

УДК 658.32:622.33

**Е.П. Брагин, В.Г. Виткалов, А.А. Рештаненко**  
**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА НАПРЯЖЕННОЕ**  
**СОСТОЯНИЕ МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ**  
**УРАНО-УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**  
**ПОДМОСКОВНОГО БАСЕЙНА**

---

**Б**ельское буроугольное месторождение Подмосковного бассейна является многоярусным и содержит до 28 угольных пластов. Залежи урана прослеживаются по простиранию и падению от нескольких сот метров до нескольких километров при мощности от 0,1 до 3,0 м [1].

Толща сложена осадочными породами, с ритмичным чередованием песчаников, алевролитов, аргиллитов и углей (рис. 1).

Для разработки и реализации исследования принят участок Бельского месторождения с урано-угольным пластом мощностью 1,7 м на глубине 110 м.

Урановые оруднения находятся в самом пласте. Рудная минерализация располагается в основном в верхней части структурной колонки угольного пласта. При утонении угольного пласта и вплоть до полного исчезновения, оруднение охватывает не только весь угольный пласт, но находится и в подстилающих породах почвы. Влияния урана на физико-механические свойства массива ожидать не следует из-за малого содержания (0.01-0.262%).

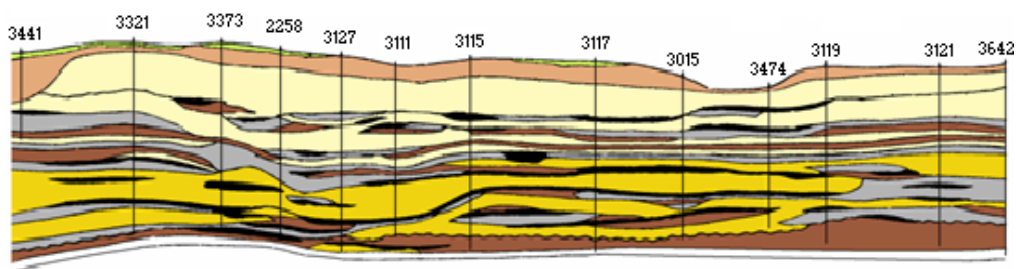
Ложная кровля пласта мощностью 0,4 м представлена трещиноватым углистым аргиллитом, непосредственная кровля мощностью 7,5 м – переслаивающимися песчано-глинистыми

породами, основная кровля – глинами и известняками. В почве залегают тонкозернистые углистые породы, далее – породы известкового фундамента.

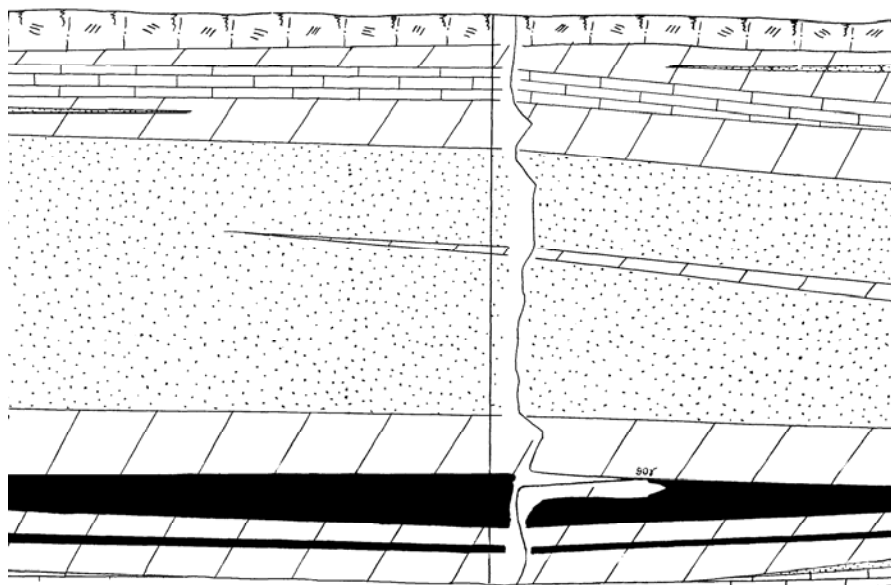
Спокойное, пологое и выдержанное по мощности залегание принятого для отработки и исследования урано-угольного пласта (рис. 2), значительные размеры участков по простиранию, позволяют вести отработку традиционными и характерными для бассейна длинными комплексно-механизированными очистными забоями [2] с последующей переработкой горной массы для извлечения урана.

Эффективная отработка пласта может быть обеспечена при условии применения средств комплексной механизации в полной мере соответствующих конкретным горно-геологическим и горно-техническим условиям.

Для выбора рациональной механизированной крепи применена специальная компьютерная программа [3]. База данных программы включает 64 механизированные крепи отечественного и зарубежного производства, современного технического уровня, их подробные технические характеристики. С клавиатуры вводятся исходные данные, характеризующие конкретные горно-геологические условия: средняя мощность пласта, отклонения мощности от среднего значения, угол



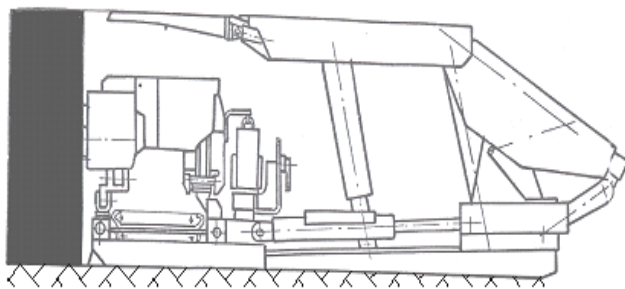
**Рис. 1. Фрагмент массива Бельского бурогоугольного месторождения**



**Рис. 2 Участок принятого для отработки и исследования урано-угольного пласта**

падения пласта, прочность пород кровли на изгиб, средняя плотность пород кровли, прочность нижних слоев пород кровли и прочность пород почвы на вдавливание, длина лавы. Далее программа в автоматическом режиме сопоставляет условия с характеристиками крепей, осуществляет отбор крепей, соответствующих условиям последовательно по вынимаемой мощности, конструктивным высотам крепей, углу падения пласта, возможной нагрузке на крепь, воз-

можному вдавливанию опорных элементов в породы кровли и почвы, длине комплексов в поставке. При этом анализируются и учитываются осадка пород кровли в поддерживаемой зоне лавы в течение рабочего цикла, запасы хода крепей на разгрузку и распор, нагрузки на крепь от обрушающихся пород кровли и другие данные в соответствии с примененными расчетными моделями. Начиная отбор крепей по мощности, затем, соответствующие крепи условиям



**Рис. 3. Расположение механизированной крепи 1МК75Б с комбайном и конвейером в поперечном сечении очистного забоя**

по мощности последовательно проверяются по всем остальным перечисленным техническим факторам.

В данной задаче по мощности оказались соответствующими условиям 15 механизированных крепей производства СНГ и Польши. В результате последующей проверки возможными к применению по техническим факторам остались 6 крепей: М138, Фазос 09/23, Фазос 12/23, 2МТ, 1МК75Б. и ЗКД90.

При окончательном решении по выбору механизированной крепи из числа этих отобранных крепей учитывается фактическое наличие крепей, возможность их получения, стоимость, трудоемкость доставки, монтажа и эксплуатации и дополнительные факторы, которые могут возникнуть в конкретных случаях. Для заданных исходных условий, с учетом технических, организационных и экономических факторов, в качестве рациональной принимается механизированная крепь 1МК75Б (рис. 3).

Для моделирования технологии и расчетов напряженно-деформированного состояния массива с очистным забоем используется компьютерная программа метода конечных элементов (МКЭ) [4].

Расчетная схема представляет собой вертикальное сечение массива с очистным забоем и крепью. Исследуемая область разбивается на конечные элементы простой (треугольной)

формы, соединенные в узловых точках.

Исходное напряженное состояние принимается гидростатическим, характерным для угольных месторождений. Вертикальные сжимающие напряжения на бесконечности составляют  $\gamma H$ , а горизонтальные  $\lambda \gamma H$ , где  $\lambda$  – коэффициент бокового распора, для осадочных пород близкий к единице;  $\gamma$  – объемный вес пород;  $H$  – глубина работ.

Технология работы забоя и крепи моделируется введением в программу технологических операций на этапах по времени (рис. 4.).

В результате расчетов на этапах по времени определяются горизонтальные и вертикальные нормальные и касательные напряжения в элементах, горизонтальные и вертикальные смещения узловых точек массива.

Для данных условий выполнены варианты расчетов при отсутствии технологических процессов, при выемке только стружки, при выемке стружки и разгрузке крепи, а также при выемке стружки, разгрузке, передвижке и распоре секций крепи. На рис. 5 приводятся графики вертикальных напряжений в кровле очистного забоя.

Анализ графиков показывает, что технологические процессы в забое оказывают существенное влияние на вертикальные напряжения, при этом величина главных напряжений вокруг очистного забоя отличается от  $\gamma H$ , изменяя геомеханическую модель массива.

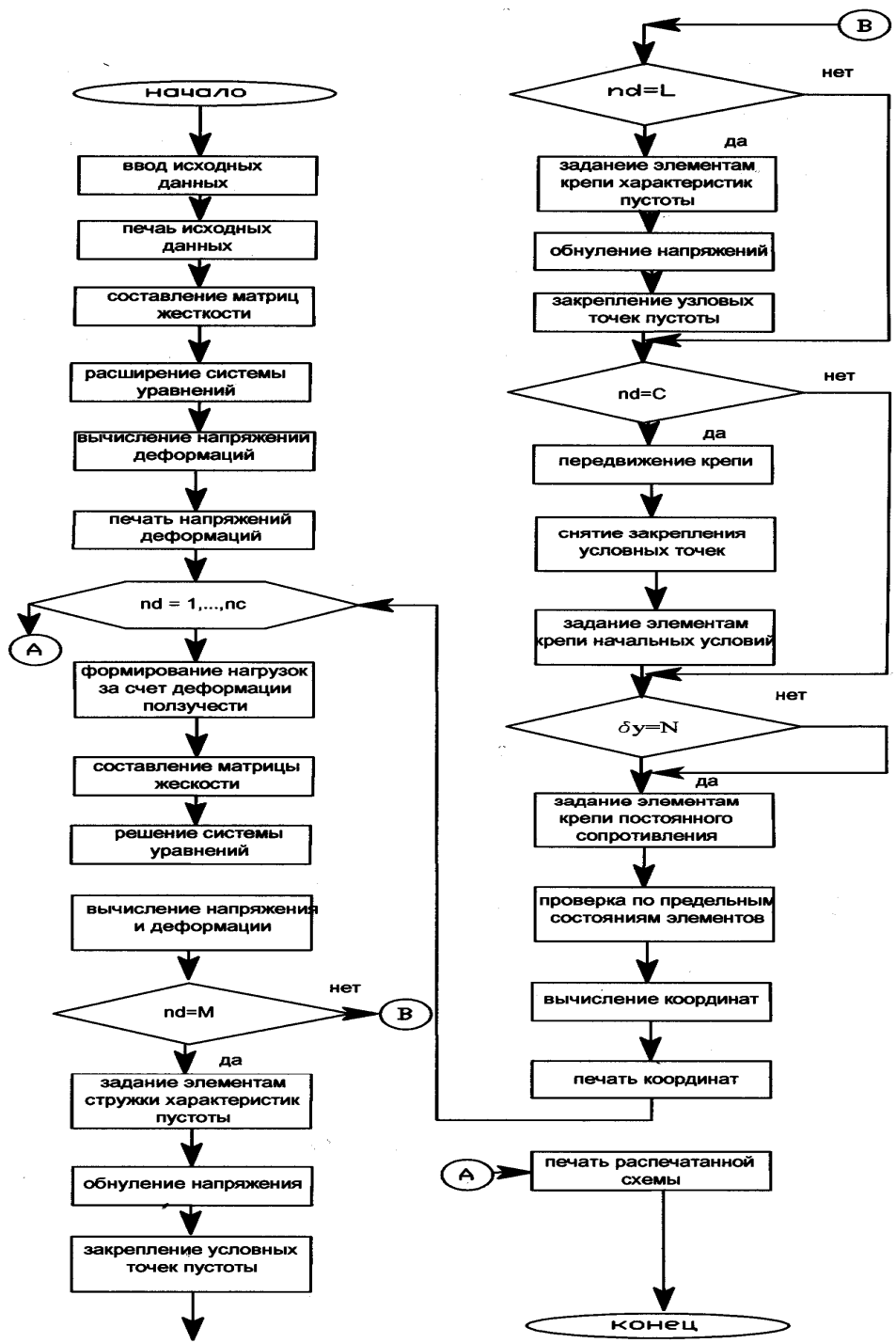


Рис. 4. Моделирование технологии в очистном забое



**Рис. 5. Вертикальные напряжения:** 1 – при исходном положении забоя; 2 – при выемке стружки по длине забоя; 3 – при разгрузке, передвижке и распоре механизированной крепи

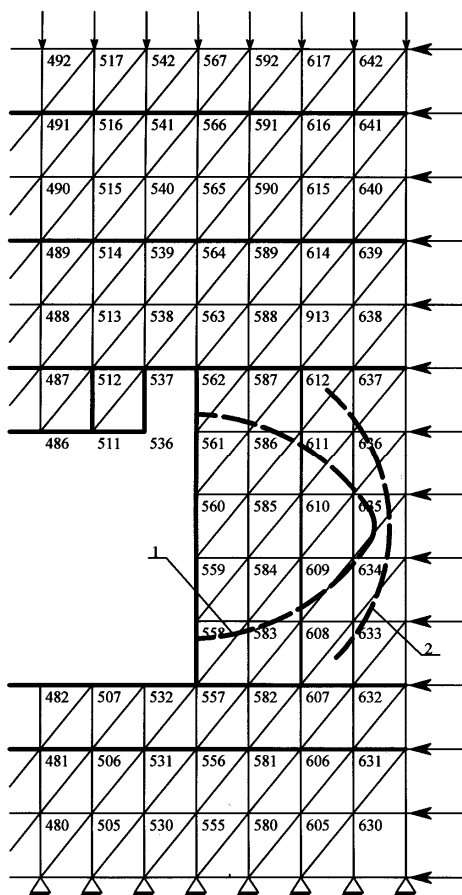
При выемке стружки и увеличении ширины поддерживаемого пространства вертикальные напряжения в кровле над забоем значительно увеличиваются. Разгрузка, передвижка и

распор механизированной крепи приводят к росту напряжений над забоем, а также над пластом в зоне опорного давления. Увеличение вертикальных напряжений над пластом приводит также к образованию зон горизонтальных деформаций в пласте (рис. 6).

Для нейтрализации горизонтальных деформаций забоя и возможного отжима угля может быть необходима разработка дополнительных мер, обеспечивающих безопасность работающих в очистном забое.

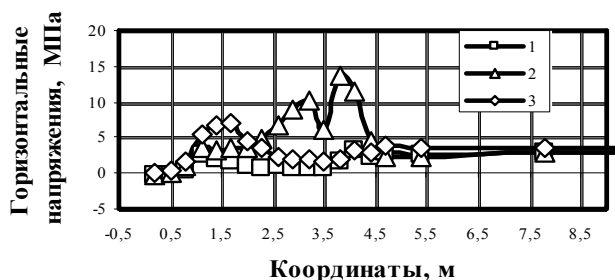
На рис. 7 приводятся графики горизонтальных напряжений в кровле на контакте с пластом и крепью. Из графиков видно, что процессы в очистном забое оказывают существенное влияние также на горизонтальные напряжения в породах кровли.

По величине горизонтальные напряжения близки к вертикальным, однако технология изменяет величину напряжений, характерную для гидростатической модели массива осадочных пород. В кровле у линии обрушения горизонтальные напряжения направлены в сторону забоя, сжимают столб пород и препятствуют увеличению давления на крепь.



**Рис. 6. Фрагмент расчетной схемы с сеткой конечных элементов:** 1 – граница зоны горизонтальных деформаций растяжения в пласте до выемки стружки; 2 – то же после выемки стружки

### Горизонтальные напряжения в кровле



**Рис. 7. Горизонтальные напряжения в кровле:** 1 – при исходном положении забоя; 2 – при выемке стружки по длине забоя; 3 – при разгрузке, передвижке и распоре механизированной крепи

#### Выводы

1. Примененные методики и программы компьютерного моделирования обеспечивают решение поставленных задач выбора рациональной крепи очистного забоя, а также расчетов НДС массива с учетом технологии работ.

2. Напряженное состояние массива вокруг очистного забоя не соответствует природной гидростатиче-

ской модели, для которой главные напряжения составляют  $\gamma H$ , а горизонтальные –  $\lambda \gamma H$ , где  $\lambda$  – коэффициент бокового распора, близкий к единице.

3. Технологические процессы в очистном забое оказывают существенное влияние на напряженно-деформированное состояние массива, при этом вызывают изменение геомеханической модели, характерной для толщи осадочных пород в естественных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фоменко А.Е., Сазонов В.П., Дмитриков Л.И. Особенности размещения уранового оруднения в Подмосковной ураноносной области. Сб. «Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов». Вып. 140, Москва, ВИМС, 1999.

2. Подмосковный угольный бассейн. Под редакцией д.т.н. В.А.Потапенко. Тула, 2000.

3. Брагин Е.П., Вечера В.Н., Мельникова Н.М. Разработка программы автоматизированного выбора и обоснования рацио-

нальных механизированных крепей для конкретных горно-геологических условий. Горное дело. Труды Карагандинского политехнического института, В. 1., 1993, с.20-26.

4. Методика расчета зон предельно-напряженного состояния массива вокруг очистного забоя и уточнения силовых параметров механизированных крепей для конкретных горно-геологических условий методом конечных элементов с учетом ползучести и разрушения. Караганда, ПО «Карагандауголь», КНИУИ, 1987.

#### Коротко об авторах

Брагин Е.П. – профессор, доктор технических наук,  
Виткалов В.Г. – профессор, кандидат технических наук,  
Рештаненко А.А. – аспирант,

Московский государственный горный университет.

Рецензент д-р техн. наук, проф. С.Ф. Попов, заведующий лабораторией «Технологии и механизации подземной разработки полезных ископаемых» ННЦГП Институт горного дела им. А.А. Сковчинского.