

Клишин Владимир Иванович^{1,2}, доктор техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН, **Абабков Николай Викторович**², канд. техн. наук, **Пимонов Максим Владимирович**², старший преподаватель, **Худынцев Евгений Александрович**¹, аспирант

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», 650000, Россия, г. Кемерово, пр-т Советский, 18

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВИБРОПИТАТЕЛЯ СЕКЦИИ КРЕПИ С ВЫПУСКОМ УГЛЯ ПОДКРОВЕЛЬНОЙ ТОЛЩИ

Аннотация: В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН предложено новое направление конструирования механизированных крепей для реализации технологии разработки мощных пластов с управляемым выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер, позволяющее увеличить поток горной массы, снизить потери и зольность угля. В ограждении крепи выполнено выпускное окно в виде желоба с установленным управляемым питателем. Приведены расчеты напряженно-деформированного состояния питателя секции крепи и боковых стенок желоба. На основе полученных данных разработана лабораторная установка для моделирования напряженно-деформированного состояния питателя и желоба секции крепи в масштабе 1:4 для проведения исследований процесса выпуска.

Ключевые слова: механизированная крепь, управляемый выпуск угля, питатель, моделирование, лабораторная установка.

Информация о статье: принята 27 мая 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-57-63

Одностадийная разработка мощных угольных пластов с выпуском массива подкровельной толщи на завальный или забойный конвейер (Longwall top coal caving method – LTCC) является наиболее перспективным направлением подземной добычи угля. В этих технологиях разрушение массива вышележащей подкровельной толщи осуществляется горным давлением [1-5]. В мировой практике известны два направления реализации такой системы разработки с использованием механизированных комплексов с выпуском угля на забойный или завальный конвейер. Эффективность этой технологии выпуска на завальный конвейер подтверждена на шахтах Китая, Австралии, Турции, Казахстана и в Кузбассе [4, с. 6-11]. Однако введение дополнительного завального конвейера усложняет конструкцию комплекса и требует введения дополнительного перегрузочного устройства на сопряжении лавы с конвейерным штреком. Кроме трудности обслуживания таких комплексов, в такой системе образуются значительные потери угля, высокая зольность и аварийность ведения очистных работ.

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН ведутся работы по созданию технологии с выпуском угля подкровельной толщи на забойный конвейер. Для реализации этой технологии предложена принципиально новая, не имеющая аналогов конструкция механизированной крепи поддерживающе-

оградительного типа с управляемым выпуском. Для этого в ограждении крепи выполнено выпускное окно, связанное с погрузочным желобом и питателем (рис. 1а) [1,2]. Выпускное окно секции крепи имеет увеличенную площадь, что позволит управлять потоком угля, уменьшить потери и его зольность, а также обеспечить безопасность и эффективности работы очистного забоя. При этом эффективность технологии и средства ее механизации во многом зависят от правильного определения параметров выпускных устройств секций механизированных крепей и способа выпуска угля.

Основной задачей является выбор параметров и разработка конструкции стенда питателя (рис. 1б) для управляемого выпуска угля из подкровельной толщи на забойный конвейер. Для этого было произведено моделирование напряженно-деформированного состояния элементов секции крепи с регулируемым выпуском угля. На основе полученных результатов предполагается обосновать параметры разработанной лабораторной установки для моделирования напряженно-деформированного состояния питателя и желоба секции крепи в масштабе 1:4 (далее «масштабная модель») для проведения исследований процесса выпуска единичной секции крепи.

Для расчетов использовалось программное обеспечение ANSYS Workbench 14 [12-17]. При расчете

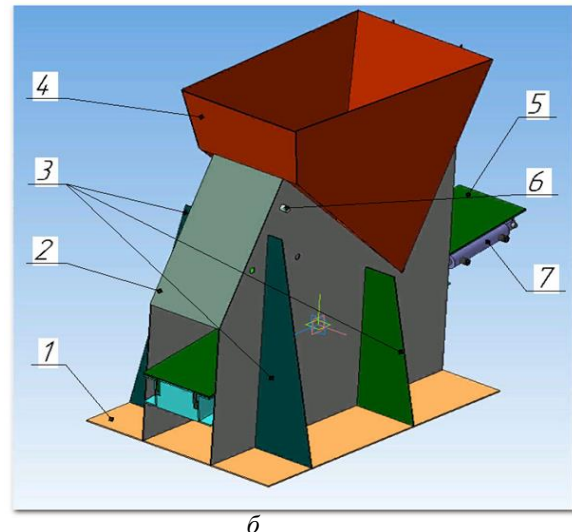
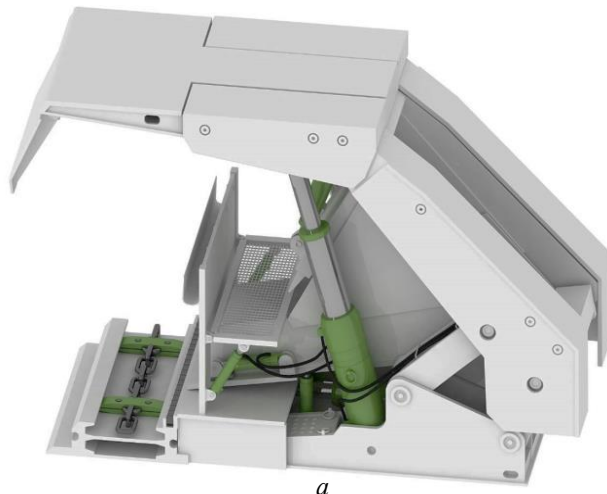


Рис 1. внешний вид механизированной крепи (а) и лабораторной установки (питателя в крепи) (б) для определения объема породы: 1 - основание, 2 - корпус, 3 - ребро жесткости, 4 - загрузочный бак, 5 - питатель, 6 - регулируемая заслонка, 7 – гидроцилиндр

Fig. 1. Powered roof support (a) and a laboratory unit (feeder in a roof support) external view (b) for defining the rock volume: 1- foundation, 2- body, 3 - stiffening plate, 4- charging tank – feeder, 6 - adjustable damper, 7 - hydraulic cylinder

величины давления принято, что объем массы породы ограничивается размерами боковых стенок, внешними очертаниями крепи и листом питателя (рис. 1. а, б). Объем определен геометрически по трехмерной модели и составляет $V=2,5 \text{ м}^3$. Площадь s распределения нагрузки для питателя (суммарная площадь поверхности) составила $s = 2,87$. Параметры для породы приняты в соответствии со средними значениями для углей. Определим массу породы:

$$m = \rho \times V \quad (1)$$

где ρ – плотность, кг/м^3 $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$; V – объем тела, $m = 1350 \times 2,5 = 3375 \text{ кг}$.

Определим давление, создаваемое весом породы на боковые стенки и лист питателя:

$$P = \frac{m \times g}{s} \quad (2)$$

где m – масса тела, кг; g – ускорение свободного падения $g=9,8 \text{ м/с}^2$; s – площадь приложения усилия.

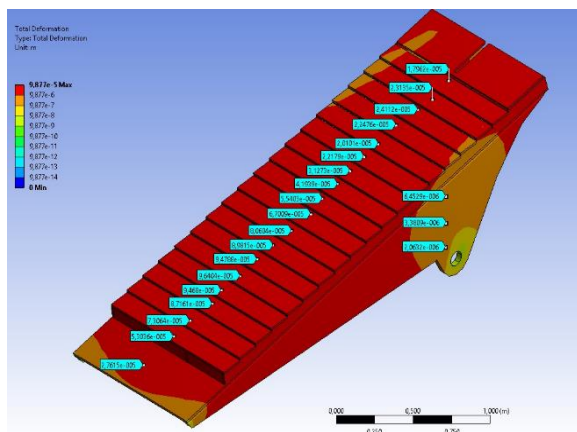
$$P = \frac{3375 \times 9,8}{2,87} = 11524,4 \text{ Па}$$

Моделирование произведено в трехмерной постановке. При подготовке модели к расчету принят ряд упрощений (рис. 2. а, б): моделировалось воздействие массы горной породы на питатель, контактирующий с нижним листом желоба; боковые стенки желоба из расчета исключены; нагрузки, действующие в конструкции, моделировались давлением. Закрепление модели выполнялось по отверстиям в боковых стенках и передней поверхности направляющих листа желоба.

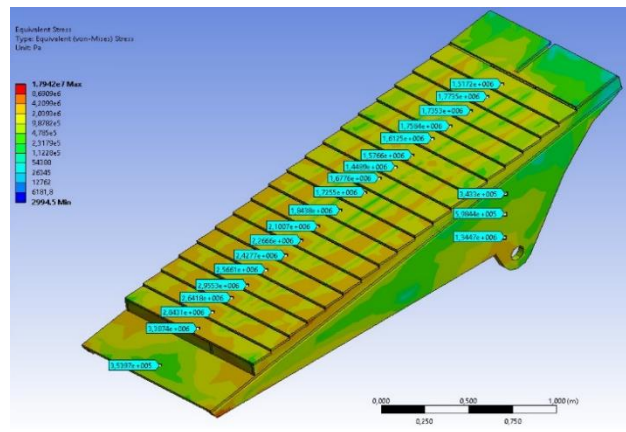
Расчеты показали, что максимальные деформации питателя составляют $0,0000098 \text{ м}$, а максимальные напряжения в питателе - $4,2 \text{ МПа}$. В целом

Таблица 1. Прочностные характеристики материалов приняты в соответствии со свойствами стали 09Г2С.
Table 1. Strength characteristics of the materials are taken in accordance with 09G2C steel properties

Марка материала:	09Г2С
Классификация:	Сталь конструкционная низколегированная
Применение:	различные детали и элементы сварных металлоконструкций, работающих при температуре от -70 до +425°С под давлением
$\sigma_{0,2}$, МПа	Не менее 325
$\sigma_{\text{в}}$, МПа	Не менее 470
Коэффициент Пуассона, μ	0,3
Модуль упругости, Е	$2 \times 10^{11} \text{ Па}$



а



б

Рис. 2. Суммарные деформации (а) и напряжения (б), возникающие в питателе
Fig.2. Total deformations (a) and stresses (b) that appear in a feeder

напряжения и деформации, возникающие в питателе, не превышают предел выносливости и предел текучести, что позволяет судить об имеющемся запасе прочности.

Расчет конструкции выполнен в двух постановках: ударное воздействие единичного фрагмента породы на лист направляющей масштабной модели; воздействие массы породы на лист направляющей при полной загрузке бункера масштабной модели.

Принят ряд условий: для сокращения времени расчета при моделировании удара падение фрагмента моделируется в момент касания с листом с достигнутой максимальной скоростью при свободном падении. Максимальная скорость тела при свободном падении определяется согласно формуле:

$$V = \sqrt{2 \times h \times g} \quad (3)$$

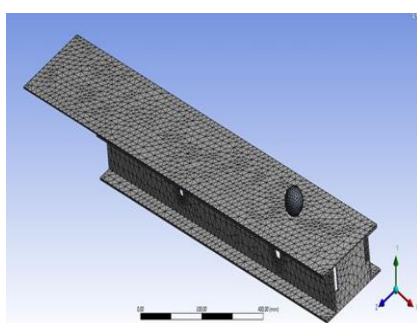
где h – высота падения тела, м; g – ускорение свободного падения $g=9,8 \text{ м/с}^2$.

Для моделируемого случая получим:

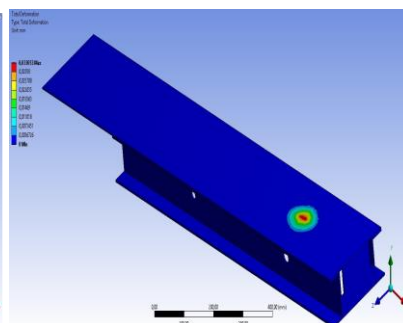
$$V = \sqrt{2 \times 1,1 \times 9,8} = 4,7 \text{ м/с.}$$

За единичный элемент породы принят размер фракции сортового каменного угля «Крупный» с размерами 50-100 мм. Моделирование единичного фрагмента выполнено в виде сферы диаметром 100 мм (рис. 3а). Механические параметры для сферы заданы в соответствии со средними значениями для углей. Плотность составляет 1350 кг/м^3 , а коэффициент Пуассона, $\mu = 0,15$. Модуль продольной упругости, $E = 1,3 \times 10^{10} \text{ Па}$. Закрепление модели выполнялось по отверстиям швеллера направляющей (рис. 3 а, б, в). Результаты исследований показали, что максимальные деформации и напряжения возникают в месте соударения сферы с поверхностью листа и составляют 0,03 мм и 34 МПа соответственно. Величина напряжений и деформаций, возникающих в листе направляющей, позволяют судить о значительном запасе ее прочности.

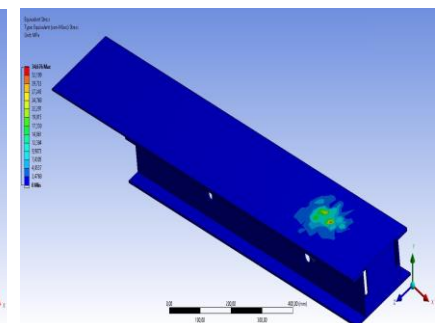
Воздействие массы породы на лист направляющей при полной загрузке бункера масштабной модели



а



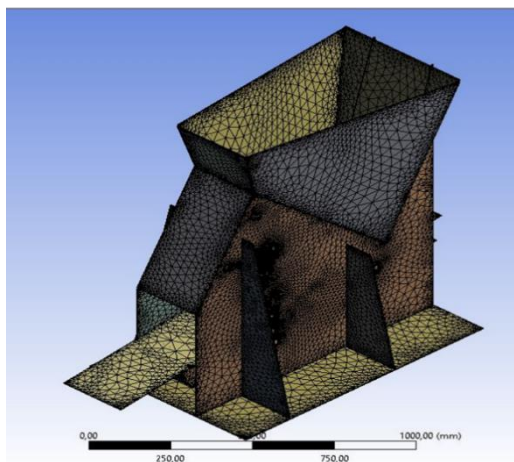
б



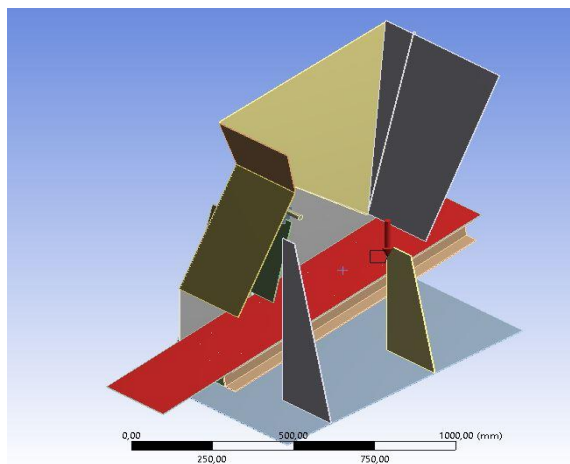
в

Рис. 3. Вид модели с сеткой конечных элементов (а) и результат расчёта суммарных деформаций (б), напряжений (в) возникающих в конструкции

Fig. 3. The view of the model with finite element grid (a) and the total deformations calculation result (b), stresses (c) that take place in a construction

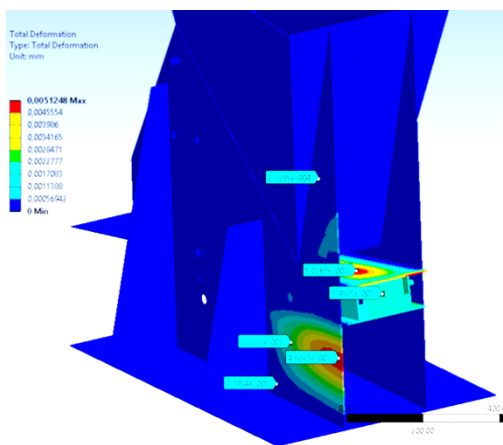


а

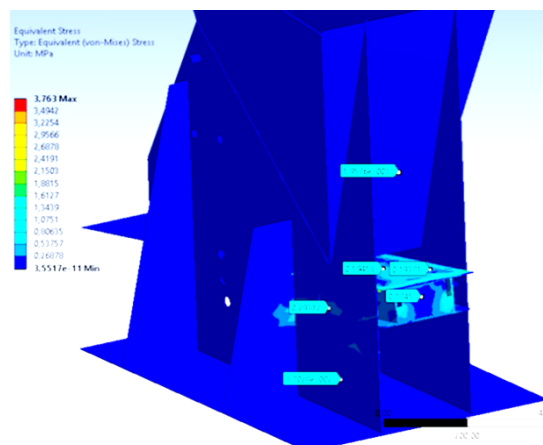


б

Рис. 4. Внешний вид модели с сеткой конечных элементов (а) и приложенным давлением (б)
 Fig. 4. External view of the model with the finite element grid (a) and an applied pressure (b)



а



б

Рис.5. Результат расчёта суммарных деформаций (а) и напряжений (б) возникающих в конструкции
 Fig.5. Total deformation calculation result (a) and stress (b) that appear in the construction.

При моделировании воздействия массы загруженной породы к листу направляющей будет приложено давление, распределенное по его поверхности.

При расчете величины давления принято, что объем массы породы ограничивается размерами бункера, заслонкой и листом направляющей. Данный объем определен графически по трехмерной модели и составляет $V=0,18 \text{ м}^3$. Определим массу данной породы:

$$m = \rho \times V \quad (4)$$

где ρ – плотность, кг/м^3 ; V – объем тела.

$$m = 1350 \times 0,18 = 243 \text{ кг.}$$

Определим давление:

$$P = \frac{m \times g}{s} \quad (5)$$

где m – масса тела, кг ; g – ускорение свободного падения $g=9,8 \text{ м/с}^2$; s – площадь приложения усилия, для листа составляет $s = 0,33 \text{ м}$,

$$P = \frac{243 \times 9,8}{0,33} = 7216,4 \text{ Па.}$$

Результаты моделирования представлены на рис. 4-7.

Установлено, что максимальные деформации, возникающие в конструкции, составляют $0,005 \text{ мм}$, а максимальные напряжения – $3,7 \text{ Мпа}$ (рис. 5. а, б). Деформации внутренней поверхности стенок питателя составляют $0,00005 - 0,00017 \text{ мм}$, а распределение напряжений $0,028 - 0,39 \text{ Мпа}$ (рис. 6 а, б). Распределение деформаций направляющей и листа $0,00002 - 0,005 \text{ мм}$, распределение напряжений $0,0014 - 1,07 \text{ Мпа}$ (рис. 7 а, б).

Таким образом, максимальные деформации происходят на лист направляющей и составляют $0,005 \text{ мм}$; максимальные деформации стенок питателя – до $0,000016 \text{ мм}$; максимальные напряжения, приходящиеся на лист и направляющую масштабной модели питателя $1:4$ составляют $0,0014 - 1,07 \text{ МПа}$, на стенки питателя $0,028 - 0,39 \text{ МПа}$;

в целом напряжения и деформации, возникающие в конструкции масштабной модели питателя 1:4, незначительны и не могут привести к ее разрушению.

Заключение

Моделированием напряженно-деформированного состояния конструкции масштабной модели питателя (1:4) секции крепи с выпуском угля под кровельной толщи установлено:

- максимальные деформации питателя составляют 0,0000098 м, а максимальные напряжения в питателе составляют 4,2 МПа;

- в целом напряжения и деформации, возникающие в питателе, не превышают предел выносливости и предел текучести, что позволяет судить об имеющемся запасе прочности;

- максимальные деформации масштабной модели приходятся на лист направляющей и составляют 0,005 мм, а максима деформации стенок питателя – до 0,000016 мм. Максимальные напряжения, приходящиеся на лист и направляющую,

составляют 0,0014 – 1,07 МПа, а на стенки питателя 0,028 – 0,39 МПа;

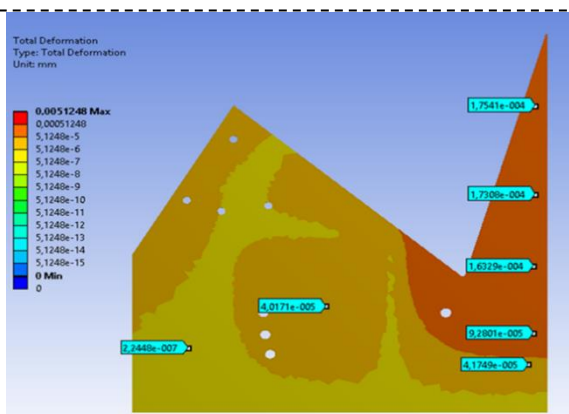
- в целом напряжения и деформации, возникающие в конструкции масштабной модели, незначительны и не могут привести к ее разрушению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

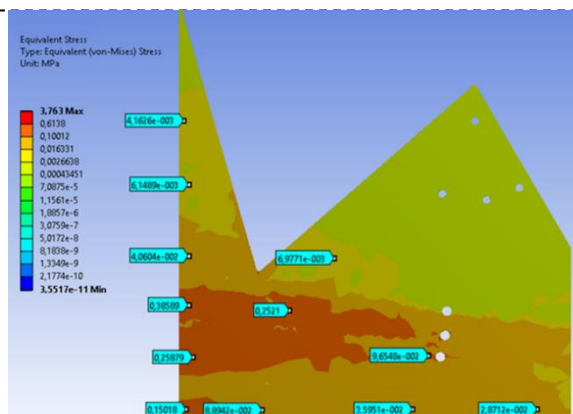
1. Клишин В. И., Фокин Ю. С., Кокоулин Д. И., Кубанычбек Б. Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируемым выпуском угля. – Новосибирск: Наука, 2007. – 135 с.

2. Клишин В. И., Шундулиди И. А., Ермаков А. Ю., Соловьев А. С. Технология разработки запасов мощных пологих пластов с выпуском угля. – Новосибирск: Наука, 2013. – 248 с.

3. Ермаков А. Ю., Качурин Н. М. Обоснование аэрологически безопасной одностадийной технологии отработки мощных пологих пластов с управляемым выпуском угля из межслоевых и подкровельных пачек. – Кемерово: АИ «Кузбасвуиздат», 2018. – 290 с.



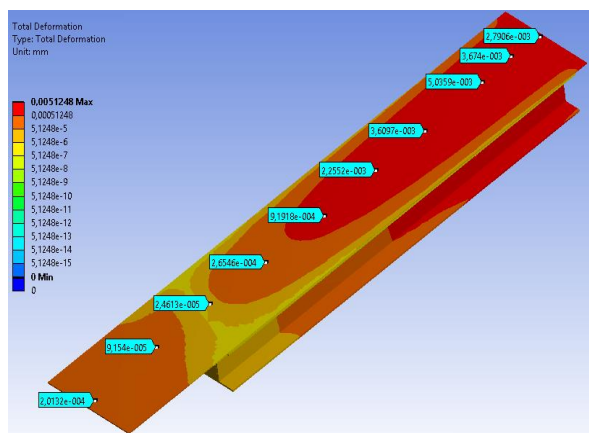
а



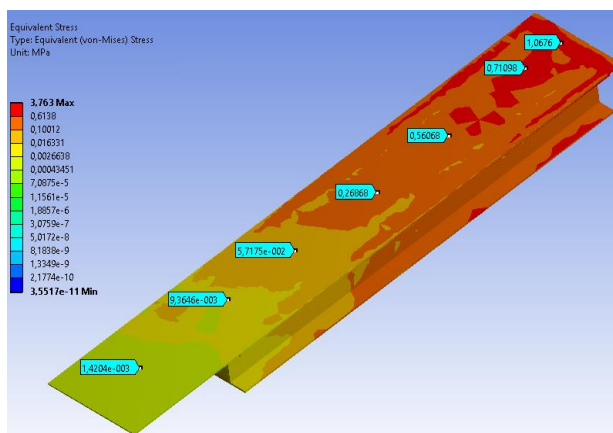
б

Рис. 6. Результат расчёта суммарных деформаций (а) и напряжений (б) для внутренней поверхности стенок питателя

Fig.6. Total deformations calculation result (a) and stresses (b) for internal surfaces of a feeder sides



а



б

Рис. 7. Результат расчёта суммарных деформаций (а) напряжений (б) направляющей и листа

Fig.7. Total deformations calculation result (a) stresses (b) of the bearing slide and a sheet

4. Калинин С. И., Новосельцев С. А., Галимарданов Р. Х., Ренев А. А., Филимонов К. А., Тимошенко А. М., Федорович А. П. Обработка мощного угольного пласта механизированным комплексом с выпуском подкровельной пачки. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 224 с.

5. Ning Shi, Zhizeng Huang. Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions // Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20-21, 2015 Paper No. 354. URL: http://avestia.com/MCM2015_Proceedings/files/papers/MMME354.pdf (дата обращения 11.02.2020).

6. Коровкин Ю. А., Савченко П. Ф. Теория и практика длиннолавных систем. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2012. – 808 с.

7. Nadia Sultana Tarakki [& other] Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field, Dinajpur, Bangladesh. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, April-2016. P. 285.

8. T. D. Le [& other] A Review of Roof Instabilities Associated With Longwall Top Coal Caving. 52nd U.S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, 17-20 June, 2018, Seattle, Washington.

9. Adrian Moodie and James Anderson, Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Caving at Austar Coal Mine, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong &

the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011, 29-39.

10. Tien Dung Le, Rudrajit Mitra, Joung Oh, Bruce Hebblewhite. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving. International Journal of Mining Science and Technology. Volume 27, Issue 6, November 2017, Pages 907-915.

11. Terry Medhurst, Rudd Rankine, Michael Kelly. Development of a method for longwall top coal caveability assessment. 14th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia, 2014, PP. 42-50.

12. Дышловенко, П. Е. Математические основы конечно-элементных методов моделирования: методические указания по решению задач. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 54 с.

13. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов: пер. с англ. – Москва : Мир, 1977. – 349 с.

14. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ.пособие.- М.:Машиностроение,2004.-511

15. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс. 2005 – 640 с., ил.

16. Басов, К. А. ANSYS в примерах и задачах. – Под общ.ред. Д. Г. Красковского. – М: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с: ил.

17. Инженерный анализ в Ansys Workbench. Часть 1. / В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдукова и др. – Учебное пособие. – Самара: Самар. гос. техн.ун-т, 2010. – 271 с.

Vladimir I. Klishin^{1,2}, Dr. Sc. in Engineering, professor, corresponding Member of Russian Academy of Sciences, **Nikolay V. Ababkov**², C. Sc. in Engineering, **Maksim V. Pimonov**², Senior Lecturer, **Yevgeniy A. Khudyntsev**², Postgraduate

¹ The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 650000, Russia, Kemerovo city, prospect Sovetskiy, 18

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia

SIMULATING STRESS-DEFORMED STATE OF A SUPPORT UNIT VIBRATING FEEDER WITH A DISCHARGE OF SUB-ROOF COAL

Abstract: A new direction of constructing powered roof support for applying the technology of developing thick layers with the manipulated discharge of sub-roof coal on the face conveyor that allows increasing the rock mass flow and reducing the losses and coal ash-contents is offered by the Coal Institute of FRC CCC SB RAS. A discharge window in the form of a chute with the installed manipulated feeder is made in a roof support fencing. The calculations of stress-deformed state of the support unit feeder and side boards of the chute are given. On the bases of the obtained data a quarter scale laboratory model for simulating stress-deformed state of the feeder and a support unit chute for researching the coal discharge process was developed.

Keywords: powered roof support, manipulated discharge of coal, feeder, simulation, laboratory model

Article info: received May 27, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-57-63

REFERENCES

1. Klishin V. I., Fokin Yu. S., Kokoulin D. I., Kubanychbek B. Razrabotka moshchnykh plastov mekhanizirovannymi krepami s reguliruyemym vypuskom uglya [Mining for high coals by powered supports with manipulated drawing of coals] / Klishin V.I., Fokin Yu. S., Kokoulin D.I., Kubanychbek B. – Novosibirsk: Nauka, 2007. – 135 p. (in Russian)
2. Klishin V. I., Shundulidi I. A., Ermakov A. Yu., Soloviev A. S. Tekhnologiya razrabotki zapasov moshchnykh plastov s vypuskom uglya [Technology of extraction flat thick coal seams with recovery coal layer]/ Klishin V. I., Shundulidi I. A., Ermakov A. Yu., Soloviev A. S. – Novosibirsk: Nauka, 2013. – 248 p. (in Russian)
3. Ermakov A. Yu., Kacurin N. M. Obosnovaniye aerologicheskoy bezopasnoy odnostadiynoy tekhnologii otrabotki moshchnykh pologikh plastov s upravlyayemym vypuskom uglya iz mezhsloyevykh ii podkrovelnykh pachek [Substantiation of aerologically safe one-stage technology for extracting thick flat layers with manipulated discharge of coal out of interlayer and sublayer top coal] – Kemerovo: AI “Kuzbassvuzizdat”, 2018 – 290 p. (in Russian)
4. Kalinin S. I., Novoseltsev S. A., Galimardanov R. Kh., Renyov A. A., Filimonov K. A., Timoshenko A. M., Fedorovich A. P. Otrabotka moshchnogo ugolnogo plasta mekhanizirovannym-kompleksom s vypuskom podkrovelnoy pachki [Mining thick coal layer by powered unit with discharging sublayer top coal] – Kemerovo: KuzSTU, 2011. – 224 p. (in Russian)
5. Ning Shi, Zhizeng Huang. Application of Longwall Top Coal Caving in Challenging Geological Conditions // Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20-21, 2015 Paper No. 354.
6. Korovkin Yu. A., Savchenko P. F. Teoriya i praktika dlinolavnykh sistem [Theory and practice of longwall systems]. M.: “Gornoye delo” OOO “Kimmeriyskiy tsentr”, 2012. – 808 p. (in Russian)
7. Nadia Sultana Tarakki [& other] Longwall Top Coal Caving Method for Barapukuria Coal Field, Dinajpur, Bangladesh. International Journal

Библиографическое описание статьи

Клишин В.И., Абабков Н.В., Пимонов М.В., Худынцев Е.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния вибропитателя секции крепи с выпуском угля подкrovelной толщи // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 2 (148). – С. 57-63.

of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 4, April-2016. P. 285.

8. T. D. Le [& other] A Review of Roof Instabilities Associated With Longwall Top Coal Caving. 52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 17-20 June, 2018, Seattle, Washington.
9. Adrian Moodie and James Anderson, Geotechnical Considerations for Longwall Top Coal Caving at Austar Coal Mine, 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011, 29-39.
10. Tien Dung Le, Rudrajit Mitra, Joung Oh, Bruce Hebblewhite. A review of cavability evaluation in longwall top coal caving. International Journal of Mining Science and Technology/ Volume 27, Issue 6, November 2017, Pages 907-915.
11. Terry Medhurst, Rudd Rankine, Michael Kelly. DEVELOPMENT OF A METHOD FOR LONGWALL TOP COAL CAVEABILITY ASSESSMENT. 14th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia, 2014, PP. 42-50.
12. Dyshlovenko P. Ye. Matematicheskiye osnovy konechno-elementnykh metodov modelirovaniya: instructional manual on tasks solving [Mathematic bases for finite-element methods of simulation: instructional manual on tasks solving] – Ulyanovsk: UISTU, 2011. – 54 p. (in Russian)
13. Strang G. Teoriya metoda konechnykh elementov [Theory of finite element method] – M: MIR, 1977. – 349 p.
14. Chigaryev A. V., Kravchuk A. S., Smalyuk A. F. ANSYS for engineers: reference book.- M.: Mashinostroyeniye, 2004.-511p (in Russian)
15. Bassov K. A. ANSYS: reference book for users. – M.: DMK Press. 2005 – 640 p. (in Russian)
16. Bassov K. A. ANSYS in case studies. – Under eds of D. G. Krassovskiy. – M: ComputerPress, 2002. – 224 p. (in Russian)
17. Inzhenernyy analiz in Ansys Workbench [Engineering review in Ansys Workbench]. Part 1. / V. A. Bruyaka V. G. Fokin, Ye. A. Soldussova etc. – Textbook. – Samara: Samar. State. Tech. University, 2010.–271 p. (in Russian).

Reference to article

Klishin V.I., Ababkov N.V., Pimonov M.V., Khudyntsev Ye.A. Simulating stress-deformed state of a support unit vibrating feeder with a discharge of sub-roof coal. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.2 (148), pp. 57-63.