

Управление горным давлением при системах с закладкой

Presenter: Александр Борисович Макаров, главный консультант по геомеханике CMT Consulting (Russia) Ltd

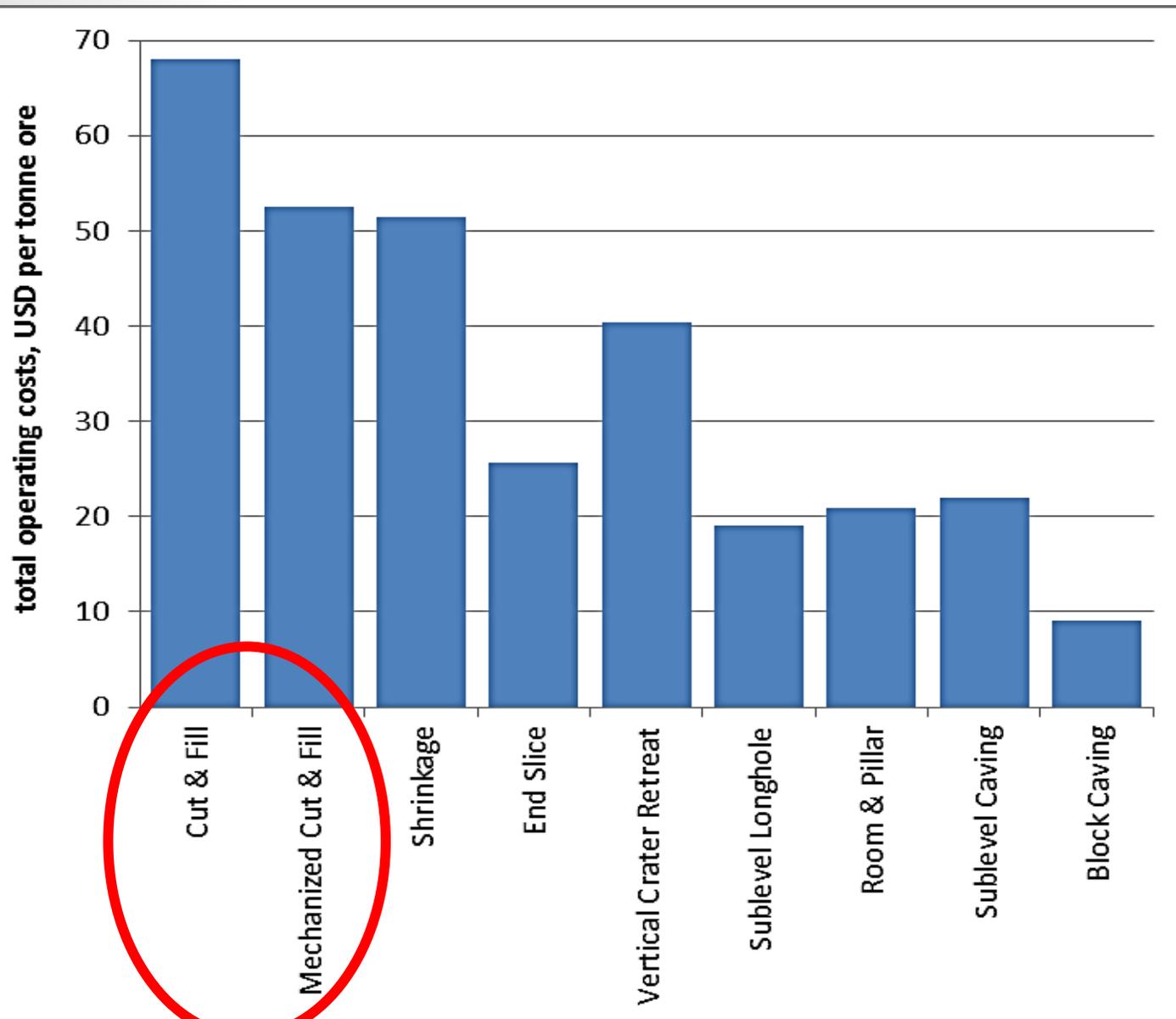
Location: Moscow, 2024

Условия применения систем разработки с закладкой по ПТЭ:

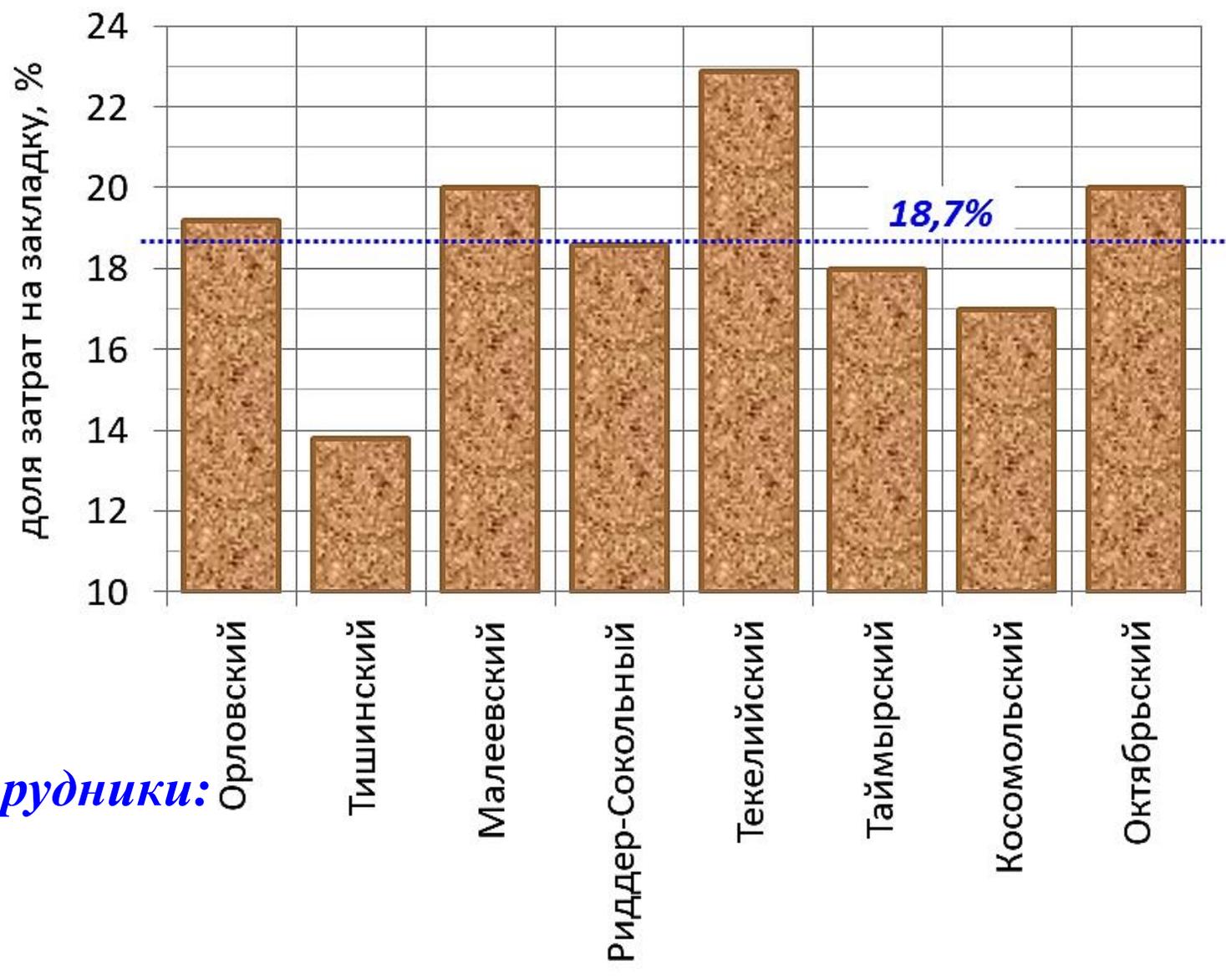
- *руды – средней устойчивости и выше;*
- *породы - средней устойчивости, требующие искусственного поддержания;*
- *высокая ценность руды;*
- *опасность горных ударов на больших глубинах;*
- *опасность самовозгорания руды;*
- *охрана водоносных горизонтов и сооружений на земной поверхности от вредного влияния горных работ*

Основные технологические схемы:

- *камерно-целиковая система;*
- *сплошная камерная система;*
- *система горизонтальных слоев в восходящем и нисходящем порядке;*
- *AVOCA Mining.*



Системы с закладкой → самая высокая себестоимость добычи руды из-за затрат на закладку выработанного пространства



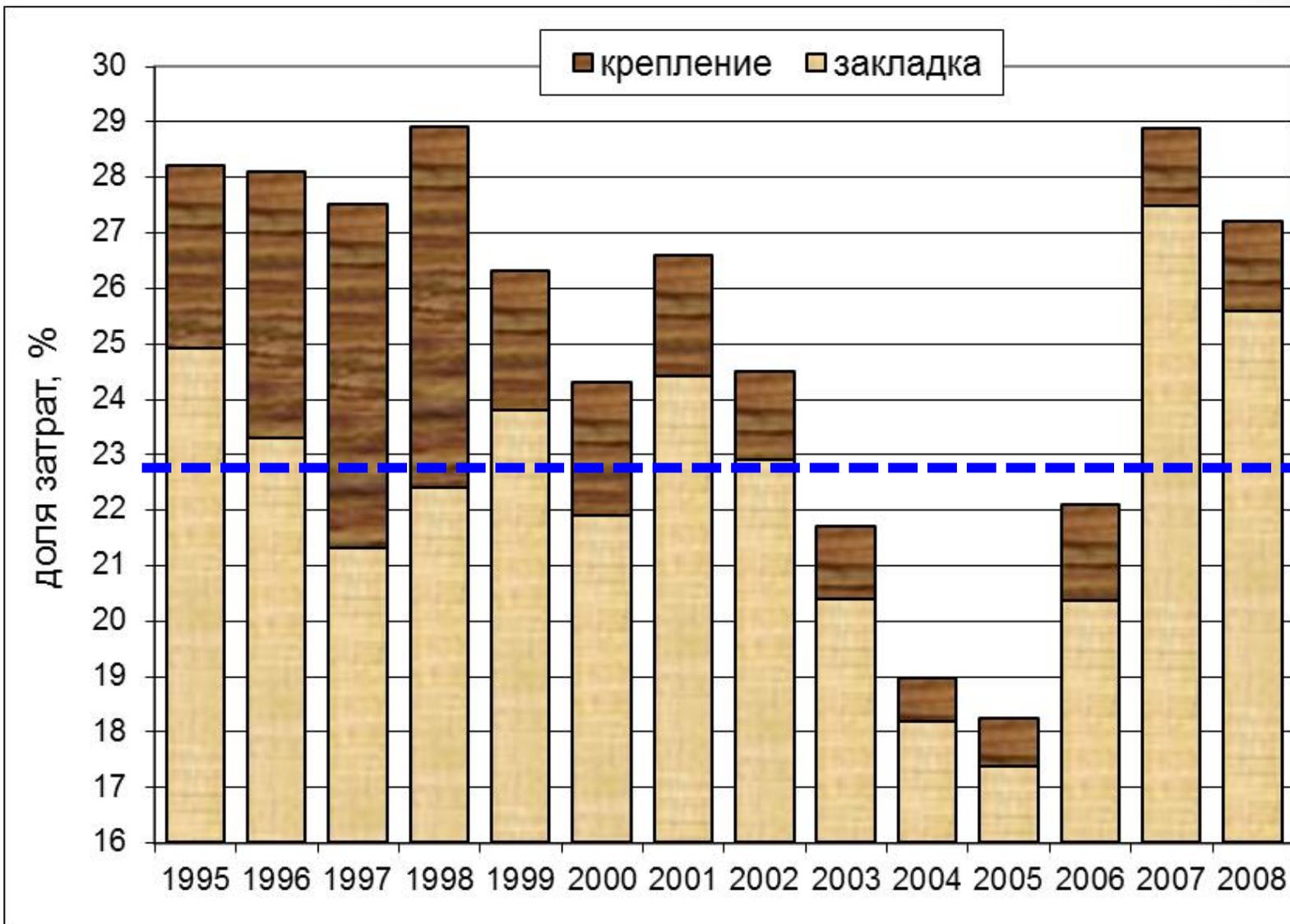
Системы с закладкой → самая высокая себестоимость добычи руды из-за затрат на закладку выработанного пространства

Затраты на управление горным давлением = (крепь + закладка) в себестоимости добычи руды

Орловский рудник

применяемые системы разработки с закладкой:

- *горизонтальными слоями в нисходящем порядке*
- *подэтажно-камерная*



ПТЭ:

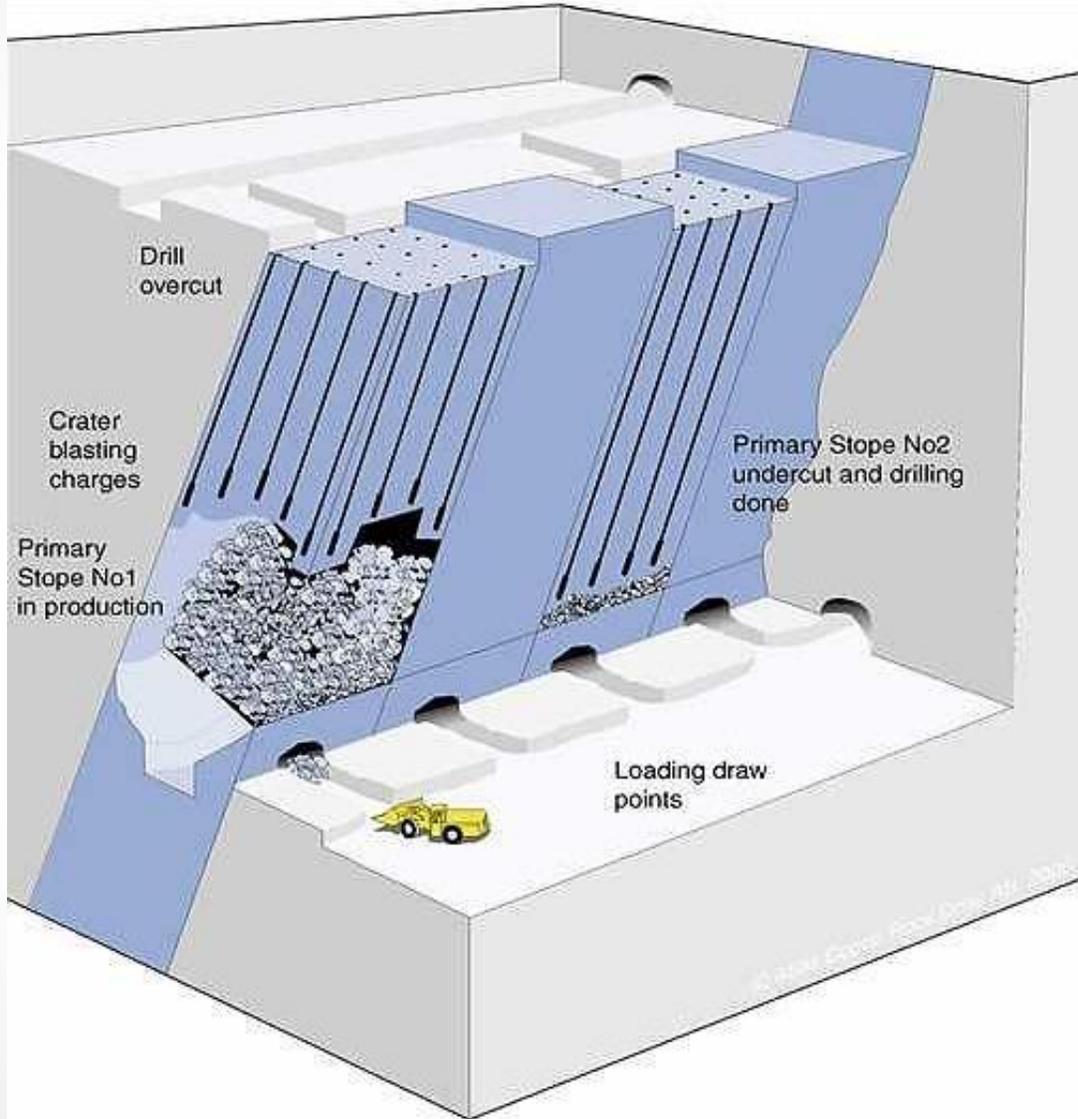
Система с камерной выемкой руды и закладкой

§ 227. Систему с камерной выемкой руды и последующей закладкой выработанного пространства рекомендуется применять для сплошной отработки рудных тел средней и выше средней мощности с любым углом падения при рудах и вмещающих породах, обеспечивающих устойчивость камер в период очистной выемки и закладки...

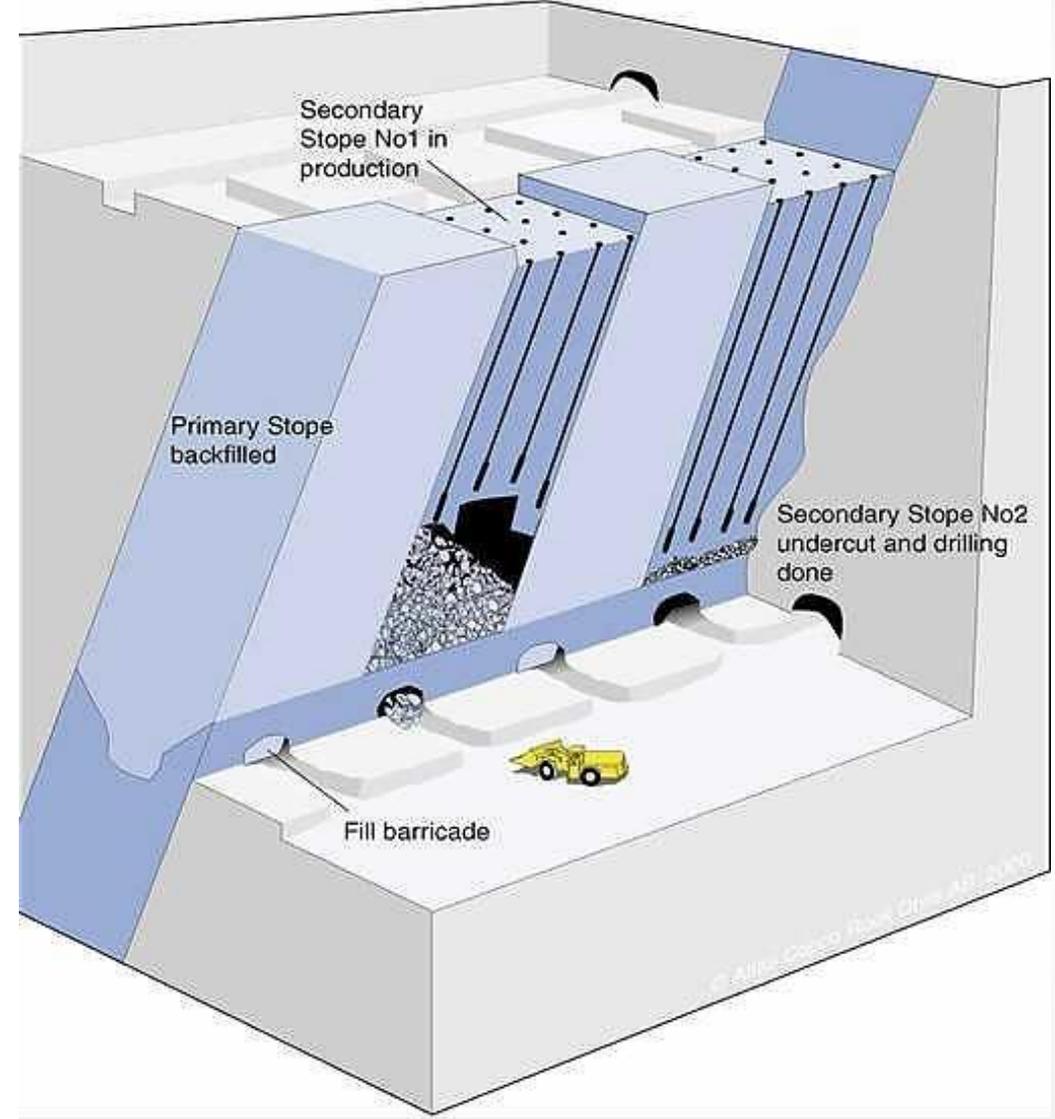
§ 228. Блок вынимать несколькими камерами в определенной последовательности, обеспечивающей полноту выемки руды и сохранность массива налегающих пород. Количество камер в блоке, их параметры, последовательность отработки и закладки определяются проектом в зависимости от конкретных горнотехнических условий.

§ 229. В зависимости от устойчивости руд и вмещающих пород очистную выемку в камерах вести одной из систем с открытым выработанным пространством или с магазинированием руды.

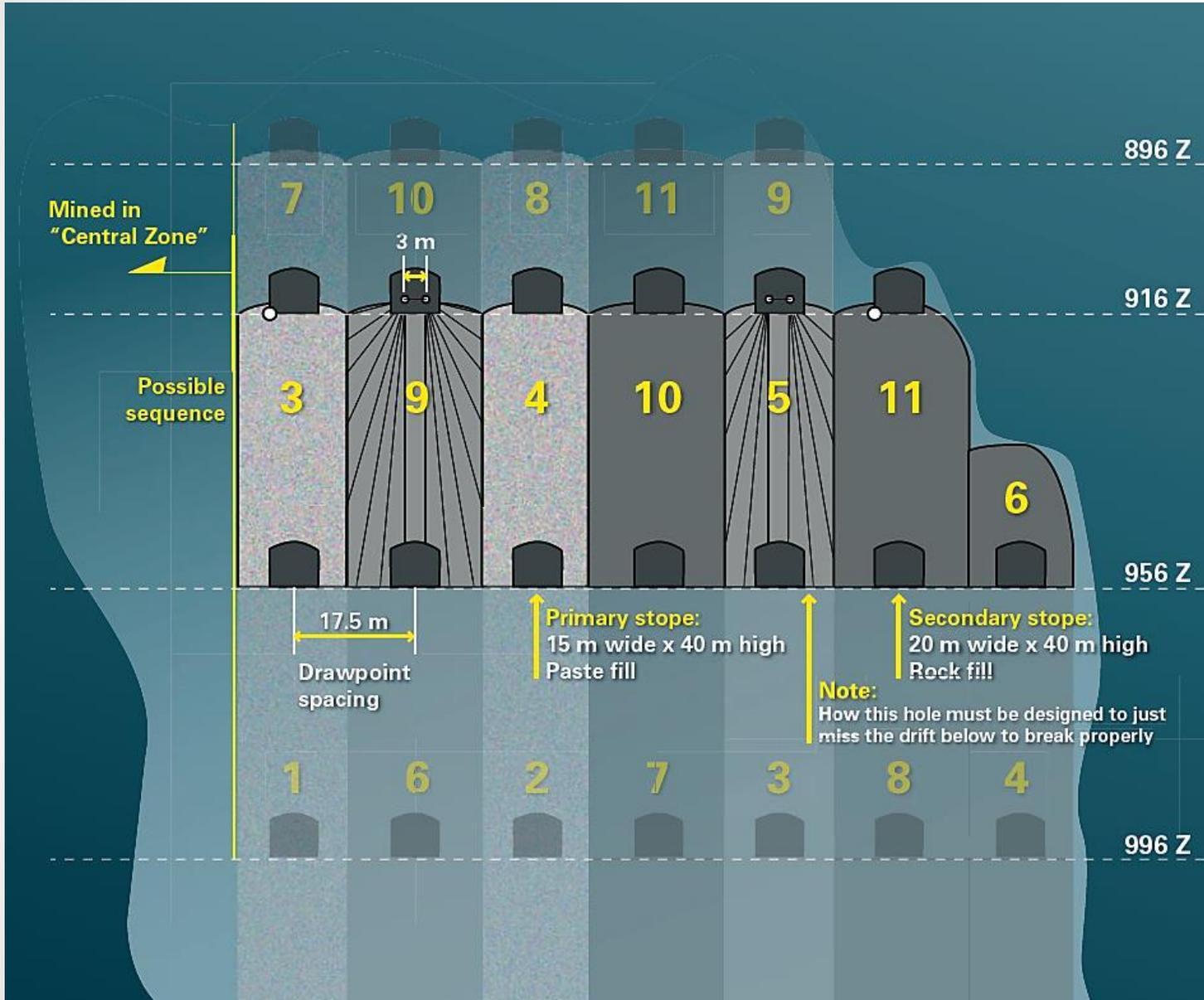
● *отработка первичных камер*

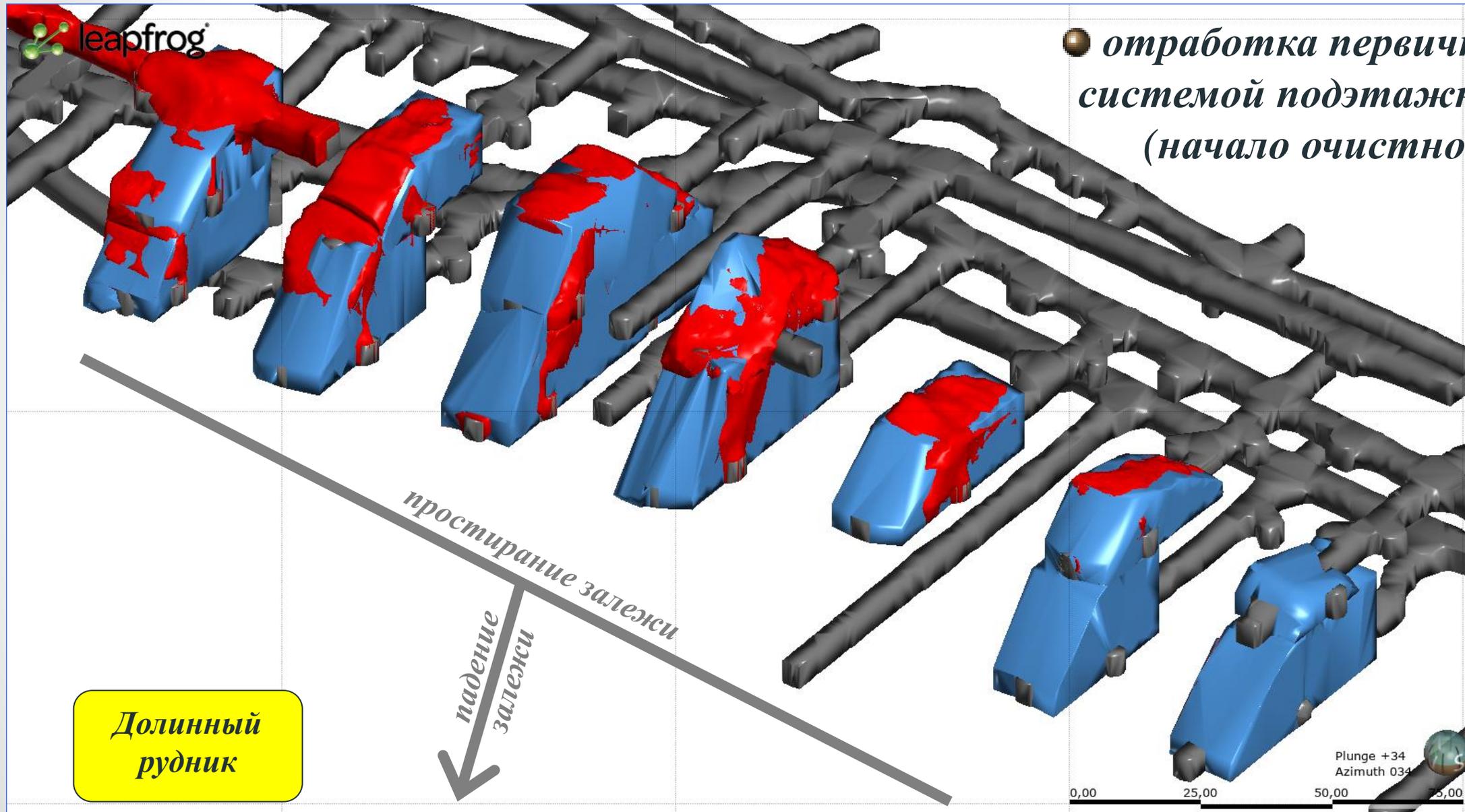


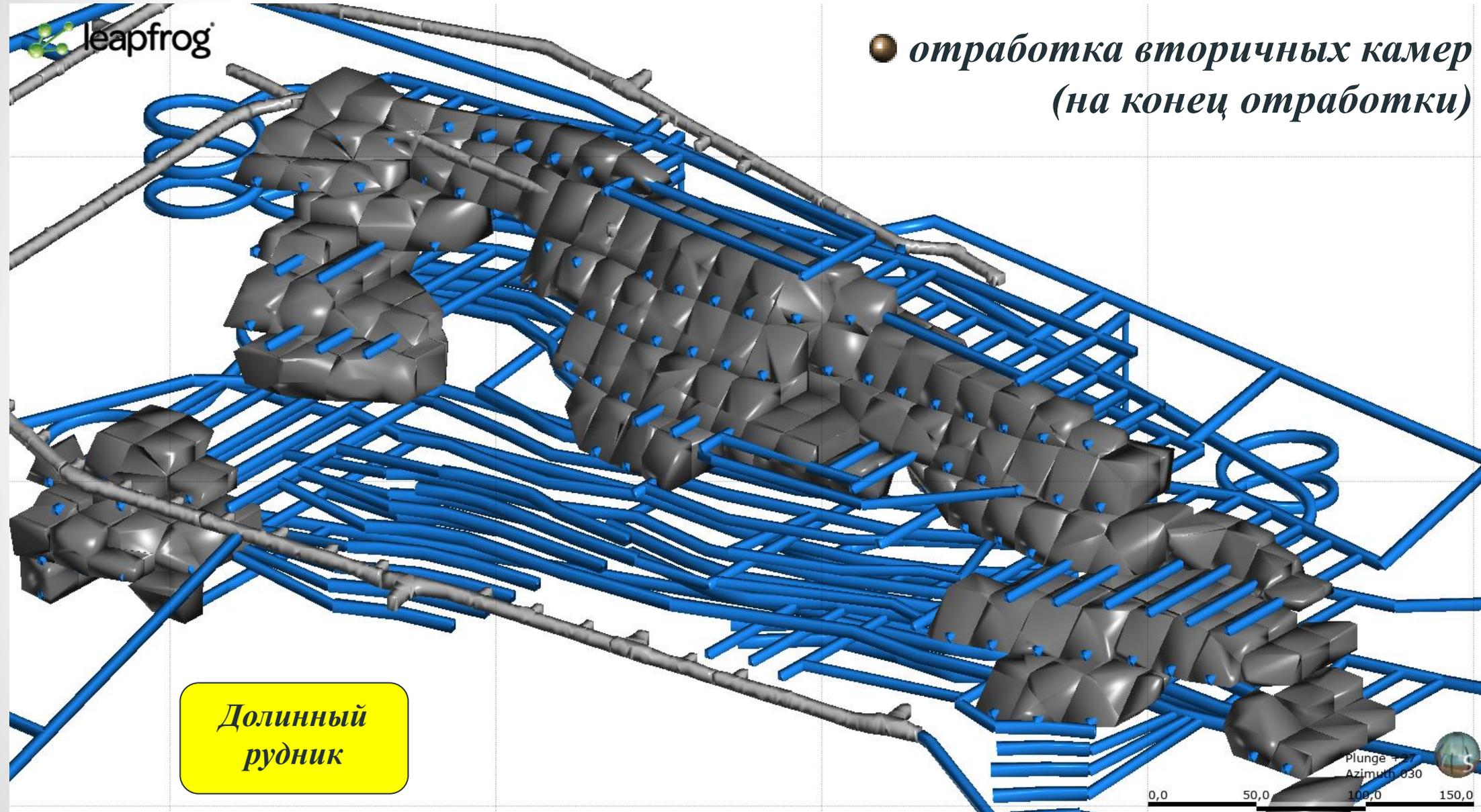
● *отработка вторичных камер*



GARPENBERG, SWEDEN

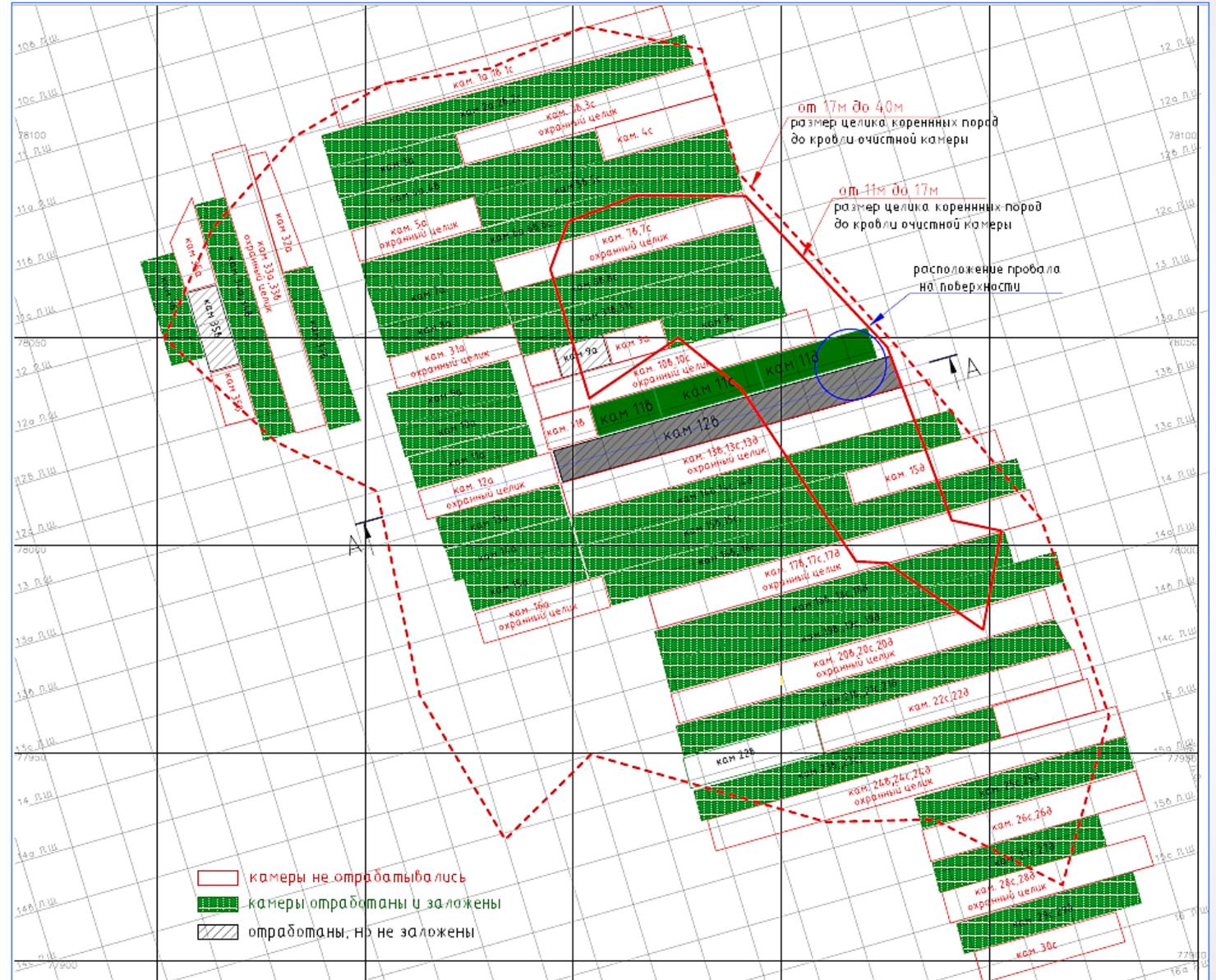






PCP

**Быструшинская залежь
Блок 30**



● *определение параметров камер*

это отдельная тема

Оценка устойчивости камер и целиков

Presenter: Александр Борисович Макаров, главный консультант по геомеханике SRK Consulting (Russia) Ltd

Location: Moscow, 2022

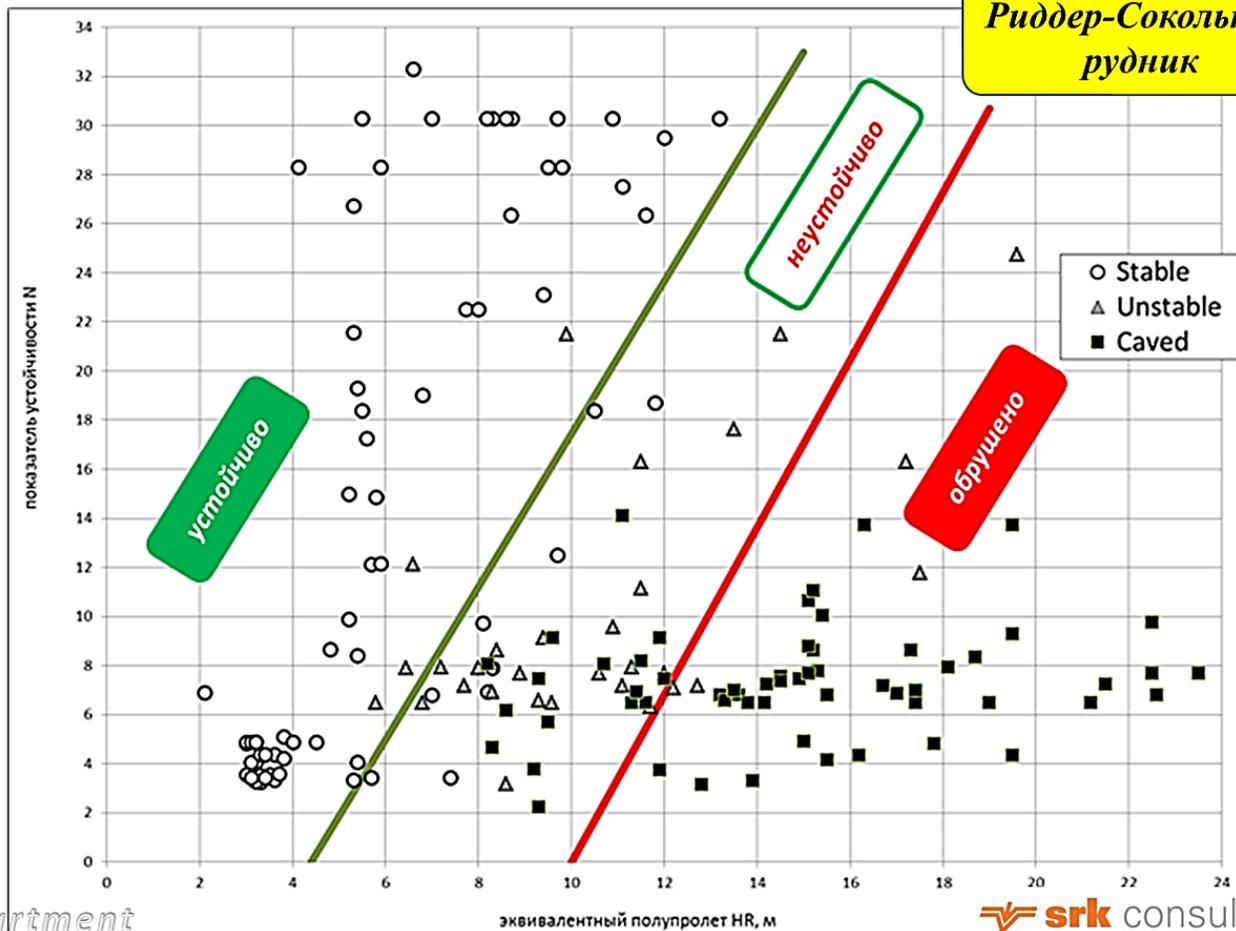
 **srk** consulting

© SRK Consulting (Russia) Ltd 2020. All rights reserved.

● определение параметров камер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ И ОБРУШЕНИЯ КАМЕР ПО МЕТОДИКЕ МЭТЬЮЗА

Количество камер: устойчивых = 70;
неустойчивых = 32; обрушенных = 60
всего = 161



GT Department

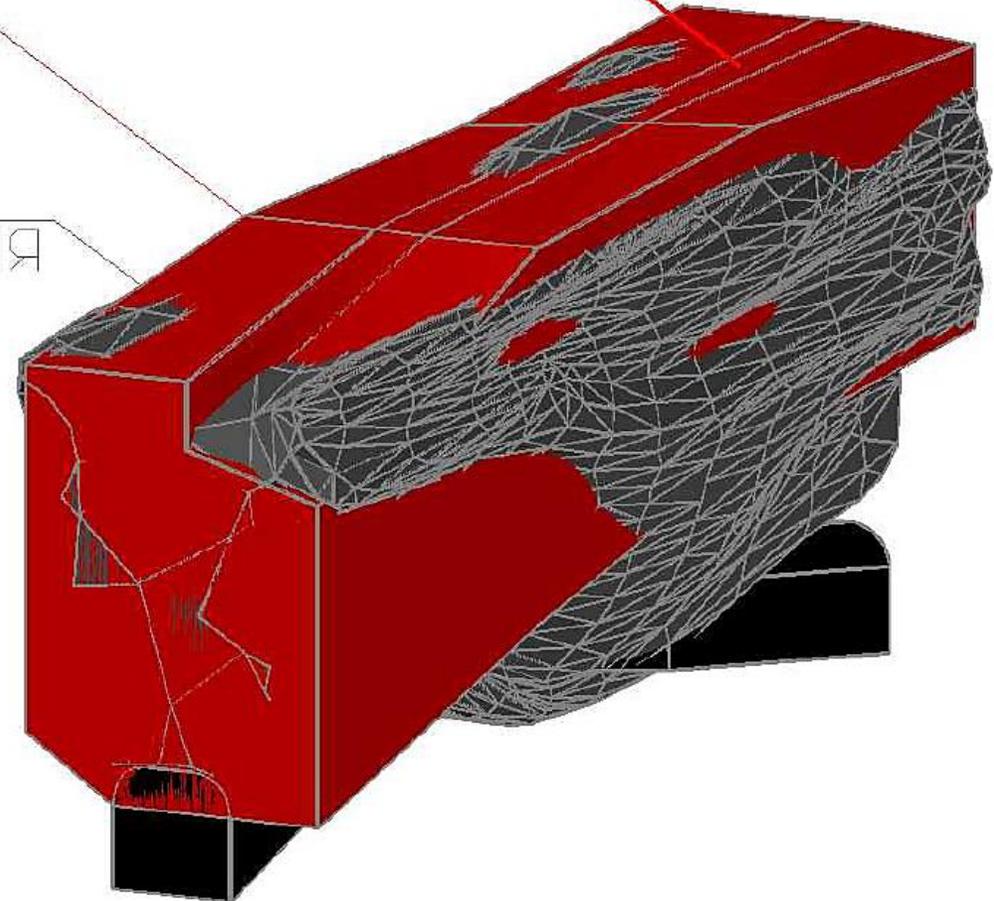
srk consulting

*Маркшейдерский контроль
размеров камер → CMS*

ПРОЕКТНЫЙ
КОНТУР

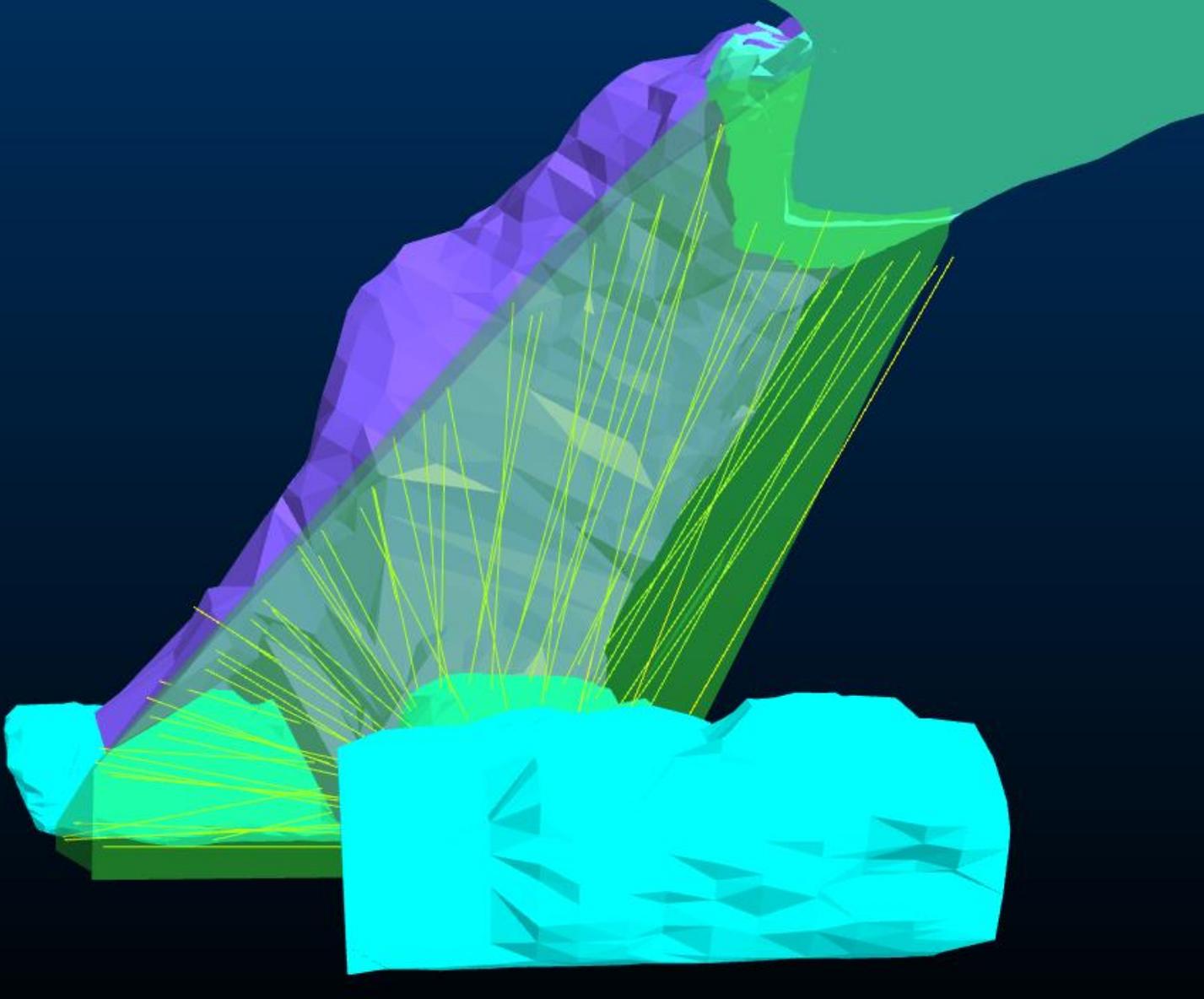
РЕЗУЛЬТАТ
СКАНИРОВАНИЯ

Камера 31с



*кровля = устойчива
борта = перебор*

*Маркшейдерский контроль
устойчивости камер → CMS
(Cavity Monitoring System)*

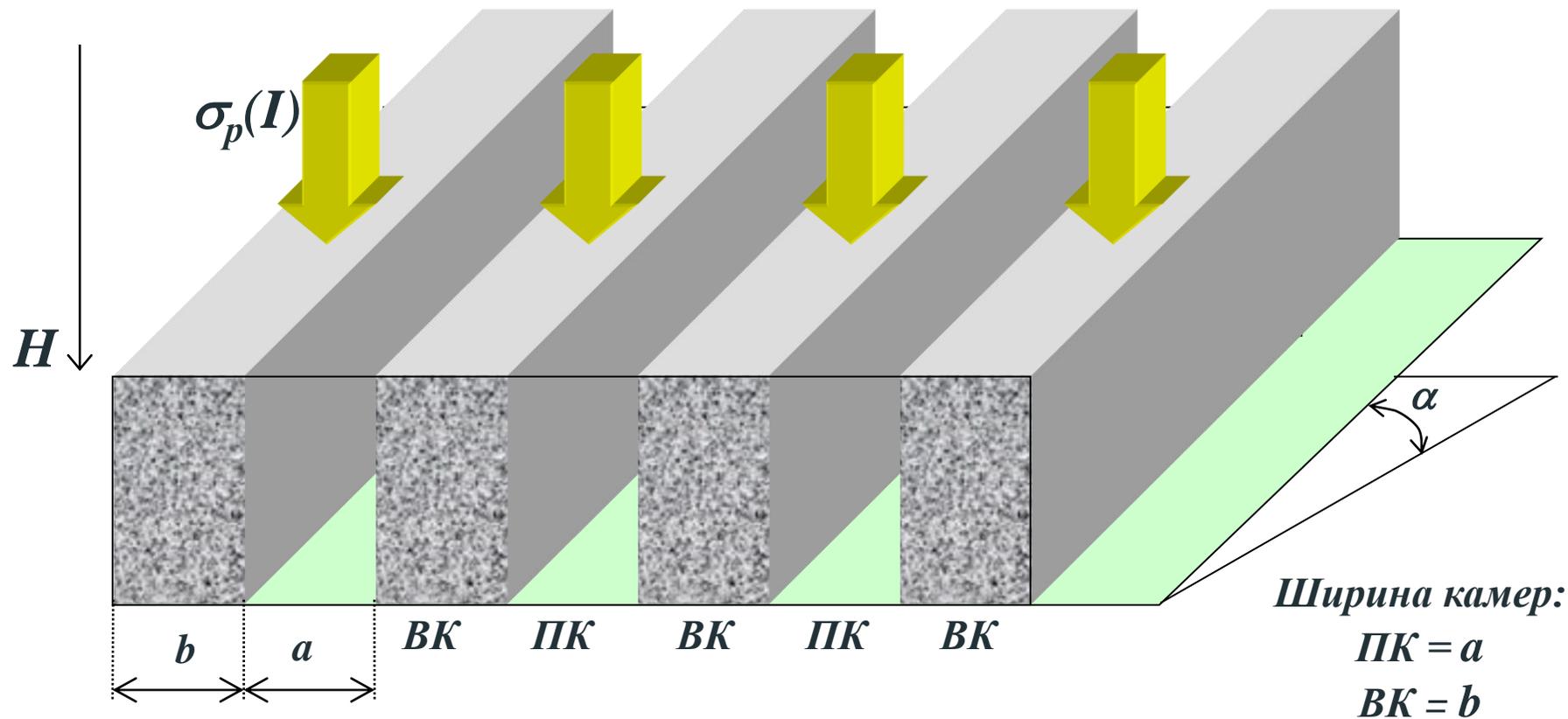


*висячий бок камеры
обрушается*

Нагрузки на целики при выемке камер в 2 очереди:

● **стадия обработки первичных камер (ПК)**

$\sigma_p(I)$ – действующие напряжения в рудных целиках (р) на стадии обработки ПК (I) на глубине H



● **Давление на рудные целики (p) после выемки ПК (I):**

$$\sigma_p(I) = \gamma H \cdot (\underbrace{\cos^2 \alpha + \lambda \cdot \sin^2 \alpha}_{\text{коэффициент}}) \cdot (a + b) / b$$

Если $a = b$ и $\alpha = 0^\circ$, тогда: $\sigma_p(I) = 2\gamma H$

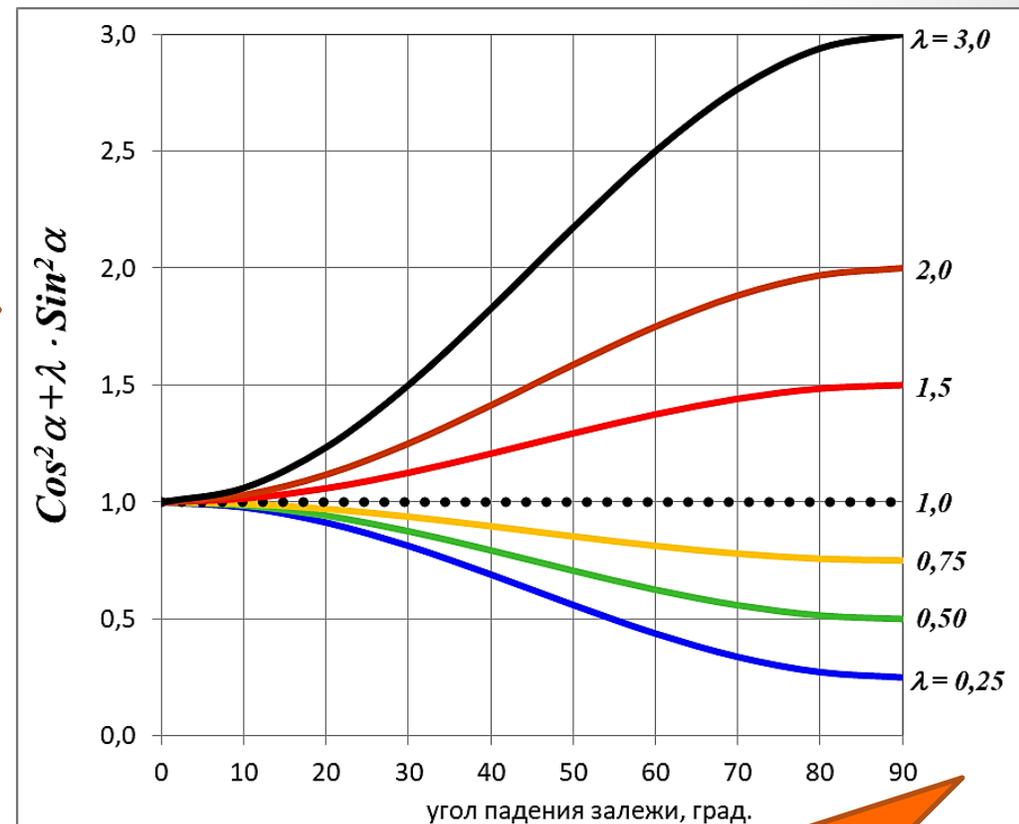
Если $a = b$ и $\alpha = 90^\circ$, тогда: $\sigma_p(I) = 2\lambda\gamma H$

На горизонтальных залежах давление на рудные целики (ВК) формируется вертикальным давлением γH ;

При вертикальном залегании - горизонтальным давлением $\lambda\gamma H$ вкрест простирания залежей.

● **Давление вмещающих пород на закладку в ПК:**

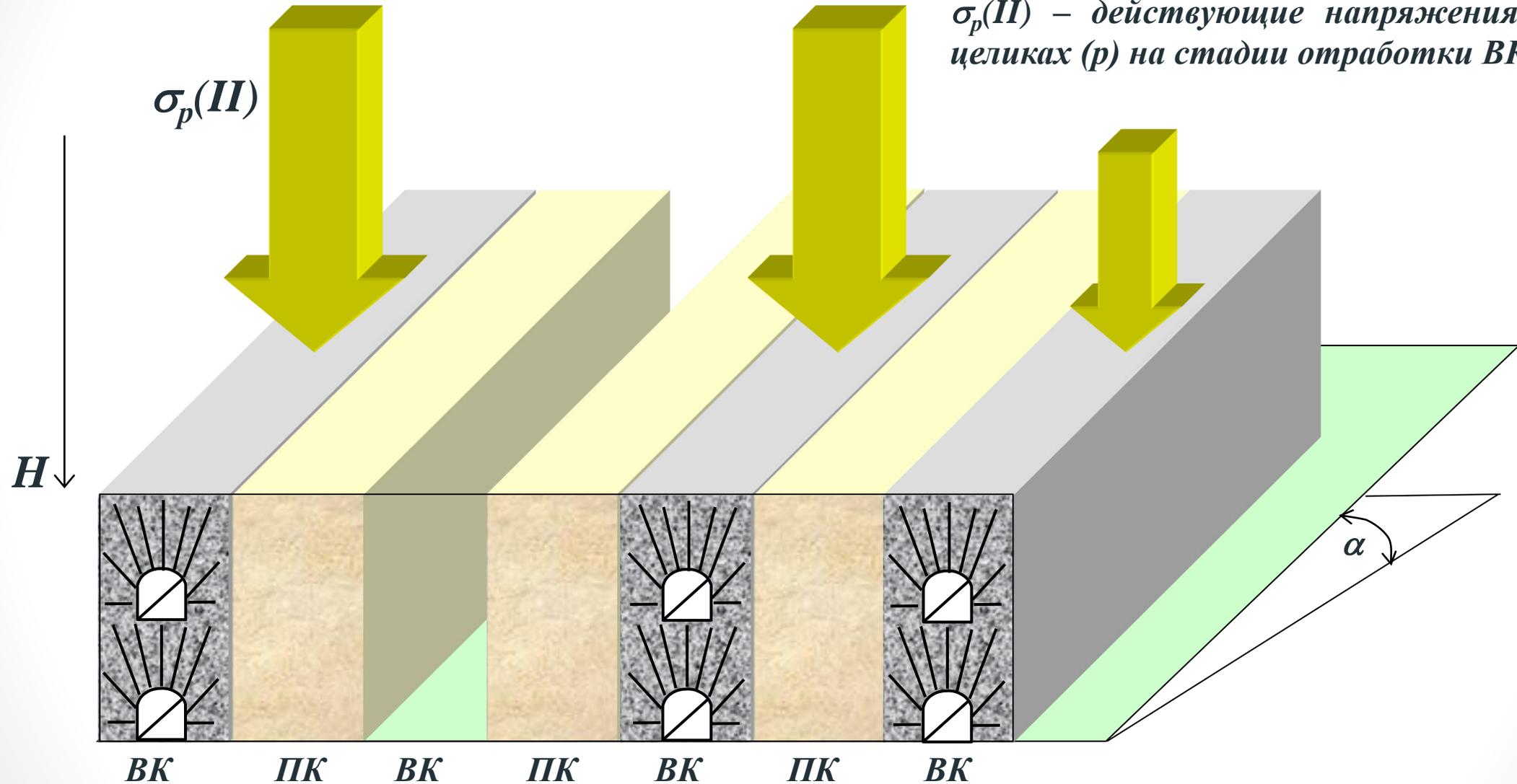
$\sigma_3(I) \sim 0$ из-за усадки закладки, недозакладки камер



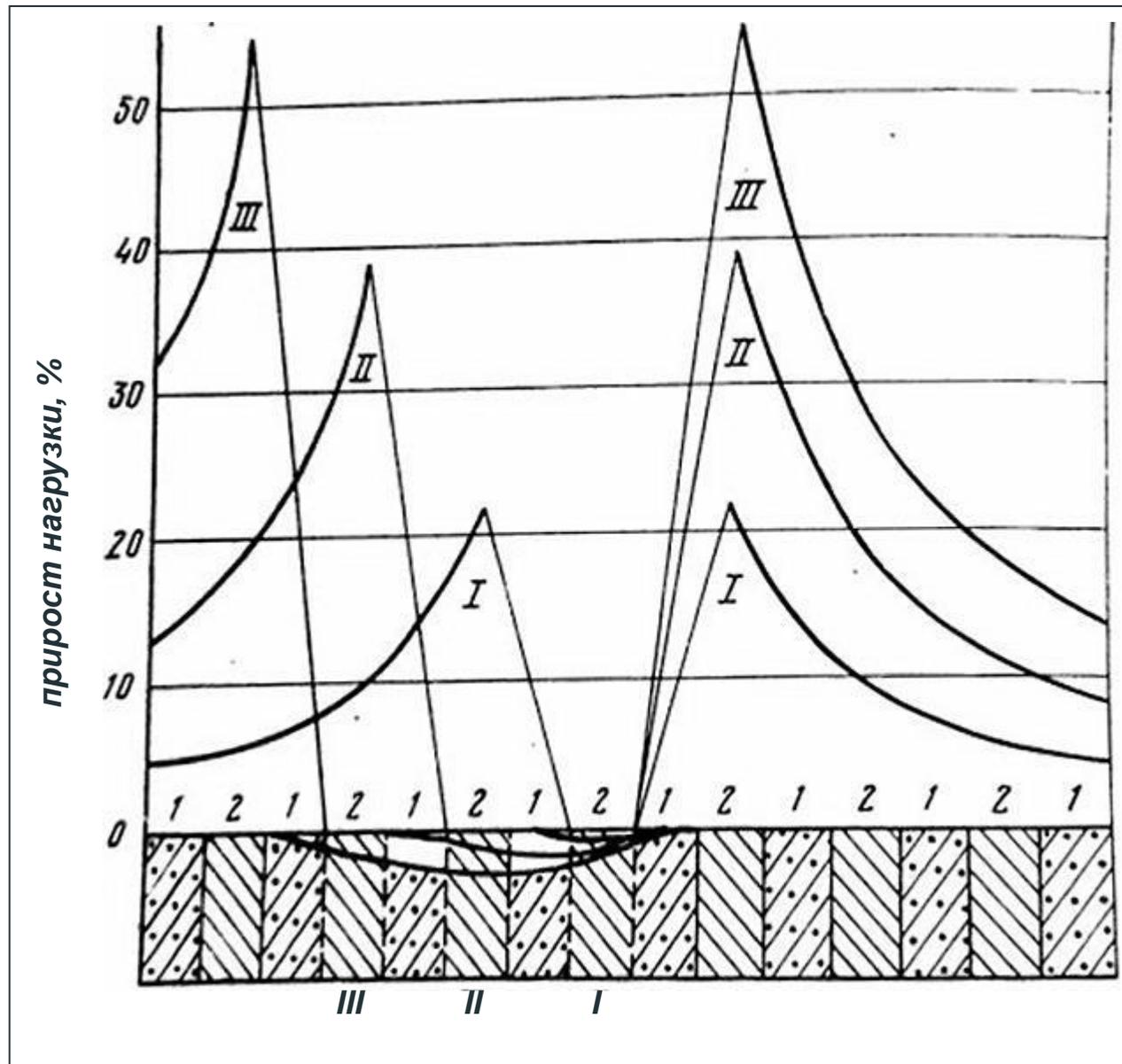
поэтому крайне важно знать характер природного напряженного состояния массива

● *стадия обработки вторичных камер (ВК)*

$\sigma_p(II)$ – действующие напряжения в рудных целиках (р) на стадии обработки ВК (II)



● **стадия обработки вторичных камер (ВК)**

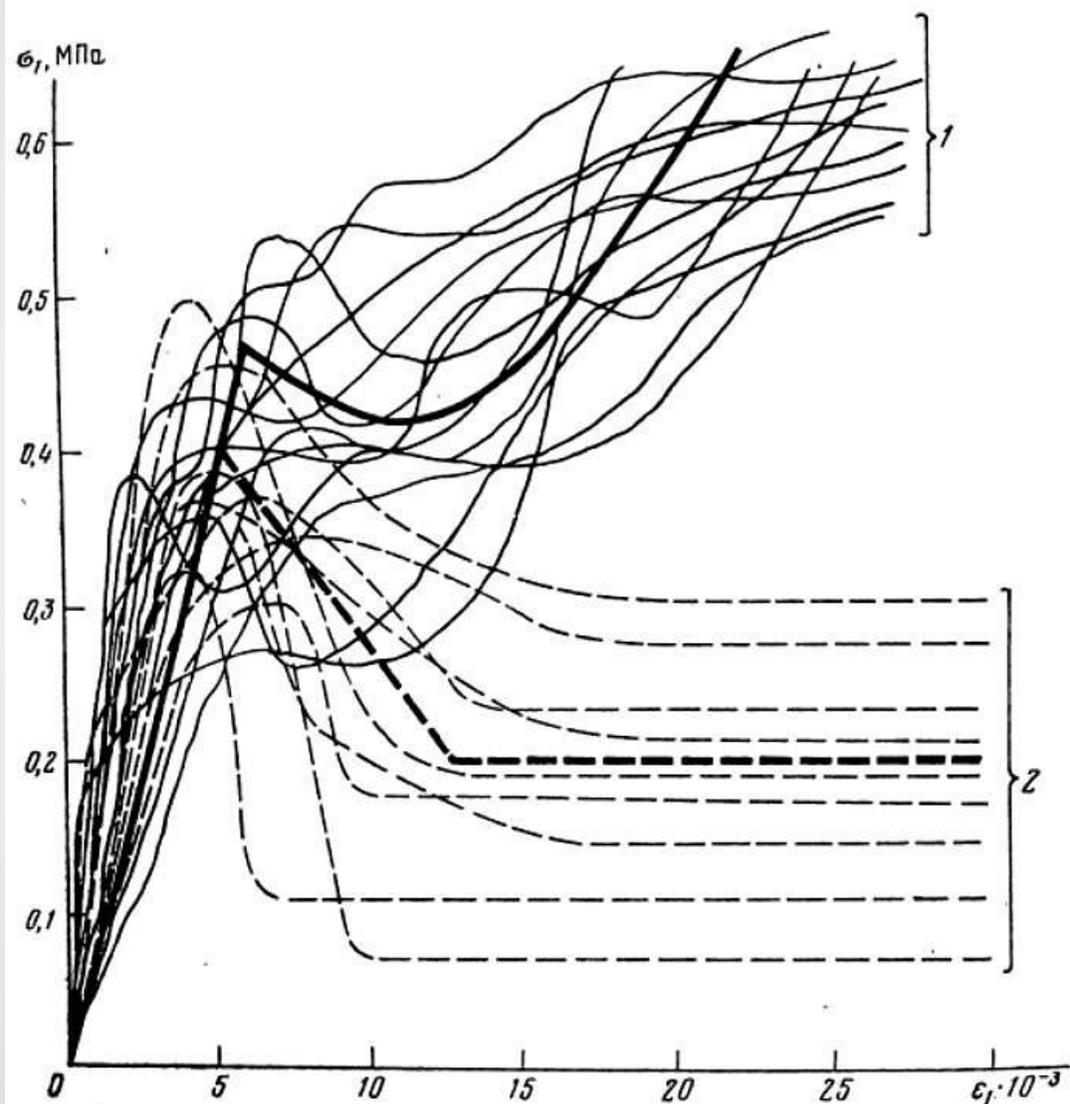


I, II, III = обработаны одна, две, три ВК

*1, 2 = ПК, ВК
I, II, III – стадии обработки ВК*

при обработке ВК давление с обработанных рудных целиков перераспределяется на оставшиеся

Упрочнение целиков закладкой



по результатам моделирования на эквивалентных материалах очень разное ($K_y = 1,1 \div 3,6$) и зависит от:

- соотношения свойств закладки и руды (чем ближе свойства закладки к руде, тем больше упрочнение);
- высоты целиков (чем выше целик, тем больше упрочнение);
- ширины заложённых камер (чем шире массив закладки, тем меньше упрочнение)

| продольная деформация $\varepsilon_1 \cdot 10^{-3}$ | сопротивление σ_1 , кПа / коэффициент вариации, % | | коэффициент упрочнения |
|---|--|------------------|------------------------|
| | в закладке (2) | без закладки (1) | |
| 5,00* | 472 / 20 | 408 / 16 | 1,16** |
| 10,0 | 401 / 19 | 222 / 36 | 1,81 |
| 12,5 | 420 / 16 | 216 / 35 | 1,94 |
| 18,8 | 486 / 17 | 213 / 39 | 2,28 |
| 25,0 | 514 / 12 | 213 / 39 | 2,41 |

Макаров А., 1982

* в предельном состоянии

** статистически незначимо

статистически значимое упрочнение целиков закладкой появляется только на стадии их разрушения

- *Давление на оставшиеся рудные целики (ВК) в процессе выемки ВК:*

$$\sigma_p(II) = \sigma_p(I) \cdot K_k / K_o$$

где $K_k \sim 1,3 \div 1,5$ – коэффициент концентрации опорного давления;

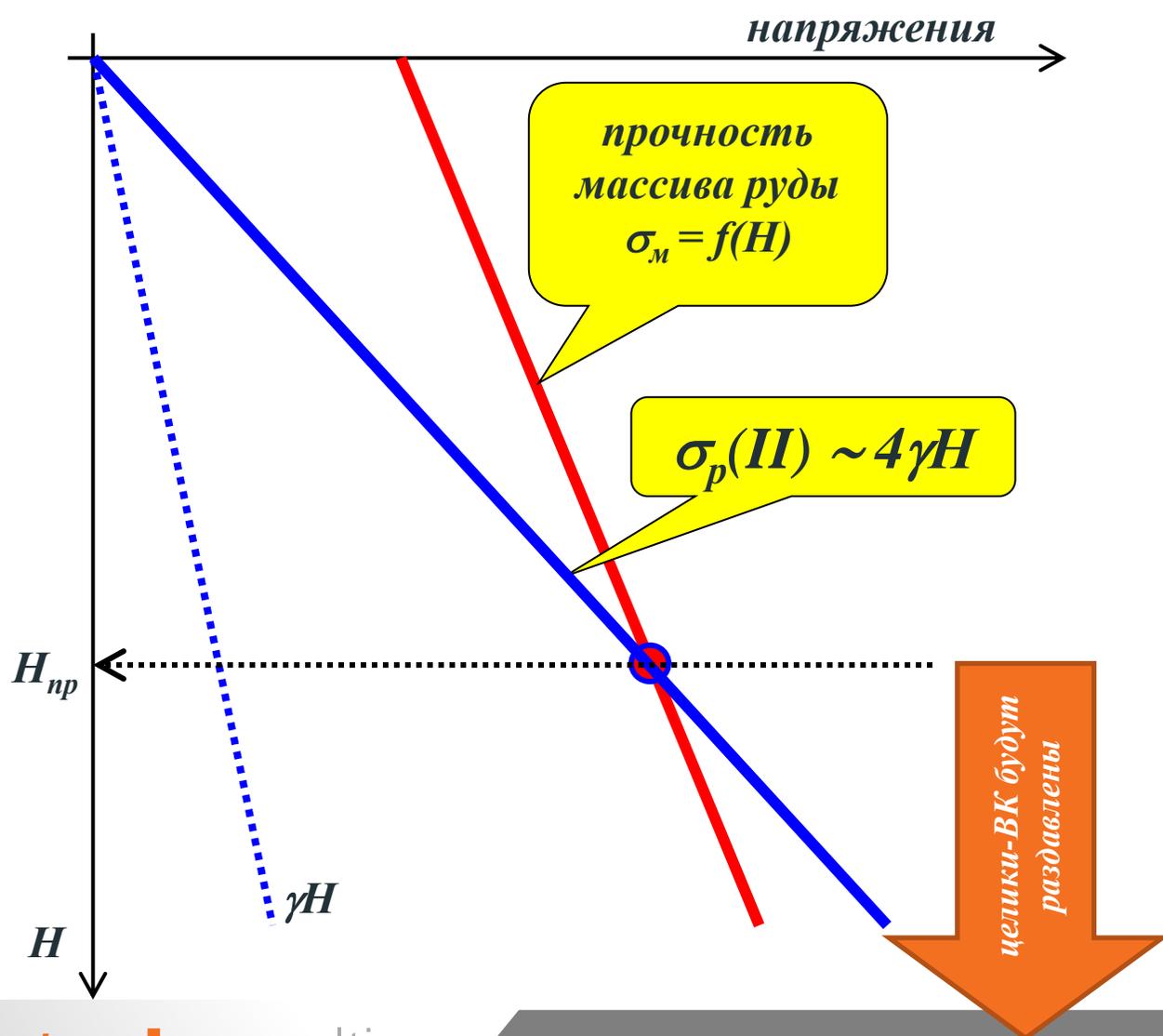
$K_o = 0,6 \div 0,7$ – коэффициент ослабления целика нарезными выработками

$$\sigma_p(II) \sim 2 \sigma_p(I)$$

- *на горизонтальных залежах: $\sigma_p(II) \sim 4\gamma H$*
- *на вертикальных залежах: $\sigma_p(II) \sim 4\lambda\gamma H$*

*на стадии отработки ВК
действующие напряжения
в оставшихся рудных
целиках
УДВАИВАЮТСЯ !!!*

● *Предельная глубина применения камерно-целиковых систем разработки*



Жезказган:
 $H_{пр} \sim 400 \text{ м}$

Норильск:
 $H_{пр} \sim 200 \text{ м}$

Гайский ГОК:
 $H_{пр} \sim 750 \text{ м}$

Тишинский рудник:
 $H_{пр} = 600 \text{ м}$

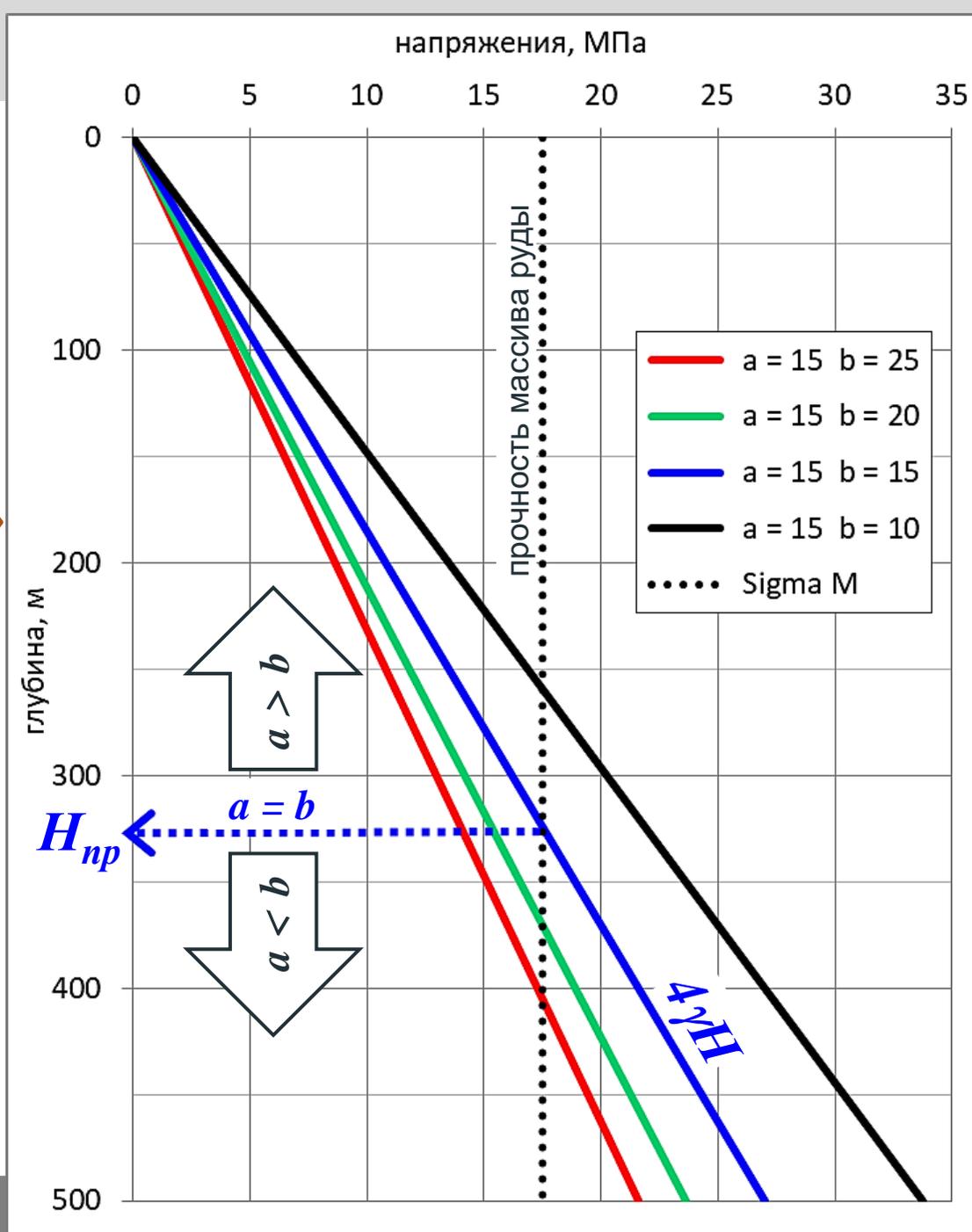
Глубже предельной глубины необходимо переходить на сплошную камерную систему разработки с закладкой



Давление на рудные целики (p) после выемки ПК (I):

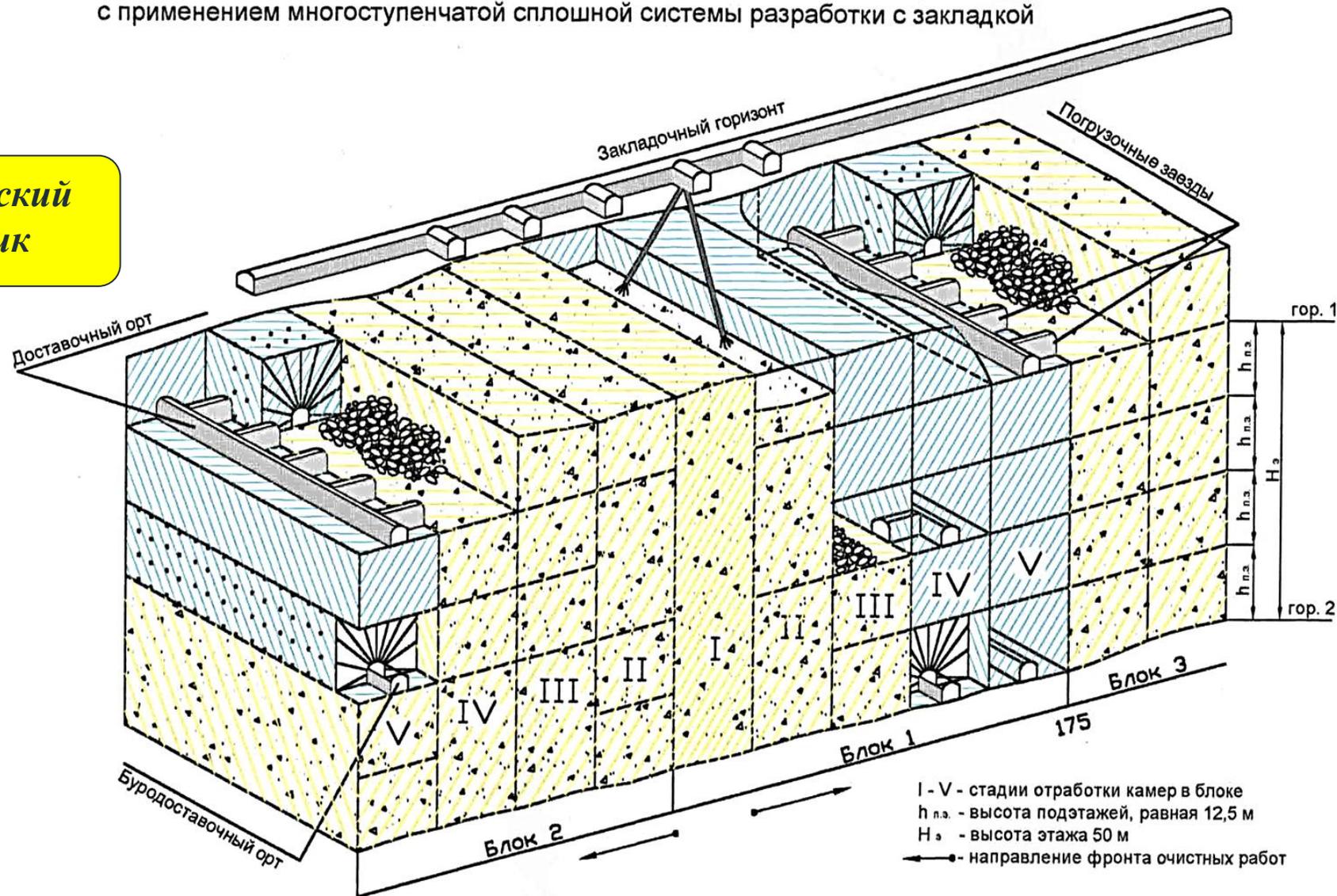
$$\sigma_p(I) = \gamma H \cdot (\cos^2 \alpha + \lambda \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \underbrace{(a + b) / b}$$

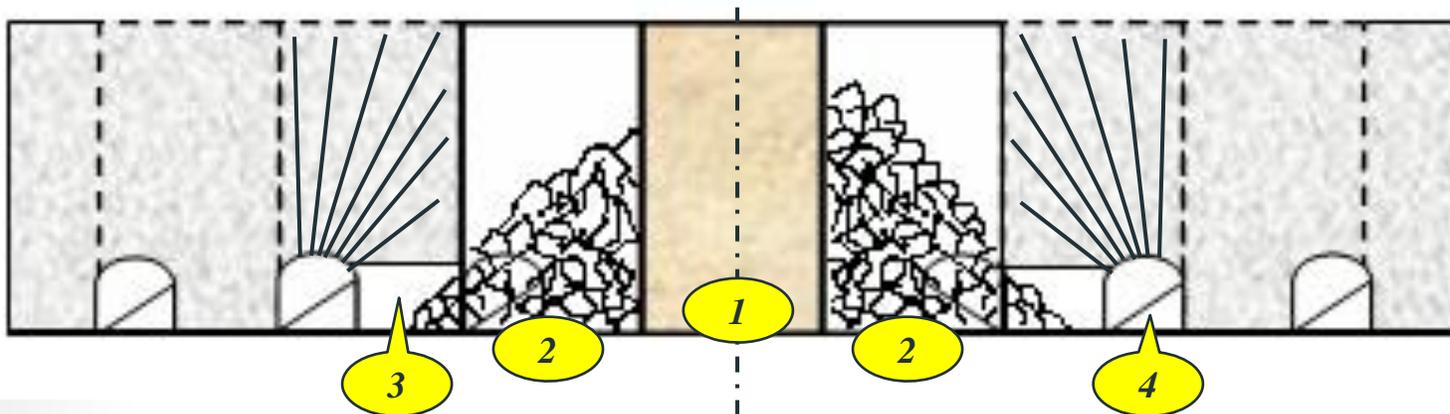
| a | b | a/b | (a+b)/b |
|----|----|------|---------|
| 15 | 25 | 0,60 | 1,60 |
| 15 | 20 | 0,75 | 1,75 |
| 15 | 15 | 1,00 | 2,00 |
| 15 | 10 | 1,50 | 2,50 |



Технологическая схема отработки выемочного участка в составе двух блоков с применением многоступенчатой сплошной системы разработки с закладкой

Малеевский
рудник

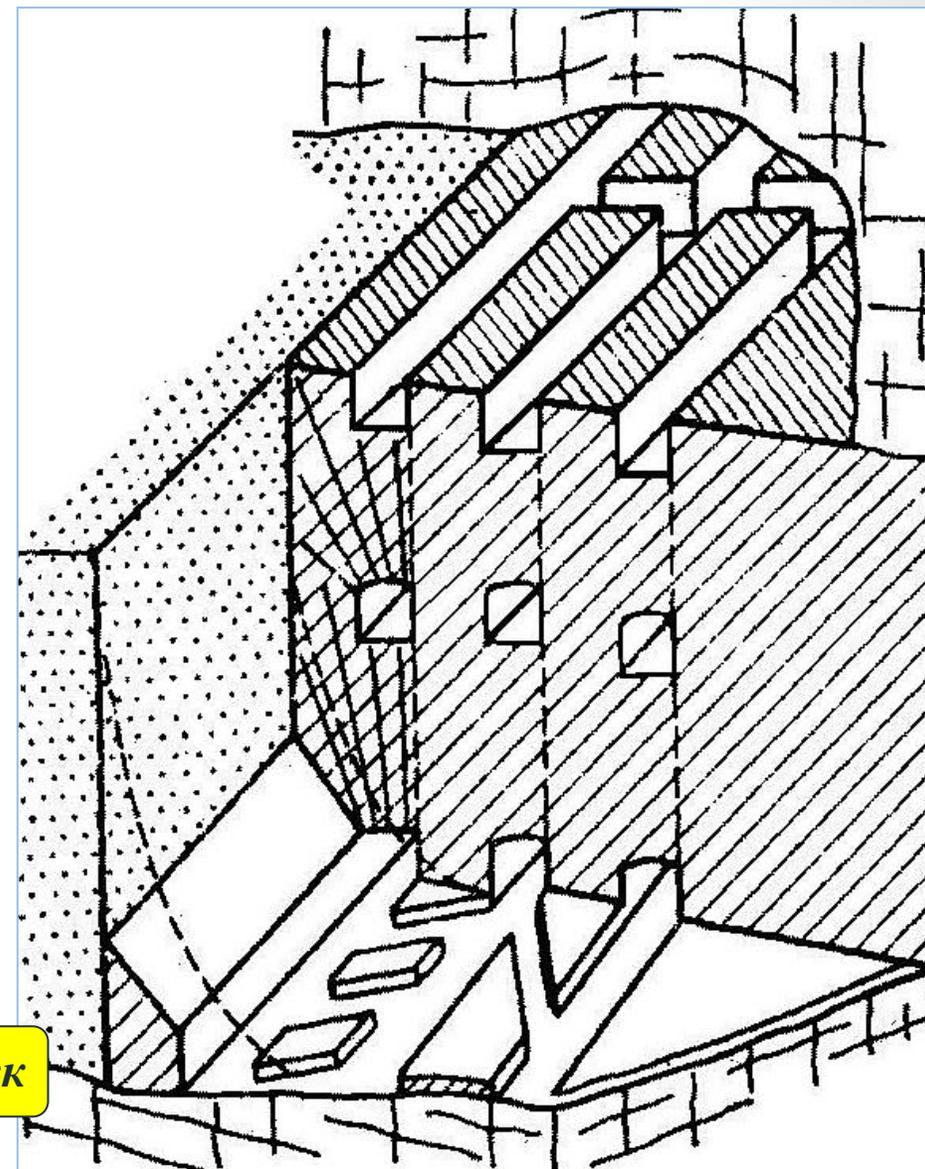




*Сплошная камерная система с выемкой камер
вприсечку без оставления рудных целиков*

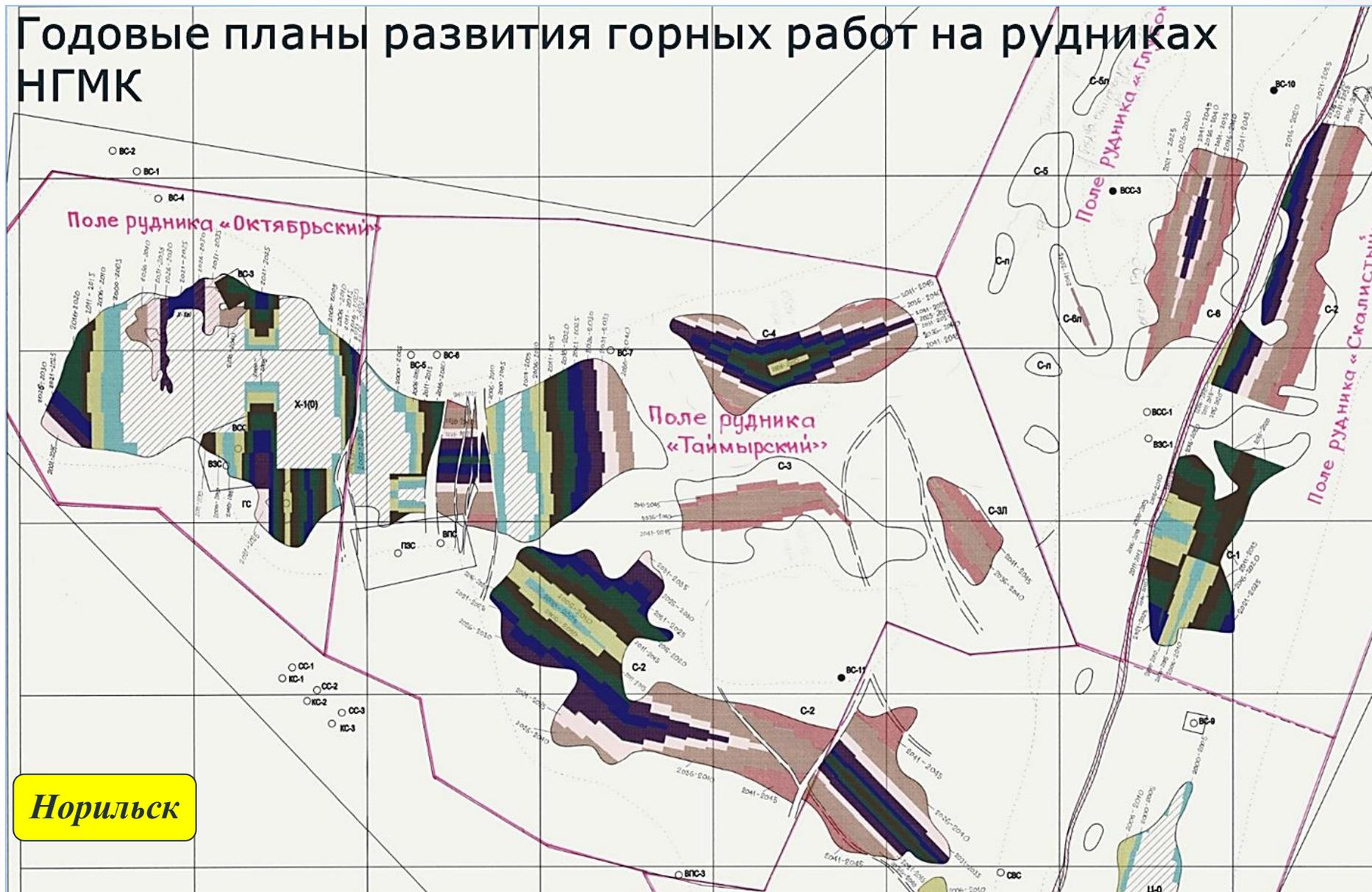
- 1 – отработано, заложено (разрезная лента)*
- 2 – отбойка, отгрузка вприсечку к закладке*
- 3 – погрузочные заезды*
- 4 – буро-погрузочный орт*

Норильск

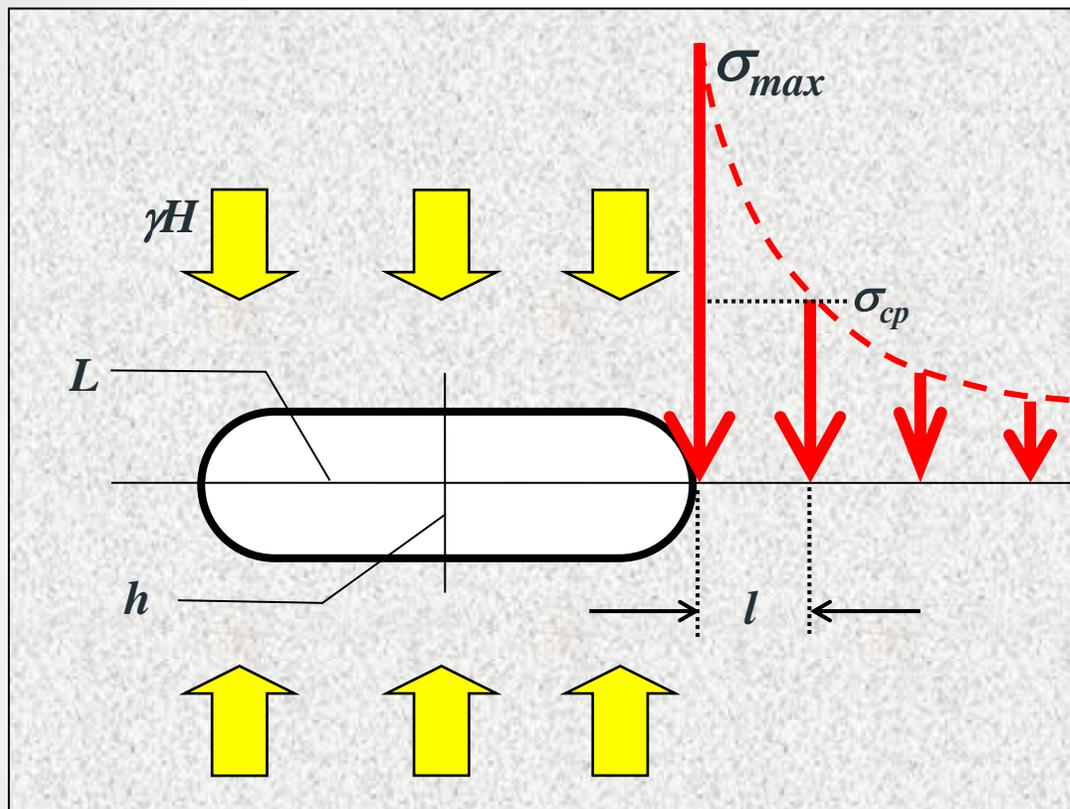


Сплошная камерная система с выемкой камер вприсечку

Годовые планы развития горных работ на рудниках НГМК



● Опорное давление на границе сплошной отработки



Модель = распределение напряжений у границ эллиптического отверстия (Колосов Г.В., 1909 – Инглис К., 1913):

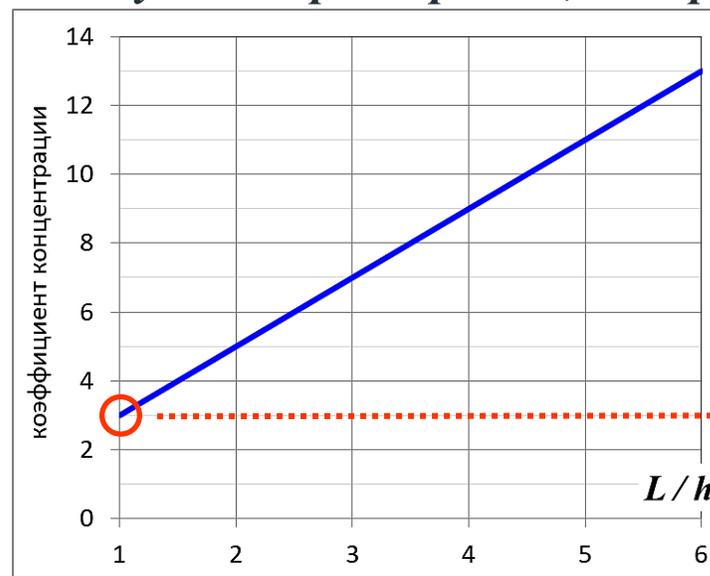
$$\sigma_{max} = \gamma H (1 + 2 \cdot L/h)$$

коэффициент концентрации напряжений на границе отработки

L – пролет отработки; h – выемочная мощность;
 H – глубина горных работ; l – пролет очистной камеры

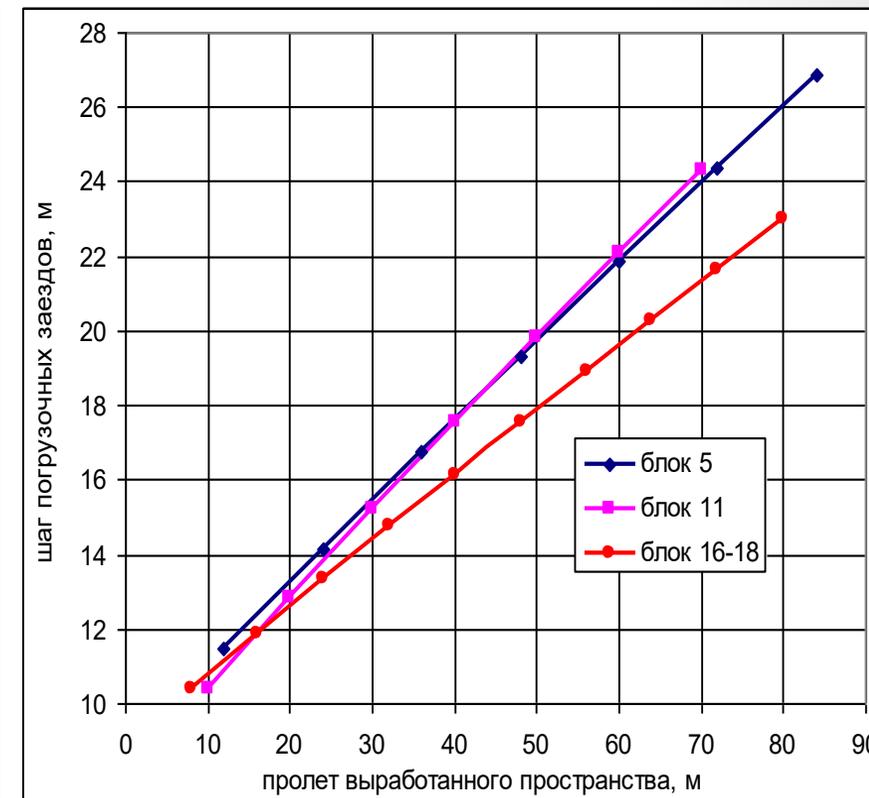
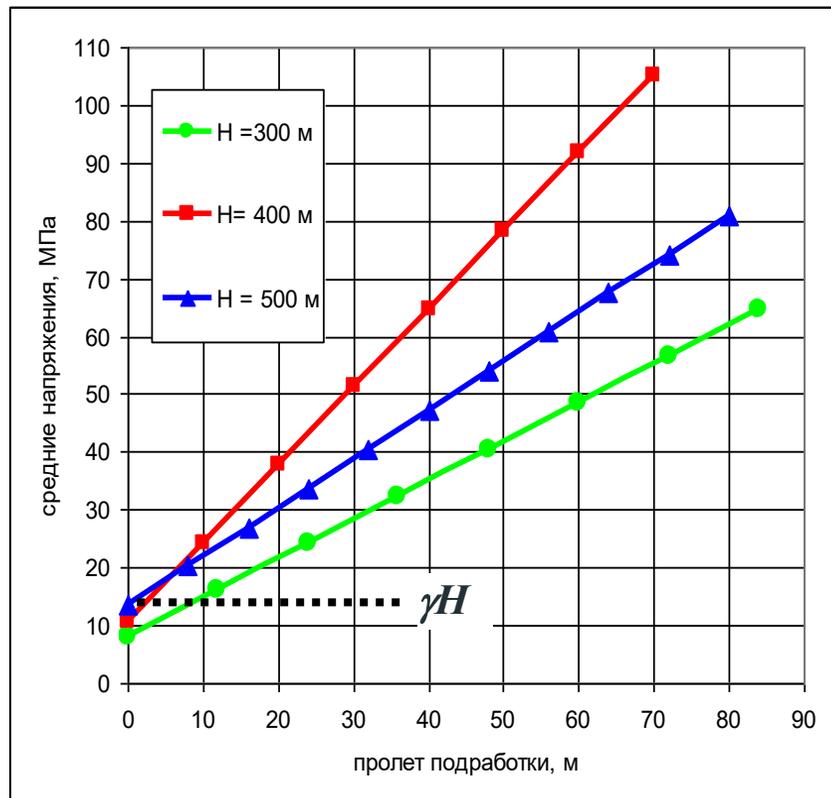
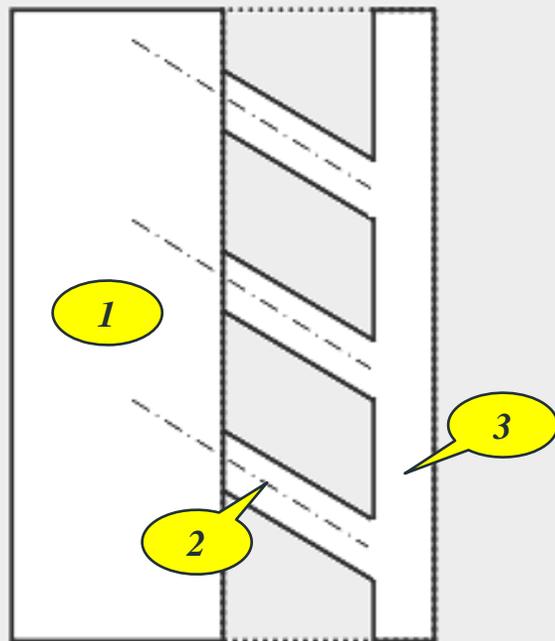
На ширине очистной камеры:

$$\sigma_{cp} = \gamma H (1 + 1,5 \cdot L/h)$$



при $L/h = 1$ эллипс → круг, решение Куриша Б., 1898

● Расчет параметров рудного днища в зоне опорного давления



- 1 – обрабатываемая камера
- 2 – погрузочные заезды
- 3 – буро-погрузочный орт

**Артемьевский
рудник**

● При использовании камерных систем возможны два режима нагружения закладки:

1. Если подработанная толща сохраняет **устойчивость**, тогда давление вмещающих пород на закладку σ_3 :

$$\sigma_3 = E_3 / E_p \cdot \sigma_p$$

режим заданных
смещений

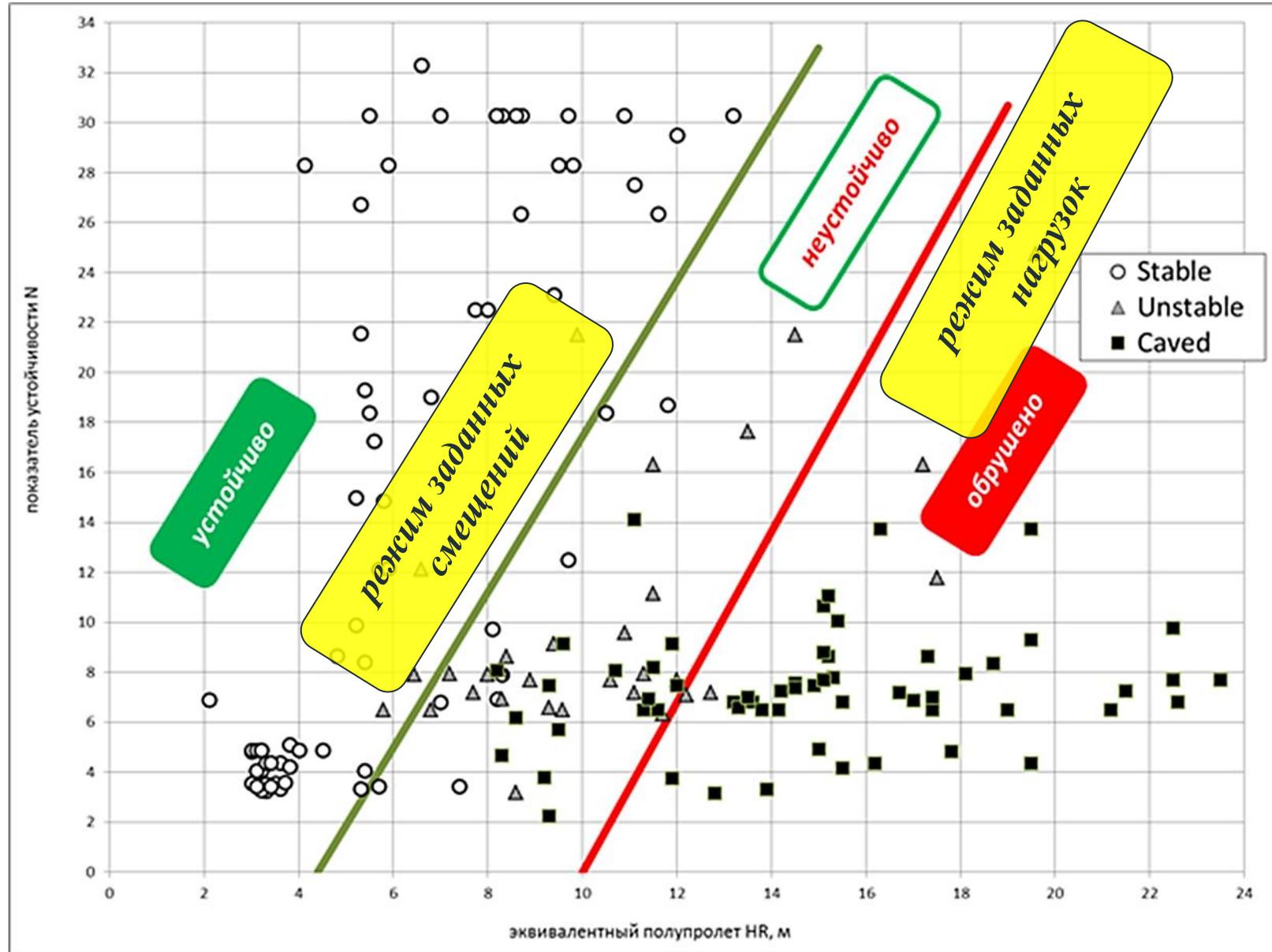
E_3, E_p – модули деформации закладочного и рудного массивов; σ_p – давление на рудный / породный массив
если $E_3 / E_p = 1 \div 3\%$, тогда $\sigma_3 = (0,01 \div 0,03) \cdot \sigma_p$

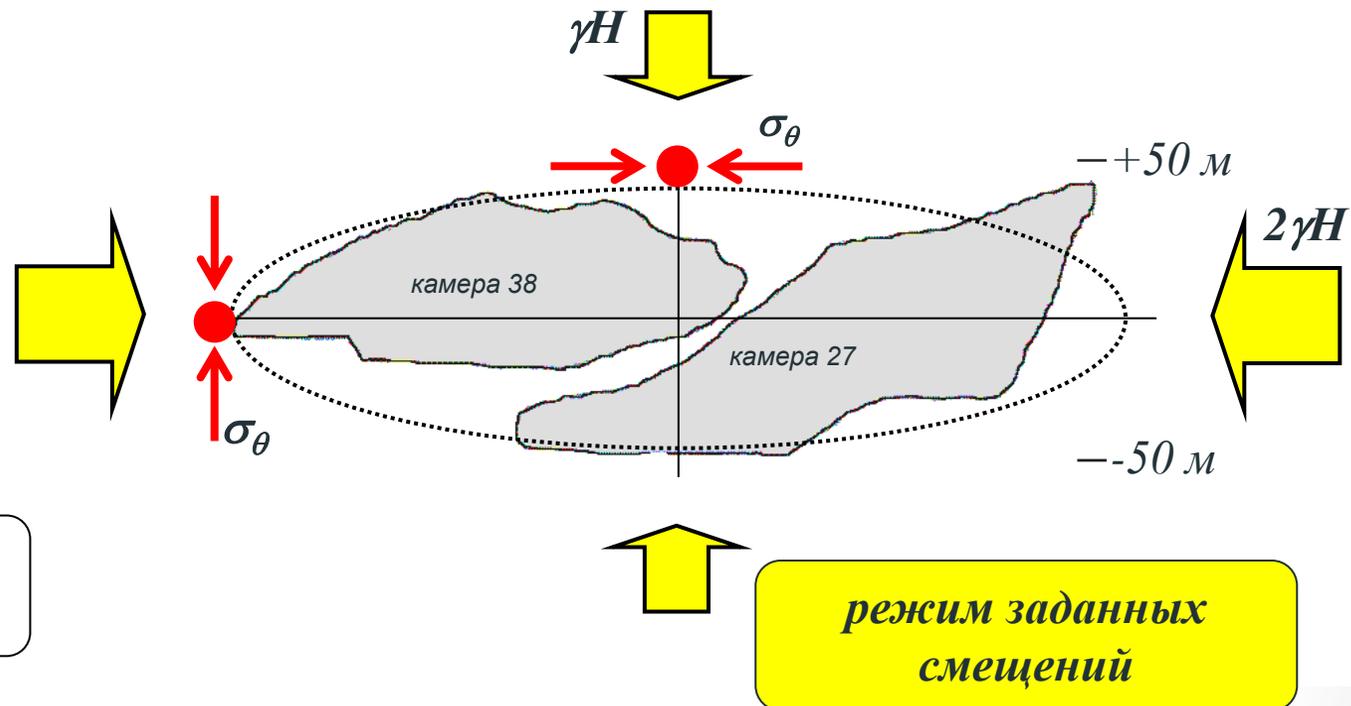
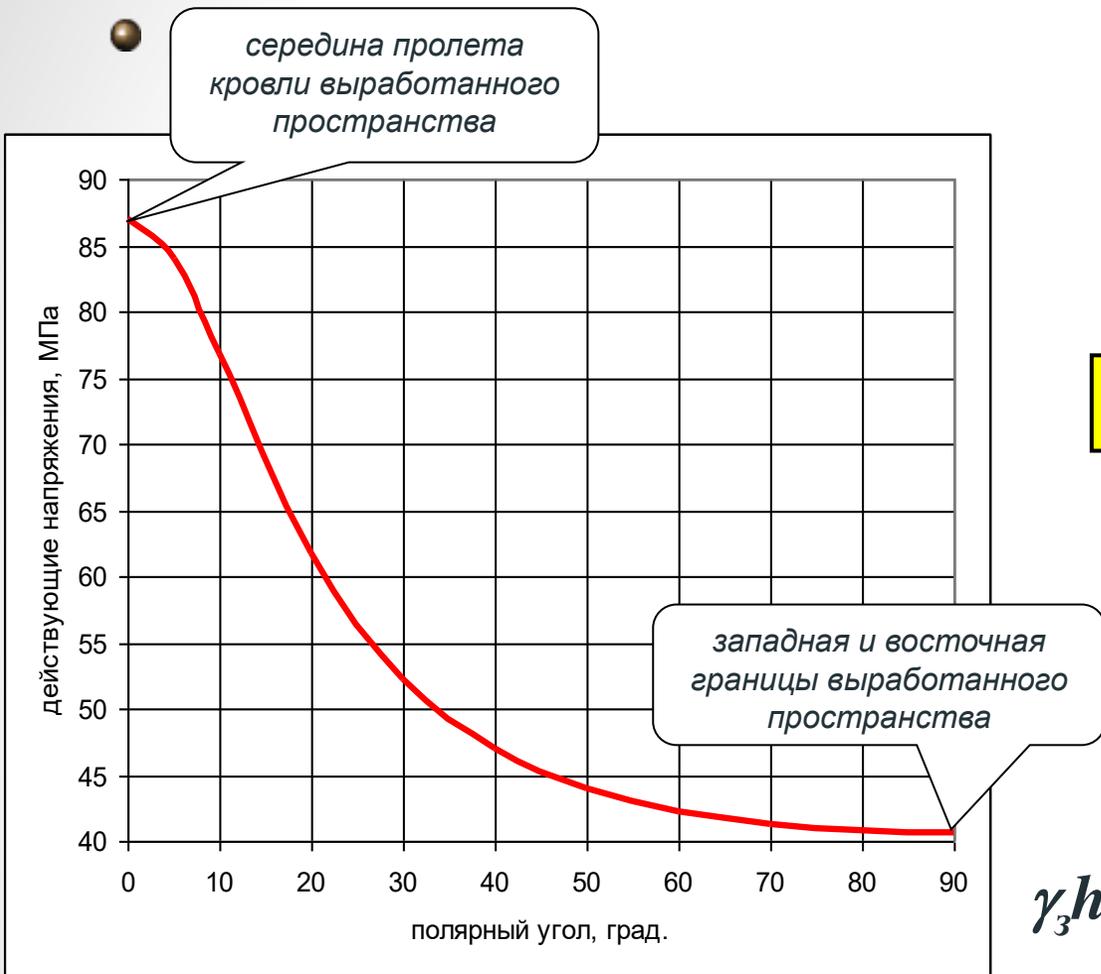
2. Если подработанная толща **обрушается** (сдвигается), тогда давление вмещающих пород на закладку определяется весом пород в контуре зоны обрушения (сдвижения):

$$\sigma_3 = \gamma h_{обр}$$

режим заданной
нагрузки

$h_{обр}$ – высота зоны обрушения / сдвижения с разрывом сплошности





$$\gamma_3 h_3 + \sigma_3 = 1,8 + 0,2 \sim 2,0 \text{ МПа}$$

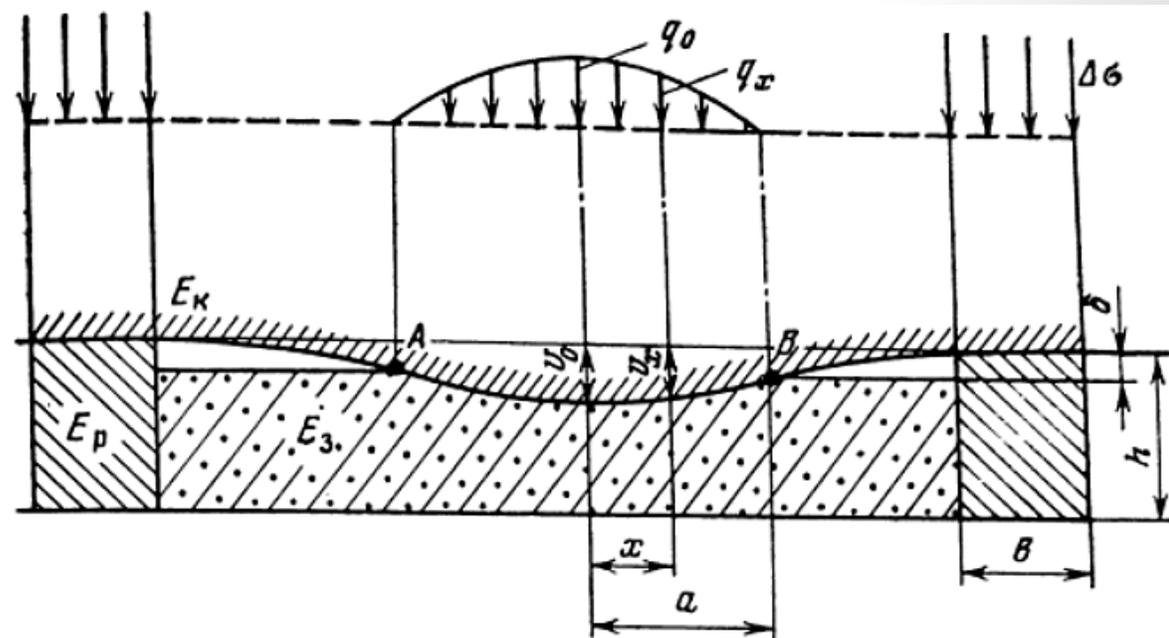
90% + 10%

режим заданных смещений

Выработанное пространство, заполненное закладкой, является **мягким включением в жесткую упругую среду** вмещающего массива.

Если налегающая толща над отработанной панелью сохраняет устойчивость и прогибается упруго, тогда закладка нагружается там, где прогиб кровли панели превышает величину недозакладки ($x < a$).

Закладка является мягкой упругой постелью для жесткой прогибающейся кровли



Упругий прогиб кровли панели (Мусхелишвили, 1966):

$$v_x = v_0 \sqrt{1 - (x/L)^2} + \Delta h_{\text{ц}}$$

где $v_0 = 2(1 - \nu^2)\gamma HL / E_m$

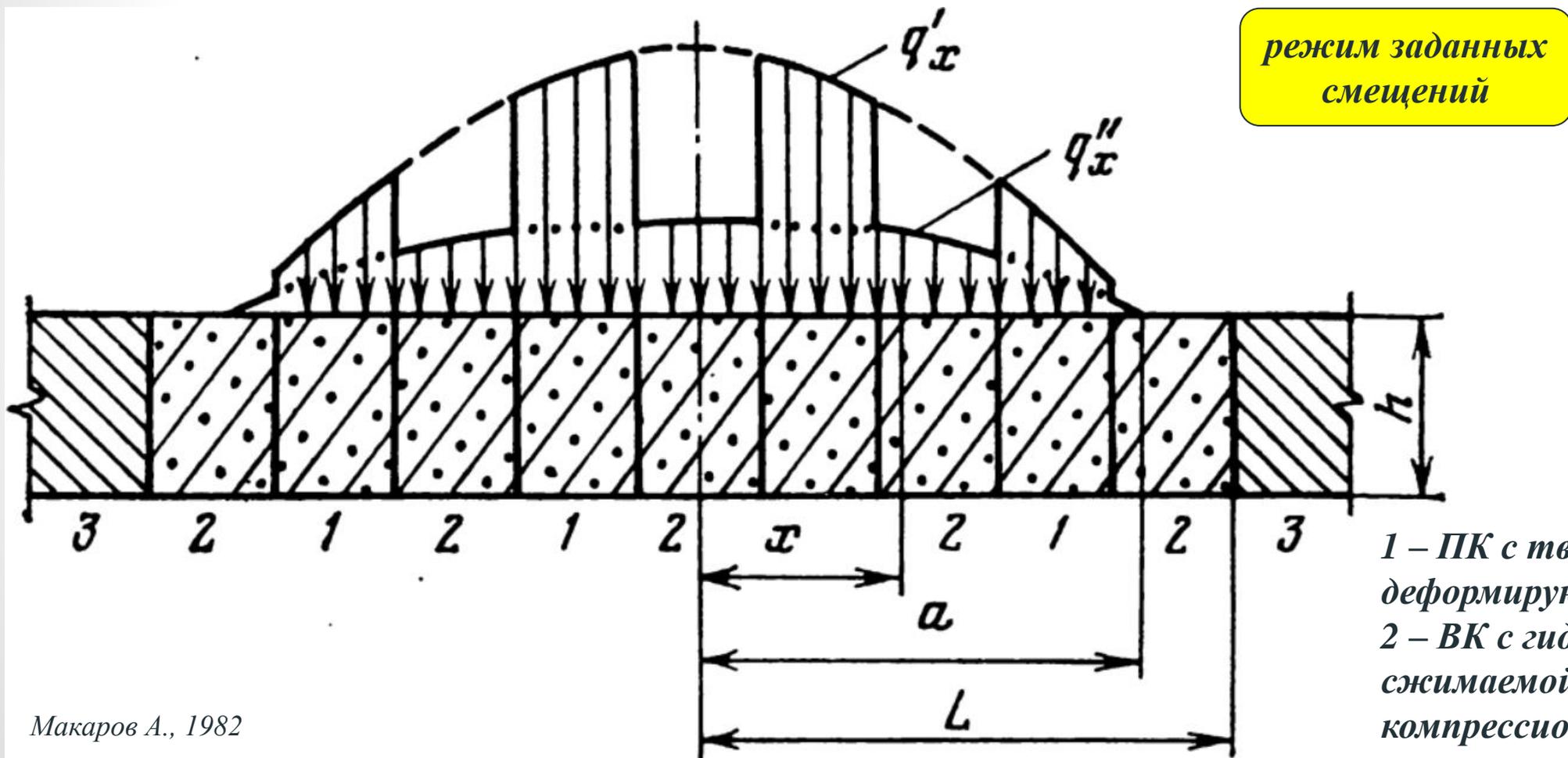
Давление на закладку q_x определяется по схеме упругого основания Винклера E :

$$q_x = k(v_x - \delta)$$

k – коэффициент упругого основания

δ – величина недозакладки камер

Если ПК заполнены упругой твердеющей закладкой, а ВК – несвязной гидравлической закладкой, распределение давления на искусственные массивы получается двухмодальным из-за разных коэффициентов постели.



Макаров А., 1982

Нагруженность закладки

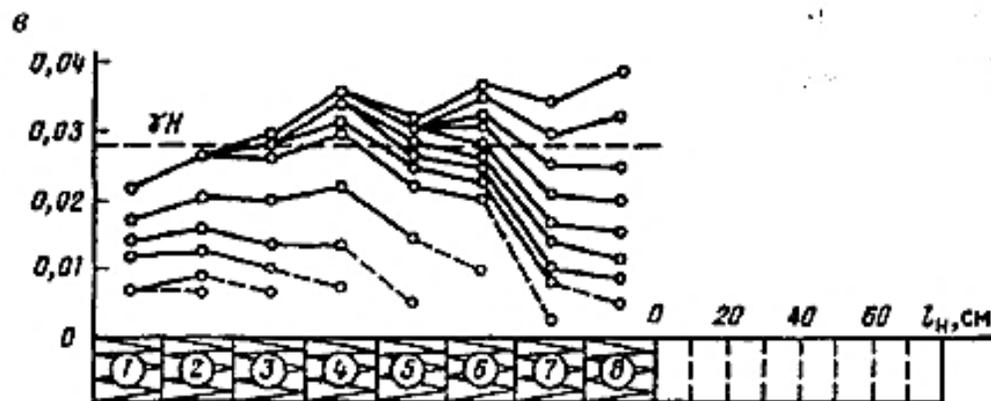
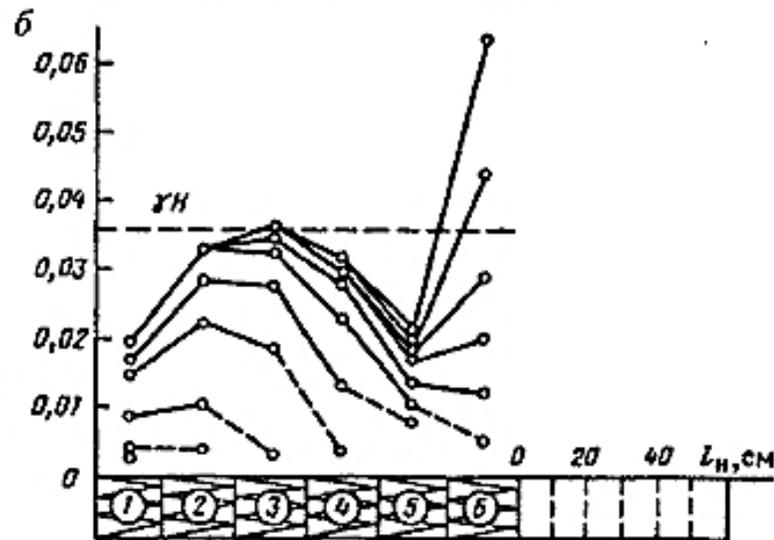
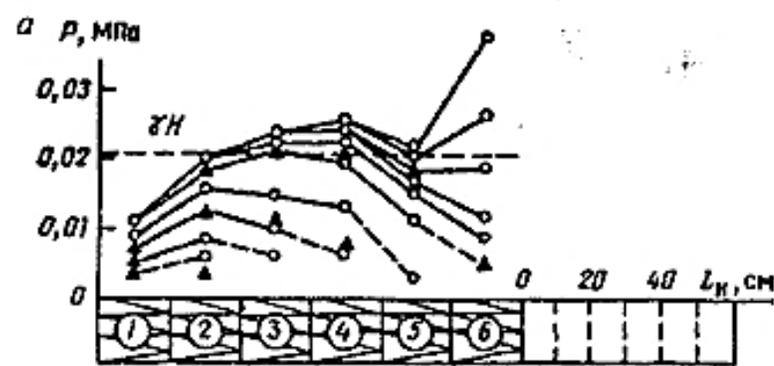
- *Нагрузка на закладку при добыче руды сплошной камерной системой*

режим заданной нагрузки

По мере увеличения площади выработанного пространства увеличиваются:

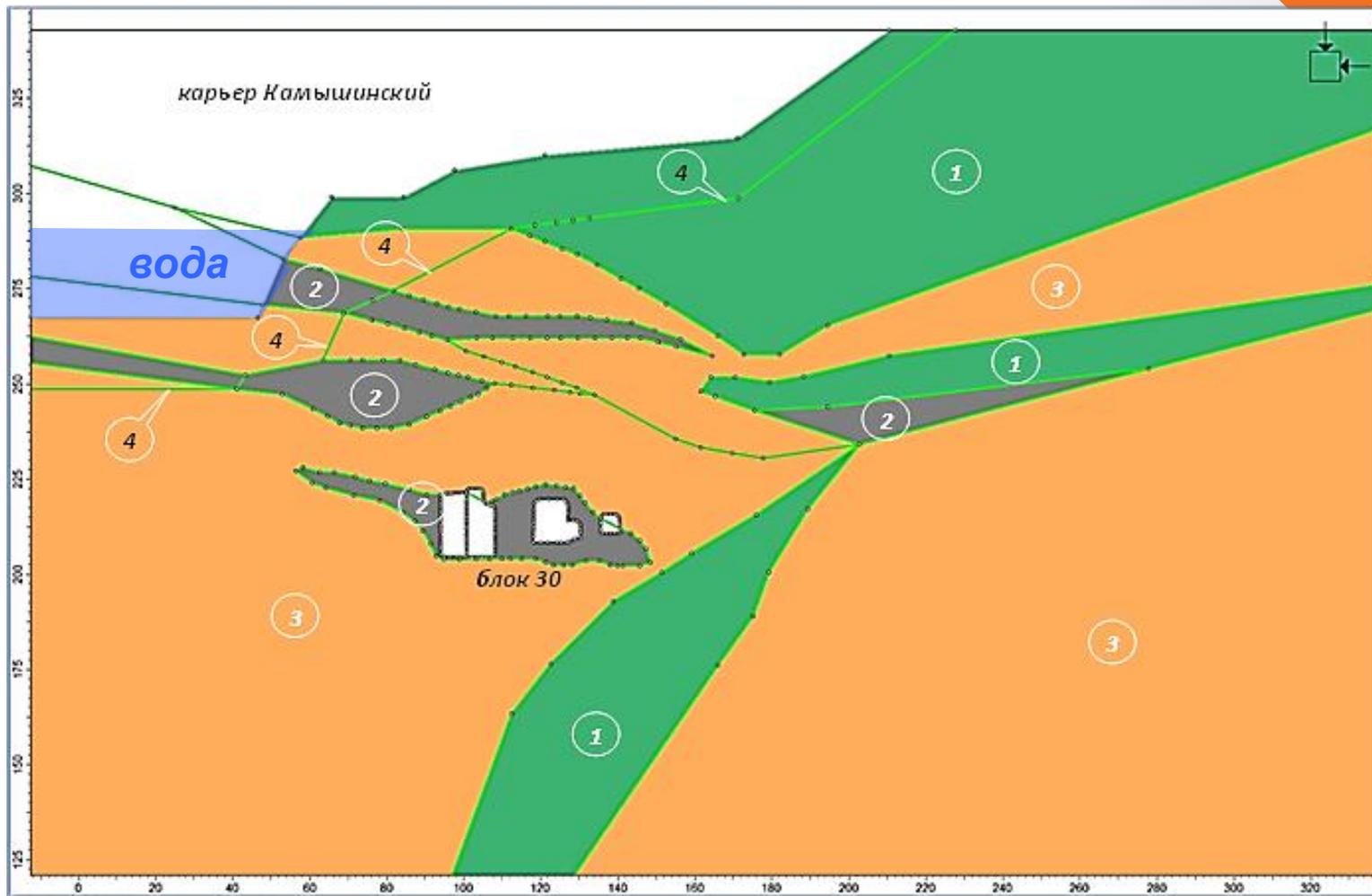
- *высота зоны сдвижения с нарушением сплошности (обрушения)*
- *давление сдвигающейся части налегающей толщи на закладку выработанного пространства*

Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд. – М., изд. МГГУ, 2009



Ошибки в определении размеров камер приводят к обрушениям

Артемовский рудник

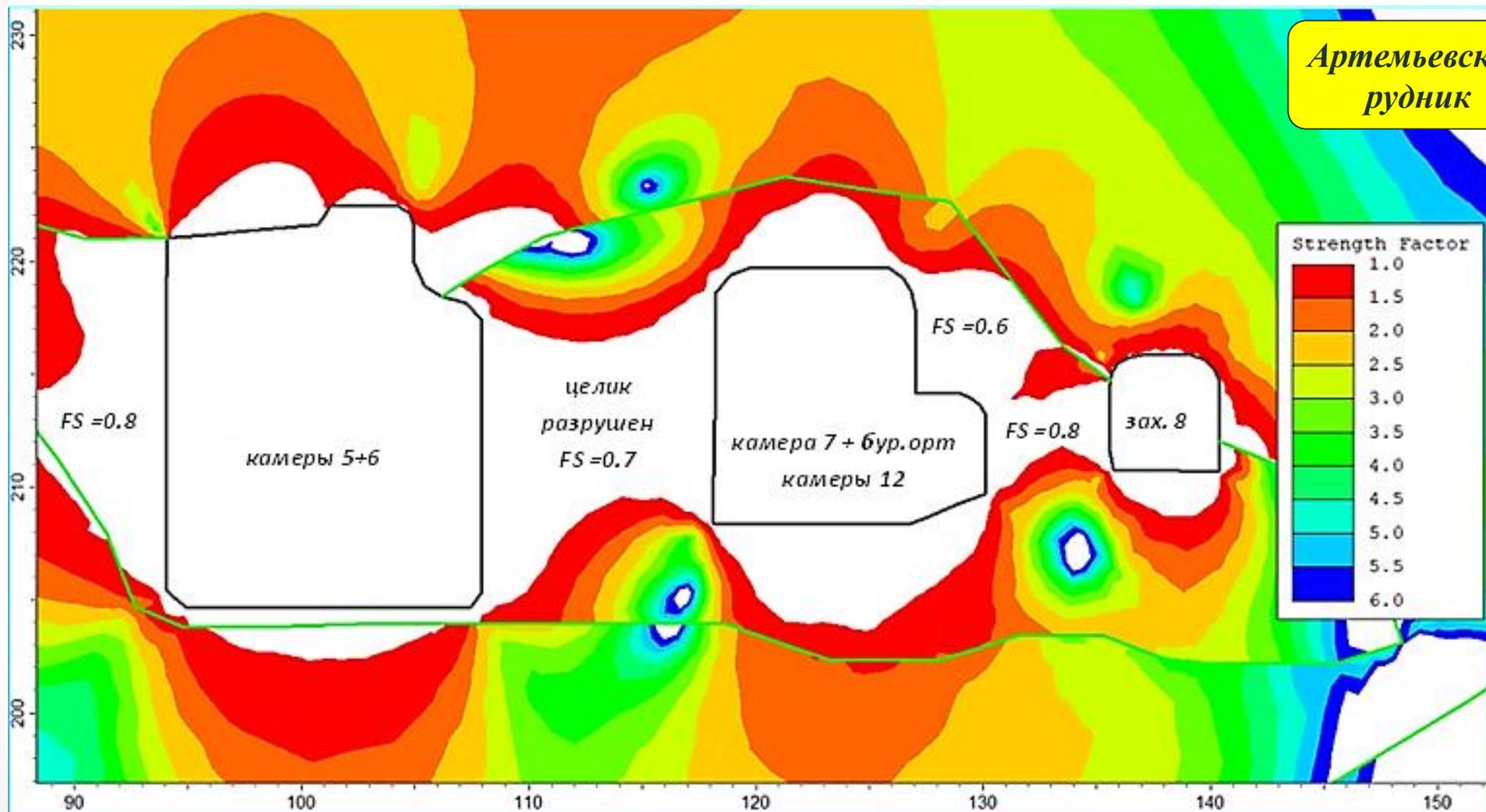


Коды массивов / доменов:

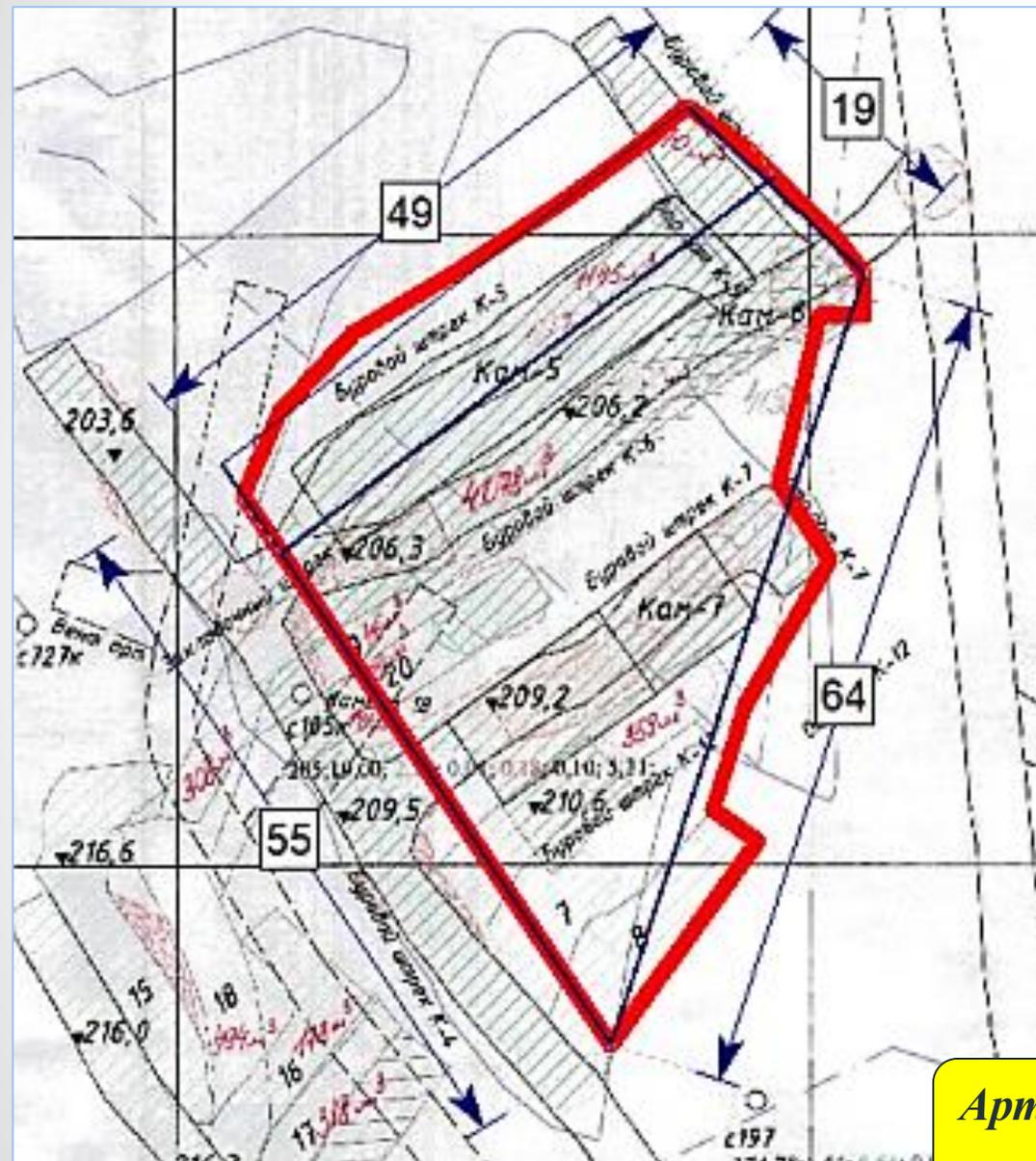
- 1 - диабазы + порфиры + альбитофиры;
- 2 - вкрапленная руда в хлоритолитах;
- 3 - лавы + лавобрекчии + алевролиты;
- 4 – граница повреждения массива карьерными взрывами

| коды | породы / руды | Q |
|------|--|-----|
| 1 | диабазы + порфиры + кварц. альбитофиры | 30 |
| 2 | вкрапленная руда в хлоритолитах | 0,1 |
| 3 | лавы + лавобрекчии + алевролиты | 6 |

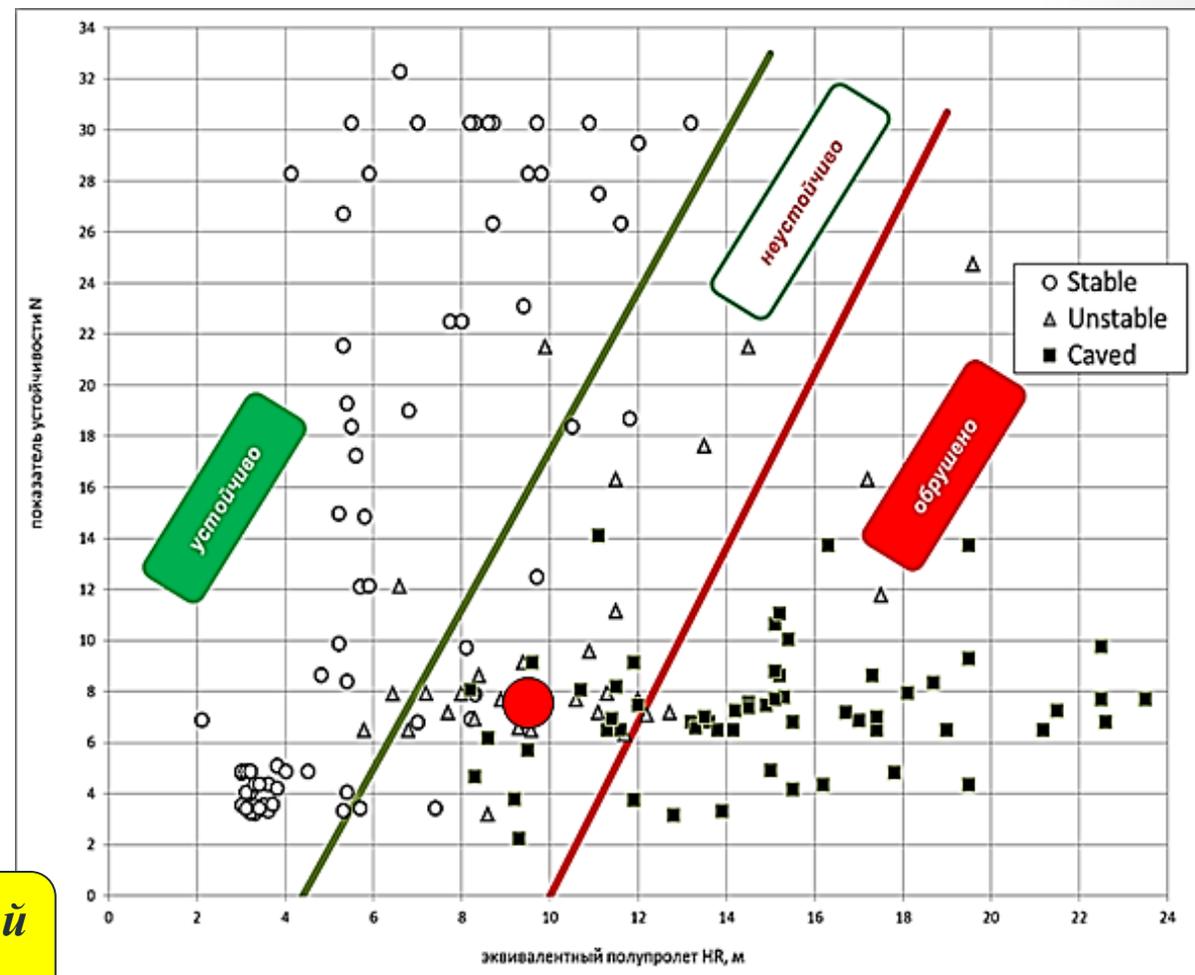
Ошибки в определении размеров камер приводят к обрушениям



После разрушения целиков обнажение кровли блока 30 с $HR = 9,5$ м по методике Мэтьюза-Потвина является неустойчивым



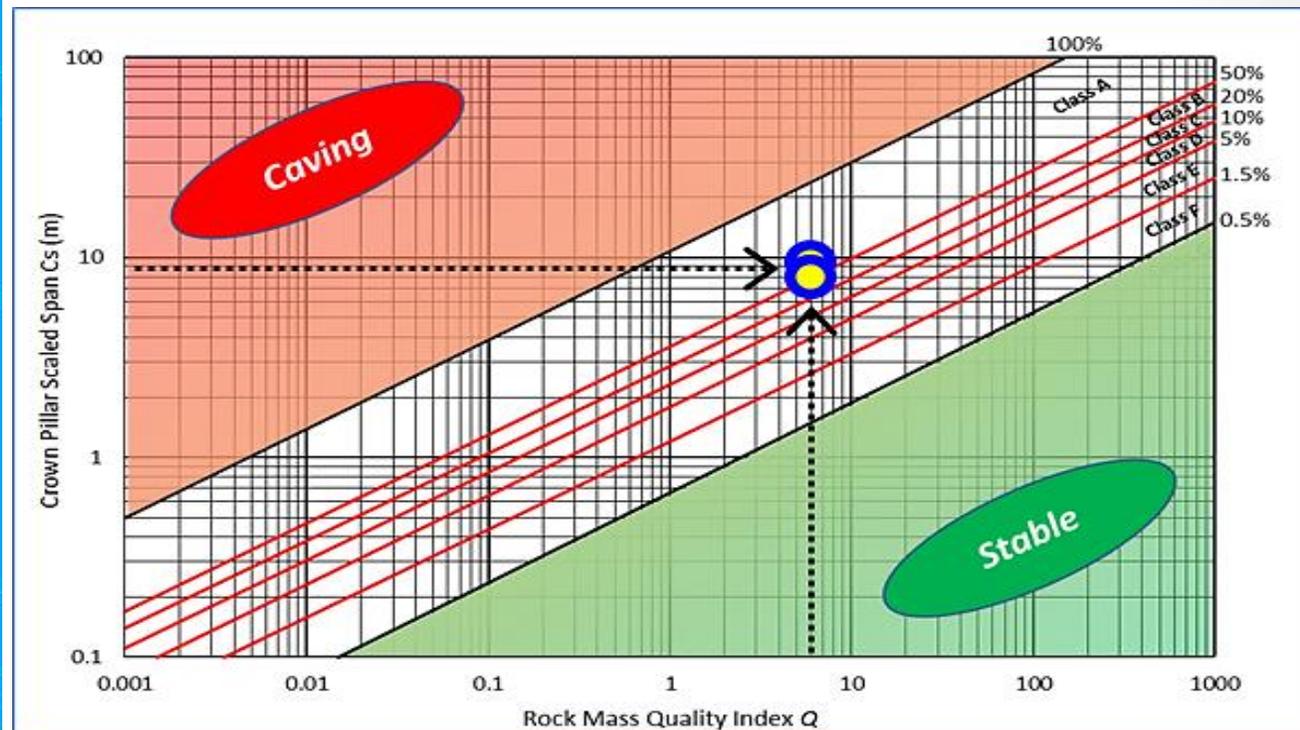
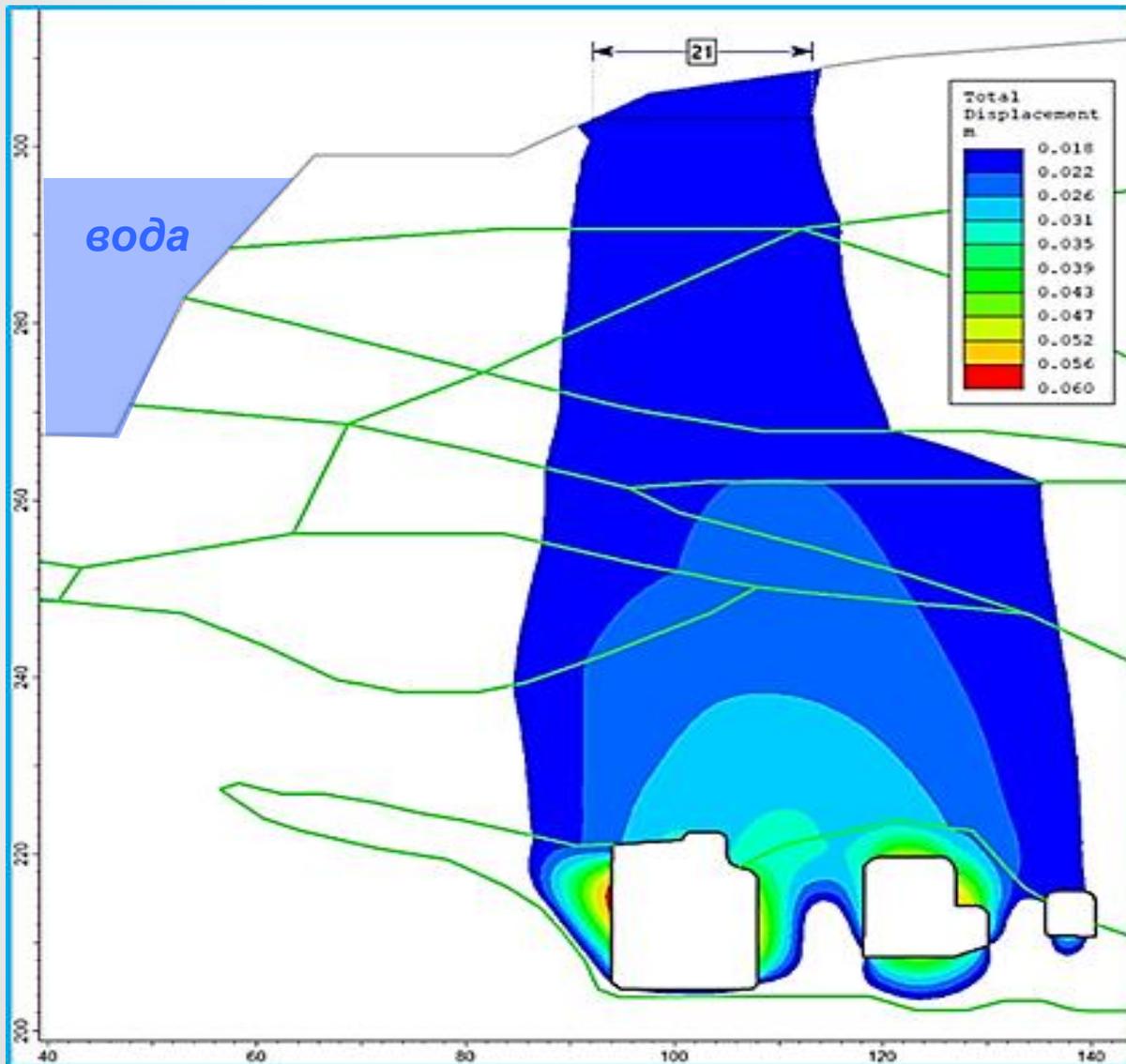
Артемьевский рудник

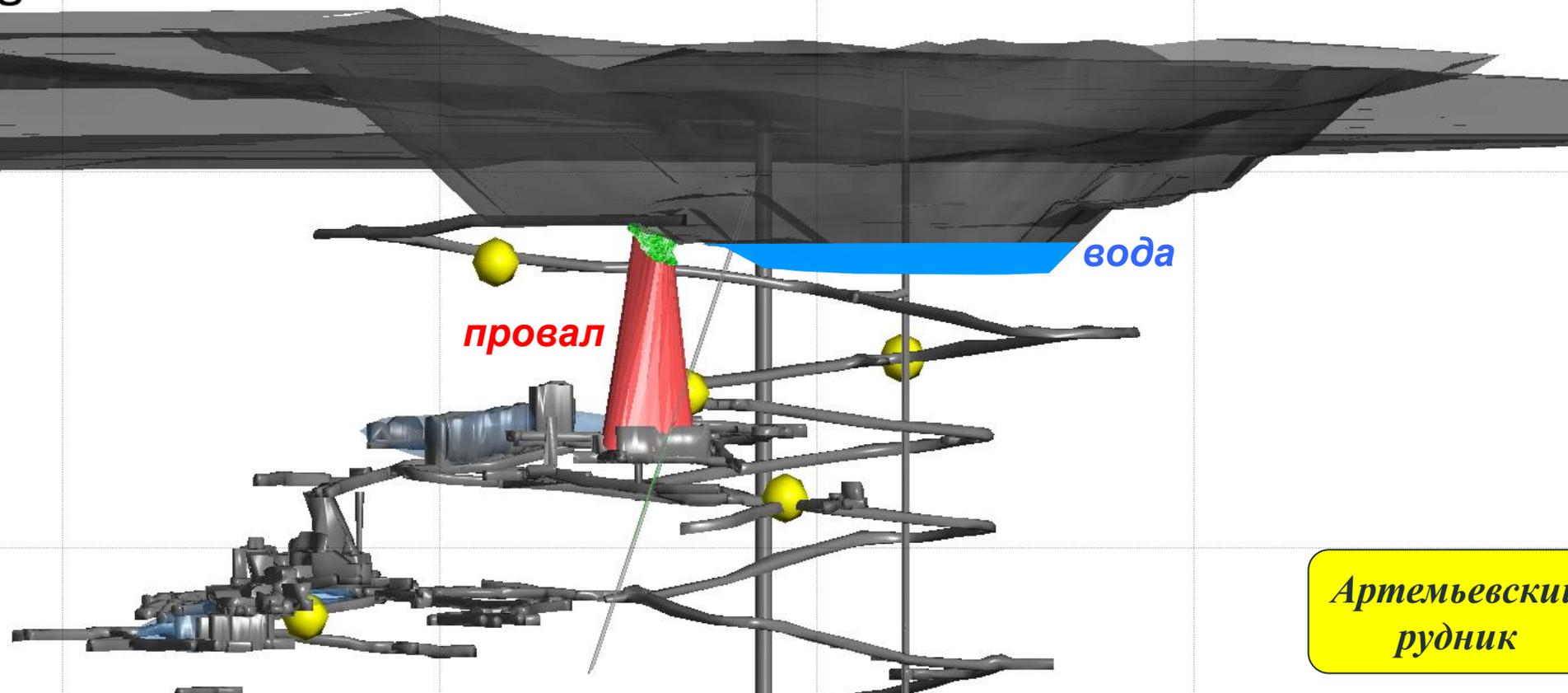


Ошибки в определении размеров камер приводят к обрушениям

Артемьевский рудник

После разрушения целиков потолочина над блоком 30 с масштабированным пролетом $SS = 8,0 \div 9,4$ м и $Q = 6$ по методике Картера имеет вероятность обрушения $\sim 50\%$





*Артемьевский
рудник*

01.02.2019 в борту Камышинского карьера на промплощадке портала наклонного съезда образовался провал на площади 20 × 24 м глубиной 12 м над отработанными в 2017÷18 г. камерами 5,6,7 блока 30. Глубина от кровли камер до борта карьера составляет 64÷78 м. Расстояние от границы провала до воды в карьере (367 тыс. м³) составляло 50 м. Возникла угроза прорыва воды и рыхлых пород в подземный рудник. К счастью, этого не произошло.



24.08.2018 на отметке **-270 м** (17 гор.) произошло обрушение откаточной выработки, в которое провалилась ПДМ CAT R1300 с оператором.

Обрушились нижележащие отработанные и незаложенные камеры, а также потолочины между ними, начиная с отметки **-370 м**.

Обрушение развилось вверх до отметки **-210 м**. Общая высота «крысиной норы» (Chimney – дымоход; Sinkholes – бездонная яма) = **160 м**.

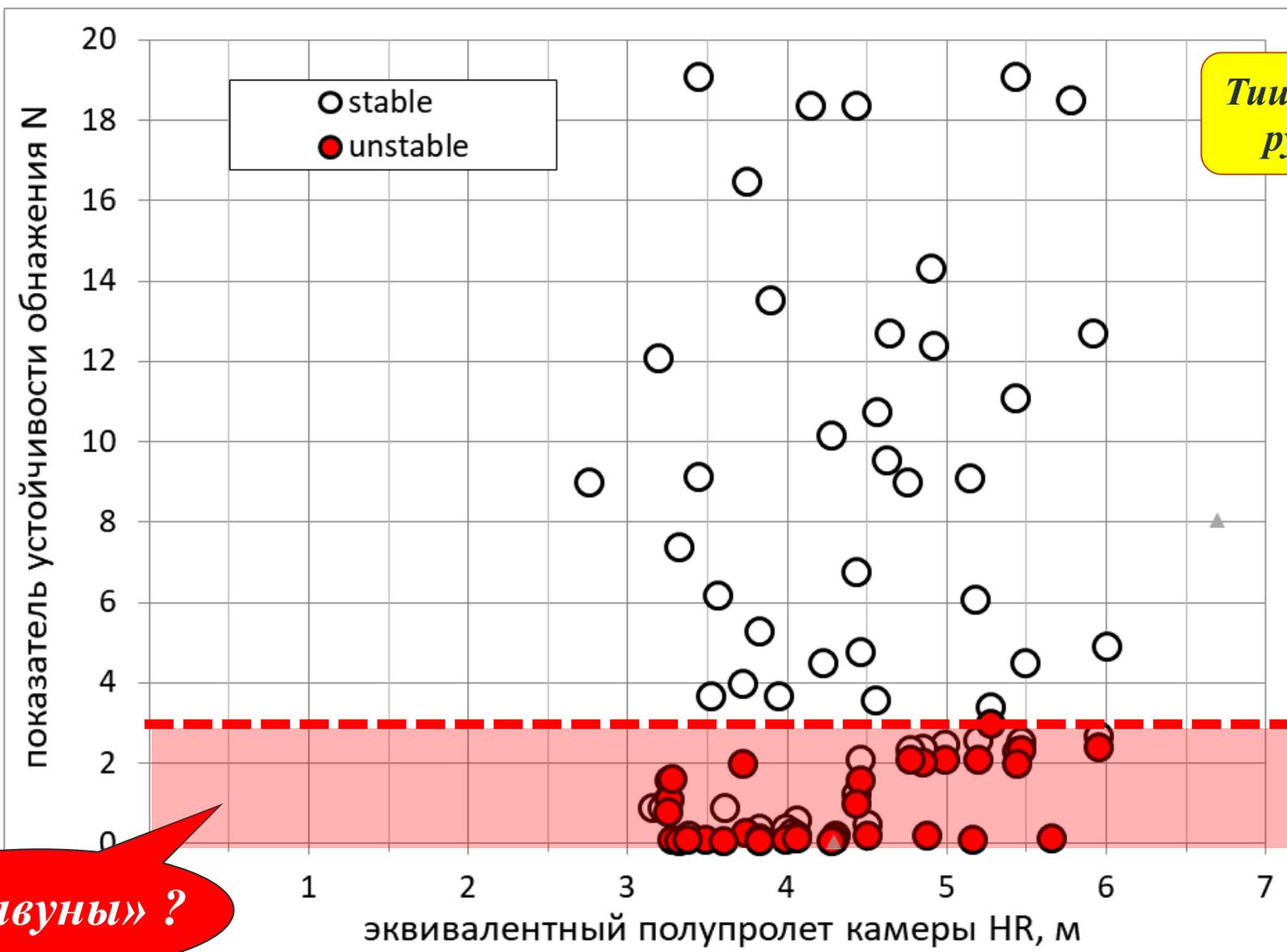
Спасательная операция по обнаружению погибшего оператора ПДМ не увенчалась успехом

Горная масса в зоне обрушения представлена смесью обломков сланцев, известково-углисто-глинистых алевролитов и глиноподобной обводнённой массы серицит-кварцевых, карбонат-кварц-серицитовых пород крупностью от первых мм до 0,4 м

Тишинский
рудник



Количество камер:
устойчивых = 54
неустойчивых = 32



Аварии произошли в результате нарушения технологии очистных работ в виде:

- *обрушения камер (камерная выемка руды в неустойчивых рудах / породах неприемлема);*
- *неконтролируемого перевыпуска отбитой руды и обрушенной горной массы из аварийных камер в объемах, превышающие проектные (потеря контроля над выработанным пространством);*
- *сдвижение неустойчивых руд / пород под действием силы тяжести в выработанное пространство обрушающихся (аварийных) камер есть всплывание пустот;*
- *невозможность погашения всплывших пустот закладкой из-за отсутствия путей ее подачи в аварийные камеры.*

На правах рукописи



Котенков Алексей Владимирович

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕННЫХ МАЛОУСТОЙЧИВЫХ
РУД КАМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ РАЗРАБОТКИ
С ЗАКЛАДКОЙ

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Магнитогорск 2023

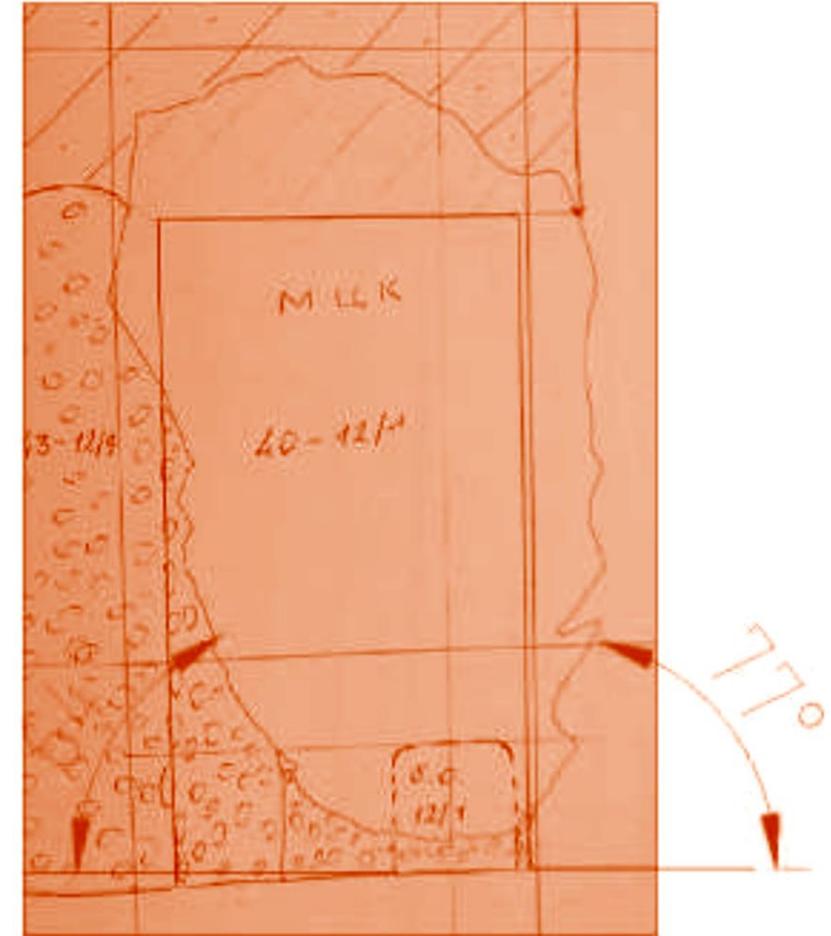
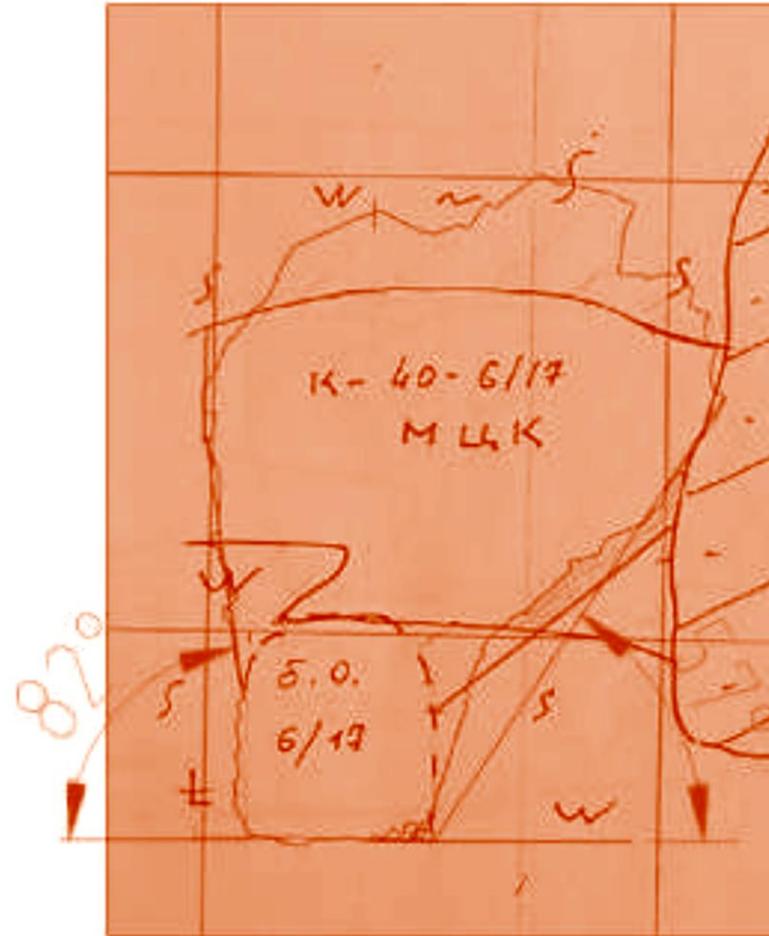
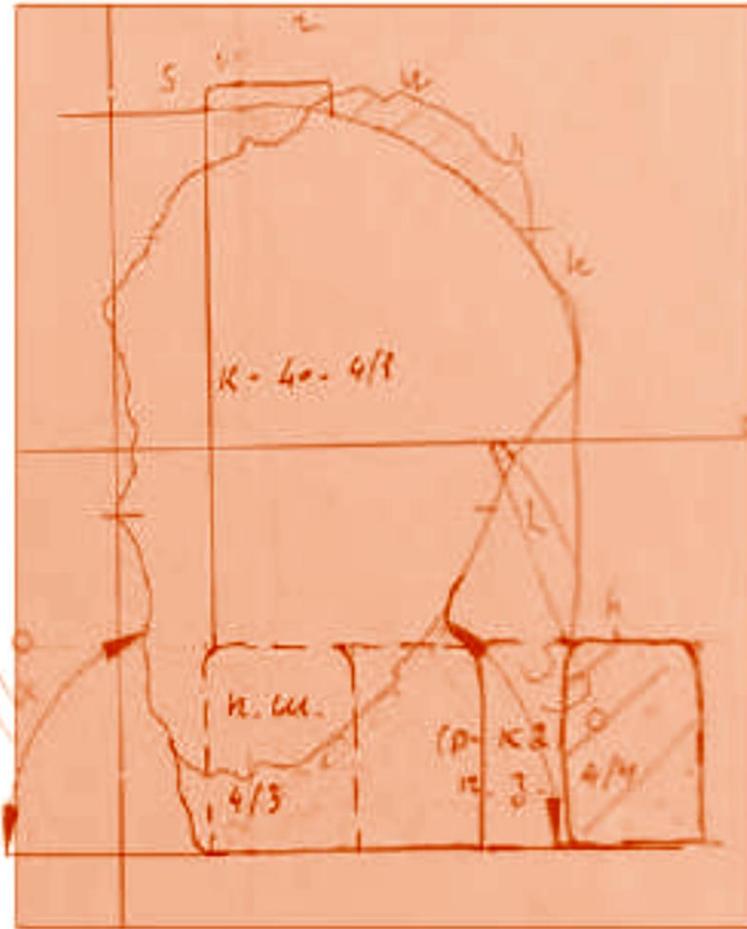
Защищаемые положения:

Камеры полигональной (ромбовидной) формы в сочетании с нисходящим порядком отработки запасов со смещением камер по горизонтали и по вертикали в шахматном порядке обеспечивают повышение производительности добычи, эффективности использования недр и безопасность горных работ.

Придание камерам полигональной формы с соотношением малой и большой полуосей 1:2, с углом стенок в нижней части камеры, равным 75° , а в верхней - 105° , обеспечивает равномерный характер распределения напряжений на контуре камеры, снижают величину растягивающих напряжений, что позволяет повысить устойчивость очистных выработок, уменьшить требуемую прочность закладки.

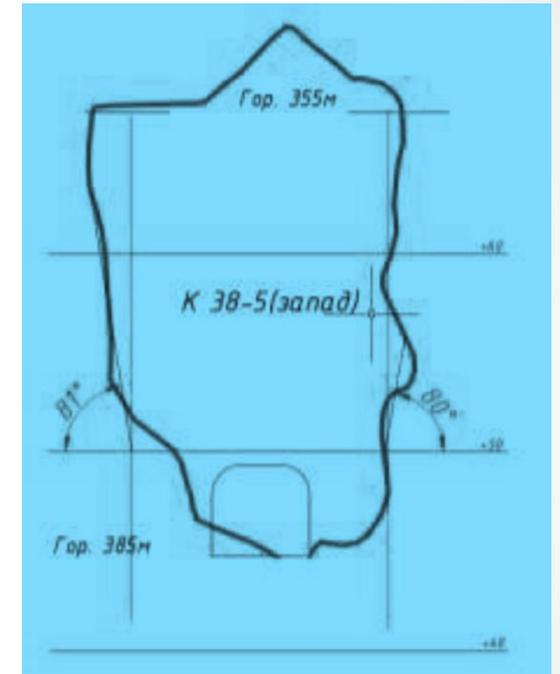
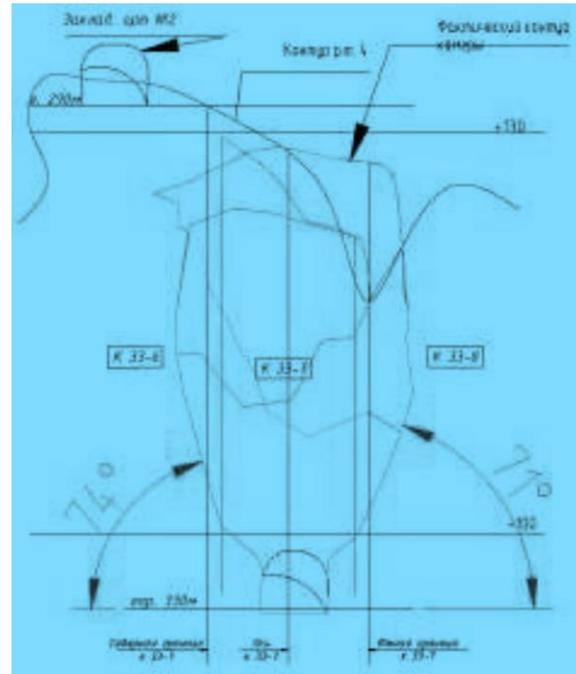
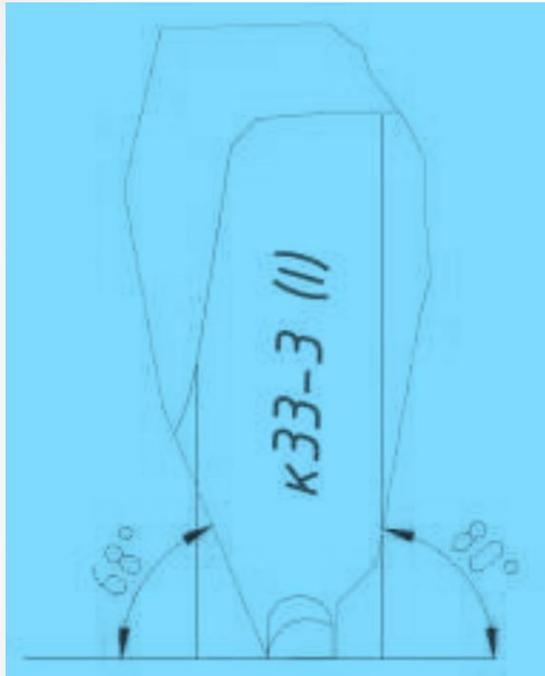
Наименьшие требования к нормативной прочности при закладке камер полигональной (ромбовидной) формы достигаются при шахматном порядке выемки запасов по схеме 1-2-1-2 и определяются высотой формируемого искусственного массива с учетом влияния размеров выемочной единицы.

*Форма и размеры камер в неустойчивых рудах получены 3D сканированием
~ 90 камер на 6 рудниках*



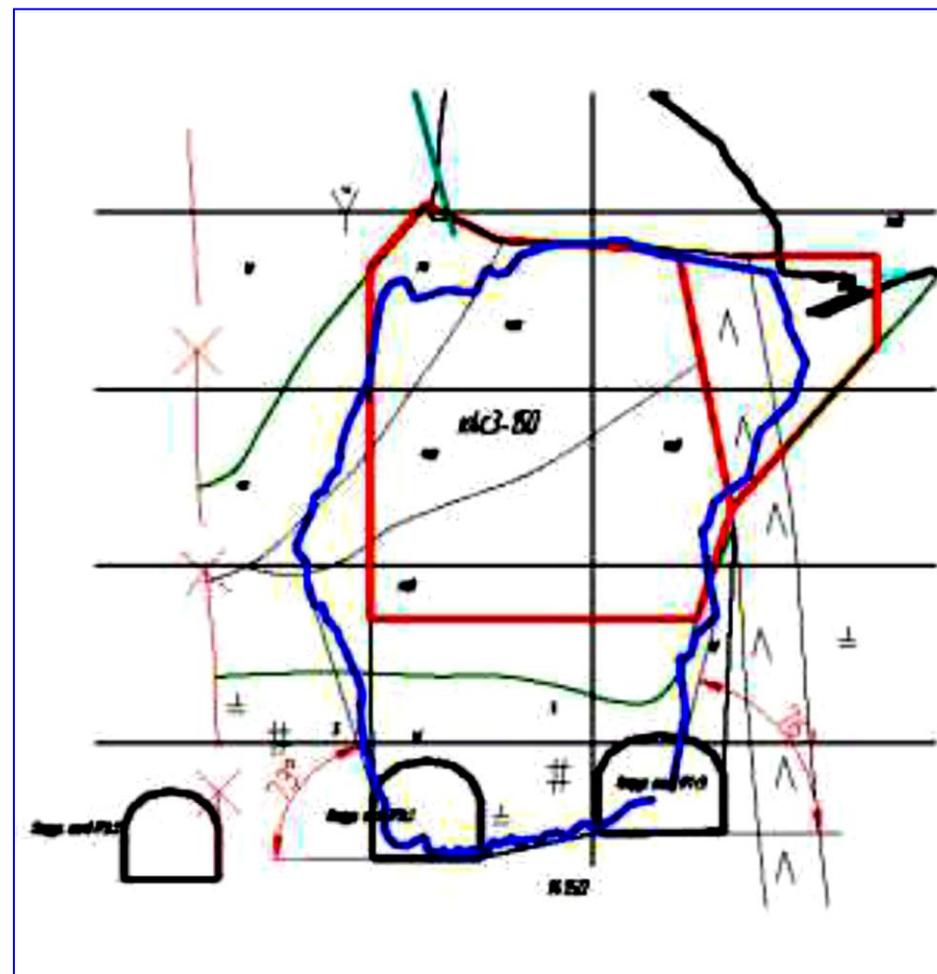
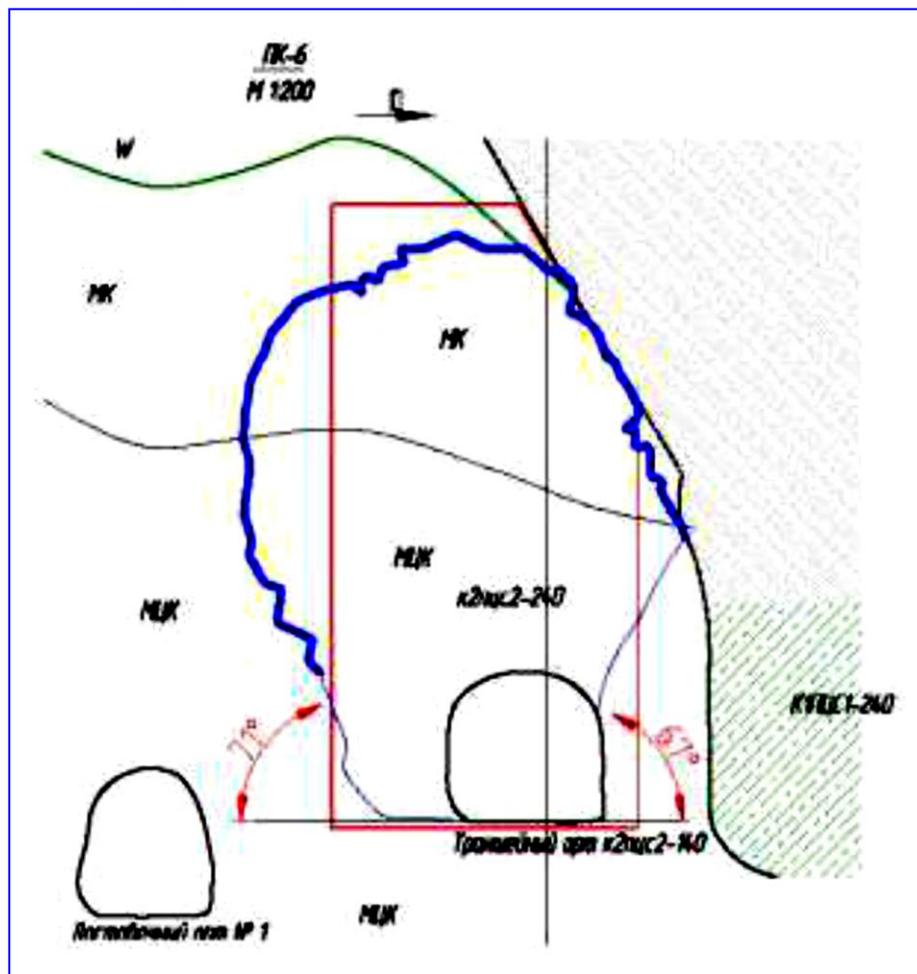
камеры Учалинского рудника

*Форма и размеры камер в неустойчивых рудах получены 3D сканированием
~ 90 камер на 6 рудниках*

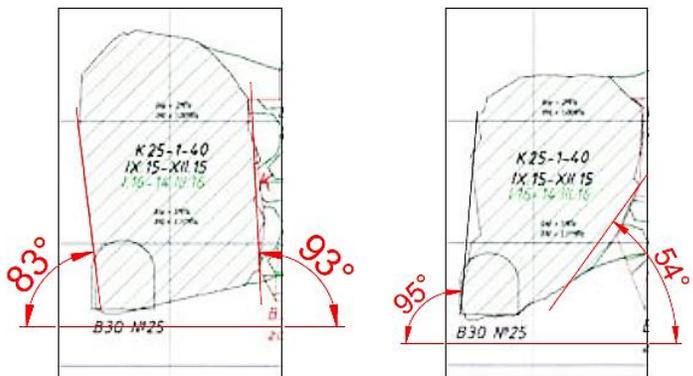


камеры Юбилейного рудника

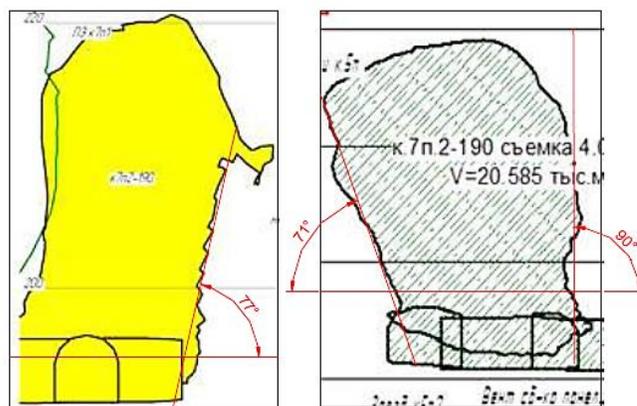
*Форма и размеры камер в неустойчивых рудах получены 3D сканированием
~ 90 камер на 6 рудниках*



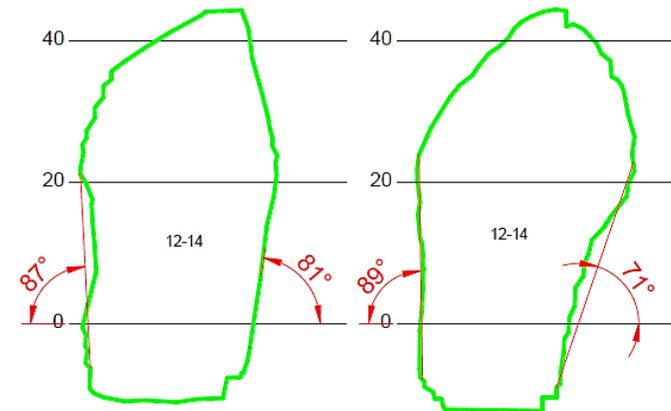
камеры Молодежного рудника



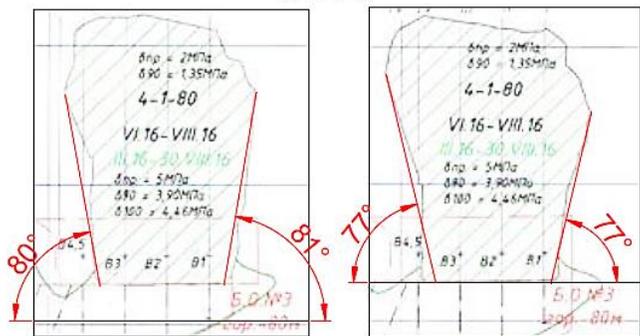
к. 25-1-40



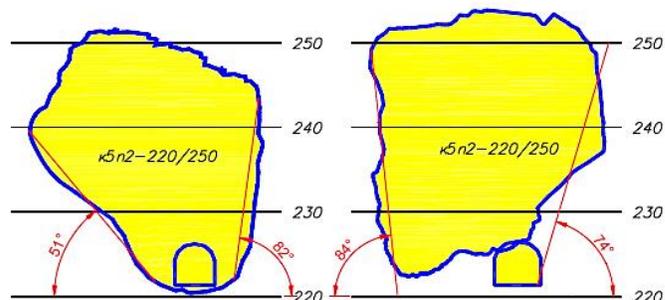
К7 п2 - 190



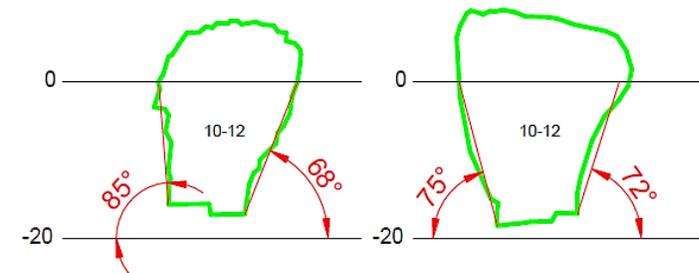
К12 п14 - p.r. 4



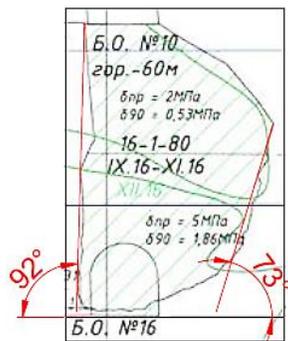
к. 4-1-80



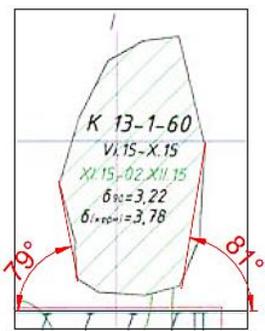
К2 п5 - 220/250



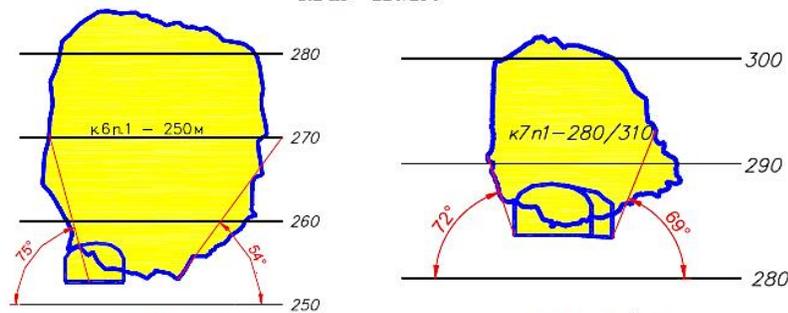
К10 п12 - p.r. 4



к. 16-1-80

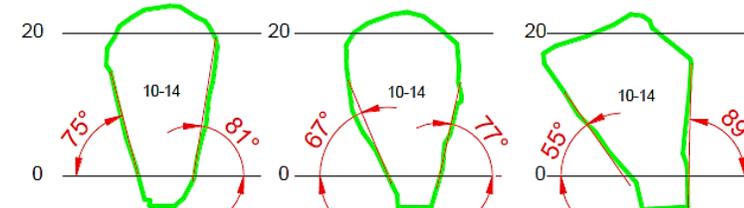


к. 13-1-60



К6 п2 - 250

К7 п1 - 280/310



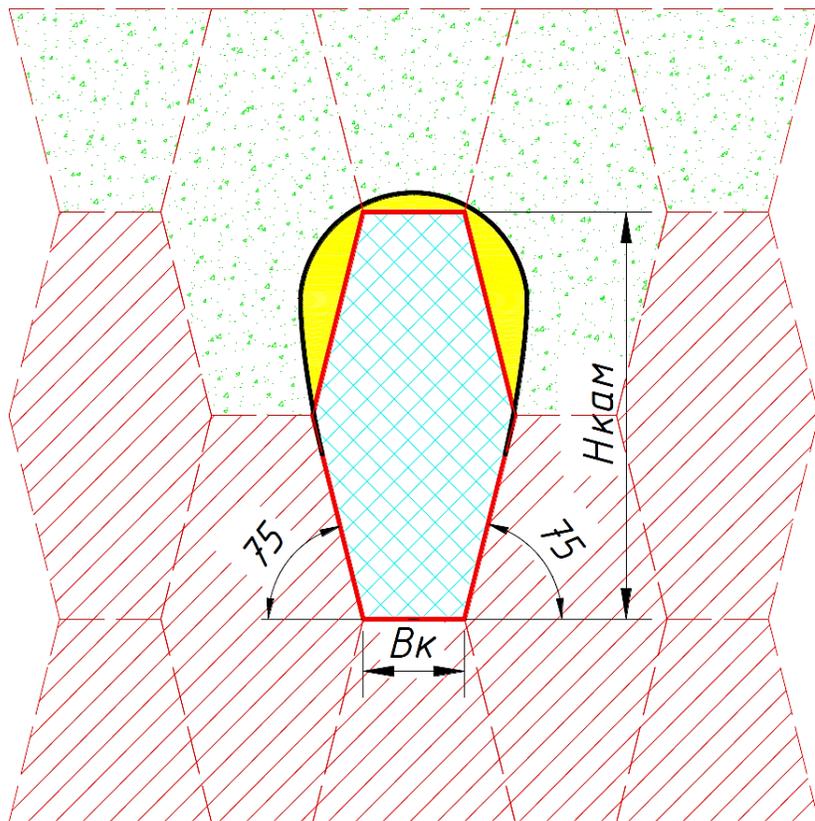
К10 п14 - p.r. 4

камеры Сафьяновского рудника

камеры Озерного рудника

камеры Узельгинского рудника

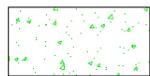
Ромбовидные камеры



- проектный контур камеры

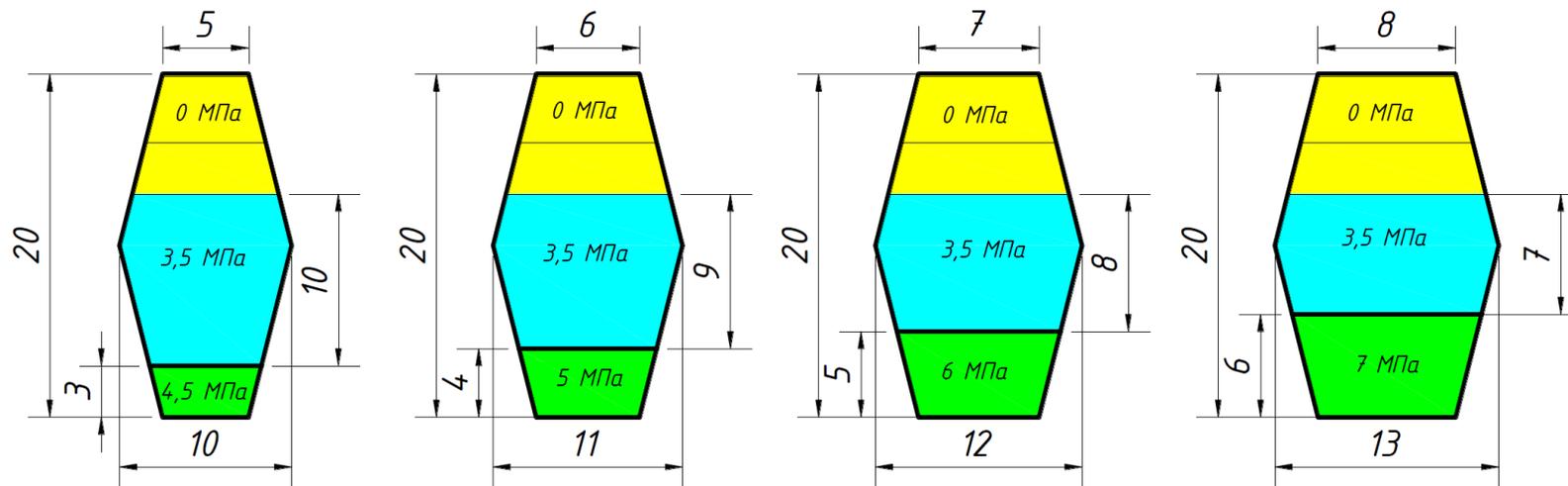


- эллиптический свод по верхнему контуру камеры



- закладочный массив ранее обработанных камер

Требования к прочности закладки в зависимости от ширины камер

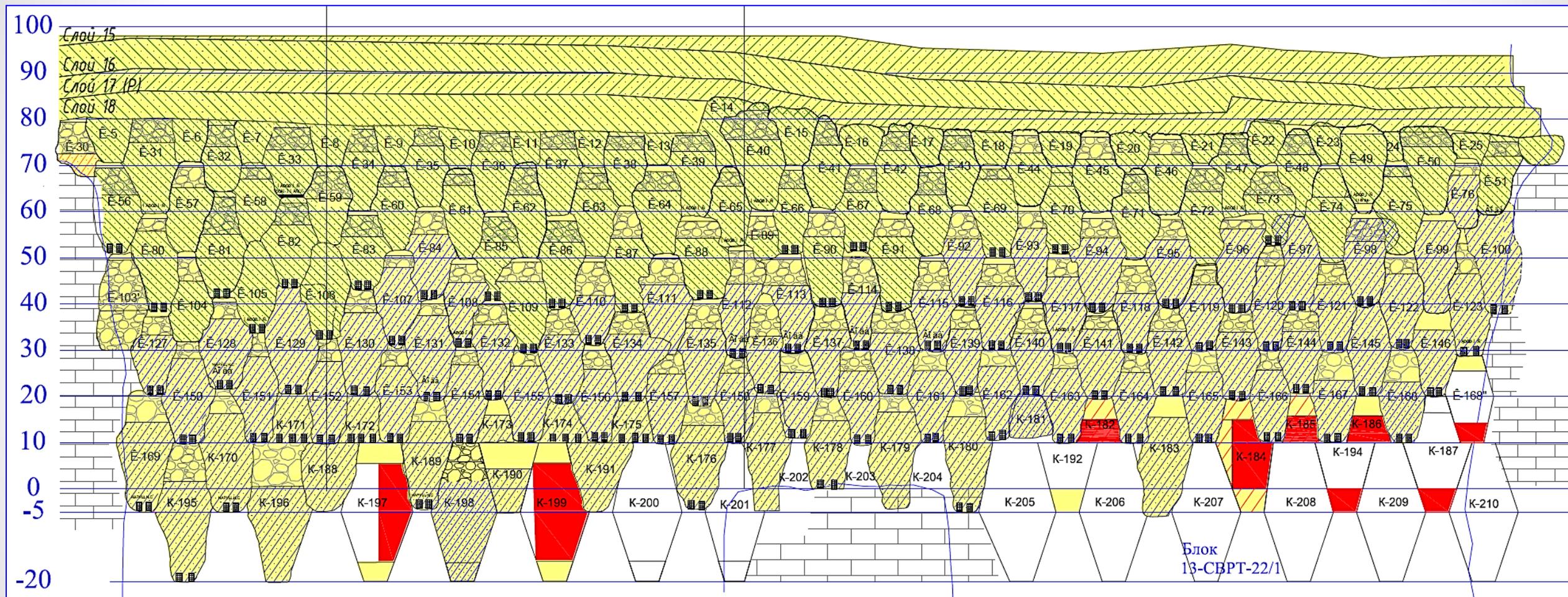


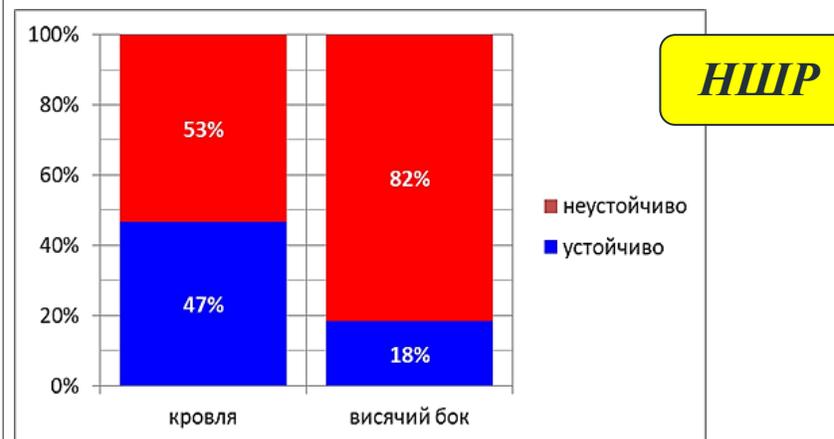
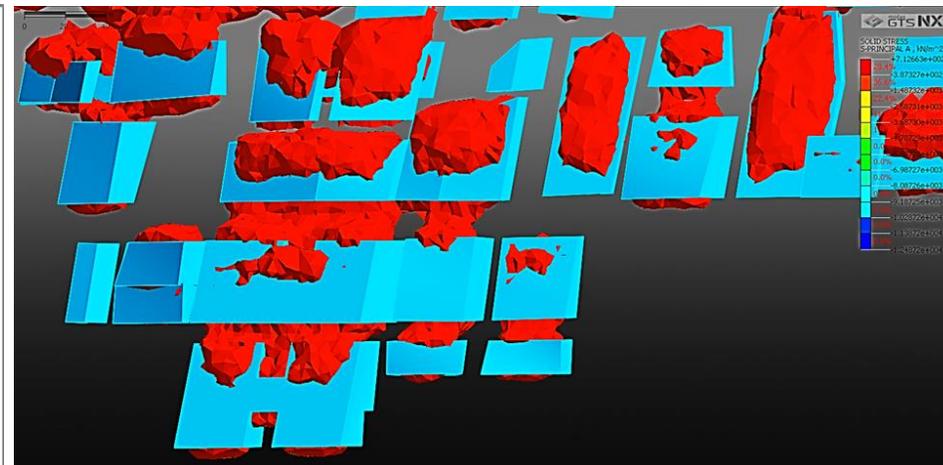
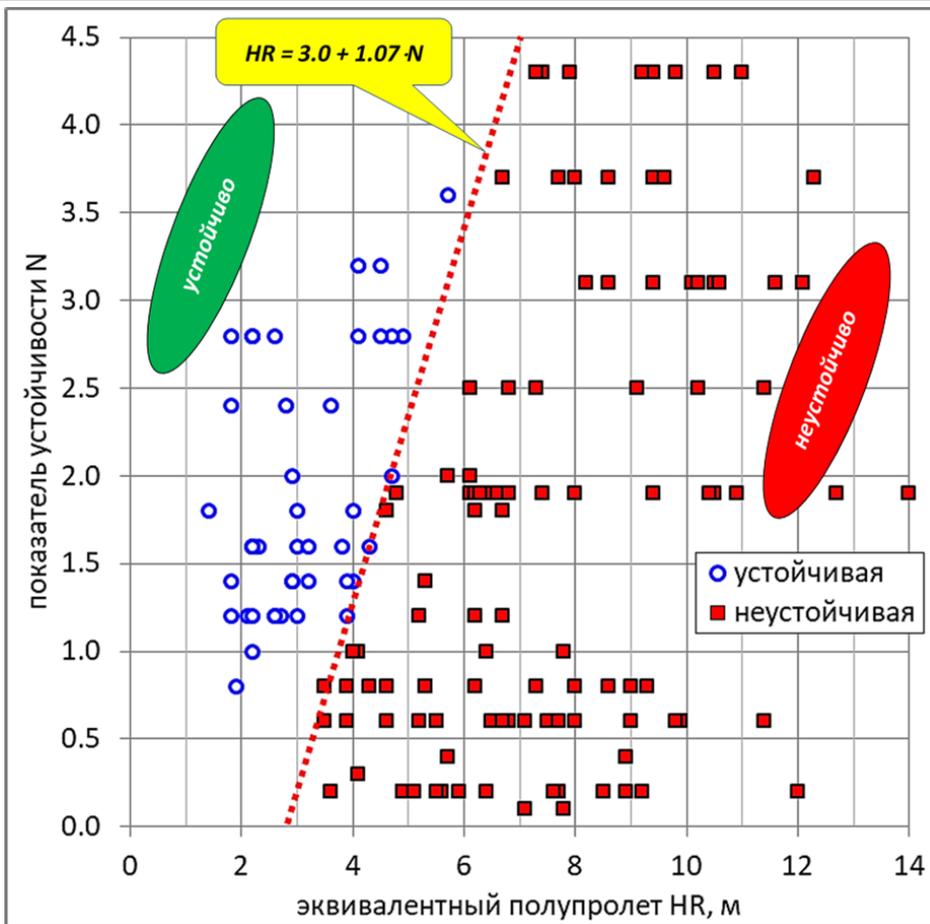
- Несущий слой закладки в камере

- Основной слой закладки в камере

- Верхний слой закладки в камере

Рудник Айхал. Отработка СВРТ ромбовидными камерами (на конец 2022 г.)





При «хронической» неустойчивости камер и целиков необходимо менять технологию добычи руды, переходя к:

- *системе подэтажного обрушения или*
- *системе горизонтальных слоев с закладкой*

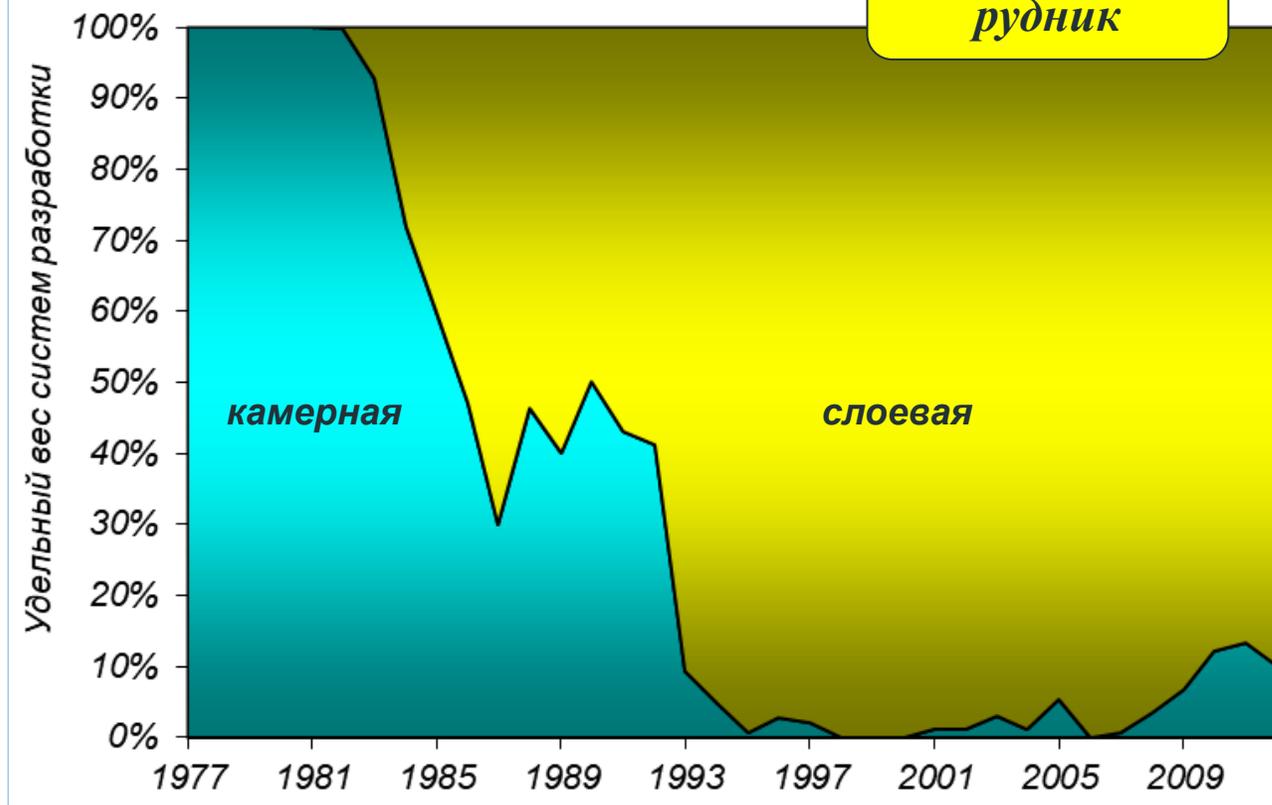
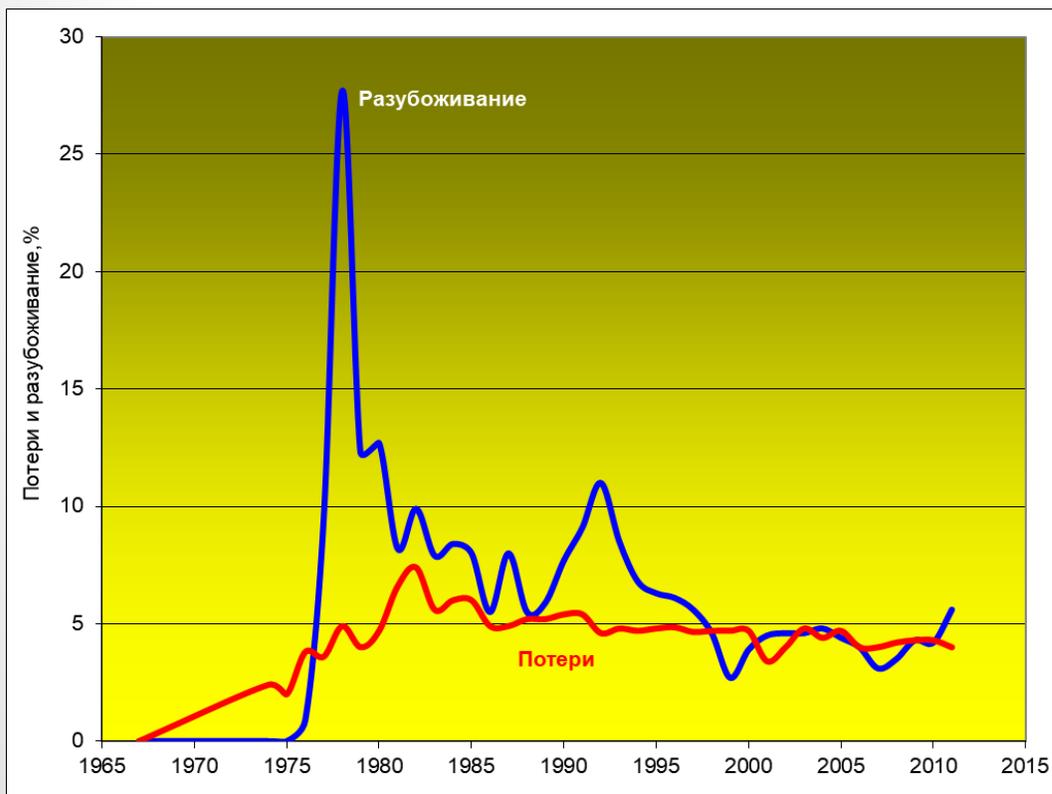
Переход от камерной к слоевой выемке

Орловский
рудник

54

Системы разработки:

- *подэтажно- камерная*
- *горизонтальными слоями в нисходящем порядке*



из-за неустойчивости камер и, как следствие, высокого разубоживания руды пришлось отказаться от камерной системы и перейти к слоевой системе разработки в нисходящем порядке

ПТЭ:

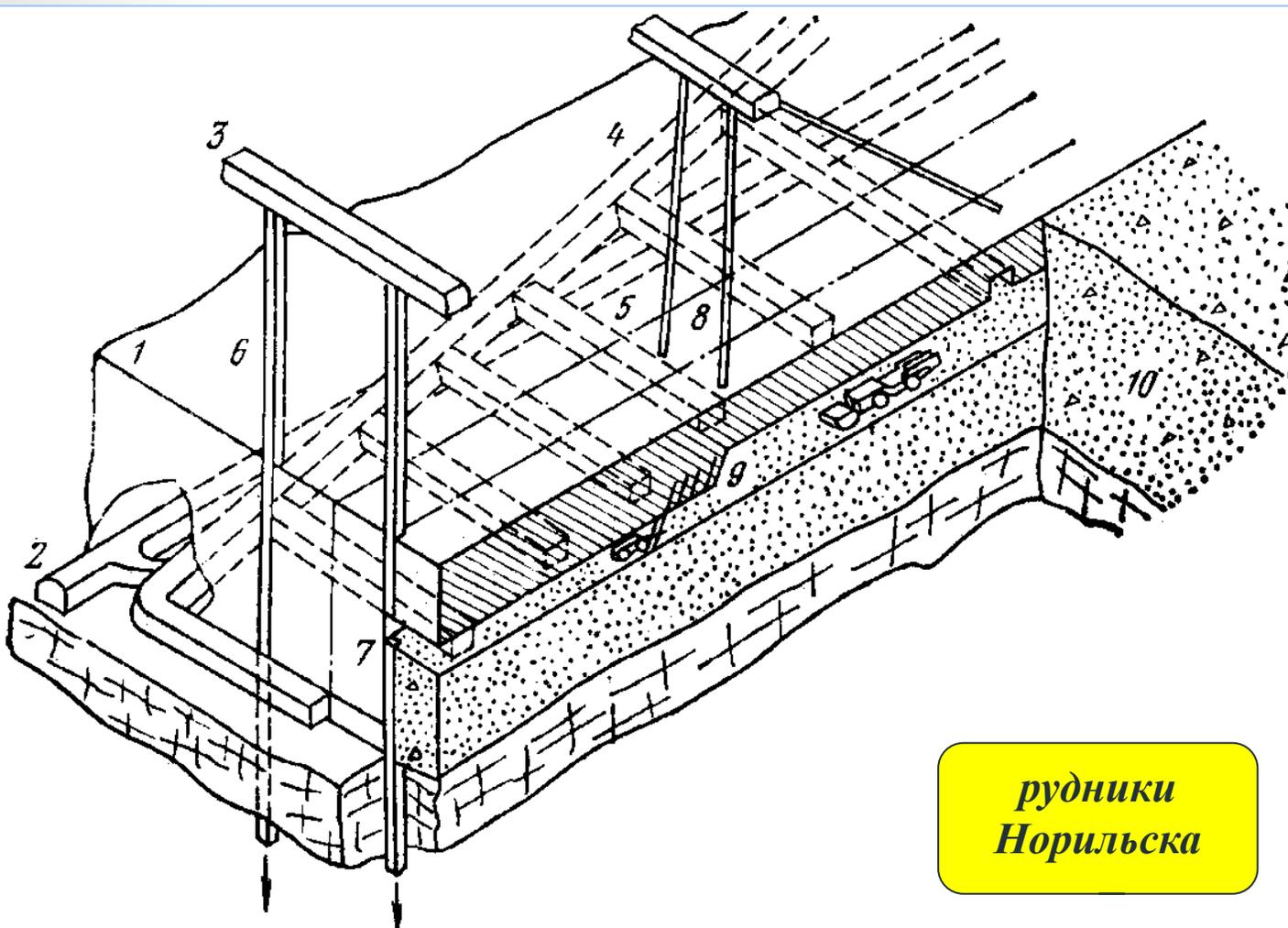
Система горизонтальных слоев с закладкой

§ 210. Систему горизонтальных слоев с закладкой можно применять для отработки крутонападающих рудных тел любой мощности и мощных рудных тел с любым углом падения, при рудах средней устойчивости (маломощные рудные тела) и устойчивых, залегающих в породах средней устойчивости.

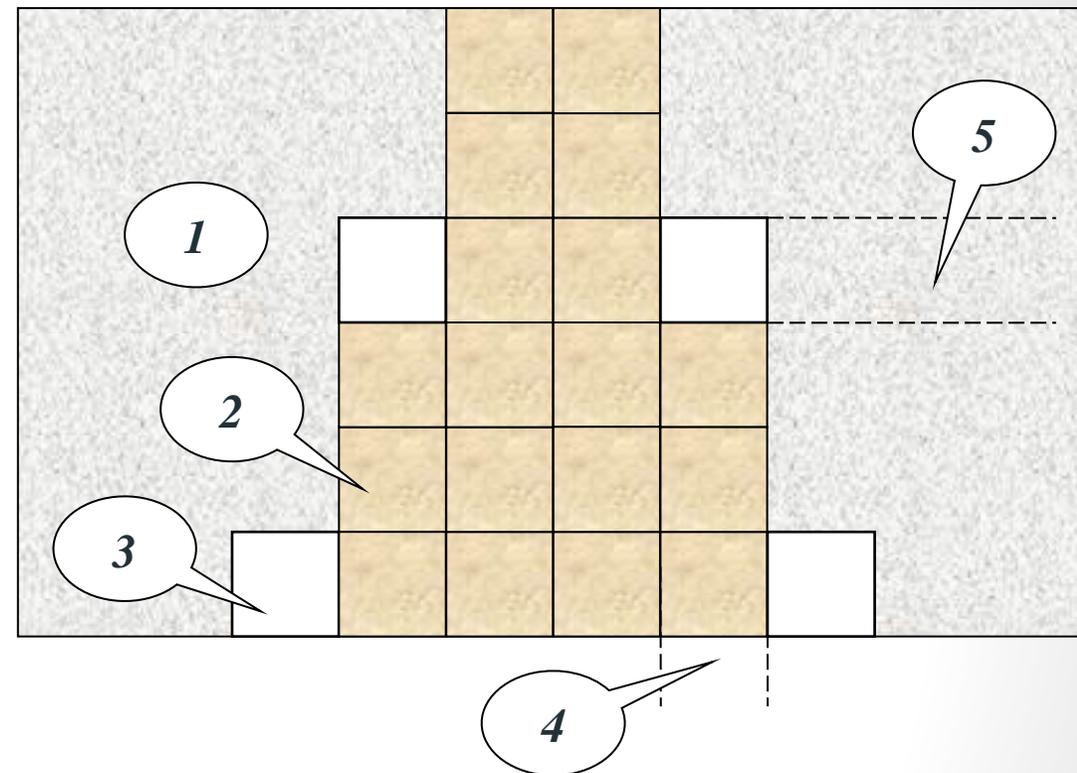
§ 213. Выемку руды в камере (блоке) допускается осуществлять горизонтальными слоями в направлении снизу вверх или сверху вниз в зависимости от горнотехнических условий по проекту. При неустойчивых рудах выемка должна производиться слоями сверху вниз с обязательным применением твердеющей закладки.

§ 214. Закладку подавать в блок (камеру) с верхнего горизонта по закладочному восстающему, расположенному, как правило, в середине блока (камеры).

- *В восходящем порядке - для отработки руд выше средней устойчивости*

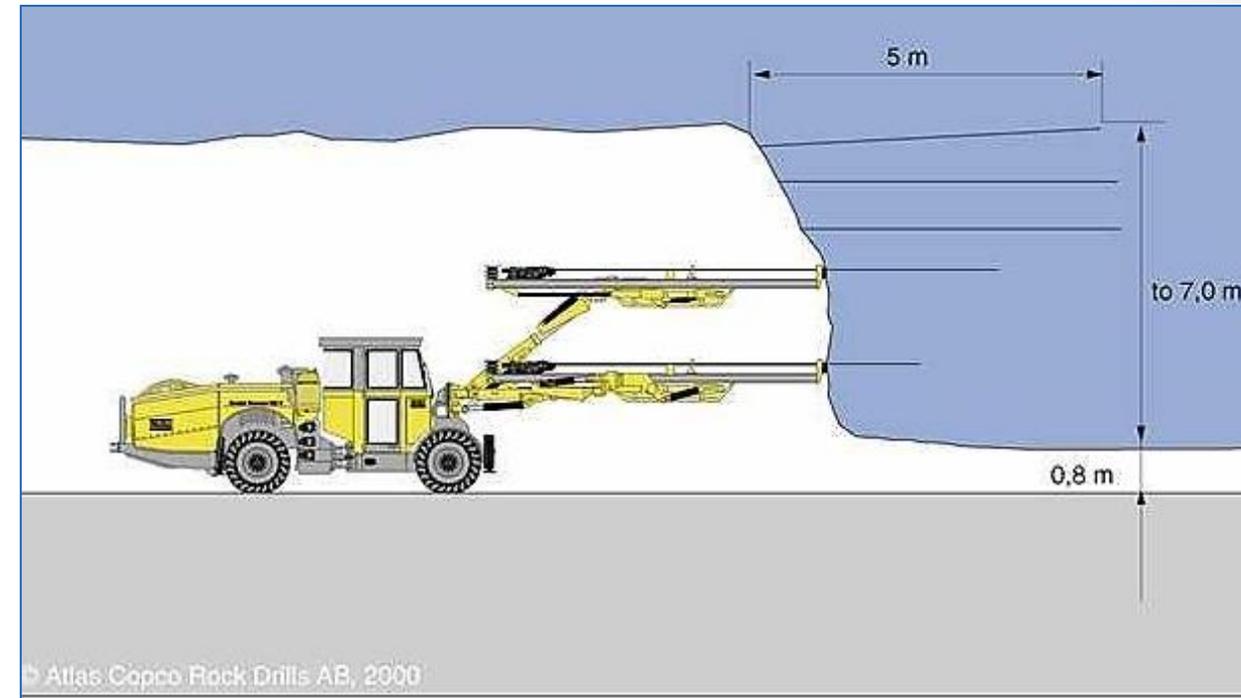
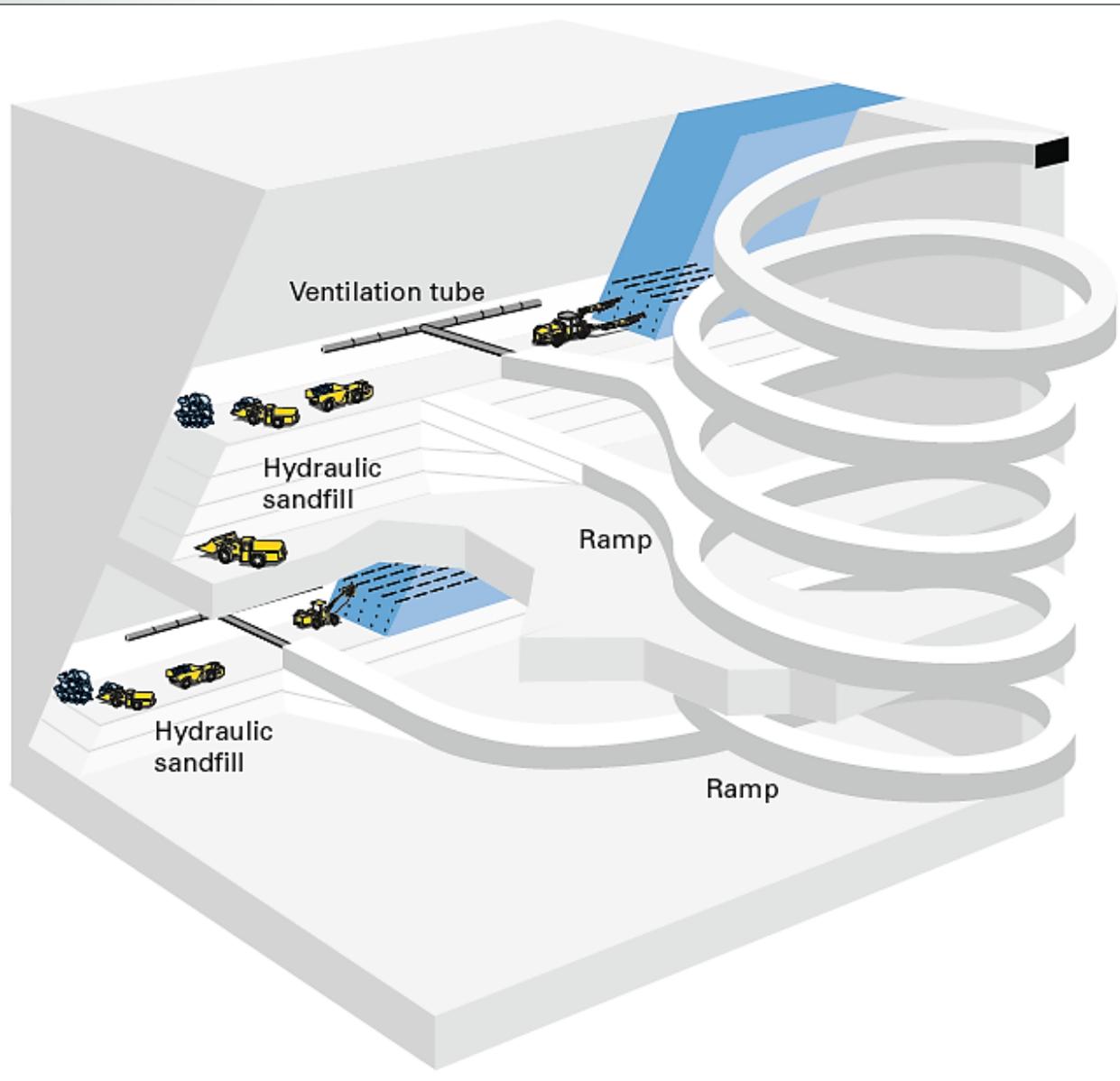


*рудники
Норильска*



- 1 – руда;*
- 2 – закладка;*
- 3 – очистные заходки;*
- 4 – вертикальные ленты;*
- 5 – горизонтальные слои*

Для восходящего порядка отработки слоев необходима устойчивость руды выше средней

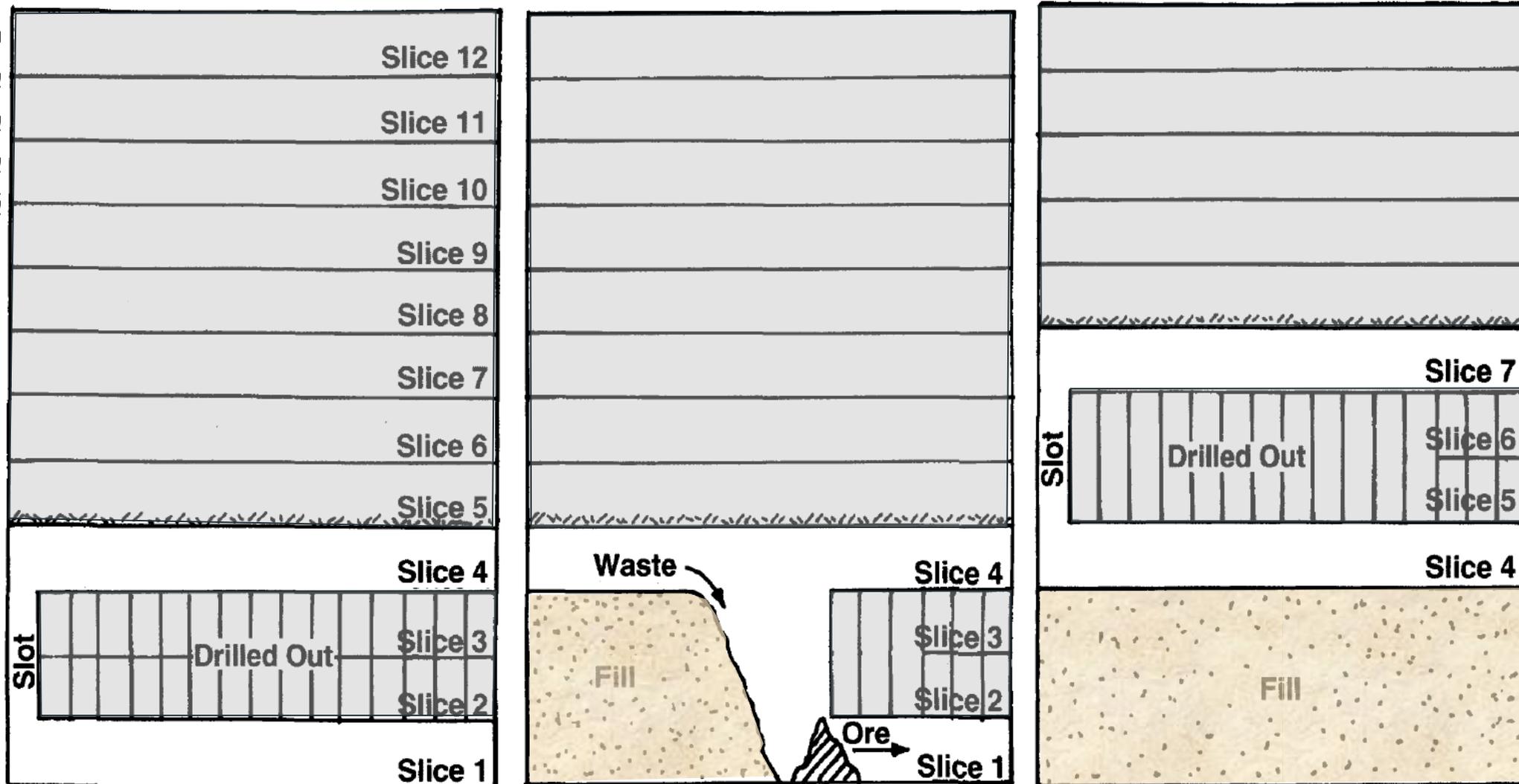


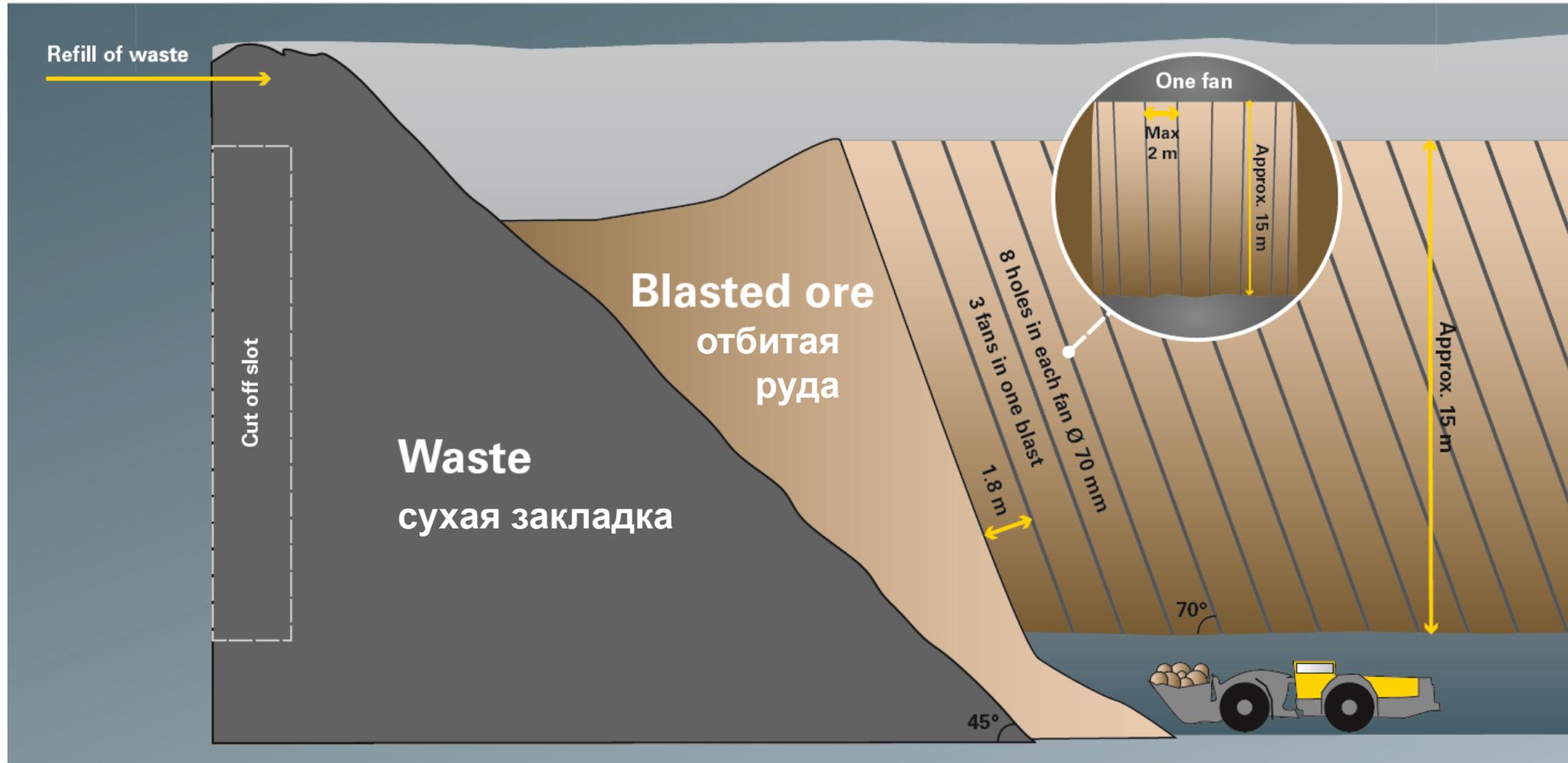


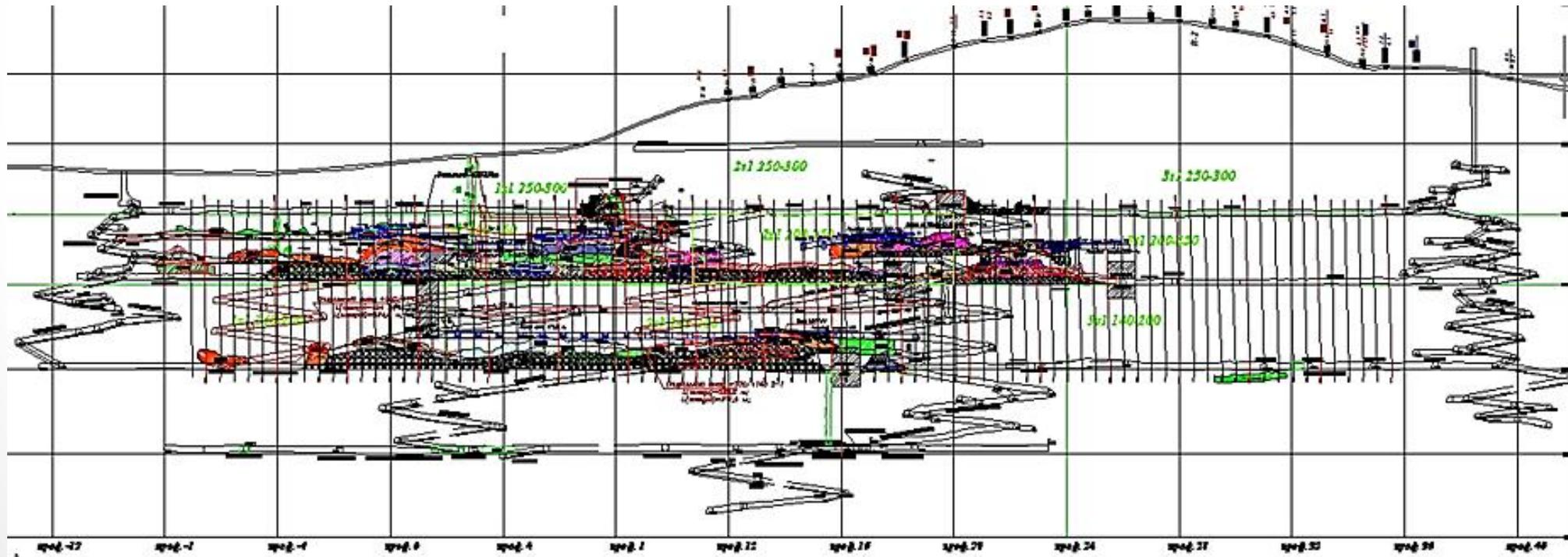
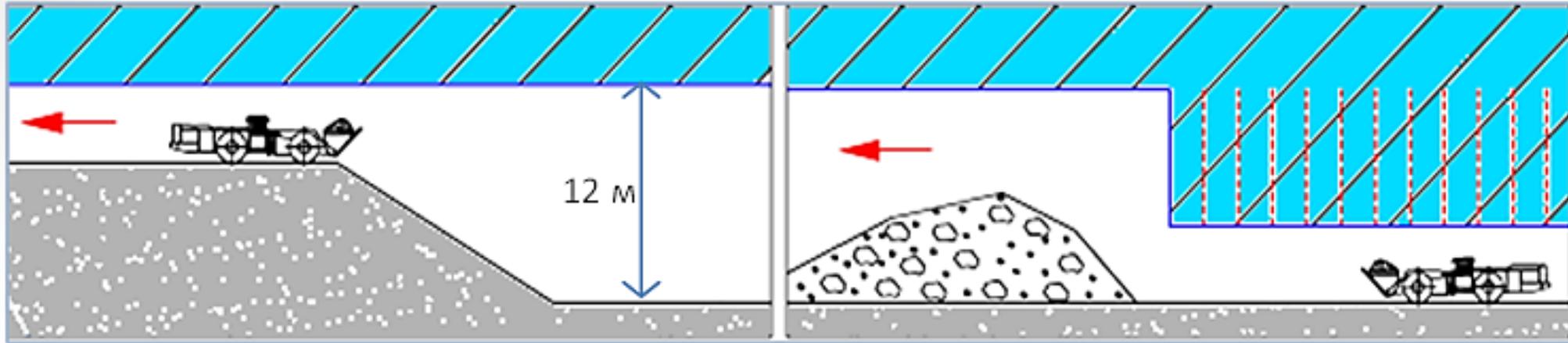
*Mount Isa Mine
Australia*

Авосо Mining - восходящая слоевая выемка со скважинной отбойкой, торцевым выпуском (т.е. без захода в выработанное пространство) и породной закладкой

Для восходящего порядка отработки необходима устойчивость руды выше средней



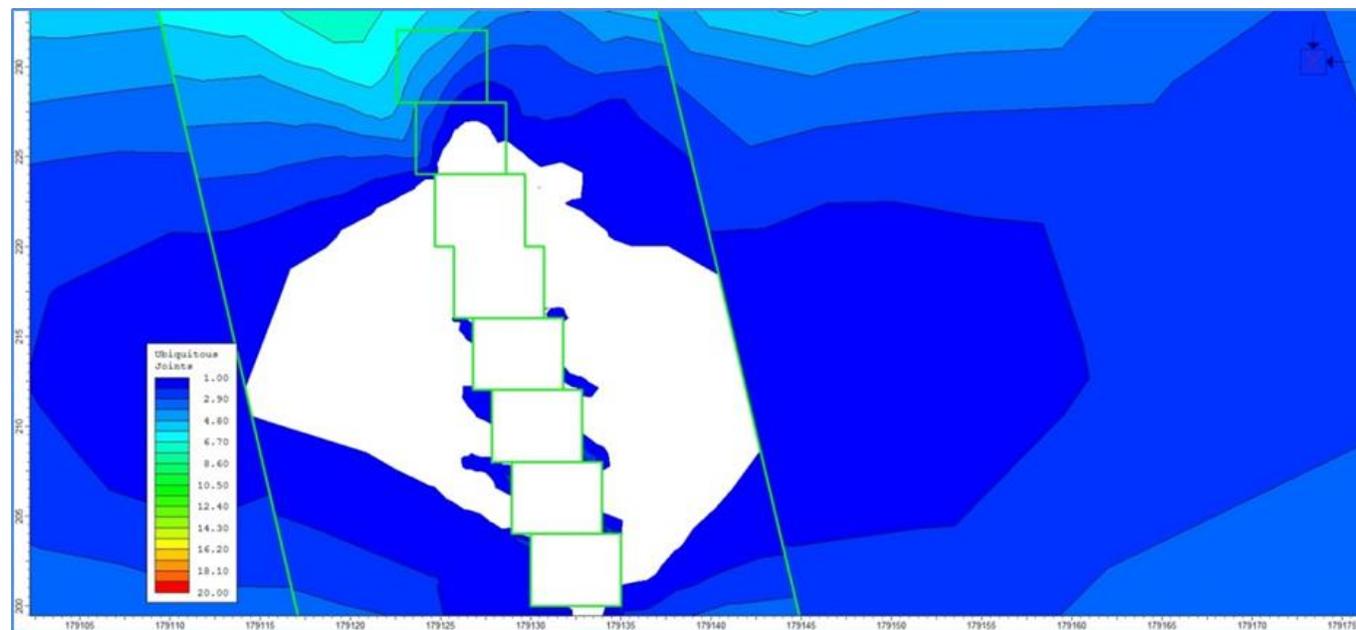
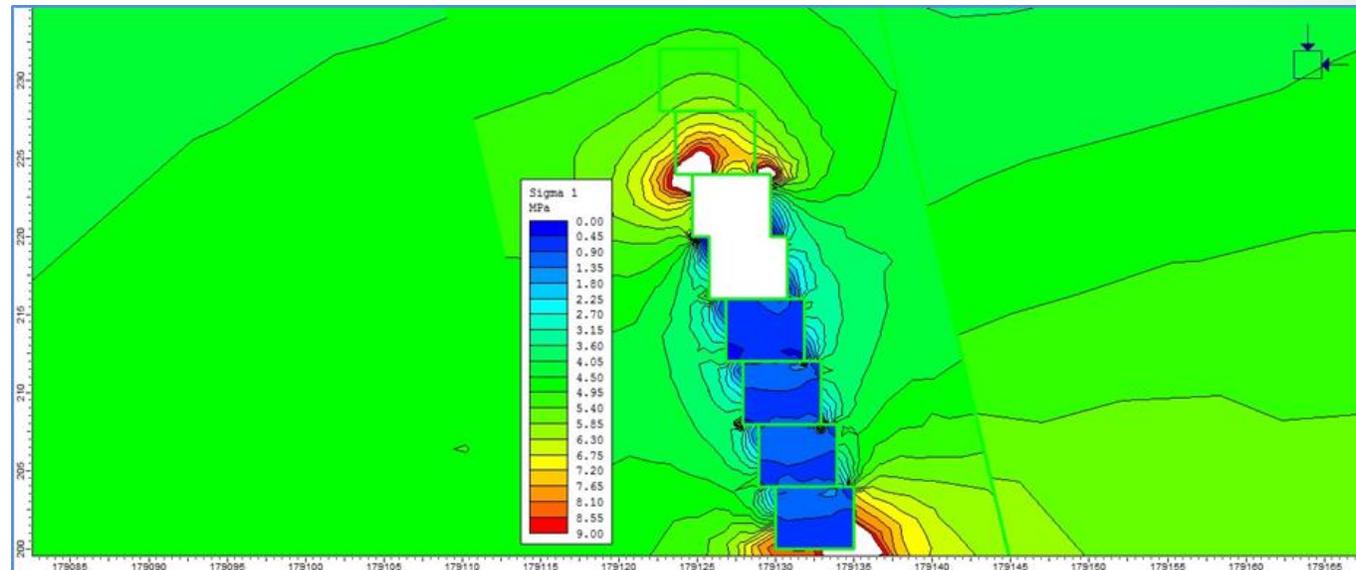


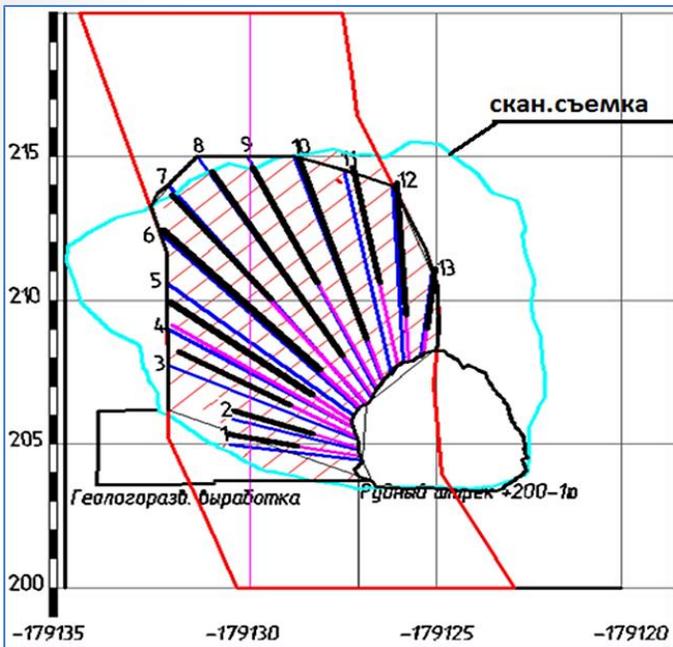


*рудник
Майский*

*рудник
Майский*

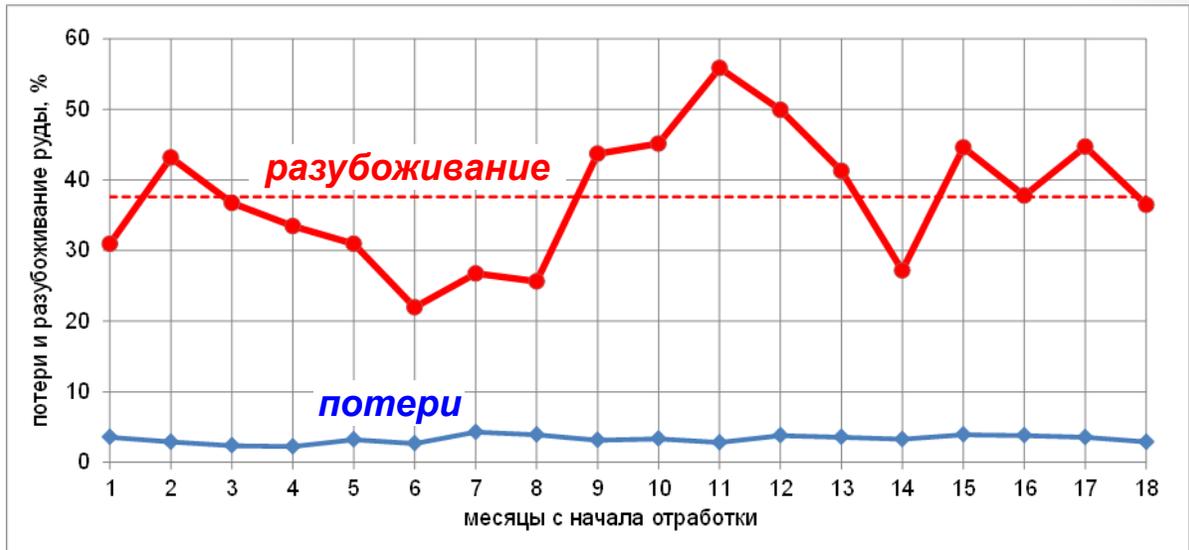
в условиях Майского рудника сухая закладка не обеспечивает надежного поддержания слабых пород висячего и лежащего боков рудного тела, т.к.: $E_3 / E_M = 7\%$



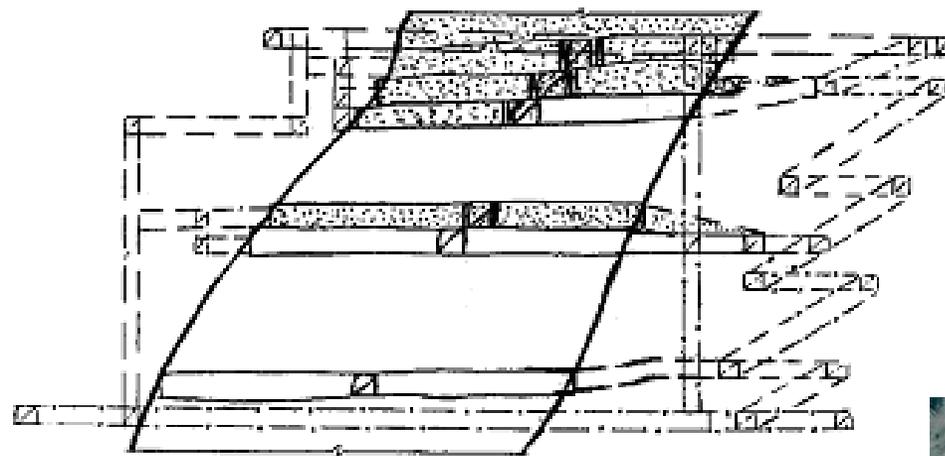
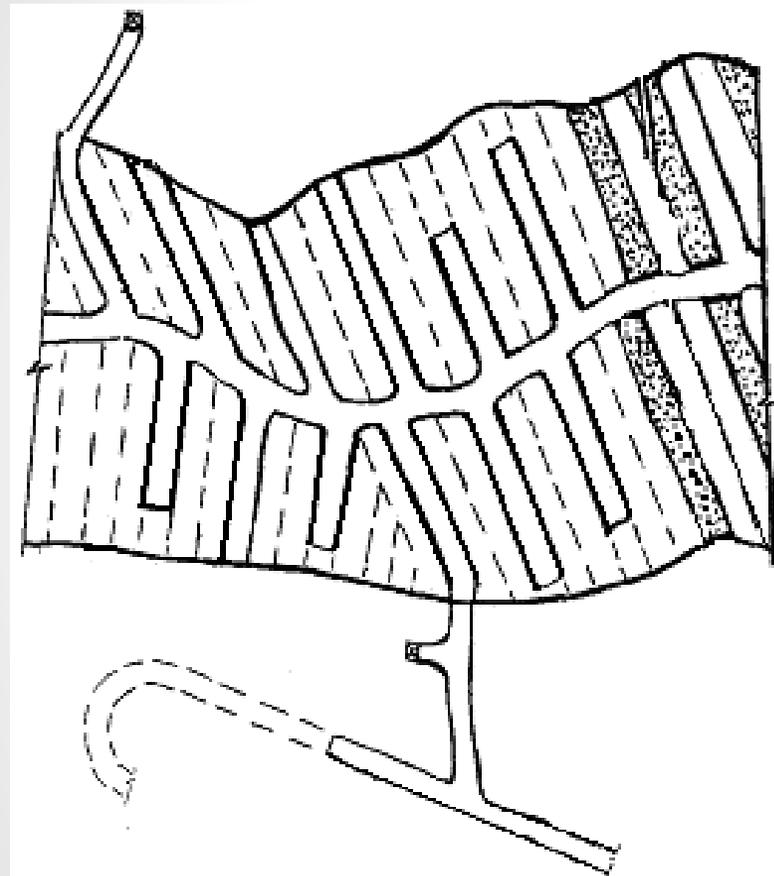


**рудник
Майский**

- *наблюдаемые на практике повсеместные отслоения и обрушения горной массы следует квалифицировать как неустойчивое состояние руды и пород в очистных заходках;*
- *расчеты ИрГТУ (2010) об устойчивом состоянии очистных заходок с обнажениями до 1000 м², положенные в основу проекта ПМИ (2011), не подтвердились на практике;*
- *при неустойчивом состоянии руды и пород нахождение людей и техники в открытом выработанном пространстве (очистных заходках) недопустимо по условиям безопасности.*

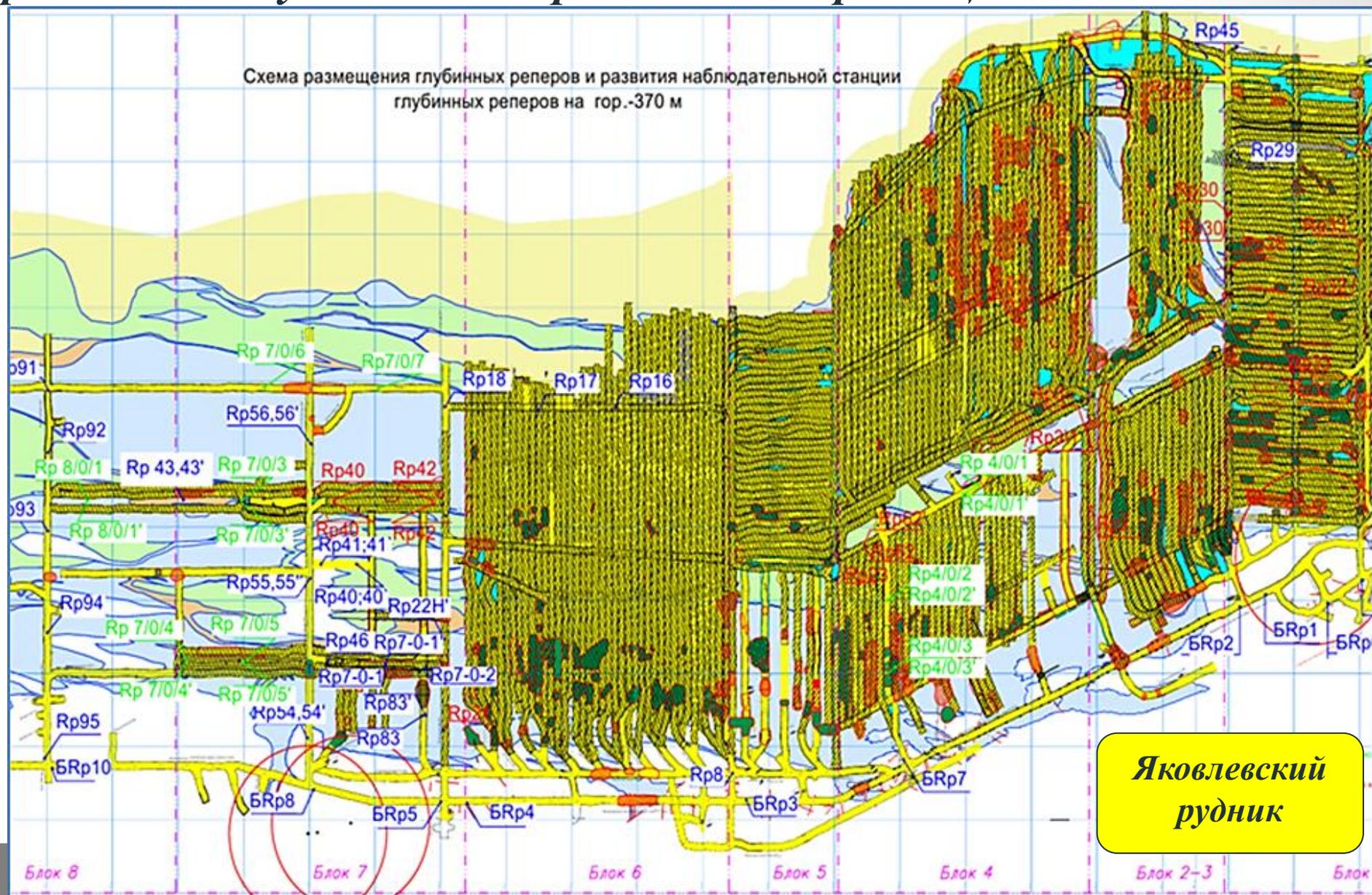


● *В нисходящем порядке под искусственной кровлей из твердеющей закладки отработки руд ниже средней устойчивости*



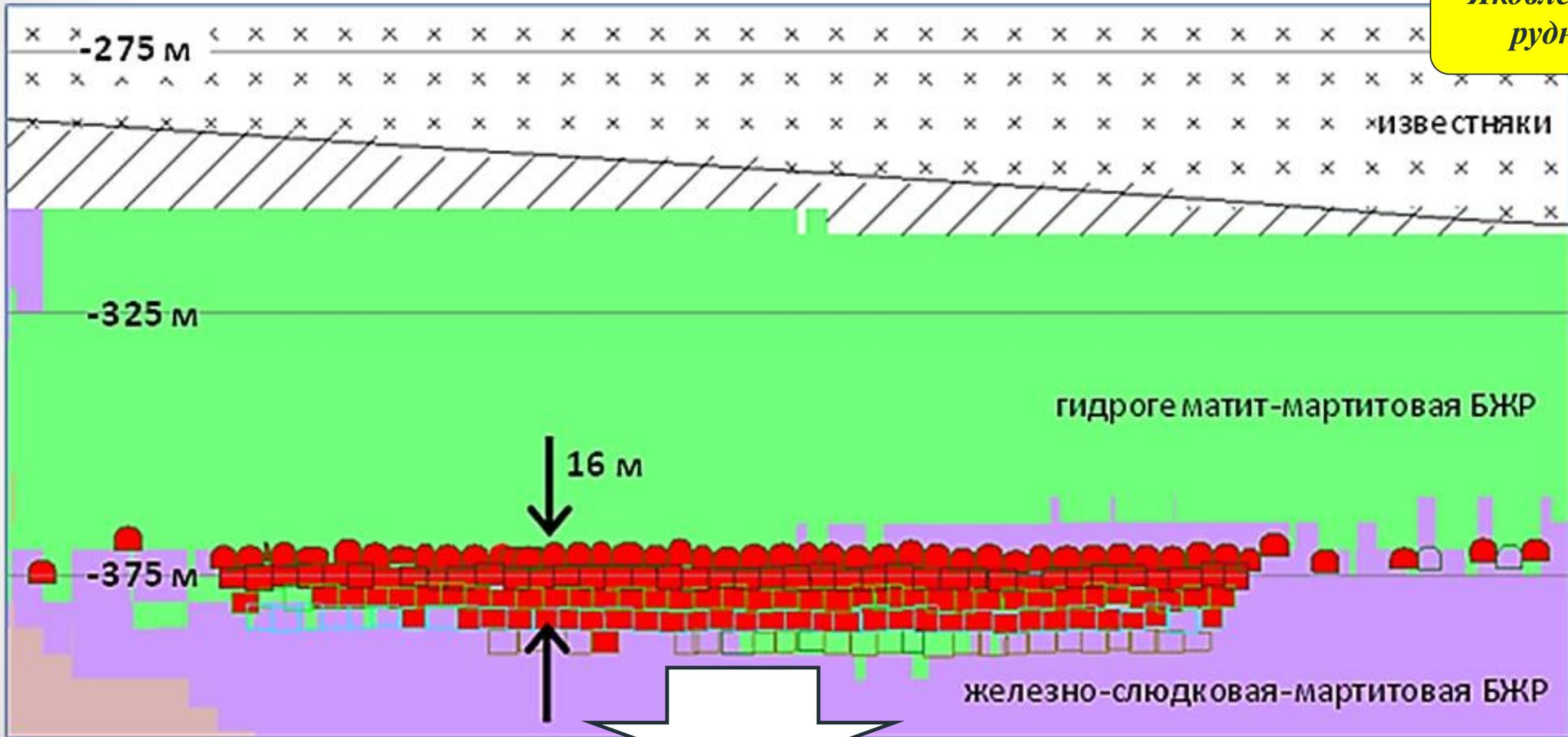
**Орловский
рудник**

- *В нисходящем порядке под искусственной кровлей из твердеющей закладки для отработки руд ниже средней устойчивости*



● *В нисходящем порядке под искусственной кровлей из твердеющей закладки - для отработки руд ниже средней устойчивости*

**Яковлевский
рудник**



● Слоистая структура массива твердеющей закладки

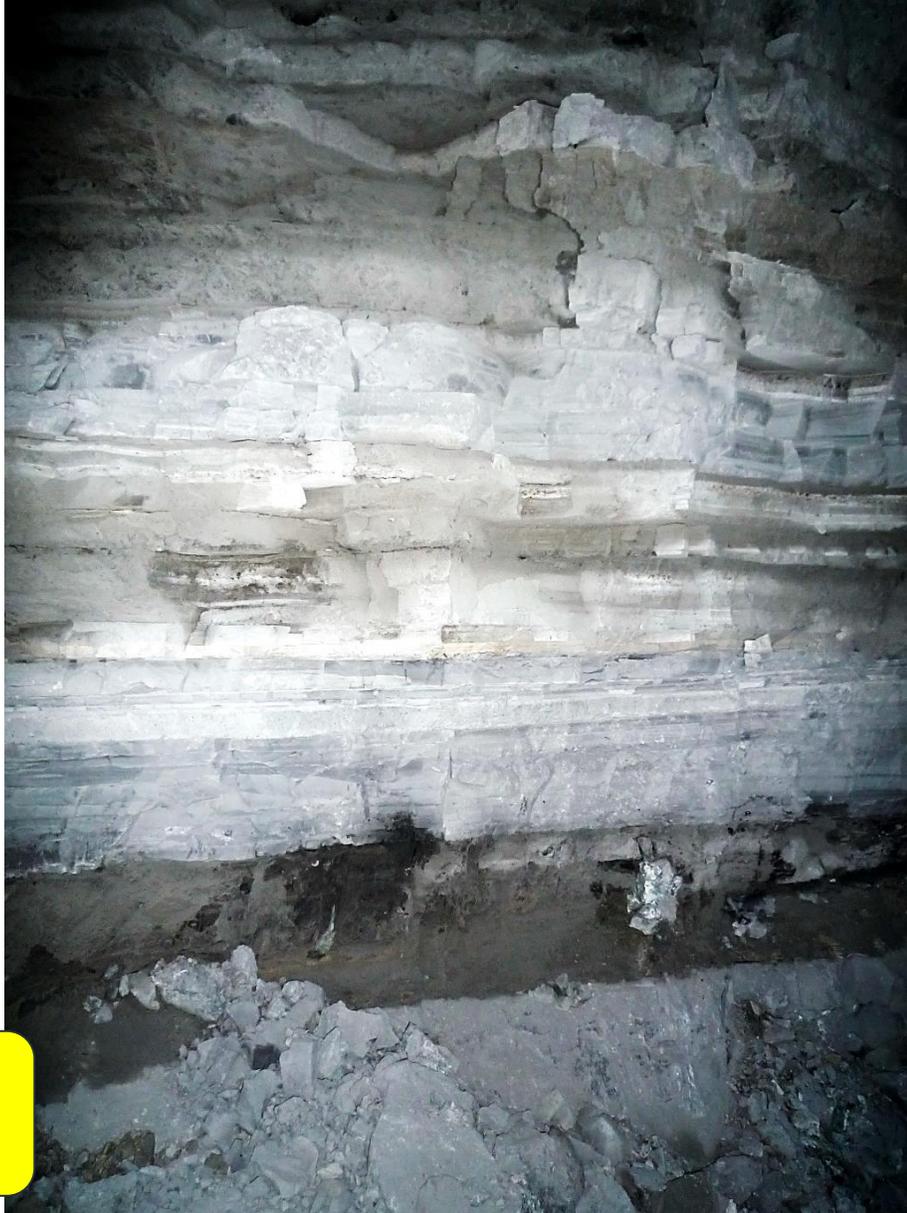
Малеевский
рудник

Таймырский
рудник



Твердеющая закладка

*Слоистая структура
массива твердеющей
закладки*



*Артемьевский
рудник*

Твердеющая закладка

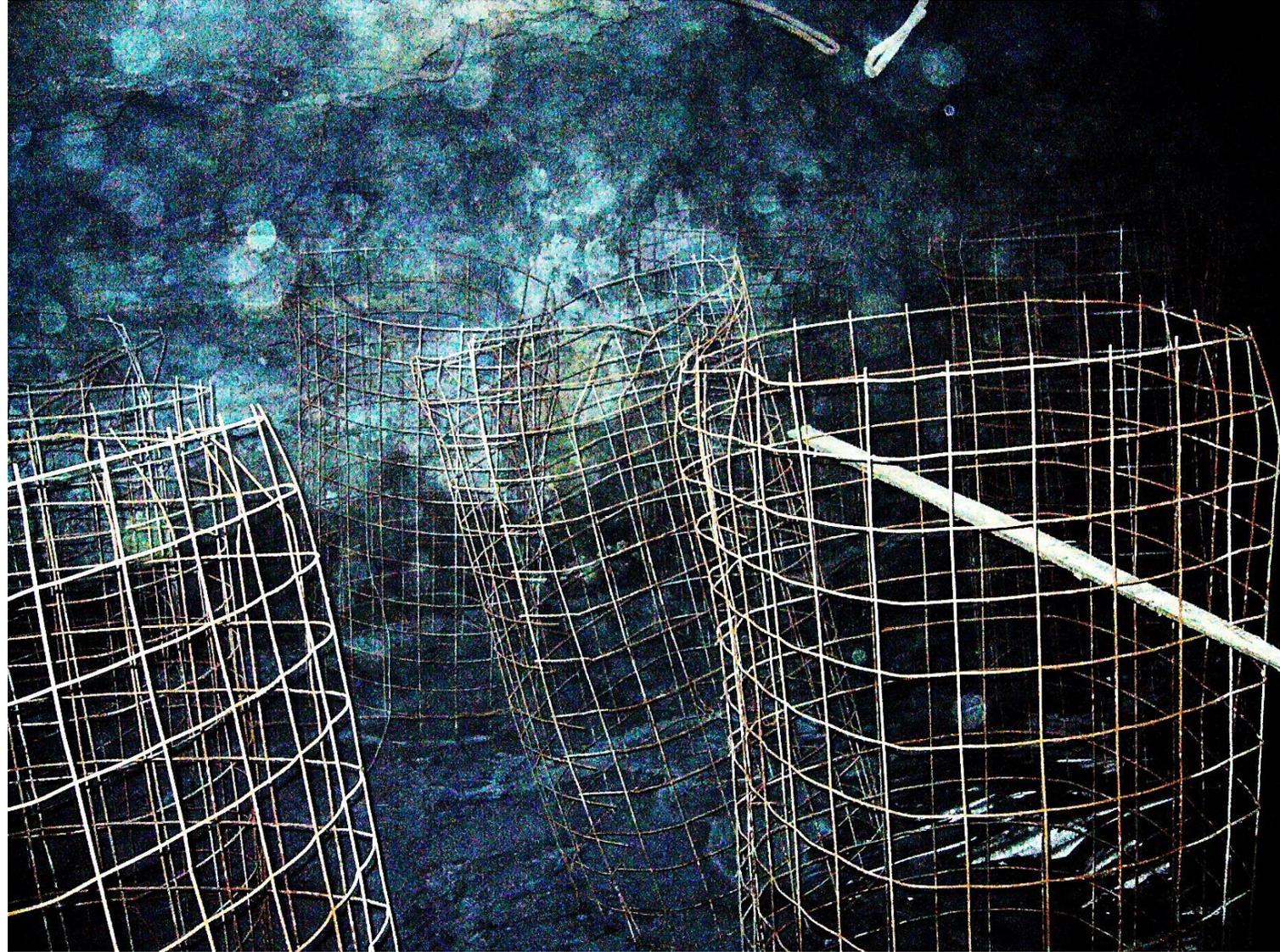
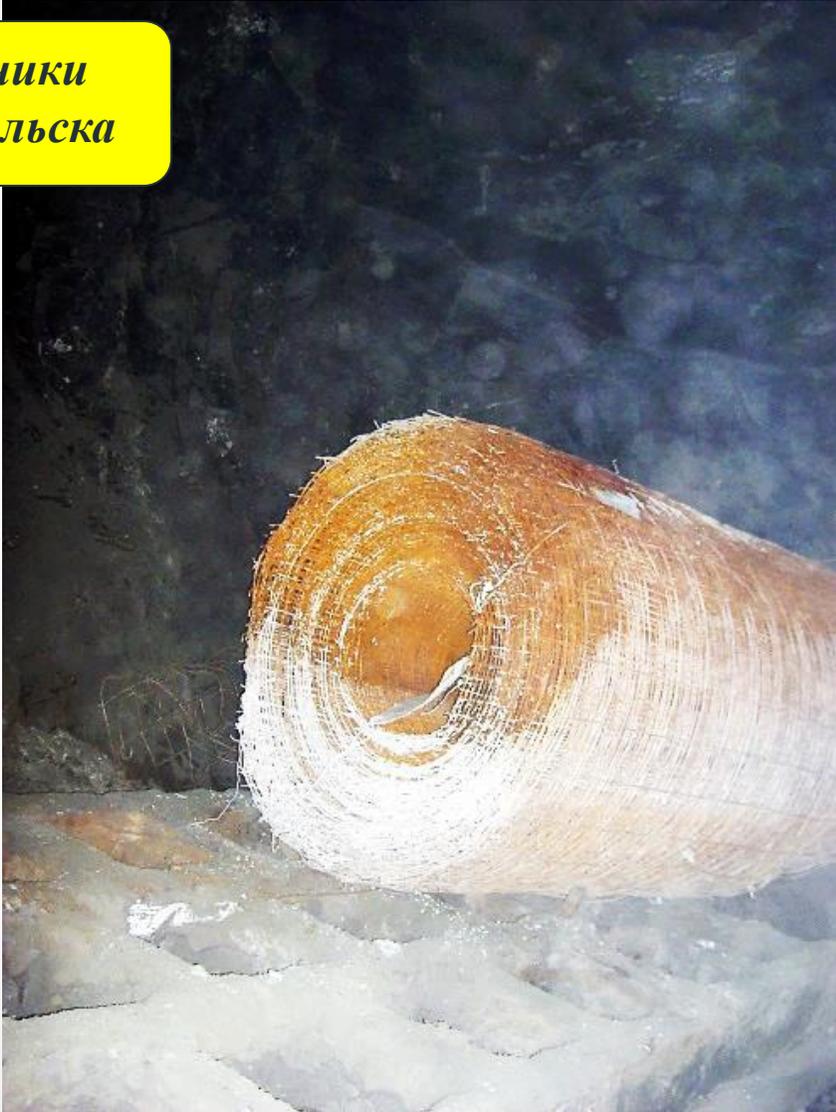
*Вывалы неармированной
закладки при ее
обнажении снизу*



*Малеевский
рудник*

● Вертикальная армировка искусственной кровли

*рудники
Норильска*



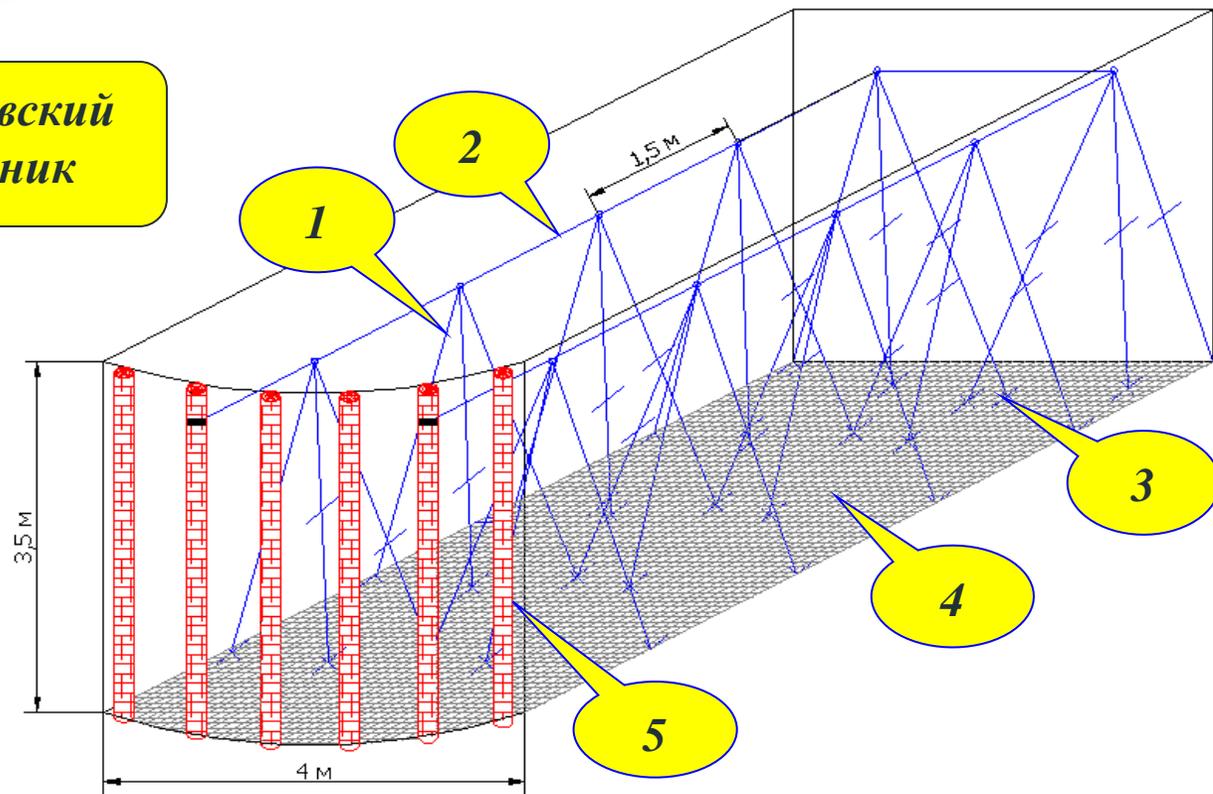
Вертикальная армирование искусственной кровли



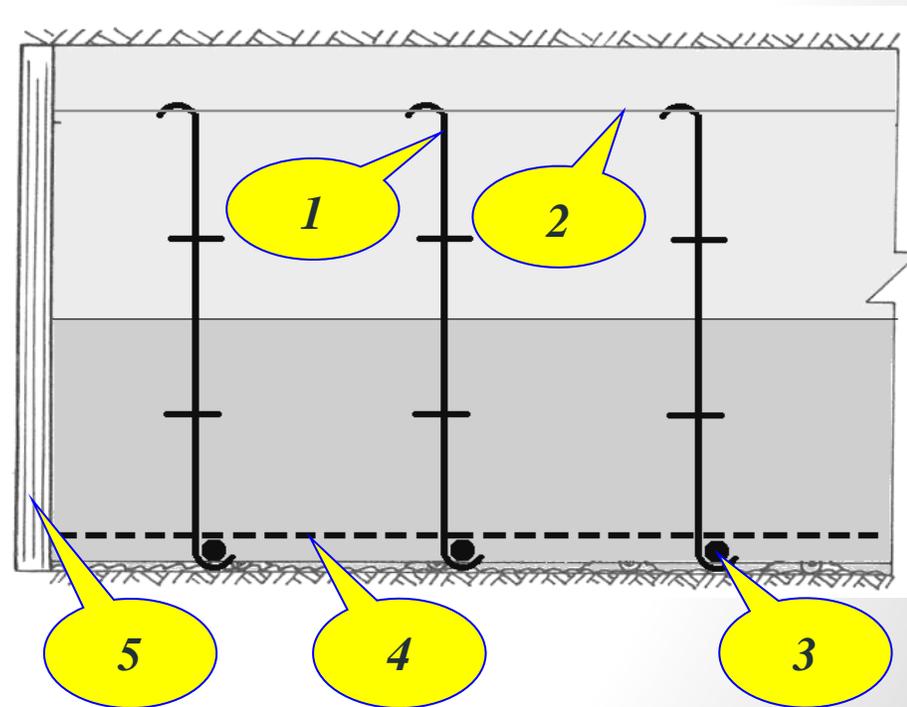
*рудники
Норильска*

Комбинированная армировка искусственной кровли из твердеющей закладки

Орловский
рудник



- 1 – арматурные стержни;
- 2 – связующая проволока;
- 3 – поддерживающие элементы;
- 4 – сварная металлическая сетка;
- 5 – стойки перемычки



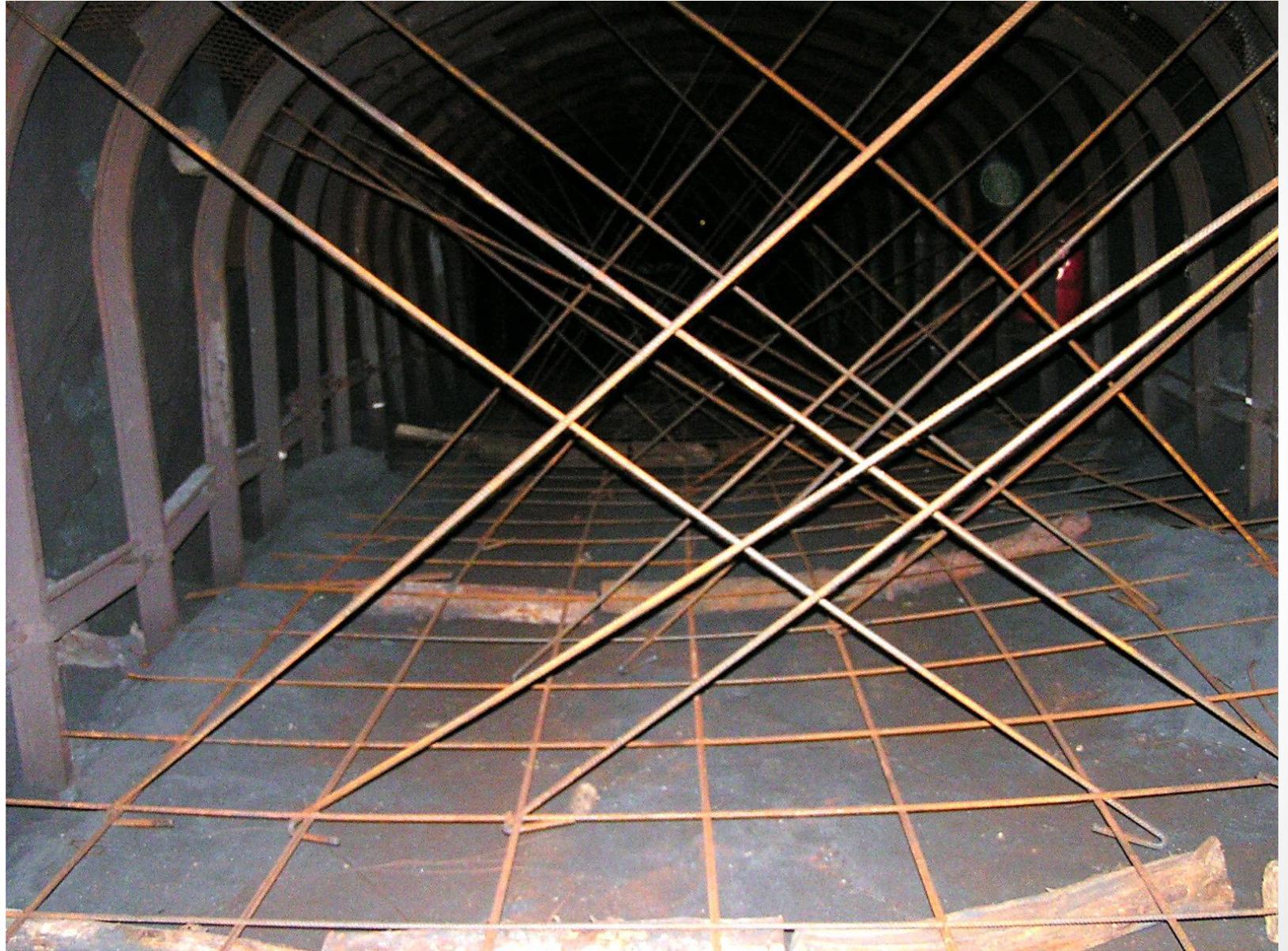
Комбинированная армировка искусственной кровли из твердеющей закладки

Орловский
рудник



*армировка = опережающее крепление
искусственной кровли*

*Комбинированная
армировка
искусственной кровли из
твердеющей закладки*



*Яковлевский
рудник*



*Комбинированная
армировка искусственной
кровли из твердеющей
закладки*

*Яковлевский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли



*Яковлевский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли



*Орловский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли



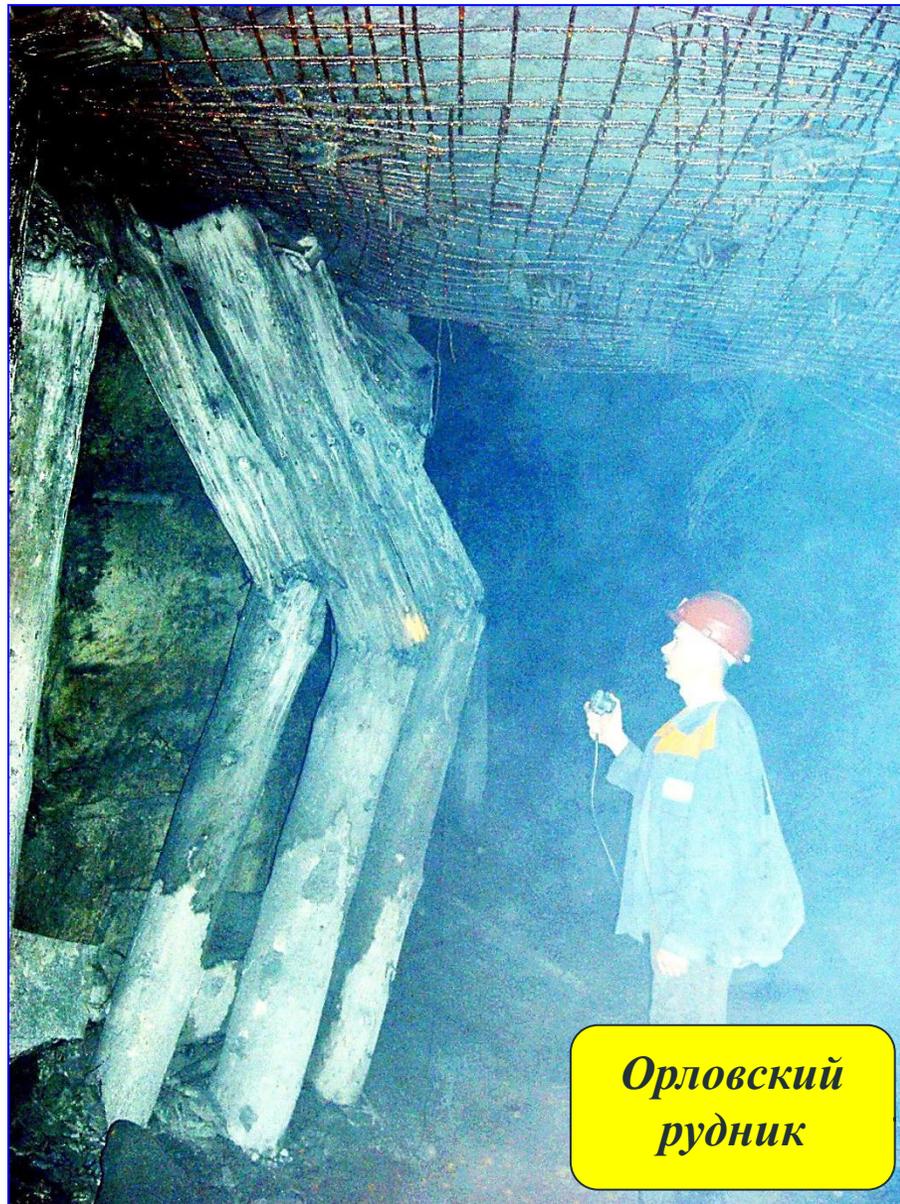
*Орловский
рудник*

«Разрез» армированной искусственной кровли

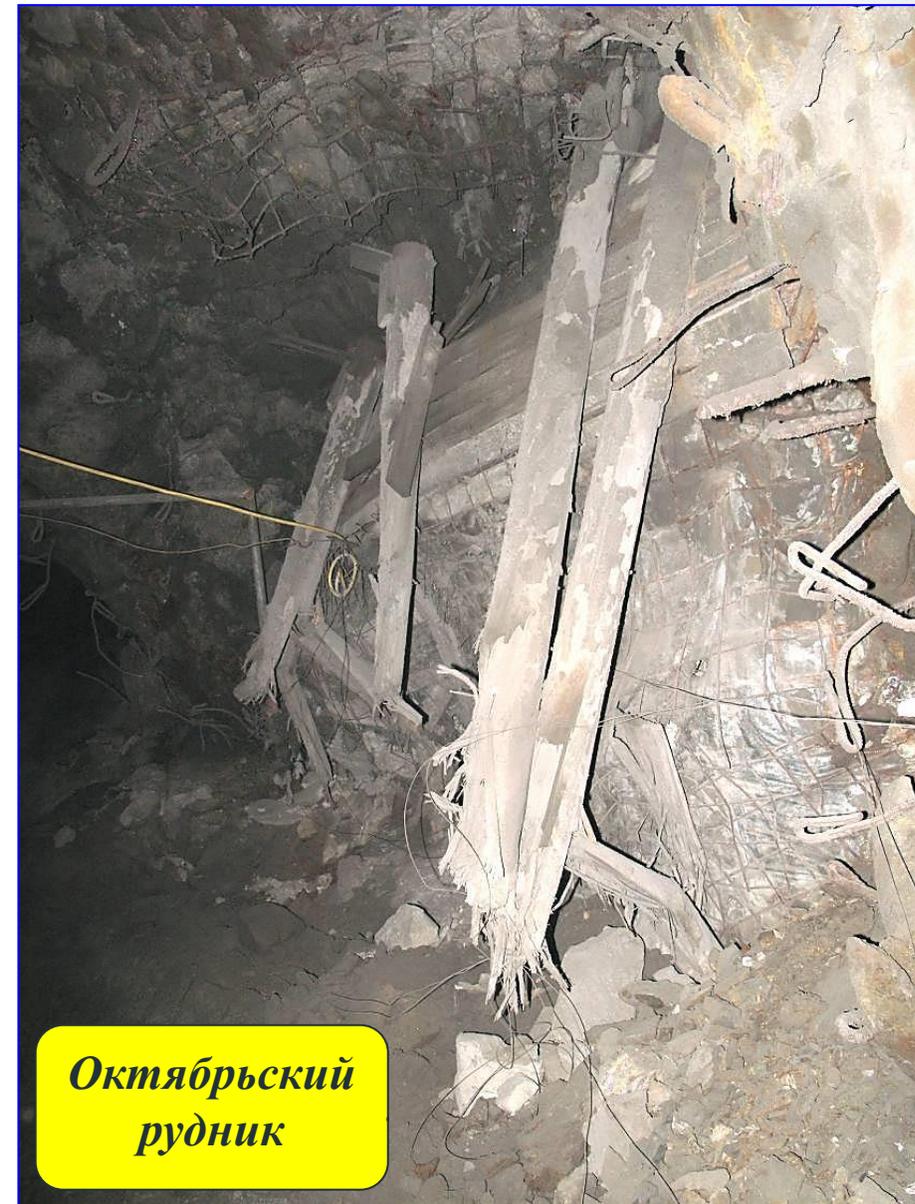


**Орловский
рудник**

*Оседание
армированной
искусственной
кровли в ходе
отработки слоя*



*Орловский
рудник*

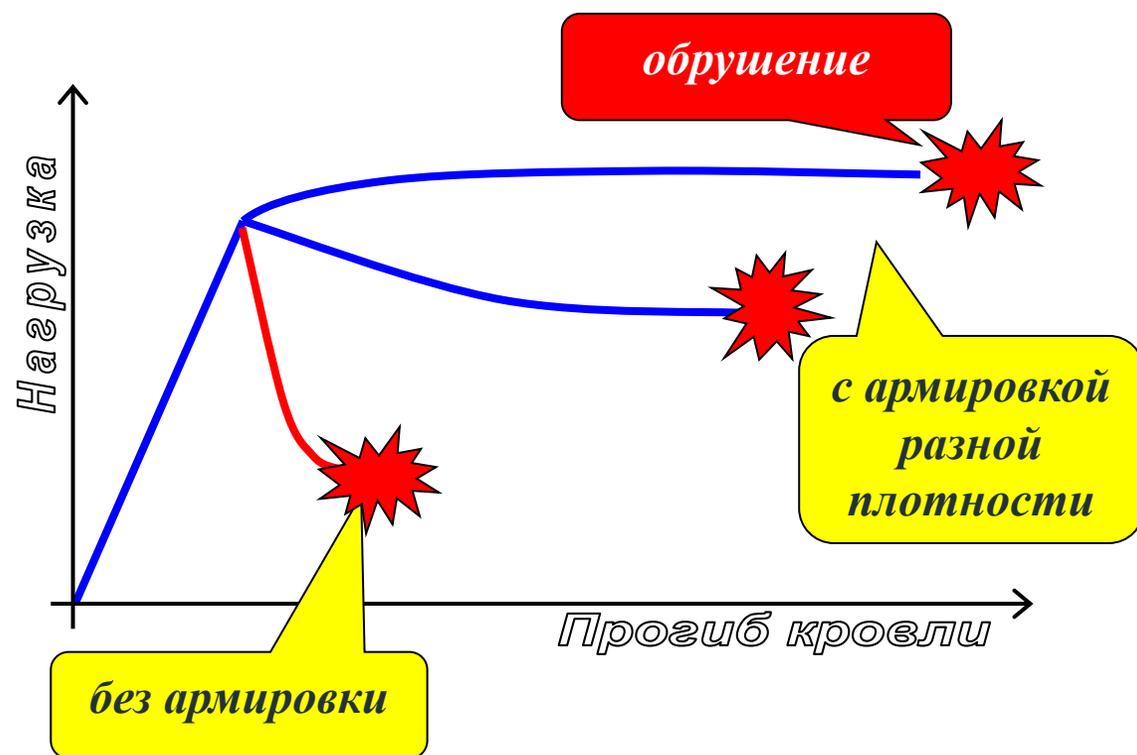


*Октябрьский
рудник*

*Оседание
армированной
искусственной
кровли в ходе
отработки слоя*



**Орловский
рудник**



Армировка закладки обеспечивает плавный прогиб искусственной кровли до 20 см при обнажении ее нижележащим слоем на площади очистного блока

Параметры армировки: шаг установки арматуры по длине и ширине заходки – 1,5 м; длина арматуры – 3,0 м; диаметр арматуры – 14 мм; диаметр проволоки сварной сетки – 5 мм; ячейка сварной сетки – 100×100 мм.

Расход металла на армировку – 22 кг/пог.м

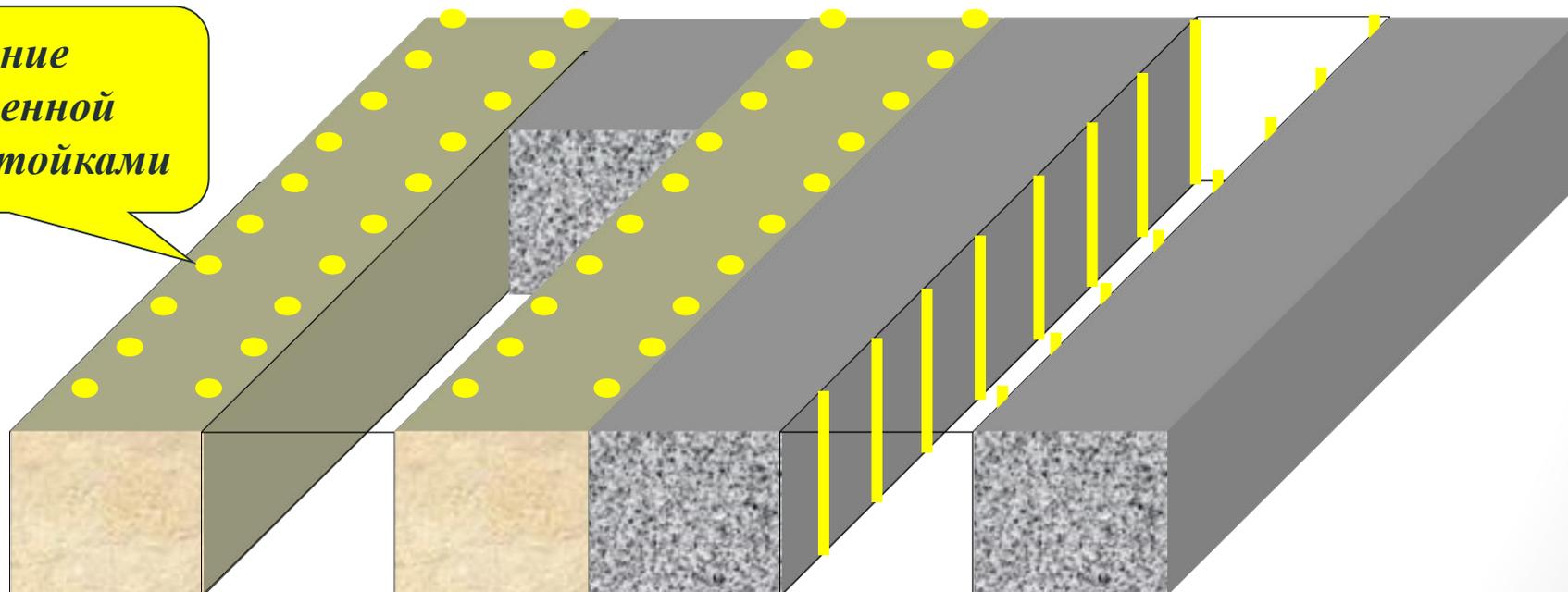
**Орловский
рудник**

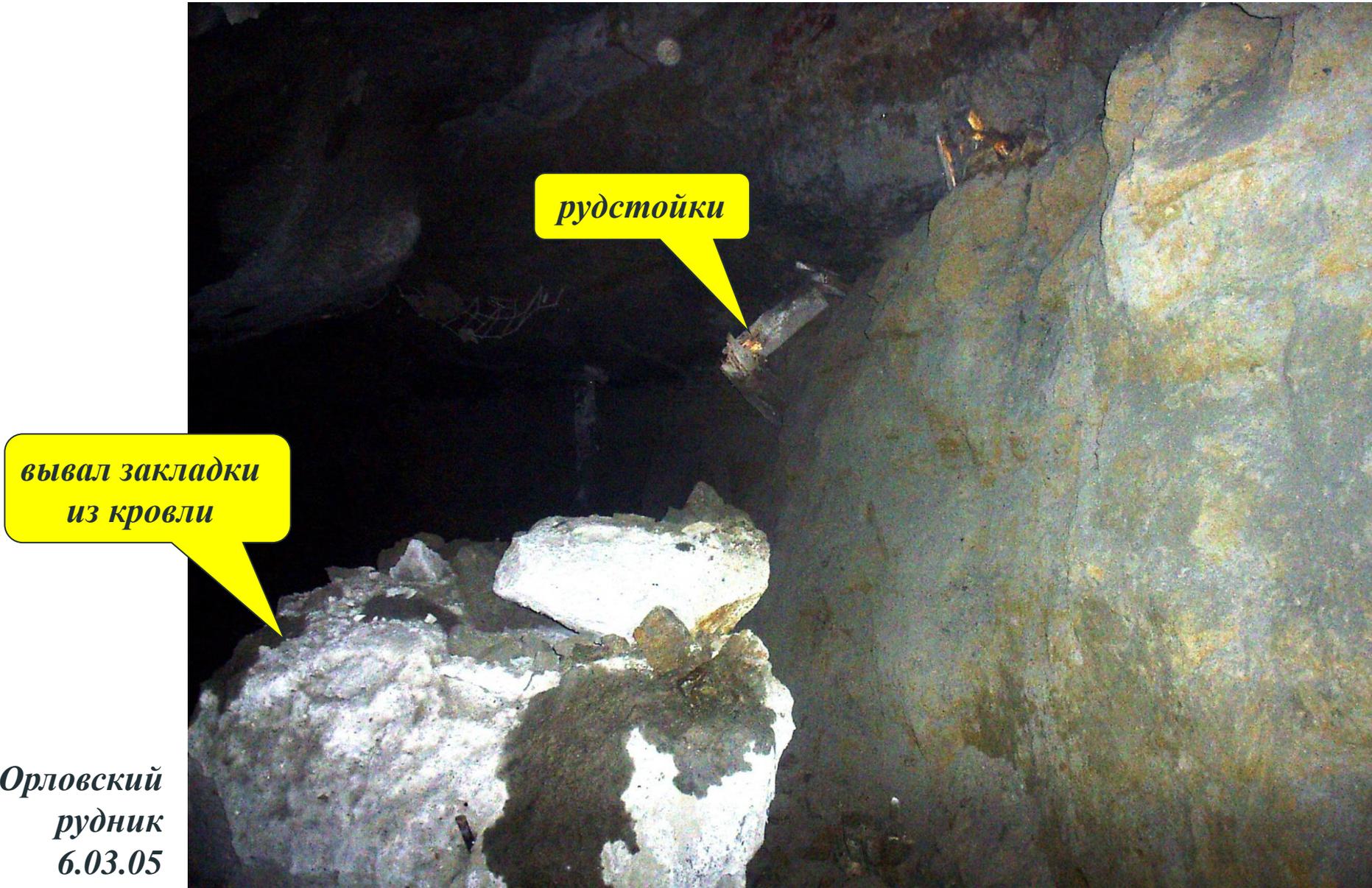
- *Дополнительные меры по поддержанию искусственной кровли для компенсации недозакладки*

**Орловский
рудник**



**крепление
искусственной
кровли рудстойками**





рудстойки

*вывал закладки
из кровли*

*Орловский
рудник
6.03.05*

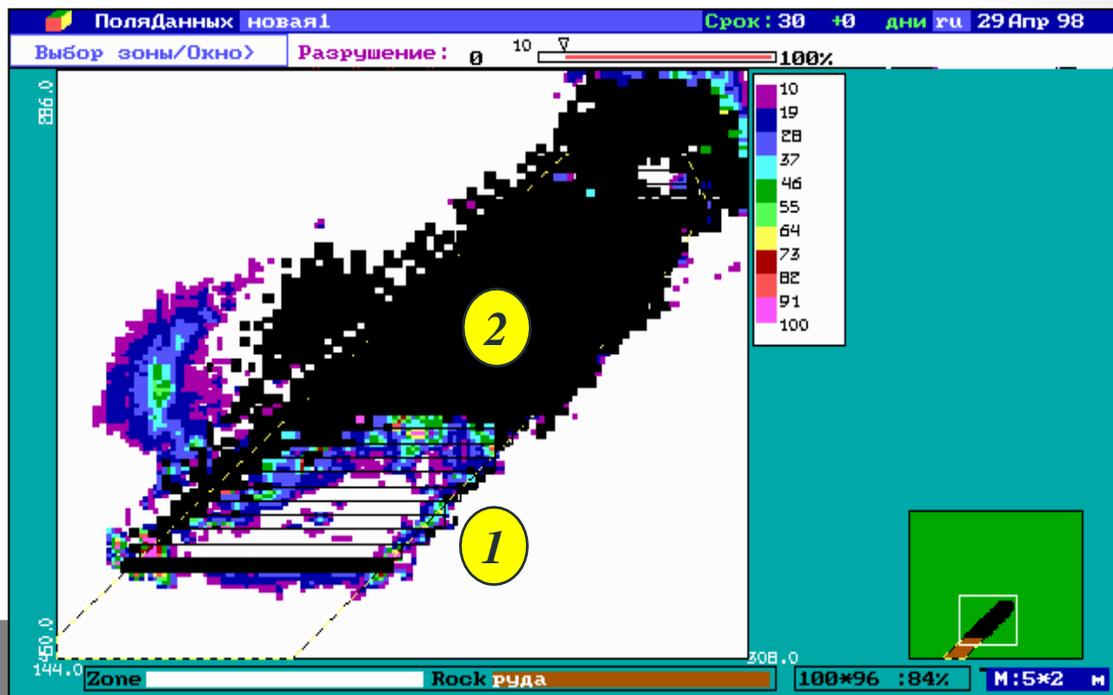
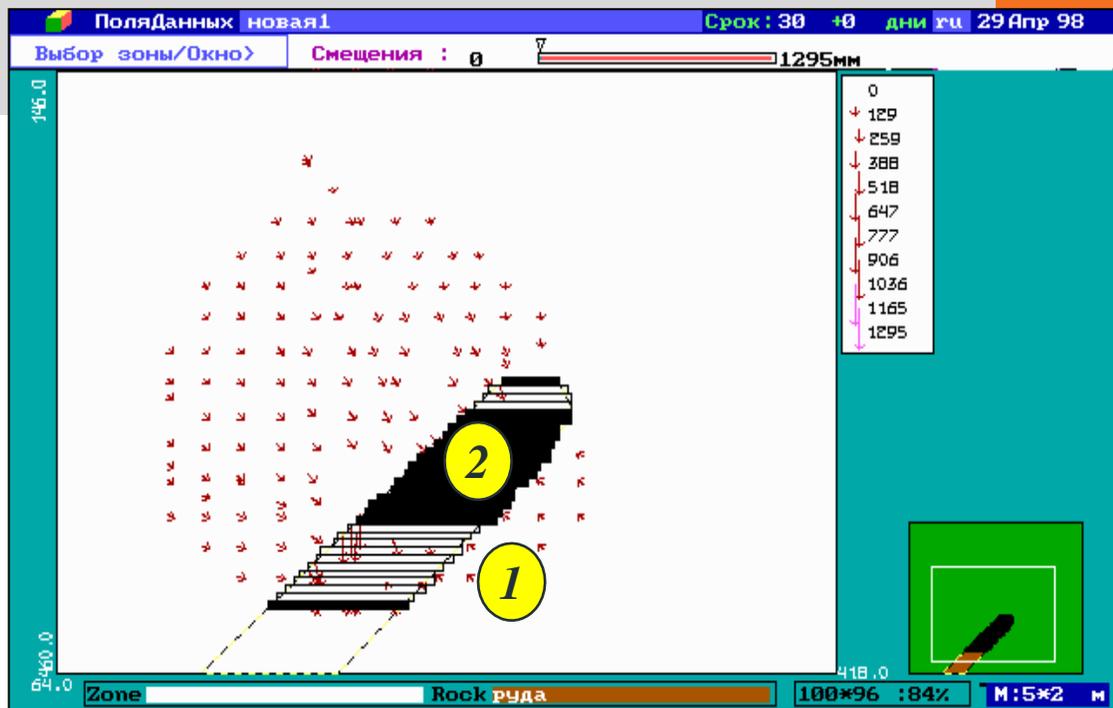
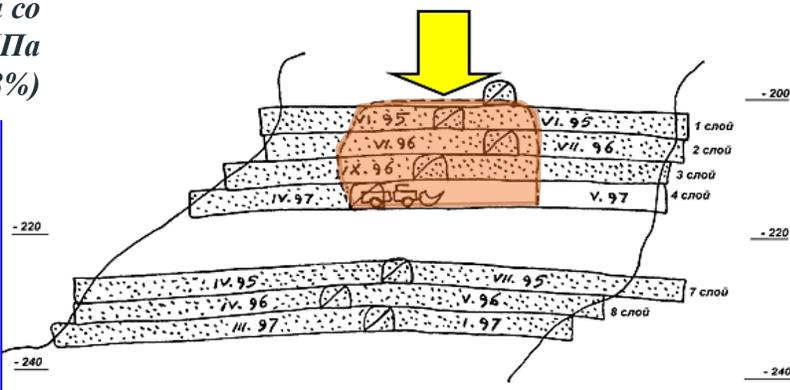
Система горизонтальных слоёв

20.05.97 г.

При отработке заходки 20 4 слоя блока 12с 9 гор. обрушилась закладка трех вышележащих слоев по всей ширине заходки на протяжении 25 м. Перед обрушением кровля начала оседать и ломать крепь. Под обрушением погибли 2 крепильщика. Машинист ПДМ травмирован, оказавшись под завалом.

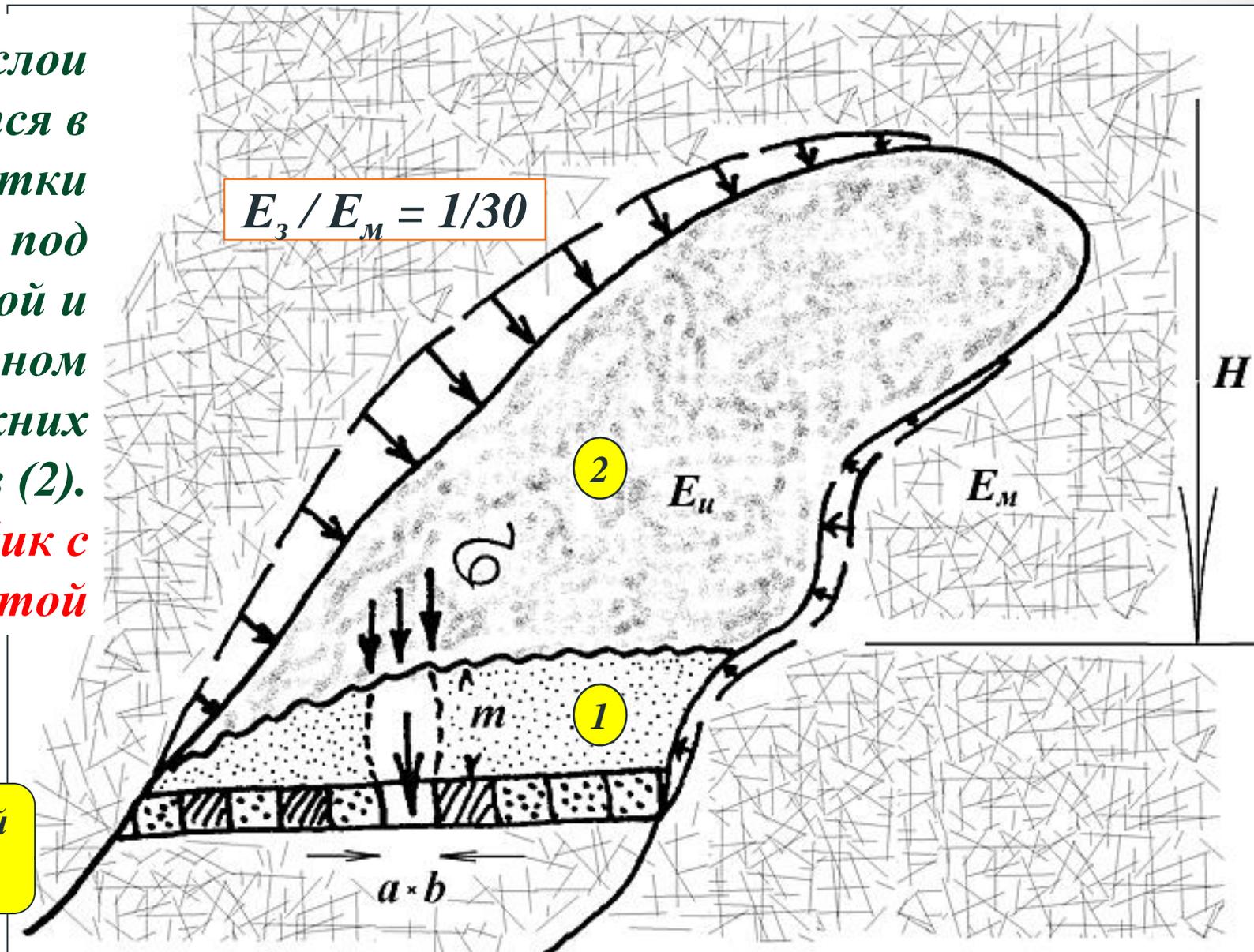
Прочность закладки = 1,8 МПа со стандартным отклонением 0,5 МПа (вариация 28%)

меньше проектной в 2,2 раза!
БРАК!!!



Нижележащие жесткие слои закладки (1) выдавливаются в очистные выработки отработываемого слоя под давлением раздавленной и находящейся в пластичном состоянии закладки верхних горизонтов (2).

Модель процесса – тубик с пастой

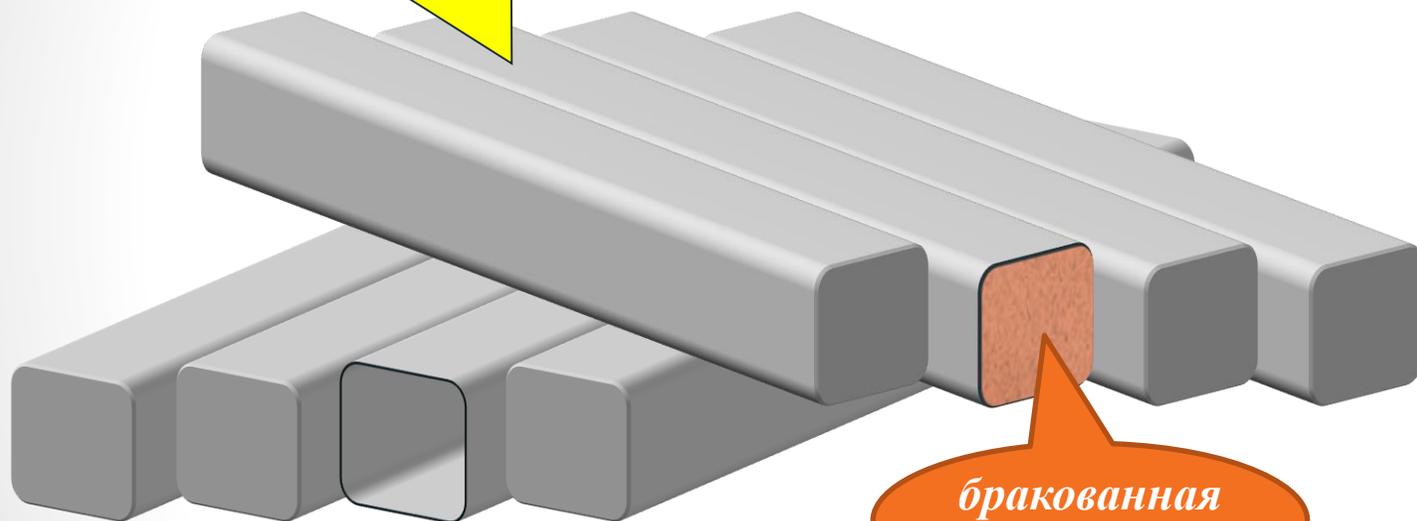


$$n = 2m/l_3 \cdot C/\sigma$$

Орловский
рудник

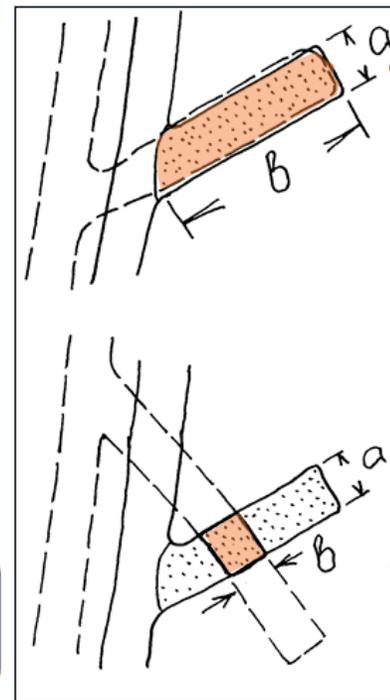
Дополнительные меры по поддержанию искусственной кровли:

*перекрещивающееся
расположение очистных
заходок в смежных по
высоте слоях*



*бракованная
закладка*

принцип костра, сруба



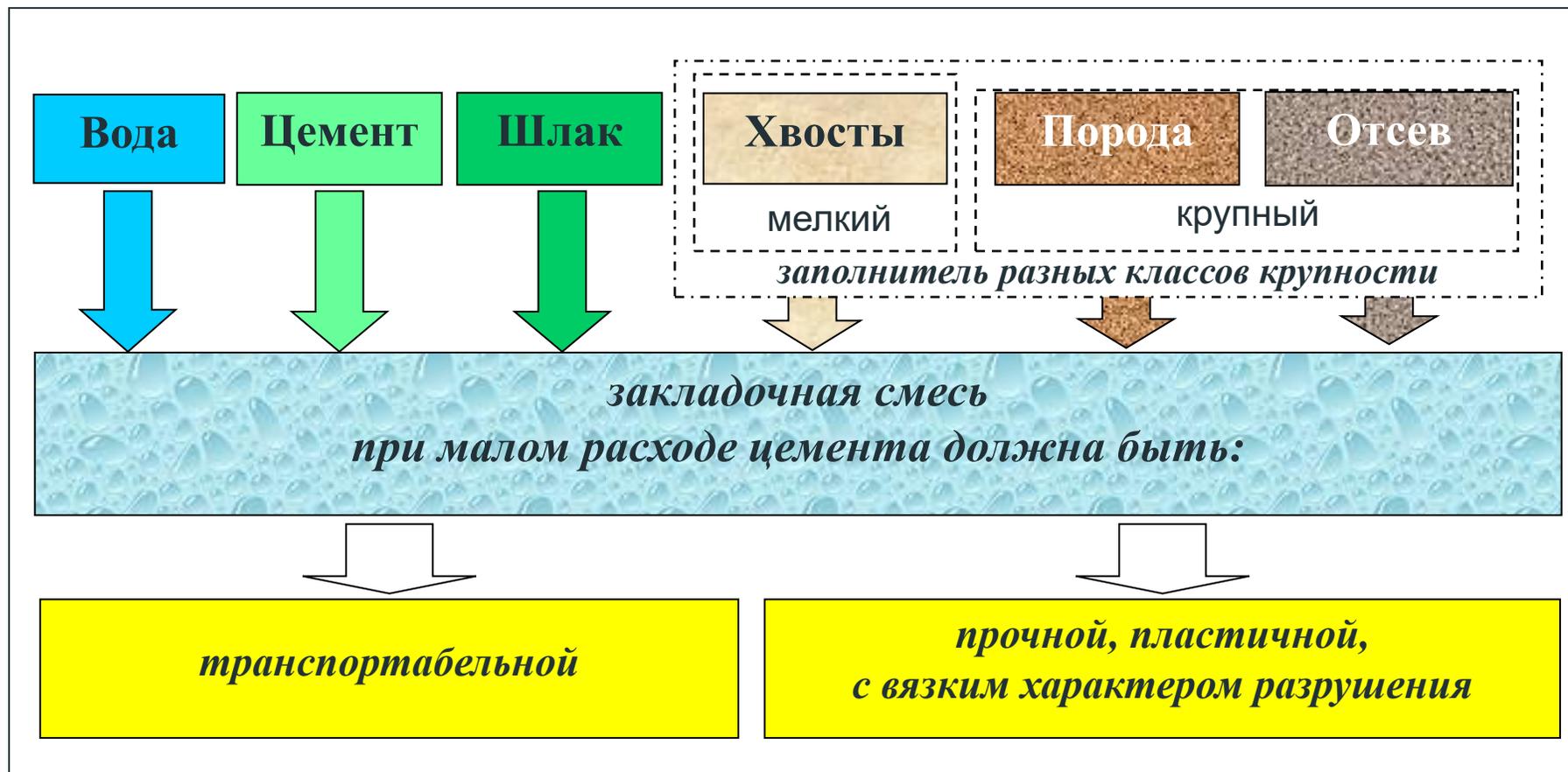
соосные заходки

*Запас прочности
искусственной кровли
на срез (пробка тубика):*
$$n = 2m/l_3 \cdot C/\sigma$$

заходки вкрест

*при расположении заходок
вкрест устойчивость
искусственной кровли из
закладки повышается в
1,7 раза !!!*

Подбор составов закладки



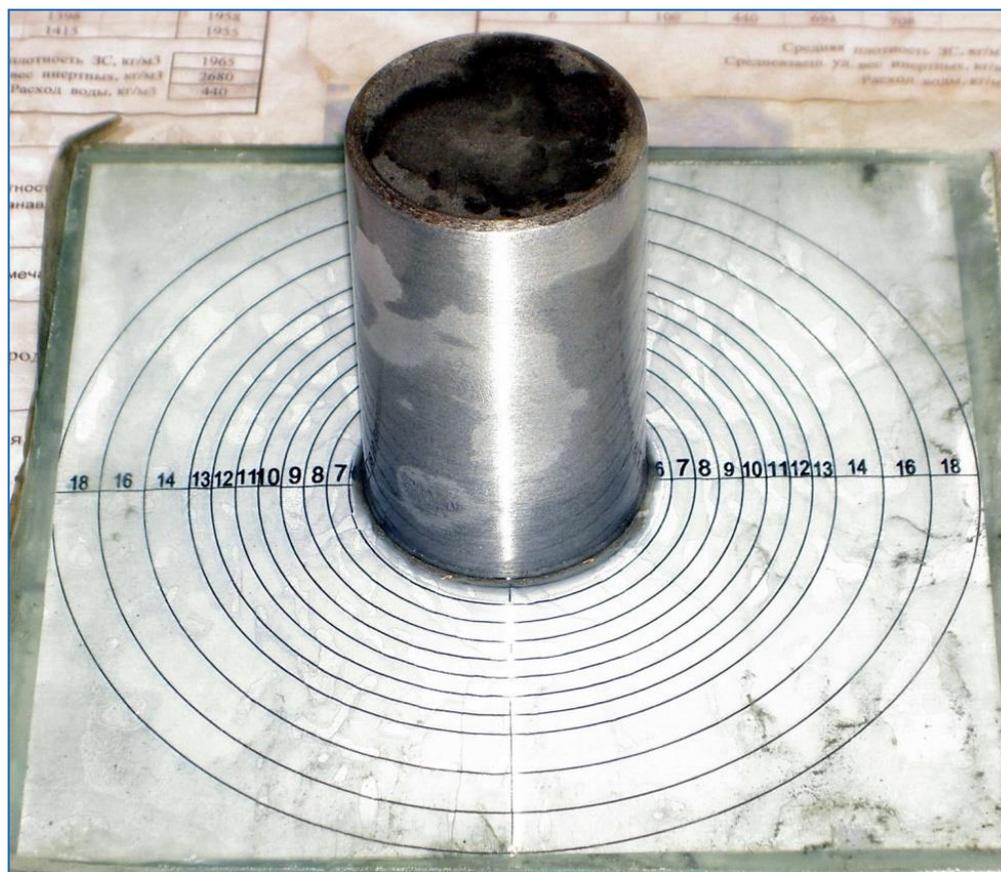
Баланс материалов в 1 м³ смеси:

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{Ш}{\gamma_{ш}} + \frac{П}{\gamma_{п}} + \dots + \frac{В}{\gamma_{в}} = 1$$

● *Обеспечение транспортабельности закладочной смеси*

Нормативные требования к грансоставу материалов закладочной смеси:

| | | |
|----------------|----------------------------|---------------|
| <i>крупный</i> | <i>+2,5 мм</i> | <i>10-15%</i> |
| <i>средний</i> | <i>- 2,5 ...+ 0,074 мм</i> | <i>55-65%</i> |
| <i>мелкий</i> | <i>-0,074 мм</i> | <i>30-35%</i> |

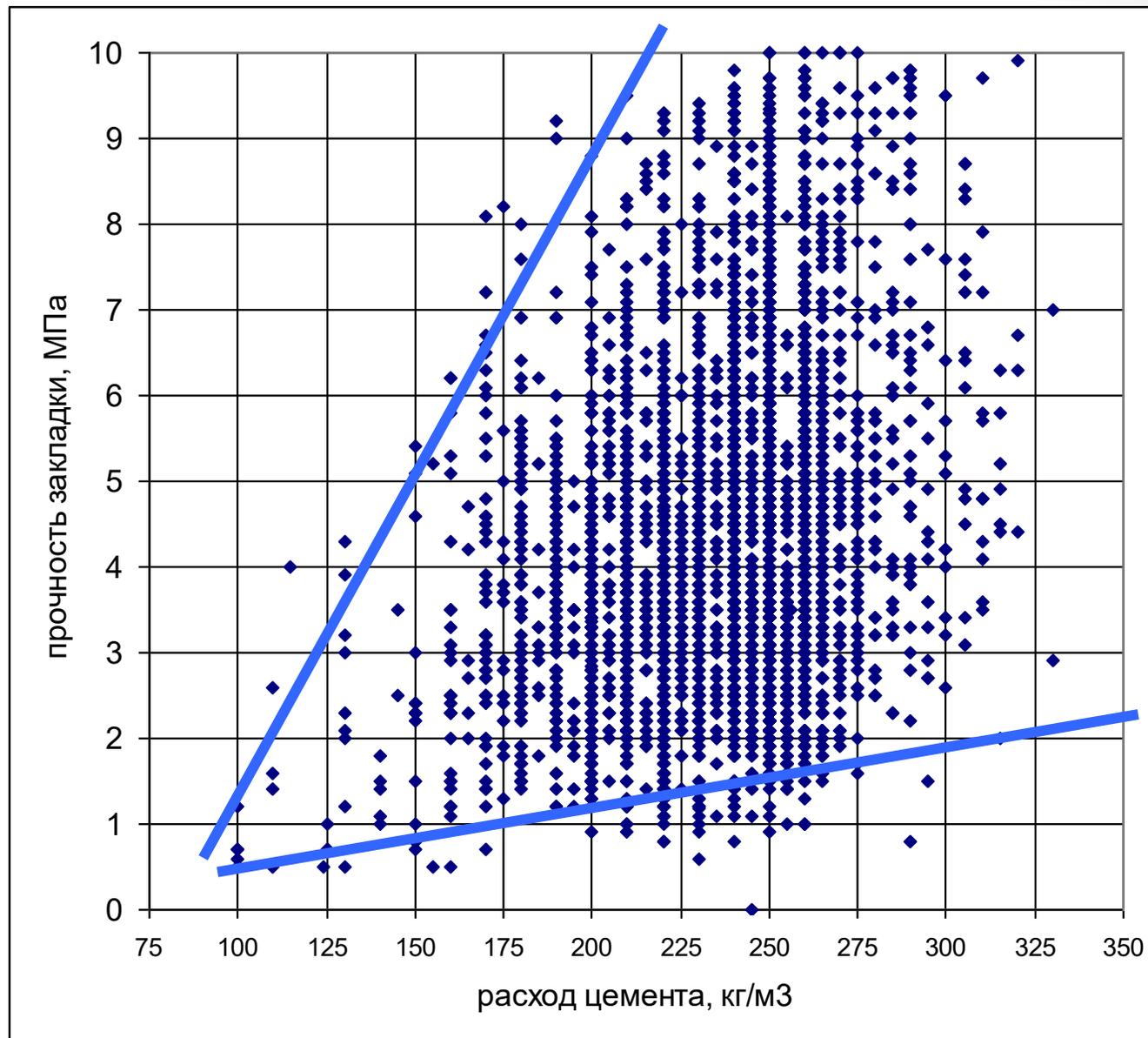


Определение подвижности смеси по распылу на стекле вискозиметром Суттарда (ГОСТ 125-79)

*Прочность твердеющей закладки
в зависимости от расхода
цемента (Ц):*

**Орловский
рудник**

*около 4 тыс. проб
в течение 1987÷97 г.г.*



Бетонно-закладочный комплекс (БЗК)

Технологическая схема БЗК

Малеевский
рудник

Малеевский рудник. Оператор БЗК V1

Тех процесс | Статистика | Алармы | Бетононасос | Рецепты

БЗК | Графики

Граншлак
Откл. Вкл. 10 Гц
факт. 0.0 т/ч
уср. 0.0 т/ч
зд. 0.0 т/ч

Фракция
Откл. Вкл. 22 Гц

Цемент
Откл. Вкл. 0 Гц
8 Гц руч.
зд. 0.0 т/ч
факт. 0.0 т/ч
уср. 118.7 т/ч
зд. 0.0 т/ч

Вода в цемент
руч. 30.0 %
факт. 87.9 %
уср. 0.0 м3/ч
зд. 6.4 м3/ч

Вода в мельницы
факт. 22 %
руч. 75 %
уср. 0.0 м3/ч
зд. 26.0 м3/ч

Бетон в шахту
0 м3/ч факт.
0 м3/ч уср.

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

- Запуск системы
- Остановить запуск
- Продолжить работу
- Остановка системы
- Аварийная остановка
- Выбор рецепта

○ маслосистема мельниц
○ мельницы БЗК1, БЗК2
○ подача воды
○ подача цемента
○ подача цементеси
○ подача граншлаксеси
○ подача граншлака
○ подача фракции

СИСТЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦЕМСЕСИ
HANY MULTICOR
Выбор системы

Плотность пульпы
1.63 кг/л

| | Закладка | |
|---------|---------------|---------------|
| | Текущие сушки | Прошедш сушки |
| 1 смена | 775 м3 | 638 м3 |
| 2 смена | 0 м3 | 570 м3 |
| 3 смена | 0 м3 | 737 м3 |
| Всего | 775 м3 | 1945 м3 |
| | Текущий месяц | Прошедш месяц |
| | 36671 м3 | 49160 м3 |

БЗК2: цементшалка запущена

АЕКabduvaliev
21.06.2013 8:15:39
Выход
Разработчик

Составы смесей 3 рецепта: А, В, С

**Малеевский
рудник**

Малеевский рудник. Оператор БЗК V1

Тех. процесс | Статистика | Алармы | Бетононасос | Рецепты

| | | |
|-----------------|------------------|------------------|
| Тверд. тело т/ч | Тверд. тело кг/л | Тверд. тело м3/ч |
| 118.58 | 2.60 | 45.61 |
| Вода м3/ч | Тверд. тело % | Вода м3/ч |
| 35.02 | 77.20 | 35.02 |
| Пульпа т/ч | Пульпа кг/л | Пульпа м3/ч |
| 153.60 | 1.91 | 80.63 |

УСТАНОВКИ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

| | | | | |
|---------------|----------------|--------------|------------------------|----------------------|
| Фракция (т/ч) | Граншлак (т/ч) | Цемент (т/ч) | Вода в мельницы (м3/ч) | Вода в цемент (м3/ч) |
| 118.68 | 0.0 | 0.00 | 26.04 | 6.40 |

| Рецепт А без граншлака | | | Рецепт В | | | Рецепт С | | |
|------------------------------|----------|--------|------------------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
| Произв. мельн. | 80.00 | 153.60 | Произв. мельн. | 100.00 | 192.00 | Произв. мельн. | 115.00 | 220.80 |
| Легк. фр. | 1439.00 | | Легк. фр. | 1110.00 | | Легк. фр. | 1175.00 | |
| Цемент | 0.00 | | Цемент | 70.00 | | Цемент | 60.00 | |
| Вода | 450.00 | | Вода | 465.00 | | Вода | 450.00 | |
| Содерж. цем. в тверд. % | 0.00 | | Содерж. цем. в тверд. % | 4.70 | | Содерж. цем. в тверд. % | 4.00 | |
| Содерж. воды в цем. молоке % | 100.00 | | Содерж. воды в цем. молоке % | 79.01 | | Содерж. воды в цем. молоке % | 80.52 | |
| Отношение вода / цемент | 65635.00 | | Отношение вода / цемент | 1.21 | | Отношение вода / цемент | 1.33 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|--------------------------|------|----------------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------|-------|-------------------------|-------|
| Наличие тв. в пульпе (%) | 77.20 | Плотность цемента (кг/л) | 3.10 | Плотность фракции (кг/л) | 2.60 | Плотность граншлака (кг/л) | 2.80 | Плотность шлак. пульп. (кг/л) | 1.70 | Твердое в фракции (%) | 97.00 | Твердое в граншлаке (%) | 98.00 |
|--------------------------|-------|--------------------------|------|--------------------------|------|----------------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------|-------|-------------------------|-------|

БЗК2: цементшалка запущена

AEKabduvaliev 21.06.2013 8:17:40

гидравлическая закладка камер 4 очереди (7%)

твердеющая закладка 5 МПа на днище камер (8%)

твердеющая закладка 3,5 МПа в камеры высотой 30 м (85%)

Контроль прочности закладки

*Малеевский
рудник*



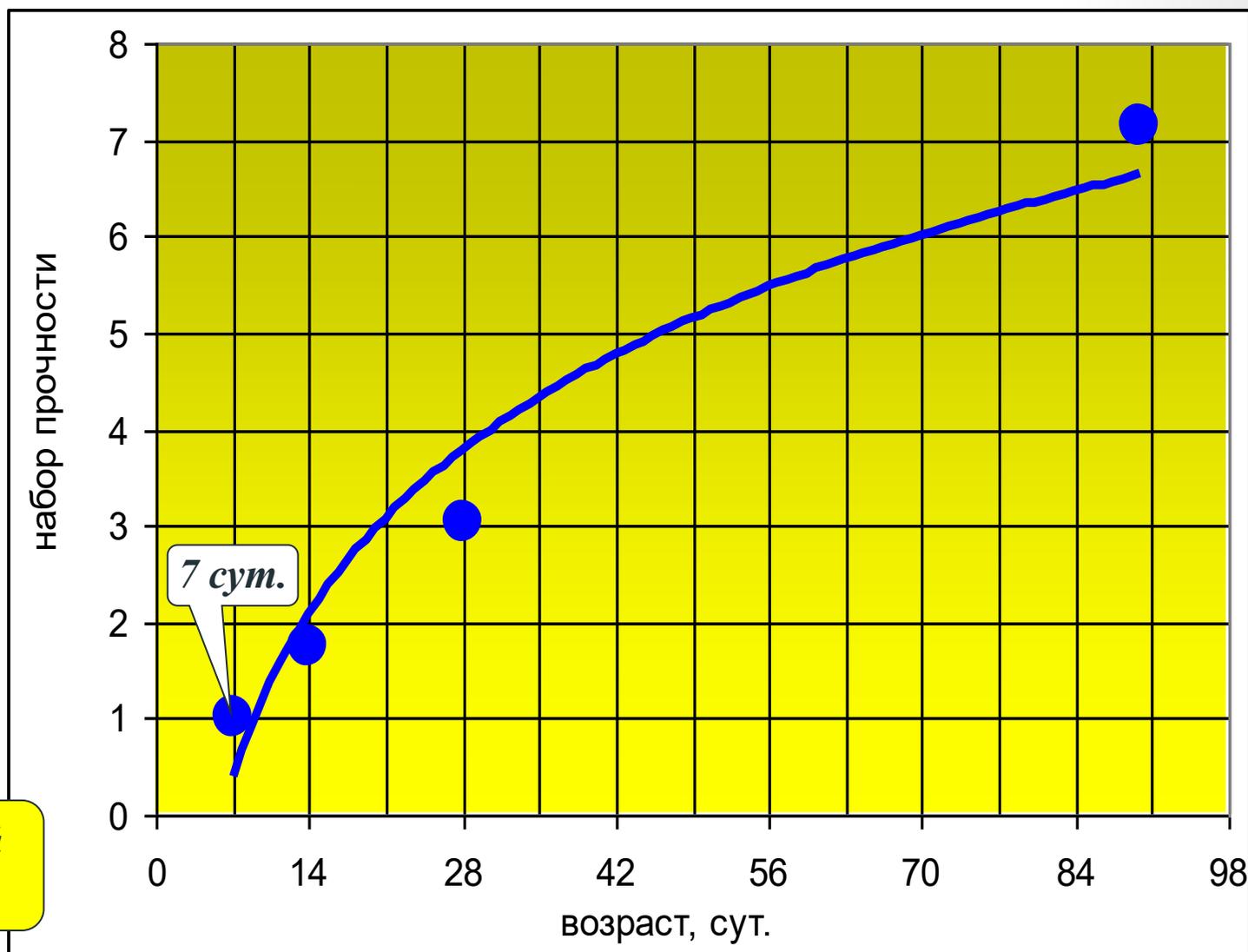
Набор прочности закладки во времени:

- *малые сроки твердения*
(для слоевых систем разработки)

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(7)} = 2,5 \ln t - 4,6$$

$\sigma(t)$ – прочность закладки с возрастом t ;

$\sigma(7)$ – прочность закладки с возрастом 7 суток

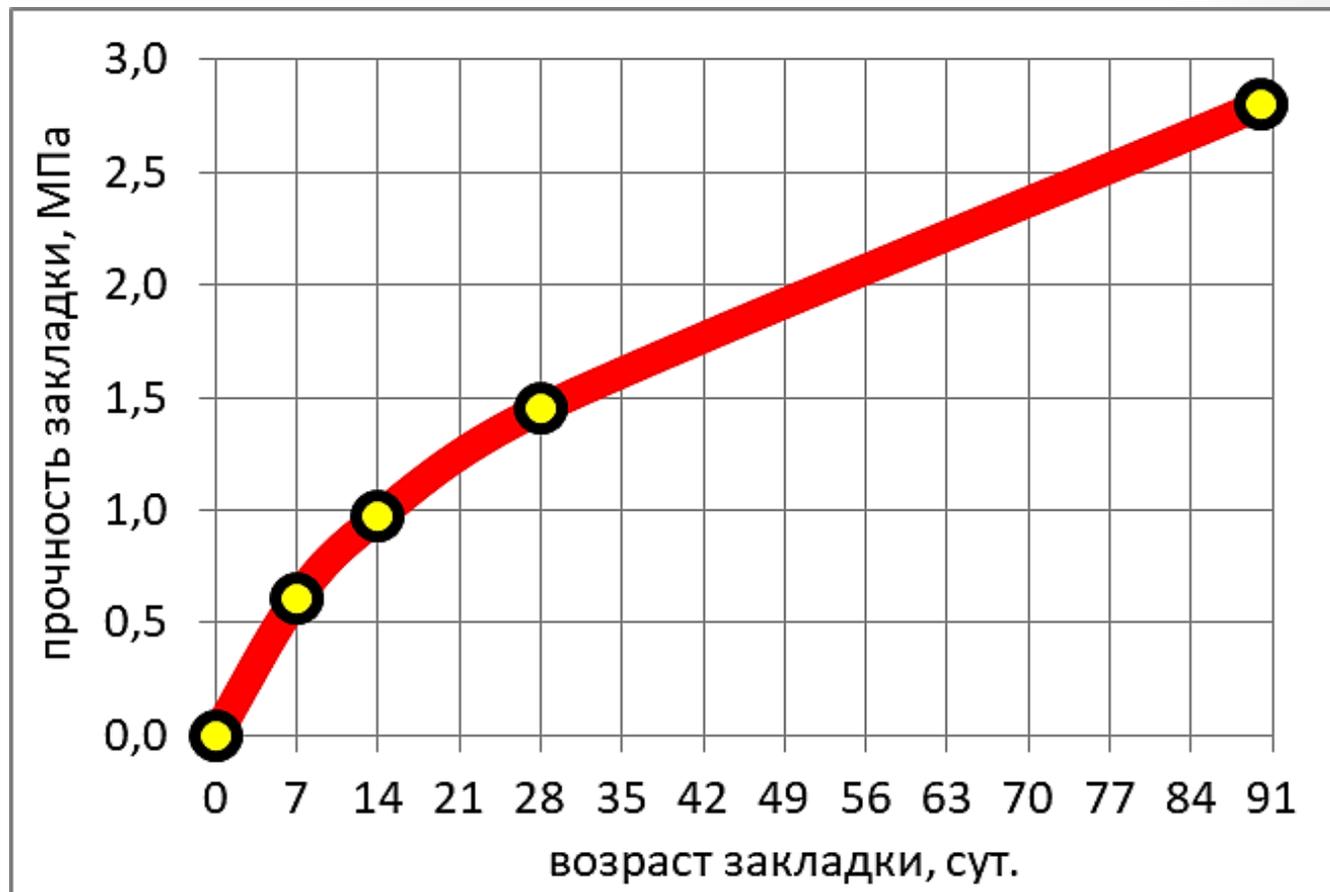


Орловский
рудник

Набор прочности закладки во времени:

- *малые сроки твердения (для слоевых систем разработки)*

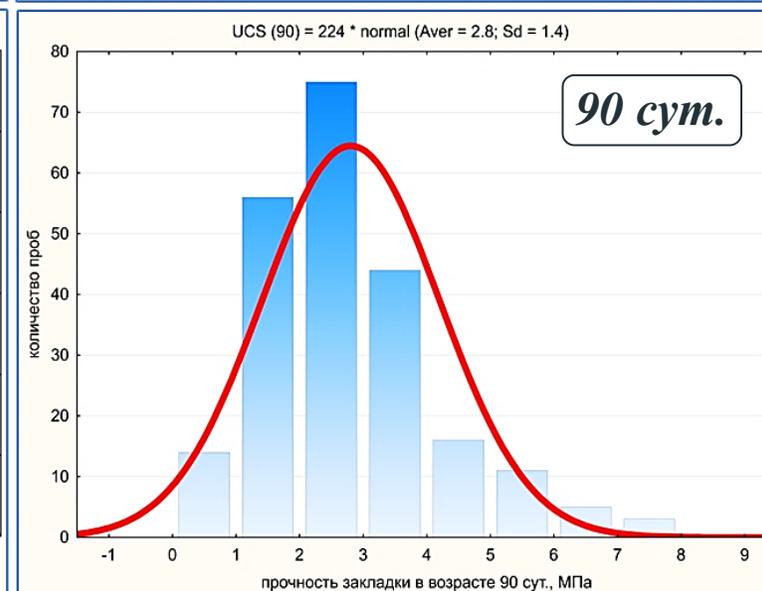
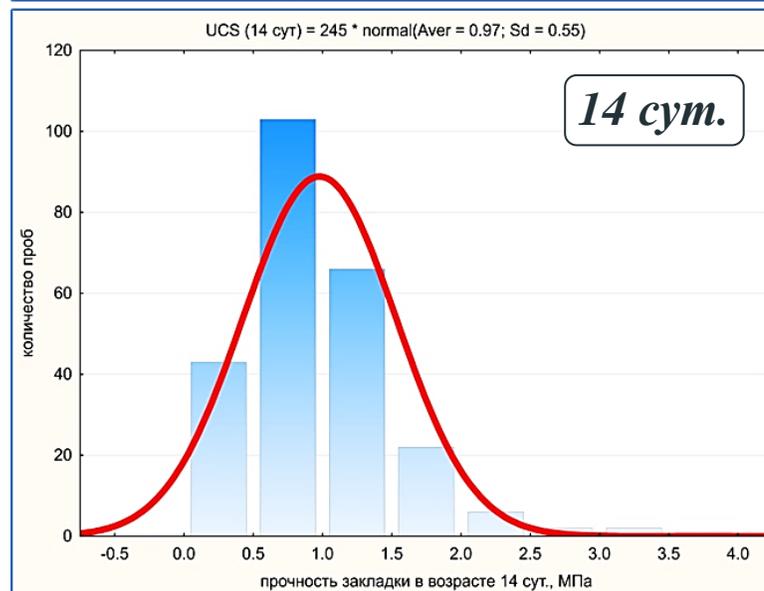
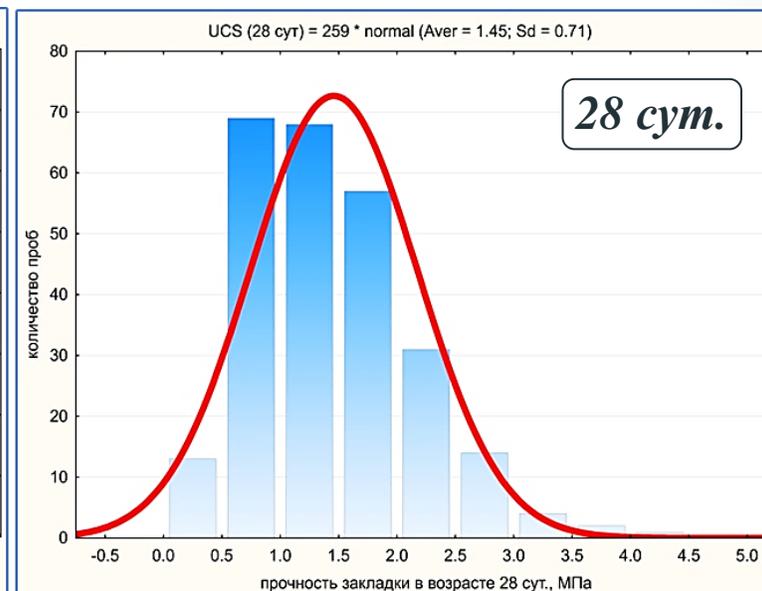
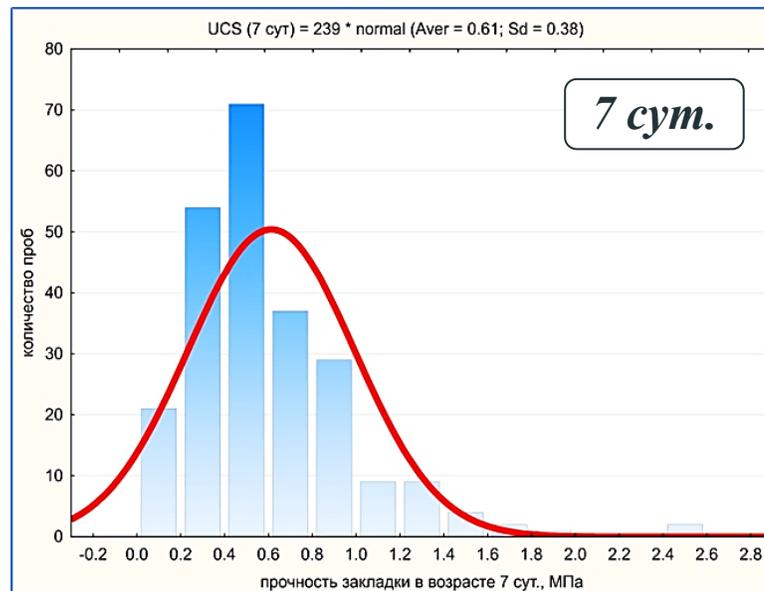
*Артемьевский
рудник*



| | | | | | |
|---------------|---|------|------|------|-----|
| возраст | 0 | 7 | 14 | 28 | 90 |
| кол-во проб | 0 | 239 | 245 | 259 | 224 |
| средняя, МПа | 0 | 0,61 | 0,97 | 1,45 | 2,8 |
| стандарт, МПа | 0 | 0,38 | 0,55 | 0,71 | 1,4 |
| вариация | 0 | 62% | 57% | 49% | 50% |

Разброс прочности закладки

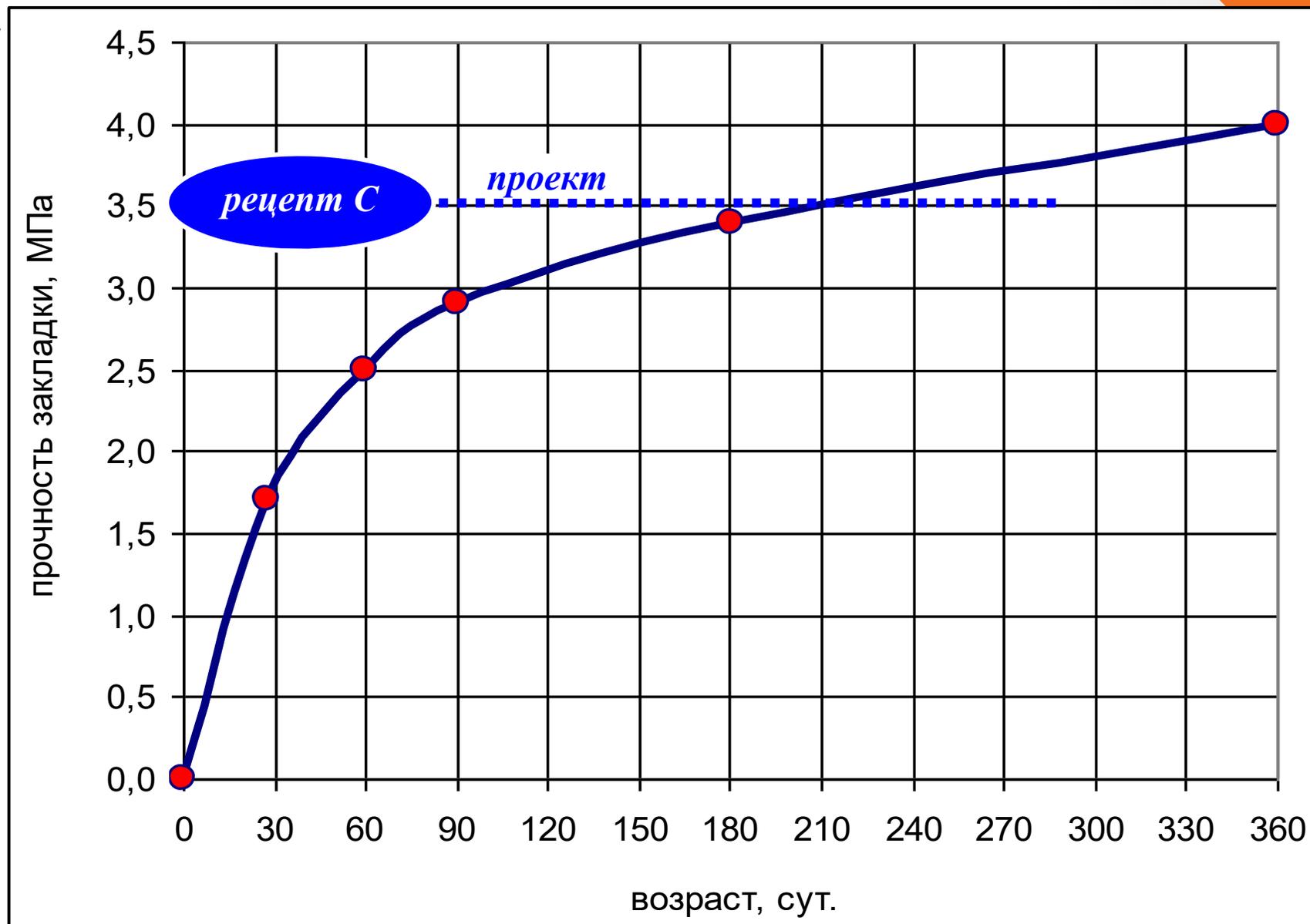
Артемьевский
рудник



Набор прочности закладки во времени:

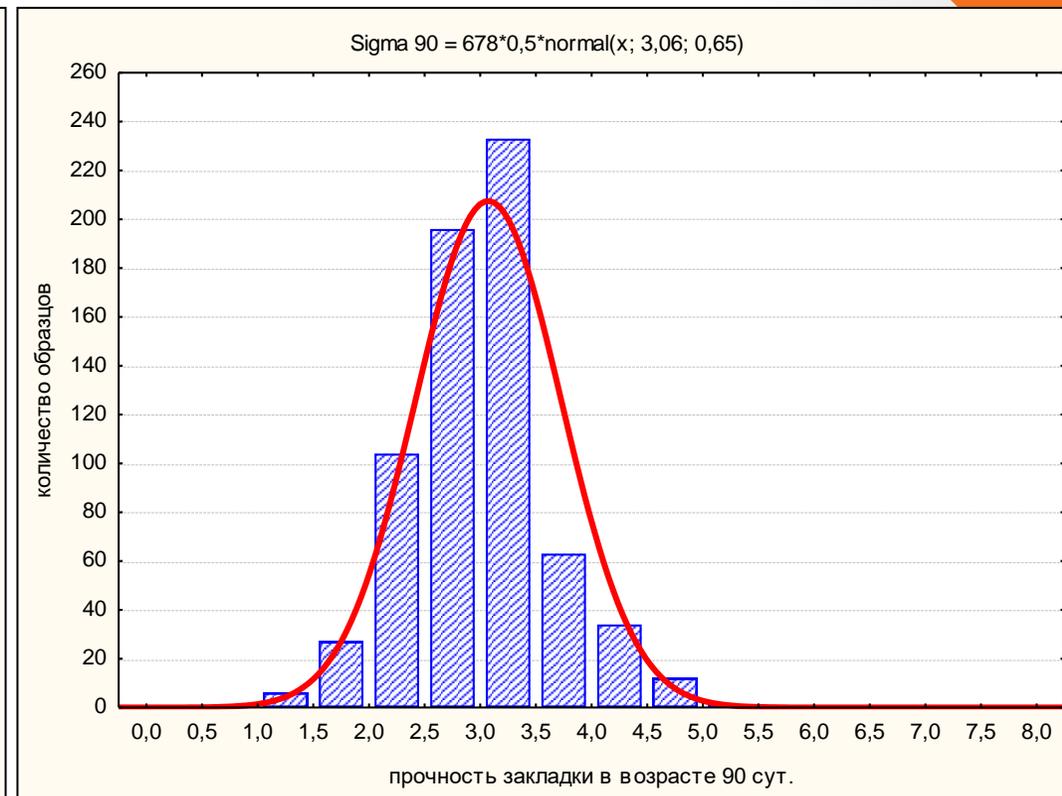
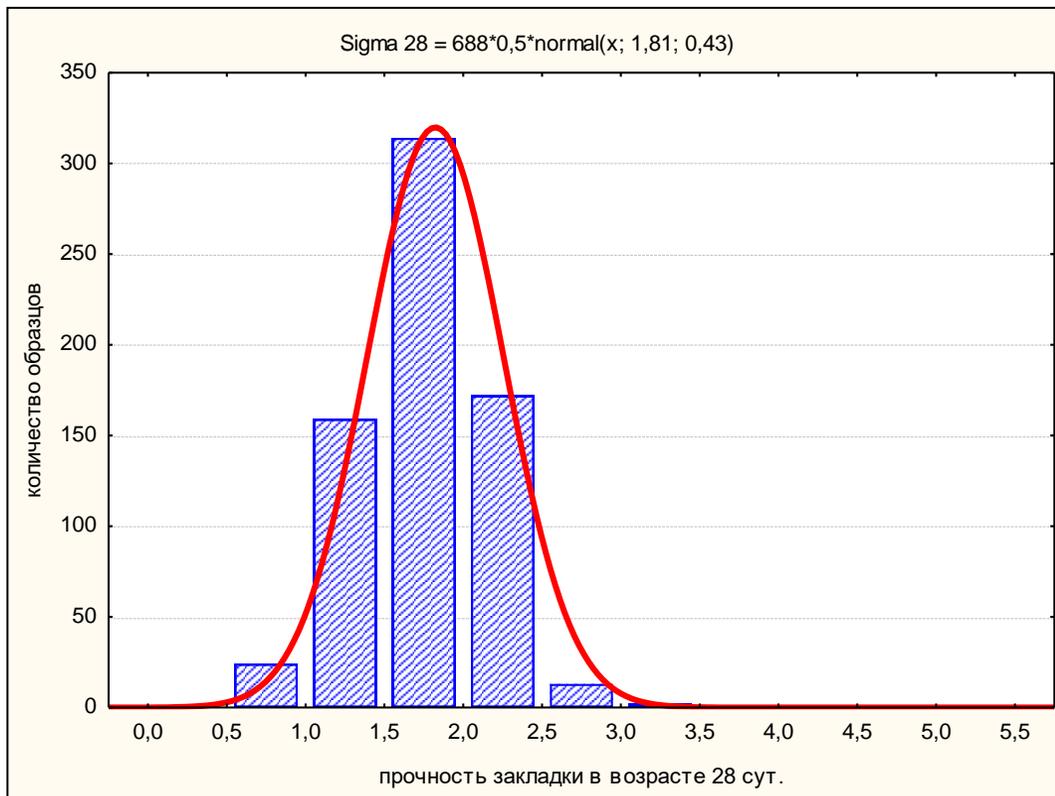
- средние сроки твердения (для камерных систем разработки)

Малеевский
рудник



Разброс прочности закладки

Малеевский рудник



| Показатель | 28 сут. | 90 сут. |
|---------------------------|------------|------------|
| количество образцов | 688 | 678 |
| средняя прочность, МПа | 1,8 | 3,1 |
| стандарт. отклонение, МПа | 0,4 | 0,7 |
| коэффициент вариации, % | 24 | 21 |

Процесс приготовления закладки в плане дозирования исходных материалов и технологии их мельничного помола достаточно устойчив. Это достигнуто за счет:

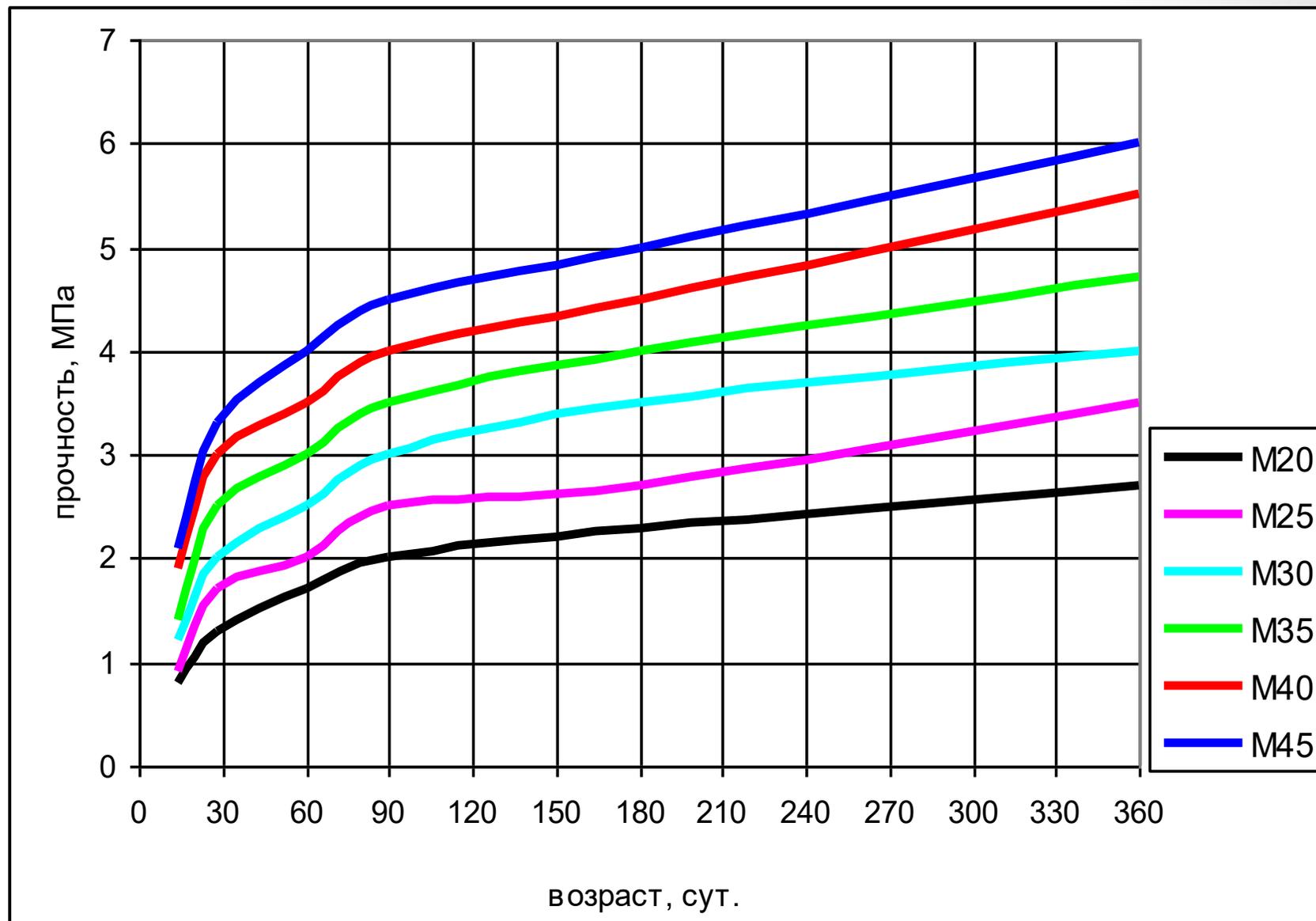
- а) приборного контроля всех технологических процессов;
- б) компьютерного (полуавтоматического) управления всех технологических процессов.

Набор прочности закладки во времени:

- *средние сроки твердения (для камерных систем разработки)*

**Тишинский
рудник**

*Смеси на основе
сложного вяжущего*



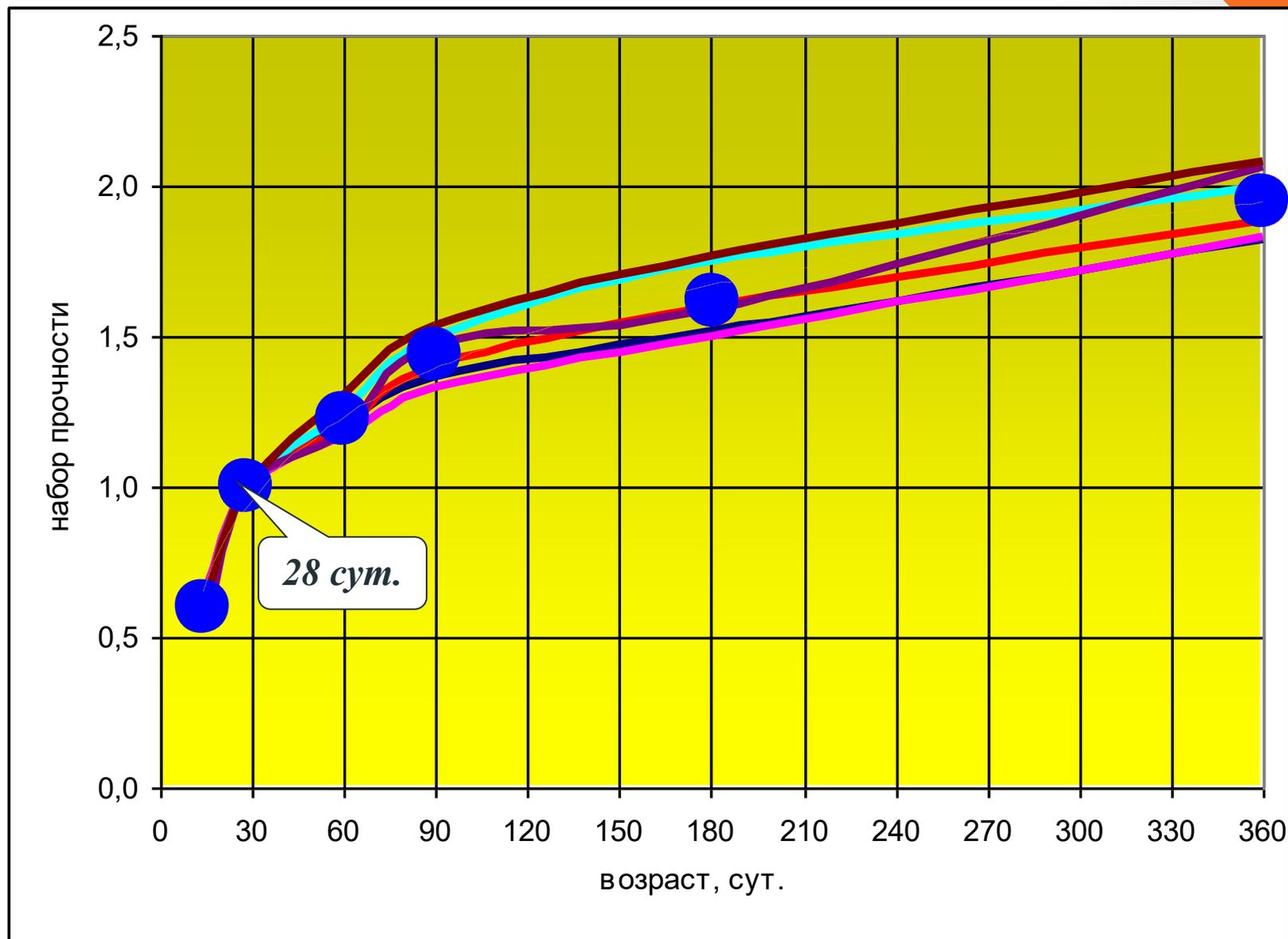
Набор прочности закладки во времени:

- *средние сроки твердения (для камерных систем разработки)*

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(28)} = 0,4 \ln t - 0,4$$

**Тишинский
рудник**

*Смеси всех марок на
основе сложного
вяжущего*

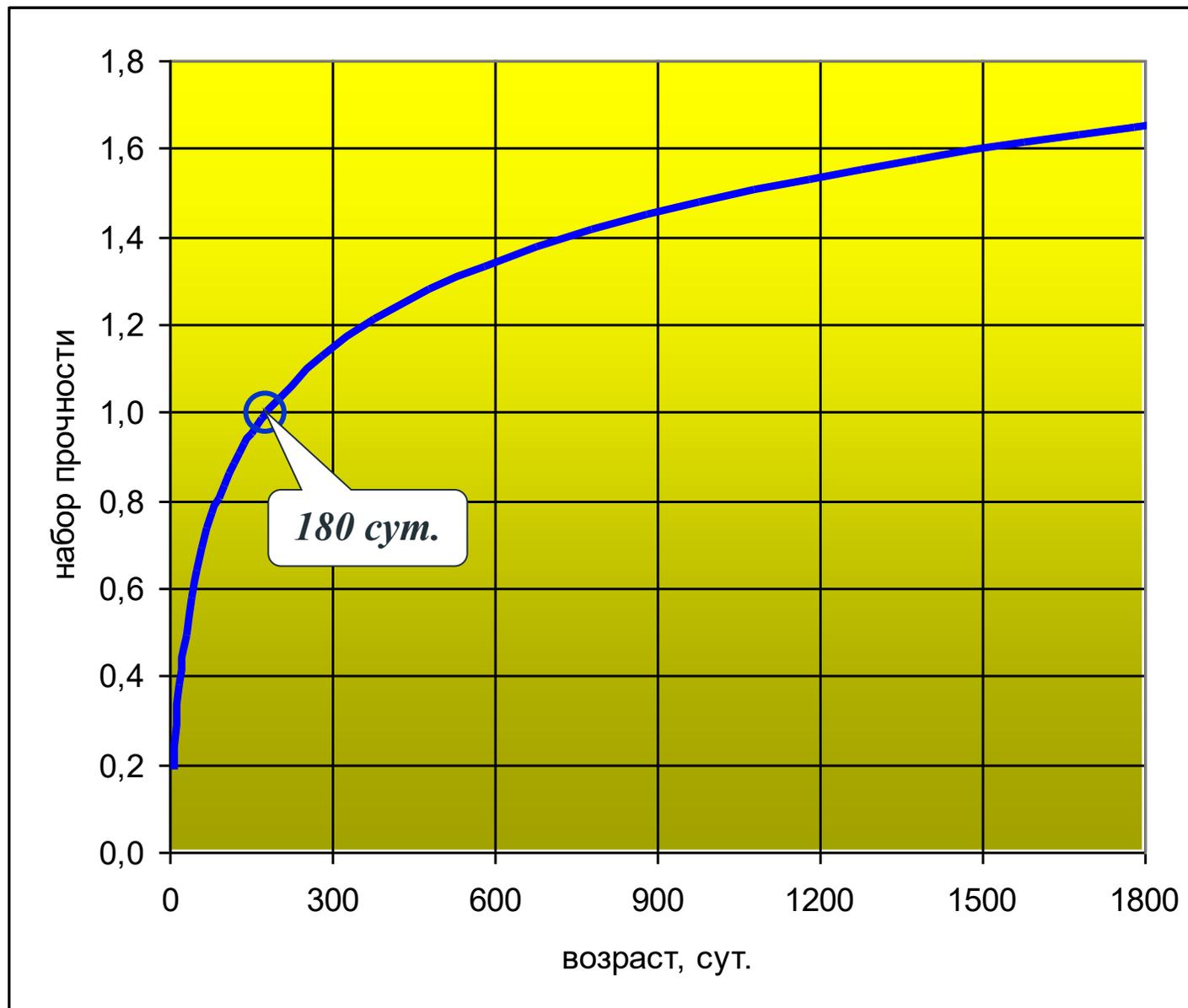


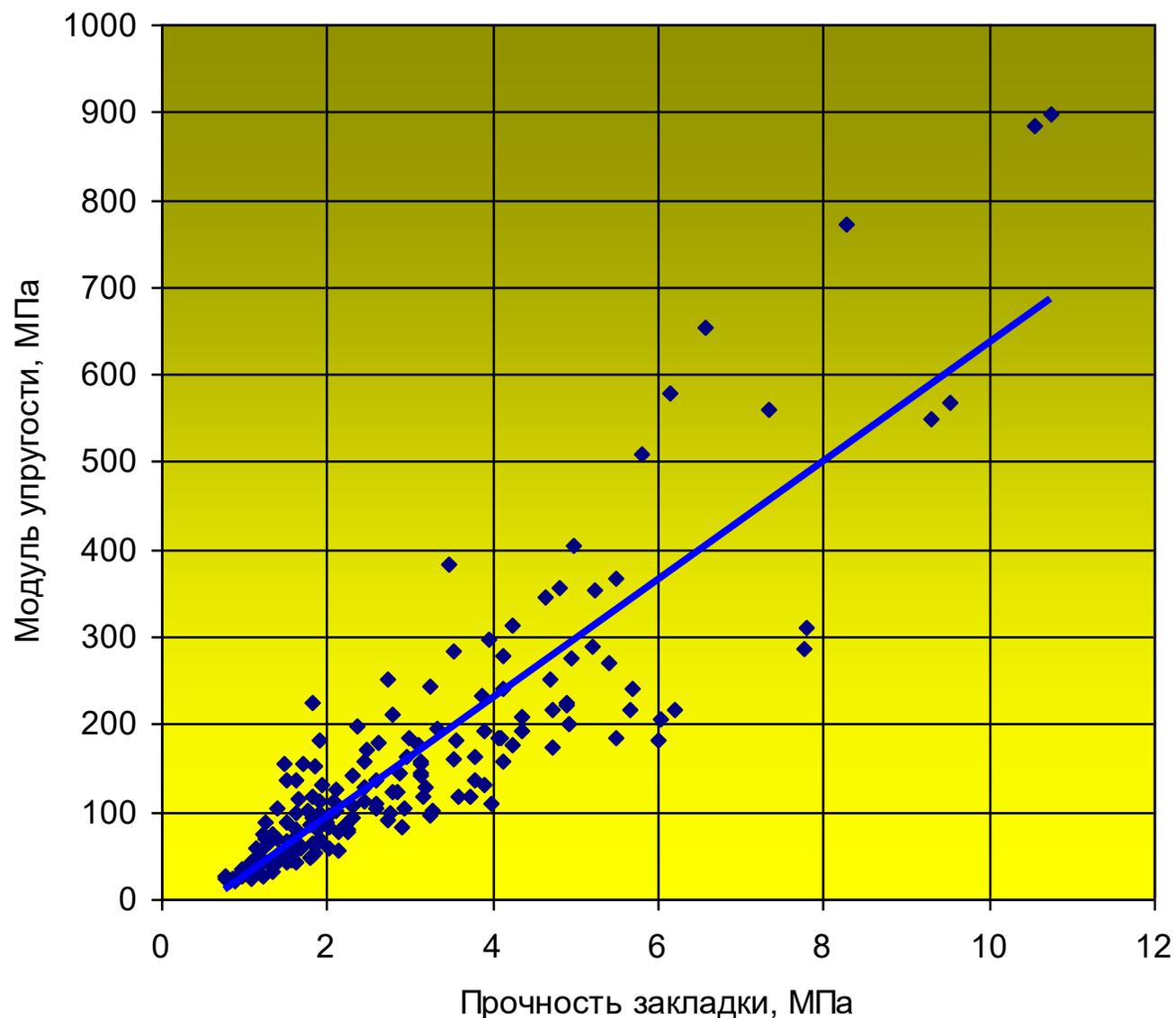
Набор прочности закладки во времени:

- большие сроки твердения (для камерных систем разработки)

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(180)} = 0,65 \lg t - 0,47$$

рудники
Норильска



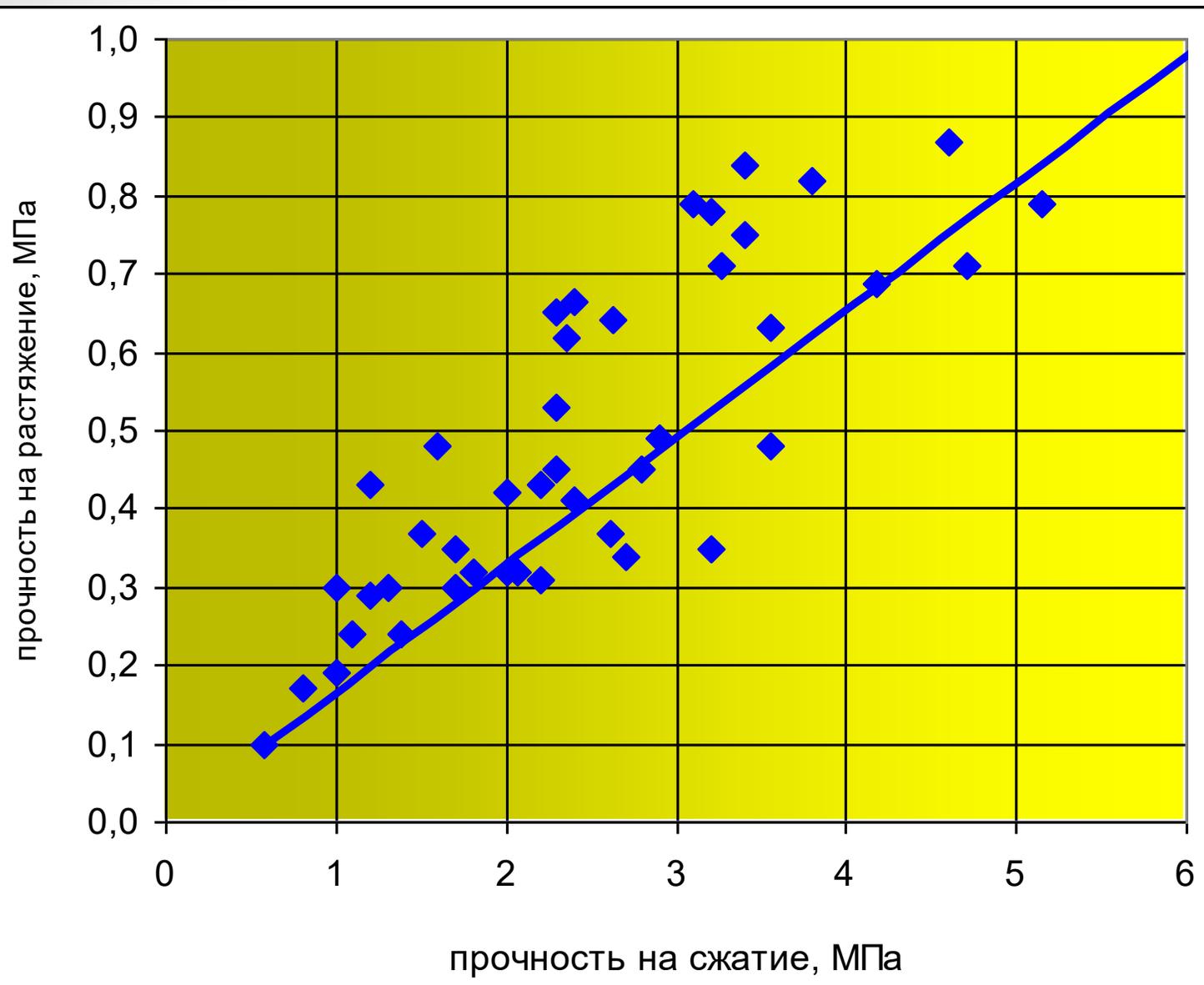


Модуль упругости закладки:

$$E = 50\sigma_{сзж}$$

коэффициент корреляции – 0,82

*Орловский
рудник*



Прочность на растяжение:

$$\sigma_r = 0,2 \sigma_{сж}$$

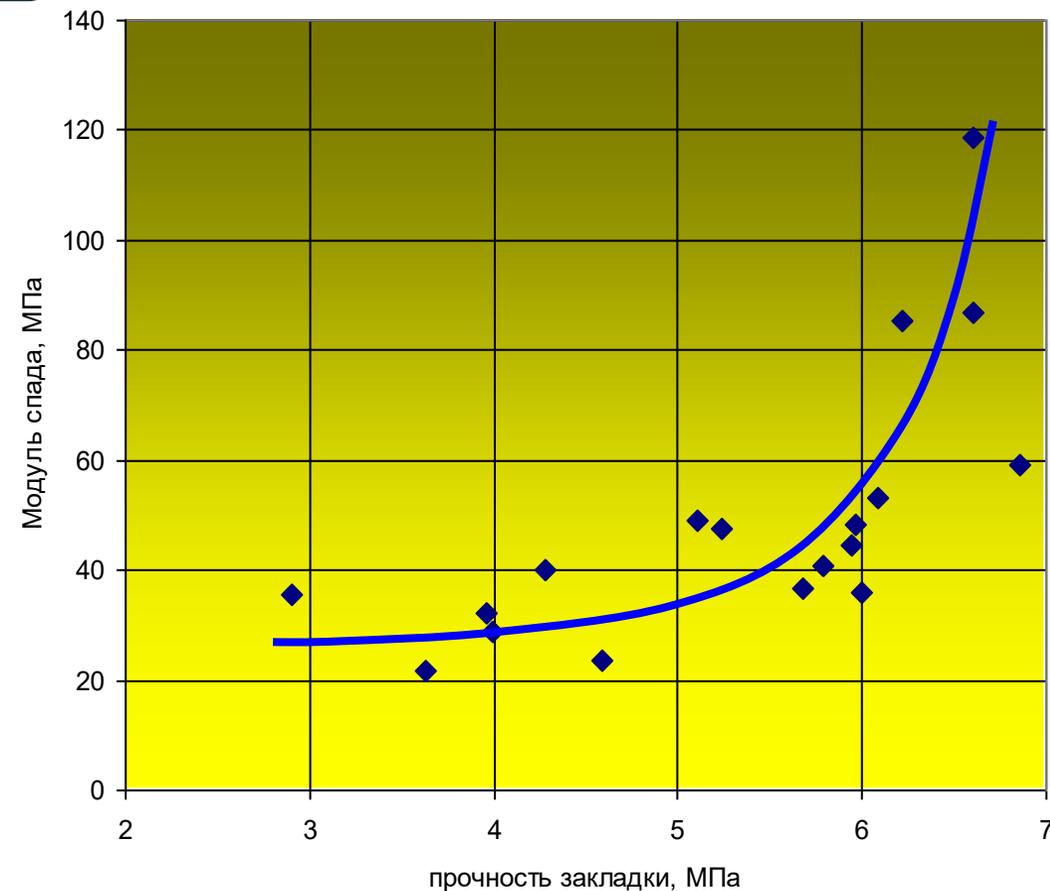
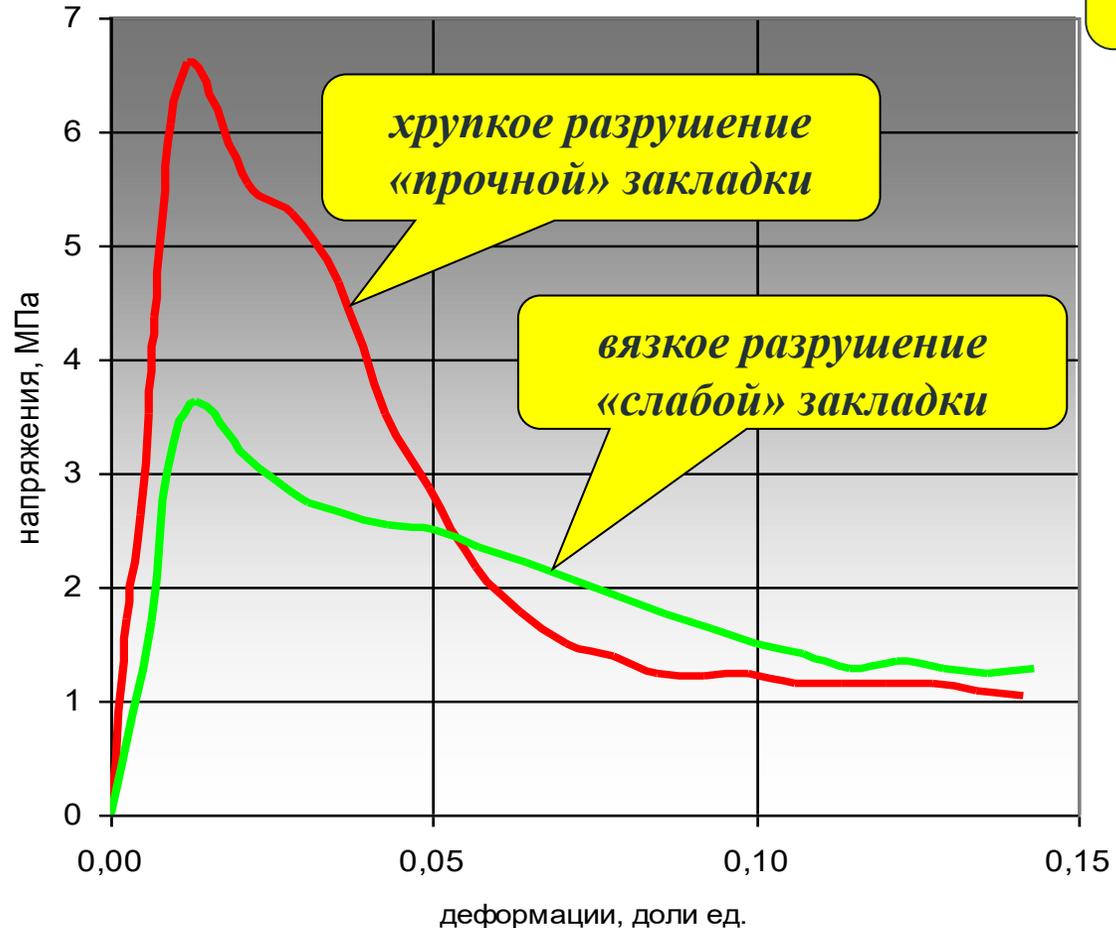
или

$$\sigma_{сж} = 6 \sigma_r$$

*Орловский
рудник*

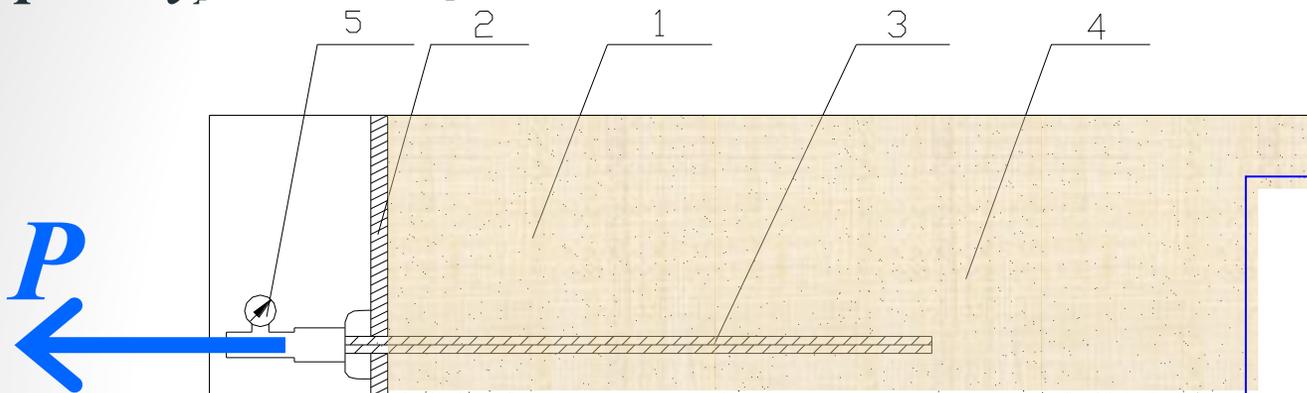
Орловский
рудник

Модуль спада



чем больше прочность закладки, тем больше ее хрупкость

Определение фактической прочности закладки в шахте по усилию выдергивания P арматурного стержня из закладочного массива (ВНИИцветмет)

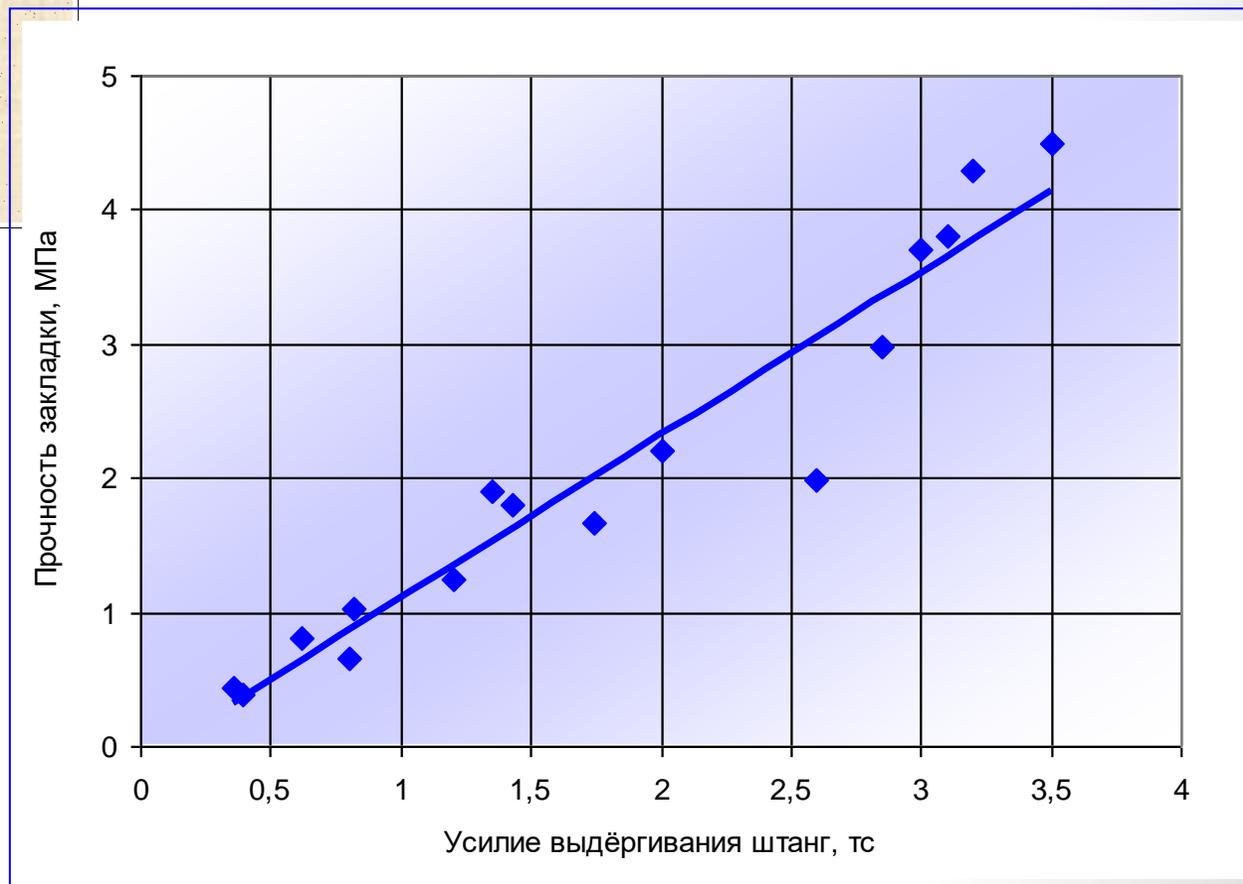


1 – закладка; 2 – перемычка; 3 – арматура; 5 – домкрат

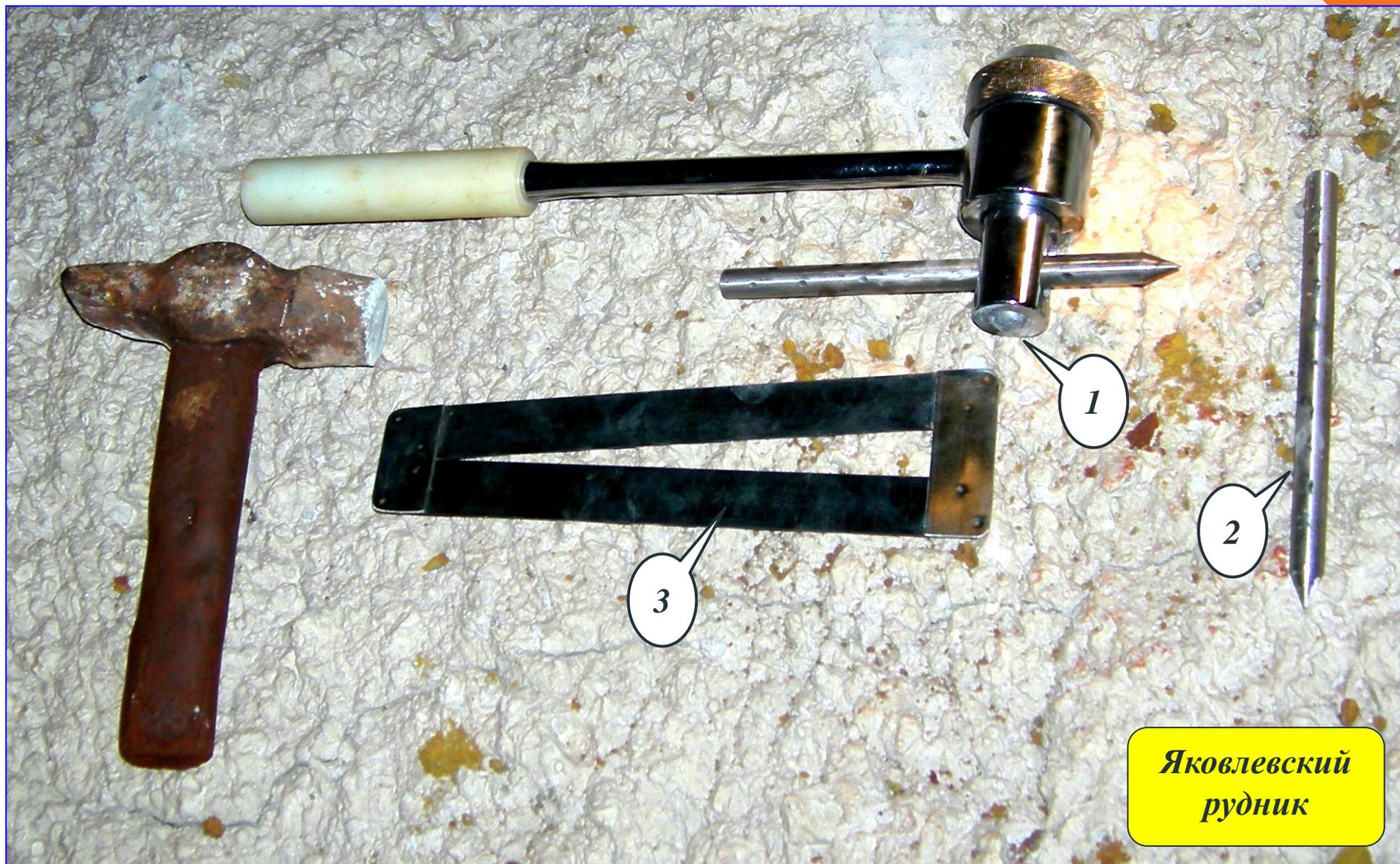
Для стержня длиной 400 мм и $\varnothing 16$ мм:

$$\sigma_{сж} = 1,2P - 0,1, \text{ МПа}$$

Орловский
рудник



Определение фактической прочности закладки в шахте молотком Кашкарова



- 1 – пуансон для внедрения в закладку;*
- 2 – мерный стержень для оценки силы удара;*
- 3 – приспособление для измерения диаметров отпечатков на закладке и мерном стержне*

**Яковлевский
рудник**

*Определение
фактической
прочности
закладки в шахте
молотком
Кашкарова*



тест (удар)



замер отпечатка

*Яковлевский
рудник*

Тарировка молотка Кашкарова при испытании прочности закладки в лаборатории



1) тест (удар)



2) замер диаметра отпечатка на закладке

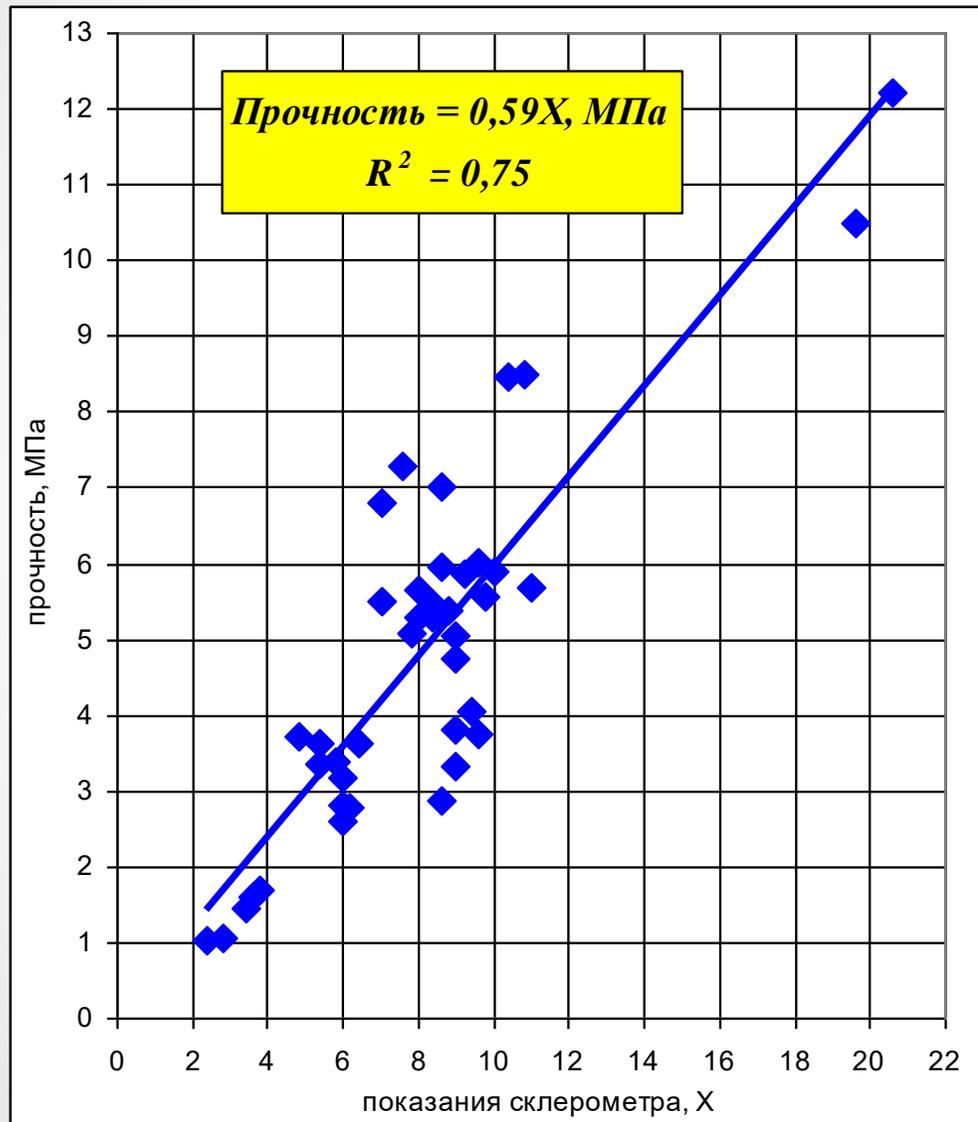
Яковлевский
рудник

3) замер отпечатка на мерном стержне



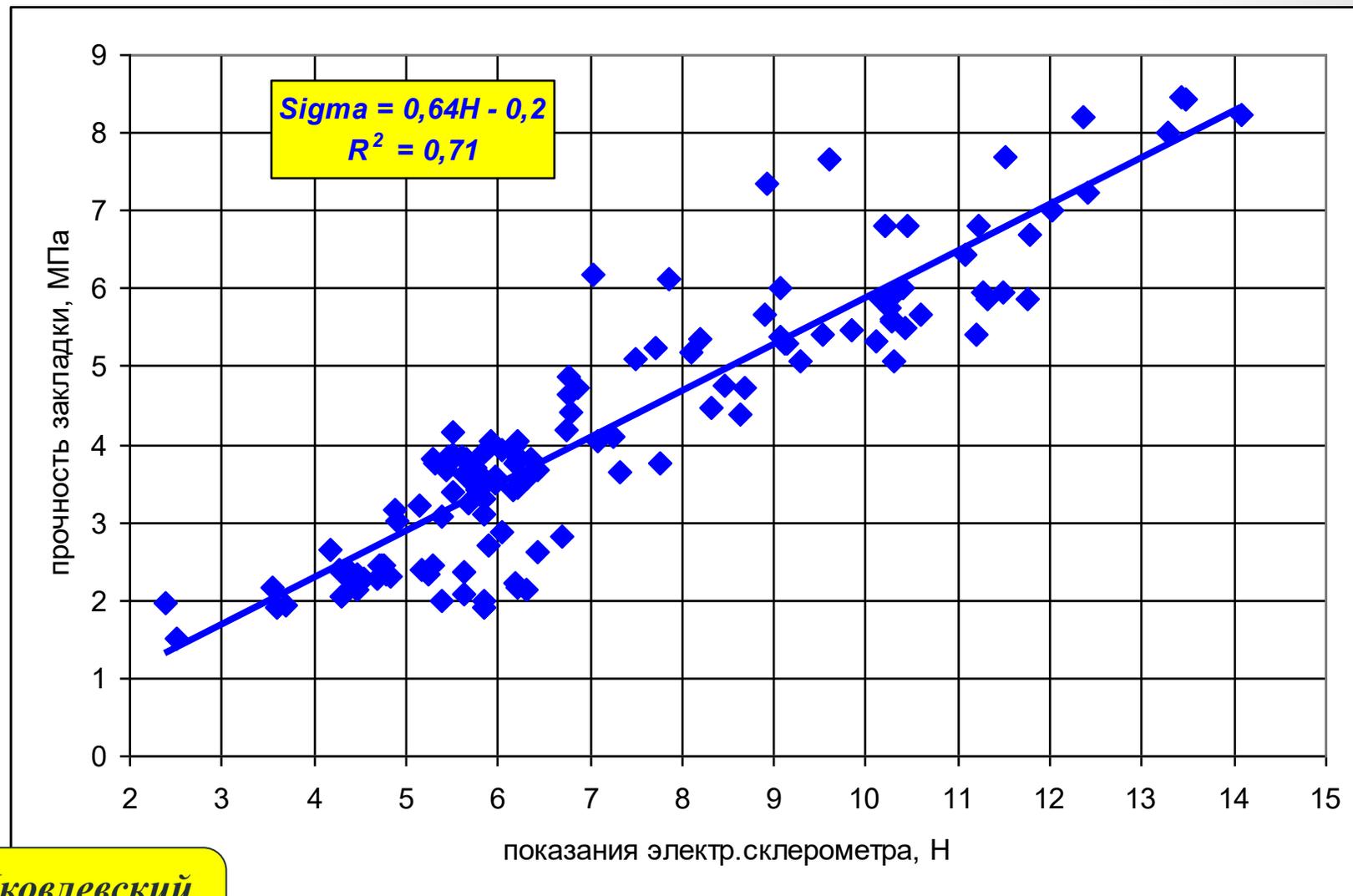
Прочность закладки = f (соотношение диаметров отпечатков)

Определение фактической прочности закладки в шахте молотком Шмидта



Определение фактической прочности закладки в шахте электронным

склерометром



Яковлевский
рудник

Определение фактической прочности закладки в шахте электронным склерометром



*Яковлевский
рудник*

Подбор составов закладки

Для сложного вяжущего

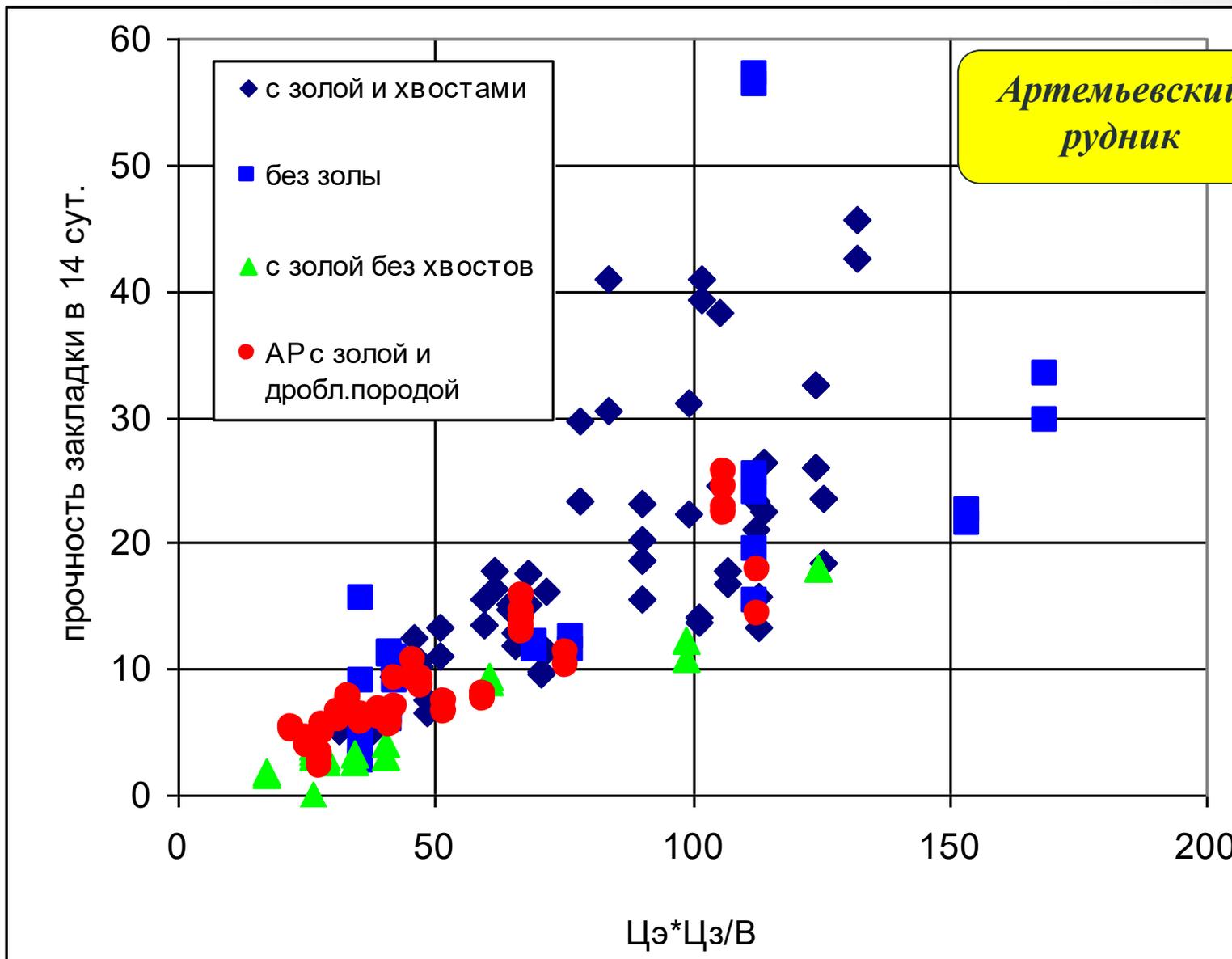
(цемент + зола-уноса,
цемент + молотый шлак)

определяют эквивалентный расход
цемента:

Цемент (Ц) + зола-уноса (З):

$$Ц_э = Ц + 0,125 \cdot З$$

$$\sigma_{сж} = f\left(Ц_э \cdot \frac{Ц_э}{B}\right)$$



Для системы горизонтальных слоев в нисходящем порядке: двухслойная искусственная кровля из твердеющей закладки - несущий слой высотой 1,5 м (1) и доливка (2).

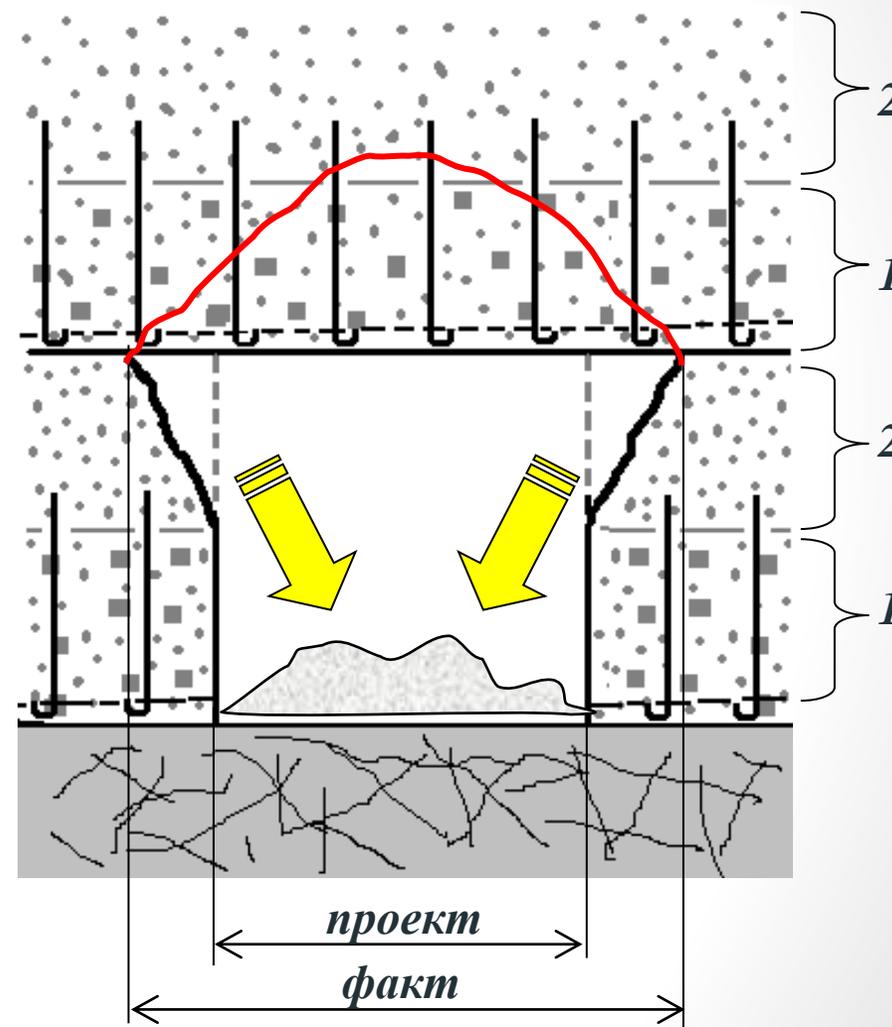
Несущий слой 1 (50%):

$$\sigma_{сж} = 4 \text{ МПа}$$

Доливка 2 (50%):

$$\sigma_{сж} = 1 \text{ МПа}$$

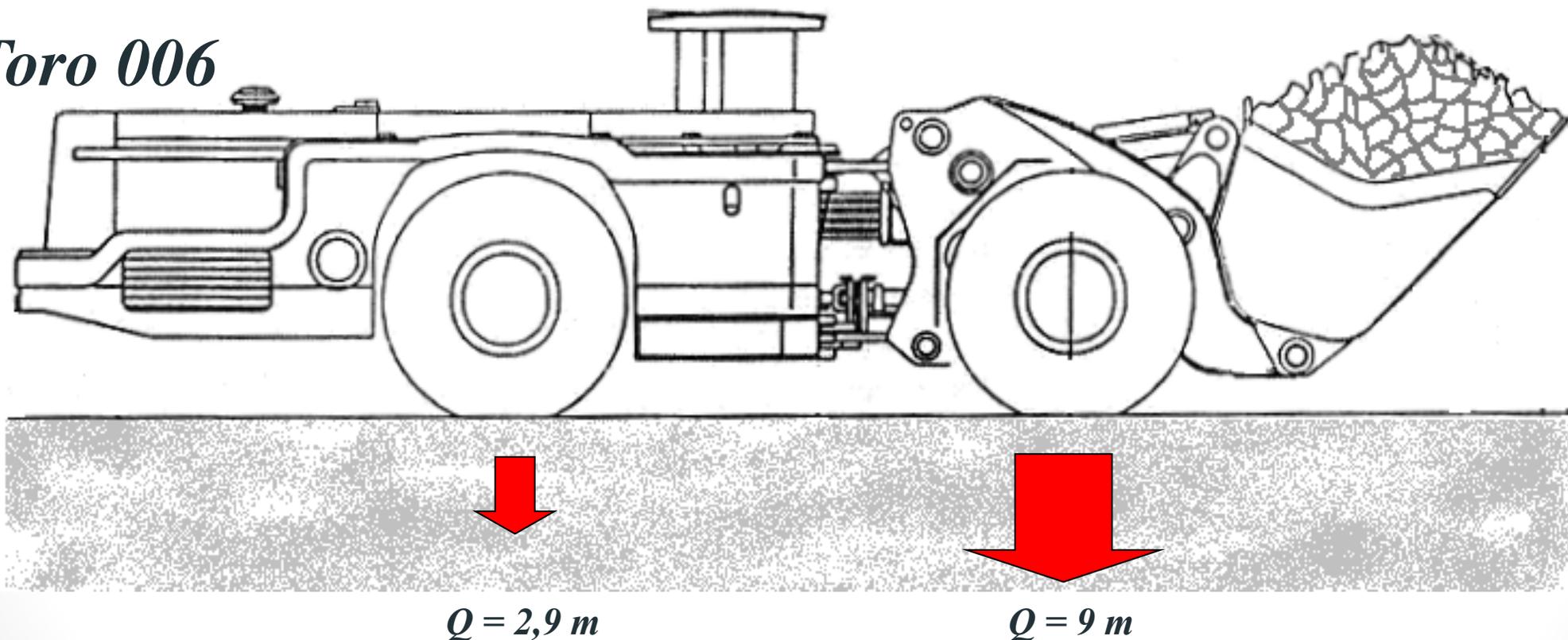
Орловский,
Артемьевский
рудники



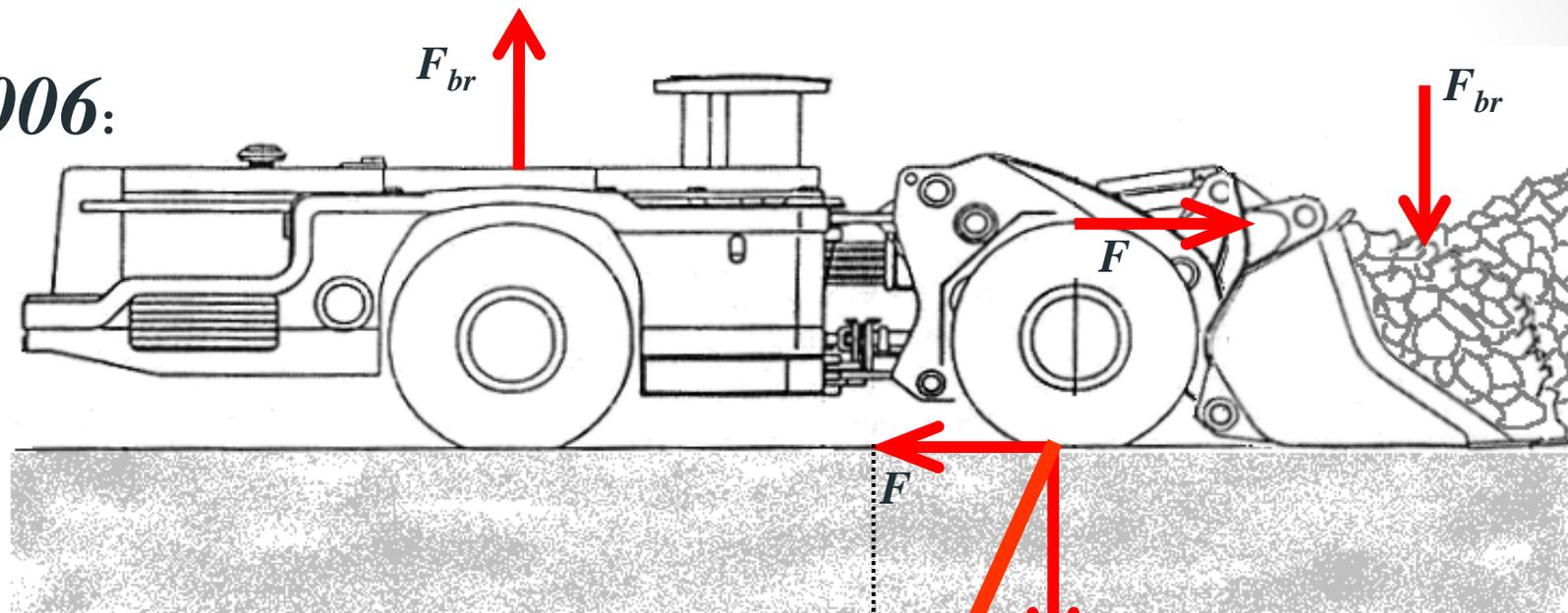
Для системы горизонтальных слоев в восходящем порядке :

- основная часть закладки (75%) – прочностью 1 МПа из расчета устойчивости на сейсмическое воздействие;*
- верхний опорный слой толщиной 0,5-1,0 м (25%) для работы самоходного оборудования на поверхности закладки.*

Toro 006



Toro 006:

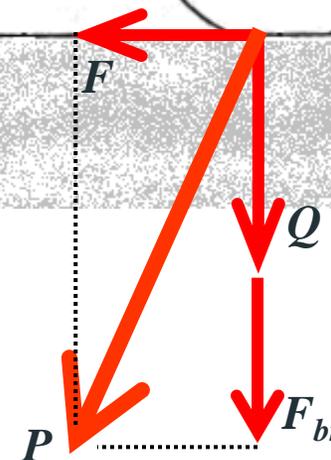


В момент погрузки:

$F_{br} = 6,9 \text{ т}$ - *усилие вырывания ковша (Breakout force);*

$F = (Q + F_{br}) \cdot f = 4,8 \text{ т}$ - *усилие черпания (Penetration force);*

Максимальная нагрузка на поверхность закладки в период черпания $P = 16,6 \text{ т}$.



$$\sigma_{сж} = 2 \text{ МПа}$$

Thanks !

Good luck !

Questions?

