



Подземная навигация добычных комбайнов: путь к безлюдной разработке полезных ископаемых

# Дорожная карта развития системы навигации

Май 2022

Декабрь 2024

Декабрь 2024

Июнь 2025



*Решение навигационной задачи прямолинейного движения с заданным курсом, тангажом и креном.*

*Решение навигационной задачи сложных криволинейных участков. Точное определение пройденного расстояния.*

*Организация связи навигационной системы с поверхностью. Обмен данными между смежными системами управления добычей.*

*Расширение функционала системы навигации в части автоматического контроля пласта полезной породы.*

*Расширение функционала системы для дистанционного управления комбайном с поверхности.*

# В основе системы лежит инерциальная навигационная система

*Гироскопы определяют положение в пространстве*

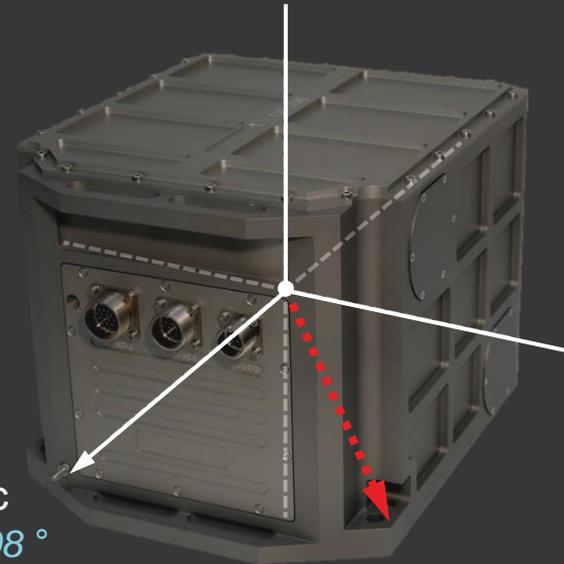
*Точность определения угла курса зависит от широты*

Курс  
 $\pm 0,08^\circ$

Тангаж  $\pm 0,01^\circ$

Крен  
 $\pm 0,01^\circ$

*Акселерометры определяют величину и направление ускорения*





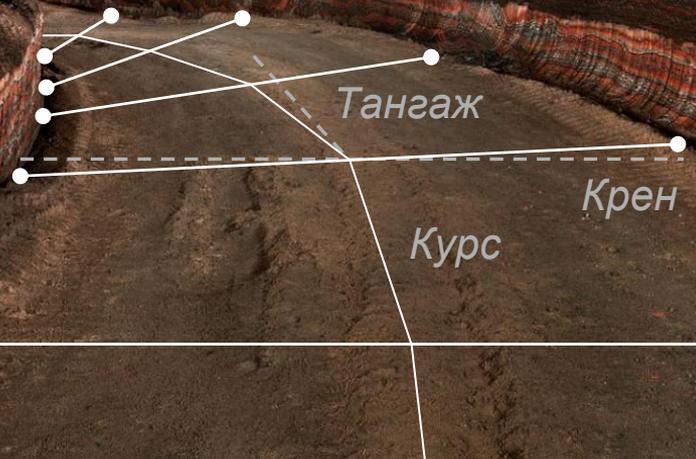
*Применяется там где нет  
возможности использовать  
спутниковую навигацию*



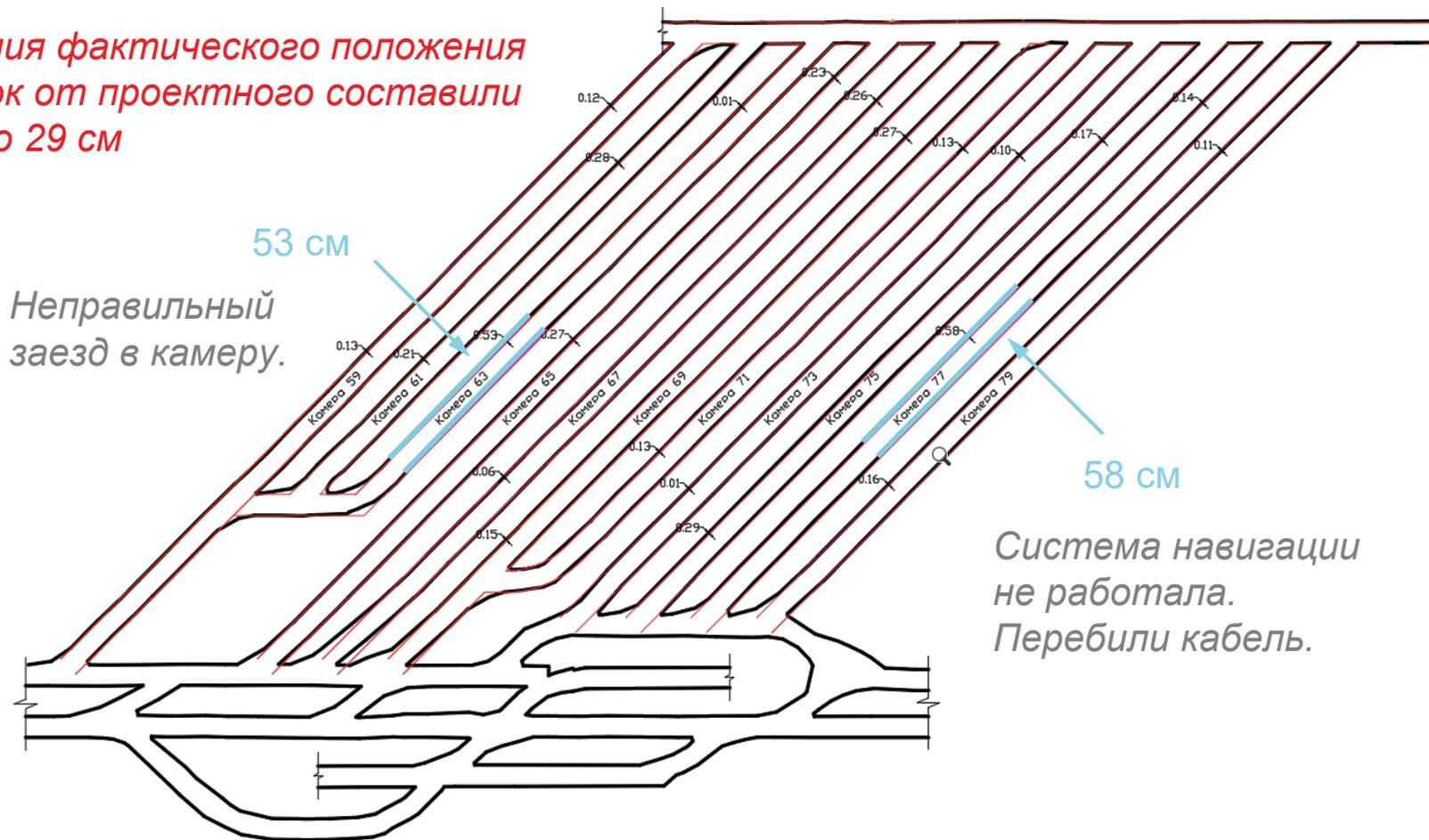
# Результаты испытаний навигации по курсу

Комбайнер может пройти  
прямолинейный участок  
длиной до  
**300 метров** без  
маркшейдерского  
контроля

и экономит **1 час в смену**  
на корректировках курса  
комбайна



Отклонения фактического положения  
выработок от проектного составили  
от 1 см до 29 см



# Решение навигационной задачи методом счисления пути

$$L = \int_0^t V dt = \int_0^t \int_0^t (a \pm \Delta a) dt dt$$

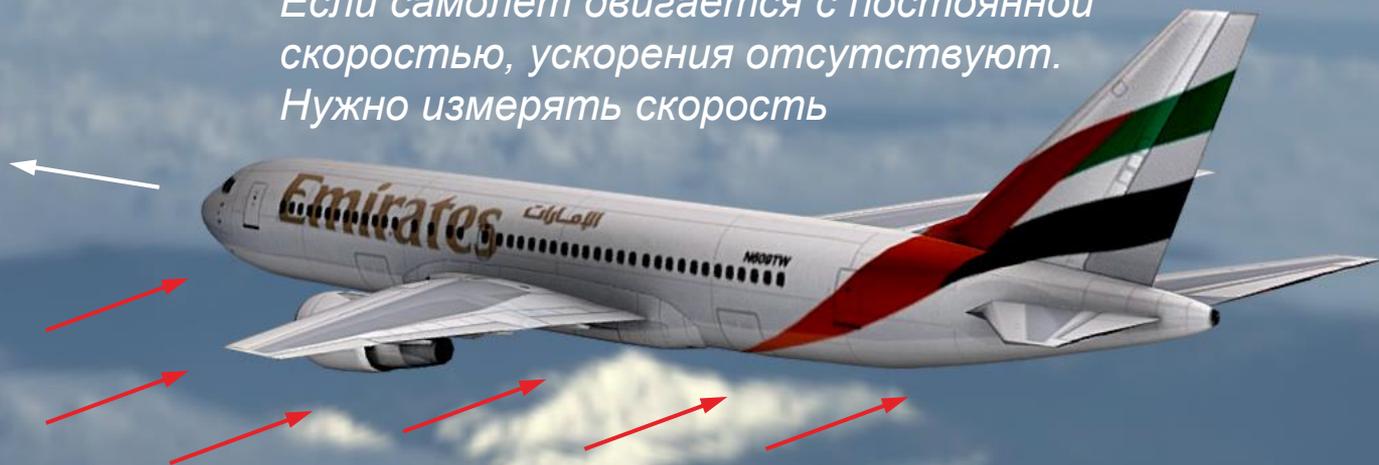
*Погрешность измерения*

*При интегрировании  
погрешности накапливаются*

*Погрешность вычисления*

# Проблемы корректировки накопленной ошибки

*Если самолет движется с постоянной  
скоростью, ускорения отсутствуют.  
Нужно измерять скорость*



*Боковой снос нужно учитывать при измерении скорости*

# Проблемы корректировки накопленной ошибки

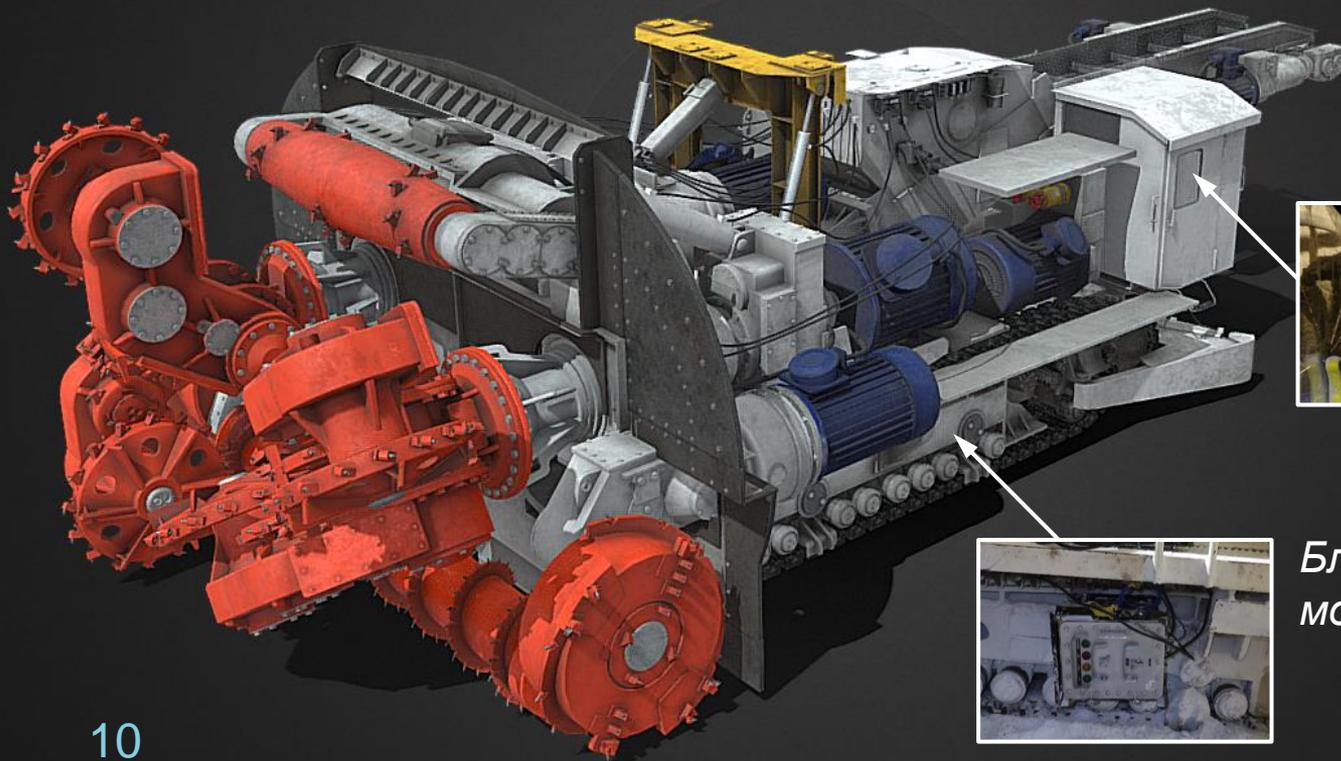
*Амортизацию башни нужно  
учитывать при вычислении  
пройденного пути*

*Блок навигации  
расположен в башне*



*Скорость определятся  
на гусеничном шасси*

# Размещение оборудования на комбайне

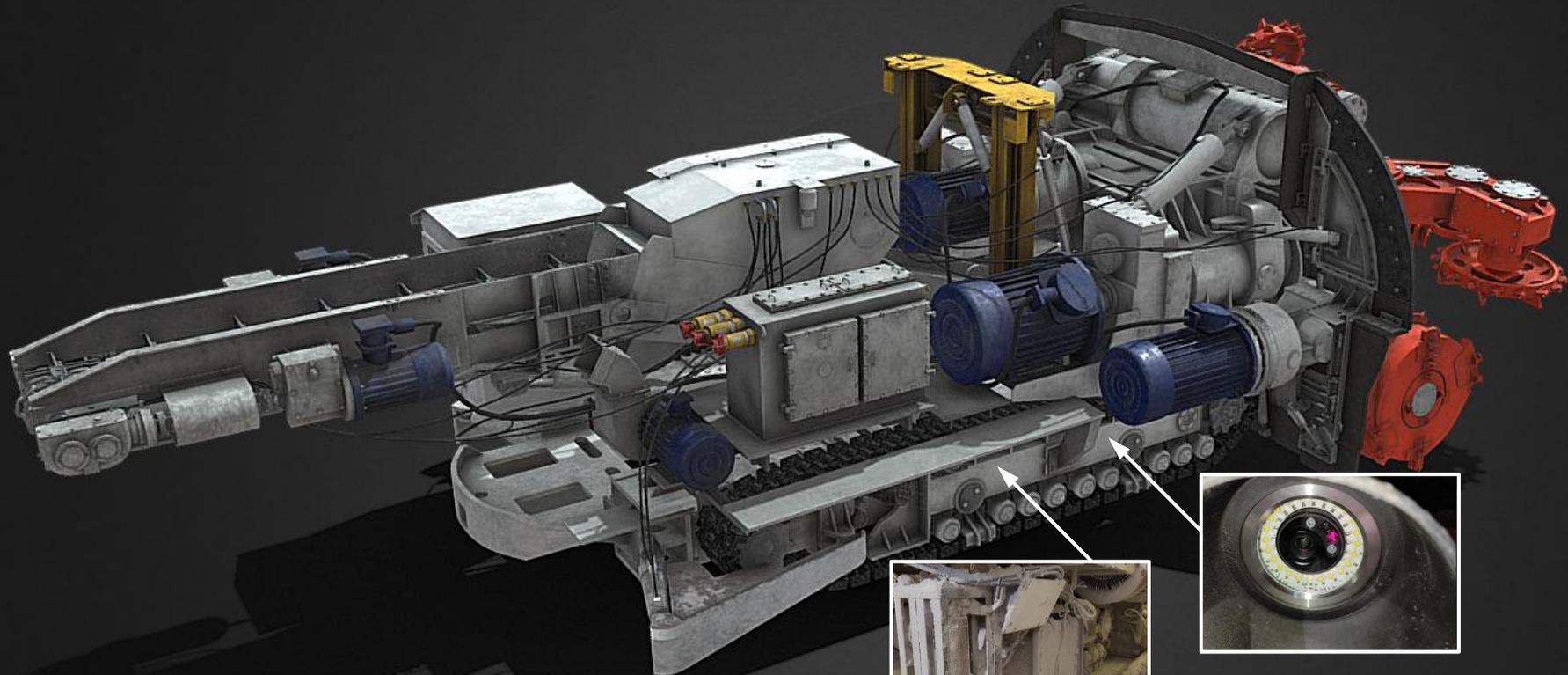


*Монитор  
устанавливается  
в кабине*



*Блок автоматики  
монтируется на шасси*

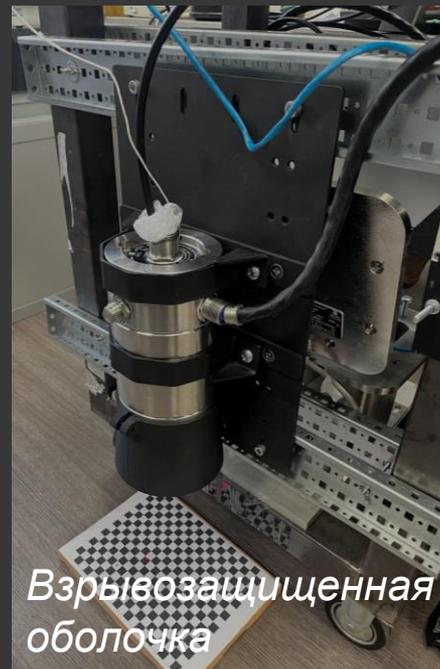




*Блок навигации монтируется  
на гусеничное шасси с другой стороны*

*Видеодометр  
устанавливается  
на блок навигации*

# Разработали видеоодометр для вычисления пути



# Результаты испытаний навигации видеоодометра



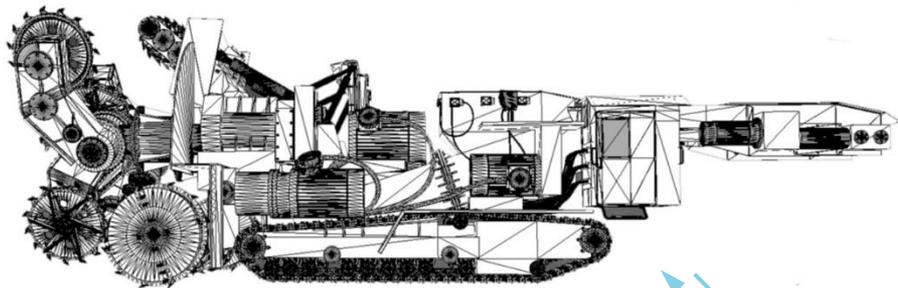
Комбайн прошел  
прямолинейный участок  
длиной **86 м**

Отклонение от измерения  
маркшейдером - **258 мм**

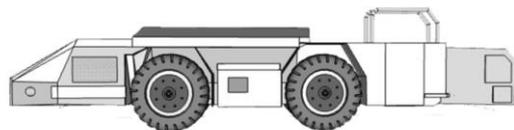
Погрешность - **0,3 %**

# Организация связи с комбайном

Комбайн с системой навигации



Радиоканал

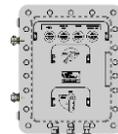


Самоходный вагон, оборудованный средством связи и хранения данных

Компьютер на руднике



Узел связи



Линия связи рудника



Радиоканал

# Создали три модуля связи



*Комбайн*

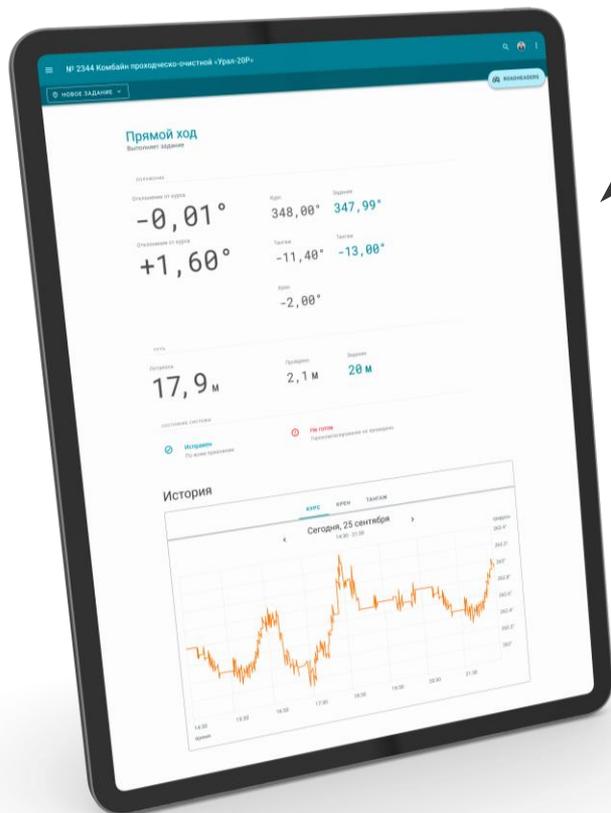


*Самоходный вагон*



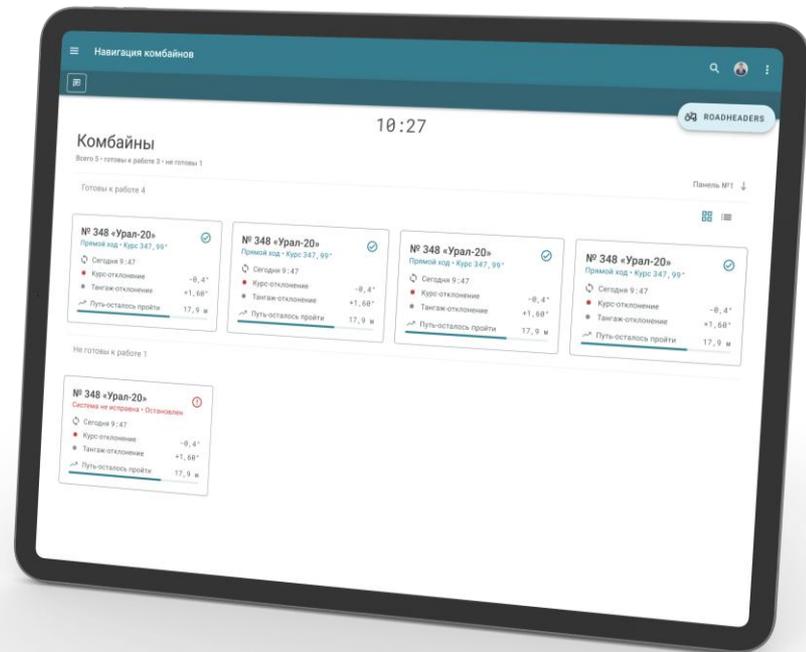
*Шкаф связи*

# и программное обеспечение



для маркшейдера

для диспетчера





Каменная соль  
5 - 10 мкЗв/ч

Сильвинит  
15 - 40 мкЗв/ч

Контроль пласта на основе  
радиоактивного излучения  
калия

# Замеры пород калийных рудников дозиметром



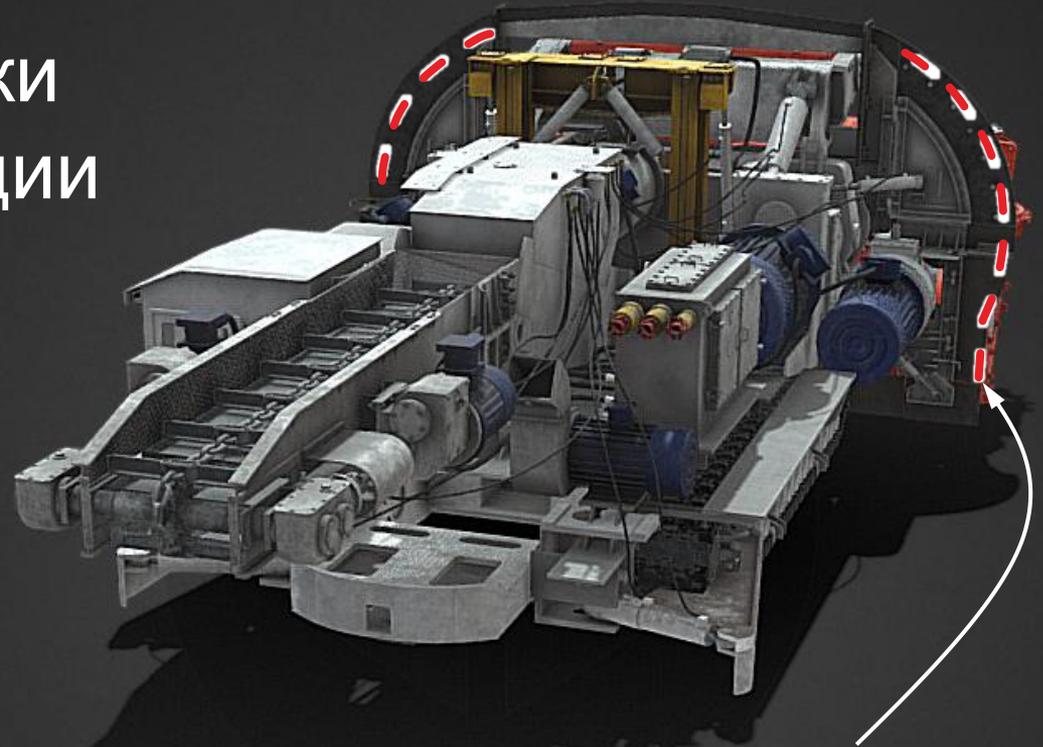
# Замеры пород дозиметром в руднике



# Изготовили датчики измерения радиации



во взрывозащищенной оболочке



*Датчики устанавливаются по периметру щита комбайна*

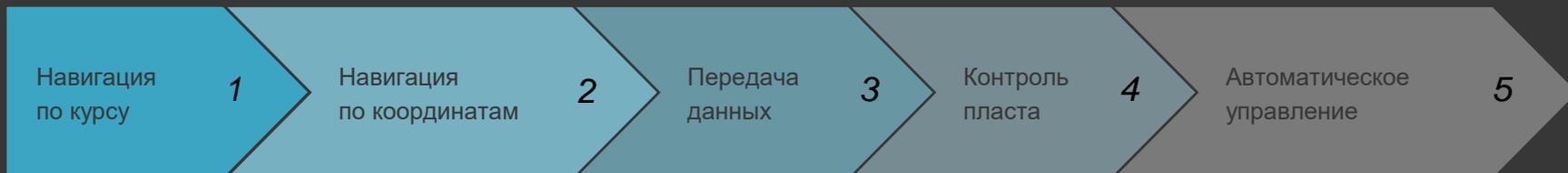
# Эффект от внедрения

Простои комбайна —> Производительность —> Добыча руды комбайном  
снижаются на комбайна увеличивается на  
возрастает на

1 час в смену

14 %

150 000 тонн  
В ГОД



Снижение простоев комбайна и количества замеров маркшейдера на прямых участках

Снижение простоев комбайна и количества замеров маркшейдера на криволинейных участках

Диспетчеризация комбайнов и оперативная корректировка заданий.

Снижение сверхнормативных потерь и разубоживания руды

## Дальнейшие направления развития

- 1 Произвести еще несколько образцов системы навигации и отладить серийное производство
- 2 Заниматься аналитикой данных, которые приходят с комбайна
- 3 Расширять систему навигации на самоходный вагон