

Выбор технологических параметров операции обращения с РАО на МФР с использованием оптимизационного модуля ПК ВИЗАРТ

Л.Р. Файрушина, А.А. Рыкунова, И.Р. Макеева, В.Ю. Пугачёв
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», г. Снежинск
e-mail: fayrushinalr@vniitf.ru

Программный комплекс (ПК) ВИЗАРТ [1] предназначен для моделирования и оптимизации, как отдельных технологических процессов замыкающей части топливного цикла, так и технологий ядерного топливного цикла в целом.

Цель работы

Нахождение оптимальных технологических параметров операции обращения с радиоактивными отходами (РАО) на модуле фабрикации/рефабрикации (МФР) с помощью ПК ВИЗАРТ.

Задача

Провести оптимизационный расчёт тестовой задачи по обращению с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) МФР.

Характеристики ЖРО МФР

Согласно проектной и технической документации в результате работы МФР будут образовываться следующие виды ЖРО:

- растворы от дезактивации оборудования МФР,
- растворы от дезактивации твэлов,
- жидкие отходы лаборатории,
- трапные воды.

При этом ЖРО могут иметь различный состав и различную концентрацию плутония. В таблице 1 приведены данные о потоках ЖРО, получаемых при работе МФР до введения и после введения в эксплуатацию модуля переработки (МП) отработавшего ядерного топлива.

Таблица 1 – Характеристики ЖРО, поступающих на доизвлечение ТУЭ из ЖРО МФР

Поток 1/т ОЯТ		Плотность	Количество, кг/т ОЯТ		Активность общая	Тепловыделение	Предельная концентрация по Pu в растворе	Объем раствора
м³	кг	кг/л	U	Pu	Бк/кг	Вт/т ОЯТ	мг/л	м³
До введения МП								
9,70E-004	13,87	14,29	10,99	2,10	2,48E+14	16,59	0,25	7523,49
							40	47,02
После введения МП								
2,99E-04	4,28	14,29	3,39	0,65	7,65E+13	5,11	0,25	2583,18
							40	16,14

Обращение с ЖРО МФР

Технология обращения включает в себя упаривание накопленных растворов и при необходимости установку доизвлечения трансурановых элементов (ТУЭ) для упаренных растворов с превышенной удельной активностью, а также цементирование потоков ЖРО.

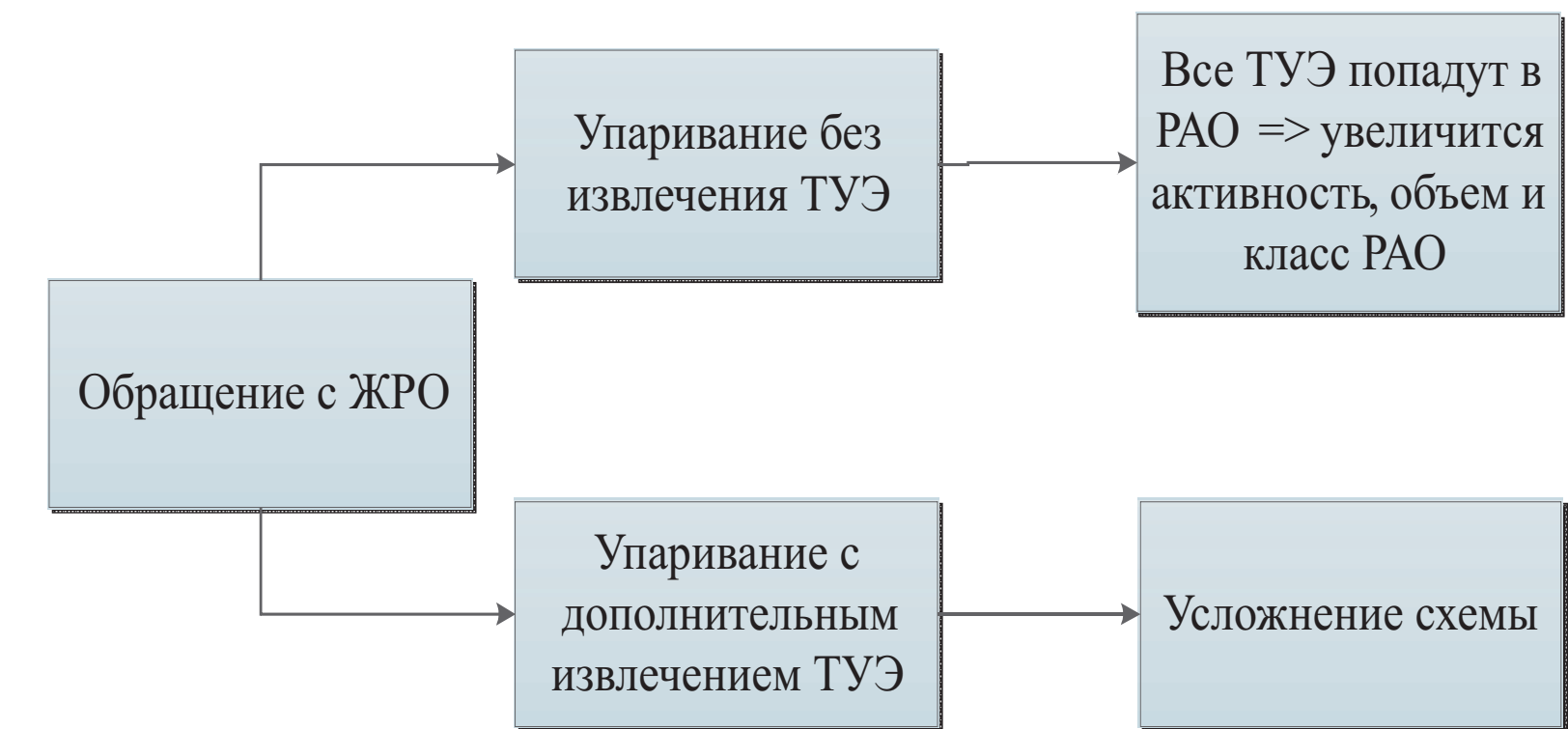


Рисунок 1 – Методы обращения с ЖРО МФР

Для минимизации затрат на захоронение образующихся РАО было предложено реализовать технологию доизвлечения ТУЭ из ЖРО МФР. На рисунке 2 представлено схематичное изображение технологии, а на рисунке 3 – технологическая схема доизвлечения ТУЭ из ЖРО МФР в ПК ВИЗАРТ.

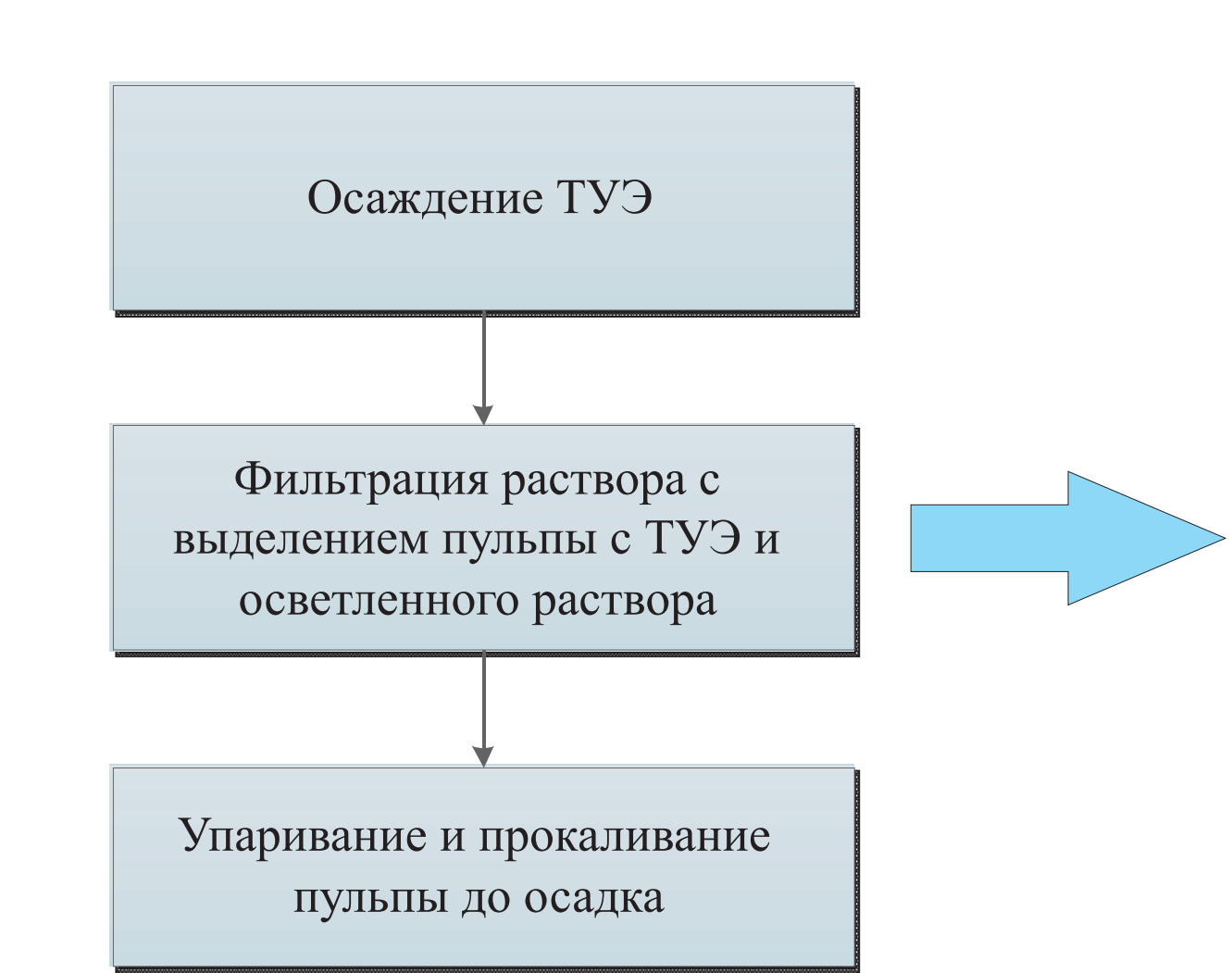


Рисунок 2 – Технология выделения ТУЭ

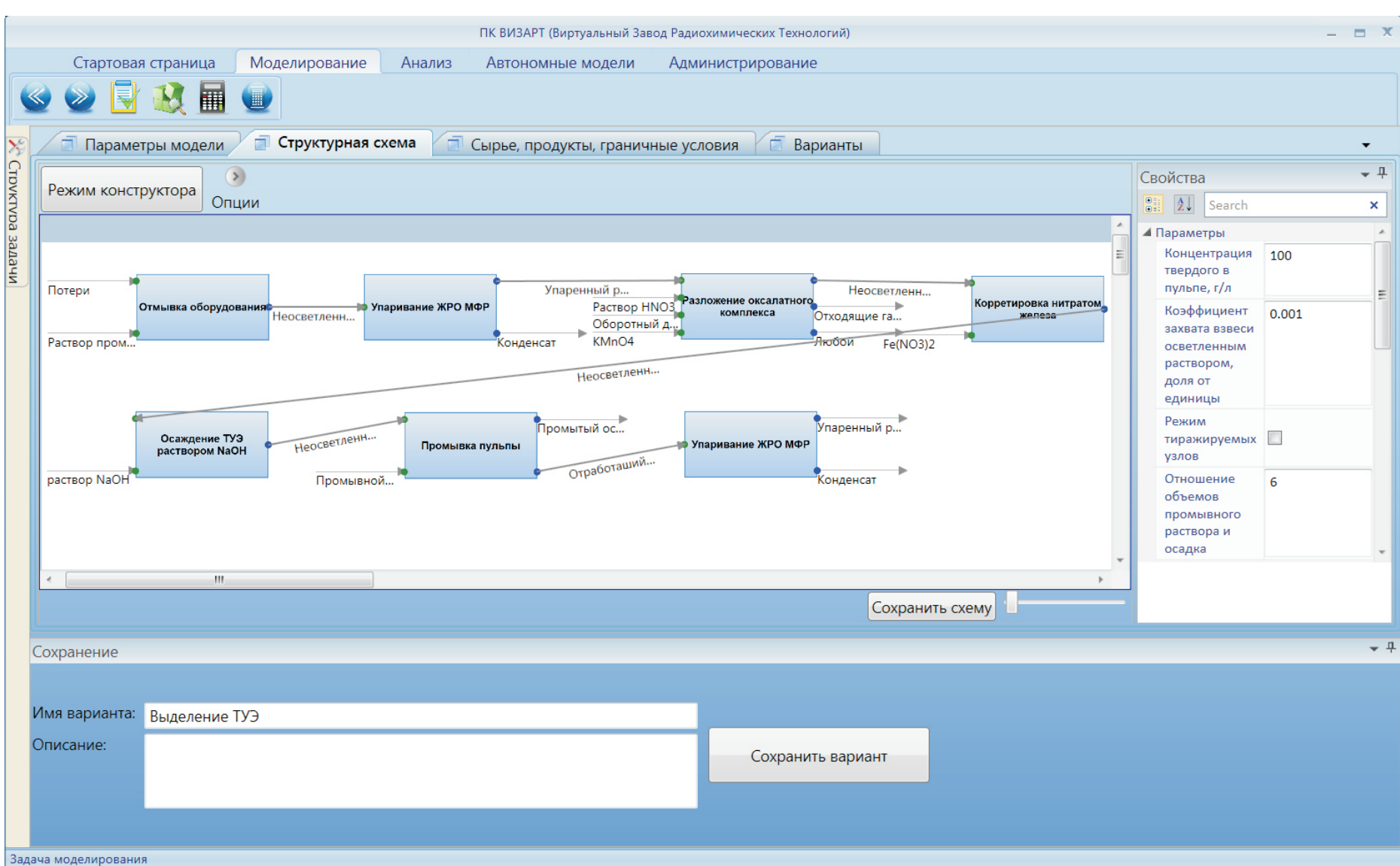


Рисунок 3 – Технологическая схема доизвлечения ТУЭ из ЖРО МФР

Оптимизационный модуль ПК ВИЗАРТ

В составе ПК ВИЗАРТ реализована специализированная подсистема [2], позволяющая оптимизировать технологические параметры математическими методами. На рисунке 4 представлен алгоритм оптимизации технологической схемы в ПК ВИЗАРТ, а на рисунке 5 – применение этого алгоритма для решения задачи оптимизации стоимости захоронения РАО.

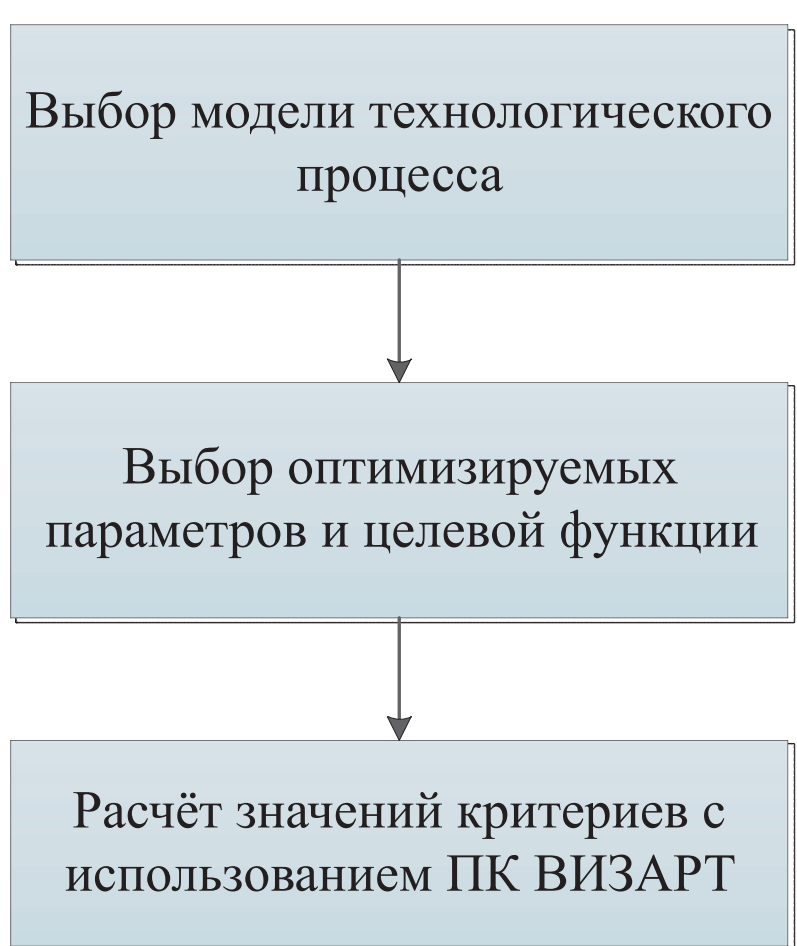


Рисунок 4 – Алгоритм оптимизации ТС

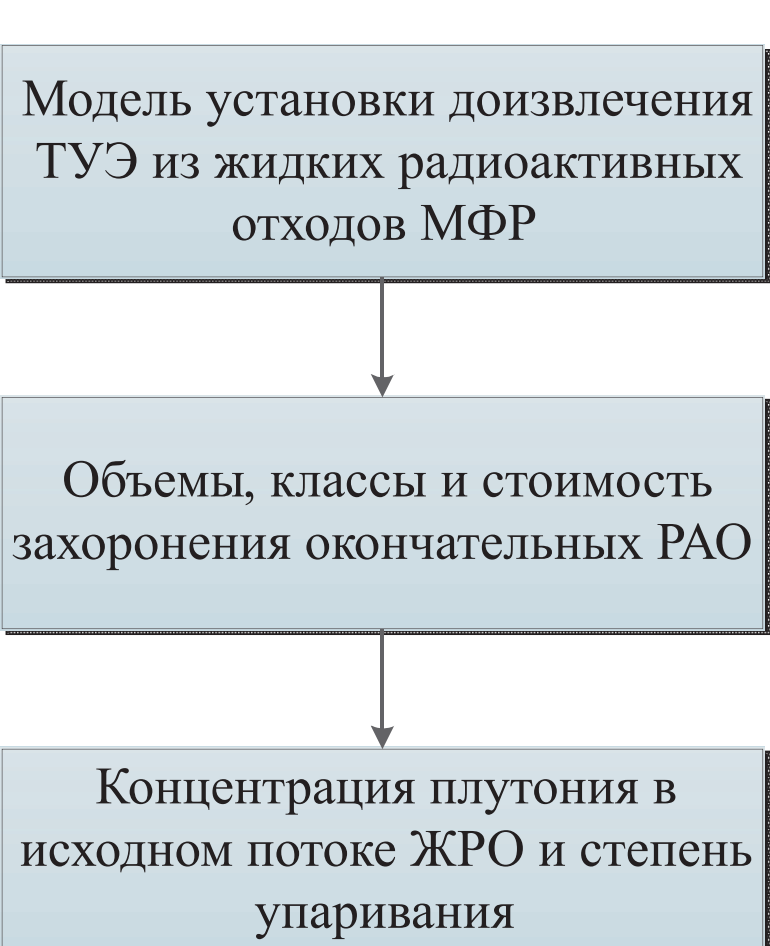


Рисунок 5 – Оптимизация стоимости захоронения РАО

Целевая функция для решения задачи нахождения минимальной стоимости захоронения РАО имеет вид

$$Z(v, k) = \sum_{i=1}^N x(k_i) \cdot v_i(k_i) \rightarrow \min$$

где k_i – класс образовавшегося РАО,
 $x(k_i)$ – тариф на захоронение РАО за 1 м³ (см. таблица 2),
 $v_i(k_i)$ – конечный объем РАО.

Таблица 2 – Тарифы на захоронение РАО

Класс РАО	Тариф на захоронение РАО, руб/м ³ (без НДС)				
	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
Класс 1	1 368 421,94	1 423 535,61	1 473 359,35	1 521 980,21	1 569 161,60
Класс 2	635 964,56	661 578,26	684 733,50	707 329,7	729 256,92
Класс 3	146 569,87	152 473,02	157 809,58	163 017,30	168 070,83
Класс 4	42 512,99	45 836,12	48 949,73	52 084,83	55 218,55
Класс 6	191,93	199,66	206,65	213,47	220,09

Результаты оптимизационного расчёта

Был проведен расчёт тестовой задачи по обращению с РАО для потока ЖРО, получаемого при работе МФР до запуска в работу МП. На рисунке 6 представлено задание параметров в ПК ВИЗАРТ для проведения оптимизационного расчёта модели установки доизвлечения ТУЭ из ЖРО МФР.

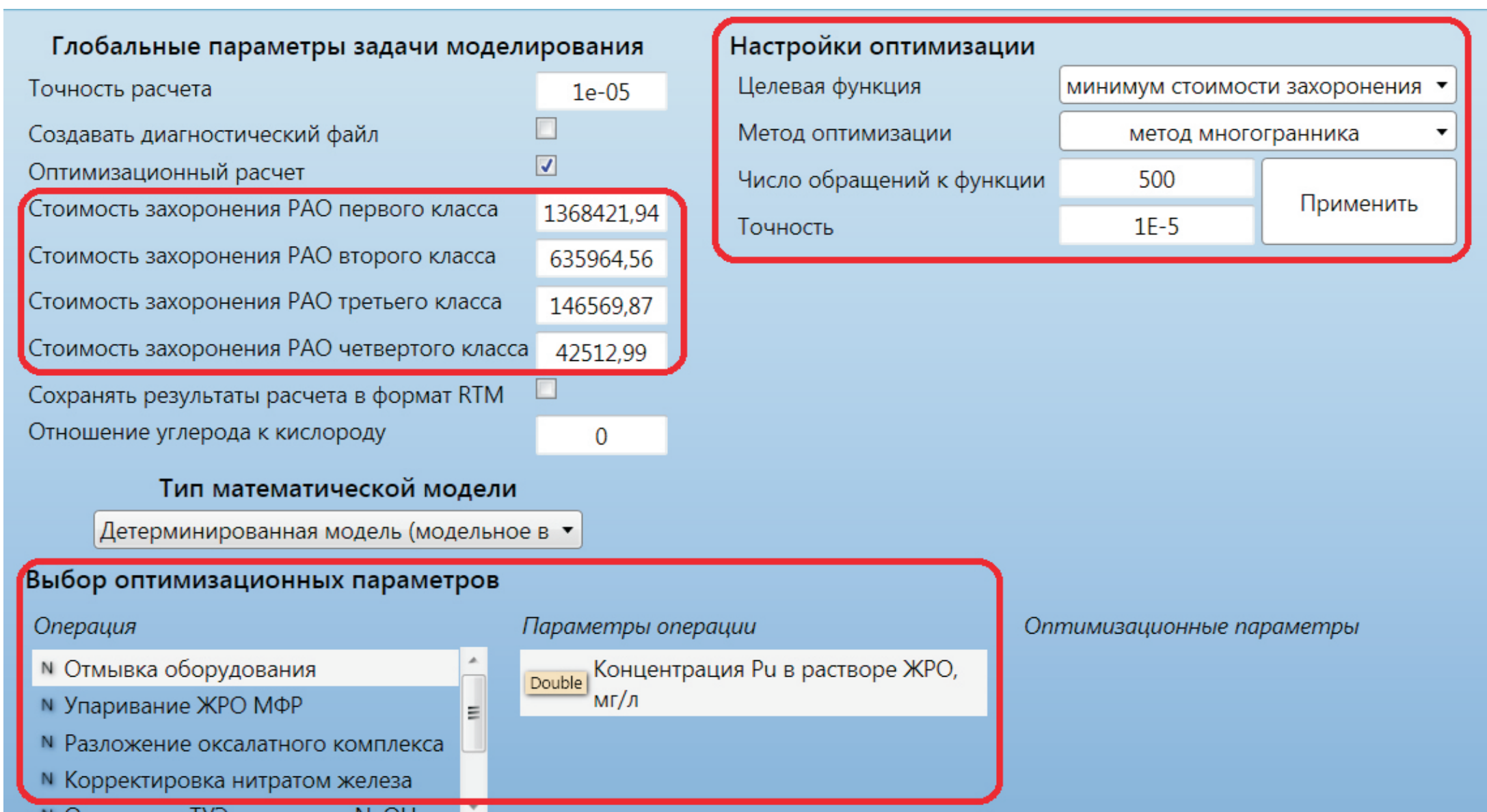


Рисунок 6 – Задание параметров в ПК ВИЗАРТ для проведения оптимизационного расчёта

Для нахождения минимальной стоимости захоронения РАО были найдены оптимальные значения для концентрации плутония в исходном потоке ЖРО и степени упаривания с помощью встроенного в ПК ВИЗАРТ оптимизационного модуля. Концентрация плутония в исходном потоке ЖРО варьировалась от 0,25 мг/л до 40 мг/л, а степень упаривания – от 24 до 36. Результаты оптимизационного расчёта приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты оптимизационного расчёта

Оптимальные значения варьируемых параметров оптимизации, единицы измерения	Значение
Концентрация Pu в растворе ЖРО, мг/л	0,25
Степень упаривания ЖРО	24
Минимальная стоимость захоронения РАО при доизвлечении ТУЭ, млн. руб.	141
Минимальная стоимость захоронения РАО без доизвлечения ТУЭ, млн. руб.	74 382

Выводы

Проведён оптимизационный расчёт тестовой задачи по обращению с ЖРО МФР при помощи оптимизационной подсистемы ПК ВИЗАРТ. Были найдены оптимальные значения технологических параметров операции обращения с РАО – концентрация плутония в исходном потоке ЖРО и степень упаривания, при которых стоимость захоронения РАО была минимальной.

Результаты расчёта показали, что при доизвлечении ТУЭ из ЖРО МФР стоимость захоронения окончательных РАО в 528 раз выгоднее, чем без доизвлечения ТУЭ. Предложенный подход может быть использован и при оптимизации потоков РАО опытно-демонстрационного энергетического комплекса в целом.

[1] Шмидт О.В., Макеева И.Р., Ливенцов С.Н. Моделирование технологических пределов ЗЯТЦ, как инструмент при создании и оптимизации технологических производств. // Радиохимия, 2016, т. 58, N 4, с. 316–323.

[2] Makeyeva I.R., Rykunova A.A., Dubosarsky V.G., Pugachev V.Yu., Shmidt O.V., Evsyukova Yu.A. Calculation and Optimization of Technology Parameters for Closing Stage of Nuclear Fuel Cycle using VIZART code. – Proceedings of GLOBAL 2017 September 24-29, 2017 – Seoul (Korea). – EA-318.