

## МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2022.3.3

### УЧЁТ ВЛИЯНИЯ МЕСТА УСТАНОВКИ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПО СКОРОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КОНВЕРГЕНЦИИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР

А.В. Евсеев, Е.Л. Васильева  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Одним из методов оценки устойчивости междукамерных целиков является контроль скорости их поперечного деформирования. В случае, когда замерные точки располагаются не в среднем по высоте сечении, измеренная величина не является максимальной, а полученные данные требуют корректировки. В статье приведены результаты исследования распределения поперечной деформации по высоте целика и предложена формула для определения максимальной скорости горизонтальной конвергенции целиков при выполнении измерений на произвольной высоте.

**Ключевые слова:** мониторинг, инструментальный контроль, горизонтальная конвергенция, скорость деформирования, устойчивость, междукамерные целики.

#### Введение

Одним из важных аспектов обеспечения безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых является своевременное применение мер охраны, необходимость которых оценивается по результатам визуального обследования выработанного пространства и инструментального контроля. На рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей наряду с традиционно применяемыми геодезическими измерениями на земной поверхности осуществляется контроль скорости горизонтальной конвергенции в отработанных камерах. Эти показатели находятся в тесной взаимосвязи и в совокупности позволяют своевременно локализовать участки с низкой устойчивостью междукамерных целиков и в дальнейшем оценить опасность нарушения ВЗТ и сохранность объектов на земной поверхности в этих районах.

Согласно разработанным рекомендациям, измерения горизонтальной конвергенции в очистных камерах ведутся одновременно с обследованием выработанного пространства маркшейдерскими службами рудников. Измерения горизонтальной конвергенции проводятся в наибольшей по ширине части камеры на высоте 1.5-1.7 м от почвы выработки. Реперные станции оборудуются в характерных для данного участка горно-геологических и горнотехнических условиях в средней части камеры. По результатам измерений определяется суммарная горизонтальная конвергенция (изменение горизонтального расстояния) между двумя жёстко закреплёнными на противоположных стенках камеры точками и вычисляется относительная скорость поперечного деформирования целиков. Закрепление точек контроля осуществляется деревянными пробками или краской на стенках выработки. Для измерения расстояния между точками используются лазерные рулетки. При анализе результатов измерений в качестве критерия устойчивости целиков принята относительная скорость их поперечного деформирования (относительная горизонтальная конвергенция камер), соответствующая переходу их в стадию прогрессирующей ползучести. К текущему моменту времени на рудниках Верхнекамского месторож-

дения оборудовано более 4000 реперных станций для контроля устойчивости междукамерных целиков.

### **Задачи и методика исследования**

Реперные станции по контролю горизонтальной конвергенции оборудуются на всех отработываемых пластах в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, при этом высота целиков в большинстве случаев варьируется от 3.2 до 7.5 м. Очевидным является тот факт, что наибольшая поперечная деформация целика будет находиться в среднем по высоте сечения (на высоте 1.6-3.8 м), где на первый взгляд и следовало бы её контролировать. Вместе с тем, массовые измерения на большой высоте сопряжены с технологическими сложностями, кроме того, выступающие части целика, формируемые в многоходовой (по высоте) камере отжимаются и обрушаются, что приводит к утрате реперных станций. Таким образом, закладка контрольных реперов на расстоянии 1.5-1.7 м от почвы камеры является наиболее оптимальным решением с точки зрения как удобства проведения измерений, так и сохранности реперных станций.

Поскольку поперечная деформация в целике распределяется неравномерно, возрастающая по мере удаления от почвы и кровли выработки и достигая максимальной величины ближе к среднему по высоте сечению, то измеренная на высоте 1.5-1.7 м величина горизонтальной конвергенции не всегда является максимальной для конкретного целика. В связи с этим важным вопросом методики контроля устойчивости междукамерных целиков является распределение поперечной деформации по высоте и определение формулы пересчёта, позволяющей определять максимальную скорость поперечного деформирования целика по результатам измерений на произвольном расстоянии от почвы камеры.

Для изучения процесса деформирования целиков оборудованы исследовательские замерные станции с использованием контурных реперов, располагаемых в вертикальном сечении камеры. Реперы закладывались на противоположных стенках камеры парами на различной высоте от почвы, при этом один комплект реперов располагался на высоте, равной половине вынимаемой мощности. Конструкция замерной станции приведена на рис. 1. В качестве реперов использовались забивные марки со светоотражающей мишенью. Координаты марок в каждом цикле измерения определялись при помощи тахеометра. По результатам измерений определялась относительная скорость горизонтального деформирования целика на различной высоте, после чего выполнено нормирование полученных данных. На последнем этапе выполнено сравнение скорости деформирования на произвольной высоте с максимальным значением.

### **Описание экспериментальных участков**

Исследование выполнялось на 10 замерных станциях, оборудованных в пределах 6 экспериментальных участков на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийных солей в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Замерные станции располагались на пласте КрII и на участке совместной отработки пластов АБ+Вс. Добыча запасов в пределах экспериментальных участков велась комбайнами Урал-20Р с шириной исполнительного органа 5.5 м, высота целиков при этом варьировалась от 4.0 до 7.4 м (таблица 1). Высота закрепления контурных реперов варьировалась от 1.3 до 6.3 м (на высоте, равной 0.2-0.9 от вынимаемой мощности).

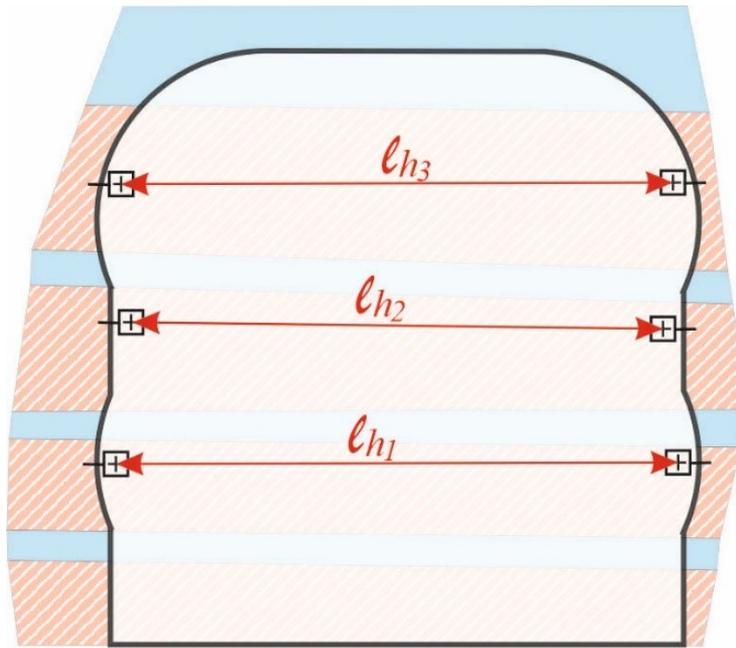


Рис. 1. Конструкция исследовательской замерной станции

Таблица 1

Описание экспериментальных участков

№ участка	№ замерной станции	Пласт	Ширина камеры, м	Высота камеры, м	Ширина целика, м	Глубина отработки, м
1	1,2	КрII	5.5	5.7	7.8	332
2	3,4	АБ+В <sub>с</sub>	5.5	7.4	7.8	331
3	5,6	АБ+В <sub>с</sub>	5.5	6.9	7.0	328
4	7,8	КрII	5.5	4.5	5.9	393
5	9	КрII	5.5	4.5	5.2	380
6	10	КрII	5.5	4.0	5.6	369

### Обработка результатов

Результатом каждого цикла измерений на замерной станции является набор координат контрольных точек. Поскольку измерения выполняются в условной системе координат без привязки к маркшейдерской сети, то на первом этапе для определения смещения точек необходимо вычислить расстояние  $l_i$  (рис. 1) между контрольными точками, расположенными на противоположных стенках камеры.

На следующем этапе определялась относительная скорость поперечного деформирования целика:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{b \cdot t},$$

где  $\Delta l$  – горизонтальная конвергенция (изменение ширины камеры);  $b$  – ширина целика;  $t$  – время между измерениями.

Таким образом определялась скорость поперечного деформирования целиков на разных уровнях (в местах закрепления контрольных точек).

На следующем этапе выполнено нормирование результатов измерений и определено соотношение  $\dot{\varepsilon}_{hi}/\dot{\varepsilon}_{max}$ , где  $\dot{\varepsilon}_{hi}$  – скорость горизонтальной конвергенции на высоте  $h_i$ ,  $\dot{\varepsilon}_{max}$  – максимальная скорость горизонтальной конвергенции на замерной станции.

### Результаты измерений, выводы, графики

По результатам измерений получена зависимость  $\dot{\varepsilon}_{hi}/\dot{\varepsilon}_{max}$  от  $h/m$ , где  $m$  – высота камеры (рис. 2). Полученную зависимость распределения горизонтальной деформации по высоте целика можно описать кусочно-линейной функцией. При такой аппроксимации максимальная скорость горизонтальной деформации при  $0.2\text{ м} < h < 0.5\text{ м}$  может быть определена по формуле:

$$\dot{\varepsilon}_{max} = \dot{\varepsilon} \cdot (1.35 - 0.69 h/m),$$

где  $\dot{\varepsilon}$  – измеренная скорость горизонтальной конвергенции на высоте  $h$  от почвы выработки,  $m$  – высота целика.

В большинстве случаев высота целиков на пластах АБ и КрII составляет 2.7-6.0 м. При измерении горизонтальной конвергенции на высоте 1.5-1.7 м отношение  $h/m$  составляет не менее 0.25. В таких условиях отклонение максимальной величины горизонтальной конвергенции (в среднем по высоте сечения) от измеренной на высоте 1.5-1.7 м не превышает 15%.

Поскольку скорость горизонтальной конвергенции является своеобразным индикатором степени нагружения междукамерных целиков, то необходимо сравнить данное отклонение, связанное с высотой закрепления контрольных точек, с критериями перехода целиков в стадию интенсивного разрушения и оценить необходимость учёта этого фактора при обработке результатов мониторинговых замеров.

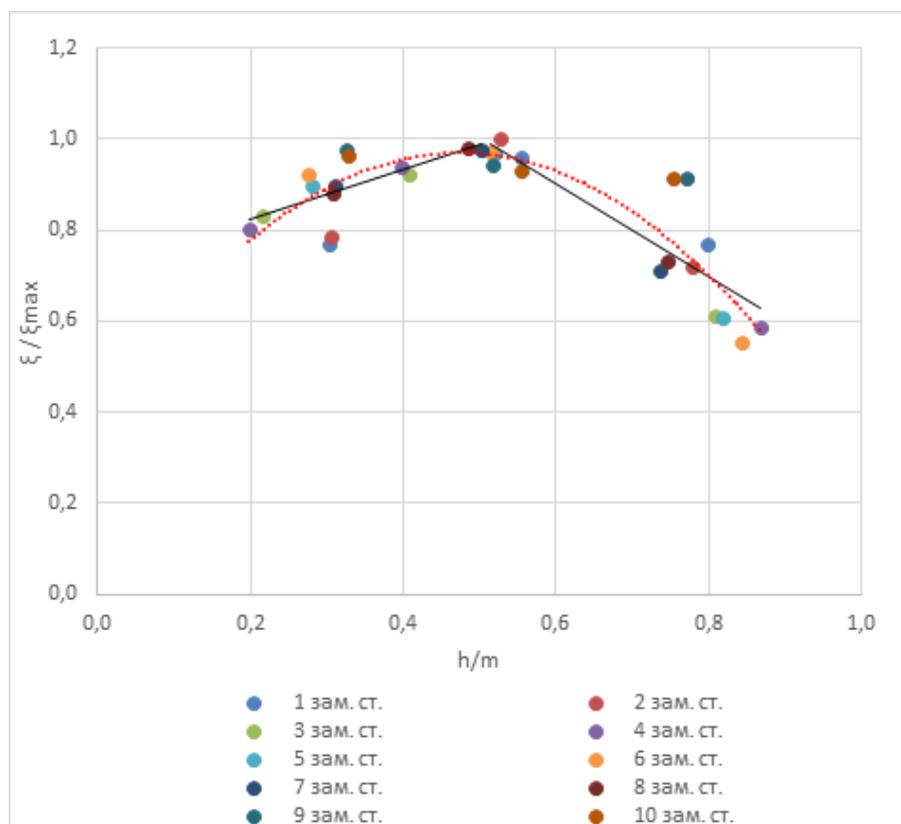


Рис. 2. Распределение горизонтальной конвергенции по высоте целика

Согласно выполненным ранее исследованиям [1, 2], экспериментально установлено, что в условиях ползучести увеличение степени нагружения соляных образцов на 0.1 от среднего предела прочности на сжатие сопровождается увеличением скорости деформирования в 3 раза. Опираясь на эту зависимость, можно предположить, что ошибка в определении степени нагружения междукамерных целиков по результатам измерения скорости горизонтальной конвергенции при описанных выше условиях не превысит  $0.01\sigma_{сж}$ .

Необходимость учета места установки контрольных точек при производстве мониторинговых измерений должна определяться задачами исследования и требуемой точностью.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-45-596011 р\_НОЦ\_Пермский край и Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baryakh A.A., Evseev A.V., Udartsev A.A. Experimental justification of the fracture criteria of interchamber pillars // ISRM International simposium – EUROCK 2020: Trondheim, Virtual, Norway. – Trondheim, 2020. – Код 165200.
2. Baryakh A.A., Evseev A.V., Lomakin I.S., Tsayukov A.A. Operational control of rib pillar stability // Eurasian mining. – 2020. – № 2 – DOI: 10.17580/em.2020.02.02.

УДК 622.02

DOI:10.7242/echo.2022.3.4

### УТОЧНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ СОЛЯНЫХ ПОРОД ГРЕМЯЧИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.А. Морозов

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Коэффициент формы – один из важнейших показателей, который учитывает влияние размеров образцов горных пород на их механические характеристики и используется при определении параметров камерной системы разработки. В работе приведены результаты исследований по уточнению коэффициента формы сильвинита, каменной соли и карналлита шахтного поля Гремячинского рудника. Получены формулы для оценки предела прочности при одноосном сжатии, касательного и секущего модулей деформации и модуля спада соляных пород в зависимости от отношения высоты к ширине (диаметру) образцов, испытываемых на сжатие.

**Ключевые слова:** соляные породы, сильвинит, каменная соль, карналлит, коэффициент формы, механические характеристики.

Существенное влияние на характер деформирования и разрушения соляных пород при сжатии оказывают силы трения между торцами образцов и плитами пресса. Проскуряков Н.М. в работе [1] указывает, что снижение трения между торцами образцов и плитами пресса, которое достигается за счет применения специальных прокладок, смазки, шлифовки торцов образцов и плит пресса, может приводить к значительному уменьшению полученного по данным эксперимента значения прочности – до 50% и более. При этом влияние трения увеличивается с уменьшением высоты образца [1-3]. В работе [4] установлено, что коэффи-