

УДК 622.285

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ХАРАКТЕРА КРОВЛИ
ПОСЛЕ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД**

В. Ю. Умрихина, Г. Д. Буялич, проф., д.т.н.
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Согласно приведённым данным в журнале «Уголь» [1] несмотря на уменьшение добычи угля в России за 2020 г. по сравнению с 2019 г. среднесуточная нагрузка на комплексно-механизированной очистной забой в среднем по отрасли составила 4710 т, что на 4 % выше, чем в 2019 г. При этом среднедействующее количество комплексно-механизированных очистных забоев в 2020 г составило 51,6, что на 4 % меньше по сравнению с 2019 годом. Эти цифры свидетельствуют о тенденции к снижению общего количества комплексно-механизированных забоев с одновременным увеличением из них добычи. При этом многие авторы отмечают увеличение количества труднообрушаемых и трудноуправляемых кровель, склонных к динамическим проявлениям горного давления.

Исследование процессов динамического взаимодействия обрушающейся кровли с металлоконструкциями механизированной крепи при выполнении работ в подземной очистной выработке относится к числу наиболее важных проблем, так как при отработке угольных пластов с трудноуправляемыми и труднообрушаемыми кровлями периодически возникает хрупкое обрушение вышележащих пород, при котором происходит динамическое воздействие внешней нагрузки периодического характера на металлоконструкцию крепи, нередко приводящее её к поломкам [2–9].

Изначально в работах [10–15] процесс динамического взаимодействия пород кровли и секции механизированной крепи был описан математически при решении дифференциального уравнения колебания балки. При этом были выполнены расчёты и получены формы и амплитуды динамического колебания блока кровли при различных параметрах и размерах нависающих блоков, физико-механических свойствах, а также реакции крепи.

Анализируя исследования различных авторов [16–23] были определены ключевые подходы к исследованию данного динамического колебательного процесса пород кровли, используя широко распространённый метод конечных элементов.

В развитие предыдущих исследований в данной статье продолжено изучение колебательного характера кровли методом конечных элементов, что позволяет получить результаты моделирования колебательного процесса другими методами и повысить достоверность необходимых выводов.

Для описания состояния непосредственной кровли при вторичных осадках с помощью метода конечных элементов была построена модель, решение которой выполнялось в два этапа.

На первом этапе рассчитываются смещения и напряжения модели от заданных нагрузок, соответствующих силовым и геометрическим параметрам механизированной крепи при заданных размерах блока непосредственной кровли (рис. 1). Это состояние соответствует состоянию, предшествующему хрупкому разрушению кровли.



Рис. 1. – Расчётная схема конечно-элементной модели на первом этапе исследований

□ – контактная пара без трения; ■ – контактная пара с учетом коэффициента трения; $R_{кр}$ – реакция крепи Н/м; G – распределенная масса балки, кг/м; P – пригрузка от вышележащих пород, Н/мм;

L_1 – длина основной кровли, м; L_2 – длина непосредственной кровли, м;
 L_3 – расстояние от забоя до козырька, м; L_4 – длина крепи, м;
 h_1 – мощность непосредственной кровли, м

Характер изменения деформированного (а) и напряжённого (б) состояний конечно-элементной модели непосредственной кровли, рассчитанные на первом этапе, приведены на рис. 2.

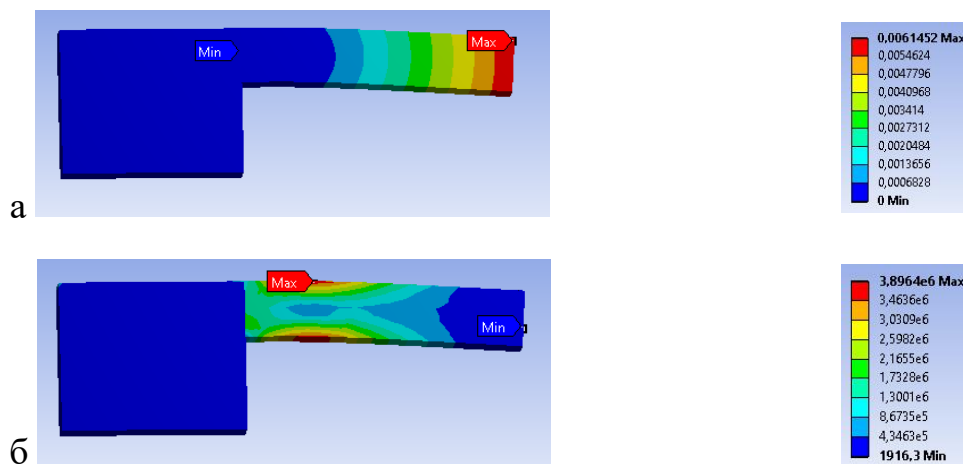


Рисунок 2 – Деформированное (а) и напряжённое (б) состояния конечно-элементной модели на первом этапе расчётов

Смещения конечно-элементной модели, полученные на первом этапе, являются граничными и начальными условиями при расчёте на втором этапе. При этом изменяется и расчётная схема, основным отличием которой становится отсутствие заделки блока непосредственной кровли между пластом угля и основной кровлей.

На рис. 3 приведена модель непосредственной кровли для второго этапа расчёта сразу после хрупкого разрушения.

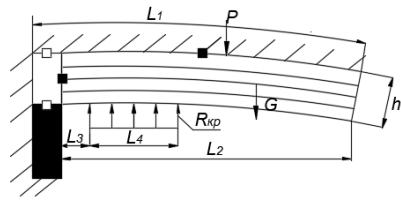


Рис. 3 – Схема приложения сил и связей после разрушения блока кровли

Пример результатов конечно-элементного моделирования по описанной выше методике приведён на рис. 4, на котором представлены деформированное (а) и напряжённое (б) состояния блока непосредственной кровли при его колебательном процессе.

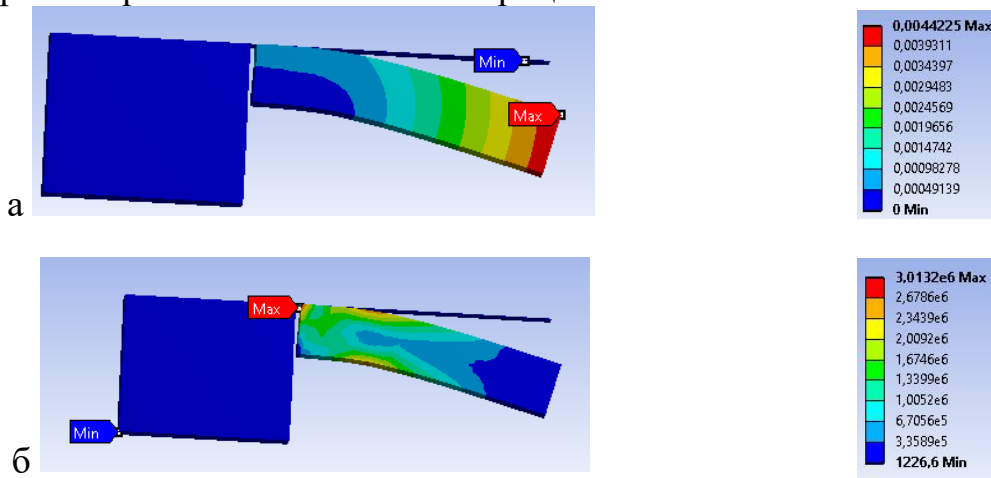


Рисунок 4 – Деформированное состояние (а) и напряжённое состояние (б) после хрупкого разрушения кровли

Процесс деформирования и напряжения в максимальной точке изображены на рисунке 5, из которого видно, что со стороны кровли воздействие на крепь очистной выработки носит колебательный характер.

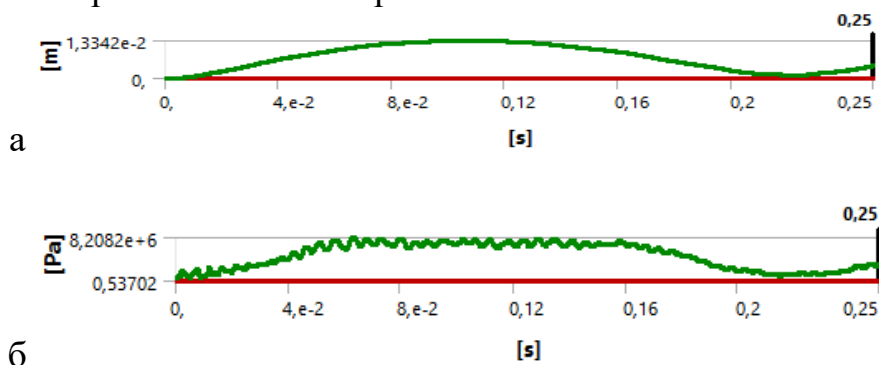


Рисунок 5 – Фрагмент процесса деформирования (а) и процесс изменения напряжения (б) в точке max

На основании данных, полученных по результатам предварительных расчётов, амплитуда колебаний блока кровли, скорость сдвижения и распределение напряжений определяются формой и количественными параметрами эпюры распределённой нагрузки со стороны перекрытия механизированной крепи, а также свойствами пород, из которых сложен блок

кровли, и его геометрическими размерами, зависящими от множества факторов, в том числе, и от горнотехнических условий работы очистного забоя.

Список литературы:

1. Таразанов, И. Г., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года / И. Г. Таразанов, Д. А. Губанов // Уголь. – 2021. – № 3. – С. 27–43. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-3-27-43.

2. Буялич, Г. Д. Оценка характера взаимодействия крепи с труднообрушаемой кровлей // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых : сб. науч. тр. / Ассоциация «Кузбассуглетехнология». – Кемерово, 1995. – № 9. – С. 35–37.

3. Буялич, Г. Д. Экспериментально-теоретическая оценка и обоснование параметров механизированных крепей для сложных горно-геологических условий пологих угольных пластов : автореферат дис. ... докт. техн. наук : 05.05.06 / Буялич Геннадий Данилович. – Кемерово, 2004. – 32 с.

4. Контактное и силовое взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. – 130 с.

5. Особенности взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами в сложных горно-геологических условиях пологих и наклонных пластов / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, Ю. М. Леконцев, М. Е. Лупий. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. – 144 с.

6. Буялич, Г. Д. Исследование работы предохранительного клапана ЭКП в период резких осадок кровли / Г. Д. Буялич, Ю. М. Леконцев, Б. А. Александров // Механизация горных работ : межвуз. сб. науч. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1978. – Вып. 2. – С. 49–55.

7. Буялич, Г. Д. О направлении снижения напряженно-деформированного состояния призабойной зоны угольного пласта / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Отд. вып. 2 : Горное машиностроение. – С. 198–202.

8. Александров, Б. А. Влияние начального распора механизированной крепи на частоту и интенсивность резких осадок кровли / Б. А. Александров, Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2002. – № 6. – С. 21–22.

9. Буялич, Г. Д. Механизм взаимодействия механизированных крепей с кровлями угольных пластов / Г. Д. Буялич, Ю. А. Антонов, В. И. Шейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – Отд. вып. 3 : Горное машиностроение. – С. 122–125.

10. Буялич, Г. Д. Определение характера и величины воздействия колебаний кровли на крепь / Г. Д. Буялич, В. Ю. Умрихина // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сб. тр. V Междунар. науч.-практ.

конф., Юрга, 21–23 мая 2015 г. / Юрг. технолог. ин-т. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2015. – С. 441–444.

11. Буялич, Г. Д. Моделирование динамических колебаний блока кровли / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Инновации в технологиях и образовании : сб. ст. VII Между-нар. науч.-практ. конф., Белово, 28–29 марта 2014 г. в 4 ч. Ч. 1 / Филиал КузГТУ в г. Белово. – Белово, Велико Тырново : Изд-во филиала КузГТУ в г. Белово, изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия, 2014. – С. 115–119.

12. Буялич, Г. Д. О форме динамических колебаний блока кровли при реакции крепи в виде сосредоточенной силы / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., Прокопьевск, 4–5 марта. 2014 г. – Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. – С.133–134.

13. Calculation of fluctuations in secondary roof collapses / Buyalich G. D., Buyalich K. G., Umrikhina V. Y. // MINER'S WEEK – 2015 : Reports of the XXIII international scientific symposium. – 2015. – С. 520–525.

14. Буялич, Г.Д. О динамических колебаниях блока кровли при реакции крепи в виде распределенной нагрузки / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 7–10 окт. 2014 г. [Электронный ресурс] – Кемерово : СО РАН, КемНЦ СО РАН, ИУ СО РАН, Кузбас. гос. техн. ун-т, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD–ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-902305-42-2. – С. 108–110.

15. Буялич, Г.Д. Численное моделирование динамических колебаний кровли при ее обрушении / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Актуальные проблемы современного машиностроения : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 11–12 дек. 2014 г. / Юрг. технолог. ин-т. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. – С. 199–202.

16. Пак, Г. А. Шаг обрушения основной кровли и прогноз газовыделения на шахтах Карагандинского бассейна / Г. А. Пак, В. Н. Долгоносков // Уголь. – 2015. – № 4. – С. 76–79.

17. Коровкин, Ю. А. Механизированные крепи очистных забоев / Под ред. Ю. Л. Худина. – М: Недра, 1990. – 413 с.

18. Фофанов, А. А. К вопросу о частотах колебаний пород основной кровли при вторичных обрушениях / А. А. Фофанов, В. В. Дырдин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 3. – С. 9–12.

19. Иванов, Д. В. Введение в Ansys Workbench / Д. В. Иванов, А. В. Доль // Учеб.-метод. пособие для студентов естественно-научных дисциплин. – Саратов: Амирит, 2016. – 56 с.

20. Бруяка, В. А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench / В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова, Н. А. Глазунова, И. Е. Адеянов // Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

21. Буялич, Г. Д. Математическое моделирование динамических явлений при обрушении кровли / Г. Д. Буялич, К. Г. Буялич, В. Ю. Умрихина // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: материалы II межрегиональной научно-практической конференции / Севастопольский государственный университет. – Севастополь, 2016. – С. 73–74.

22. Умрихина, В. Ю. Методика построения модели для исследования динамических колебаний кровли методом конечных элементов / В. Ю. Умрихина, Г. Д. Буялич // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». – Кемерово: КузГТУ, 2017. – # 14010.

23. Умрихина, В. Ю. Построения модели для исследования динамических колебаний кровли методом конечных элементов / В. Ю. Умрихина, Г. Д. Буялич // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: материалы VI Международ. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 72–74.