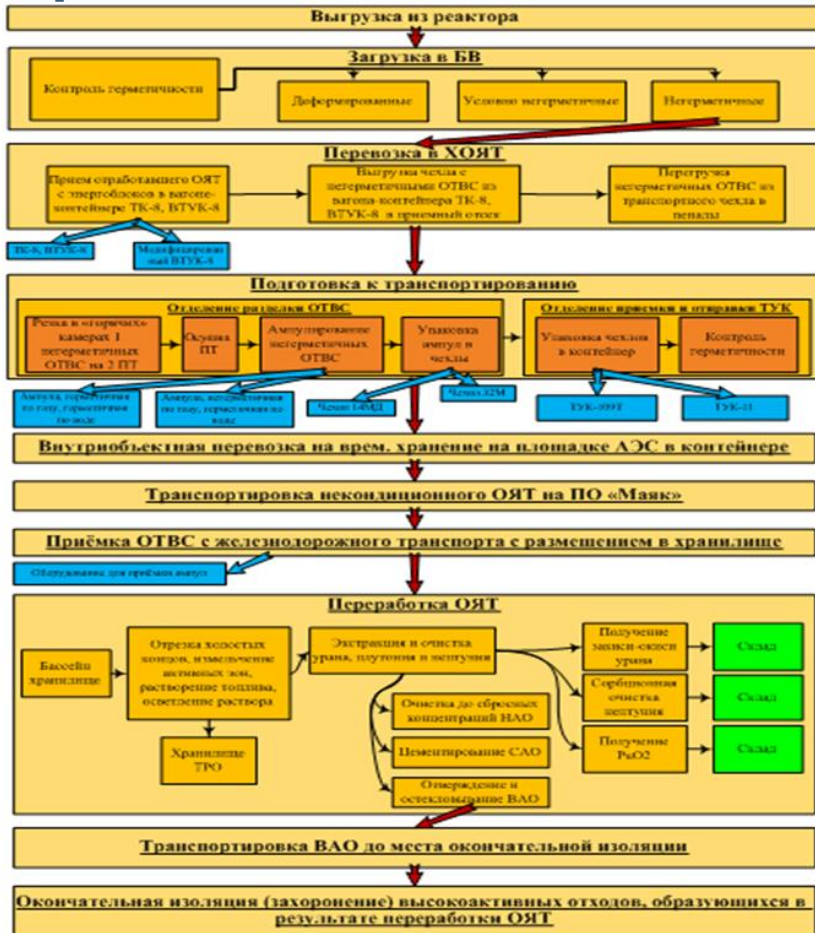
Проект № 5

«Создание программных модулей и графического интерфейса пользователя для динамической модели технологии переработки различных типов ОЯТ на ОДЦ ФГУП «ГХК»

Название проекта: **ОДЦ**

Транспортно технологические схемы

Назначением моделирования транспортно-технологических схем (ТТС) является расчет экономики технологических процессов

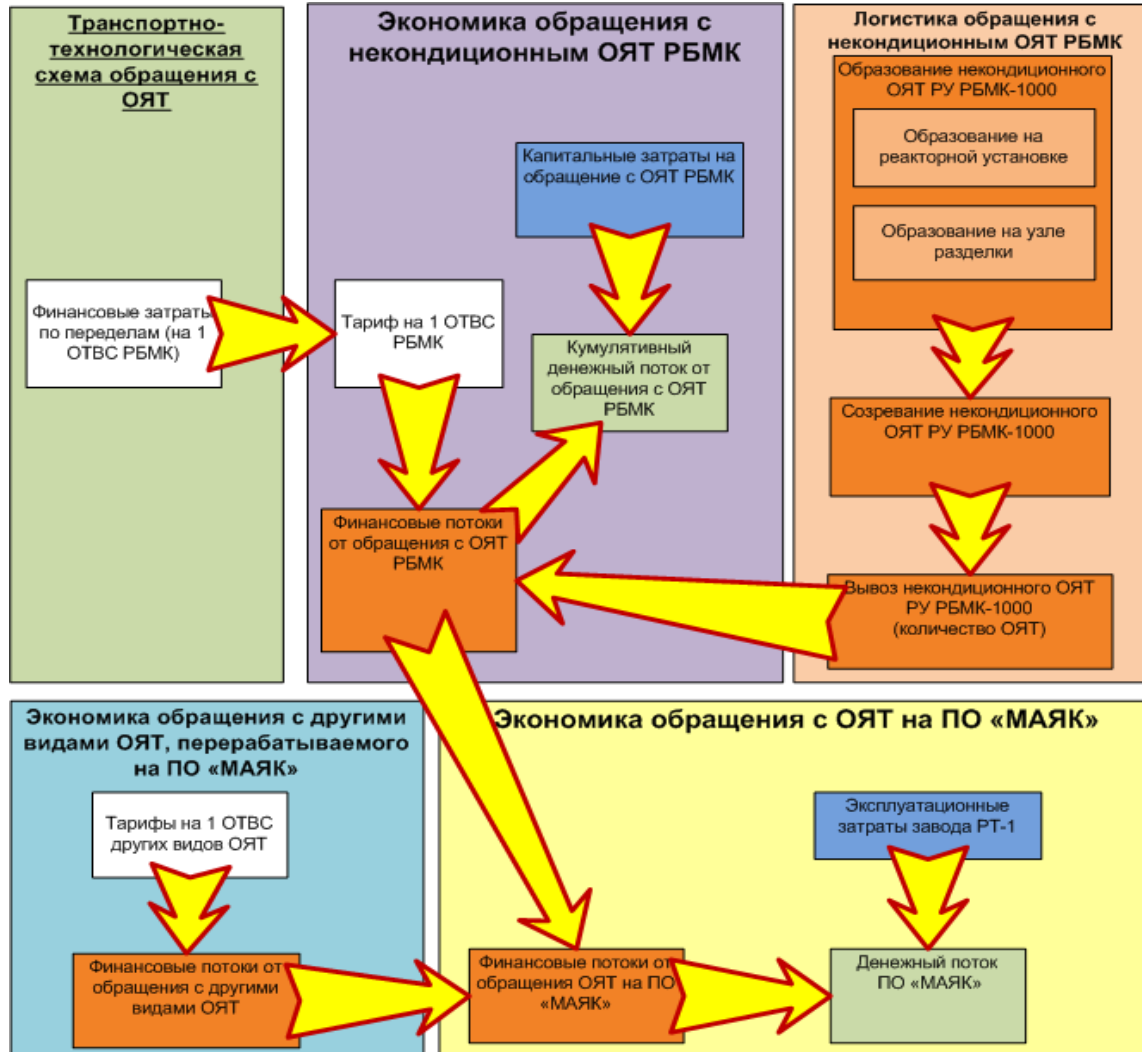


Задачи, которые были решены с помощью компонента АТЭК «ТТС»:

- сопоставительный анализ капитальных и эксплуатационных затрат технологических цепочек хранение-захоронение ОЯТ и переработка ОЯТ – захоронение РАО;
- анализ экономической эффективности переработки ОЯТ РБМК, включая анализ экономики топливного цикла на регенерате ОЯТ РБМК.



Экономика услуг по обращению с некондиционным ОЯТ РУ РБМК-1000



Экономическая модель обращения с ОЯТ на ПО «Маяк» была разработана в ФЦЯРБ (она приведена на схеме) и реализована в рамках АТЭК-ТТС с помощью специально созданных для этого динамических средств.

Расчет экономики услуг по обращению с ОЯТ на РТ-1 включает в себя следующие этапы:

- Логистика обращения с некондиционным ОЯТ РБМК;
- Экономика обращения с ОЯТ на РТ-1:
 - Экономика обращения с некондиционным ОЯТ РБМК;
 - Производство урановых продуктов переработки;
 - ТТС для некондиционного ОЯТ РБМК;
- Экономика обращения с другими видами ОЯТ:
 - ТТС обращения с ОЯТ БН-600;
 - ТТС обращения с ОЯТ ВВЭР-440;
 - ТТС обращения с ОЯТ АМБ.



Пользовательский интерфейс

Стартовая Схема Группы параметров

Узлы ТТС Фильтр I C O A E

- Расчет ТТС с переработкой некондиционного ОЯТ РБМК-1000 11
 - Логистика обращения с некондиционным ОЯТ РБМК 14 14
 - Экономика обращения с ОЯТ на РТ-1 12 10
 - Экономика обращения с некондиционным ОЯТ РБМК 10 8
 - Производство урановых продуктов переработки 5
 - ТТС для некондиционного ОЯТ РБМК 4 7
 - Транспортирование некондиционного ОЯТ РБМК до места хранения 3
 - Переработка ОЯТ РБМК 1
 - Кондиционирование и технологическое хранение ВАО, образующихся в результате переработки ОЯТ
 - Экономика обращения с другими видами ОЯТ 16 10
 - Производство топлива 13

Редактирование параметра от времени OpCosts

Узел «Экономика обращения с ОЯТ на РТ-1»

Идентификатор: Входной Характеристика Выходной

Русское обозначение: Дата-время создания:

Кол-во заглавных букв: Приоритет:

Размерность: Достоверность данных:

Краткое текстовое описание: Источник данных:

Полное текстовое описание: Примечания:

Группа:

Динамическое формирование расчетного алгоритма пользователем

```
// Поступления текущие
```

$$E_{\text{тек.др}} [i] = (M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 ФС}} [i] + M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 СК}} [i] + M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 ИМП}} [i]) * Z_{\text{ОЯТ тек ВВЭР-440}} * K_{\text{мм}};$$

$$E_{\text{тек.др}} [i] += (M_{\text{ОЯТ БН-600 ФС}} [i] + M_{\text{ОЯТ БН-600 СК}} [i]) * Z_{\text{ОЯТ тек БН-600}} * K_{\text{мм}};$$

$$E_{\text{тек.др}} [i] += M_{\text{ОЯТ АМБ}} [i] * Z_{\text{ОЯТ тек АМБ}} * K_{\text{мм}} + E_{\text{ОЯТ ИР}} [i];$$

```
// Поступления на предстоящие расходы
```

$$E_{\text{буд.др}} [i] = (M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 СК}} [i] + M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 ИМП}} [i]) * P_{\text{ОЯТ буд ВВЭР-440}} * K_{\text{мм}};$$

$$E_{\text{буд.др}} [i] += M_{\text{ОЯТ БН-600 СК}} [i] * P_{\text{ОЯТ буд БН-600}} * K_{\text{мм}};$$

```
// Прибыль
```

$$E_{\text{пр.др}} [i] = (M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 ФС}} [i] + M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 СК}} [i] + M_{\text{ОЯТ ВВЭР-440 ИМП}} [i]) * P_{\text{ВВЭР-440}} * K_{\text{мм}};$$

$$E_{\text{пр.др}} [i] += (M_{\text{ОЯТ БН-600 ФС}} [i] + M_{\text{ОЯТ БН-600 СК}} [i]) * P_{\text{БН-600}} * K_{\text{мм}};$$

$$E_{\text{пр.др}} [i] += M_{\text{ОЯТ АМБ}} [i] * P_{\text{АМБ}} * K_{\text{мм}} + E_{\text{ОЯТ ИР}} [i];$$

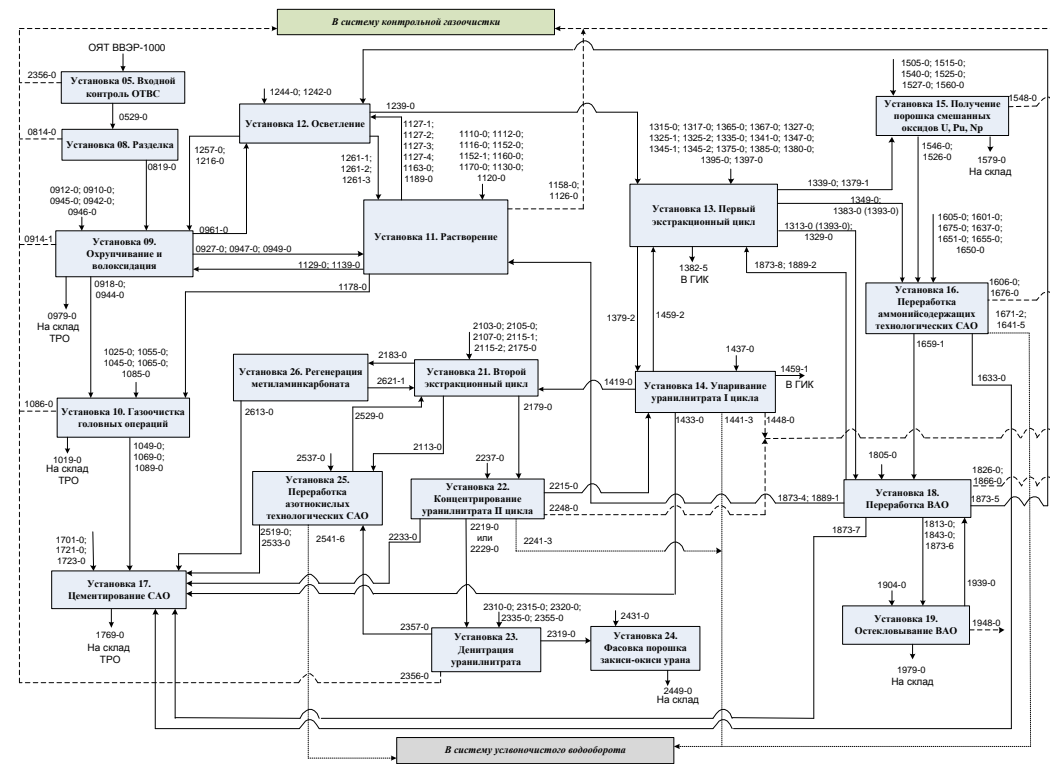
```
// финансовый поток
```

$$E_{\text{др}} [i] = E_{\text{тек.др}} [i] + E_{\text{буд.др}} [i] + E_{\text{пр.др}} [i];$$

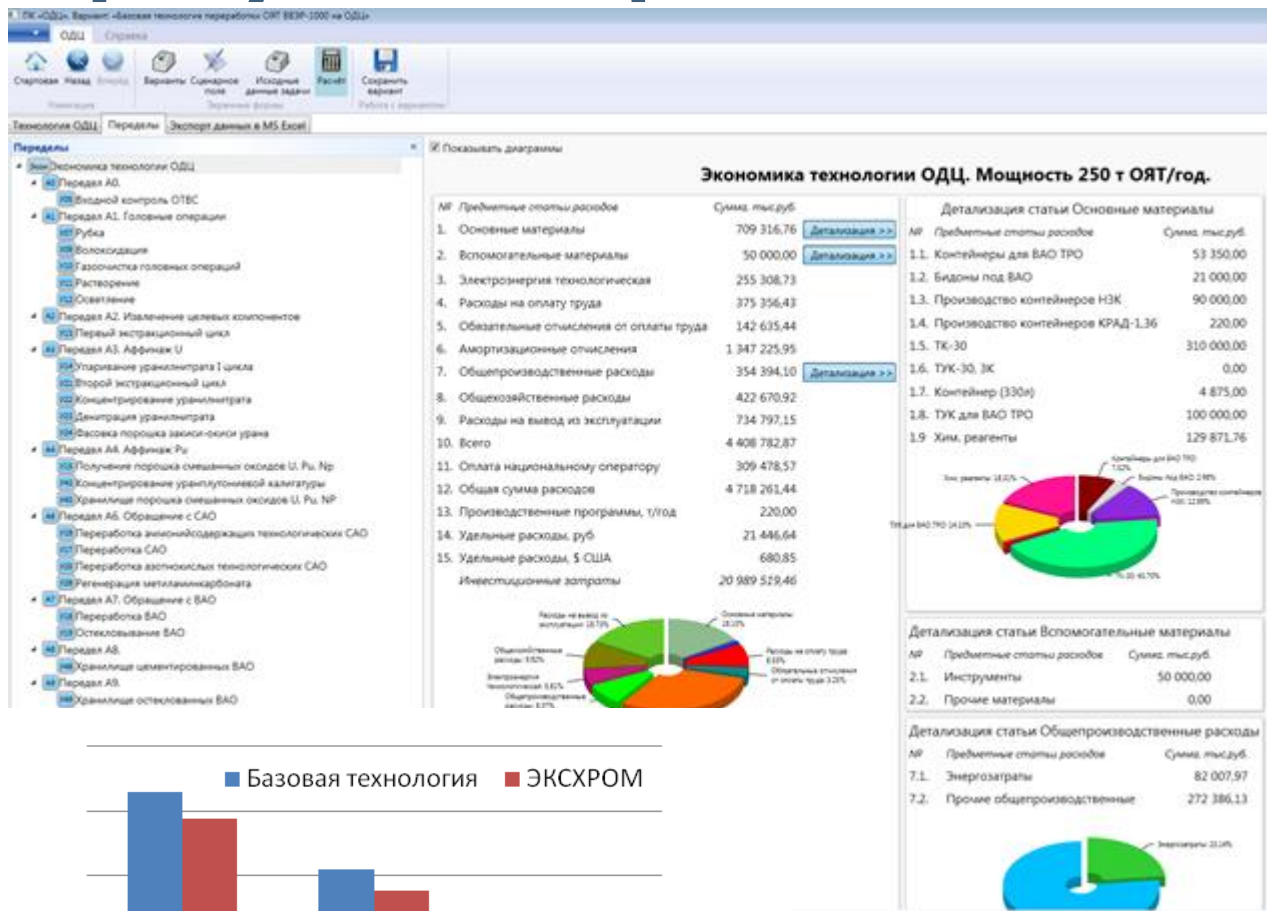
Проект «ОДЦ»

Моделирование переработки различных типов ОЯТ на ОДЦ ФГУП «ГХК»

- Два варианта реализации: базовая (РИ) и эксхром-процесс (ВНИИНМ)
- Сравнительный анализ инвестиционных и эксплуатационных затрат
- База данных объектов – технологические и экономические характеристики (мат. поток, оборудование, энергетика, персонал)



Пользовательский интерфейс и результаты расчетов



➤ Показаны преимущества применения альтернативной схемы и определены направления её доработки для обеспечения возможности использования на ОДЦ

➤ Определены основные направления оптимизации технологии для обеих технологических схем



Моделирование ТП

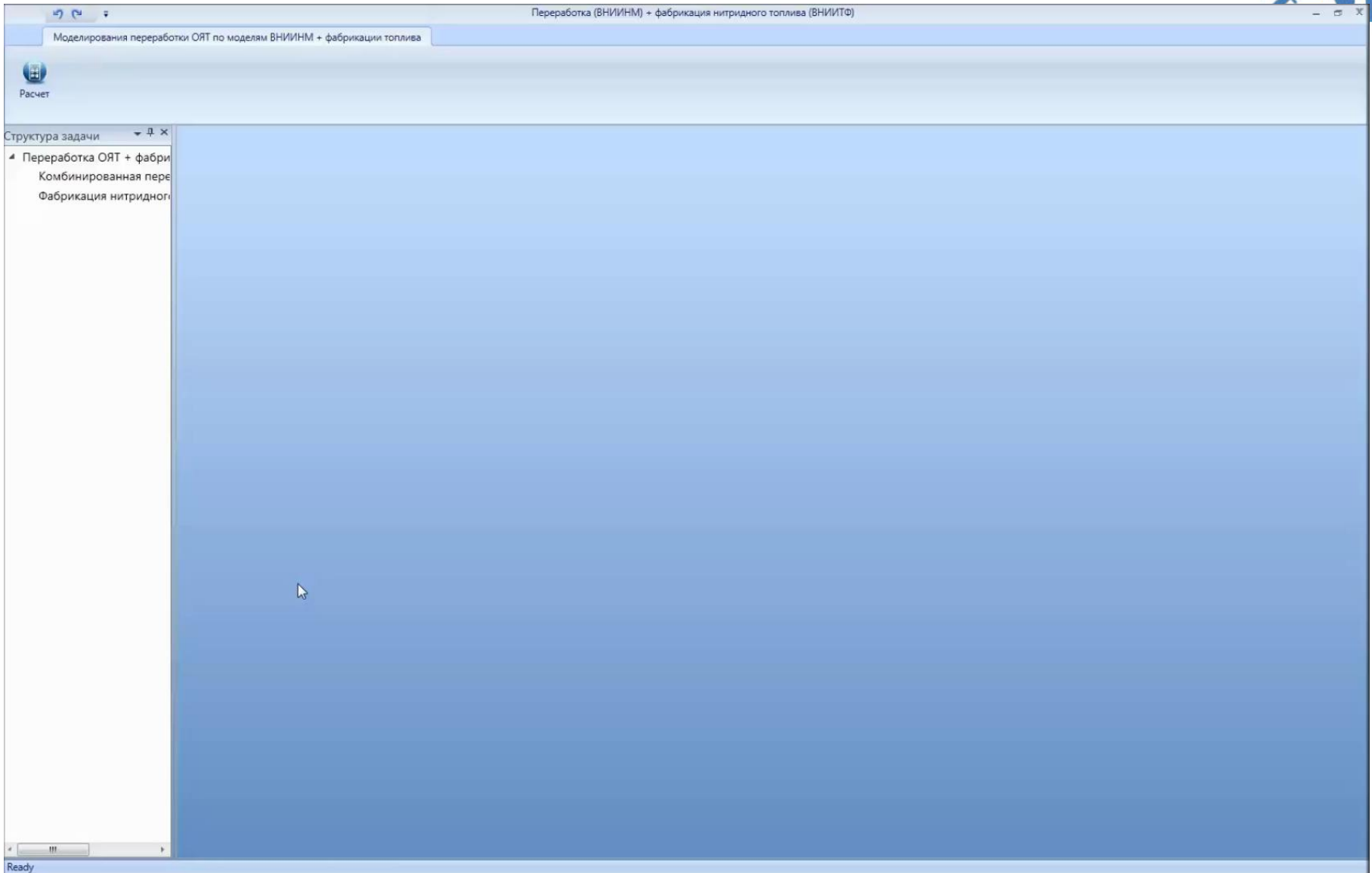
Расчет материальных балансов на основе моделей ТП

Модели могут быть разного уровня – от инженерных до физико-химических

Разработаны тех. требования к моделям ТП

Наполняется библиотека моделей

Динамическое построение расчетной схемы



Расчет балансов материального потока



Входные потоки

Имя	Агрегатное состояние	Масса, т	Внутренний продукт	Масса, т	Хим. соединение	Масса, т
Исходное топливо	Solid	0.99746516566527	Нитридное топливо	0.99746516566527	H	1.08949980083594E-08
					C	0.000451792577961325
					N	0.050180961468961
					Se	0.000143933918642546
					Br	5.29756783892704E-05

Выходные потоки

Имя	Агрегатное состояние	Масса, т	Внутренний продукт	Масса, т	Хим. соединение	Масса, т
Катодный осадок	Solid	0.852327338847789	Катодный осадок	0.852327338847789	La	0.000235092067116158
					Ce	0.000423305656563321
					Pr	0.000225996243090831
					Nd	0.000776643436008735
					Pm	3.19053519657644E-05

Технологический узел

ВХОДЯЩИЕ СВЯЗИ: Топливо, Оболочки твзлов, Открытые твзлов, Нитридное топливо, Газы, Жидкий цинк.

ИСХОДЯЩИЕ СВЯЗИ: Газы, Сплав цинк-оболочки, Оболочки, Газы.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УЗЕЛ: Пирокхимическая переработка ОИТ.

СВЯЗИ ПО ТИПАМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ: Тонкий осадок, Кисл. плутония, Меркапты, Юбрия, др., Тонкий шлам, Выходящие газы, Соли ВАО.



Применения комплекса АТЭК

Стратегический уровень

- Оптимизация ввода перспективных и действующих реакторов и объектов ЗЯТЦ
- Оценка ресурсного обеспечения – сырьевого, производственного, финансового

Системный уровень

- Согласование взаимодействия технологий,
- Текущее планирование – текущие ресурсы, продукция, отходов (хранилища, склады, хранилища и захоронения РАО)

Технологический и производственный уровни

- Выбор оптимальных аппаратурных и технологических решений
- Сопровождение разработки и внедрения технологий
- Оценка безопасности, экологических характеристик

Направления развития





Спасибо за внимание!

i.r.makeyeva@vniitf.ru