

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЯ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ МКЮ.2Ш-26/53

П.В. Бурков, д.т.н., проф., С.П. Буркова, к.т.н., доц., В.Ю. Тимофеев**, к.т.н., доц.
Томский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, Томск
634003, г. Томск, пл.Соляная 2, тел. (382-2) 65-32-61, e-mail: burkovpv@mail.ru*

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (382-2) 12-34-56, e-mail: burkovasp@tpu.ru.*

***Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38-451) 6-26-83,

E-mail: tv-ytitpu@mail.ru

В соответствии с Долгосрочной Программой развития угольной промышленности России на период до 2030 года намечено увеличение объемов добычи угля подземным способом в 1,3 раза [1]. В рамках принятой Правительством Российской Федерации «Энергетической стратегией России на период до 2020 г.» планируется увеличение добычи угля до 410..450 млн. тонн и рост его доли в производстве электроэнергии с 34 до 44%. Рост мощностей в период до 2010 г. происходил за счет технического перевооружения, а в период 2011–2020 гг. планируется происходить за счет коренного изменения технического уровня горно-шахтного оборудования. Концентрация горного производства на перспективных шахтах угольной отрасли за счет технического перевооружения очистных комплексов требует повышения надежности очистного оборудования. Добыча угля подземным способом, на сегодняшний день, осуществляется с применением механизированных очистных комплексов, основу которого составляет секция механизированной крепи. От эксплуатационных качеств секций крепи зависит жизнь горнорабочих и работа всего комплекса, поэтому к ее конструкции предъявляются высокие требования по показателям надежности [2].

Во время работы очистного комплекса в забое на механизированную крепь действуют существенные нагрузки, которые перераспределяются на секции крепи и которые обеспечиваются перекрытием секций крепи (рисунок 1) [3]. Перекрытие является несущим элементом, который воспринимает большую часть нагрузки от горного массива, и обеспечивает устойчивость секции на основании [4].

Для выявления качественных показателей секции крепи, завод-изготовитель подвергает секции испытаниям на испытательном стенде в условиях приближенных к реальным. Для данной секции крепи, для выявления слабых мест в конструкции и концентраторов напряжений, в испытательном цехе ООО «Юргинский машзавод» проводились испытания в соответствии с ГОСТ 52152-2003. Испытания проводят на испытательном стенде «Gluckauf» (рисунок 2). Стенд сертифицирован по соответствующим нормам ЕС и DIN EN ISO 9001:2000.

В соответствии с ГОСТ 52152-2003 перекрытие испытывают в составе собранной секции с сохранением всех кинематических особенностей. Секцию крепи раскрывают на полную раздвижность ее гидравлических стоек и нагружают подвижной плитой стенда, ступенчато в интервале от 10 до 54 МПа. На каждой ступени выдерживают по 1 мин, затем сбрасывают давление до 5 МПа и замеряют остаточные деформации. Через каждые 10 циклов проходит проверка раскерновки с помощью стандартных скоб, а запись графиков нагружений проводится в программе «Catman Easy» поставляющейся вместе со стендом.

В качестве приборов, обеспечивающих обработку результатов измерений применялось следующее оборудование: упоры в виде стальных брусьев; инструменты контроля – скобы стальные, преобразователь сигналов «Spider 8» в комплекте с индуктивным датчиком-шупом «Inductive Standart Wegaufnehmer», прикрепляемым магнитом к перекрытию крепи. Преобразователь «Spider 8» представляет собой измерительный усилитель, предназначенный для электрических измерений механических величин: деформации, усилия, давления, перемещения, ускорения и температуры. Общее предварительное формирование сигналов – питание пассивных датчиков и усиление, оцифровка, сопряжение с компьютером и технология соединения максимум 8 каналов. Прибор содержит 4 полных цифровых усилителя для измерения на несущей частоте 4,8 кГц для тензодатчиков и индуктивных датчиков.

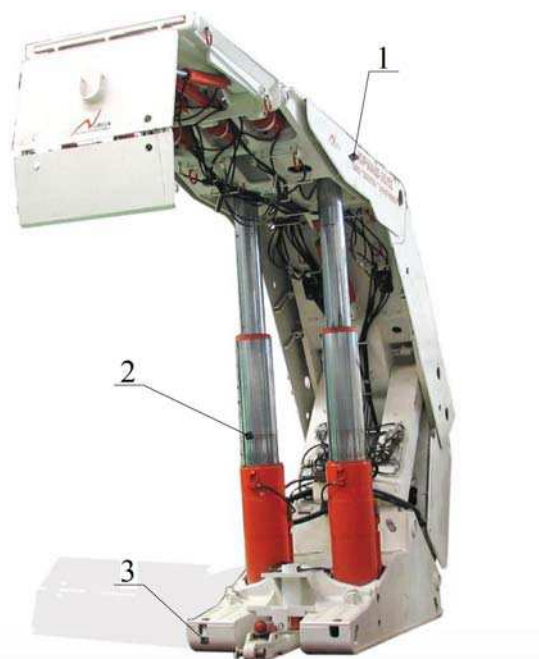


Рис. 1. Секция крепи МКЮ.2Ш-26/53. 1 – перекрытие, 2 – гидростойка, 3 – основание крепи

Испытания секции проводятся по схемам представленным на рисунке 3. Схемы нагружения №№ 1, 2, 4, 5 имитируют нагрузки на металлоконструкцию крепи в случае, когда из-за неровностей почвы перекрытие претерпевает деформации. По схеме №3 перекрытие нагружают изгибающим усилием, имитируя нормальные условия работы. Схема нагружения №1 является моделированием наиболее сложных условий работы секции. Действующий вектор силы в данном случае будет действовать на одну сторону конструкции, что приведет к скручивающим деформациям [5].

Испытания проведенные на стенде «Gluckauf» ООО «Юргинский машзавод» включали в себя 55 опытов: по 11 циклов нагружений для каждой из 5-и схем и позволят выявить величину нагрузок и деформаций. Данные полученные с датчиков последовательно фиксировались программой «Catman Easy». В процессе нагружений были получены величины трех характеристик:

- остаточная деформация $S_{ост}$;
- деформация в пике нагружения $S_{п}$;
- давление в стойке Р.



Рис. 2. Испытательный стенд «Gluckauf» с секцией крепи МКЮ.2Ш-26/53

Испытания проводились в пять этапов: этап I – нагружения по схеме №3; этап II – нагружения по схеме №1; этап III – нагружения по схеме №2; этап IV– нагружения по схеме №4; этап V– нагру-

жения по схеме №5. После каждого из одиннадцати нагружений давление в стойке сбрасывалось до 5 МПа. Все данные, полученные в результате испытания секции, были сведены в общую таблицу 1.

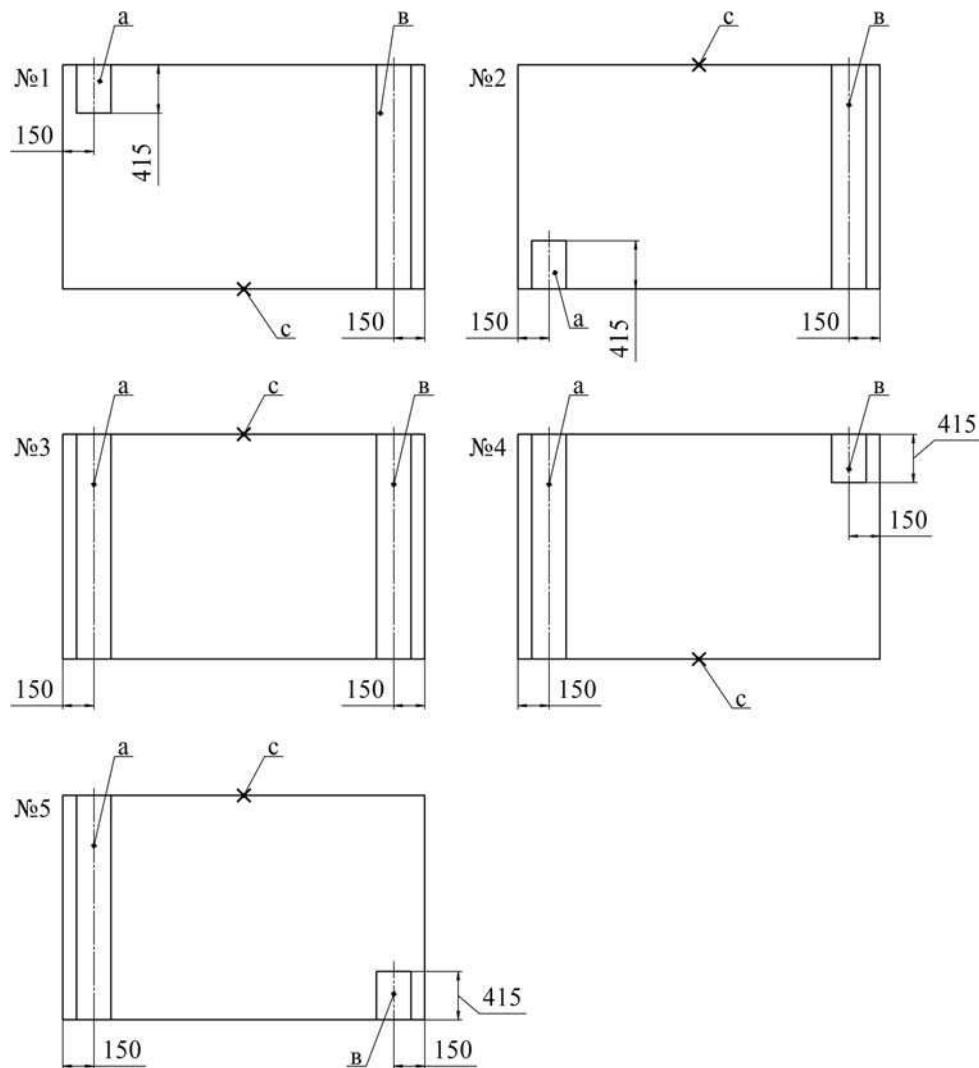


Рис. 3. Схемы нагружения перекрытия секции МКЮ.2ПШ-26/53
а), в) площадки приложения нагрузки, с) точка контроля, установки датчика

Таблица 1

Результаты испытаний секции крепи									
Схемы испы- тания	Остаточная деформация				Деформация в пике нагружения				Давле- ние, МПа
	Min S _{ост} , мм	P, МПа	Max S _{ост} , мм	P, МПа	Min S _п , мм	P, МПа	Max S _п , мм	P, МПа	
1	0,1	33,9	1,7	53,9	2,1	16,9	25,3	53,9	0,5-54
2	0,1	34,1	1,5	54,1	2,3	16,8	25,7	54,1	0,5-54
3	0	16,8	0	54	0,3	16,8	3,3	54	0,5-54
4	0,1	17,1	1,4	54,1	7,5	17,1	29,7	54,1	0,5-54
5	0,1	39	0,4	54	1,2	16,9	22,3	54	0,5-54

Полученные результаты натурных испытаний являются отправной точкой для дальнейшего моделирования процесса нагружения секции крепи и анализа концентраторов напряжений и напряженно-деформированного состояния (НДС). Возможность исследования НДС, в данном случае, предоставляют численные методы, и в частности метод конечных элементов (МКЭ). В настоящее время одной из самых широко распространенных систем конечно-элементного анализа является SolidWorks Simulation, которая является частью программного продукта SolidWorks. Данное приложение широко применяется в сфере автоматических инженерных расчетов, решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций. Для исследований методом конечных элементов была построена твердотельная модель секции (рисунок 4).

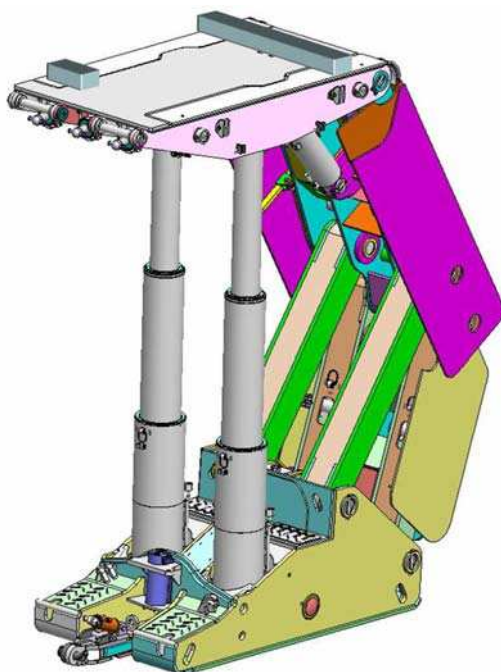


Рис. 4. Твердотельная модель секции МКЮ.2Ш-26/53 выполненная в SolidWorks

Для исследования НДС и определения концентраторов напряжений в конструкции перекрытия секции крепи в SolidWorks Simulation была выбрана схема № 1, как наихудший случай работы секции [6]. Определение концентраторов напряжений, наличие которых и ведет к зарождению и распространению дефектов с последующей поломкой, необходимо для совершенствования конструкции секции с целью уменьшения их количества и исключения их негативного влияния. Для этого к полученной твердотельной модели перекрытия секции крепи прикладываются нагрузки и ограничения в соответствии со схемой нагружения (рисунок 5).

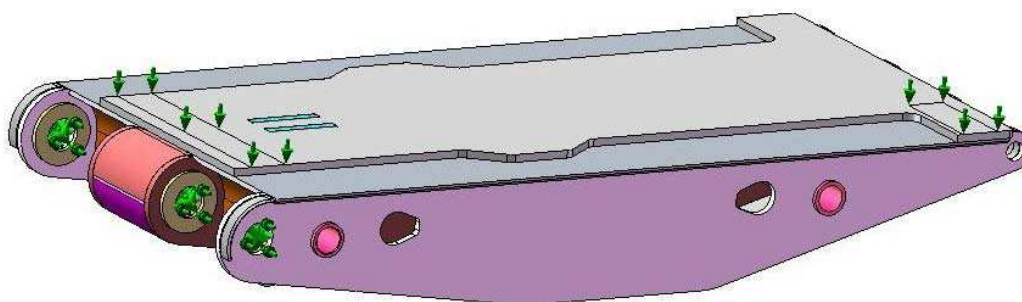


Рис. 5. Твердотельная модель перекрытия секции МКЮ.2Ш-26/53 выполненная в SolidWorks

Определение величины усилия, со стороны гидростоек:

$$F = \frac{D_{\text{п}}^2 \cdot \pi \cdot P}{4} = \frac{0,4^2 \cdot 3,14 \cdot 54000}{4} = 6782 \text{ кН}$$

где $D_{\text{п}}$ – диаметр поршня гидростойки $D_{\text{п}}=0,4$ м;
 P – давление в стойке при максимальном значении $P=54$ МПа.

Направление силы определяем конструктивно из модели секции крепи. Угол отклонения от нормали к поверхности перекрытия составляет $3,82^\circ$. В соответствии с полученными данными приложены нагрузки в твердотельной модели в приложении SolidWorks Simulation. Также были приложены ограничения модели в шарнирных узлах перекрытия. Были заданы параметры упоров (металлического бруса), построена сетка из конечных элементов (рисунок 6).

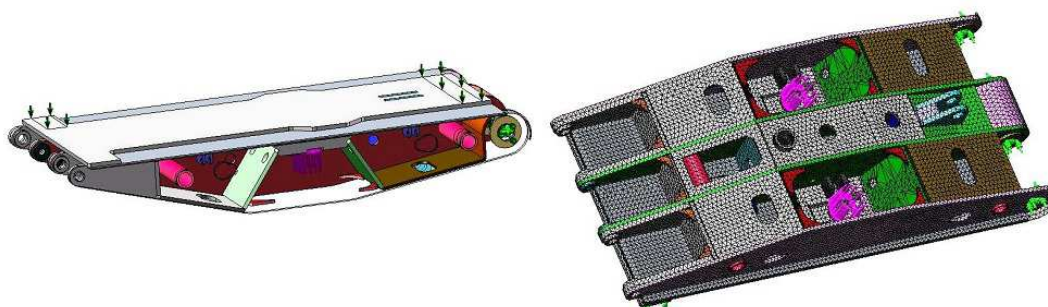


Рис. 6. Твердотельная модель перекрытия секции МКЮ.2Ш-26/53 с приложенными ограничениями и с сеткой конечных элементов

Полученная эпюра эквивалентных напряжений в перекрытии крепи по Мизесу и деформаций представлена на рисунке 7.

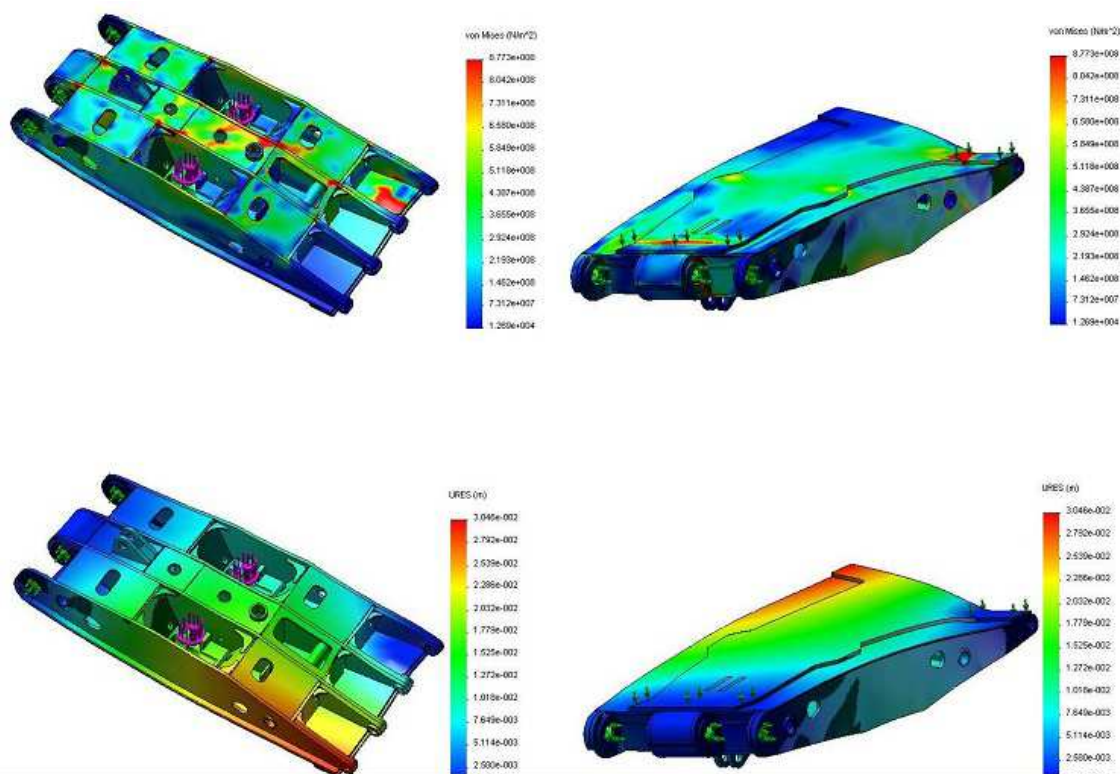


Рис. 7. Эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу и деформаций в перекрытии секции крепи МКЮ.2Ш-26/53

Эпюра распределения величин эквивалентных напряжений по Мизесу находится в пределах от 0 до 675 МПа (рисунок 7), что соответствует пределу текучести материала (материал перекрытия – 14ХГ2САФД по ТУ 14-105-699-2002). Каждому интервалу величин присвоен определенный цвет. Так, область, отображенная красным цветом (ей присвоено значение 600 МПа), означает то, что усилия в этой зоне приближены к пределу текучести, а это значит что металл может перейти из зоны упругих деформаций в зону пластических деформаций, и как следствие потеряет свои прочностные свойства.

Для определения деформаций в точке установки датчика при натурных испытаниях перекрытия секции крепи использовался инструмент SolidWorks Simulation «Зондирование» (рисунок 8).

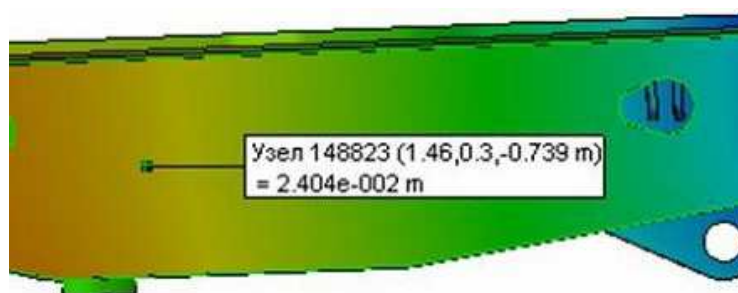


Рис. 8. Результаты зондирования точки установки датчика

Величина перемещений составила 24,04 мм, в условиях натурных испытаний значение перемещений составило 25,3 мм (таблица 1). Величина относительной погрешности составила 4,37%, что говорит о корректности полученной модели и правильности приложенных нагрузок и ограничений.

Рассматриваемое перекрытие секции крепи является сварной конструкцией. Сварные швы являются концентраторами напряжений. Известно что сварной шов лучше сохраняет свои свойства при возникновении напряжений растяжение чем напряжений сжатия и можно предположить что в зоне пластических деформаций сварное соединение потеряет свою прочность и возможно разрушение шва. Поэтому необходимо выявить критические зоны появления напряжений сжатия и выявить величину этих напряжений. Эти зоны потенциально опасны, т.к. в них возникают концентраторы напряжений, что может привести к распространению дефектов по всей металлоконструкции, что приведет в конечном итоге может привести к поломке всей металлоконструкции.

Результаты моделирования представлены на рисунке 9.

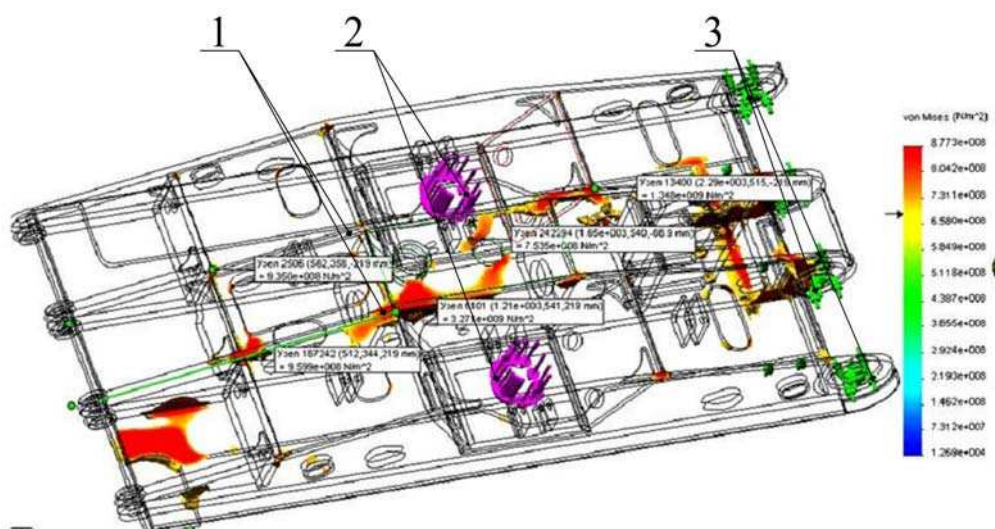


Рис. 9. Результаты моделирования процесса нагружения перекрытия крепи
1 – прогоны секции крепи, 2 – нагрузка от гидростоек, 3 – ограничения, приложенные к модели

Представленный на рисунке 9 вариант эпюры нагружений показывает цветом (красным и желтым) зоны критических напряжений выше предела прочности материала перекрытия секции крепи – 675 МПа. Из эпюры видно, что критическая зона повышенных напряжений лежит в местах расположения продольных прогонов 1. Наличие данной области предрасполагает к появлению концентраторов напряжения, поэтому в дальнейшем, при совершенствовании конструкции данной секции, необходимо изменить конструкцию и материал прогонов перекрытия секции, а также совершенствовать способы сварки данных элементов [7].

В результате выполненных исследований получены результаты исследования прочностных параметров перекрытия секции механизированной крепи МКЮ.2Ш-26/53 с учетом эксплуатационных условий, а также проведен анализ опасности появления концентраторов напряжений. В результате исследований можно говорить о сходимости натурных испытаний и результатов моделирования методом конечных элементов. Представлены рекомендации по совершенствованию конструкции секции крепи. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки методики оценки НДС методом конечных элементов.

Литература.

1. Тимофеев В.Ю., Аксенов В.В., Ефременков А.Б. Обоснование параметров трансмиссии геохода с волновой передачей», издательство LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN: 978-3-659-30619-8. 216 с.
2. Мышляев Б.К. Перспективные направления создания новой техники // Горный журнал. 2003. № 3. С.60-66.
3. Ремезов А. В., Панфилова Д. В. / Распределение нагрузок на крепь по длине очистного забоя // Уголь. 2008. №11. С.10-11.
4. Юргинский машзавод [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – [?] – Режим доступа: <http://yumz.ru/product/mine/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Мышляев Б.К. / Производство современной очистной техники – основа развития подземной добычи угля в РФ/ Б.К.Мышляев, С.В.Титов, И.В.Титов // Уголь. 2007. №1. С.11-15.
6. Клишин В.И./Метод направленного гидроразрыва труднообрушающихся кровель для управления горным давлением в угольных шахтах / Клишин В.И., Никольский А.М., Опрук Г.Ю., Неверов А.А., Неверов С.А. // Уголь. 2008. №11. С.12-16.
7. Chinakhov D.A. Calculation of Gas-dynamic Impact of the Active Shielding Gas on the Electrode Metal Drop in Gas Jet Shield Welding // Applied Mechanic and Materials. Vol. 379 (2013). Pp. 188-194 available at: <http://www.scintific.net>.

КЛАССИФИКАЦИЯ КРЕПЕВОЗВОДЯЩИХ МОДУЛЕЙ ГЕОХОДОВ

*В.В. Аксенов***, д.т.н., профессор кафедры ГПЮ, зав. лабораторией угольной геотехники,*

*В.Ю. Садовец****, к.т.н., доцент*

**Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

***Институт угля СО РАН, г. Кемерово*

****Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева*

E-mail: v.aksenov@icc.kemsc.ru, vsadovec@yandex.ru

Развитие городов, увеличением автомобильного транспорта и общим уплотнением наземных сооружений, в связи с чем возникает необходимость перемещения транспортных потоков и сооружений в подземное пространство. Основным направлением, позволяющим решать подобные задачи, является развитие геотехнологий и, соответственно, создание горнопроходческого оборудования для формирования подземного пространства [1].

В свою очередь сооружение капитальных подземных выработок горнодобывающих предприятий, городских коллекторных магистралей и перегонных тоннелей метро является трудоемким и дорогостоящим процессом. Наиболее остро стоят задачи повышения скорости проходки, производительности труда и безопасности, снижения стоимости работ.

На сегодняшний день разрабатываемые конструктивные решения проходческого оборудования в основном определяются традиционным, представлением о процессе проходки выработки, как образовании полости в горном массиве.