

УДК 622.274

**Г.Б. Абдугалиева, К.М. Бейсембаев, С.С. Жетесов,  
Г.С. Жолдыбаева, М.М. Искаков, Н.С. Малыбаев,  
А.Н. Шманёв**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ НАГРУЖЕННОСТИ КРЕПЕЙ**

*Рассматриваются вопросы расчёта нагруженности крепи и боковых пород для систем гравитационной выемки.*

*Ключевые слова: крепь, сводообразование, обратная связь, идентификация*

---

**П**остановка задачи. Возможности эффективного управления массивом с теоретических позиций подвергаются сомнениям, хотя практика доказывает обратное. Это объясняется тем, что современные принципы исходят из статических, одномоментных моделей взаимодействий протекающих в недрах, когда фактически рассматривается единичное, одномоментное «фото» состояния, хотя оно непрерывно изменяется количественно и качественно, приводя в частности к зональной дезинтеграции пород в виде повторяющихся вокруг выработки «виртуальных» контуров дискретно удаляющихся от выработки [1]. Реально в системах управления автоматизированными комплексами геомеханические процессы не учитываются, а относительная безопасность работ в лавах гарантируется оператором, визуально оценивающим состояние массива перед моментом подключения в автоуправление части лавы. Однако потери производительности огромны, но они не только в снижении суточной добычи, но и в потери конкуренто-

способности подземной способа. Методики для расчёта систем управления кровлей, которую можно было бы использовать для расчёта параметров подвигания работ несовершенны и существуют принципиальные их ограничения, если они не используют режимы обратной связи между машинами и средой. При этом новые технологии работ включают и нарабатанные элементы действующих систем.

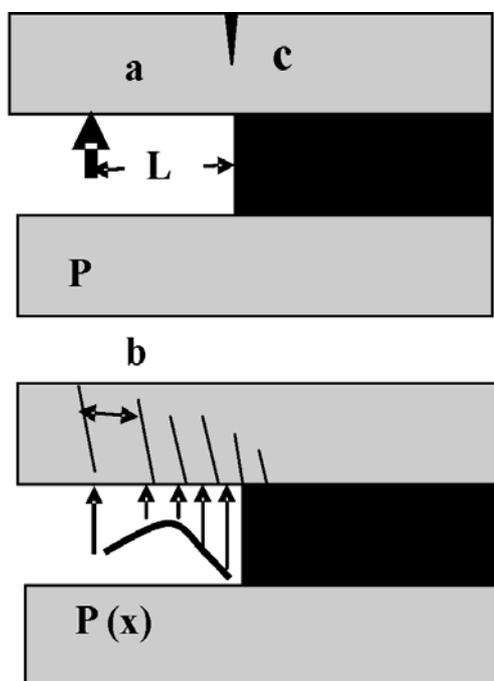
**Схемы воздействия на кровлю.** Анализ воздействия крепи на массив для лавной или камерной выемки может быть сведён к трём основным схемам рис. 1:

1. Удержание консоли нависающей кровли от облома в защемлении над пластом.

2. Удержание блоков, образующихся от трещин давления обычно кратных захвату комбайна.

3. Совместное воздействие факторов 1 и 2.

В первом случае важны значение равнодействующего усилия распора кровли  $P$  для управления трещиной изгиба  $c$  и величина плеча силы  $L$ .



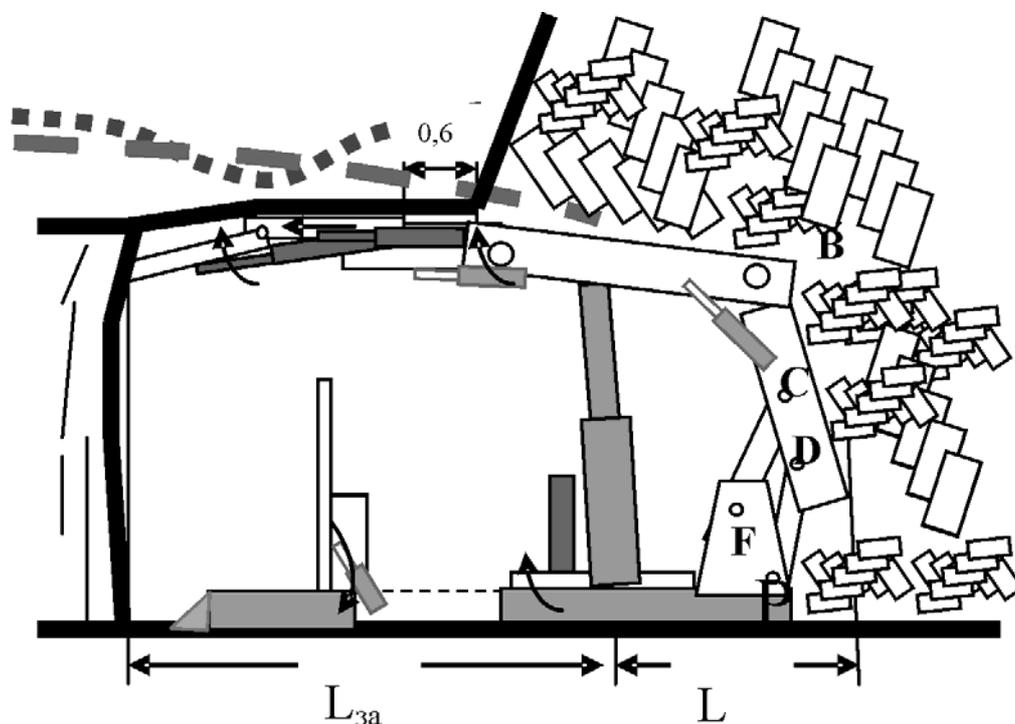
**Рис. 1. Механизмы управления кровлей**

Во втором случае важен характер распределения нагрузки вдоль верхняка  $P(x)$ , что бы удержать кровлю от разрушения по трещинам давления, возникающих с шагом «**в**». Для реализации управления по схеме «а» необходимо учитывать действия слоёв пород на крепь и пласт и вокруг выработки, и влияние обширного выработанного пространства [2, 3]. Для схемы «б» необходимо понять особенности формирования трещин системы, определяющей формирование блоков и их взаимодействие. Следует выявить закономерности распределения нагрузок  $P(x)$  между кровлей и верхняком [2]. Методика позволяет оптимизировать распределение нагрузки вдоль кровли за счет подбора сопротивления и нагрузки гидропатронов.

Но чаще всего необходимо учитывать оба фактора, учитывая расчет

состояния массива боковых пород и характер нагруженности по линии взаимодействия. При неоптимальном  $P(x)$  сечение слоя кровли будет ослабляться за счёт вывалов пород по трещинам, следовательно, возможности управления по схеме «а» уменьшатся.

**Конструктивная реализация.** Конечно факт того, что распорное усилие надо располагать подалеже от забоя, кажется парадоксальным и существует мнение, что гидростойки крепи (если речь идёт о лавной выемке) должны быть поближе к забоя, рис.2. Но реальность такова, что, например, для крепи Глиник, пролёт пород кровли от забоя до фронта гидростоек достигает 5 м, в то время как часть завальная часть крепи длиной  $L$  в 2 и более раз меньше (ш. им. Кузембаева) и здесь нахождение персонала практически не возможно. Реально стойки отнесены от забоя, за счет выдвинутого козырька, а иногда и предельного распора в верхнее положение противоотжимного щитка. Необходимая же реакция сопротивления в призабойной зоне достигается за счет распора гидропатронов консольного козырька. Понятно, что в таких условиях без наличия системы расчета распределения контактной нагрузки, напряженного состояния боковых пород и усилий в узлах крепи, задействованной постоянно (т.е. расположенной в программных блоках комплекса) опасно. Создается опасная ситуация опрокидывания крепи на забой и трещинообразования кровли над забоем. А с учетом возможности локализации давления на пласт в этой зоне тяжелые аварии не исключены. Их вероятность с учетом высокого сопротивления гидростоек не высока, но последствия длительны по срокам и тяжелы в целом для шахты. С другой стороны, поддерживать такое положение секции в

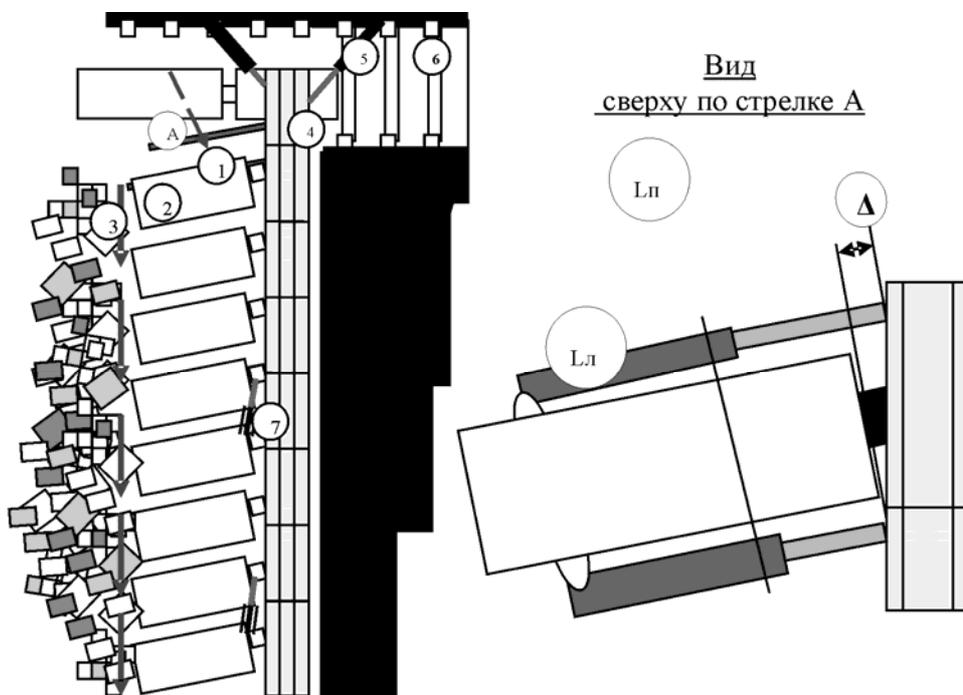


**Рис. 2. Положение верхняков крепи Глиник в забое**

условиях карагандинского бассейна заманчиво, в том смысле, что создаются возможности эффективного проветривания, особенно при длинах лавы свыше 200 м.

Для крепи М-144, использовавшейся на ш. Саранская, конструктивная схема «2+1» предусматривает 3 гидростойки, две из которых установлены по фронту забоя в передней части, одна в завальной. Проход для персонала имеется с обеих сторон. Крепь по длине превышает Глиник, однако эффективно поддерживать кровлю из-за малых возможностей перераспределения контактной нагрузки вдоль кровли затруднительно, поэтому на шахте особое внимание уделялось мероприятиям по обеспечению безопасной работы за счёт укрепления забоя и кровли с применением анкеровки. Близкое расположение равнодействующей сопротивле-

ния к забою не позволяет регулировать обломы породных консолей, хотя однозначный ответ получить затруднительно из-за трудности идентификации состояния кровли. С уверенностью можно – лишь сказать, что при интенсивных осадках кровли завальная часть крепи мало защищена и вероятность её аварий не меньше чем в секции Глиник, хотя завальная гидростойка, оперта в основание (у Глиник она связывает ограждения и перекрытие). К крупным недостаткам работы М-144 можно отнести отсутствие средств программного управления контроля нагруженности крепи и массива. Режимом работы завальной гидростойки трудно управлять, в то время как её нагруженность может быть самой различной по величине и по знаку, сильно завися также от положения траверс лемнискаты. Ранее были проведены расчеты аналогичной

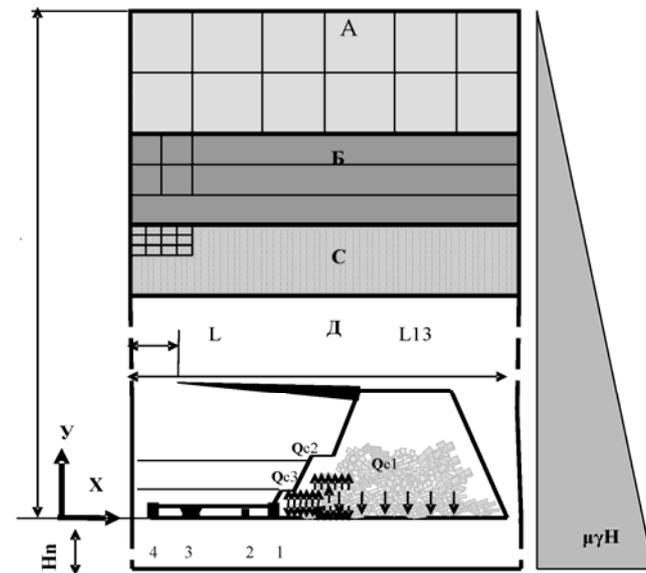


**Рис. 3. Особенности расположения оборудования при выемке по простиранию:**  
 1 – секция крепи; 2 – сползание завальной части секции под действием веса секции и действия обрушенных пород (3); 4 – конвейер; 5 – домкрат удержания конвейера от сползания; 6 – штрековая крепь; 7 – домкрат для равномерного распределения веса конвейера; Δ – разница между выдвиганием левого и правого домкрата передвижения

конструкции, где выявлены максимальные режимы нагружения и было рекомендовано не допускать пересечения МЦВ (мгновенный центр вращения) лемнискатного механизма с линией перекрытия крепи. Работа таких устройств эффективно контролируема при наличии в системе управления программы расчета нагруженности крепи, на основе которой управляют давлением в полостях гидростойки. Анализ позволяет выдвинуть схему, когда две гидростойки установлены «во фронт» в завальной части, схема «1+2». Ранее такое решение использовалось в крепи ЗМК на ш. им. Костенко, в конце 70 годов, где была достигнута высокопроизводительная добыча, причем аварии комплекса, снизившие его эффектив-

ность, связывались с конвейером и работой противоотжимного щитка, который не мог крепить забой с опережением на шаг передвижки.

Схема «1+2», соответствует принципам, которые осуществлялись в индивидуальных лавах, где считалось, что необходимо высокое сопротивление «посадочного» ряда. Наши расчёты в соответствии с [2] показали, что управляемость консолью пород в этом случае повышается на 15-20 %, Перспективнее конструкции с обратной связью конвейера и основания. В этом случае, в условиях разработки мощных пластов, удастся автоматически выравнять секции крепи, используя контроль герконами хода гидромкратов, передвижения относительно базы конвейер – балки, что в



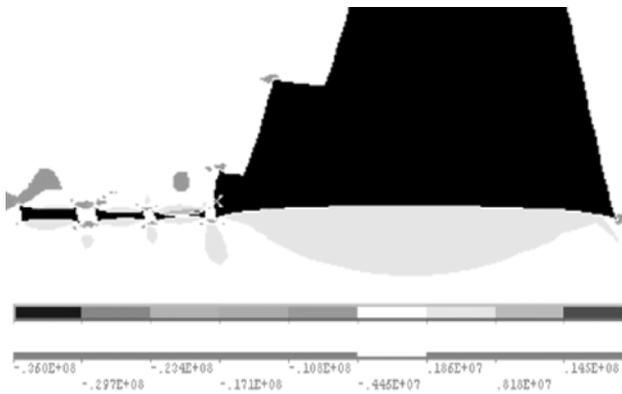
**Рис. 4. К выбору расчётной схемы  $Y=Hн$ :** запрещены перемещения по X и по H;  $X=0$ ;  $X=L13$  - запрещены перемещения по X. Давление на боковой контур от 0 до  $\mu\gamma H$ ;  $Qc1, Qc2, Qc3$  - отпор пород на опускающиеся породы и вес обрушенных пород; 4 - зона изменения модуля упругости пласта; 3 - крепь; 2, 1 - целики

сочетании с системой, выдвижных бортов перекрытия позволяет гарантировать заданное положение секции включая и условия наклонных пластов, рис. 3. Здесь разница между выдвиганиями домкратов контролируется датчиками хода. Значения  $\Delta = 0$  можно добиться подачей давления в штоковые полости обеих домкратов и регулируя слив в левом домкрате. Это решение позволит применить принципы для конструирования систем выемки наклонных пластов мощностью до 5 м в один слой.

**Учёт динамики выработанного пространства и расчётная схема**  
На рис. 4 представлены некоторые элементы расчетной схемы. Главным условием её создания было обеспечение с её помощью идентификации геомеханических процессов. В схеме должны быть заложены элементы пе-

рехода на новые технологии добычи реализующие принцип комплексного использования минеральных ресурсов (вариации гравитационных технологии с опускаемыми блоками, камерами и короткозабойной выемкой). Вышеприведенные схемы поддержания кровли реализуются и в крепи для камер (мы называем её стационарно-переносной). Поэтому в расчётной схеме необходимо учитывать распор крепи и особенности чередующихся целиков, которые могут вводиться или выводиться из расчёта. Выработанное пространство по мере ведения горных работ меняет свою конфигурацию, а пласт свойства [2]. Контуры полостей и целики находящиеся на удалении от зоны очистных

работ испытывают повышенные деформации, поскольку действует временной фактор. В случае посадки (разрушения) в этой зоне нескольких целиков пространство над ними обрушается и протекают процессы свдообразования. С учетом ранее выполненных работ [2], [3], [4] деформационные характеристики пород могут быть больше, чем те которые получают на образцах керна. Особенно изменчива призабойная часть пласта и в соответствии с [2] она разбивается на ряд элементов физикомеханические характеристики которых зависят от свойств угля, геометрии и нагруженности забоя. Это позволяет формировать матрицу поведения пласта. Так в призабойной зоне модули деформации по участкам изменяются скачками, чем более деформирован



**Рис. 5. Напряжение  $\sigma_x$  в зоне очистных работ**

участок тем меньше модуль. Величины модулей и их скачков заранее заданы, но возможно и уточнение значений для того чтобы максимально приблизить реальную картину распределения нагрузки при идентификации. Все возможные случаи корректировки заранее обоснованы и соответствуют определенной логике процесса. Получив в каждом расчетном цикле необходимые напряжения, в зависимости от вышеприведенных факторов производится программный выбор соответствующих данных из матрицы, которыми «заряжается» схема для последующих итераций. На схеме представлены 3 полости и 3 целика из них два на стороне выработанного пространства сужены на 50 %. Крайний слева пролет, оконтуренный утолщенными линиями находится под воздействием крепи. Имеются данные определяющие параметры свода для ситуаций:

- высота свода достигает равновесного состояния (далее не возрастает) из-за хорошей обрушаемости пород в своде и подбучивания его вершины, когда из-за разрыхления куски породы заполняют полость и подпирают свод.
- возможна ситуация, когда свод подходит к земной поверхности и об-

разуется так называемый обратный свод (воронка на земной поверхности) соприкасающаяся с вершиной прямого свода.

При решении параметры сетки в каждой итерации в блоках А-Д контролируются на возможность частного искажения напряжений. Управление сеткой – большая проблема при построении аттрактора системы, особенно при моделировании «тонких» факторов трещинообразования. Для анализа зон

влияния крепи следует исходить из критериев:

- крепь набирает сопротивление в процессе деформации системы;
- распределения нагрузки на крепь и соответственно кровлю задается с помощью подбора параметров крепи.

Второй случай, предпочтителен тем, что используется активное управления крепью и при этом можно отслеживать реакцию массива добываясь управления его состоянием (если это окажется возможным). В системе управления крепью можно использовать и факторы сопротивления в том случае, если силовыми элементами (гидропневматика) крепи можно регулировать, например, перераспределяя набранное давление за счет переток рабочего тела.

### **Результаты**

Решение подтвердило версию о не равной деформации в горизонтальном направлении, за счёт сводообразования. Вся картина оказалось существенно смещена по линии кровли камер вниз и влево это определило и характер нагружения целиков: они испытывают срез вдоль горизонтальной линии. Данные, использованные в модели дают картину деформаций

близкую к шахтным, в частности исследования на ш. Костенко показали резкое искривления слоев почвы с возникновением в них зияющих трещин (рис. 5). Такие трещины наблюдаются у линии сопряжения поверхности забоя лавы с почвой, их зияние (раскрытие) увеличиваются по мере перемещения в выработанное пространство. Интервьюирование специалистов указывает на достоверность факта, что срез за счет бокового смещения (в связи с хорошей отслаиваемостью пород) происходит по плоскостям слоистости и поэтому целик разгрузившись, тем не менее, воспринимает горное давление, сопротивлялась опусканию кровли. Если произвести предварительный вруб то устойчивость целика улучшится, особенно в случае заполнения щели вспенивающимся антифрикционным материалом. Полученные численные результаты в основном совпадают с

логикой предложенной экспертами, так сближение почвы и кровли в полостях увеличиваются от пласта к выработанному пространству. В последней выработке сближения составляет более 50 % от мощности пласта, что при отсутствии явных смещений пород по разломам в условиях традиционных схем не предствимы. Шахтные данные это подтверждают, так же шахте им. Костенко деформация арочной крепи была таковой, что движения по выработкам вагонеток стало затруднительным, а между тем смещений пород по трещинам не наблюдалось на многих проверенных участках, т.е. опускания были достигнуты за счет больших изгибов балок – слоев, где-то происходил их подъем, а где-то опускания. Анализ показывает, что для нестационарных условий разработки угля расчеты состояний системы должны вестись на основе обратной связи.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шемякин Е.И., Фисенко Б.Л., Курленя М.В., Опарин В.П., Рева В.Н., Глушихин Ф.П., Розенбаум М.А., Тропп З.А. Зональная дезинтеграция горных пород вокруг подземных выработок // ФТПРПИ №1 – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1987. - с. 3-8.

2. Жетесов С.С., Бейсембаев К.М., Шманов М.Н., Абдугалиева Г.Б. Геомеханические особенности управления лавой //Труды Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казах-

стана», А.С. Сагиновские чтения №1. (23-24 декабря 2009г.).– Караганда: Изд-во КарГТУ, 2009. – С.7

3. ГОСТ Р52152-2003, Национальный стандарт Российской Федерации, «крепи механизированные для лав, основные параметры, общие технические требования и испытания»

4. Громов Ю.В., Бычков Ю.Н., Кругликов В.П. Управление горным давлением при разработке мощных пологих пластов угля. // Москва: «Недра», 1985. – 240 с. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Абдугалиева Г.Б. – магистр ТМ и О, ст. преподаватель,  
Бейсембаев К.М. – кандидат технических наук, доцент,  
Жетесов С.С. – доктор технических наук, профессор,  
Жолдыбаева Г.С.-, кандидат технических наук, доцент,  
Искаков М.М.- магистрант,

Малыбаев Н.С. - кандидат технических наук, зав. кафедрой,  
Шманёв А. Н. - кандидат технических наук, доцент, лауреат гос. премии СССР,  
Карагандинский ГТУ, кафедра ГМ и О, г. Караганда, kakim08@mail.ru