

**УДК 004.942:622.8****Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов**

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА ПРИ ДВУСТОРОННЕЙ ВЫЕМКЕ КОРОТКИХ УГОЛЬНЫХ СТОЛБОВ**

Технология двусторонней отработки выемочных столбов в блоке состоит в следующем. На границе выемочного блока по восстанию пласта от конвейерного штрека в сторону вентиляционного, с помощью дистанционно-управляемого выемочного агрегата, проводится камера. После сбояки с вентиляционным штреком возможны наладка и оснащение выемочного агрегата боковыми исполнительными органами. Выемка угля в столбах осуществляется при движении агрегата обратным ходом от вентиляционного штрека к конвейерному. В зависимости от конструкции агрегата выемка угольных столбов проводится диагональными заходками, сплошным или уступным забоем, в том числе гидравлическим способом.

Наиболее опасными для устойчивой работы очистного забоя являются обрушения пород кровли над выемочным агрегатом. В этой связи рассматриваются два ограничения по геомеханическим условиям:

- остаточная прочность угля, изменяющаяся под влиянием максимальных вертикальных напряжений в угольном столбе впереди забоя должна быть достаточной для сохранения устойчивости угля в боках камеры;
- деформации пород кровли не должны превышать предельных при изгибе породных плит в зоне работы выемочного агрегата.

Численное моделирование с применением разработанного авторами комплекса программ обеспечивает прогноз геомеханических параметров с учетом указанных ограничений.

На рис. 1 приведен вариант двусторонней одновременной отработки двух столбов с опережением забоев.

Для численного моделирования процессов изменения напряженно-деформированного состояния при камерно-столбовой системе разработки с двусторонней выемкой угля одновременно в двух столбах выемочного блока приняты следующие горно-геологические и горнотехнические условия:

- глубина разработки – 200 м;
- мощность отрабатываемого пласта – 2,7 м;
- коэффициент крепости угля по шкале М.М. Протодьяконова  $f=1$ ;
- коэффициент крепости пород непосредственной кровли по шкале М.М. Протодьяконова  $f=4$ ;
- угол падения пласта  $0^\circ$ ;

- высота выемочного столба по восстанию – 190 м;
- ширина камеры – 5 м;
- ширина угольных столбов влево и вправо от камеры – 10 м.

В пределах блока одновременно работают два выемочных агрегата. Выемочный столб из камеры 01 отработан полностью, из камеры 02 – на длину 155 м. Положение очистного забоя в камере 03 изменялось с интервалом 20-40 м относительно вентиляционного штрека (рис. 1).

В процессе моделирования, кроме определения параметров напряженно-деформированного состояния пород кровли и угольных столбов фиксировались вертикальные смещения и напряжения в характерных точках (точки 1-5 на рис. 1).

На рис. 2 представлены изолинии распределения вертикальных смещений пород непосредственной кровли в пределах выемочного блока с учетом влияния очистных забоев в двух выемочных столбах и выработанного пространства ранее отработанных столбов.

Из рисунка следует, что максимальные оседания пород кровли наблюдаются примерно в центре тяжести выработанного пространства и составляют 34 мм при площади выработанного пространства 11,75 тыс.  $m^2$ . Над краевыми участками пласта смещения пород непосредственной кровли снижаются в 2,5-3,0 раза.

На рис. 3 приведены изолинии распределения вертикальных напряжений в угольных столбах и краевых участках пласта. Из рисунка следует, что наибольшая концентрация напряжений наблюдается в выемочных столбах и впереди фронта подвигания забоев.

Подобные закономерности распределения напряжений качественно подтверждаются результатами физического моделирования, полученными А.А. Борисовым [1]. Применение трехмерной модели позволяет устанавливать количественные зависимости смещений пород кровли и напряжений в угольном пласте при сложной форме выработанного пространства, в том числе в зоне работы выемочного агрегата.

Наиболее опасными являются участки, в которых ведется выемка угля (точки 1-4 на рис. 1). При прочности угля 10 МПа максимальные напряжения достигают 17 МПа, то есть уголь в выемочном столбе будет разрушен.

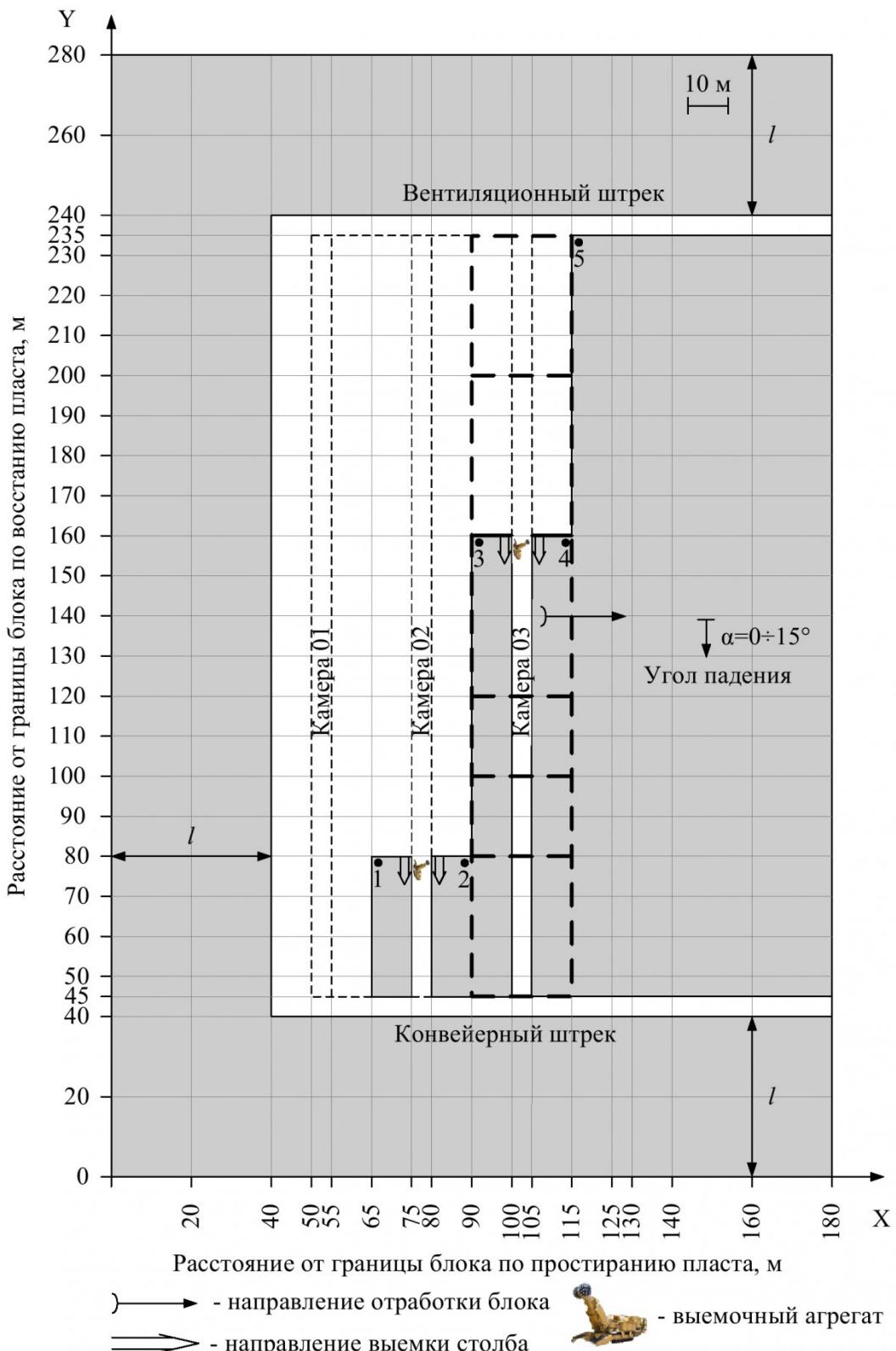


Рис. 1. Камерно-столбовая система разработки с двусторонней выемкой угля одновременно в двух столовах выемочного блока

Для выбора на стадии разработки паспорта выемочного участка оптимального варианта системы разработки, взаимного расположения коротких забоев, а также ширины камер и угольных столбов предлагается проведение имитационного

моделирования.

На рис. 1 показаны этапы положения очистных забоев камеры 03. Для каждого этапа в характерных точках, указанных на рис. 1, определялись смещения и коэффициенты концентрации верти-

кальных напряжений. Результаты моделирования систематизированы в виде таблиц и графиков.

На рис. 4 приведены графики оседаний пород кровли в точках 1-2 (см. рис. 1) в зависимости от расстояния между забоями камер 02 и 03.

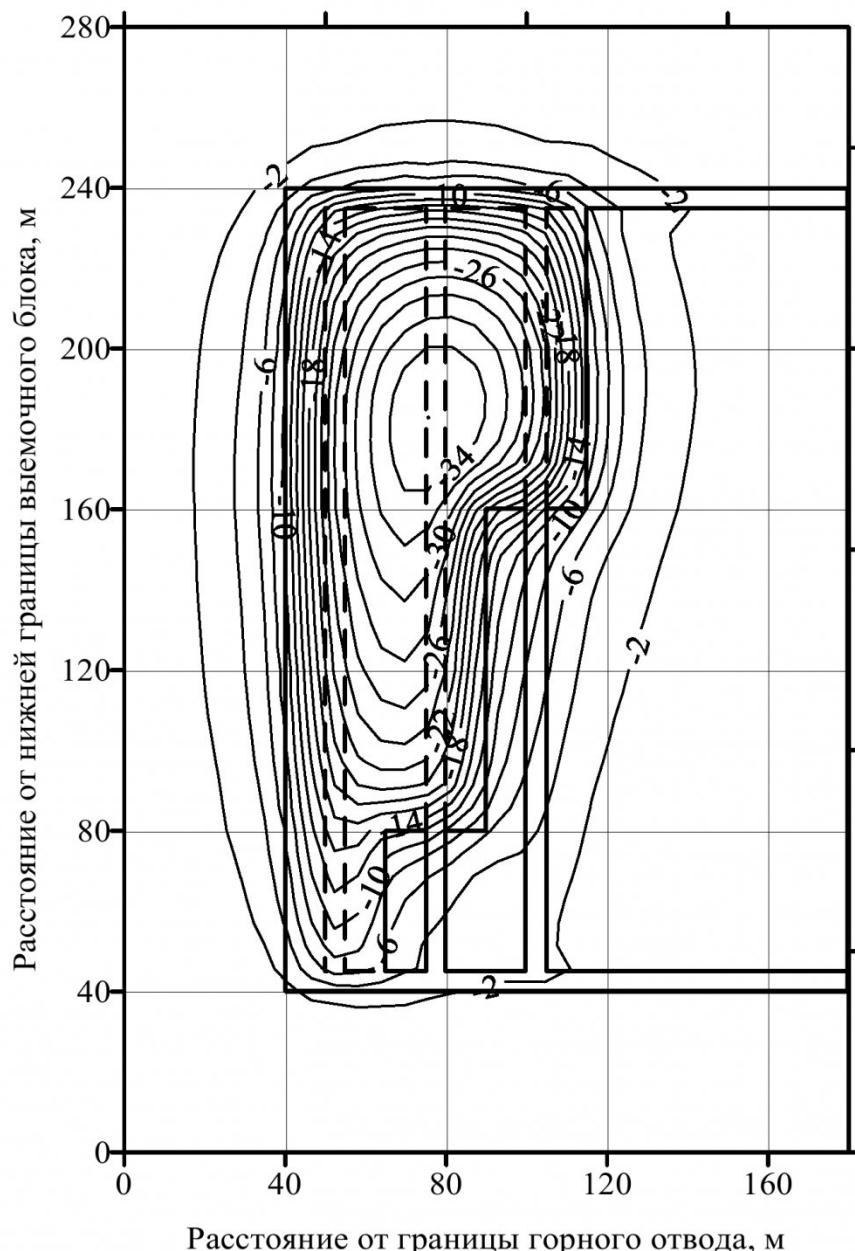
Из графиков следует, что по мере сближения забоев соседних камер смещения увеличиваются. Наиболее интенсивное влияние забоев наблюдается при расстоянии менее 40 м, поэтому рекомендуется в паспорте выемочного участка расстояние между забоями соседних камер принимать более 0,2 Н, где Н – глубина разработки, м.

По графикам изменения оседаний пород кровли в зависимости от расстояния между вентиляционным штреком и забоями камер 02 и 03, приве-

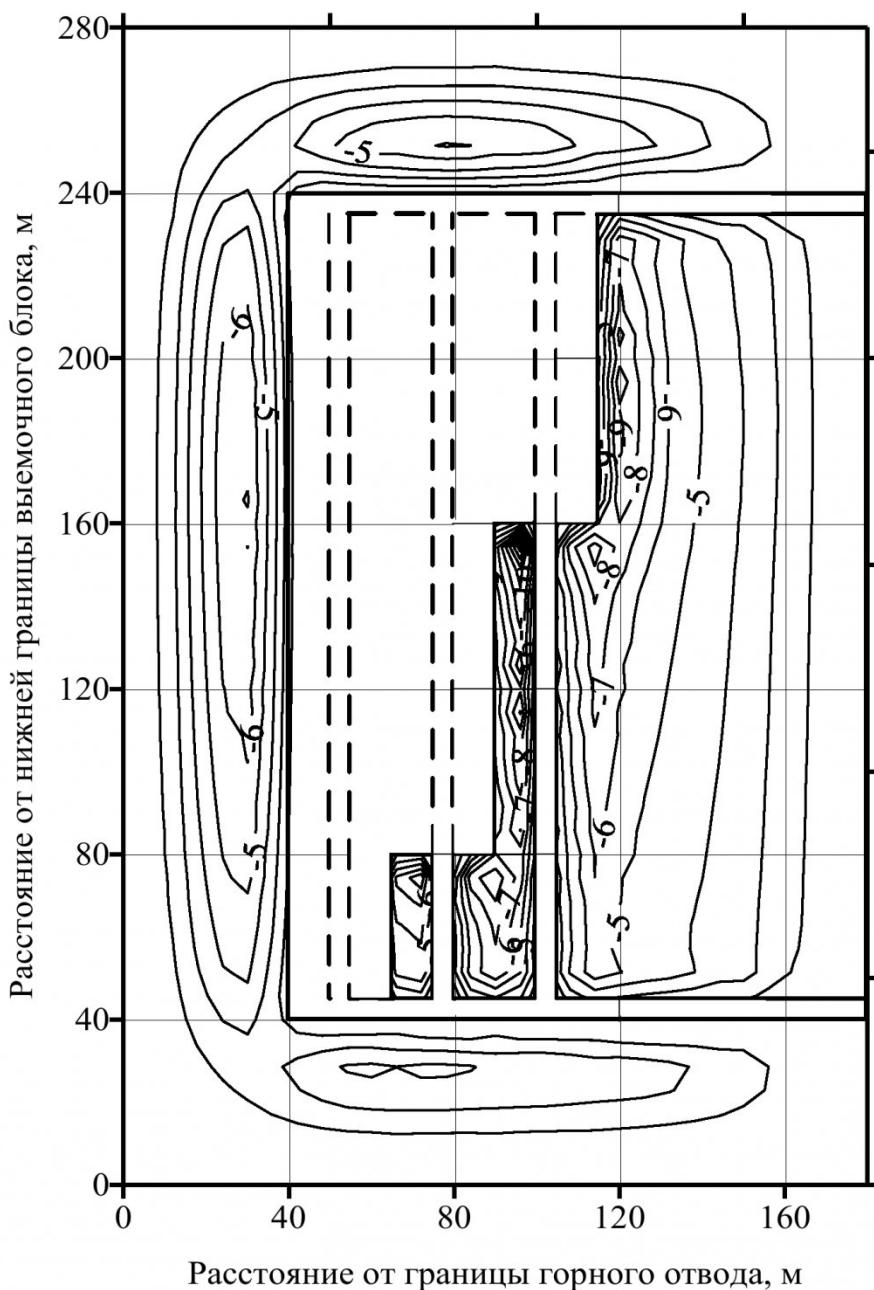
денным на рис. 5, установлено, что наибольшие смещения пород кровли наблюдаются в средней части камеры между вентиляционным и конвейерным штреками.

На рис. 6 приведены графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при приближении очистных забоев камеры 03 к забоям камеры 02. Графики также подтверждают, что зоны влияния соседних забоев меньше 40 м.

Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при удалении забоев камеры 03 от вентиляционного штрека, приведенные на рис. 7, свидетельствуют о резком увеличении напряжений в столбах при выемки



*Рис. 2. Изолинии распределения вертикальных смещений (мм) пород кровли в пределах выемочного блока при двусторонней выемке угля*



*Рис. 3. Изолинии распределения вертикальных напряжений (МПа) в угольных столбах и краевых участках пласта при двусторонней выемке угля*

угля в средней части между вентиляционным и конвейерным штреками.

Как следует из результатов численного моделирования возможно варьирование ширины камеры и угольных столбов, а также размеров выемочного блока и выработанного пространства.

В соответствии с действующими нормативными документами устойчивость пород кровли в камерах сохраняется при оседаниях не более 50 мм и вертикальных напряжениях в отрабатываемом столбе больших предела прочности угля при сжатии.

Такую ситуацию необходимо создавать для

достижения следующих условий:

- предварительное разрушение угля горным давлением, что резко снижает энергоемкость выемки угля;
- снижение вероятности возникновения горных ударов, так как угольный пласт находится в запредельном состоянии и не способен накапливать упругую энергию.

В указанных условиях наиболее адаптивной и безопасной является роботизированная технология выемки угля с применением короткозабойных систем разработки на пластах, склонных к горным ударам.

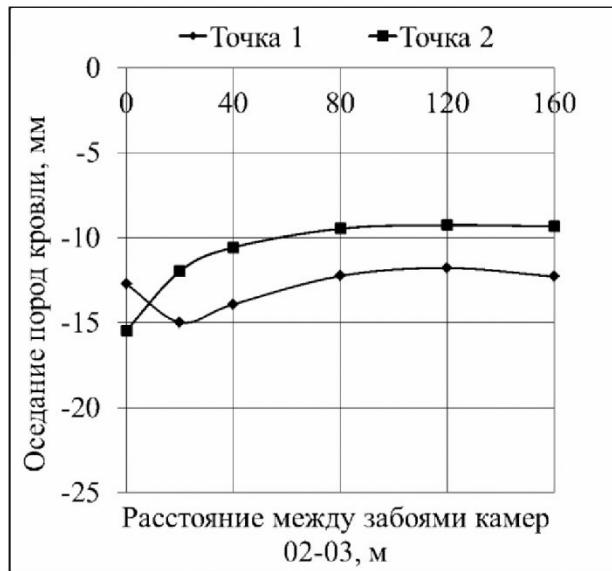


Рис. 4. Графики оседаний пород кровли в зависимости от расстояния между забоями камер 02 и 03

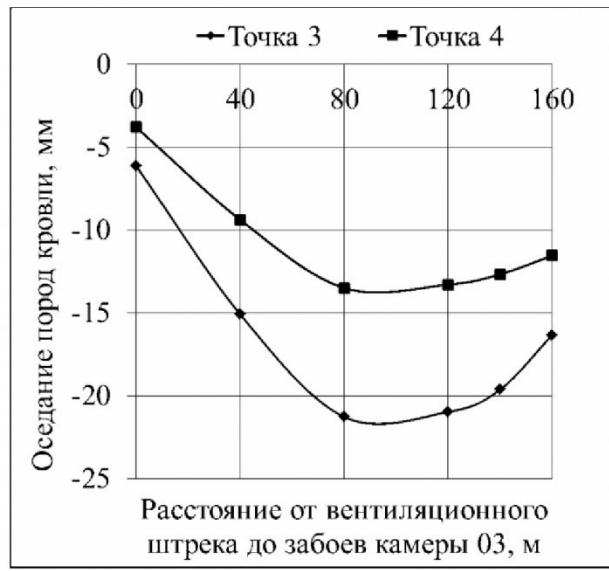


Рис. 5. Графики оседаний пород кровли в зависимости от расстояния между вентиляционным штреком и забоями камер 02 и 03

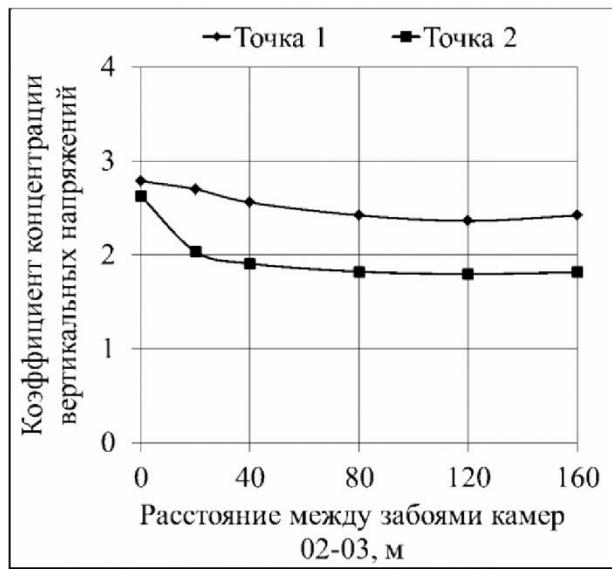


Рис. 6. Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при приближении очистных забоев камеры 03 к забоям камеры 02

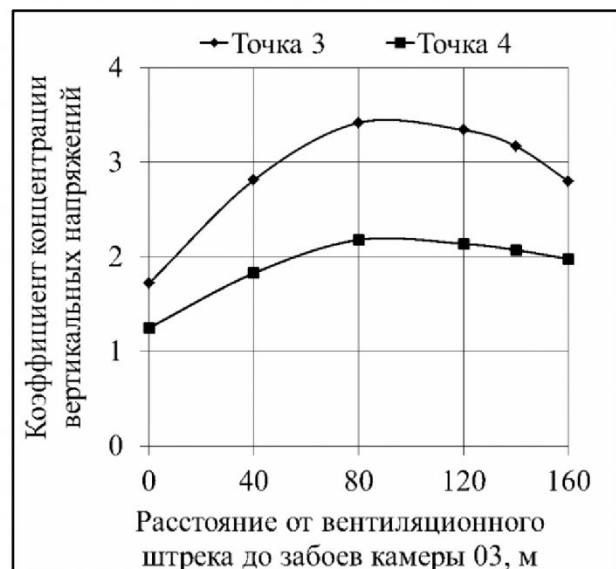


Рис. 7. Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при удалении забоев камеры 03 от вентиляционного штрека

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
2. Корнев Е.С. Моделирование геомеханических процессов при отработке угольных пластов короткими забоями / Е.С. Корнев // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2011. – С. 119–125.
3. Корнев Е.С. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов [Электронный ресурс]: информационный образовательный ресурс / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов ; Сиб. гос. индустр. ун-т // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2012. – № 3. – Режим доступа: <http://ofernio.ru/portal/newspaper/ofernio/2012/3.doc> (дата обращения: 26.06.2012).

4. Корнев Е.С. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2013. – № 2. – С. 65–69.
5. Корнев Е.С. Численное моделирование геомеханических процессов слоистого углепородного массива с учетом анизотропии пород / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2013. – С. 118–124.
6. Корнев Е.С. Разработка комплекса программ и численное моделирование геомеханических процессов в углепородном массиве: дис. канд. тех. наук. – Новокузнецк, 2013. – 166 с.
7. Корнев Е.С. Исследование устойчивости выемочных столбов и кровли очистных заходок при камерно-столбовой системе разработки / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2014. – С. 113–118.
8. Корнев Е.С. 3D-моделирование геомеханических процессов при подземной разработке угольных пластов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: труды международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2014. – С. 123–126.
9. Корнев Е.С. Численное моделирование геомеханических процессов при короткозабойной отработке угольных пластов: монография / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов. – Прага: Vedecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2014. – 206 с.
10. Назаров Л.А. Оценка устойчивости междукамерных целиков на основе критерия накопления повреждений / Л.А. Назаров, Л.А. Назарова // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2007. – № 6. – С. 10–19.
11. Осинцев В.А. Расчёт нагруженности ленточных междукамерных целиков / В.А. Осинцев, В.М. Беркович, А.Г. Горбунов, В.А. Любавина // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2013. – № 1. – С. 11–14.
12. Павлова Л.Д. Моделирование геомеханических процессов в разрушающем углепородном массиве: монография. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 239 с.
13. Свидетельство о регистрации электронного ресурса. «Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов» / Е. С. Корнев, Л. Д. Павлова, В. Н. Фрянов; Сиб. гос. индустриальный ун-т. – 2012. – №17997; дата регистрации 01.03.12.
14. Танков М.С. Математическое моделирование напряжённо-деформированного состояния массива для определения оптимальной очерёдности выемки при камерно-целиковом порядке отработки / М.С. Танков, Е.А. Иванчин, А.А. Федюков // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2012. – № 8. – С. 47–53.
15. Фрянов В.Н. Состояние и направления развития безопасной технологии подземной угледобычи: монография / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. – 238 с.
16. Фрянов В.Н. Прогнозирование геомеханических параметров роботизированной отработки угольных пластов / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова, Е.С. Корнев // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: тр. всерос. конф. с участием иностр. ученых. – Новосибирск, 2011. – С. 163–169.

#### Авторы статьи

Корnev Евгений Сергеевич  
к.т.н., доцент кафедры информатики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». Email: [ekornev@yandex.ru](mailto:ekornev@yandex.ru).

Павлова Лариса Дмитриевна  
д.т.н., доцент, заведующий кафедрой информатики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». Email: [lara@rdtc.ru](mailto:lara@rdtc.ru).

Фрянов Виктор Николаевич  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой геотехнологии ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». Email: [zzz338@rdtc.ru](mailto:zzz338@rdtc.ru).