

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР
ИМ. АКАДЕМИКА Н.В. МЕЛЬНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**Инновационные аспекты проекта Федеральных норм
и правил в области промышленной безопасности
«Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов
карьеров, разрезов и отвалов»**

Рыльникова Марина Владимировна
профессор, доктор технических наук
заведующий отделом теории проектирования освоения недр

Красноярск-2019

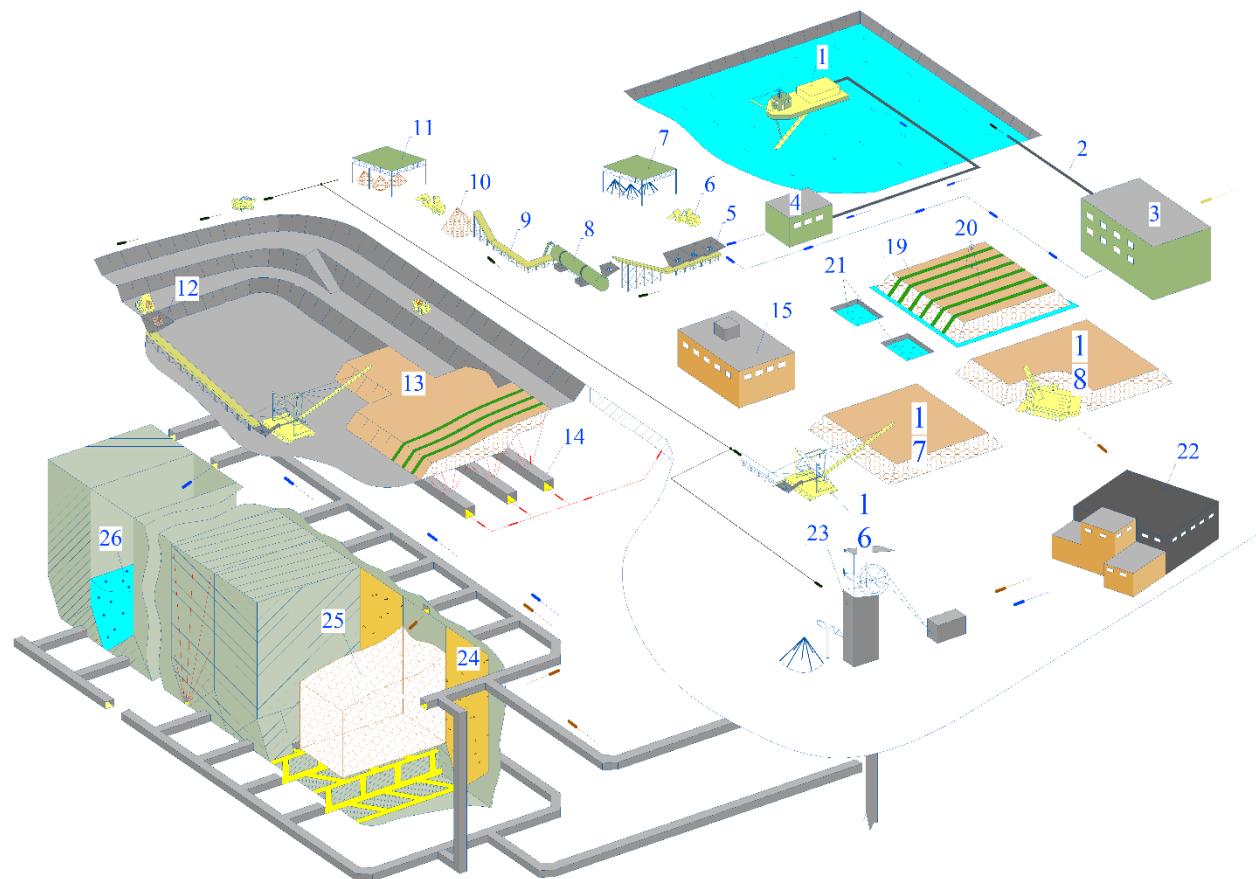
Факторы, предопределяющие необходимость совершенствования нормативно-технического обеспечения при открытой разработке месторождений:

- совершенствований технологий разработки месторождений и методов мониторинга состояния горного массива, включая роботизированные;
- появление новых интеллектуальных горнотранспортных средств, исключающих необходимость присутствия оператора в рабочей зоне карьера;
- снятие жестких ограничений по высоте уступов и ширине предохранительных берм при постановке уступов в предельное положение, что позволяет увеличить углы погашения бортов;
- необходимость учета при оценке устойчивости глубоких карьеров действующих тектонических напряжений и объемных сил, вызванных кривизной откосов в плане, воздействия массовых взрывов и сейсмических явлений;
- разработка качественно новых методов инженерно-геологической оценки свойств массива горных пород;
- появление новых вычислительных средств и методов расчета устойчивости бортов с учетом специфики структурных особенностей массива горных пород;
- появление новых методов управления состоянием массива;
- необходимость синхронизации отечественных и мировых норм проектного обоснования устойчивости откосов;
- более высокая зависимость экономических показателей деятельности горных предприятий от угла устойчивых откосов и коэффициента вскрыши при больших масштабах производства;
- стандартизация требований Главгосэкспертизы к принятию проектных решений в соответствии с действующими в стране законодательными актами.

Цель ФНП:

разработка нормативно-правовой документации, закрепляющей регламентированные в установленном порядке правила по обеспечению устойчивости откосов бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов, учитывающие накопленный российский и международный опыт и адаптированные к российским условиям и рискам, ориентированные на возможность применения развивающихся инновационных геотехнологий.

Расширение области применения комбинированной геотехнологии



Расширение области применения горнотранспортного оборудования в механизированном, автоматизированном и интеллектуальном режимах управления

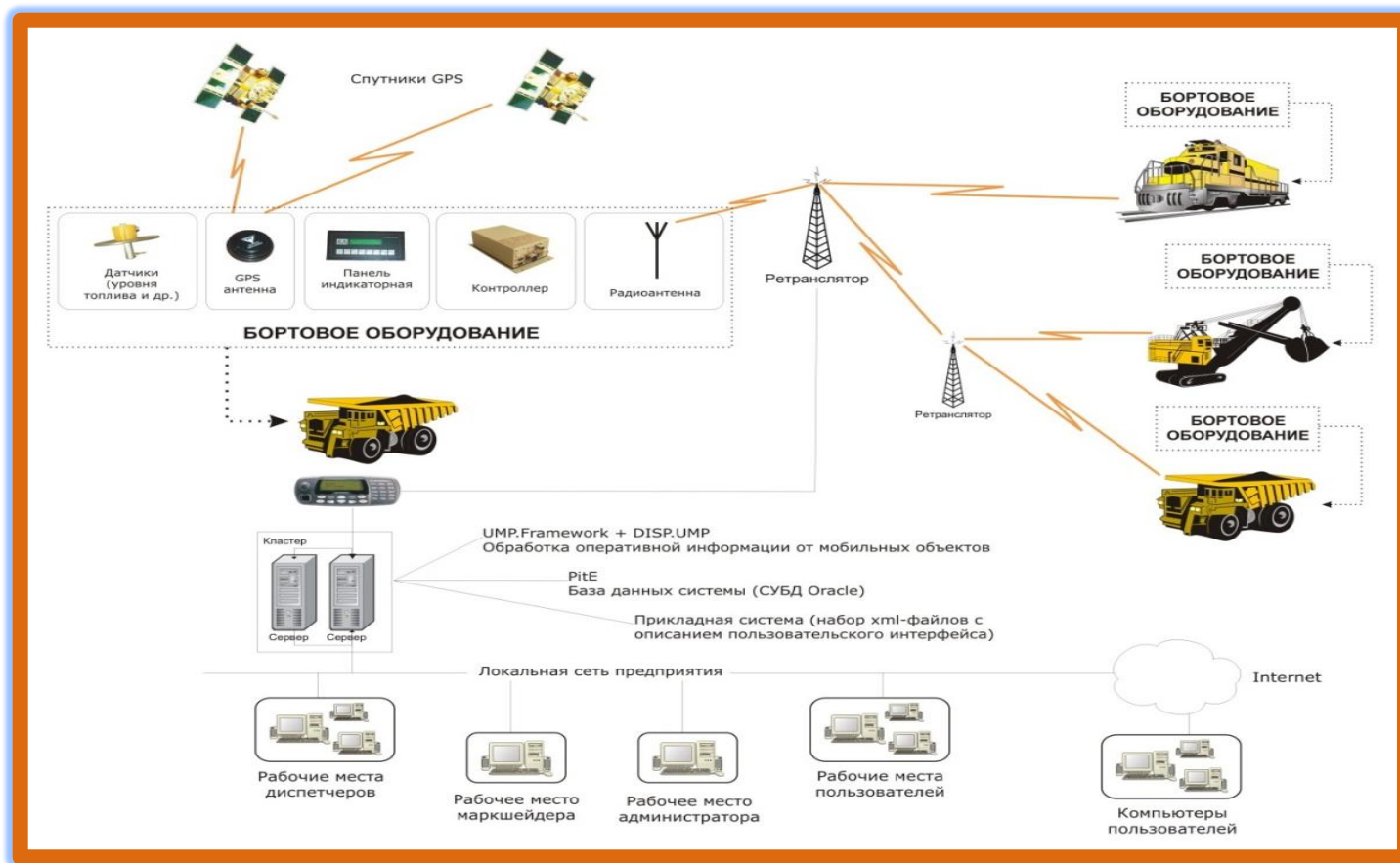
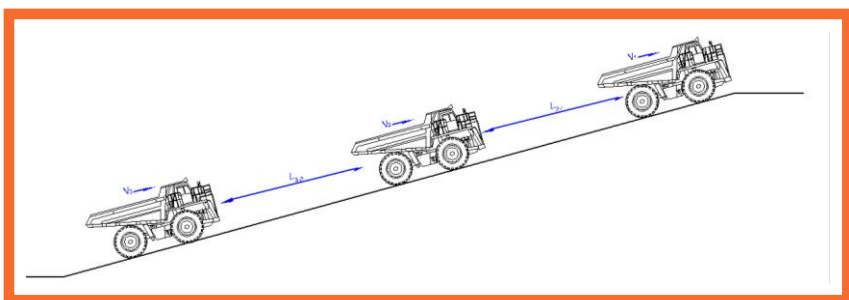
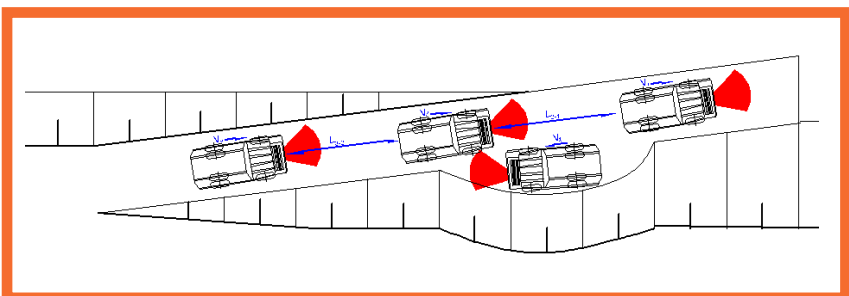
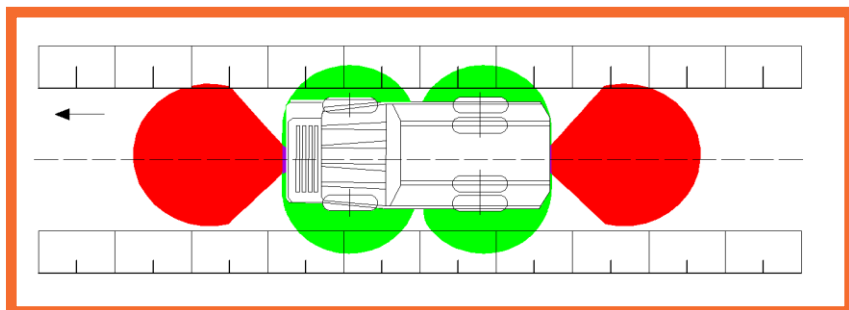
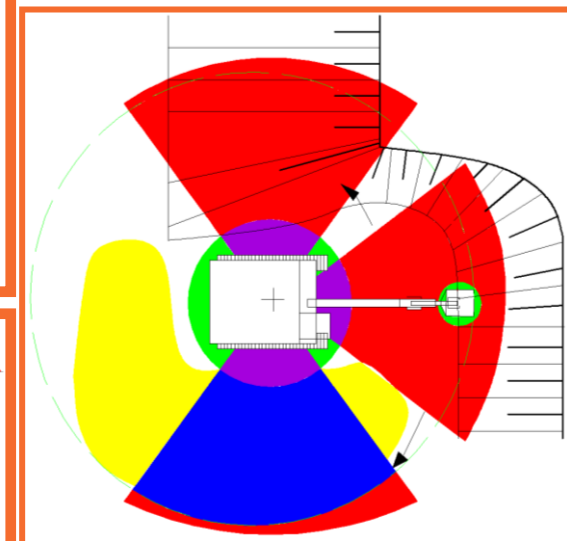
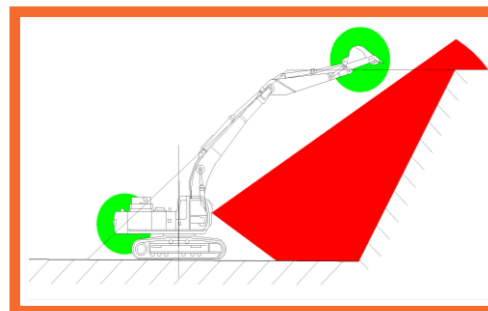
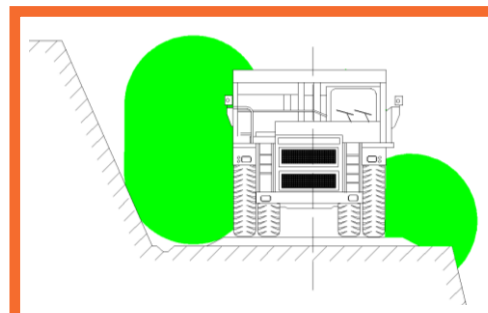


Схема движения роботизированных автосамосвалов



Контроль рабочих зон при эксплуатации роботизированного выемочного оборудования



Изменение проектных параметров транспортных берм

Ширина:

при механизированной геотехнологии

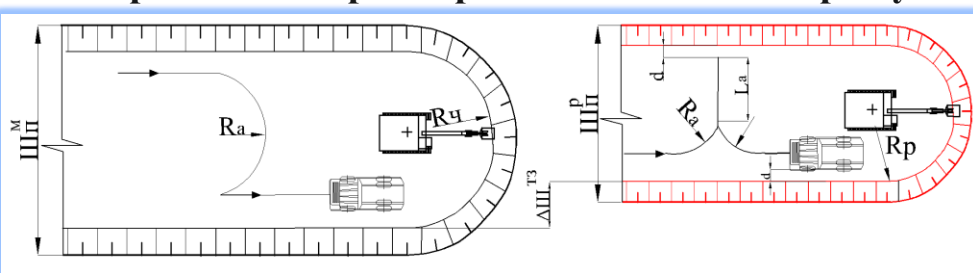
Определяется суммой величин ширины кювета, транспортной полосы, полосы безопасности (не менее 1м), призмы возможного обрушения и резервной бермы безопасности

при роботизированной геотехнологии

Из конструкции исключаются элементы безопасности; ширина транспортной бермы складывается из ширины проезжей части и допуска, вызванного неточностью систем позиционирования

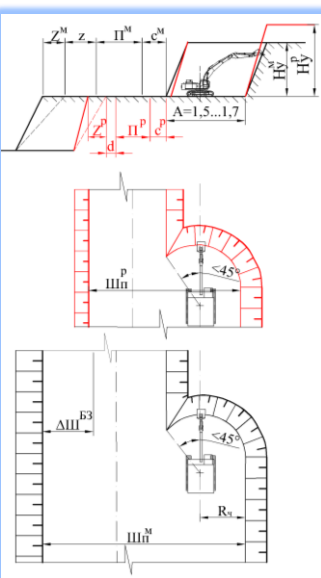
Технологические способы ведения горных работ в условиях совместной работы механизированного и роботизированного оборудования при временном снижении устойчивости бортов и их уступов

1. Сокращение ширины рабочей площадки при тупиковом забое



- $R_{ч}, R_p$ – соответственно радиус черпания и разгрузки экскаватора, м;
- R_a – радиус разворота автосамосвала, м;
- $\Pi_{шп}^M, \Pi_{шп}^P$ – ширина рабочей площадки при использовании горнотранспортной техники соответственно с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м;
- $\Delta\Pi_{тз}$ – изменение ширины рабочей площадки, м;
- d – величина охраняемого пространства, м;
- L_a – длина автосамосвала, м.

2. Сокращение ширины рабочей площадки при торцевом забое



- A – ширина заходки экскаватора, м;
- c^M, c^P – расстояние от нижней бровки уступа до проезжей части при использовании горнотранспортной техники соответственно с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м;
- Π^M, Π^P – ширина проезжей части при использовании горнотранспортной техники соответственно с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м;
- z – полоса безопасности, м;
- Z^M, Z^P – ширина призмы возможного обрушения, при использовании горнотранспортной техники соответственно с диспетчерским и интеллектуальным управлением, м;
- $\Delta\Pi^{БЗ}$ – изменение ширины рабочей площадки, м.

3. Увеличение продольного уклона съездов

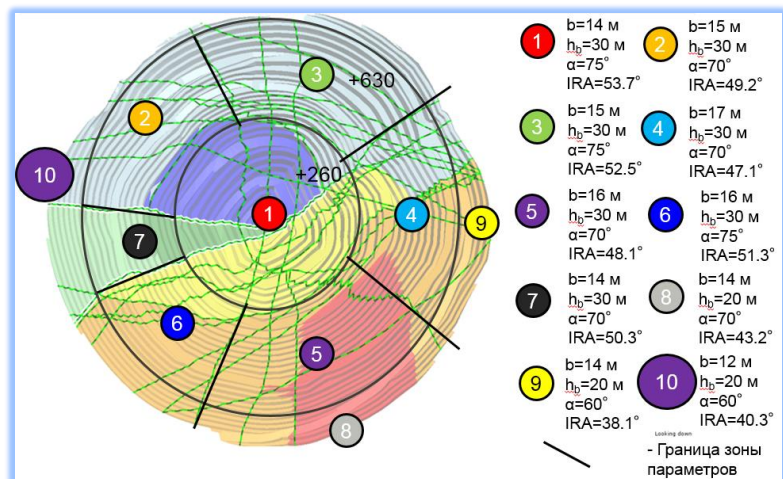
Уклон автомобильной дороги, %	Управление автосамосвалом	
	Диспетчерское водитель	Интеллектуальное бортовая система
1. Условия местности		
- Обычные	30-40	До 240*
- Трудные	50-60	
- Особо трудные	80-90	
- Нагорные карьеры, характеризующиеся сложными климатическими	Не более 70	
2. Покрытие автомобильной дороги		
- Твердое	30-170	До 240*
- Грунтовое	30-130	

Примечание:* установление величины продольного уклона зависит от технических характеристик применяемого автосамосвала

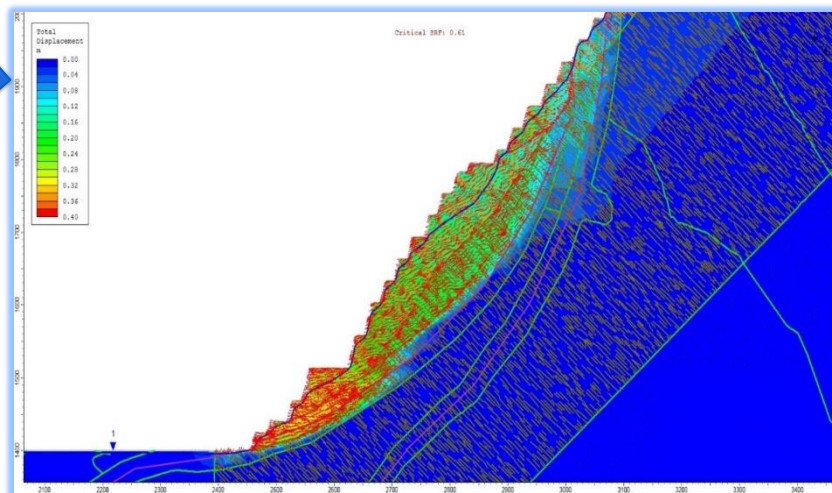
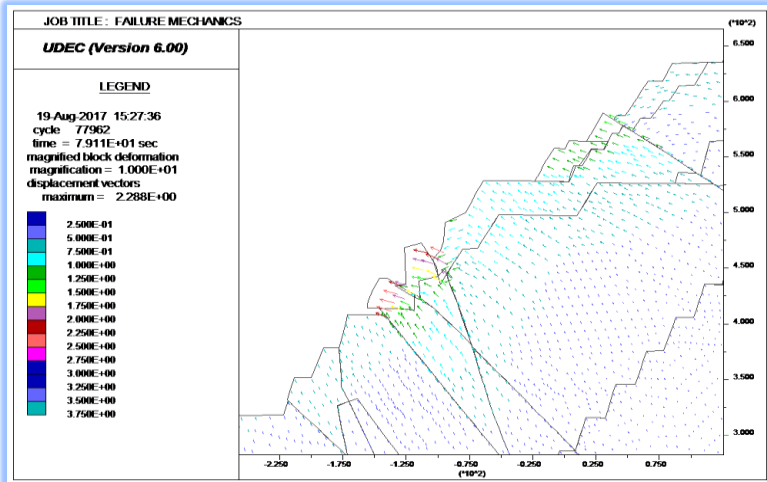
Подход к проектированию бортов карьеров в ФНП

Прочность породного массива			
Элемент откоса	Слабые	Средней прочности	Крепкие
Откос уступа	Прочность (структура)	Структура	Структура
Угол откоса между съездами	Прочность	Структура (прочность)	Структура
Генеральный угол наклона борта	Прочность	Структура (прочность)	Структура (прочность)
Проектный подход	Генеральный угол борта ↑↓	По секторам Уступ ↓	По секторам Уступ ↓
	Угол между съездами ↑↓	Угол между съездами ↓	Угол между съездами ↓
	Уступ	Генеральный угол борта	Генеральный угол борта
	Крупные структуры могут оказывать влияние на генеральный угол наклона борта и угол между съездами		
<p>Слабые породы</p> <ul style="list-style-type: none"> Меньше зависят от ориентации борта, если нет крупных структурных нарушений Начинать с оценки результирующего откоса Привести конфигурацию уступа в соответствие с результирующим углом и/или углом откоса между съездами Высота уступа или его угол могут контролироваться прочностью породы Расположение нескольких уступов один над другим маловероятно Перевес давления над подземных вод может играть основную 		<p>Породы средней прочности и крепкие</p> <ul style="list-style-type: none"> Необходимо деление на сектора Угол наклона уступов контролируется структурой Проектирование дренажа основано на ожидаемом объеме обрушений: можно отрегулировать только минимум Высота уступа зависит от оборудования Расположение нескольких уступов один над другим возможно, особенно при крепких породах 	

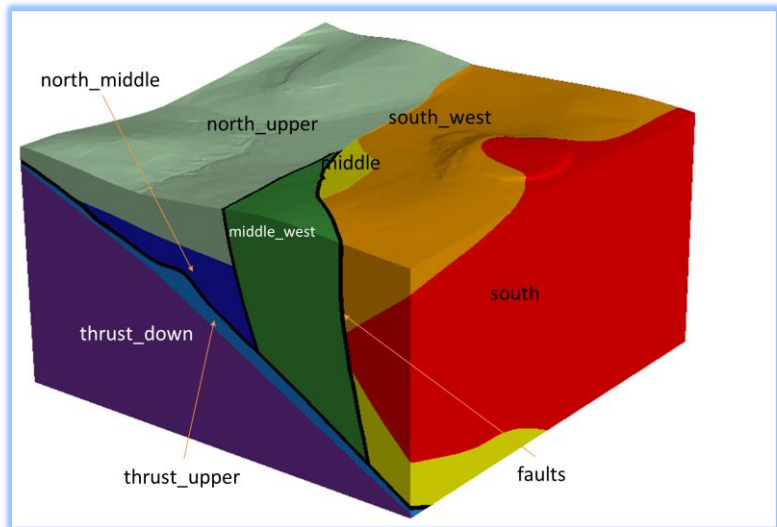
Специфика оценки устойчивости откосов в крепких скальных массивах



- Свойства массивов пород и руды в пределах крупных блоков однородны.
- Выбор ширины бермы, угла откоса, высоты уступа определяется в основном используемым оборудованием по секторами.
- Определение свойств ненарушенных пород и массива горных пород по статистическим данным.
- Применяются различные методы для проведения поверочных расчетов бортов на всю высоту и участков бортов (метод предельного равновесия, метод конечных элементов, метод дискретных элементов). В расчетах учитывается анизотропия свойств массива.

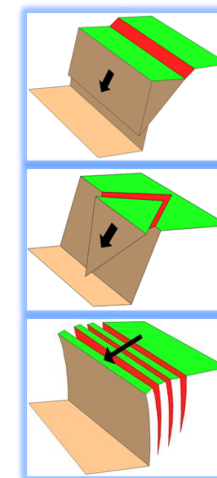
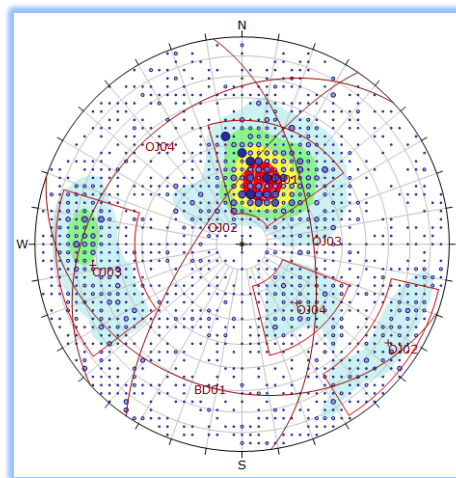


В породах средней прочности и прочных

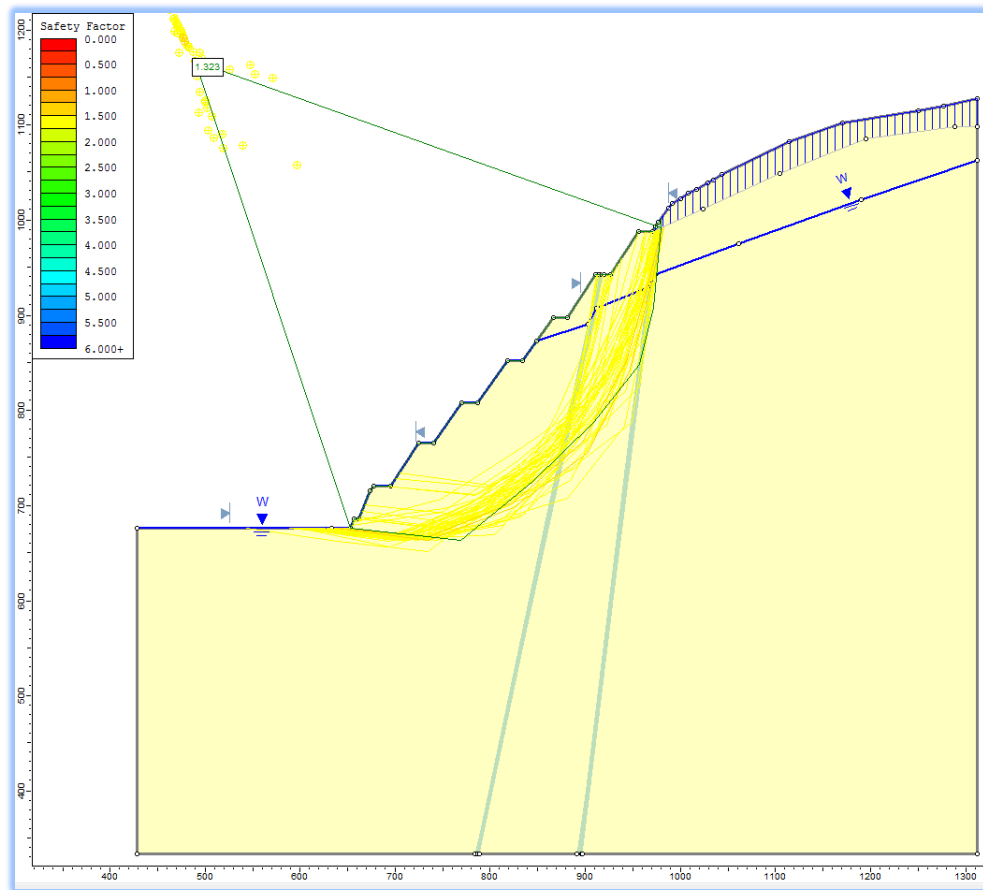


Domain →	south	south-west	middle	middle-west	north_upper	north-middle	thrust_down	thrust_upper
System ↓								
BD01	85 81	53	51	28	30	27	34	29
OJ02	50	51	49	61	74	50	50	50
OJ03	49	85 85		87	62			56
OJ04		38	29	29	32	27	10	
oj05	44	20		19		23		

- Последовательность проектирования «Уступ - Участок между съездами - Генеральный угол».
- Устойчивость определяется устойчивостью уступов (при отсутствии крупных структур-разломов).
- Прибортовой массив необходимо разделять на сектора (домены) по геолого-структурным признакам.
- Определяются параметры основных систем трещин в структурных доменах.
- Проведение кинематического анализа основано на выявлении видов потенциальных обрушений в секторе.



В массивах слабых пород



1. Последовательность определения может быть как от уступа к генеральному углу, так и наоборот.
2. Определение свойств ненарушенных пород, определение свойств массива горных пород.
3. Выбор высоты уступа определяется, в основном, используемым оборудованием.
4. Устойчивость определяется устойчивостью всего борта при обеспечении несущей способности массива пород.
5. Применяются различные методы для проведения поверочных расчетов (векторного сложения сил, предельного равновесия и т.д.).

Комплекс методов определения прочностных свойств массива горных пород

- лабораторные испытания;
- натурные испытания;
- обратные расчеты деформаций;
- расчеты по эмпирическим формулам на основании данных лабораторных испытаний образцов;
- аналогии с другими месторождениями.

Лабораторные испытания скальных и полускальных пород



Испытания
образца на
сжатие



Устройство косо-
среза МА-3



Испытание образца на
растяжение

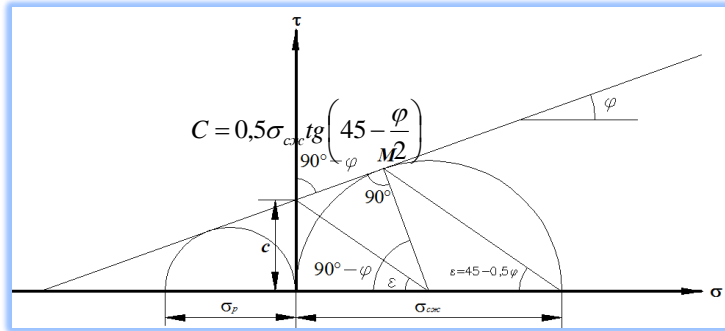


Испытание на прямой
сдвиг

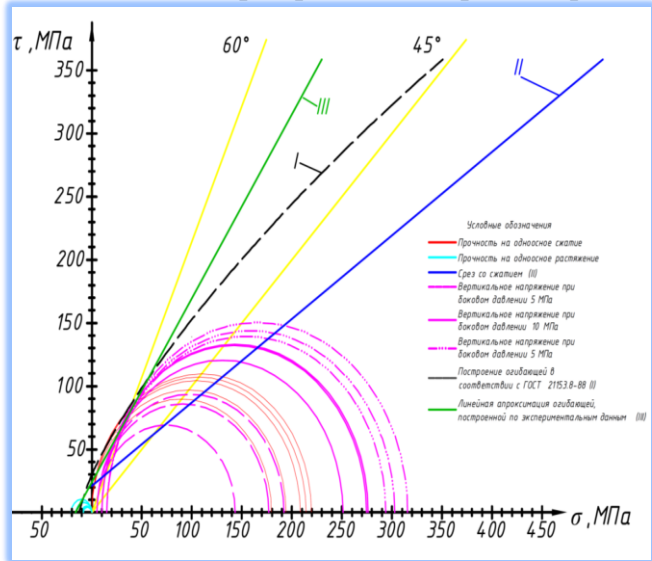


Трехосные испытания

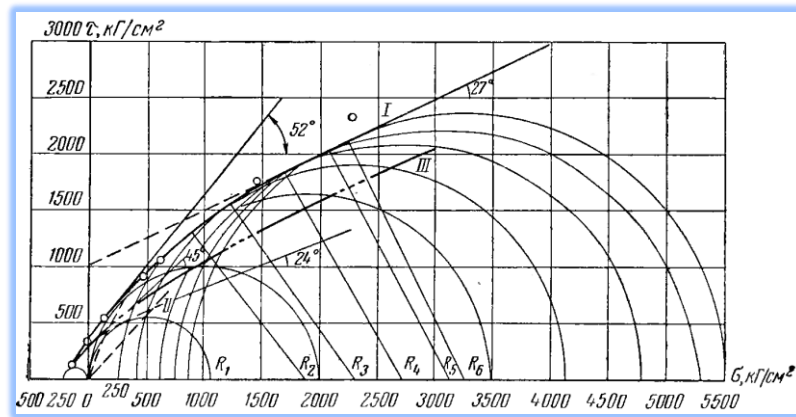
Обработка результатов лабораторных испытаний



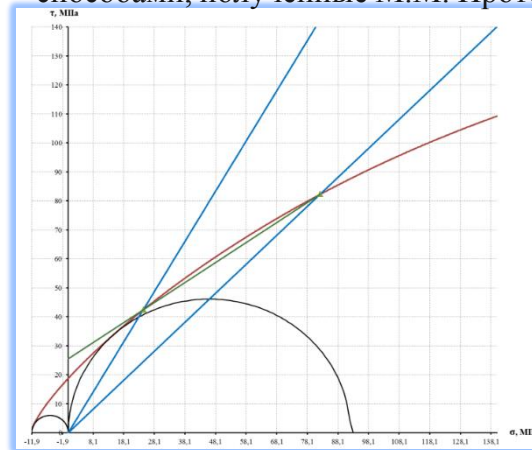
Типовой паспорт прочности горной породы



Результаты испытаний алевролита различными методами

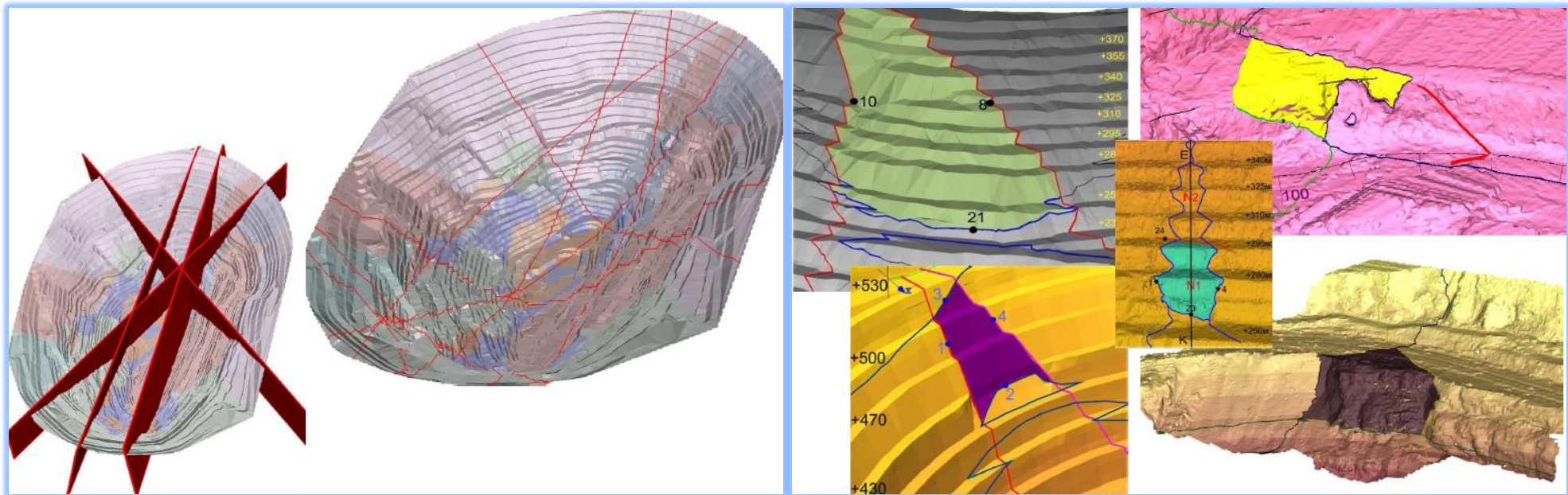


Результаты испытаний доломита различными способами, полученные М.М. Протодяконовым



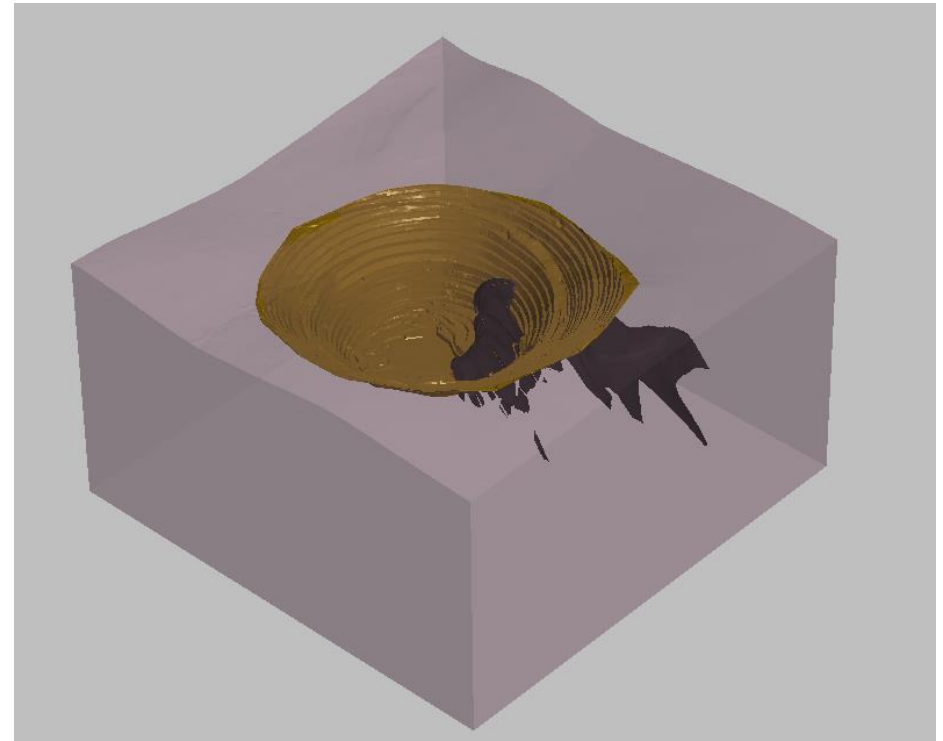
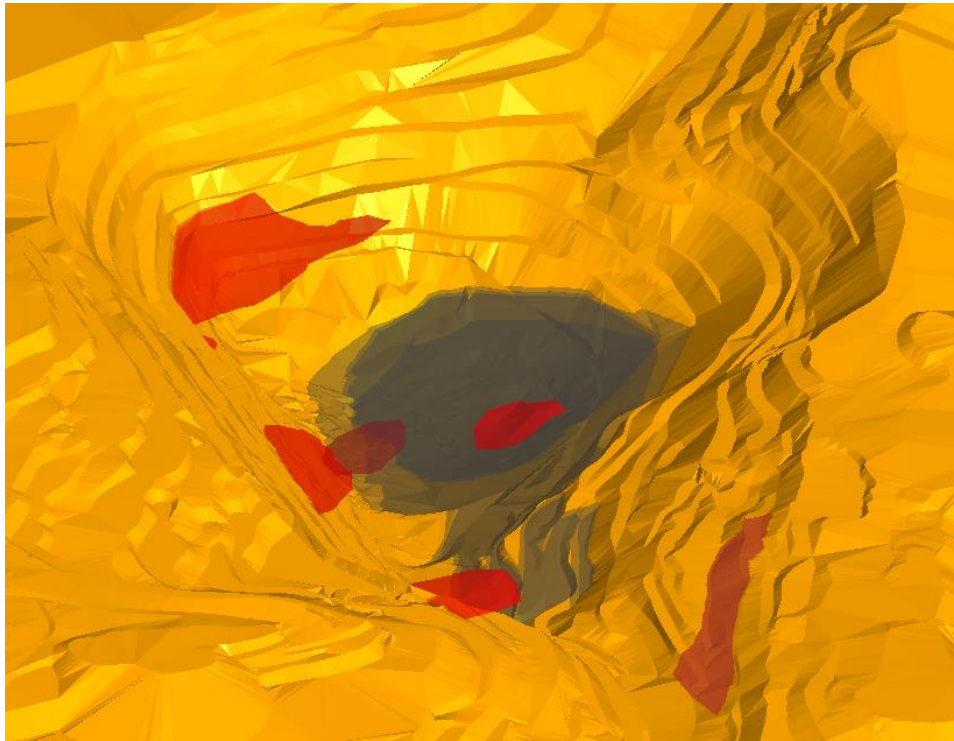
Определение сцепления и угла внутреннего трения через прочность на одноосное сжатие и растяжение

Дифференцированная оценка структурных особенностей участков (доменов) горного массива и действующих тектонических напряжений и объемных сил, вызванных кривизной откосов в плане

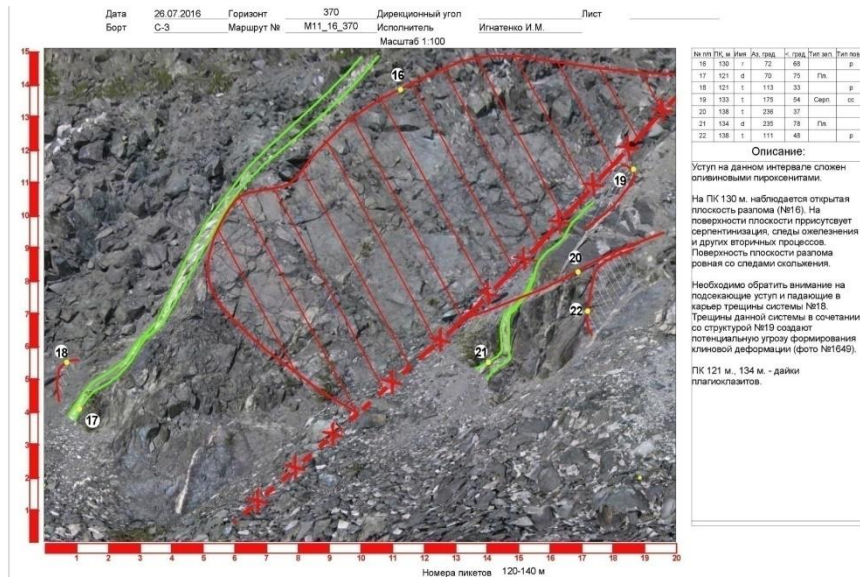


Домены поверхностей ослабления

ЗОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ, БРЕКЧИРОВАНИЯ, РАССЛАНЦЕВАНИЯ, СДВИГА, КОНТАКТЫ ПОРОД СО СЛАБЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ СДВИГУ И Т.Д.



Геолого-структурное картирование участков бортов

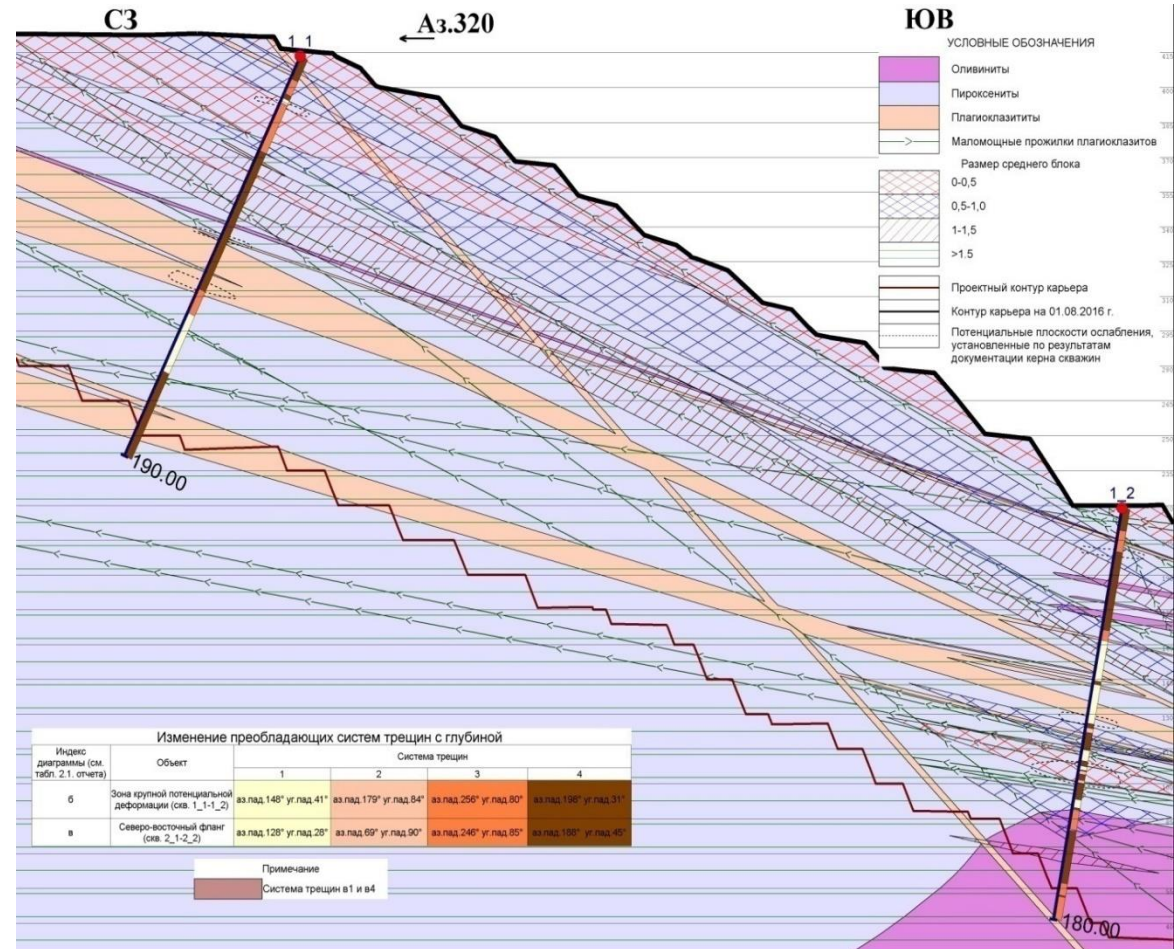


Сплошная документация уступов в масштабе 1:100

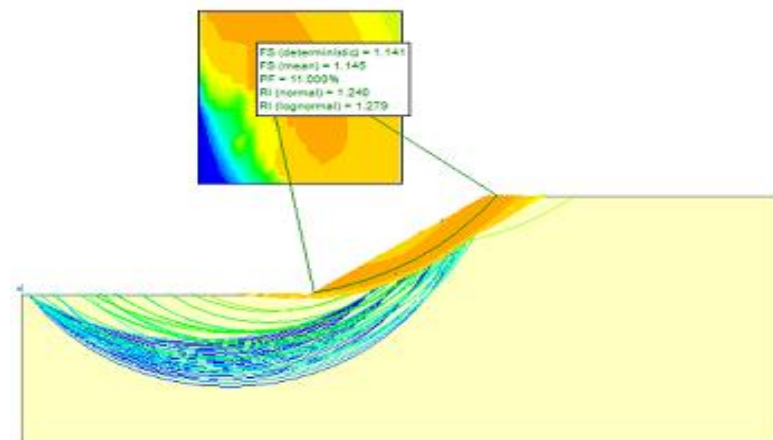
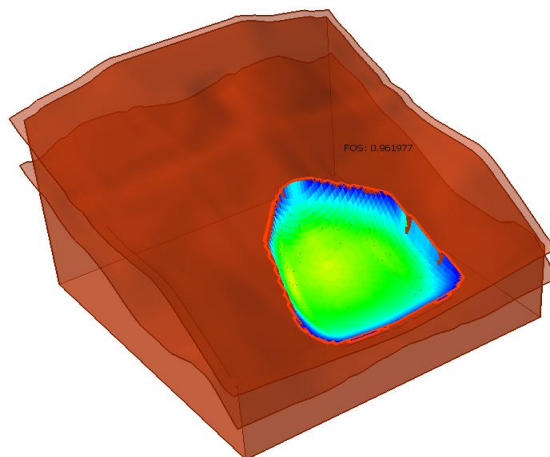
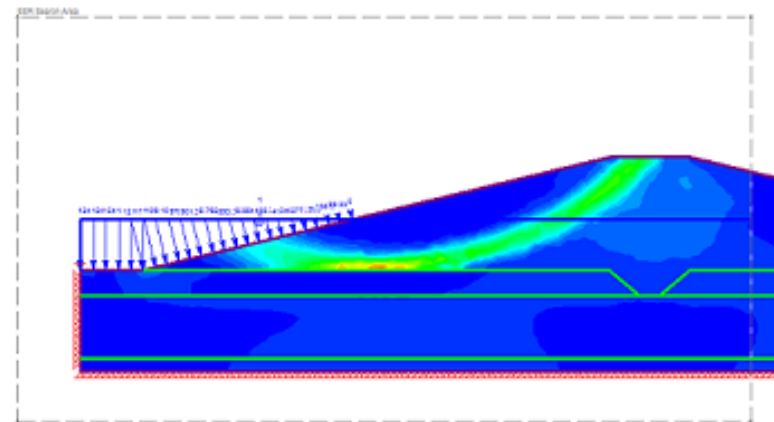
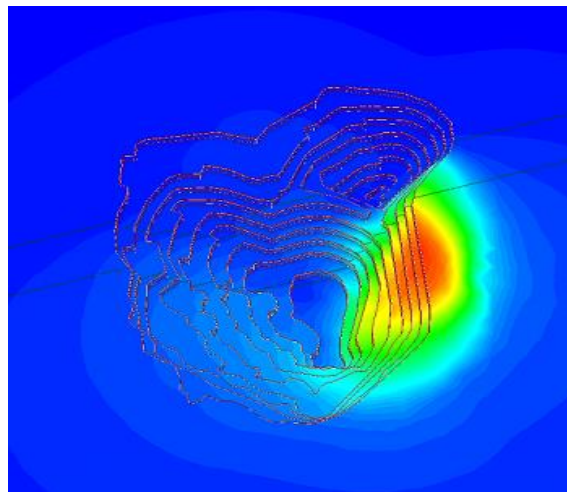


Пространственная увязка

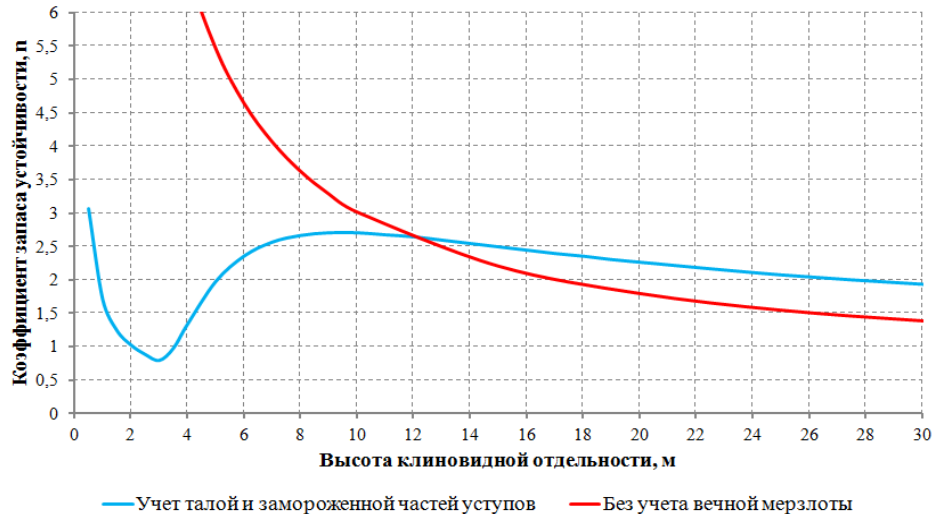
Результаты геолого-структурного картирования



**Учет в модели
структурных
особенностей и
действия
тектонических
сил в доменах
массива**



Учет влияния криолитозоны

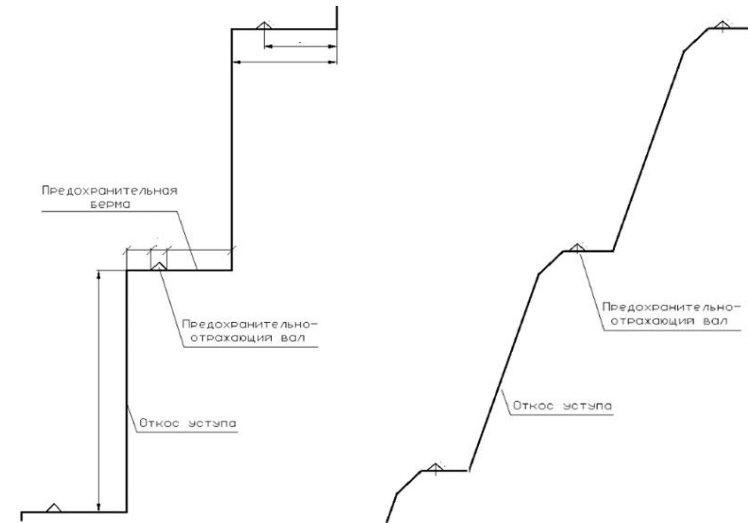


Учет сейсмического воздействия

$$n_c = \frac{\sum T_{y\partial} - Q \cdot \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \rho'}{T_{c\partial} + Q \cdot \cos \beta} \geq 1,02 - 1,05$$

$$Q = K_0 \cdot K_1 \cdot P \cdot k_c$$

Расчет осыпи и камнепада

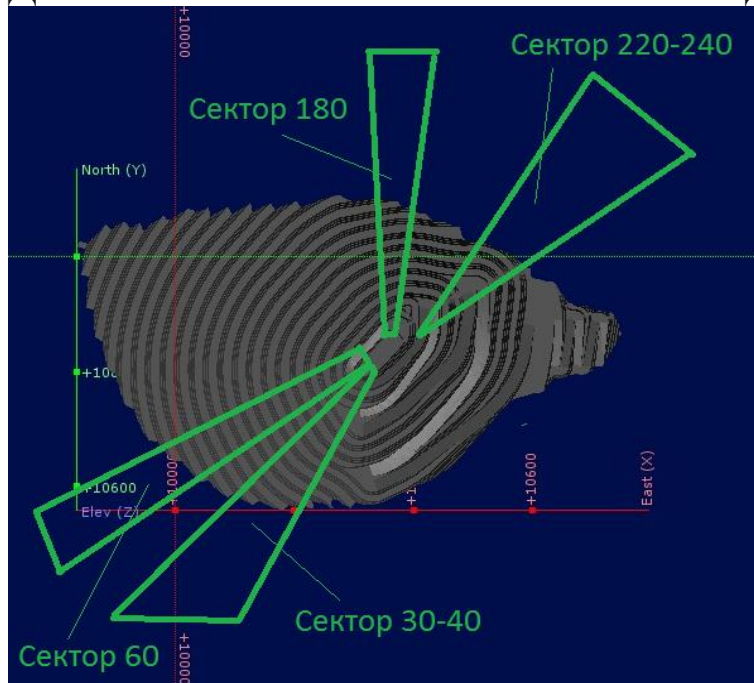


где:

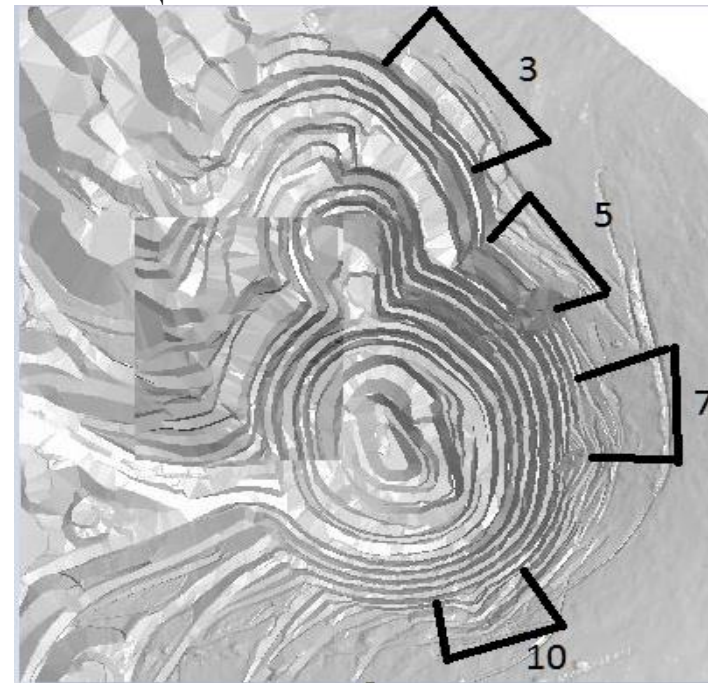
- K_0 - коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность (т.е. для карьеров принимают 1,5, для отвалов - 1,0);
- K_1 - коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений ($K_1=0.25$);
- P - нагрузка, вызывающая инерционную силу (вес призмы возможного обрушения), т;
- k_c - коэффициент сейсмичности, который представляет собой значения ускорения колебаний в долях g .

Конечный результат

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ УЧАСТКИ
ДЛЯ ПРОЯВЛЕНИЯ МАКРОДЕФОРМАЦИЙ

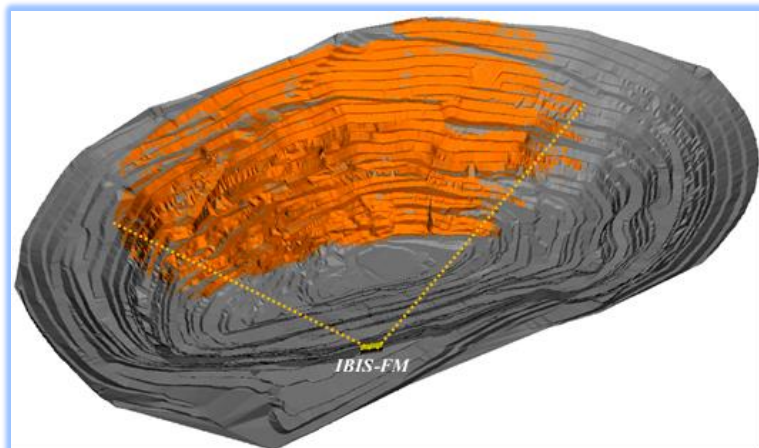


План потенциально опасных участков для проявления деформаций по модели опрокидывания (Toppling).



План потенциально опасных участков для проявления клиновидных деформаций (Wedge failure).

В ФНП будут учтены новые методы мониторинга и управления состоянием массива горных пород

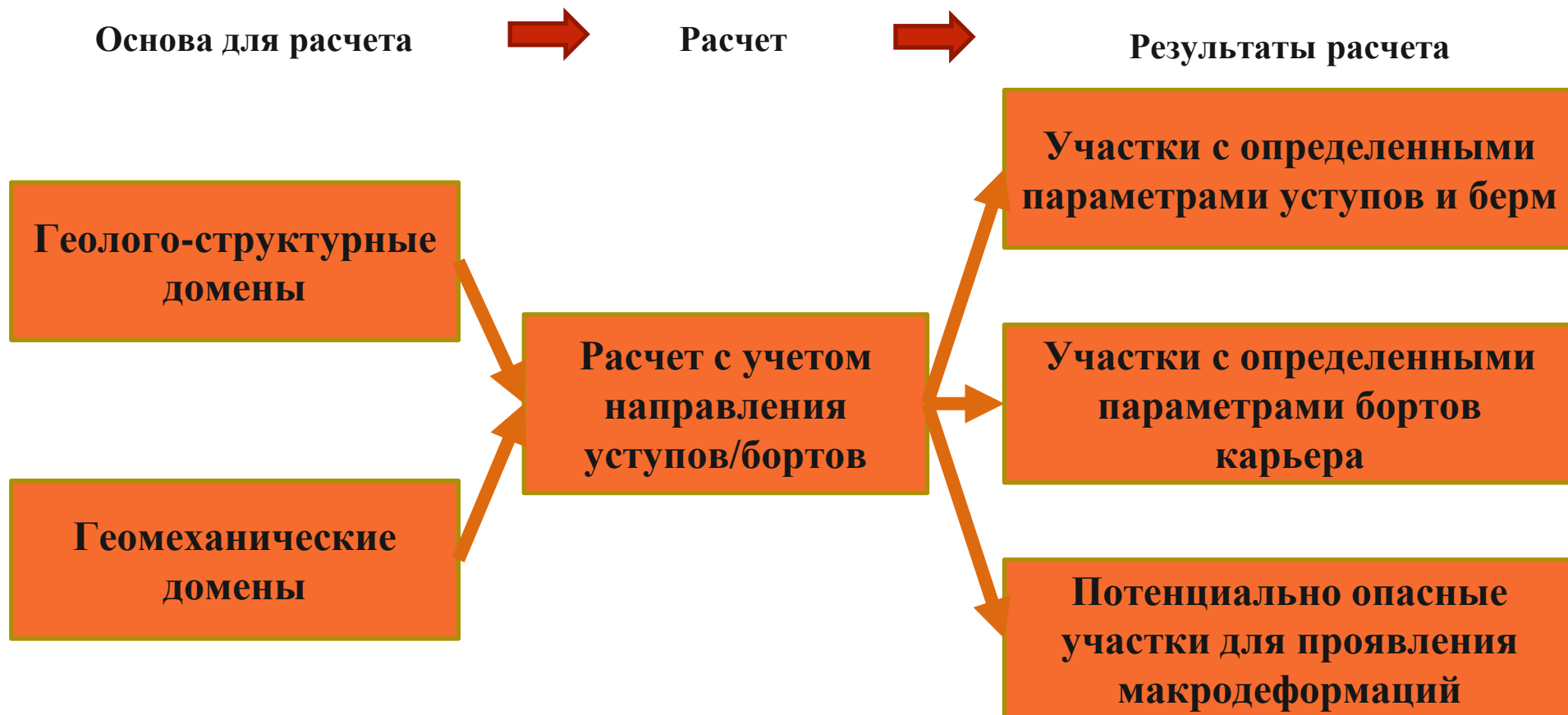


**РАДАРНЫЙ
МОНИТОРИНГ
УСТОЙЧИВОСТИ
БОРТОВ КАРЬЕРОВ**

Мониторинг устойчивости массива с применением цифровых технологий



Схема реализации



Способы управления устойчивостью

На первом этапе необходимо классифицировать и систематизировать существующие обрушения и определить их причины, собрать максимально полные сведения о геолого-структурных и инженерно-геологических условиях месторождения, минимизировать риски, связанные с человеческим фактором.

Второй этап – анализ имеющихся данных и проигрывание сценариев: что будет, если произойдет обрушение и какова вероятность этого. На данном этапе определяется допустимый уровень риска и анализируются последствия.

Третий этап – оценка риска развития деформаций и вероятности возникновения связанных с ними аварий

Четвертый этап – разработка программ и мероприятий по предотвращению или минимизации негативных последствий потенциальных обрушений, контроль исполнения решений.

Пятый этап – мониторинг и оценка состояния. Для контроля за устойчивостью бортов и уступов прибортового скального массива необходимо применять комплекс наблюдений, состоящий из визуальных и маркшейдерских наблюдений. Последние, в свою очередь, могут производиться как классическим способом (закладка наблюдательных станций), так и современным способом мониторинга, базирующимся на применении высокоточного лазерного сканера. Реализация данного блока позволяет понимать интенсивность и возможность развития деформаций, предотвратить потерю оборудования и персонала за счет оперативного информирования.

Заключение

Реализация требований новых ФНП на горных предприятиях Российской Федерации позволит расширить область применения открытых геотехнологий, оптимизировать параметры бортов и уступов карьеров и отвалов, повысить полноту освоения месторождений твердых полезных ископаемых открытым и комбинированным способами при обеспечении требуемого уровня безопасности горных работ, синхронизировать отечественные и мировые нормы проектного обоснования устойчивости откосов.

Информационное обеспечение ФНП

<http://opst.ипконран.рф/>

8-495-360-2913 | opst@ipkonran.ru

Проект Открытость и Устойчивость Open & Stability

Поиск...

Главная

О проекте

Состав

Проектная структура ФНП

Документы

Контакты



Действующая на настоящее время нормативная документация, регламентирующая порядок расчетов устойчивости бортов и уступов рудных карьеров при их постановке на предельный контур, была выпущена несколько десятилетий назад. При этом статус действующего документа имеют только «Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах», 1998 г., за пределами угольной промышленности их статус подвергается сомнениям.