

Метод рейтинговой оценки устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m

директор научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии»
Горного института НИТУ МИСИС, д.т.н., проф. РАН, действительный член АГН

Еременко Виталий Андреевич,



МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_m

ПРЕДПОСЫЛКИ:

- В 2025 году по согласованию с Ростехнадзором разрабатываются** Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости подземных горных выработок при разработке рудных месторождений». Создана группа исполнителей проекта из числа ведущих специалистов России (**срок подачи разработанного документа в Ростехнадзор – сентябрь 2025 года**).
- В период 2005-2025 гг. разработан метод оценки устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m с оценкой вероятности обрушения незакрепленной или закрепленной выработки в условиях разработки рудных месторождений, **согласованный с разрабатываемыми в настоящее время ФНиП**.
- Для работы с применением нового метода на горнодобывающих предприятиях разработаны Методические рекомендации по оценке устойчивости горных выработок по индексу R_m в условиях разработки рудных месторождений, которые **будут включены Приложением в разрабатываемый ФНиП** (**срок подачи разработанного документа в Ростехнадзор – декабрь 2025 года**).
- В настоящее время проводится подготовка к ОПИ, проведение ОПИ и внедрение разработанной системы на рудниках Норильского никеля, АЛРОСА, Полиметалл, Евраз, СУБР, руднике Кумроч (**Быстринская горная компания**), руднике Джеруй (**Киргизия**) и др.

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_M

□ ПРЕДПОСЫЛКИ:

- Технические специалисты горнодобывающих и угледобывающих компаний, Ростехнадзора уже длительное время высказывают пожелания о необходимости разработки российского метода оценки устойчивости подземных горных выработок, камер для условий разработки рудных, угольных и соляных месторождений.
- Десятилетиями для оценки качества породного массива и его устойчивости используют достаточно эффективные системы: российскую систему представленную в СП 69.13330-2016 «Подземные горные выработки», зарубежные системы – Бартона (индекс Q), рейтинговую классификацию Беняуского (индекс RMR), Мэтьюза-Потвина (фактор N), Хука (геологический индекс прочности GSI) и многочисленные другие системы.
- **Какой смысл придумывать велосипед, когда он есть и хорошо двигается?**
 - Смысл есть: Горный инженер – не может ответить на все вопросы, которые у него возникают при оценке устойчивости выработок, выбору параметров и видов крепи и систем мониторинга!
 - Существующий травматизм тому свидетельство!

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_M

□ ПРЕДПОСЫЛКИ:

- Показатели, параметры или факторы, которые оцениваются в этих системах в разной степени **достаточно хорошо позволяют проводить оценку**.
- Есть ли смысл на современном этапе развития горного дела добавлять новые показатели, параметры или факторы в эти системы? **Их добавлять конечно можно, но они могут быть достаточно трудоемкими и затратными**, например, если определять характер изменения кристаллической решетки горной породы в условиях действия горного давления.
- Разработанный метод представляет собой **гибкую систему**, адаптирующуюся под **конкретные горно-геологические условия** разрабатываемых рудных месторождений.
- Рассматриваемый подход не является **методом характеристики массива горных пород** наподобие систем рейтинговой классификации (индексы Q, RMR, GSI и др.), а является **инструментом применения** этих систем для определения устойчивости выработок и оценки вероятности их обрушения.

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_M

□ Главная цель и задача:

- Горный инженер – может ответить на любой вопрос, который у него возникает при оценке устойчивости выработок, выбору параметров и видов крепи и систем мониторинга!
- Уровень травматизма **0** на предприятиях!
- Имеется удобный современной инструмент работы в системе оценки!

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_m

- Индекс количественной оценки устойчивости подземных горных выработок R_m представляется в формате справочных таблиц.
- Диапазон оценки представляет собой I-V категорий устойчивости (таблица 1), согласующиеся с СП 69.13330-2016 «Подземные горные выработки»

Таблица 1. Категории устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m

Диапазон индекса R_m	Категория устойчивости	Оценка состояния устойчивости	Характеристика состояния устойчивости
1÷0,8	I	Очень устойчивое	Деформации и смещения отсутствуют, массив сохраняет целостность
0,8÷0,6	II	Устойчивое	Локальные нарушения, затухающие деформации. Начальная стадия формирования зоны неупругих деформаций. Деформации пород носят затухающий характер.
0,6÷0,4	III	Средне-устойчивое	Распространение нарушений пород вглубь массива. Развитие зон неупругих деформаций, возможны локальные обрушения в ослабленных зонах.
0,4÷0,2	IV	Неустойчивое	Значительные смещения контура выработки, слабо затухающие деформации
0,2÷0	V	Очень неустойчивое	Критическое развитие зон разрушения, незатухающие деформации. Смещения свободного (или при малом отпоре крепи) контура выработки носят слабо затухающий и незатухающий характер.

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_m

- Составные элементы индекса R_m** выбираются из апробированных систем (28 элементов системы).
- Элементы системы объединены в шесть групп:** физико-механические свойства, качество породного массива, состояние трещиноватости, геометрия выработки и ориентации трещин, горное давление и способ проведения выработки (всего в системе в сумме 28 показателей, параметров или факторов).
- Для расчета индекса устойчивости R_m необходимо использовать 6 показателей, параметров или факторов и 3 коэффициента.
- Выбор большего количества показателей, параметров или факторов зависит от горно-геологических условий и возможностей предприятия.

Таблица 2. Параметры, показатели или факторы в рейтинговой системе оценки устойчивости подземных горных выработок по индексу R_m

Название группы	Параметр, показатель или фактор	Индекс природных составляющих влияющих на устойчивость горной выработки отдельного параметра, показателя или фактора R_{mp_i}	Коэффициент влияния K_{rp_i} по параметру, показателю или фактору (природная составляющая)
1. Физико-механические свойства горных пород	Прочность горной породы на одноосное сжатие σ_{ck} в образце, МПа	R_{mp_1}	0,12
	Сцепление в массиве C , МПа	R_{mp_2}	0,1
	Угол внутреннего трения в массиве ϕ , град.	R_{mp_3}	0,1

Название группы	Параметр, показатель или фактор	Индекс природных составляющих влияющих на устойчивость горной выработки отдельного параметра, показателя или фактора R_{mp_i}	Коэффициент влияния K_{rp_i} по параметру, показателю или фактору (природная составляющая)
2. Качество породного массива	Показатель качества породного массива RQD, %	R_{mp_4}	0,09
	Модуль трещиноватости (частота трещиноватости FF), тр./м.	R_{mp_5}	0,06
	Модуль кусковатости, кс./ног. м	R_{mp_6}	0,04
	Выход керна, %	R_{mp_7}	0,02
	Коэффициент структурного ослабления K_{co}	R_{mp_8}	0,04
	Геологический индекс прочности GSI	R_{mp_9}	0,06
	Расстояние между трещинами J_{A3} , мм	$R_{mp_{10}}$	0,03
	Шероховатость поверхности стенок трещин J_{A41}	$R_{mp_{11}}$	0,02
	Длина трещин J_{A42} , м	$R_{mp_{12}}$	0,02
	Раскрытие трещин J_{A43} , мм	$R_{mp_{13}}$	0,03
3. Состояние трещиноватости	Заполнитель трещин J_{A44} , мм	$R_{mp_{14}}$	0,02
	Измененность стенок трещин J_{A45}	$R_{mp_{15}}$	0,02
	Обводненность пород выработки J_{A5}	$R_{mp_{16}}$	0,02
	Показатель количества систем трещин J_n	$R_{mp_{17}}$	0,01
	Показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_r	$R_{mp_{18}}$	0,01
	Показатель измененности (выветрелости) трещин J_a	$R_{mp_{19}}$	0,01
	Показатель присутствия воды в трещинах J_w	$R_{mp_{20}}$	0,02
4. Геометрия выработки и ориентация трещин	Влияние ориентации трещин на устойчивость выработки J_B	$R_{mt_{21}}$	0,03
	k_a – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простирации пород или основных плоскостей трещиноватости	$R_{mt_{22}}$	0,03
	k_θ – коэффициент направления смещения пород со стороны кровли и почвы выработки или со стороны боков выработки	$R_{mt_{23}}$	0,02
	Фактор, учитывающий пролет выработки b , м	$R_{mt_{24}}$ (табл. 4)	
5. Горное давление	Фактор, учитывающий угол падения плоскости обнажения выработки, град.	$R_{mt_{25}}$	0,02
	Фактор напряженного состояния массива σ_{ck}/σ_{max}	$R_{mt_{26}}$	0,06
	Фактор учитывающий воздействия на выработку других выработок	$R_{mt_{27}}$ (табл. 5)	
6. Способ проведения выработки	Фактор учитывающий способ проведения выработки	$R_{mt_{28}}$ (табл. 6)	
Суммарный коэффициент влияния K_y (формула 2)			1

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_m

- Все параметры, показатели или факторы, влияющие на устойчивость горной выработки имеют интегральное единство, так как каждый из них оказывает в разной степени непосредственное влияние на ее устойчивость.
- Сумма параметров, показателей или факторов оказывающих влияние на устойчивость выработки описывается индексом R_m :

$$R_m = R'_m \cdot K_{VT_{24}} \cdot K_{VT_{27}} \cdot K_{VT_{28}}, \quad (1.1)$$

$$R'_m = \frac{\sum_i R_{mp_i} + \sum_i R_{mt_i}}{n} \quad (R_{mt_{24}}, R_{mt_{27}}, R_{mt_{28}} \text{ в расчет } R'_m \text{ не входят}), \quad (1.2)$$

где R'_m – базовый индекс устойчивости горной выработки, который не учитывает факторов техногенного влияния на устойчивость ширины пролета выработки, на выработку других выработок и способа проведения выработки;

R_{mp_i} – индекс **природных составляющих** влияющих на устойчивость горной выработки отдельного параметра, показателя или фактора;

R_{mt_i} – индекс **техногенного влияния** на устойчивость выработки отдельного параметра, показателя или фактора;

n – число учитываемых параметров в расчете;

i – порядковый номер индекса.

Коэффициенты:

- $K_{VT_{24}}$ – коэффициент влияния ширины пролета выработки $R_{mt_{24}}$ (**табл. 4**);

- $K_{VT_{27}}$ – коэффициент влияния на выработку других выработок $R_{mt_{27}}$ (**табл. 5**);

- $K_{VT_{28}}$ – коэффициент влияния способа проходки выработки $R_{mt_{28}}$ (**табл. 6**).

МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_M

Отдельные элементы системы имеют как **природную составляющую**, так и **техногенное влияние** на устойчивость выработки, которые в разной степени оказывают влияние на суммарный базовый индекс R'_m , в связи с чем необходимо учитывать их вес посредством введения **коэффициентов влияния K_{VP_i} и K_{VT_i}** (таб. 2). **Суммарный коэффициент влияния K_V** определяет интегральное единство элементов системы и **равен 1**:

$$K_V = \sum_i K_{VP_i} + \sum_i K_{VT_i} = 1 \quad (K_{VT_{24}}, K_{VT_{27}}, K_{VT_{28}} - в расчет **K_V** не входят). \quad (2)$$

Таблица 3. Составные элементы индекса R_m

Параметр, показатель или фактор	Интервалы значений				
	0,8–1 I	0,6–0,8 II	0,4–0,6 III	0,2–0,4 IV	0–0,2 V
Физико-механические свойства горных пород					
Прочность горной породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ в образце, МПа (R_{mp_1})	>250	100–250	50–100	25–50	1–25
Сцепление в массиве C , МПа (R_{mp_2})	>0,4	0,3–0,4	0,2–0,3	0,1–0,2	<0,1
Угол внутреннего трения в массиве ϕ , град. (R_{mp_3})	>45°	35–45°	25–35°	15–25°	<15°
Качество породного массива					
Показатель качества породного массива RQD, % (R_{mp_4})	90–100	75–90	50–75	25–50	<25
Модуль трещиноватости (частота трещиноватости FF), тр./пог. м (R_{mp_5})	1	1–3	3–10	10–21	>21
	Единичные волосные и тонкие трещины шириной менее 1 мм	Волосные и тонкие трещины шириной менее 1 мм с единичными трещинами шириной 2 мм	Наряду с тонкими трещинами шириной до 1 мм (до 50%) встречаются мелкие трещины шириной от 2 до 5 мм и средние шириной от 5 до 20 мм	Наряду с мелкими трещинами встречаются крупные трещины шириной от 20 до 100 мм (10–20%)	Наряду с мелкими и крупными присутствуют трещины шириной более 100 мм
Модуль кусковатости, кс./пог. м (R_{mp_6})	2	2–5	5–12	12–21	>21
Выход керна, % (R_{mp_7})	>85	58–85	18–58	2–18	<2
	Трещины практически отсутствуют	Керн с плоскостями ослабления в среднем через 1–1,5 м	Керн с плоскостями ослабления в среднем через 0,5–1,5 м	Выход керна кусками с плоскостями ослабления в среднем через 0,1–0,5 м	Выход керна мелкими обломками, плоскости ослабления менее чем через 0,1 м
Коэффициент структурного ослабления $K_{с.о}$ (R_{mp_8})	0,6–0,9	0,4–0,6	0,3–0,4	0,1–0,3	<0,1
Геологический индекс прочности GSI (R_{mp_9})	75–100	55–75	35–55	18–35	<18

Параметр, показатель или фактор	Интервалы значений				
	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4	0–0,2
Категория устойчивости	I	II	III	IV	V
Состояние трещиноватости					
Расстояние между трещинами J_{A3} , мм (R_{mp10})	>2000	600–2000	200–600	60–200	<60
Шероховатость поверхности стенок трещин J_{A41} (R_{mp11})	Очень шероховатые	Слегка шероховатые, раскрытие <1 мм, слегка выветрелые стенки	Слегка шероховатые раскрытие <1 мм, сильно выветрелые стенки	Гладкие поверхности	Следы скольжения
Длина трещин J_{A42} , м (R_{mp12})	<1	1–3	3–10	10–20	>20
Раскрытие трещин J_{A43} , мм (R_{mp13})	Нет	<0,1	0,1–1,0	1–5	>5
Заполнитель трещин J_{A44} , мм (R_{mp14})	Нет	Твердый заполнитель <5	Твердый заполнитель >5	Мягкий заполнитель <5	Мягкий заполнитель >5
Измененность стенок трещин J_{A45} (R_{mp15})	Нет	Слегка выветрелые	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Раздробленные
Обводненность пород выработки J_{A5} (R_{mp16})	Полностью сухая	Влажная	Мокрая	Капеж	Водоприток
Показатель количества систем трещин J_n (A–J – классы системы) (R_{mp17})	A-Монолитные породы или случайные трещины	B-1 система трещин; C-1 система трещин + 1 случайная трещина	D-2 системы трещин; E-2 системы трещин + 1 случайная трещина	F-3 системы трещин; G-3 системы трещин + 1 случайная трещина	H-≥4 системы трещин + случайные трещины; J-Сильно нарушенный массив
Показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_r (A–H – классы системы) (R_{mp18})	Контакт «порода-стенка», при сдвиге менее 100 мм				
	A-Прерывистые, разрывные поверхности стенок трещин; B-Шероховатые или нерегулярные, волнистые	C-Гладкие, волнистые	D-Волнистые с плоскостями скольжения; E-Шероховатые или нерегулярные, плоские	F-Гладкие, плоские	G-С полироваными берегами, с плоскостями скольжения
	Отсутствие контакта «порода-стенка», толстое заполнение если имеется сдвиг				
			G-Зона содержащая глинистые минералы толщиной достаточной для предотвращения контакта «порода-стенка»; H-Песчаная, гравелистая или дробленая зона достаточно толстая для предотвращения контакта «порода – стенка»		

Параметр, показатель или фактор	Интервалы значений				
	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4	0–0,2
Категория устойчивости	I	II	III	IV	V
Контакт «порода-стенка» без разрушенного минерального заполнителя (ϕ_r – приблизительный)					
Показатель измененности (выветрелости) трещин J_a (A-P – классы системы) (R_{mp19})	A-Сомкнутые стенки трещин. Плотно залеченное, твердое не ослабляющееся, непроницаемое заполнение (например, кварц, эпидот, кальцит, ангидрит, цеолиты, халькопирит, сфаллерит, апофиллит, датолит, ломонит (плотный), датолит); B-Неизменные стенки трещин, только пятно на поверхности (изменение цвета) ($\phi_r=25\text{--}35$ град.).	C-Слегка изменены стенки трещин, с легким налетом. Не ослабляющиеся минеральные покрытия (класс A), песчаные частицы, не содержащая глины дезинтегрированная порода и т.п. ($\phi_r=25\text{--}30$ град.); D-Илисто – или песчано – глинистые покрытия, малая доля глины (не ослабляющаяся) (или минералов класса E) мощностью до 3 мм ($\phi_r=20\text{--}25$ град.).	E-Не ослабляющиеся или с низким трением глинистые минеральные покрытия, например, каолинит или слюда. Также хлорит, тальк, гипс, графит и т.п. и малое количество набухающего заполнителя. ($\phi_r=8\text{--}16$ град.)	-	-
Контакт «порода-стенка», сдвиг до 100 мм (тонкое минеральное заполнение) (ϕ_r – приблизительный)					
		F-Включения песчаных частиц, не содержащая глины, дезинтегрированная порода и т.п. (класс A) ($\phi_r=25\text{--}30$ град.)	G-Сильно – размягчающийся переуплотненный не ослабляющийся минеральный заполнитель (непрерывный, но толщиной <5мм) ($\phi_r=16\text{--}24$ град.)	H-Размягчающийся заполнитель на основе глинистых минералов со средней или низкой степенью переуплотнения толщиной <5мм ($\phi_r=12\text{--}16$ град.)	J-Заполнитель из набухающей глины (непрерывный, но толщиной <5мм). Устойчивость массива зависит от процентного содержания частиц набухающей глины и доступа воды и т.п. ($\phi_r=6\text{--}12$ град.)

Параметр, показатель или фактор	Интервалы значений				
	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4	0–0,2
Категория устойчивости	I	II	III	IV	V
Отсутствие контакта «порода-стенка», сдвиг (толстое минеральное заполнение) (φ_r – приблизительный)					
		K-Зоны или прослойка дезинтегрированной или дробленной породы. Сильно переуплотненный заполнитель, например, глина (классы G, H, J для описания состояния глины). Толщина заполнителя >5 мм. (φ_r =16–24 град.)	L-Зоны или прослойка дезинтегрированной, или дробленной породы. Средне и слабо переуплотненный заполнитель. Толщина заполнителя >5 мм. (φ_r =12–16 град.)	M-Зоны или прослойка дезинтегрированной, или дробленной породы. Средне и слабо переуплотненный заполнитель. Толщина заполнителя 5 мм. (φ_r =6–12 град.); N-Зоны или прослойки илисто, или песчанно – глинистой, мелкой глинистой фракции (не ослабляющиеся). Сильно переуплотненный заполнитель. Толщина заполнителя >5 мм. (φ_r =12–16 град.); O-Зоны или прослойки илисто, или песчанно – глинистой, мелкой глинистой фракции (не ослабляющиеся). Сильно переуплотненный заполнитель. Толщина заполнителя >5 мм. (φ_r =12–16 град.)	P-Зоны или прослойки илисто, или песчанно – глинистой, мелкой глинистой фракции (не ослабляющиеся). Разбухающая глина. Устойчивость массива зависит от процентного содержания частиц разбухающей глины. Толщина заполнителя >5 мм. (φ_r =6–12 град.)
Показатель присутствия воды в трещинах J_w (A-F – классы системы) (R_{trp20})	A-Сухая выработка или незначительный водоприток (влажные трещины), местный приток воды <5 л/мин (приблизительное давление воды 1 кг/см ²)	B- Средний водоприток или давление, эпизодическое вымывание заполнителя трещин (приблизительное давление воды 1,0–2,5 кг/см ²)	C-Большой водоприток или высокое давление в крепкой породе с трещинами без заполнения (приблизительное давление воды 2,5–10 кг/см ²); D-Большой водоприток или значительное вымывание заполнения трещин (приблизительное давление воды 2,5–10 кг/см ²)	E-Сверх высокий водоприток или давление воды при взрывах, ослабевающие значения с течением времени (приблизительное давление воды >10 кг/см ²)	F-Сверх высокий водоприток или давление воды, продолжающиеся без заметного ослабления (приблизительное давление воды >10 кг/см ²)

Продолжение табл. 3

Параметр, показатель или фактор	Интервалы значений				
	Диапазон индекса	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4
Категория устойчивости	I	II	III	IV	V
Геометрия выработки и ориентации трещин					
Влияние ориентации трещин на устойчивость выработки J_B (R_{mt21})	Очень благоприятное	Благоприятное	Среднее	Неблагоприятное	Очень неблагоприятное
	Простижение трещин вдоль оси выработки				
	Проходка выработки ведется по падению трещин с углами падения 45–90°	Проходка выработки ведется по падению трещин с углами падения 20–45°	Проходка выработки ведется против падения трещин с углами падения 45–90°	Проходка выработки ведется против падения трещин с углами падения 20–45°	-
	Простижение трещин параллельно оси выработки				
	-	-	-	Углы падения трещин 45–90°	Углы падения трещин 20–45°
	Независимо от простириания				
	-	-	-	Углы падения трещин 0–20°	-
	Направление проходки выработки – по простирианию пород и основных систем трещин				
	Угол залегания пород α и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости, град.				
	60–90°	50–60°	40–50°	30–40°	0–30°
k_a – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости (R_{mt22})	k_a – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости				
	<0,60	0,60–0,65	0,65–0,80	0,80–0,95	0,95–1
	Направление проходки выработки – вкрест простириания пород и основных систем трещин				
	Угол залегания пород α и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости, град.				
	60–90°	50–60°	40–50°	30–40°	0–30°
	k_a – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости				
	<0,15	0,15–0,20	0,20–0,25	0,25–0,60	0,60–0,70
	Направление проходки выработки – под углом к простирианию пород и основных систем трещин				
	Угол залегания пород α и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости, град.				
	50–60°	40–50°; 60–90°	40–50°	30–40°	0–30°
	k_a – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простириания пород или основных плоскостей трещиноватости				
	0,35–0,45	0,45–0,65; <0,35	0,65–0,80	0,80–0,85	-

Параметр, показатель или фактор	Интервалы значений				
Диапазон индекса	0,8–1	0,6–0,8	0,4–0,6	0,2–0,4	0–0,2
Категория устойчивости	I	II	III	IV	V
Направление проходки выработки – по простиранию					
Угол залегания пород α и основных плоскостей трещиноватости, град.					
k_θ – коэффициент направления смещения пород со стороны кровли и почвы выработки или со стороны боков выработки ($R_{mt_{23}}$)	0–30	30–40	40–50	50–60	60–90
	0,35–0,55	0,55–0,80	0,80–1,20	1,20–1,70	<1,70
Направление проходки выработки – вкрест простирания пород					
Угол залегания пород α и основных плоскостей трещиноватости, град.					
	-	0–30; 60–90	30–40; 40–50; 50–60	-	-
	-	0,55–0,80	0,80–0,95; 0,95; 0,80–0,95	-	-
Направление проходки выработки проходки – под углом к простиранию пород					
Угол залегания пород α и основных плоскостей трещиноватости, град.					
	-	0–30; 30–40	40–50	50–60; 60–90	-
	-	0,45–0,65; 0,65–0,90	0,90–1,05	1,05–1,10; 0,95–1,10	-
Фактор, учитывающий пролет выработки, b ($R_{mt_{24}}$)	$R_{mp_{24}}$ (см. табл. 4)				
Фактор, учитывающий угол падения плоскости обнажения выработки, град. ($R_{mt_{25}}$)	80–90	60–80	40–60	20–40	0–20
Горное давление					
Фактор напряженного состояния массива σ_{ck}/σ_{max} ($R_{mp_{26}}$) (при отсутствии величины максимального действующего напряжения – выбирается $\sigma_{max} = \gamma H$ или $\sigma_{max} = \lambda \gamma H$)	Средние обжимающие напряжения	Низкие обжимающие напряжения	Высокие напряжения	Высокие пластические деформации или удароопасные условия	Запредельные нагрузки
	5–20	20–200	2–5	1–2	<1
Фактор учитывающий воздействия на выработку других выработок ($R_{mt_{27}}$)	$R_{mt_{27}}$ (см. табл. 5)				
Способ проведения выработки					
Фактор учитывающий способ проведения выработки ($R_{mt_{28}}$)	$R_{mt_{28}}$ (см. табл. 6)				

Таблица 4. $K_{UT_{24}}$ – коэффициент влияния ширины пролета выработки $R_{mt_{24}}$

Группа геометрия выработки и ориентации трещин											
R'_m	Ширина пролета выработки b (фактор $R_{mt_{24}}$), м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1–0,8	$K_{UT_{24}}$ – коэффициент влияния ширины пролета выработки $R_{mt_{24}}$ (формула 1)	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94
0,8–0,6		0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84
0,6–0,4		0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76	0,74	0,71
0,4–0,2		0,7	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43
0,2–0		0,4	0,35	0,30	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01	0,01

Таблица 5. $K_{UT_{27}}$ – коэффициент влияния на выработку других выработок $R_{mt_{27}}$

Группа горное давление					
Фактор $R_{mt_{27}}$ учитывающий воздействие на выработку других выработок	Одиночные выработки	Параллельные выработки, расстояние между которыми L , не меньше четырех размеров одной из выработок максимальной ширины b	Параллельные выработки, расстояние между которыми L , не меньше трех размеров одной из выработок максимальной ширины b	Для сопряжений с односторонним примыканием выработок	Для сложных сопряжений с примыканием выработок в виде двухстороннего заезда или пересекающих выработок
$K_{UT_{27}}$ – коэффициент влияния на выработку других выработок $R_{mt_{27}}$ (формула 1)	1	1	0,95	0,85	0,8

Таблица 6. $K_{UT_{28}}$ – коэффициент влияния способа проходки выработки $R_{mt_{28}}$

Группа способ проведения выработки			
Фактор $R_{mt_{28}}$ учитывающий способ проведения выработки	Механический способ проходки	Буровзрывной способ проведения выработки с применением контурного взрываия	Буровзрывной способ проведения выработки
$K_{UT_{28}}$ – коэффициент влияния способа проходки выработки $R_{mt_{28}}$ (формула 1)	1	0,95	0,9
$K_{UT_{28}}$ – коэффициент влияния способа проходки выработки $R_{mt_{28}}$ (формула 1) с учетом глубины формирования зоны наведенной трещиноватости во вмещающем массиве определяемой в натурных условиях или расчетами в программе ПРЗВВ (программа расчета зон влияния взрыва)	1	0,95	Глубина формирования зоны наведенной трещиноватости, м
			до 1 м
			1-2
			более 2
			0,95
			0,9
			0,8

ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ, СМЕЩЕНИЙ СВОБОДНОДНОГО ОТ КРЕПИ КОНТУРА И ВЫСОТЫ СВОДА ВОЗМОЖНОГО ОБРУШЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

Время устойчивого стояния незакрепленной горной выработки с учетом ширины ее пролета рассчитывается по экспоненциальной зависимости:

$$T_{\text{уст.}} = a \cdot e^{-0,36B}, \text{ ч.} \quad (3)$$

где $T_{\text{уст.}}$ – время устойчивого стояния выработки без крепления, ч;

a – коэффициент, зависящий от индекса устойчивости горной выработки R_m :

$$a = 6 \cdot 10^{-5} \cdot e^{29,8R_m}. \quad (4)$$

B – ширина пролета выработки, м;

e – основание натурального логарифма.

Смещение незакрепленного контура подземной горной выработки с учетом ширины ее пролета рассчитывается для каждой категории устойчивости полиноминальными зависимостями:

I категория ($R_m=0,8-1$): $U = 0,1553B^2 - 0,2235B + 0,75$, мм; (5.1)

II категория ($R_m=0,6-0,8$): $U = 1,0076B^2 - 6,0894B + 24,5$, мм; (5.2)

III категория ($R_m=0,4-0,6$): $U = 1,1894B^2 - 5,69318B + 79,633$, мм; (5.3)

IV категория ($R_m=0,2-0,4$): $U = 1,3636B^2 - 6,8667B + 155,27$, мм; (5.4)

V категория ($R_m=0-0,2$): $U = 10,686B^2 - 34,6839B + 444,82$, мм. (5.5)

ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ, СМЕЩЕНИЙ СВОБОДНОГО ОТ КРЕПИ КОНТУРА И ВЫСОТЫ СВОДА ВОЗМОЖНОГО ОБРУШЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

Таблица 7. Смещение U свободного от крепи контура подземной горной выработки и время ее устойчивого стояния без крепления в зависимости от ширины пролета выработки $B = 1-10$ м для индекса устойчивости в диапазоне $R_m = 0-1$

Категории устойчивости выработки	R_m	Ширина выработки B , м										U , мм
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	1-0,8	0	1	2	3	4	5	6	8	11	15	0-15
II	0,8-0,6	16	17	18	19	21	24	30	35	48	70	16-70
III	0,6-0,4	71	73	76	78	82	87	93	103	120	145	71-145
IV	0,4-0,2	146	148	150	152	156	164	173	183	198	400	146-400
V	0,2-0	401	420	440	500	575	615	700	805	990	1200	401-1200

Категории устойчивости выработки	R_m	Ширина выработки B , м										$T_{уст.}$, ч
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
I	1,00	Не обрушается	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	
	0,95	Не обрушается	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	
	0,90	Не обрушается	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	
	0,85	Не обрушается	$>10^6$	$>10^6$	$>10^6$	$8,5 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$			
	0,80	Не обрушается	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	10^5	$6,5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$			

Продолжение табл. 7

Категории устойчивости массива	R_m	Ширина выработки B , м										$T_{уст.}$, ч
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
II	0,80	Не обрушается	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	10^5	$6,5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$			
	0,75	Не обрушается	10^5	$6,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$			
	0,70	Не обрушается	$2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	10^4	$7 \cdot 10^3$	$5,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$			
	0,65	Не обрушается	$7 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$			
	0,60	Не обрушается	$1,5 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$			
III	0,60	Не обрушается	$1,5 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^2$	$5,5 \cdot 10^2$	$3,5 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$			
	0,55	Не обрушается	$4 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	10^2	$7,5 \cdot 10$	$6 \cdot 10$			
	0,50	Не обрушается	$2 \cdot 10^2$	10^2	$7 \cdot 10$	$5 \cdot 10$	$3,5 \cdot 10$	$3 \cdot 10$	$2 \cdot 10$	$1,7 \cdot 10$		Обрушение при проходке
	0,45	Не обрушается	$3,5 \cdot 10$	$2 \cdot 10$	$1,5 \cdot 10$	10	$8,5$	$6,5$				Обрушение при проходке
	0,40	10	3,5	2,5	1,5							Обрушение при проходке
IV	0,40	10	3,5	2,5	1,5							Обрушение при проходке
	0,35	4	1,5	0,8								Обрушение при проходке
	0,30	0,8	0,45	0,25								Обрушение при проходке
	0,25	0,2	0,1									Обрушение при проходке
	0,20											Обрушение при проходке
V	0,20											Обрушение при проходке
	0,15											Обрушение при проходке
	0,10											Обрушение при проходке
	0,05											Обрушение при проходке
	0,00											Обрушение при проходке

ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ, СМЕЩЕНИЙ СВОБОДНОДНОГО ОТ КРЕПИ КОНТУРА И ВЫСОТЫ СВОДА ВОЗМОЖНОГО ОБРУШЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

Высота свода возможного обрушения кровли выработки рассчитывается по формуле:

$$l_B = 0,34B/R_m, \text{ м.} \quad (6)$$

Таблица 8. Высота свода возможного обрушения кровли выработки в зависимости от ширины ее пролета $B = 1\text{--}10$ м для индекса устойчивости в диапазоне $R_m = 0,2\text{--}0,8$

Ширина пролета выработки, м	Индекс R_m						
	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Высота свода возможного обрушения, м							
1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,7
2	0,9	1,0	1,1	1,4	1,7	2,3	3,4
3	1,3	1,5	1,7	2,0	2,6	3,4	5,1
4	1,7	1,9	2,3	2,7	3,4	4,5	6,8
5	2,1	2,4	2,8	3,4	4,3	5,7	8,5
6	2,6	2,9	3,4	4,1	5,1	6,8	10,2
7	3,0	3,4	4,0	4,8	6,0	7,9	11,9
8	3,4	3,9	4,5	5,4	6,8	9,1	13,6
9	3,8	4,4	5,1	6,1	7,7	10,2	15,3
10	4,3	4,9	5,7	6,8	8,5	11,3	17,0

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

Минимальный набор для **оценки устойчивости подземной горной выработки или ее участка по индексу R_m** в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях рудника включает 9 ключевых параметров:

1. R_{mp_1} – прочность горной породы на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ в образце, МПа ($K_{vp_1} = 0,12$);
2. R_{mp_4} – показатель качества породного массива RQD, % ($K_{vp_4} = 0,09$);
3. $R_{mp_{11}}$ – показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_{A41} ($K_{vp_{11}} = 0,02$);
4. $R_{mp_{14}}$ – показатель заполнителя трещин J_{A44} ($K_{vp_{14}} = 0,02$);
5. $R_{mp_{20}}$ – показатель присутствия воды в трещинах J_w ($K_{vp_{20}} = 0,02$) или $R_{mp_{16}}$ – показатель обводненности пород выработки J_{A5} ($K_{vp_{16}} = 0,02$);
6. $R_{mt_{21}}$ – влияние ориентации трещин на устойчивость выработки J_B ($K_{vt_{21}} = 0,03$) или $R_{mt_{22}} - k_a$ – коэффициент влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простирания пород или основных плоскостей трещиноватости ($K_{vt_{21}} = 0,03$);
7. $R_{mt_{24}}$ – фактор, учитывающий ширину пролета выработки b через коэффициент $K_{vt_{24}}$, м;
8. $R_{mt_{27}}$ – фактор учитывающий воздействие на выработку других выработок через коэффициент $K_{vt_{27}}$;
9. $R_{mt_{28}}$ – фактор учитывающий способ проведения выработки через коэффициент $K_{vt_{28}}$.

Максимальный набор параметров, показателей или факторов при проведении **оценки** может состоять

из большего количества от 10 до 28 **параметров, показателей или факторов**.

При последующих оценках в сложных условиях (категории IV-V, глубокие выработки, удароопасные массивы) количество параметров может быть увеличено (**табл. 7**). Например, если **месторождение удароопасное или выработки глубокого залегания** необходимо добавить в расчеты фактор напряженного состояния массива $\sigma_{сж}/\sigma_{max}$ ($R_{mt_{26}}$). Если, например, необходимо оценить конкретно **устойчивость горизонтального, вертикального или наклонного обнажения** горной выработки в расчеты добавить фактор учитывающий угол падения плоскости обнажения выработки ($R_{mt_{25}}$).

Порядок определения индекса на основе количественных параметров выполняется в три этапа:

1. Найти диапазон в **таблице 3**, содержащий измеренное значение;
2. Выбрать соответствующее значение R_{mp_i}/R_{mt_i} ;
3. Для граничных значений применять консервативный подход.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

7. ПРИМЕР ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ НА РУДНИКЕ ПО ИНДЕКСУ R_m

Оценивается устойчивость подготовительной выработки транспортного штрека: шириной 4,5 м и высотой 5 м. Горная порода - доломит бежевый. Глубина горных работ от земной поверхности $H=635$ м.

Данные геотехнической оценки:

- Прочность горной породы на одноосное сжатие в образце $\sigma_{сж} = 78,5$ МПа; $R_{mp_1} = 0,5$ (см. таблицу 3).
- Показатель качества породного массива $RQD=78\%$; $R_{mp_4} = 0,6$ (см. таблицу 3).
- Показатель шероховатости поверхности стенок трещин J_{A41} – слегка шероховатые, раскрытие <1мм, слегка выветрелые стенки; $R_{mp_{11}} = 0,7$ (см. таблицу 3).
- Показатель заполнителя трещин J_{A44} – твердый заполнитель <5мм; $R_{mp_{14}} = 0,7$ (см. таблицу 3).
- Показатель присутствия воды в трещинах J_w – незначительный водоприток (влажные трещины); $R_{mp_{20}} = 0,9$ (см. таблицу 3).
- Показатель влияния угла залегания пород и направления проходки выработки относительно простирания пород или основных плоскостей трещиноватости. **Направление проходки выработки – по простирианию пород и основных систем трещин, угол залегания пород $\alpha=60^\circ$, коэффициент $k_\alpha=0,65$; $R_{mt_{22}} = 0,8$ (см. таблицу 3).**

Рассчитываем базовый индекс устойчивости горной выработки R'_m по формуле 1.2:

$$R'_m = \frac{\sum_i R_{mp_i} + \sum_i R_{mt_i}}{n} = \frac{R_{mp_1} + R_{mp_4} + R_{mp_{11}} + R_{mp_{14}} + R_{mp_{20}} + R_{mt_{22}}}{n} = \frac{0,5 + 0,6 + 0,7 + 0,7 + 0,9 + 0,8}{6} = 0,70.$$

- Фактор $R_{mt_{24}}$, учитывает пролет выработки $b=4,5$ м; коэффициент $K_{VT_{24}} = 0,895$ (см. таблицу 4).
- Фактор $R_{mt_{27}}$ учитывает воздействие на выработку других выработок – одиночная выработка; коэффициент $K_{VT_{27}} = 1$ (см. таблицу 5).
- Фактор $R_{mt_{28}}$ учитывает способ проведения выработки – буровзрывной способ проведения выработки; коэффициент $K_{VT_{28}} = 0,9$ (см. таблицу 6).
- Рассчитываем индекс R_m по формуле 1.1:

$$R_m = R'_m \cdot K_{VT_{24}} \cdot K_{VT_{27}} \cdot K_{VT_{28}} = 0,7 \cdot 0,895 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,56.$$

Результаты оценки устойчивости подготовительной выработки транспортного штрека шириной 4,5 м и высотой 5 м: индекс $R_m = 0,56$; III категория устойчивости (см. таблицу 1); средне-устойчивое состояние (см. таблицу 1); распространены нарушения пород вглубь массива, регистрируется развитие зон неупругих деформаций и локальные обрушения в ослабленных зонах (см. таблицу 1, III категория устойчивости).

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

Смещение свободного от крепи контура подземной горной выработки с учетом ширины ее пролета определяется для III категории устойчивости (см. формулу 5.3):

$$U = 1,1894B^2 - 5,69318B + 79,633 = 78,1 \text{ мм.}$$

С учетом полученной величины максимального смещения $U = 78,1$ мм свободного от крепи контура подземной горной выработки с учетом ширины ее пролета прогнозно рекомендуется тип крепи согласно характеристикам представленных в таблице 9. Для рассматриваемого случая подходит **комбинированная крепь: анкеры, набрызгбетон с металлической сеткой**.

Таблица 9. Рекомендуемый выбор типа крепи на основе ее предельных смещений

Тип крепи	Предельные смещения крепи, мм
Набрызгбетонная (торкретбетонная)	20
Анкерная (железобетонная ЖБШ, сталеполимерная СПА, фрикционная)	30–40
Комбинированная (анкеры и набрызгбетон)	50
Комбинированная: анкеры, набрызг-бетон с металлической сеткой	150
Деревянная рамная	150
Металлическая арочная податливая трехзвенная	300
Металлическая арочная податливая пятизвенная	500–700

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ ПО ИНДЕКСУ R_m

Высота свода возможного обрушения рассчитывается по формуле 6: $l_b=2,7$ м (см. таблицу 8).

Оценки вероятности разрушения горной выработки:

Условная вероятность наступления рискового события рассчитывается с использованием значения частоты события. Имея данные о прогнозном времени стояния 235,5 ч, переведем время в частоту.

Частота события (формула 7): $\lambda = 1_{\text{событие}}/T_{\text{уст.}} = 1/235,5 = 0,0042$ события в час или $\lambda = 0,0042 \cdot 24 = 0,10$ в сутки.

Вероятность реализации риска разрушения данной конкретной горной выработки в течение 1 суток (или 24 часов) при проходке без крепления рассчитывается по **формуле 8**:

$$P_{\text{сут.}} = 1 - e^{-(\lambda)} = 1 - 2,71828^{-(0,10)} = 9,7\%.$$

Условная вероятность реализации риска разрушения горной выработки при отставании от крепления через 2 суток (48 часов) по **формуле 9**:

$$P_{\text{сут.}} = 1 - (e^{-(0,10 \cdot 2)})^2 = 1 - (2,71828^{-(0,20)})^2 = 33,5\%.$$

Расчет показывает, что для данного типа выработок **необходимо оперативное крепление сразу после проходки**, т.к. даже небольшое время отставания значительно увеличивает вероятность рискового события.

Для расчета остаточного риска после крепления горной выработки без данных мониторинга целесообразно применять метод Вейбулла в котором принять данные о времени стояния закрепленной выработки с учетом статистических натурных наблюдений или данных производителя крепи (систем крепления).

Предположим, что по данным производителя крепления, заявленное (паспортное) время службы системы крепления составляет 120 мес, т.е. закрепленные выработки при неизменных горно-геологических условиях **сохраняют устойчивость не более 10 лет**.

Тогда частота события на прогнозном интервале в 1 месяц:

$$\lambda = 1_{\text{событие}}/120 = 0,0083 \text{ события в месяц.}$$

Частота события на прогнозном интервале в 1 год:

$$\lambda = 1_{\text{событие}}/10 = 0,1 \text{ события в год.}$$

Соответственно **условная вероятность реализации рискового события после крепления выработки** при соблюдении всех требований к технологии проведения крепления и неизменных горно-геологических условиях **в первый месяц**:

$$P_{\text{мес.}} = 1 - (e^{-0,0083})^2 = 1,6\%.$$

Через 6 месяцев:

$$P_{\text{6мес.}} = 1 - (e^{-0,0083 \cdot 6})^2 = 9,5\%.$$

Однако, учитывая сложные горно-геологические условия и дополнительные факторы, влияющие на крепление выработок, при наличии данных о изменении в системе целесообразно учитывать динамику критериального показателя, отражающего степень деформирования закрепленного массива **методом Пуассона**.

Предположим, что за критериальный показатель отражающий состояние массива принято расслоение кровли выработки: **за 6 месяцев наблюдений расслоение массива в кровле закрепленной выработки составило 8 мм, при критическом значении расслоения в 25 мм** (указывающем на наступление рискового события).

Следовательно, **скорость расслоения** составляет: 8 мм/6 мес. = 1,33 мм/мес.

Значение критериального показателя: 25 мм - 8 мм = 17 мм.

Прогнозное время до наступления рискового события в данном случае при сохраняющейся динамике изменения критериального показателя составит:

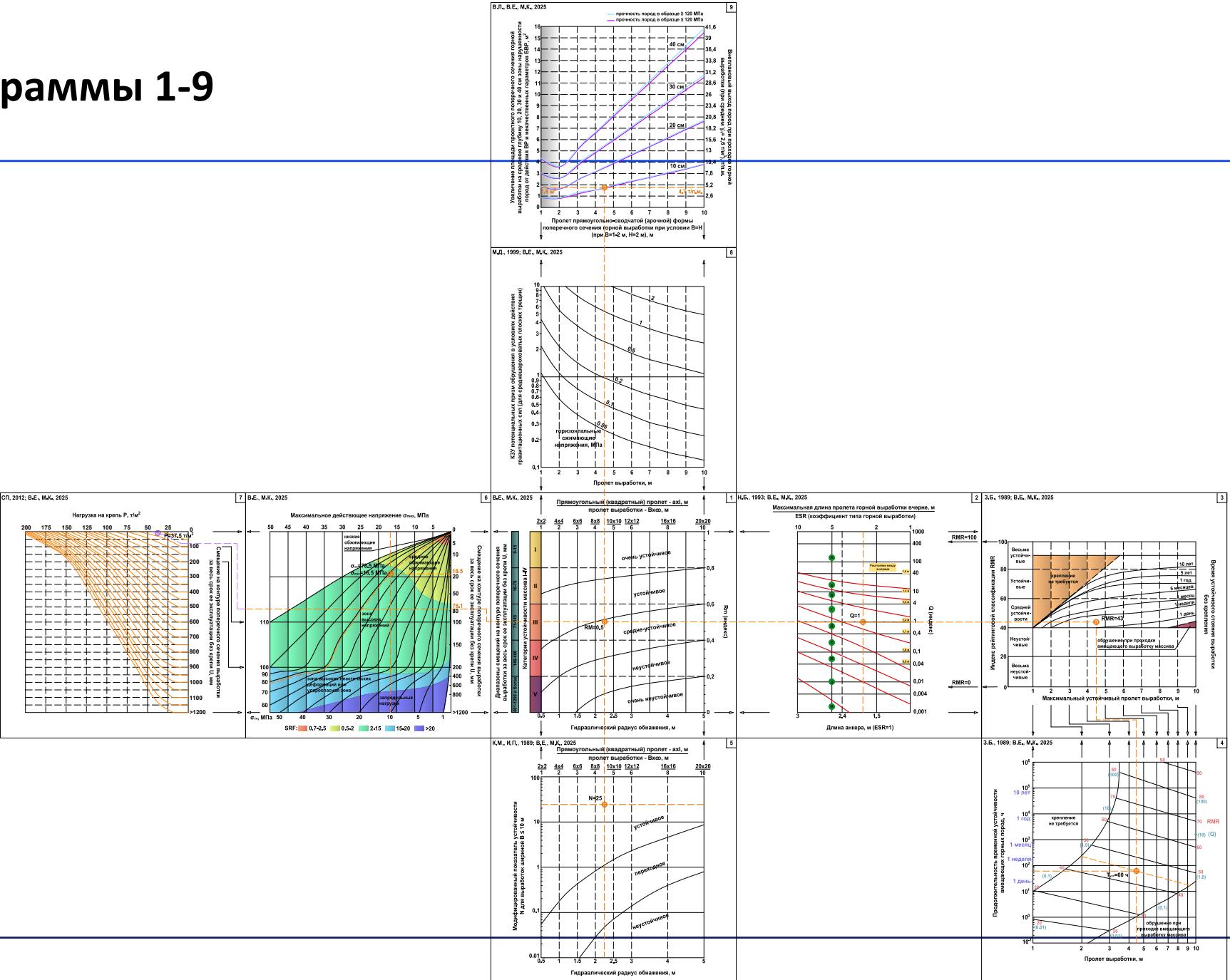
$$17 \text{ мм}/1,33 \text{ мм/мес.} = 12,7 \text{ мес. (частота события } \lambda = 0,078 \text{ в месяц).}$$

Условная вероятность рискового события на 6 месяц составит:

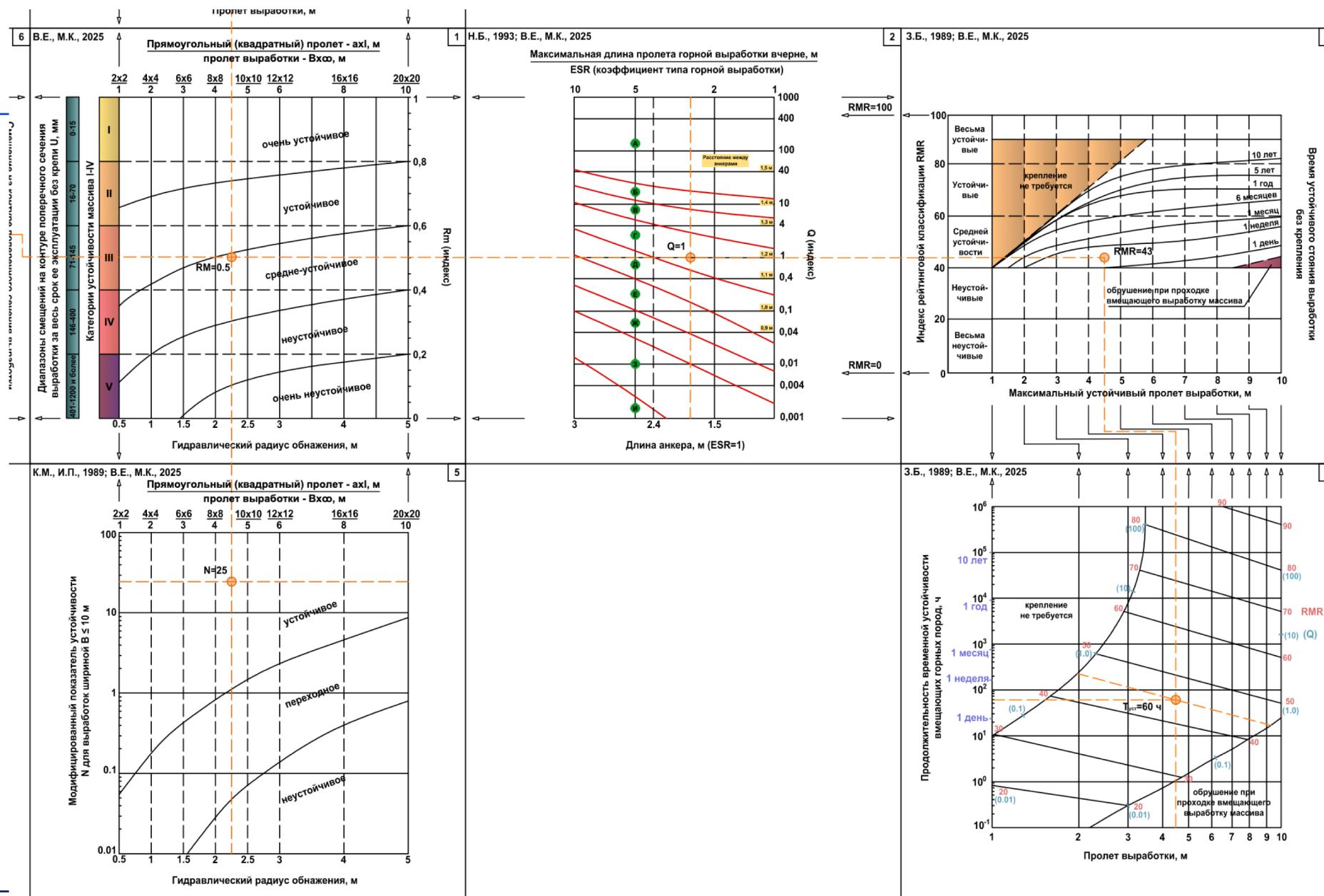
$$P_{\text{мес.}} = 1 - e^{-0,078} = 7,5\%.$$

Таким образом, уточненная по данным мониторинга через 6 месяцев фактическая условная вероятность риска составляет 7,5% в сравнении с прогнозируемой 9,5%.

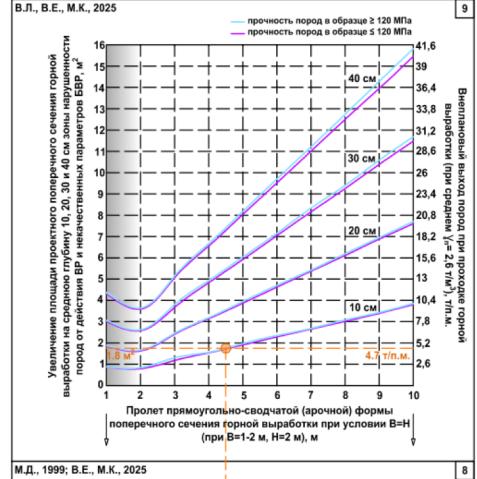
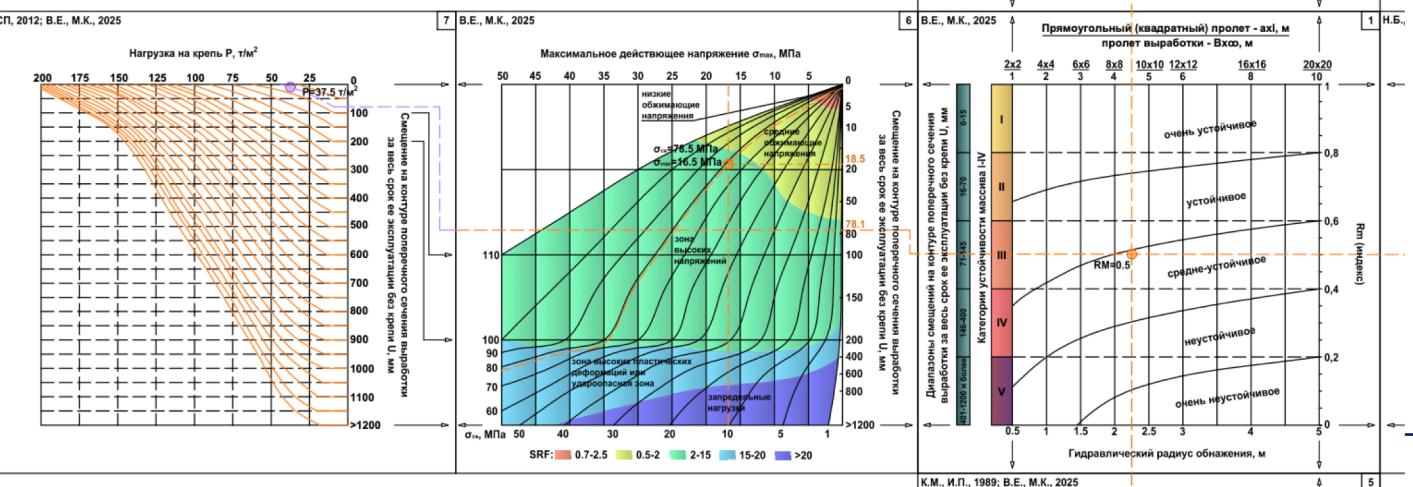
Номограммы 1-9



Номограммы 1-5



Номограммы 1, 6, 7, 8, 9



МЕТОД РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ИНДЕКСУ R_m

ВЫВОДЫ:

- В 2024 году подана заявка на получение патента Российской Федерации на изобретение «Способ предотвращения обрушения горной выработки на основе определения устойчивости и оценки вероятности риска ее разрушения», который включает разработанный метод.**
- В 2025 году Горным институтом НИТУ МИСИС и компанией АТОЛЛис разрабатывается компьютерная программа, которая включает несколько расчетных блоков: 1) Блок интерпретация результатов оценки устойчивости выработки (расчеты индекса R_m , категории устойчивости, высоты свода возможного обрушения, смещения контура выработки, время устойчивого стояния незакрепленной выработки, вероятные риски обрушения незакрепленной и закрепленной выработки и др.); 2) Блок расчета влияния взрыва на глубину наведенной трещиноватости во вмещающем массиве; 3) Блок работы с номограммами; 4) Блок локального численного моделирования НДС участка выработки; 5) Блок вида, типа и параметров крепления выработки; 6) Блок систем мониторинга.**
- По согласованию с Ростехнадзором в 2025 году на основе разработанного метода также разрабатывается Руководство по безопасности (РБ) «Рекомендации по оценке устойчивости подземных горных выработок при разработке угольных месторождений » (определен срок исполнения и сдачи проекта в Ростехнадзор – май 2025 года).**

Спасибо
за внимание!

