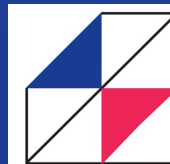


Применения ММН для поиска алмазов в кимберлите

Ю.Н.Рогов

Дубна, 2018



Проблема:

“Со времён пещерных людей горное дело изменилось несильно. Измельчаешь породу и достаёшь, то что нужно.”

C.Elphick, CEO “Gem Diamonds”

- Все современные технологии обнаружения алмаза подразумевают, что алмаз должен быть выделен из кимберлитовой руды - раскрыт.
- Для этого проводится дезинтеграция руды в дробилках или валковых прессах с последовательным измельчением в мельницах мокрого самоизмельчения до размера 0,2 мм.
- **Проблема - при дроблении кусков кимберлита могут быть разрушены наиболее ценные крупные алмазы, массой от 5 карат и выше.**
- Необходим способ обнаружения алмаза в породе как можно большей крупности без её разрушения.



Пример

Алмаз 69 карат. Изначально его масса была ≈ 100 карат (ясно видна линия скола). Потеря ценности ≈ 1.3 млн.\$

Проблема:

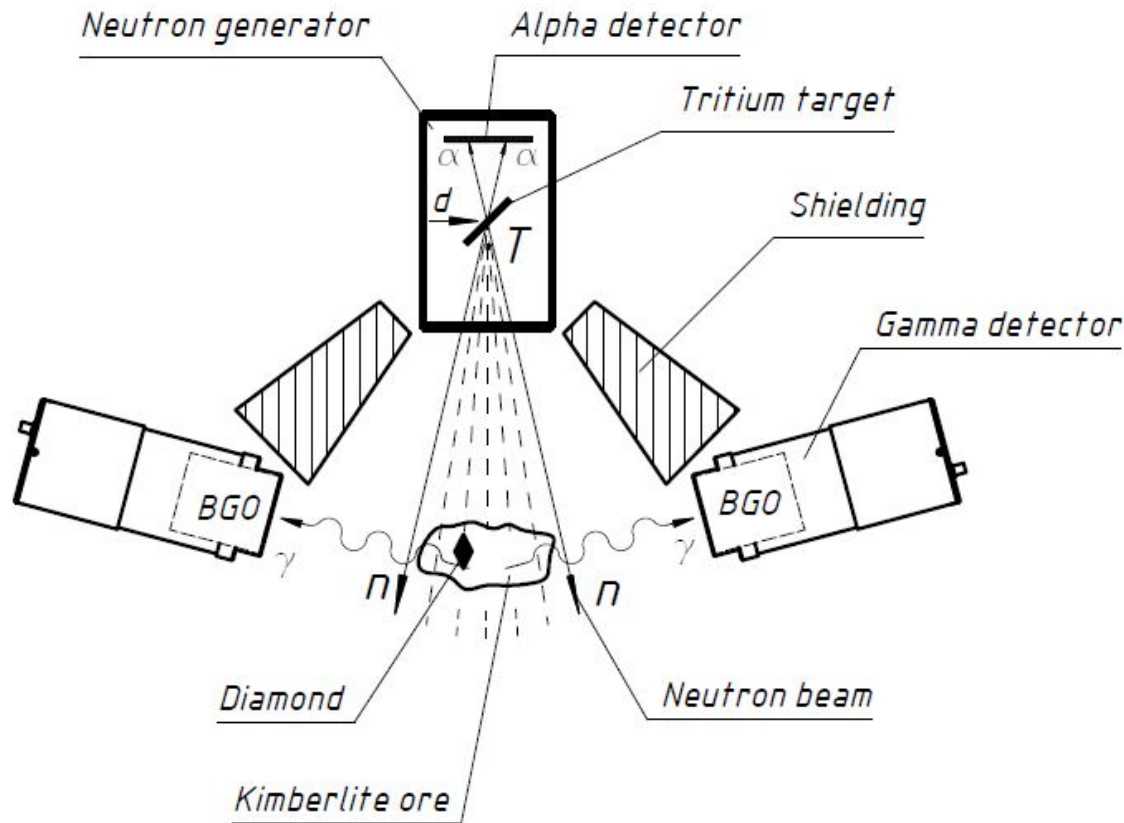
- Проблема повреждаемости наиболее актуальна для месторождений с алмазами большого размера.
- Месторождения России более богаты (карат/тонну), но алмазы более мелкие.
- Месторождения ЮАР относительно бедные, но в них алмазы крупнее.
- При переработке руд из коренных месторождений АК "АЛРОСА" повреждаемость ценных кристаллов составляет от 35 до 65%, что приводит к средней потере их массы до 12%.
- **Все крупные алмазы – повреждены.**



Пример

Алмаз 69 карат. Изначально его масса была ≈ 100 карат (ясно видна линия скола). Потеря ценности ≈ 1.3 млн.\$

Метод меченых нейтронов

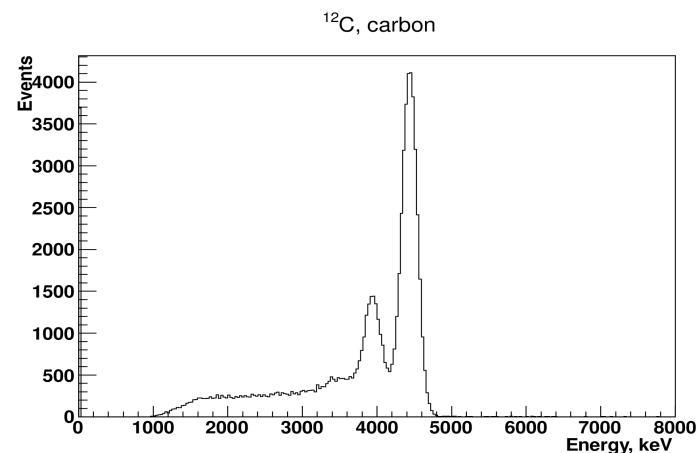
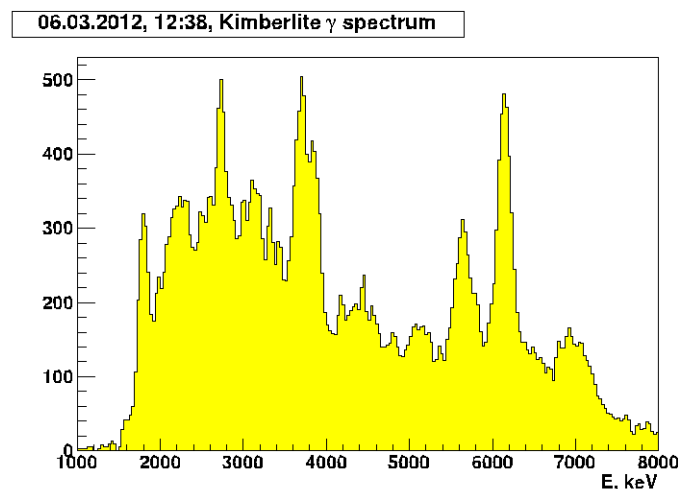


- Порода облучается быстрыми нейтронами 14 МэВ от реакции
$$d + t \rightarrow \alpha + n$$
- Под действием быстрых нейтронов вещество начинает излучать в гамма-спектре.
- Каждый элемент имеет свой характерный спектр.
- По гамма-линии 4.44 МэВ анализируется распределение углерода в породе.

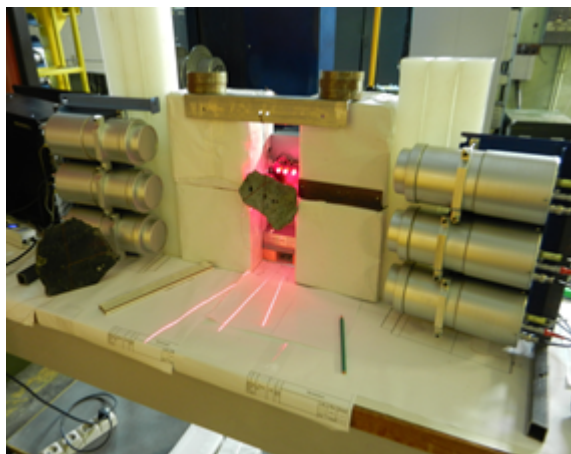
- Признак алмаза - обнаружение повышенного **локального** содержания углерода.
- Определяется место расположения алмаза в образце кимберлита.
- Нет ложных срабатываний на углеродосодержащую породу.

Что ожидаем увидеть

- Алмаз это чистый углерод.
- Присутствие алмаза ведёт к повышению локальной концентрации углерода.
- Ищем повышенный сигнал около 4,44 МэВ.
- Определяется местоположение алмаза в породе.
- Нет ложных срабатываний на углерод в самой породе.



Обнаружение алмазов в кимберлите



По заказу АК «АЛРОСА» (ПАО) выполнена научно-исследовательская работа, в ходе которой:

- ✓ Разработана методика обнаружения алмаза в кимберлите методом ММН.
- ✓ Создан лабораторный макет, на котором проведены исследования 50 кг образцов кимберлита.
- ✓ **Обнаружены реальные алмазы в образце кимберлита.**

В одном из 33 образцов было зафиксировано локальное превышение сигнала от углерода. Дополнительное обследование этого образца в г. Мирный позволило обнаружить в нем два неоднородных включения алмазов, размером до 7 мм, состоящих из мелких частиц от 1 до 2 мм

V.Alexakhin et al., Detection of Diamonds in Kimberlite by the Tagged Neutron Method, Nuclear Instruments and Methods A785 (2015) 9.

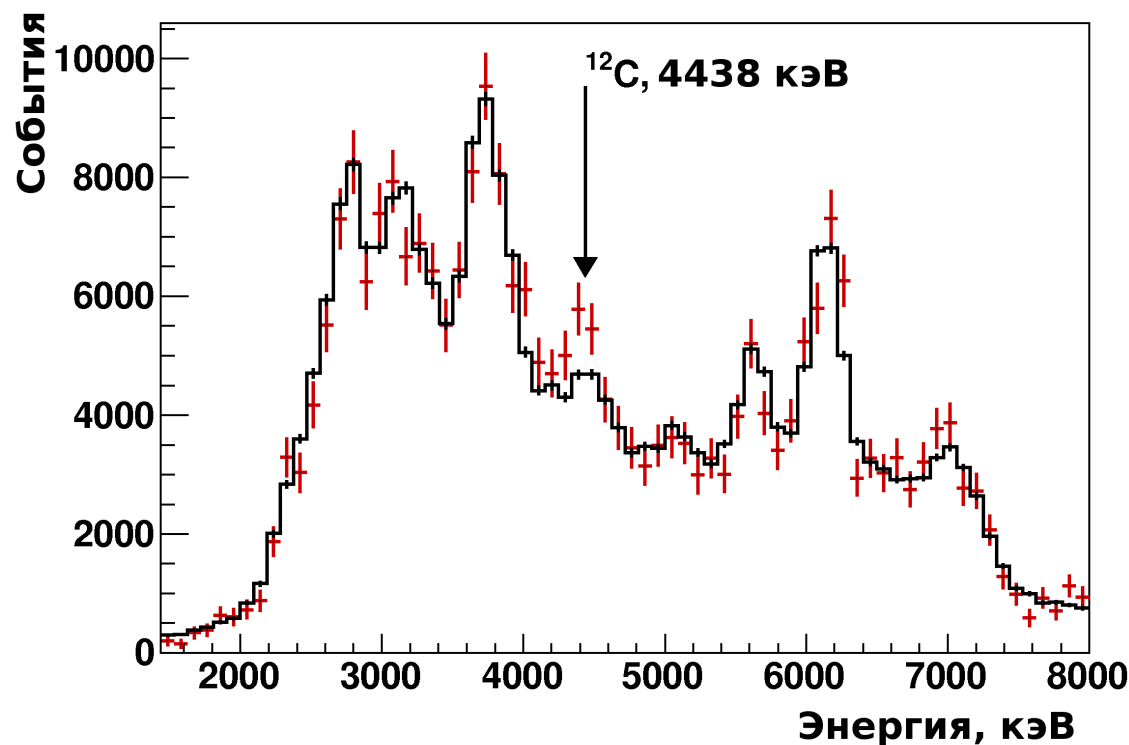
Обнаружение алмазов в кимберлите



- В образце при облучении с любого ракурса обнаруживалось заметное превышение локальной концентрации углерода.
- Внутри образца обнаружены две кластера с мелкими алмазами

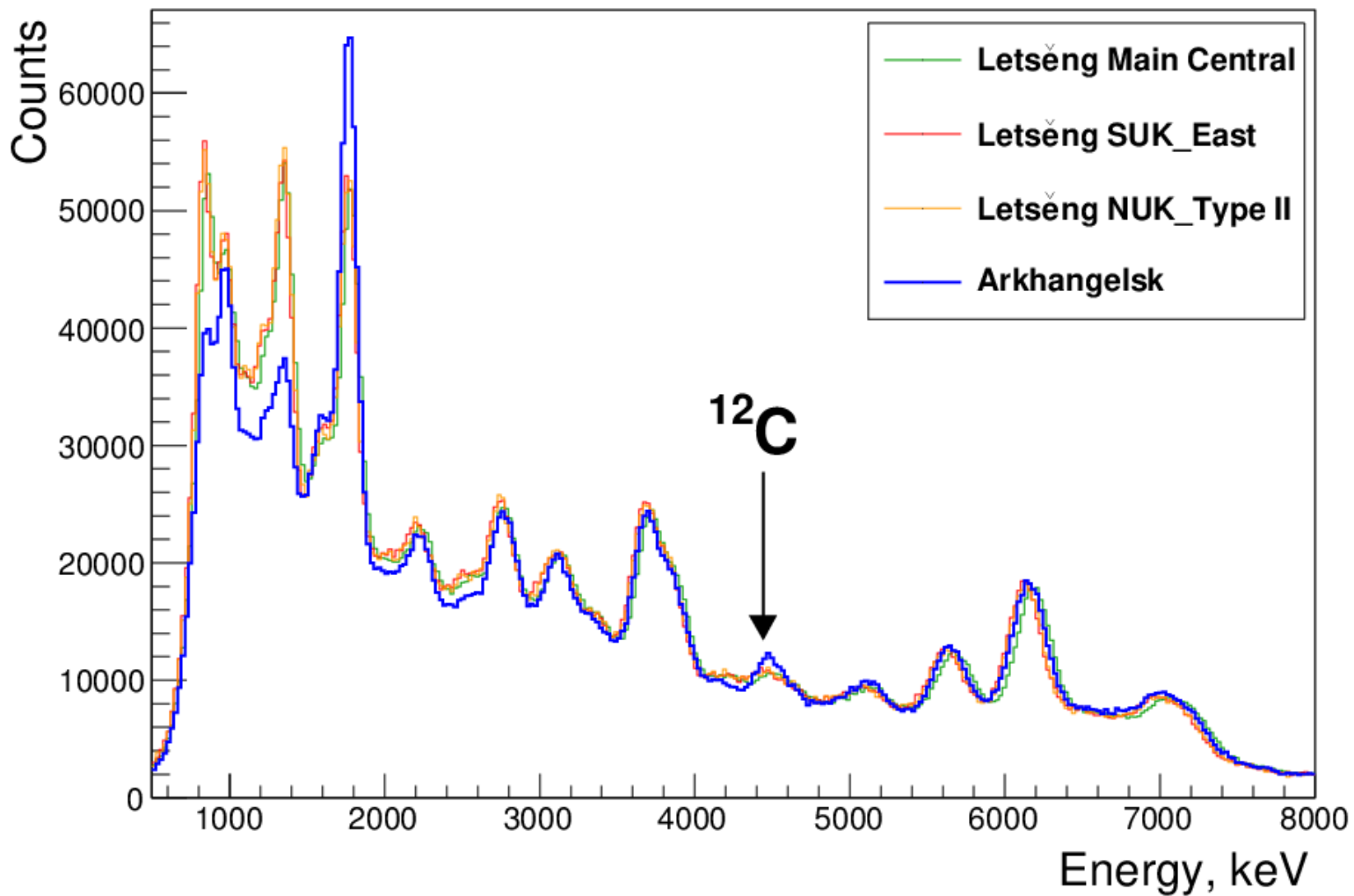
V.Alexakhin et al., Detection of Diamonds in Kimberlite by the Tagged Neutron Method, Nuclear Instruments and Methods A785 (2015) 9.

Работа с породой большой крупности



- Камень -160×90×90 мм
- Отношение размера имитатора к размеру камня 1:10

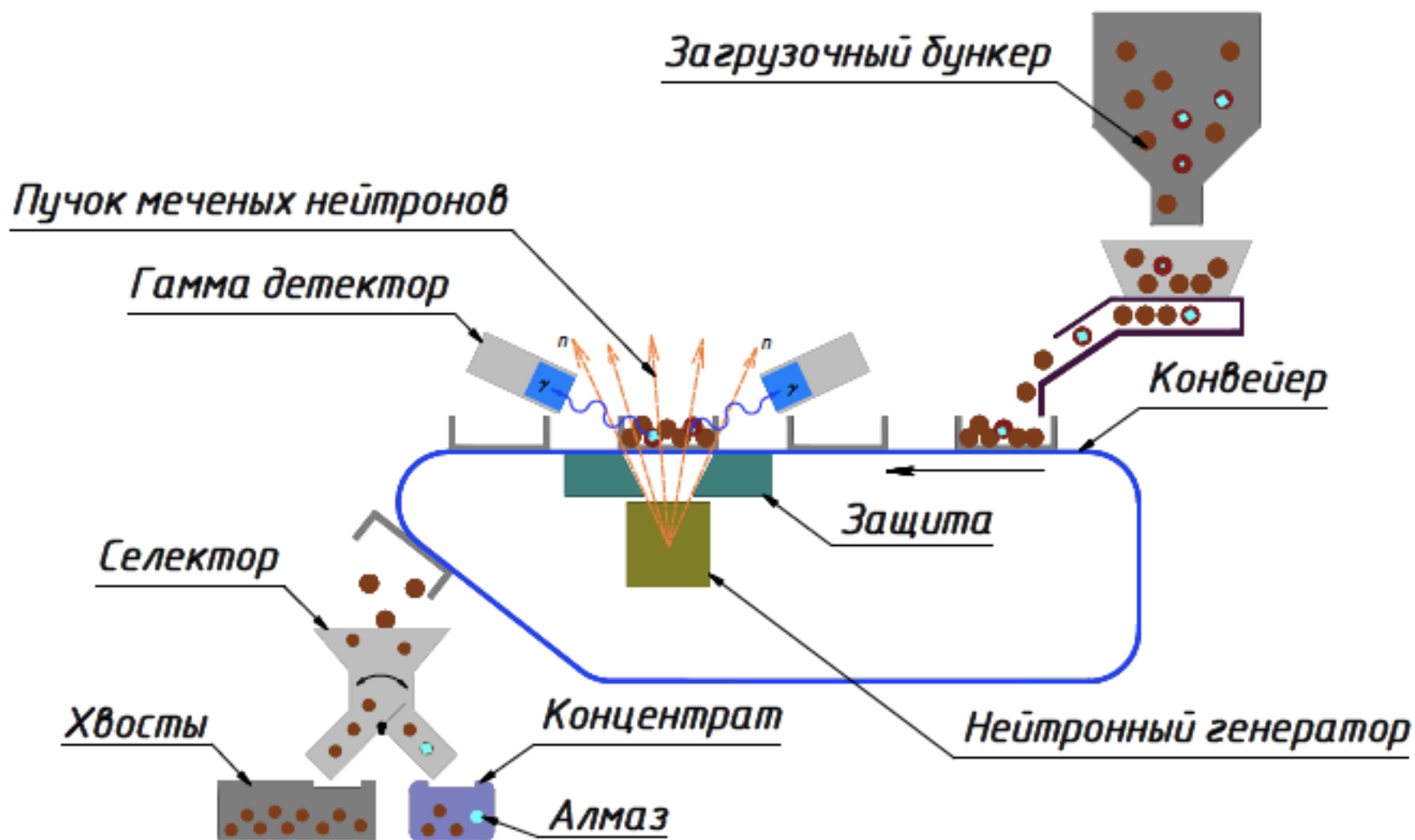
Облучение пустой породы



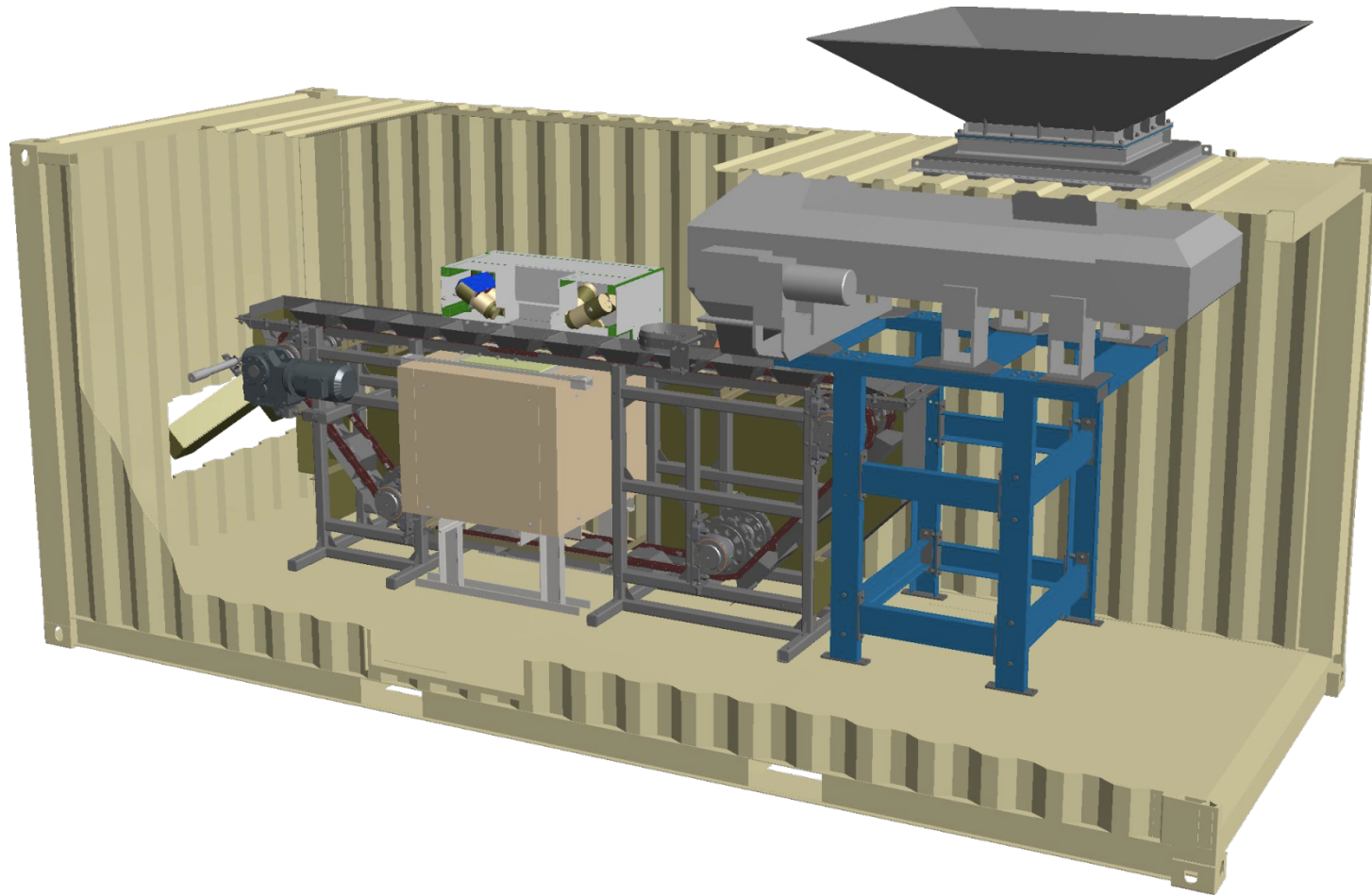
Есть способ!

- Выбранный метод подходит для поиска нераскрытых алмазов в породе:
- Экспериментально подтверждена возможность обнаружения реальных алмазов в реальной кимберлитовой породе с рудного склада
- Экспериментально показана возможность обнаружения алмазов в руде большой крупности (отношение размера алмаза к размеру камня 1:10)
- Дело за малым!

Схема установки по обнаружению алмазов



Прототип нейтронного сепаратора



- Производительность 1 тонна/час
- Создавался при поддержке Сколково

Установка на ОФ Ломоносовского ГОК



Контейнер – 6 м

- Дозатор
- Лотковый конвейер
- Нейтронный модуль
- Система сепарации руды

Загрузочный бункер – 2 т



Дозатор 4488 ДН-У



Подает руду до -90 мм в лотки конвейера

Лотковый конвейер

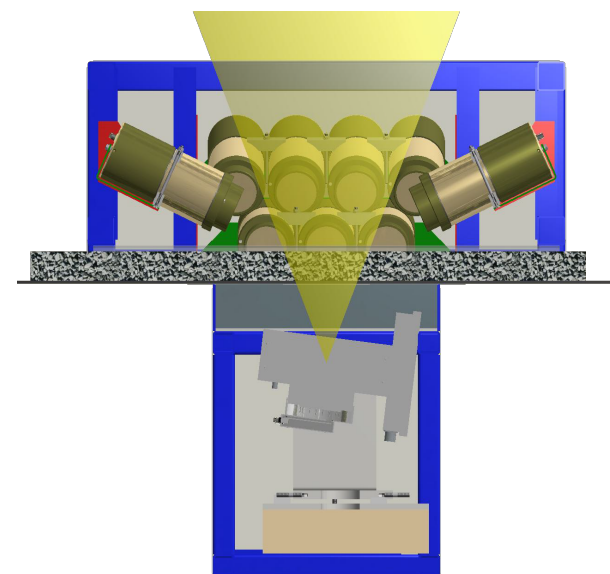


Размер лотка 143 (260) мм, высота 100 мм

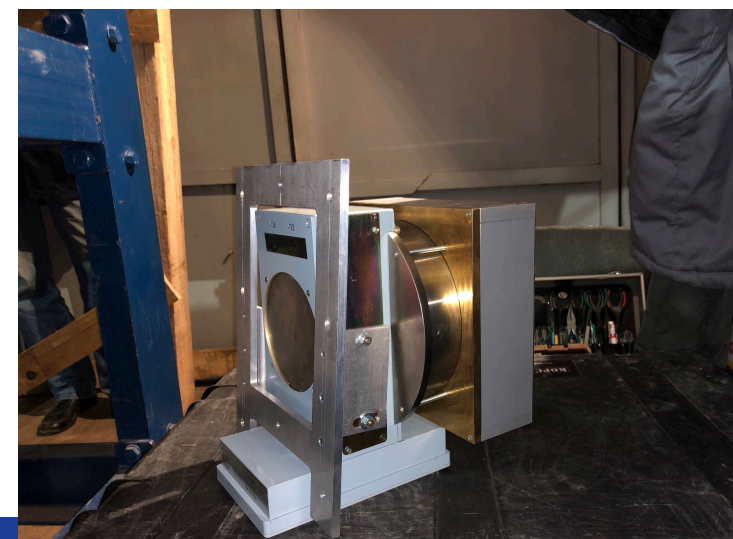
Нейтронный модуль

- Уникальный нейтронный генератор облучает зону досмотра 256 пучками меченых нейтронов. Разработан специально для данного проекта ВНИИА им. Н.Л.Духова (Москва).
- Излучение регистрирует система из 22 гамма-детекторов
- Новый материал альфа-детектора - GaAs (обычно – Si).

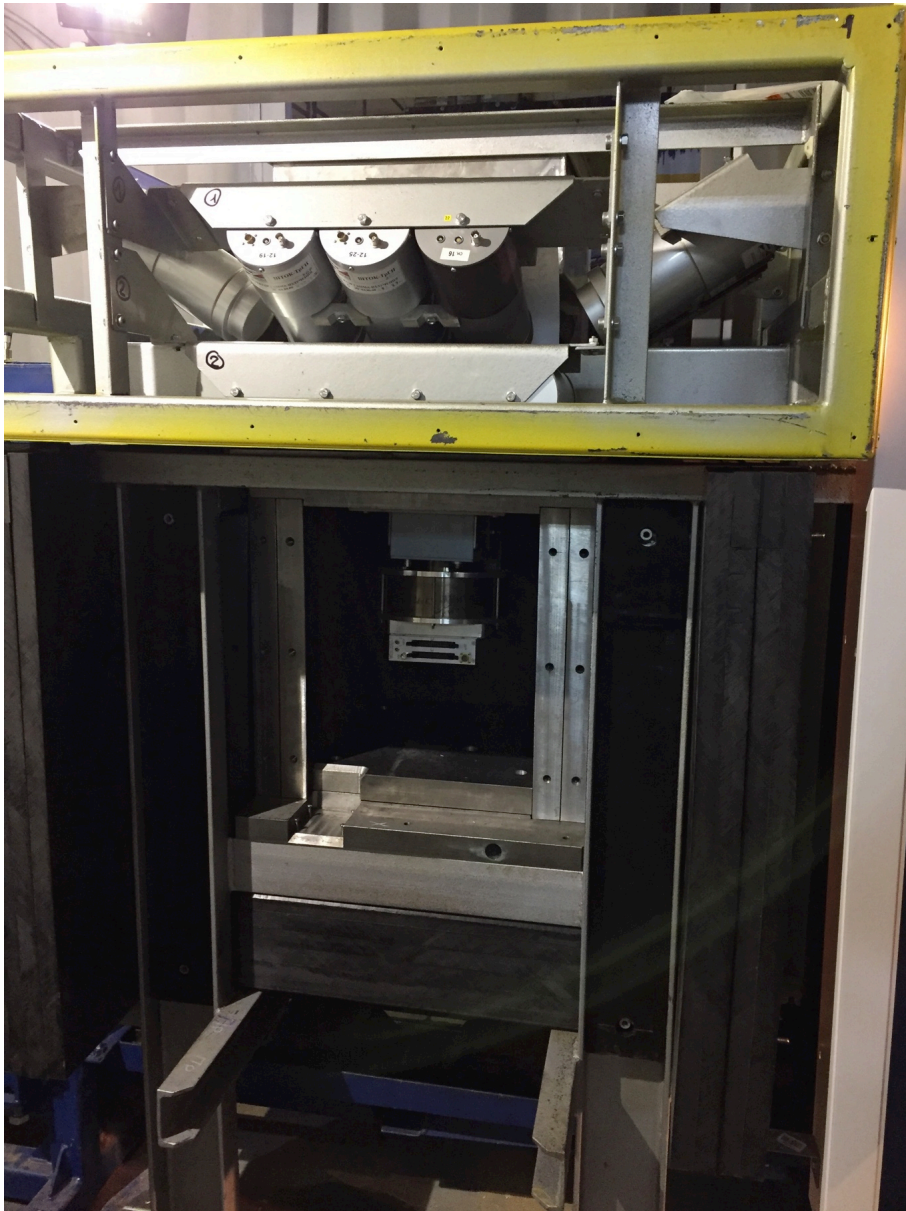
Нейтронный модуль



Нейтронный генератор

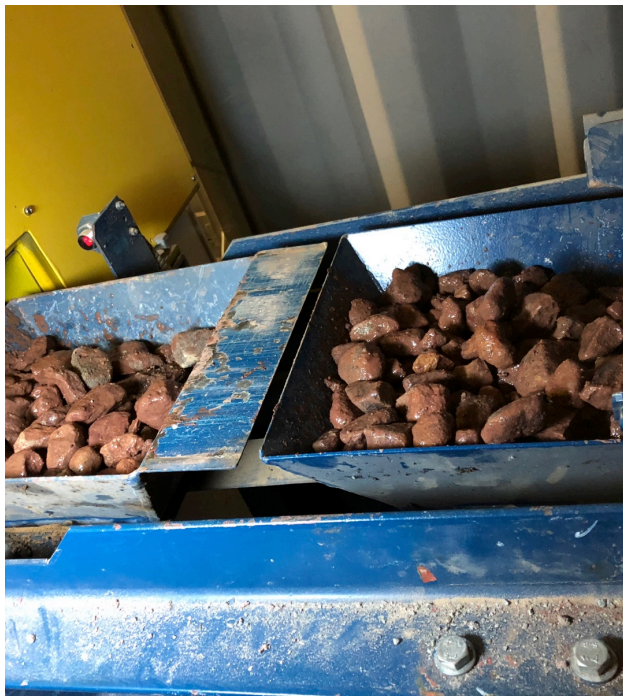


Нейтронный модуль



- Размеры (ДхШхВ):
1040×1040×1650 мм
- Нейтронный генератор на
256 пучка меченых
нейтронов
- 22 гамма-детектора
- Биологическая защита

Руда



- Хвосты РЛС
-30+6 мм



- Трубка Карпинского-1,
- Крупность :-75+40мм,
-90+50мм, -150+100мм

Программа испытаний

- Пустая порода -90 мм – 100 лотков
- Порода -90 мм + имитатор 20 мм – 100 лотков
- Руда -75, -90, -150 по 20 измерений с разными имитаторами
- Производительность: -30 мм

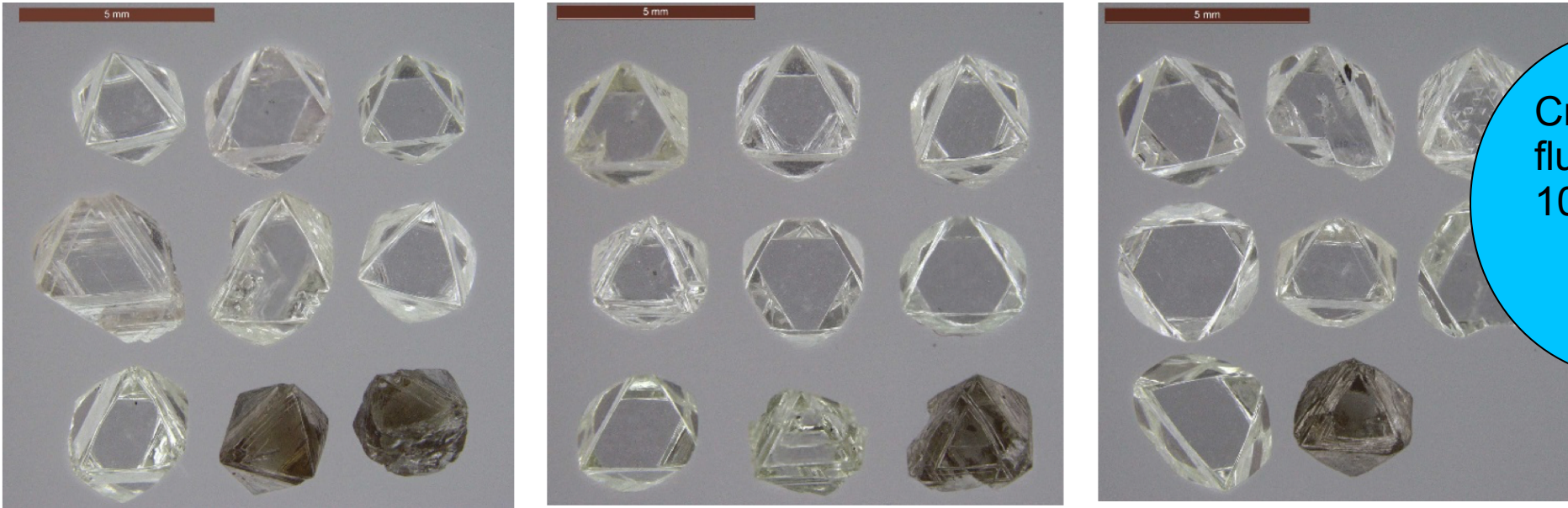
Производительность



- Хвосты РЛС
- 168 лотков за 30 мин
- Масса лотка – 3.2 кг
- Масса по дозатору – 490 кг
- Время прохождения лотка – 10 с.
- Производительность – 1060 кг/час

Радиационные повреждения алмазов

- Сделана проверка на коллекциях алмазов в Мирном.
- Проведено сравнение алмазов до и после облучения для разных флюенсов

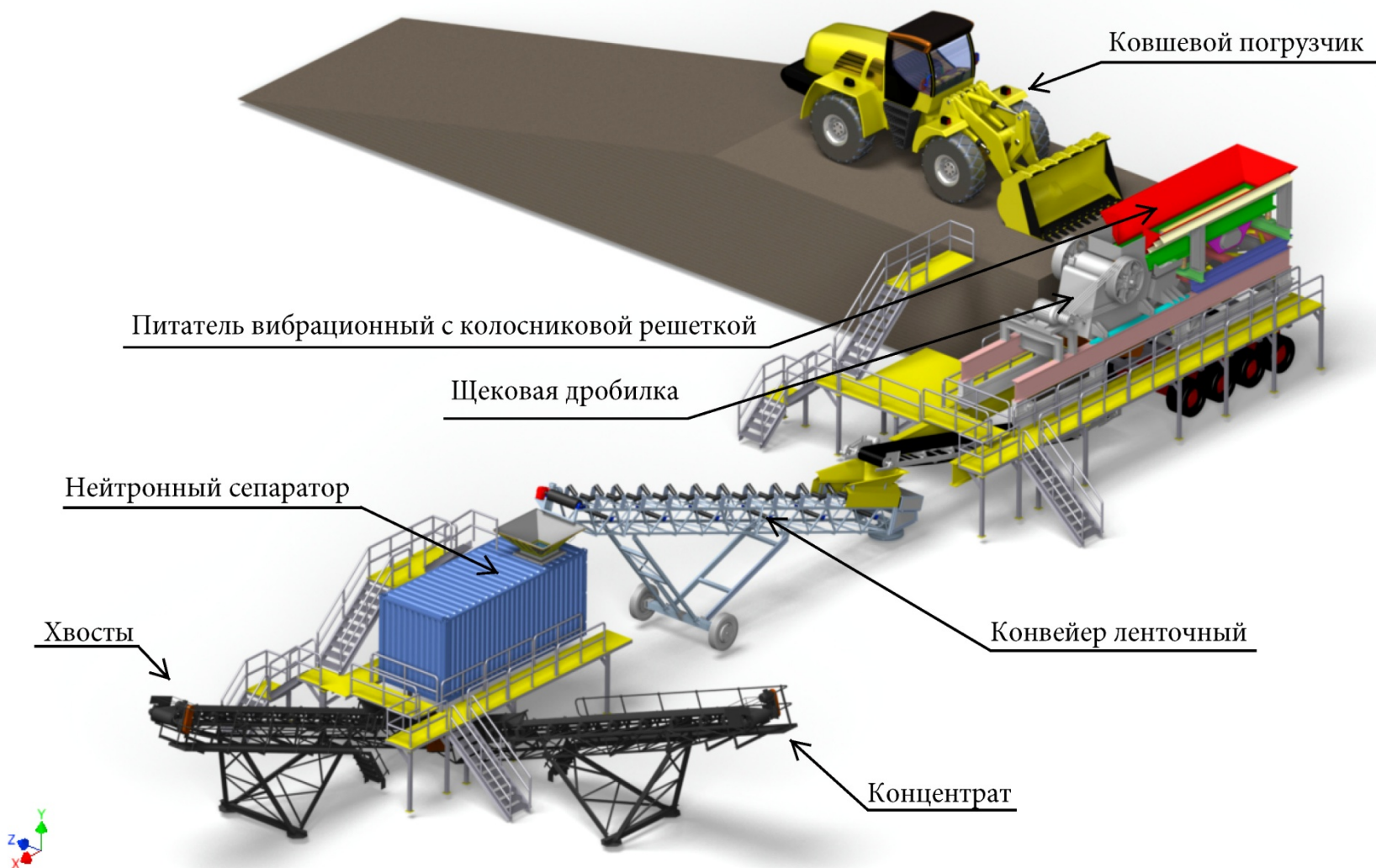


	Number of trial					
	1	2	3	4	5	6
Number of diamonds	17	15	14	14	15	15
Irradiation time	4 s	2 min	4 min	8 min	16 min	32 min
Neutron fluence neutron/cm ²	1.93×10^4	5.78×10^5	1.16×10^6	2.31×10^6	4.62×10^6	9.24×10^6

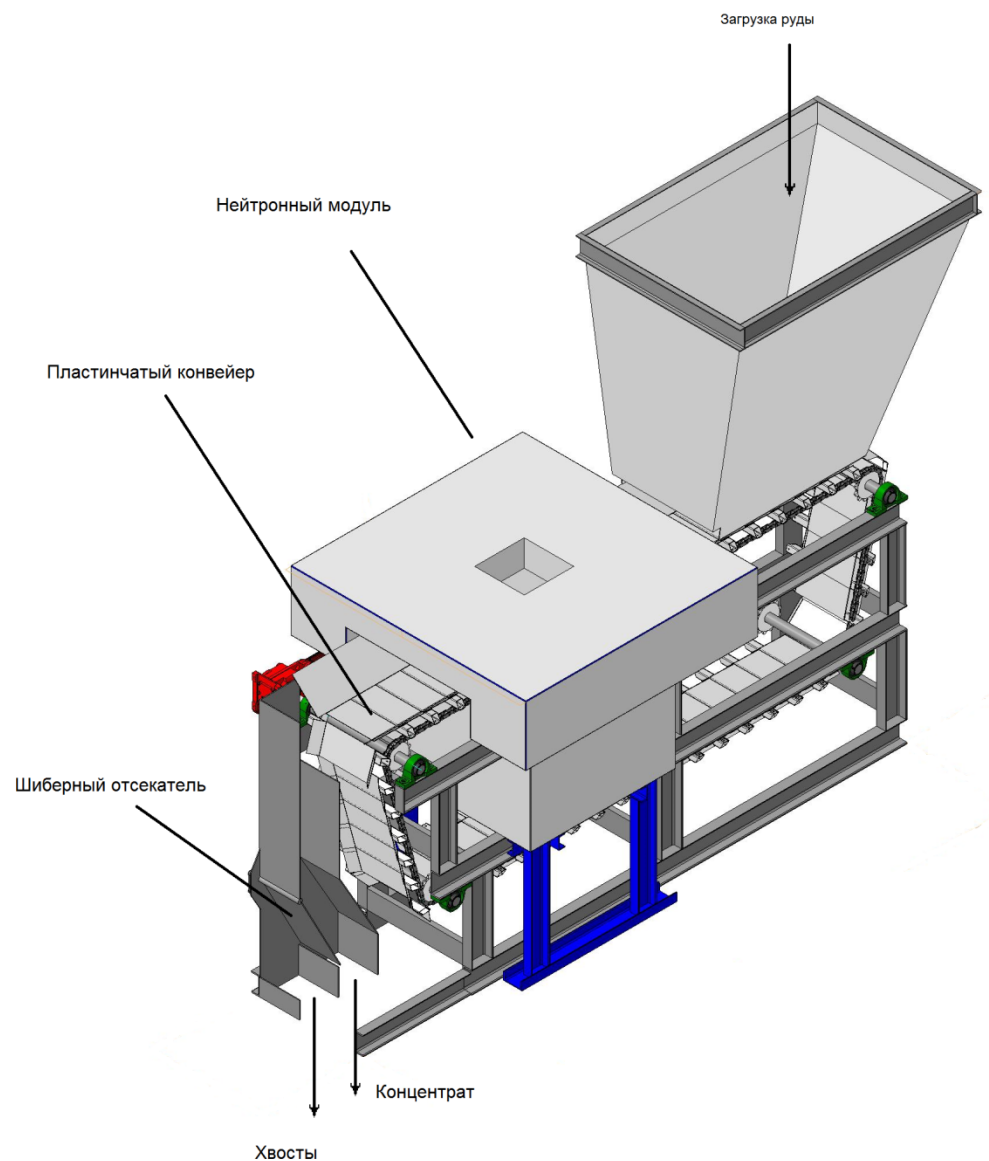
Планы на будущее

- Подготовлено рамочное соглашение на поставку опытного образца на 5 тонн/час с компанией Dimascan

Нейтронный сепаратор на 5 тонн/час



Нейтронный сепаратор на 5 тонн/час



	НГ-256, руда -150 мм	НГ-256, руда -150 мм	НГ-1024, руда -150 мм
Расстояние до руды, мм	134	268	150
Ячейка, мм	4	4	2
Матрица альфа- детектора	16x16	16x16	32x32
Размер альфа- детектора	64x64	64x64	64x64
Расстояние до мишени, мм	60	60	40
Размер зоны досмотра, мм	143x143	286x286	240x240
Размер вокселя внизу, мм	8,9	18	7,5
Размер вокселя на середине, мм	13,9	23	12
Ожидаемая произв-ть, т/ч	8.2	21.4	29.1

	НГ-256, руда -150 мм	НГ-256, руда -150 мм	НГ-1024, руда -150 мм
Расстояние до руды, мм	134	268	150
Ячейка, мм	4	4	2
Матрица альфа- детектора	16x16	16x16	32x32
Размер альфа- детектора	64x64	64x64	64x64
Расстояние до мишени, мм	60	60	40
Размер зоны досмотра, мм	143x143	286x286	240x240
Размер вокселя внизу, мм	8,9	18	7,5
Размер вокселя на середине, мм	13,9	23	12
Ожидаемая произв-ть, т/ч	8.2	21.4	29.1

ИТОГИ И ВЫВОДЫ

- ❑ Определены основные характеристики установки:
 - ❑ Минимально детектируемый размер алмаза – 8 мм
 - ❑ Оптимальная крупность руды - 50+20 мм
 - ❑ Производительность для руды оптимальной крупности – 1060 кг/час
 - ❑ Размер минимально обнаруживаемого алмаза:
 - ❑ В руде -75+40 - 12 мм,
 - ❑ В руде -90+50 мм – 14-16 мм,
 - ❑ В руде -150+100 мм- 20 мм.
 - ❑ Выход в концентрат – 3 %
 - ❑ Удельное электропотребление – 0.6 кВт/тонну

ИТОГИ И ВЫВОодЫ

- ❑ Подготовлено рамочное соглашение на поставку опытного образца на 5 тонн/час с компанией Dimascan