



УРАЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Горный институт
Уральского отделения
Российской академии наук

II ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ»

**Опыт оценки несущей способности соляных
междукамерных целиков методами
математического моделирования.**

Ломакин Иван Сергеевич
*к.т.н., старший научный сотрудник
лаборатории механики горных пород*

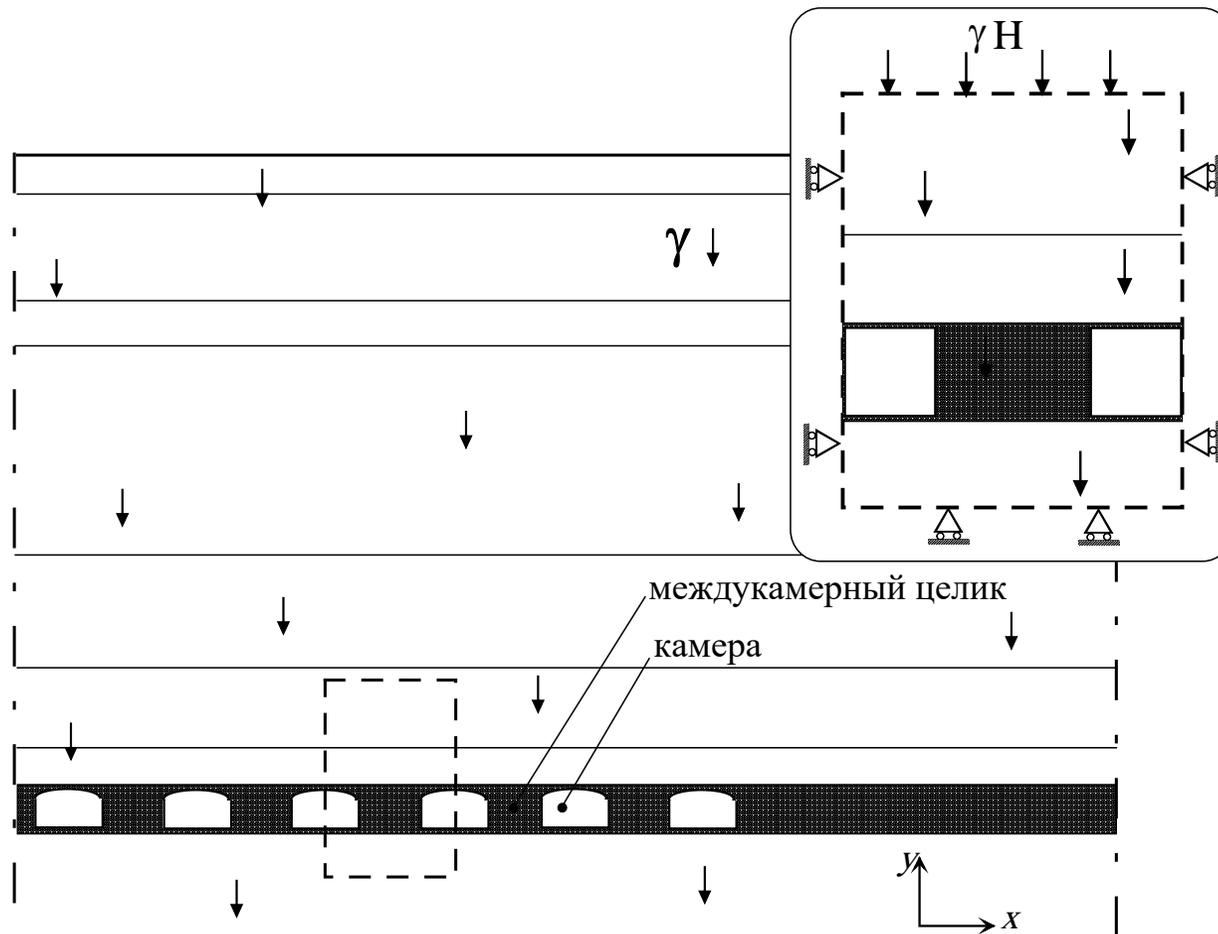
г. Екатеринбург – 2025 г.



Практика расчета целиков при камерных системах разработки базируется на методике Турнера-Шевякова:

$$C = \frac{P}{Q} = \frac{\xi \gamma S H_0}{s k_f \sigma_m} = \xi \gamma H_0 \frac{a + b}{b k_f \sigma_m} \leq [C] \quad (1)$$

где P – средняя нагрузка на целик; Q – несущая способность целика;
 ξ – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на целики в следствие влияния различных горнотехнических факторов; γ – объемный вес пород; H_0 – максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли целиков; S – суммарная площадь разработки; s – суммарная площадь опорных целиков; a – ширина очистных камер; b – ширина междукамерных целиков; k_f – коэффициент формы целиков; σ_m – агрегатная прочность пород в массиве; $C, [C]$ – соответственно расчетная и допустимая степень нагружения целика.



Принципиальная схема расчета

Исходное напряженное состояние:

$$\sigma_x^0 = \sigma_y^0 = \gamma H \quad ; \quad \tau_{xy}^0 = 0$$

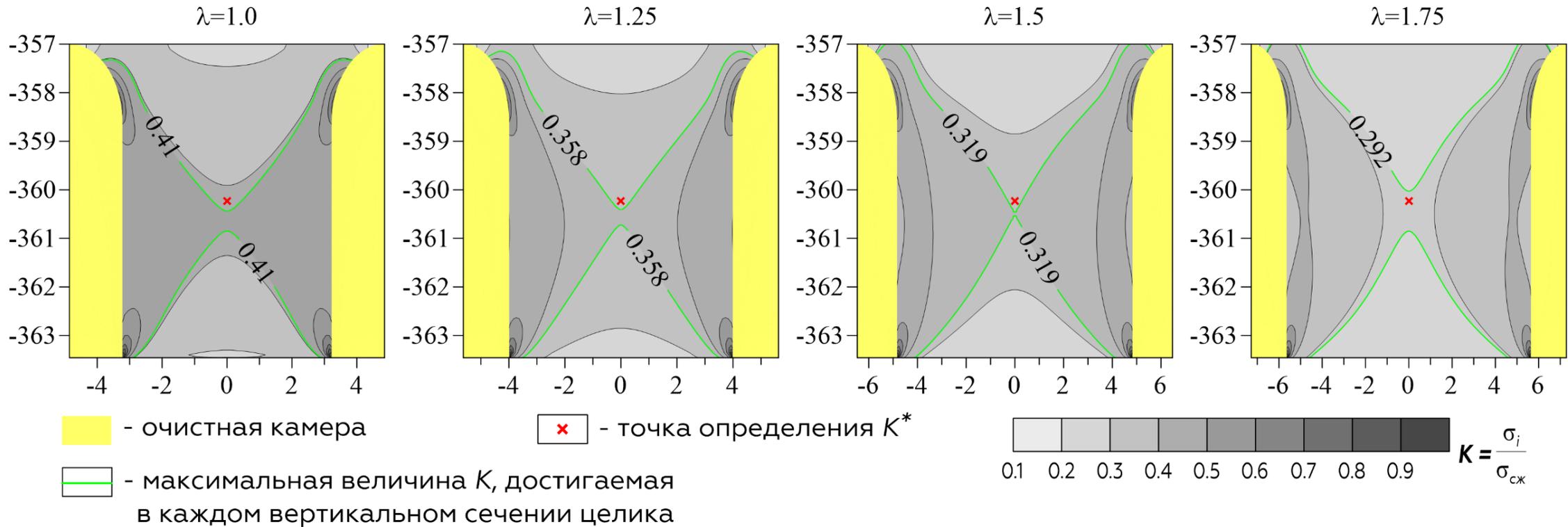
Граничные условия:

на левой и правой гранях принималось:

$$\Delta U_x(y) = 0;$$

на верхней: $\Delta U_x(y) = const$

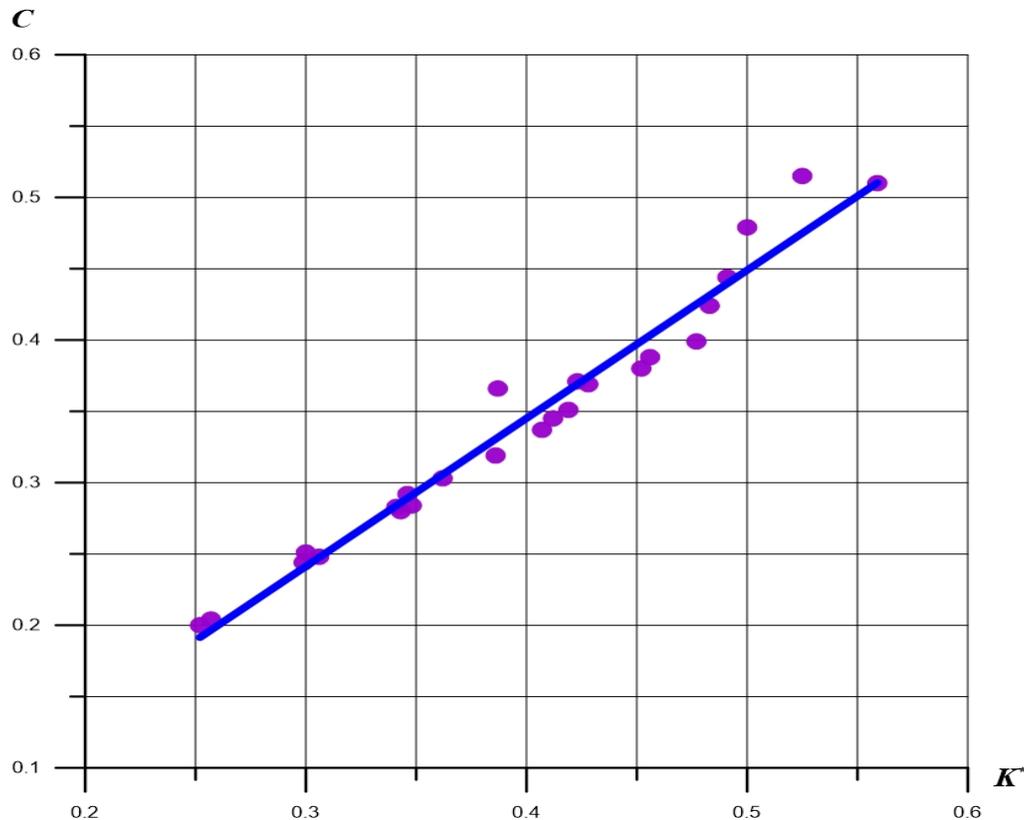
на нижней: $\Delta U_y(x) = 0$



Распределение показателя K по вертикальному сечению соляных целиков различной формы



Взаимосвязь степени нагружения, рассчитанной по методике Турнера-Шевякова, с нормированной величиной интенсивности напряжений в центре вертикального сечения целика



$$C = f(K^*) = 1.05 \cdot K^* - 0.1, \quad (2)$$

$K^* = \sigma_i / \sigma_{сж}$, определенная в центре вертикального сечения целика

$\sigma_i = \sqrt{3} \sqrt{I_2(D_\sigma)}$ – интенсивность напряжений, пропорциональная величине второго инварианта девиатора напряжений.

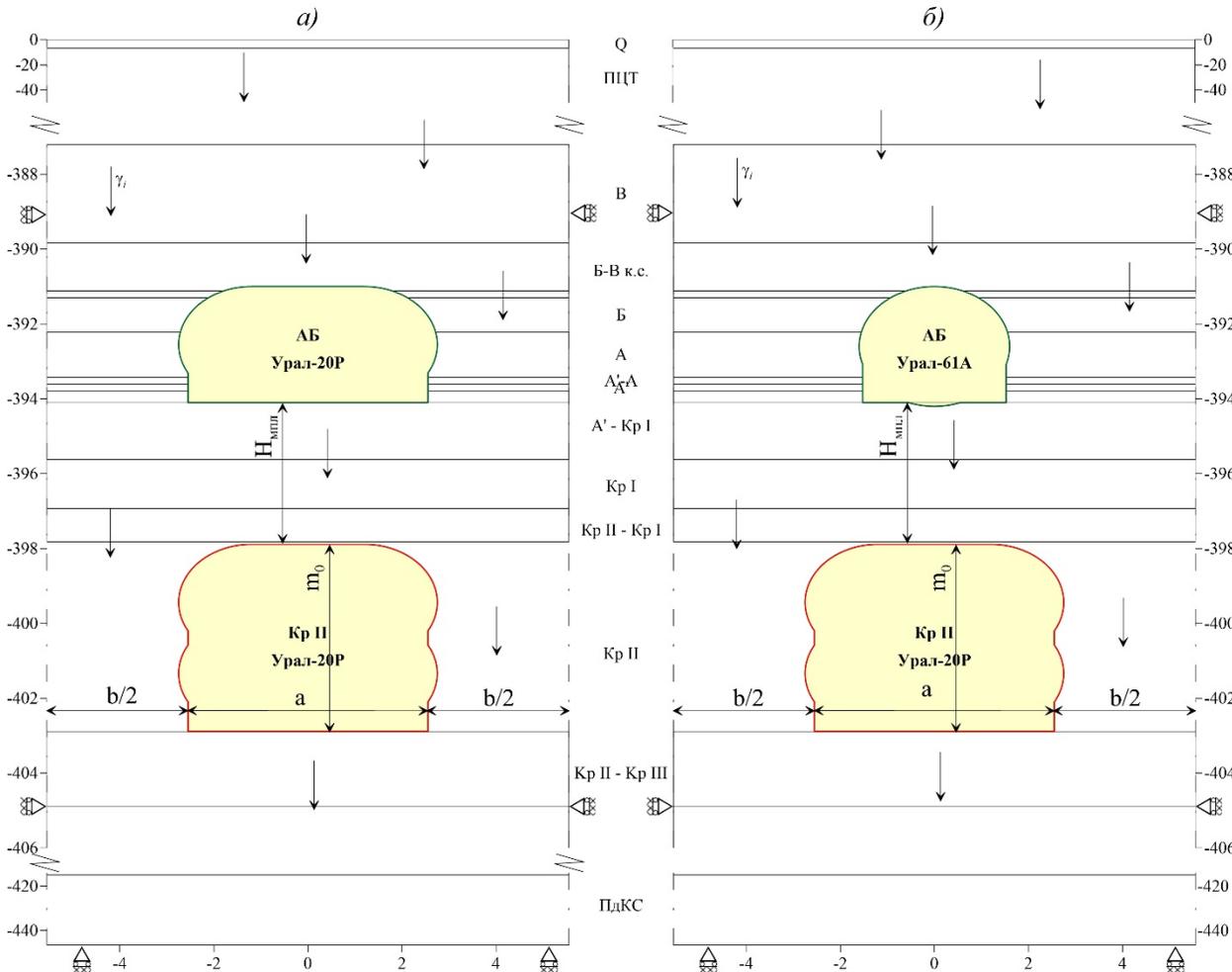
Степени нагружения целиков различной формы

λ	K^*	Степень нагружения целиков	
		C_{TP}	C_{MM}
1	0.407	0.326	0.327
1.25	0.357	0.273	0.275
1.5	0.318	0.233	0.234
1.75	0.293	0.205	0.208

Примеры использования предложенного подхода



Принципиальная геомеханическая расчетная схема



Параметры системы разработки пластов АБ и КрII:

Пласт	Комбайн	$a, м$	$b, м$	$m_0, м$	C_{TP}	C_{MM}
АБ	Урал-20Р	5,1	6,0	3,1	0,336	0,336
АБ	Урал-61А	3,05	8,05	3,1	0,23	0,235
КрII	Урал-20Р	5,1	6,0	5,0	0,382	0,381

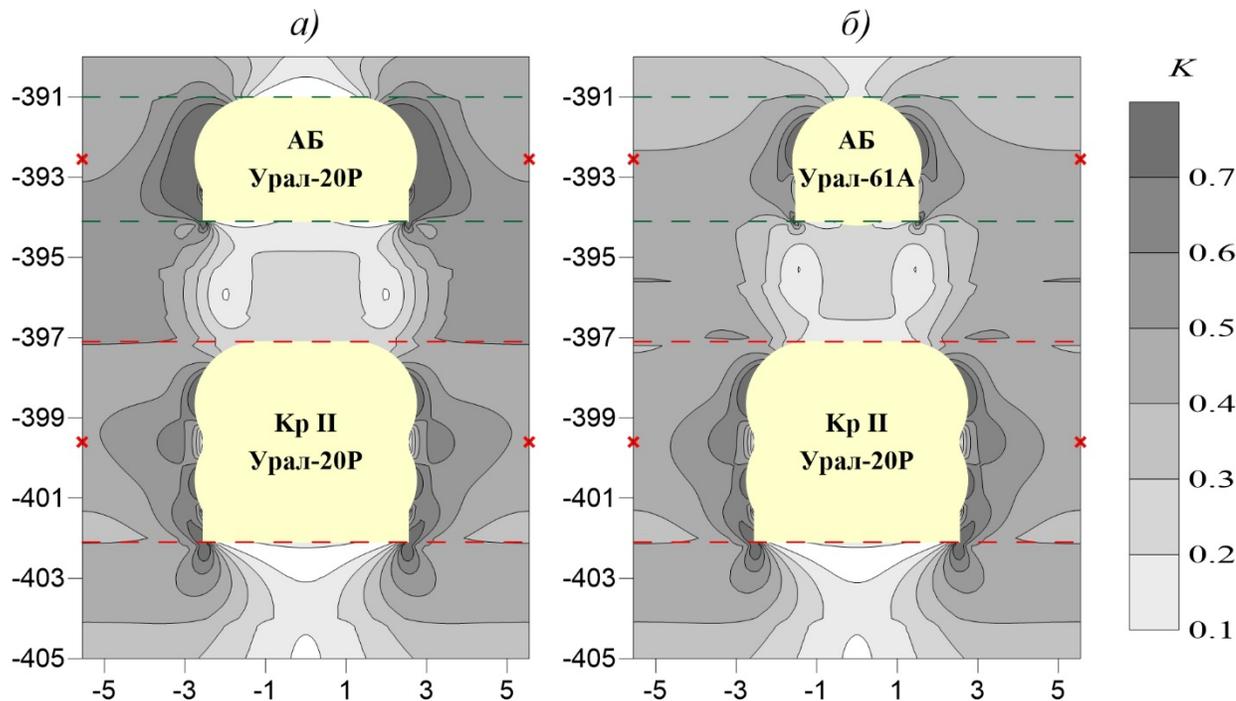
Варьируемый параметр:

$$H_{\text{мпл}} = 2 \div 8 \text{ м}$$

Примеры использования предложенного подхода



Распределение нормированной величины интенсивности напряжений по сечению двухпластового камерного блока при $H_{\text{мпл}} = 3 \text{ м}$



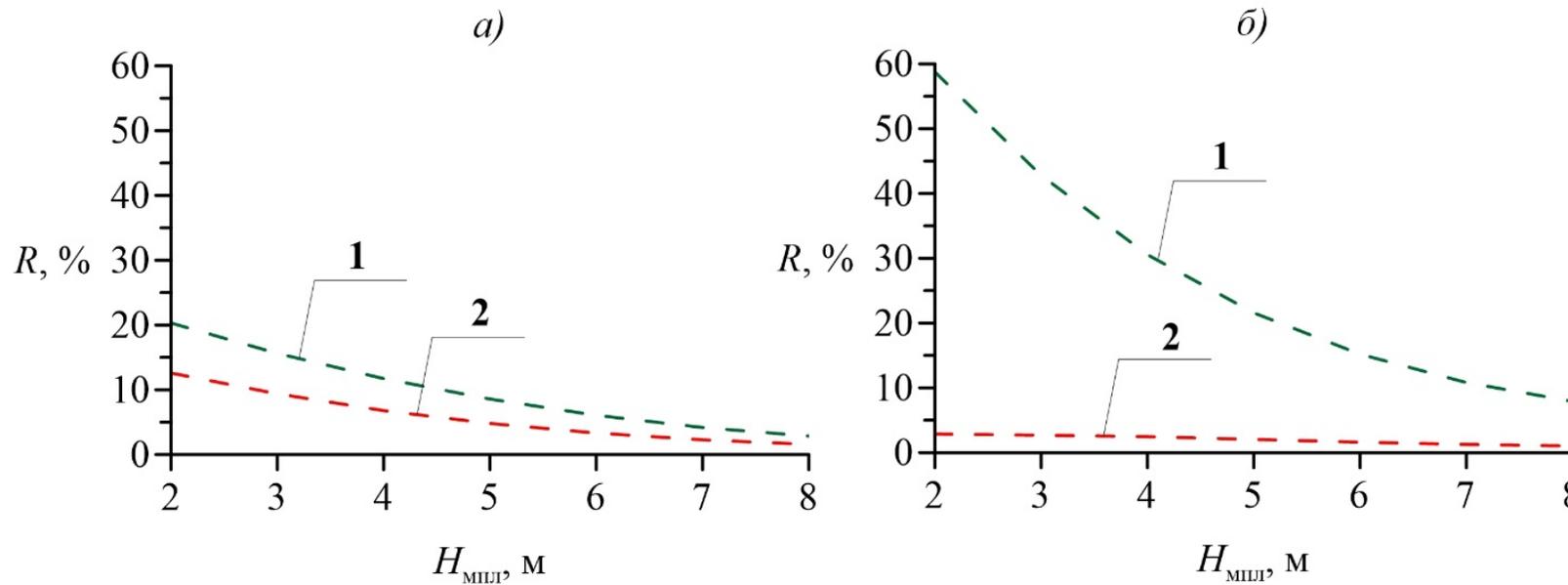
x - точка определения K^*

Степень нагружения целиков при отработке двух сильвинитовых пластов:

Вариант	Пласт	Комбайн	C_{TP}	C_{MM}
а)	АБ	Урал-20Р	0,34	0,39
	КрII	Урал-20Р	0,38	0,42
б)	АБ	Урал-61А	0,23	0,33
	КрII	Урал-20Р	0,38	0,39



Зависимость погрешности оценки степени нагружения междукламерных целиков на пласте АБ (1) и Кр II (2) от мощности технологического междупластья: а – обработка пласта АБ комбайном «Урал-20Р»; б – обработка пласта АБ комбайном «Урал-61А»



Погрешность определялась согласно выражению: $R = \left(\frac{C_{\text{ММ}}}{C_{\text{ТР}}} - 1 \right) \cdot 100\%$

Примеры использования предложенного подхода



Горный институт

Уральского отделения
Российской академии наук

Исследование влияния подстилающего слоя мергеля на несущую способность междукамерных целиков

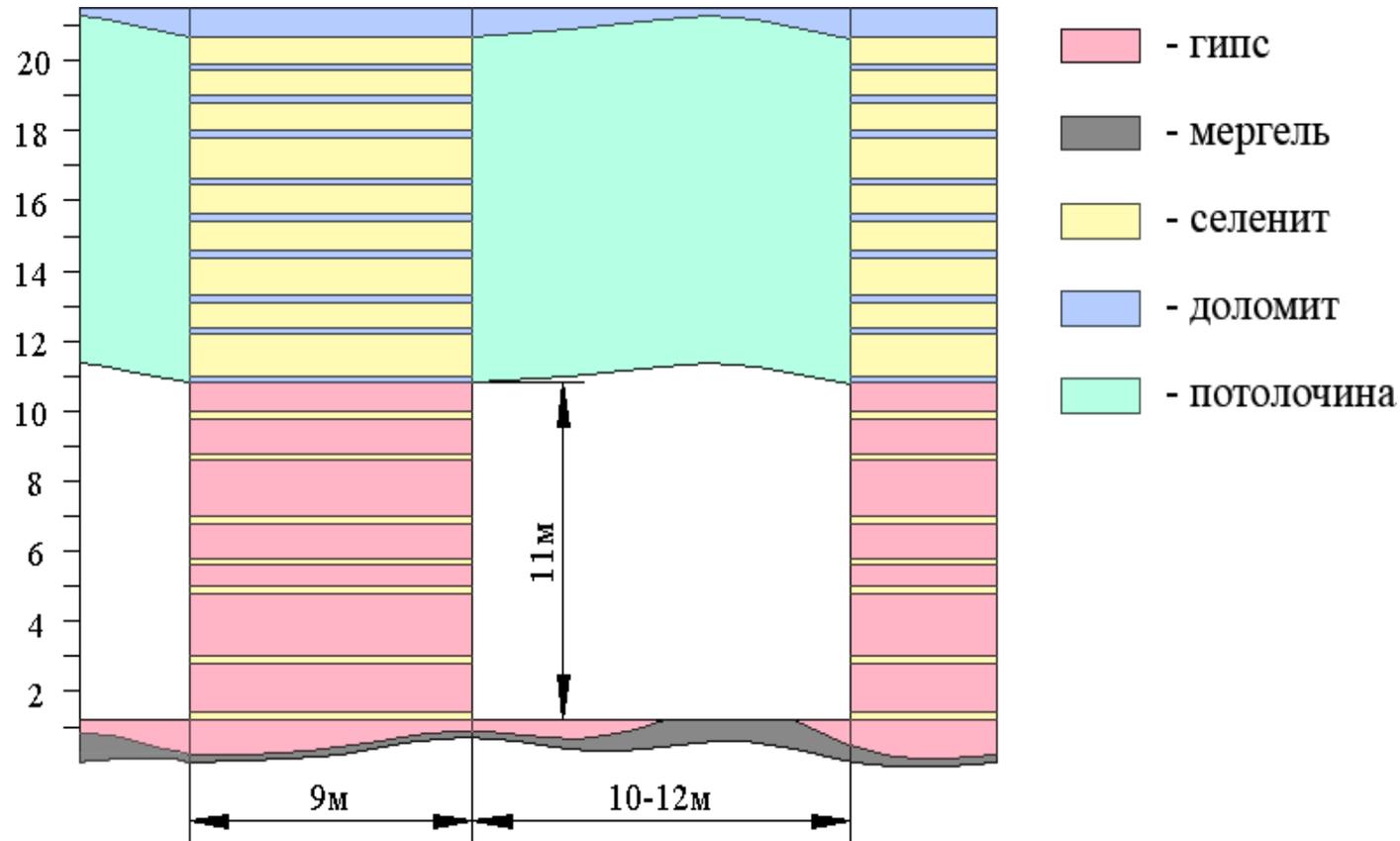


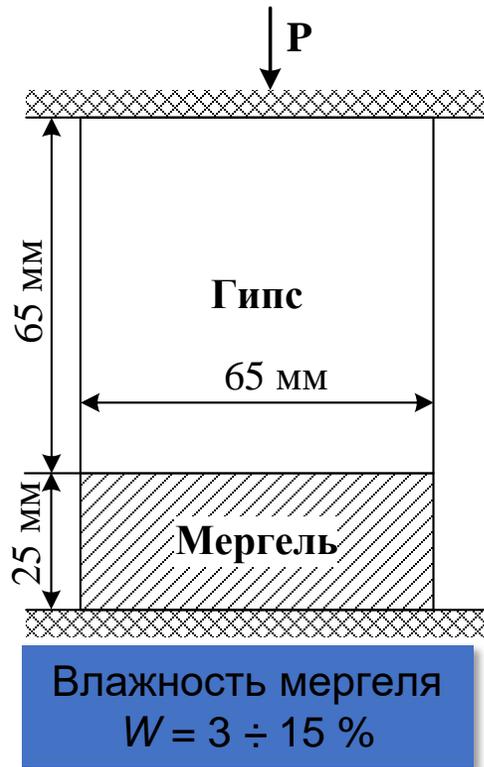
Схема системы разработки Новомосковского месторождения гипса

Примеры использования предложенного подхода

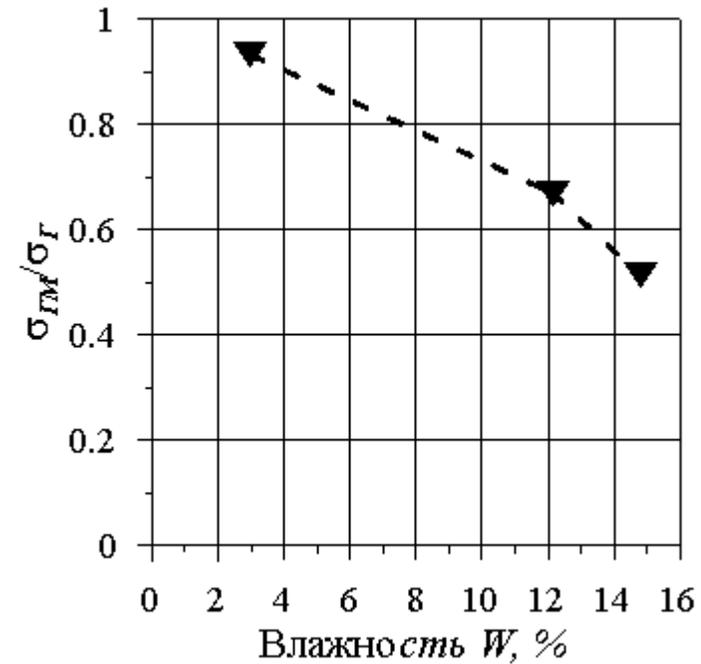


Физическое моделирование изменения несущей способности МКЦ на образцах

Испытания составных
гипсовых образцов



Относительное изменение
предела прочности составного
гипсового образца от влажности
мергеля



Примеры использования предложенного подхода

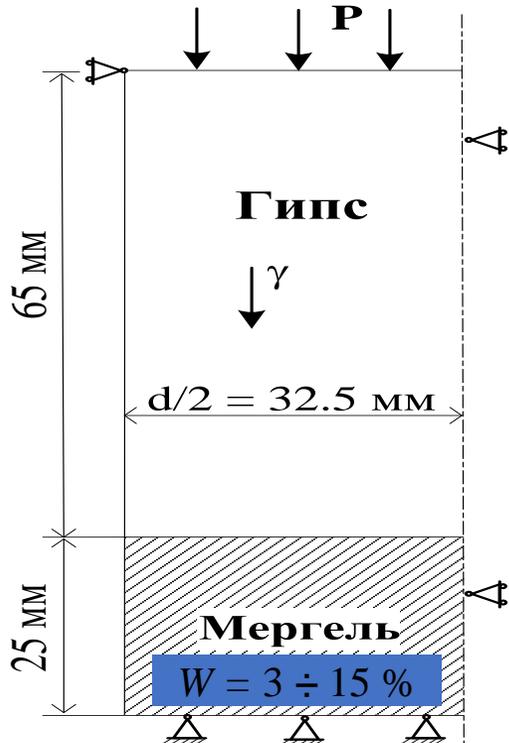


Горный институт

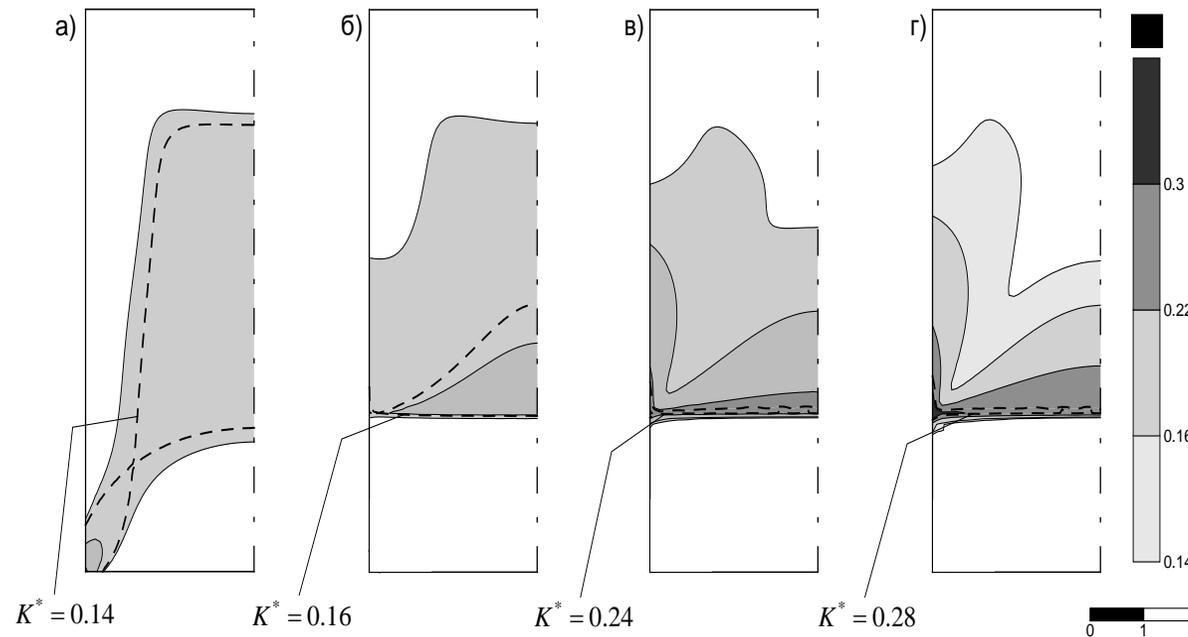
Уральского отделения
Российской академии наук

Математическое моделирование изменения несущей способности образцов

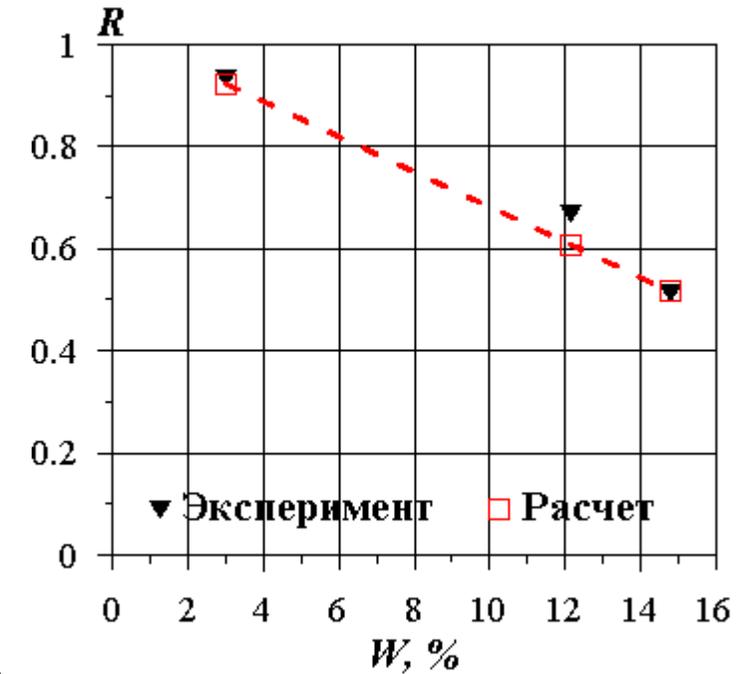
Расчетная схема
составного гипсового
образца



Распределение параметра K^* в монолитном гипсовом образце (а) и в составном образце при влажности мергеля 3% (б) 12% (в) и 15% (г)



Относительное изменение
прочности составных образцов от
влажности мергеля



Оценка изменения несущей способности основывалась

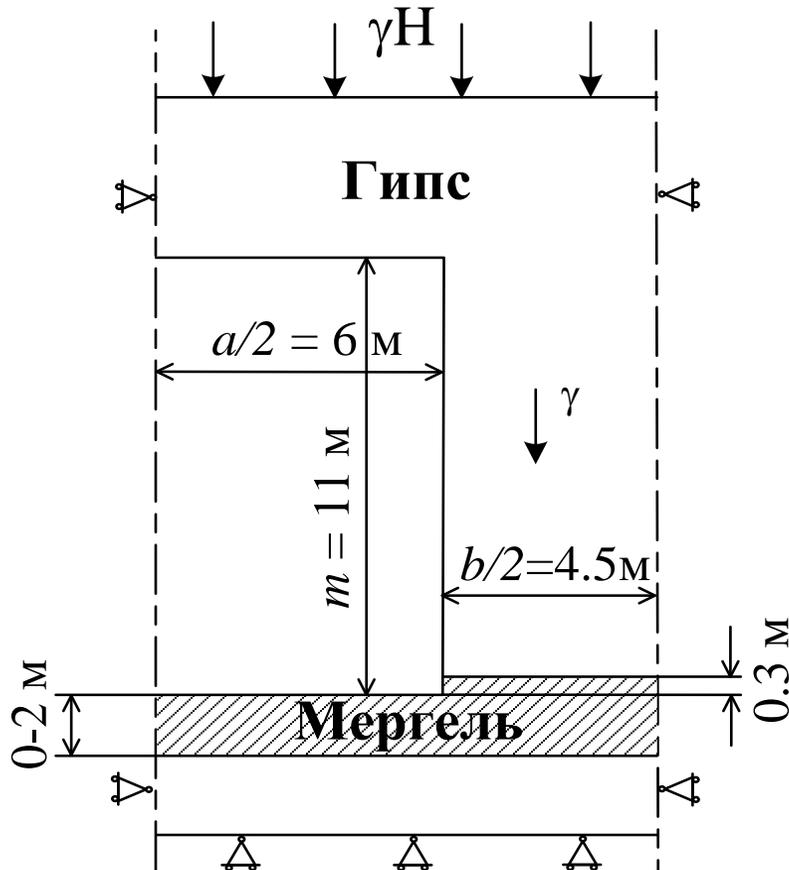
на выражении:
$$\frac{Q_{ГМ}}{Q_{Г}} = \frac{C_{Г}}{C_{ГМ}} = \frac{K_{Г}^*}{K_{ГМ}^*}$$

Примеры использования предложенного подхода

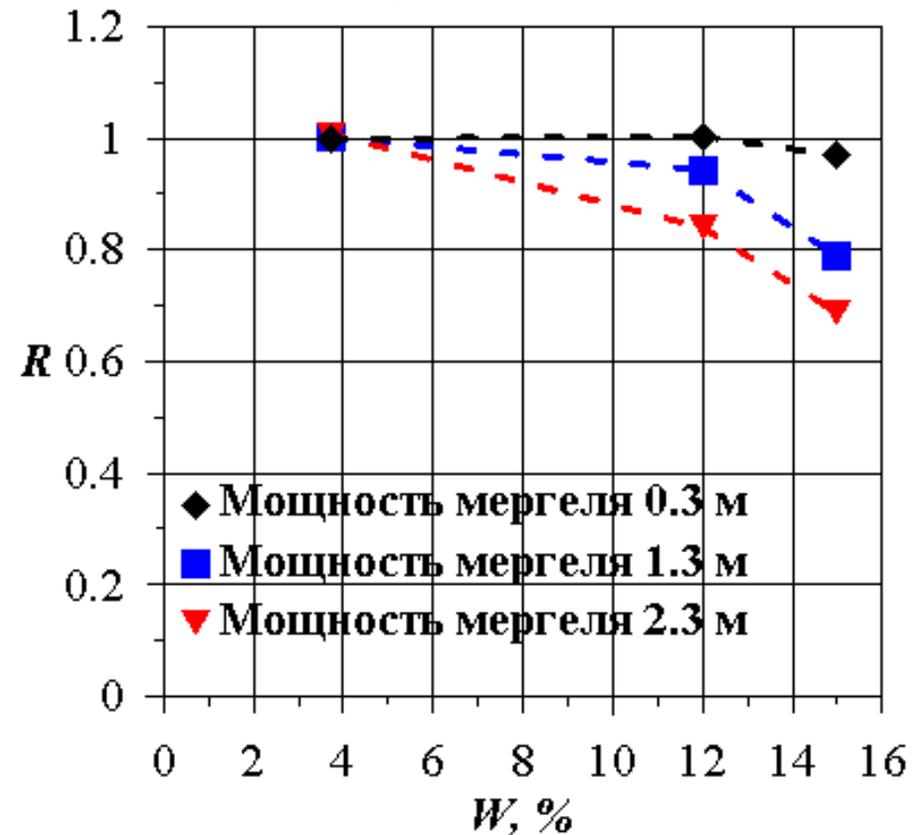


Математическое моделирование изменения несущей способности МКЦ

Схема расчета неоднородного гипсового целика



Влияние влажности и мощности подстилающего слоя мергеля на несущую способность гипсовых целиков





Опыт использования максимальной величины нормированной интенсивности напряжений, достигаемой в каждом вертикальном сечении целика, показывает хорошую применимость для оценки несущей способности МКЦ в широком спектре геомеханических задач.



УРАЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Горный институт
Уральского отделения
Российской академии наук

**Благодарю за
внимание!**

Ломакин Иван Сергеевич
*к.т.н., старший научный сотрудник
лаборатории механики горных пород
e-mail: Lomakin@Mi-Perm.ru*