



**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО МНОГОШТРЕКОВОЙ СХЕМЕ
ПОДГОТОВКИ И ОТРАБОТКИ СВИТЫ ВЕСЬМА СБЛИЖЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

А. А. Исаченко¹, Т. В. Петрова²

¹АО «ОУК «Южкuzбассуголь», филиал «Шахта «Ерунаковская-VIII»,
E-mail: metall_kuzbass@mail.ru, пр. Курако 33, г. Новокузнецк 654000, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет,
E-mail: ptrv@yandex.ru, ул. Кирова 42, г. Новокузнецк 654007, Россия

Рассмотрены варианты перехода от двухштрековой к трехштрековой подготовке свиты весьма сближенных пологих угольных пластов, включающие методы определения минимальной ширины ленточных целиков по критериям устойчивости поддерживаемых ими подготовительных выработок и предотвращения геодинамических явлений. Разработан методический подход к последовательному переходу от проверенной производственным опытом двухштрековой подготовки и отработки выемочного столба к трехштрековой.

Выемочный столб, штрек, угольный целик, численное моделирование, подземные выработки, разрушение пород, напряжения, деформации

**JUSTIFICATION OF PROCESS SOLUTIONS ON MULTI-ENTRY PREPARATION
AND MINING OF A SERIES OF VERY CLOSE COAL BEDS**

A. A. Isachenko¹ and T. V. Petrova²

¹JSC OUK Yuzhkuzbassugol, Branch of Erunakovskaya-VIII Mine
E-mail: metall_kuzbass@mail.ru, pr. Kurako 33, Novokuznetsk 654000, Russia

²Siberian State Industrial University, E-mail: ptrv@yandex.ru,
ul. Kirova 42, g. Novokuznetsk 654007, Russia

Variants of the transition from two- to three-entry preparation of a series of very close shallow coal seams are considered, including methods for determining the minimum width of belt pillars based on the stability criteria of supported developing entries and prevention of geodynamic phenomena. A methodical approach is elaborated for the sequential transition from the production-tested two-entry preparation and mining of the extraction pillar to three-entry preparation.

Extraction pillar, entry, coal pillar, numerical modeling, underground workings, rock failure, stresses, strains

В сложных горно-геологических условиях отработки свит сближенных пластов актуальной научно-практической задачей является разработка методических основ перехода от традиционной двухштрековой схемы подготовки и отработки свиты угольных пластов к трехштрековой схеме посредством устранения негативного влияния весьма сближенного надрабатываемого пласта на пучение пород почвы верхнего обрабатываемого пласта. Основная идея многоштрековой подготовки и отработки свиты угольных пластов состоит в том, что посредством уменьшения ширины целиков, их количества и пространственного положения можно не только управлять напряженно-деформированным состоянием массива горных пород с учетом негативного влияния весьма сближенного надрабатываемого пласта, но и использовать дополнительно пройденный вентиляционный штрек бис для газуправления, вспомогательного транспорта и запасного выхода.

Сущность технологии управления состоянием массива горных пород [1, 2] при многоштрековой подготовке выемочных столбов (панелей) состоит в возможности перераспределения веса подработанных пород кровли между параллельными ленточными целиками таким образом, чтобы выполнялись условия: обеспечивалась эксплуатационная устойчивость подготовительных выработок, деформации угля в целиках не превышали предельных значений, уголь в целиках находился в стадии упруго-пластичного состояния. Эти условия исключают возникновение динамических форм проявления горного давления в виде горных ударов, разрушения пород почвы (пучения), прорывов метана из наработанных пластов.

Необходимость применения многоштрековой подготовки и отработки угольных пластов регламентируется следующими аспектами:

1. Высокое газовыделение. В этом случае штреки используются для улучшения проветривания и проведения дегазационных работ.

2. Высокие горизонтальные напряжения. Влияние этого фактора стало учитываться на отечественных и зарубежных шахтах в последние 15–20 лет [1, 2]. При проведении параллельных выработок положение подготовительных забоев должно быть таким, чтобы они располагались в зоне разгрузки позади опережающего очистного забоя. Наиболее благоприятная геомеханическая ситуация создается, когда направление главных горизонтальных напряжений совпадает с направлением движения очистного забоя. В этом случае боковое давление на угольные целики между штреками будет минимальным, а максимальное горизонтальное напряжение будет периодически снижаться при циклическом обрушении подработанных пород основной кровли, что подтверждается результатами математического моделирования напряженно-деформированного состояния массива угля и пород вблизи горных работ [3, 4].

3. Неравномерное поле горизонтальных напряжений. Опорное горное давление в краевой части пласта впереди очистного забоя в виде вертикальных сжимающих напряжений приводит к возникновению горизонтальных напряжений растяжения. Неравномерное поле горизонтальных напряжений характерно для месторождений Кузбасса [5, 6].

В настоящей работе рассматриваются варианты оконтуривания выемочных участков тремя выработками с каждой стороны вместо двух. На одной из шахт Ерунаковского месторождения Кузбасса проведены исследования технологии традиционной и многоштрековой подготовки и отработки свиты весьма сближенных газоносных угольных пластов на глубине более 400 м. В качестве предмета исследований рассмотрены выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности подготовительных выработок, охраняемых ленточными угольными целиками, между соседними отработанными по трехштрековой или двухштрековой схемам выемочными столбами с учетом влияния формы, размеров и пространственного положения очистных и подготовительных выработок, изменчивости горно-геологических условий.

Для получения качественных результатов исследований применен анализ горно-геологических и горнотехнических условий отработки весьма сближенных пластов 2 и 1 рассматриваемого горнодобывающего предприятия, численное моделирование геомеханических процессов, прогнозирование параметров угольных целиков по методике ВНИМИ, статистическая обработка, обсуждение и обобщение результатов.

Программа исследований включала следующие этапы:

- разработка методики проведения исследований;
- численное моделирование геомеханического состояния массива горных пород при двух- и трехштрековой отработке выемочных столбов в панели;
- прогноз по рекомендациям ВНИМИ параметров ленточных целиков при трехштрековой отработке угольных пластов;
- научное обоснование по результатам численного моделирования рекомендаций по выбору оптимального варианта подготовки и отработки конкретных выемочных столбов.

Для исследования закономерностей распределения геомеханических параметров массива горных пород при многоштрековой подготовке и отработке угольного пласта с учетом влияния сближенного нарабатываемого пласта на первом этапе изучалось напряженно-деформированное состояние геомассива при традиционной схеме с одним целиком между выемочными участками, а на втором — исследование влияния с двумя целиками.

Одним из основных геомеханических параметров, влияющих на устойчивость угля и пород в окрестности горных выработок (предельные деформации), является отношение остаточной прочности угля и пород в окрестности горных выработок к их исходной прочности. Для определения этого отношения при сложном напряженно-деформированном состоянии по известным прочностным характеристикам угля и пород, вычисленных методом конечных элементов напряжений и деформаций массива горных пород, использовалась диаграмма “напряжения – деформация” [7].

Исследования проводилось с помощью численного многовариантного моделирования взаимодействующих технологических и геомеханических процессов на основе разработанного в СибГИУ пакета компьютерных программ [8–10], в котором реализована двумерная модель метода конечных элементов. В пакет проблемно-ориентированных программ включены зависимости деформаций угля и пород во времени.

С использованием пакета программ выполнялась дискретизация геометрической модели на конечные элементы и расчет следующих геомеханических параметров: возникающих под влиянием горных выработок дополнительных главных, вертикальных и горизонтальных абсолютных смещений; полных главных, вертикальных, горизонтальных и касательных напряжений; полных главных, вертикальных, горизонтальных и касательных относительных деформаций; коэффициентов концентрации вертикальных и горизонтальных напряжений; отношений остаточной прочности пород к исходной (коэффициента повреждаемости, дезинтеграции).

Решение геомеханической задачи осуществлялось последовательно для следующих вариантов состояния массива горных пород:

- упругое деформирование пород вне зоны влияния горных выработок;
- упругое деформирование пород в зонах влияния горных выработок;
- нелинейное деформирование пород в зонах влияния горных выработок;
- нелинейное деформирование пород с учетом времени эксплуатации выработок.

В результате решения задачи по каждому варианту определялись параметры состояния массива горных пород: полный вектор напряжений и деформаций, отношение остаточной прочности пород к исходной, вертикальные и горизонтальные смещения массива горных пород. На основе численных исследований влияния сближенности угольных пластов на эффективность и безопасность геотехнологии осуществлялась корректировка проектных решений и их реализация для обеспечения условий эксплуатационной устойчивости подготовительных выработок.

Согласно методическим рекомендациям и фундаментальным исследованиям [1, 2, 11–13] в середине угольного целика при отработке одиночного пласта должно быть несущее ядро неразрушенного угля, которое обеспечивает устойчивость целика с граничным критерием отношения остаточной прочности угля к их исходной менее 0.5. При отработке свиты весьма сближенных пластов ситуация, по сравнению с одиночным пластом, усложняется тем, что одновременно с отрабатываемым пластом разрушается и надработанный пласт спутник. Отрабатываемый и надрабатываемый пласты, переменное междупластье, очистные и подготовительные выработки следует рассматривать как единую сложную систему, так как граничный критерий отношения остаточной прочности угля к исходной распространяется на оба пласта и вмещающие породы (рис. 1). Жирной красной линией показаны отношения остаточной прочности угля и пород к исходной: в окрестностях выработок — прочности на сжатие, в целиках между горными выра-

ботками — на растяжение; на рис. 1б показаны отношения остаточной прочности угля и пород на растяжение.

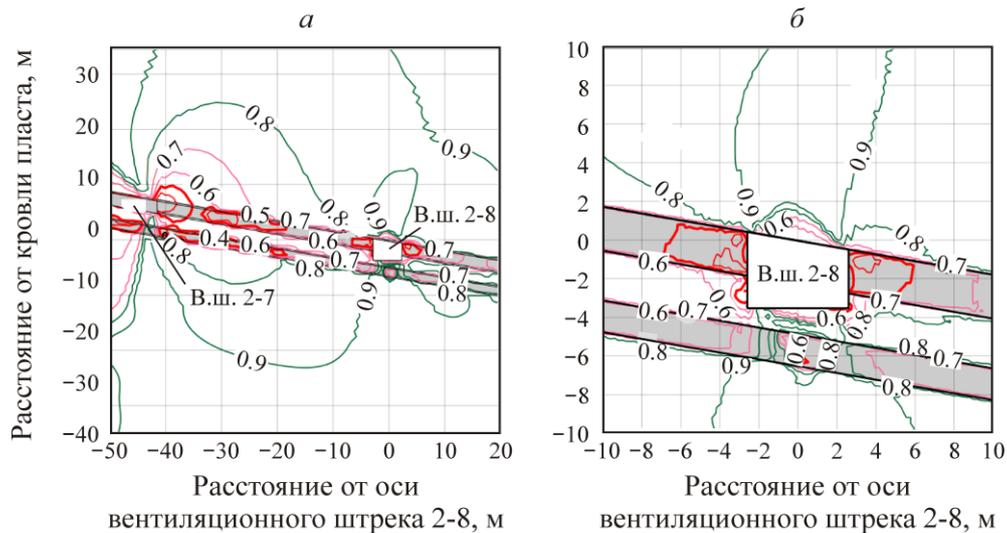


Рис. 1. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в зоне влияния вентиляционного штрека и: *а* — очистного выработанного пространства вышележащего выемочного столба при традиционной схеме подготовки и отработки выемочного столба; *б* — с учетом веса подработанных пород в отработанном верхнем выемочном столбе

Исключение из этой сложной системы хотя бы одного объекта не позволяет получить достоверную информацию о геомеханических параметрах всей технологической схемы выемочных участков. В рамках сложной системы обрабатываемого и надрабатываемого угольных пластов и горных выработок вентиляционный штрек 2-8 на рис. 1б можно рассматривать как локальную подсистему, в которой по мере смещения положения штрека по падению пласта, размеры зоны разрушения угля должны уменьшаться.

На рис. 2 приведены изолинии распределения отношения остаточной прочности (напряжение растяжения вблизи горных выработок, напряжения сжатия — в целике между выработками) угля и пород к исходной в зоне влияния очистного выработанного пространства выемочного столба 2-7, вентиляционных штреков 2-8 и 2-8бис при варьировании ширины целика между вентиляционными штреками от 10 до 40 м. По результатам сравнения графиков на рис. 1, 2 установлено, что проведение дополнительного вентиляционного штрека 2-8бис привело к активизации процесса разрушения и предразрушения пластов 2 и 1.

За счет наложения зон сдвижения в почве штреков и в надработанном пласте 1 (зоны с критерием отношения остаточной прочности угля к исходной 0.5 выделены жирным) расширились зоны разрушения угля и пород. Состояние пород кровли не изменилось. Таким образом, проведение вентиляционного штрека 2-8бис с шириной целика 10 м при трехштрековой отработке пласта 2 приведет к ухудшению геомеханической ситуации. При ширине целика 20 и более метров (рис. 1б) влияние вентиляционного штрека 2бис на форму и размеры зон разрушения угля в целике незначительное.

Для оценки соответствия показателей напряженно-деформированного состояния массива горных пород, полученных по результатам вычислительного эксперимента методом конечных элементов, требованиям нормативных методик проведен расчет ширины угольных целиков по рекомендациям ВНИМИ [11]. Установлено, что вычисленная по нормативно-методическому документу ВНИМИ минимальная ширина устойчивого угольного целика может быть использована только для оценки средних значений, так как в методике ВНИМИ не учтены строение и

свойства пласта в массиве, соотношения размеров целиков в плане и разрезе, наличие в пласте пластичных прослоек, ослабления целика выработками и реологических свойств пород, сближенность угольных пластов в свите.

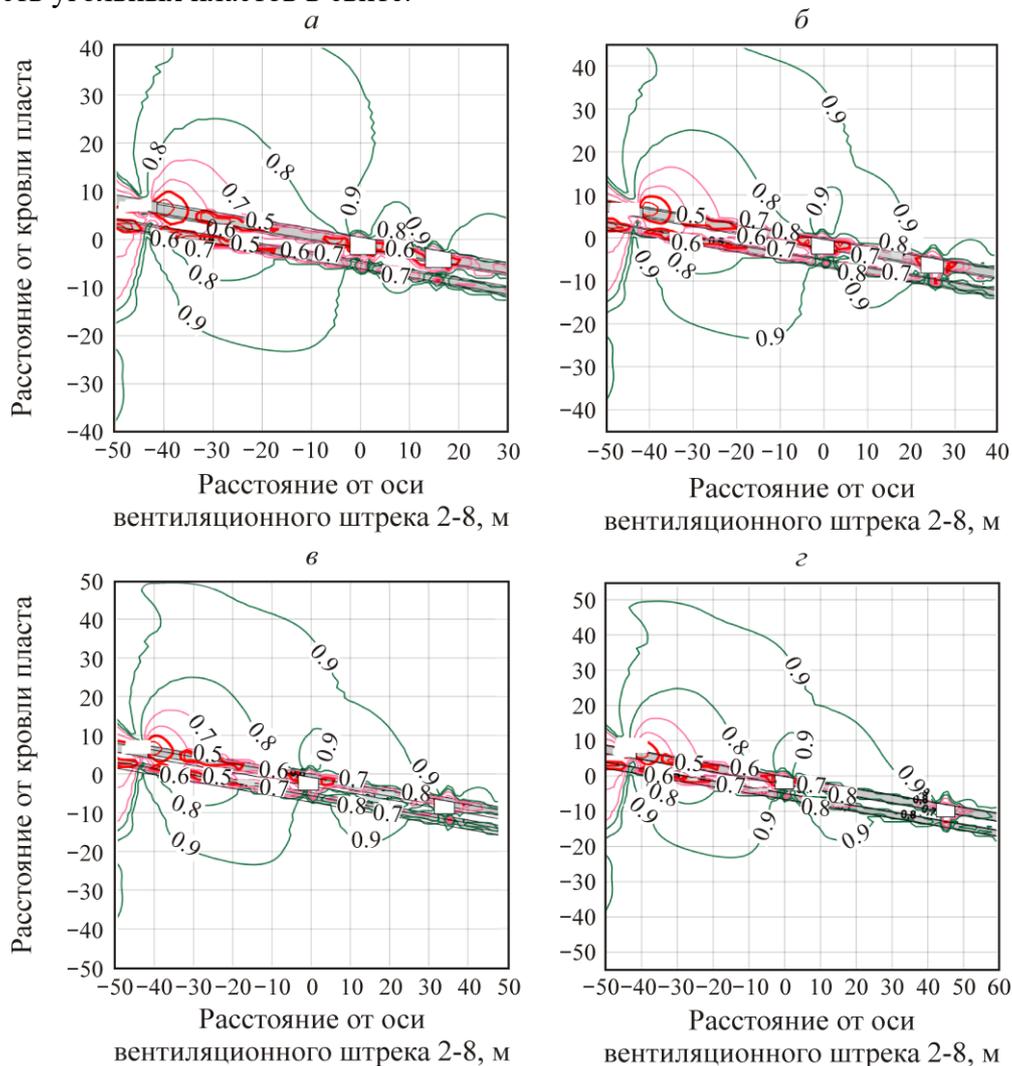


Рис. 2. Изолинии распределения отношения остаточной прочности угля и пород к исходной в зоне влияния очистного выработанного пространства обрабатываемого выемочного столба, вентиляционных штреков 2-8 и 2-8бис при ширине целика между вентиляционными штреками 2-8 и 2-8бис, м: а — 10; б — 20; в — 30; г — 40

Метод конечных элементов позволяет учесть все указанные факторы и признаки изменчивости параметров массива горных пород. Поэтому для расчета минимальной ширины угольных целиков при трехштрековой подготовке и отработке свиты пластов предлагается проводить численное моделирование и оценку полученных параметров целиков на основании рекомендаций ВНИМИ и опыта отечественных и зарубежных шахт [1, 14, 15].

ВЫВОДЫ

По результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород при трехштрековой отработке выемочных участков и оценки соответствия ширины устойчивых угольных целиков, установленных в процессе моделирования и по методике ВНИМИ, разработан методический подход последовательного перехода от проверенной производственным опытом двухштрековой отработки выемочного столба к трехштрековой посредством добавления к вентиляционному штреку 2-8 вентиляционного штрека 2-8бис на рас-

стоянии от 20 до 40 м от первого относительно выработанного пространства вентиляционного штрека, что позволит максимально использовать преимущества трехштрековой схемы и выбрать рациональный ее вариант без существенного изменения организации горнопроходческих работ и снижении негативного влияния надработанного пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Artemiev V. B., Korshunov G. I., Loginov A. K., et al.** Protection of development workings by pillars in coal mines, St. Petersburg, Nauka, 2009, 230 pp. [**Артемьев В. Б., Коршунов Г. И. и Логинов А. К. и др.** Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах. — СПб.: Наука, 2009. — 230 с.]
2. **Korshunov G. I., Loginov A. K., Shik V. M., and Artemiev V. B.** Geomechanics in coal mines, Moscow, Publishing house “Mining” LLC “Cimmerian center”, 2011, 388 pp. [**Коршунов Г. И., Логинов А. К., Шик В. М. и Артемьев В. Б.** Геомеханика на угольных шахтах. — М.: Изд-во “Горное дело” ООО “Киммерийский центр”, 2011. — 388 с.]
3. **Isachenko A. A., Petrov A. A., Petrova O. A., and Rib S. V.** Modeling, taking into account production experience, options for preparing excavation areas when developing very close coal seams, Rational development of mineral resources, 2016, no. 4, pp. 32–37. [**Исаченко А. А., Петров А. А., Петрова О. А., Риб С. В.** Моделирование с учетом производственного опыта вариантов подготовки выемочных участков при разработке весьма сближенных угольных пластов // Рациональное освоение недр. — 2016. — № 4. — С. 32–37.]
4. **Nikitina A. M. and Fryanov V. N.** Geomechanical maintenance of stability of mine workings in a heterogeneous coal-rock mass, Novokuznetsk, Siberian State Industrial University, 2009, 199 pp. [**Никитина А. М. и Фрянов В. Н.** Геомеханическое обеспечение устойчивости горных выработок в неоднородном углепородном массиве. — Новокузнецк: СибГИУ, 2009. — 199 с.]
5. **Lazarevich T. I., Mazikin V. P., Malyi I. A., et al.** Geodynamic regionalization of the Southern Kuzbass. Monograph, Kemerovo, Editorial and publishing firm “Vesti”, 2006, 184 pp. [**Лазаревич Т. И., Мазикин В. П., Малый И. А. и др.** Геодинамическое районирование Южного Кузбасса. Монография. — Кемерово: Редакционно-издательская фирма “Весть”, 2006. — 184 с.]
6. **Petukhov I. M. and Batugina I. M.** Subsoil Geodynamics, Moscow, Nedra communication LTD, 1999, 256 pp. [**Петухов И. М. и Батугина И. М.** Геодинамика недр. — М.: Недра коммюникейшн ЛТД, 1999. — 256 с.]
7. **Petukhov I. M. and Linkov A. M.** Mechanics of rock bursts and emissions, Moscow, Nedra, 1983, 280 pp. [**Петухов И. М., Линьков А. М.** Механика горных ударов и выбросов — М.: Недра, 1983. — 280 с.]
8. **Fryanov V. N. and Pavlova L. D.** Certificate of industry registration of development no. 2673. Spatial computational model of dynamic block collapse of rocks with sequential accumulation of damage; Register date. 05.06.2003, Moscow, Rospatent, 2003. [**Фрянов В. Н. и Павлова Л. Д.** Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 2673. Пространственная расчетная модель динамического блочного обрушения горных пород с последовательным накоплением повреждений; Дата регистр. 05.06.2003. — М.: Роспатент, 2003.]
9. **Fryanov V. N., Petrova O. A., and Petrova T. V.** Certificate of registration of an electronic resource, no. 21123. A set of problem-oriented programs for modeling the formation and distribution of hazardous zones in a gas-bearing geomass, FGBOU VPO Siberian State Industrial University – State Academy of Sciences, INIPI RAO, OFERNiO; Register date. 08.03.2015. [**Фрянов В. Н., Петрова О. А., Петрова Т. В.** Свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 21123. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования формирования и распределения опасных зон в газоносном геомассиве / ФГБОУ ВПО СибГИУ. – Гос. академия наук, ИНИПИ РАО, ОФЭРНiO. Дата регистр. 03.08.2015.]
10. **Kornev E. S., Pavlova L. D., and Fryanov V. N.** Certificate of registration of electronic resource, no. 17997. A set of problem-oriented programs for modeling geomechanical processes in a rock mass during underground mining of coal seams, FGBOU VPO Siberian State Industrial University – State Academy of Sciences, INIPI RAO, OFERNiO; Register date. 01.03.2012. [**Корнев Е. С., Павлова Л. Д. и Фрянов В. Н.** Свидетельство о регистрации электронного ресурса. № 17997. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в массиве пород при подземном добыче угля, ФГБОУ ВПО СибГИУ. – Гос. академия наук, ИНИПИ РАО, ОФЭРНiO. Дата регистр. 01.03.2012.]

тельство о регистрации электронного ресурса № 17997. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов / ФГБОУ ВПО СибГИУ – Гос. академия наук, ИНИПИ РАО, ОФЭРНиО. Дата регистр. 01.03.2012.]

11. **Methodological guide** for the selection of geomechanical parameters of the technology for the development of coal seams with short faces, St. Petersburg, VNIMI, 2003, 55 pp. [**Методическое руководство** по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. — СПб.: ВНИМИ, 2003. — 55 с.]
12. **Guidelines** for the rational location, protection and maintenance of mine workings in coal mines, Moscow, Publishing house “Mining” LLC “Cimmerian Center”, 2011, 216 pp. [**Указания** по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах. — М.: Изд-во “Горное дело” ООО “Киммерийский центр”, 2011. — 216 с.]
13. **Federal norms** and rules in the field of industrial safety “Instructions for predicting dynamic phenomena and monitoring of rock mass during the development of coal deposits”, Moscow, State Unitary Enterprise “STC“ Industrial Safety ”, 2016, 135 pp. [**Федеральные нормы** и правила в области промышленной безопасности “Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений”. — М.: ГУП “НТЦ “Промышленная безопасность”, 2016. — 135 с.]
14. **Geomechanical principles** of preparation of mining at coal mines, Per. from English V. M. Shika, Moscow, Publishing house “Mining” LLC “Cimmerian Center”, 2015, 256 pp. [**Геомеханические принципы** подготовки горного производства на угольных шахтах / Пер. с англ. В. М. Шика. — М.: Изд-во “Горное дело” ООО “Киммерийский центр”, 2015. — 256 с.]
15. **Petukhov I. M., Linkov A. M., Sidorov V. S., et al.** Computational methods in the mechanics of rock bursts and emissions, Moscow, Nedra, 1992, 256 pp. [**Петухов И. М., Линьков А. М., Сидоров В. С. и др.** Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов. — М.: Недра, 1992. — 256 с.]