ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД В ЛАВЕ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГОЗАЛЕГАЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Рассмотрены тенденции развития мирового энергетического сектора. Изучены направления развития различных областей промышленности Украины по данным «Новой Энергетической стратегии Украины до 2035 года». Предложен вариант повышения производительности отработки угольных пластов, с учетом «Концепции реформирования и развития угольной промышленности до 2020 года». Разработана геомеханическая модель процесса смыкания пород кровли и почвы для пластов разной мощности в условия ГП «УК «Краснолиманская». Получена зависимость между расстоянием от точки смыкания пород до забоя лавы ($l_{см}$) от мощности пласта (m).

Ключевые слова: концепция устойчивого развития, добыча полезных ископаемых, мощность угольного пласта, плавное смыкание, моделирование геомеханических процессов.

Постановка вопроса и актуальность.

Энергетический сектор в разных странах имеет свои особенности, но сейчас во всем мире наблюдается общая тенденция к увеличению использования возобновляемых и альтернативных источников [1]. Однако, на данном этапе нет возможности отказаться от широкого спектра ископаемых углеводородных ресурсов, которые используются для удовлетворения потребностей энергетики, коксохимии и т.п.. Следовательно, чтобы удовлетворить постоянно возрастающие потребности современного общества в количестве производимой электрической энергии добыча углеводородов, в том числе угля, постоянно возрастает вместе с масштабами горных работ [2].

Концепция устойчивого развития и мировые тенденции в энергетике ставят перед Украиной серьезную задачу, т.к. большее количество предприятий промышленного сектора работают с использованием ископаемых источников энергии [3]. На данном этапе в энергетической структуре Украины 60% составляет уголь и природный газ. Согласно «Новой Энергетической стратегии Украины до 2035 года» прогнозируется увеличение части возобновляемой энергетики до уровня 12% от общей первичной поставки энергии к 2020 году (представляет собой сумму производства, импорта и экспорта энергоресурсов в стране) и до 25% к 2035 году [4].

Тенденции добычи угля государственными предприятиями и величина государственной поддержки, а также убытки от про-

изводства готовой товарной продукции в период 2013 – 2016 годов представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Уровень добычи угля государственными предприятиями в 2013 - 2016 г.

Год	Добыто угля, млн.т	Величина гос. под-держки, млрд.грн	Убытки, млрд.грн
2013	8,9	5,1	5,7
2014	7,8	4,1	5
2015	6,7	1,2	4,4
2016	5,8	1,372	2,5

Однако, согласно «Концепции реформирования и развития угольной промышленности до 2020 года» прогнозируемые объемы добычи угля в 2017 году будут составлять 6,3 млн. тонн, в 2018 – 8,7 млн. тонн, в 2019 и 2020 годах более 10 млн. тонн ежегодно.

Рис.1. Уровень и тенденции добычи угля в Украине в период 2013-2020 года

Вышеприведенные данные и сложная ситуация в национальной экономике, приводят к необходимости реструктуризации угольной промышленности, подготовке государственных шахт к приватизации и ликвидации убыточных шахт, в соответствии с Европейскими тенденциями.

Однако, данный процесс займет значительное время, что ставит перед угольной промышленностью Украины первоочередную задачу рационального использования и дальнейшей разработки месторождений, которые эксплуатируются в настоящее время [6].

Задачи исследования. Будущее подземной разработки месторождений будет зависеть от более эффективного использования ресурсов и инновационных методов для повышения производительности отработки угольных пластов, что позволит увеличить объемы добытого сырья и снизить его себестоимость.

Для этого разрабатываются соответствующие геомеханические модели, позволяющие вести прогноз параметров систем разработки, крепи выработок, объемов ремонтных работ. Одна из таких моделей, имитирующая процесс деформирования углевмещающих пород по мере отработки угольного пласта, представлена ниже в условиях Государственного предприятия “Угольная компания “Краснолиманская”.

Геологическая характеристика. На ГП “УК “Краснолиманская” угольный пласт залегает пачками средней мощности. Глубина ведения очистных работ 500 м, а угол падения пласта 8 градусов.

Исходя из физико-механических характеристик породного массива, представленных в таблице 2, была разработана геомеханическая модель процесса деформирования вмещающих пород при изменении мощности угольного пласта в пределах 1,3 – 3,0 метра, что отвечает горно-геологическим условиям разрабатываемых пластов УК “ГП “Краснолиманская”. Физико-механические характеристики породного массива представлены в таблице 2.

Численное моделирование. На основе разработанной и верифицированной геомеханической модели [5] была выполнена оценка влияния изменения значения мощности угольного пласта при прочих равных условиях (геологическое строение породного массива, глубина ведения очистных работ,

угол падения пласта, давление и т.д.) с целью определения расстояния от забоя лавы до точки смыкания пород кровли и почвы. Предполагается плавное опускание пород кровли без разрыва сплошности.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород

Порода	Коеф. крепости	Модуль Юнга Е, МПа	Коеф. Пуассона, μ	Предел прочности на одноосное сжатие R _{сж} , МПа	Мощность пласта, м
Уголь	2	5200	0,3	20	-
Алевролит	2	3062	0,38	20	1,5
Сланец песчаный	3	1714	0,36	25	3
Аргиллит	2	1531	0,4	15	3,7
Известняк серый	4	14698	0,28	35	1,3
Песчаник	4	4042	0,33	36	7,7

Мощность пласта была выбрана следующая: 1,3 м, 2 м, 2,5 м и 3 м.

Геологическое строение и мощности породных слоев для каждой из приведённых моделей оставались неизменными.

Моделирование проходило по аналогичной схеме [5] в 2 этапа:

-определение точки первичного смыкания пород кровли и почвы;

- подтверждение установившегося шага и расстояния между забоем лавы и точкой смыкания.

Общий вид конечноэлементной геомеханической модели для разной мощности пластов представлен на рисунке 2, где m - мощность пласта. Расчеты выполнены в программном комплексе Phase2 канадской компании Rockscience.

Расчет в рамках данной модели позволяет определить точку смыкания, в результате плавного опускания пород кровли и пучения пород почвы, а также расстояние от забоя лавы до точки смыкания. Полученные значения представлены на рис. 3.

Рис. 2. Общий вид конечноэлементной геомеханической модели

а) мощность пласта 1,3 м

б) мощность пласта 2 м

в) мощность пласта 2,5 м

г) мощность пласта 3 м

Рис.3. Расстояние от точки смыкания пород кровли и почвы до забоя лавы () при различной мощности угольного пласта (m)

На рисунке 4 представлена зависимость расстояния от забоя лавы до точки смыкания от мощности угольного пласта.

Полученная на рис.4. кривая с достоверностью $R^2 = 0,987$ аппроксимируется следующей экспоненциальной зависимостью (1):

$$l_{\text{см}} = 8.5 * \exp(0.85 * m) \quad (1)$$

Рис.4. Зависимость расстояния от забоя лавы до точки смыкания ($l_{\text{см}}$) от мощности угольного пласта (m)

Основной задачей второго этапа моделирования является подтверждение установившегося шага и расстояния между забоем лавы и точкой смыкания ($l_{\text{см}}$). Общий вид геомеханической модели для пластов различной мощности для этого случая представлен на рис. 5.

Рис. 5. Общий вид геомеханической модели на 2 этапе: $l_{\text{см}}$ - расстояния между забоем лавы и точкой смыкания пород кровли и почвы, Δl_1 - шаг подвигания забоя лавы, Δl_2 - шаг смыкания.

Данная модель позволяет условно рассмотреть подвигание забоя лавы во времени. При этом величина $l_{\text{см}}$ - расстояния между забоем лавы и точкой смыкания пород кровли и почвы остается постоянной и зависит от мощности пласта (m), что отражено зависимостью:

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 \pm 5\% \quad (2)$$

Расчет второй задачи дает подтверждение полученных результатов и устанавливает шаг смыкания между забоем лавы и точкой смыкания. Т.е. при подвигании забоя лавы на 1 метр точка смыкания смещается на аналогичное расстояние.

Выводы. Растущая конкуренция на мировых энергетических рынках и стремительный научно-технический прогресс в развитии возобновляемых и альтернативных ви-

дов енергії розширяють для України можливості вибору джерелів і шляхів поставок первинних енергетичних ресурсів [4].

На сьогоднішній день підвищення продуктивності видобути вугля стало важливою задачею. Для вугільної промисловості метою є визначення областей втрат, відповідність ринкової ціни і збереження корисної прибутку [7]. Єдиний спосіб досягти цього – скорочення виробничих витрат, підвищення продуктивності праці і ефективності вугледобувального комплексу.

Для гірно-геологічних умов Державного підприємства «Вугільна компанія «Красноліманська» розроблена геомеханічна модель з урахуванням геологічного будови і фізико-механічних характеристик породного масиву. Визначено крок зміщення породи кровлі і ґрунту для різних значень пластів середньої потужності. По результатах моделювання отримано залежність між відстанню від точки зміщення породи до забоя лави від потужності пласта. Доведено, що ця величина ($l_{\text{см}}$) в конкретних гірно-геологічних умовах є постійною по мірі переміщення забоя лави і залежить від потужності пласта (m).

Список літератури

1. The International Energy Outlook 2016. With Projections to 2040. [Електронний ресурс] // U.S. Energy Information Administration. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf).
2. Dubinski J. Sustainable development of mining mineral resources / Dubinski J. // Journal of sustainable mining. – 2013. – №12. – С. 12–18.
3. Концепції реформування та розвитку вугільної промисловості на період до 2020 року [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/733-2017-%D1%80#n8>.
4. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
5. Дубовик А. И. Геомеханическая модель процесса плавного опускания кровли при отработке пологого угольного пласта. / А. И. Дубовик, В. А. Чередник. // Материалы международной конференции «Форум горняков - 2017». – 2017. – Д.: Национальный горный университет, 2017. – 400 с. – С. 166–169.
6. Пивняк Г. Г. Вторая жизнь угольной шахты в современных экономических условиях. / Г. Г. Пивняк, А. Н. Шашенко, М. С. Пашкевич. // Материалы международной конференции «Форум горняков - 2017». – 2017. – Д.: Национальный горный университет, 2017. – 400 с. – С. 9–19.
7. Burchart-Korol D. Development of Sustainability assessment metod of coal mines / D. Burchart-Korol, P. Krawczyk. // Journal of Sustainable Mining. – 2014. – №13. – С. 5–11.

References

1. U.S. Energy Information Administration (2016), “The International Energy Outlook 2016. With Projections to 2040”, [Available at: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)]. (in English)].
2. Dubinski J. (2013), “Sustainable development of mining mineral resources”, Journal of sustainable mining, Vol. 12 (2013), No. 1, pp. 12-18 (in English).
3. The Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), “The Concept of reforming and development of the coal industry until 2020”, [“Konceptsiyi reformuvannya ta rozvytku vugil'noyi promy'slovosti do 2020 roku”], Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/733-2017-%D1%80#n8> (in Ukrainian)].
4. The Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), “New Energy Strategy of Ukraine until 2035”, [“Nova energetychna strategiya Ukrayiny do 2035 roku: “bezpeka, energoefektyvnist, konkurentospromozhnist”], Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112> (in Ukrainian)].
5. Dubovik A.I., Cherednyk V.A. (2017), “Geomechanical model of the lava roof smooth lowering during the coal seam mining”, [“Geomechanicheskaya model protsessy plynogo opuskaniya krovli pri otrabotke plogogo ugolnogo plasta”], Materialy mezhdunarodnoy konfrentsii «Forum gornyakov - 2017», pp. 166-169 (in Russian).
6. Pivniak G.G., Shashenko A.N., Pashkevich M.S. (2017), “The coal mine second life in modern economic conditions”, [“Vtoraya zhizn ugolnoy shahty v sovremennyih ekonomicheskikh usloviyah”], Materialy mezhdunarodnoy konfrentsii «Forum gornyakov - 2017», pp. 9-19 (in Russian).
7. Burchart-Korol D., Krawczyk P., “Development of Sustainability assessment metod of coal mines”, Journal of Sustainable Mining, Vol. 13 (2014), No. 4, pp. 5–11 (in English).

Надійшла до редакції 01.11.2017

Рецензент д-р. техн. наук, проф. О.Е. Кіпко.

Чередник Владислава Андреевна – аспірант, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» (пр. Дмитрия Яворницького, 19, Дніпро, 49005, Україна).

E-mail: vladacher9@gmail.com

ЗАКОНОМІРНОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ВМІЩУЮЧИХ ПОРІД У ЛАВІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ПОЛОГОЗАЛЯГАЮЧИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Анотація. Розглянуті тенденції розвитку світового енергетичного сектора. Вивчено напрямки розвитку різних галузей промисловості України за даними "Нової енергетичної стратегії України до 2035 року". Представлено варіант підвищення ефективності відпрацювання вугільних пластів, з урахуванням "Концепції реформування та розвитку вугільної промисловості до 2020 року". Розроблено геомеханічну модель процесу змикання порід покрівлі та підшви для пластів різної потужності в умовах ДП «БК «Краснолиманська». Отримано залежність між відстанню від точки змикання порід до забою лави ($l_{\text{см}}$) від потужності пласта (m).

Ключові слова: концепція сталого розвитку, видобуток корисних копалин, потужність вугільного пласта, плавне змикання, моделювання геомеханічних процесів.

Чередник Владислава Андріївна – аспірант, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (пр. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, 49005, Україна).

E-mail: vladacher9@gmail.com

PATTERNS OF ADJACENT ROCKS DEFORMATION IN LAVA DURING WORKING OUT OF FLAT-LYING COAL SEAMS.

Abstract. The tendencies of the world energy sector development are considered. The directions of various areas development of Ukraine industry are studied according to the data of the "New Energy Strategy of Ukraine until 2035". The variant of productivity increase of coal seams mining taking into account "The Concept of reforming and development of the coal industry until 2020" is offered. A geomechanical model of the process of closing the roof and floor rocks for layers of different thicknesses in a case of the Coal Company "Krasnoli-manaskaya" is developed. Dependence between a distance from the rock closing point to excavation face from coal seam thickness is established.

Keywords: concept of sustainable development, mining, coal seam thickness, smooth lowering, geomechanical processes modeling.

Cherednyk Vladyslava – post-graduate student, State Higher Educational Institution «National Mining University» (Dmytra Yavornytskoho Ave. 19, Dnipro, 49005, Ukraine).

E-mail: vladacher9@gmail.com