УДК 622.83+539.4

В.В.ЗУБКОВ, *д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник*, *zubkov2005@yahoo.com*
И.А.ЗУБКОВА, *канд. техн. наук*, *ст. науч. сотрудник*, *zubkov2005@yahoo.com*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

V.V.ZUBKOV, *Dr. in eng. sc.*, *chief research assistant*, *zubkov2005@yahoo.com*
I.A.ZUBKOVA, *PhD in eng. sc.*, *senior research assistant*, *zubkov2005@yahoo.com*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ОТРАБОТКЕ СВИТЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Приводятся результаты объединения геомеханического и геофизического мониторинга. Напряженное состояние отрабатываемых угольных пластов рассчитывается по программе FAULT3D с учетом плана ведения горных работ, особенностей залегания пластов и геологических нарушений. Выполнен анализ сейсмических событий в геодинамически опасной зоне (ГОЗ).

Ключевые слова: геомеханический мониторинг, геофизический мониторинг, программа, напряженно-деформированное состояние, опасная зона.

MODELING OF GEOMECHANICAL PROCESSES AND THEIR GEOPHYSICAL CONTROL IN COAL STRATA MINING

The paper presents the results of combination of geomechanical and geophyisical monitoring. The stress state of the minable coal seams is calculated according to the program FAULT3D with account of mining operations plan, specific seam occurrence and geological disturbances. The analysis of seismic events in the geodynamically hazardous zone has been made.

Key words: geomechanical monitoring, geophysical monitoring, program, stress-strain state, hazardous zone.

Проблема выбора безопасного варианта отработки шахтного поля как на этапе планирования, так и во время ведения горных работ остается актуальной и в настоящее время. При ее решении необходимо учитывать многообразие влияющих факторов: глубину отработки, блочное и слоистое строение породного массива, разрывные нарушения, целики и краевые части выработок смежных пластов свиты, площадь и конфигурацию очистных выработок и другие факторы. При планировании порядка ведения горных работ необходимо, в первую очередь, исключать возникновение зон повышенного горного давления в работающей лаве. Вредное влияние этих зон проявляется не только в увеличении опасности в отношении горных ударов и выбросов, но и других форм проявлений горного давления. Например, в повышении склонности пород к обрушениям и высыпаниям при разработке крутых пластов, в снижении устойчивости вмещающих пород, осложняющих управление кровлей и условиями поддержания подготовительных выработок. В практическом плане такой учет весьма важен, поскольку во многих случаях позволяет сократить площадь пласта, в которой необходимо проводить мероприятия, направленные на предотвращение динамических явлений и поддержание горных выработок.

На многих месторождениях России уже введены в строй системы геофизического

мониторинга. Объединение геомеханического и геофизического мониторинга на шахтах и рудниках в настоящее время стало возможным благодаря прогрессу в развитии численных методов моделирования напряженного состояния, вычислительной и измерительной технике, методах вычислений и технологии обработки информации. Оно взаимно дополняет эти подходы, устраняя их недостатки, а именно, снабжает механические расчеты богатой информацией и дает ясную интерпретацию данным сейсмических наблюдений. В итоге совершенствуется база для принятия геомеханически обоснованных решений, связанных с планированием развития горных работ, прогнозом и предупреждением вредных последствий горного давления, выбором экономически эффективных и экологически безопасных вариантов добычи полезных ископаемых.

Целью данной работы является описание первого шага объединения геомеханического и сейсмического мониторинга на шахтах и рудниках.

Геомеханический прогноз. Оценка напряженного состояния породного массива и отрабатываемых пластов выполняется по программе FAULT3D*. Метод, на котором основана эта программа, представляет собой численную реализацию новых гиперсингулярных граничных интегральных уравнений (ГСИУ). Важное преимущество ГСИУ состоит в том, что они хорошо приспособлены для учета контактных взаимодействий: в ГСИУ входят именно те величины, которые характеризуют такую связь, а именно, разрывы смещений и усилия. При этом как выработки, так и нарушения моделируются поверхностями разрыва полей смещений и напряжений.

Условия на поверхностях контактов разрывных нарушений в общем случае задаются с учетом необратимости взаимных смещений. Для определенности нами используется один из простейших вариантов деформационного описания: считается, что упругое деформирование контакта возможно пока не будет достигнуто предельное усилие на отрыв, либо на сдвиг. Для описания необратимого сдвига для простоты принято условие Кулона – Мора.

Программа FAULT3D позволяет оценить напряженное состояние отрабатываемых угольных пластов с учетом плана ведения горных работ и особенностей их залегания. По результатам расчетов строятся прогнозные карты напряженного состояния. Они представляют собой планы горных работ, на которые нанесены изолинии рассчитанных напряжений, действующих в плоскости любого пласта или горизонта. Такие карты строятся для текущего и планируемых этапов отработки угольных пластов. В первую очередь отображаются геодинамически опасные зоны (ГОЗ). Это область в породном массиве или в плоскости отрабатываемого пласта, в которой вертикальные напряжения $\sigma_y/\gamma H \geq \sigma_{кр}$, $\sigma_y \geq k_{ГОЗ}\gamma H$, где H – текущая глубина; γ – объемный вес пород; $k_{ГОЗ}$ – коэффициент опасности. Например, для условий Воркутского месторождения $k_{ГОЗ} = 1{,}25$.

На рис.1-4 показаны геодинамически опасные зоны, образовавшиеся после отработки лавы 712-с пласта Четвертого на шахте «Комсомольская» около разрывного нарушения E_2 в период с 3-го квартала 2007 г. по 2-й квартал 2008 г.

Отработка лавы привела к образованию ГОЗ, которая охватывает область от линии забоя лавы 812-с и проходит вдоль лавы 712-с, затем – к лаве 612-с. При этом ширина ГОЗ у линии забоя лавы 712-с изменяется от 40 до 100 м (3-й квартал 2007 г. и 3-й квартал 2008 г. соответственно). Ширина ГОЗ вдоль лавы 712-с изменяется от 30 до 130 м (3-й квартал 2007 и 3-й квартал 2008 г. соответственно). Ширина ГОЗ вдоль лавы 612-с изменяется от 100 до 150 м (3-й квартал 2007 г.), составляет 110 м (4-й квартал 2007 г. и 1-й квартал 2008 г.), изменяется от 60 до 135 м (2-й и 3-й кварталы 2008 г. соответственно).

Сейсмический мониторинг. Рассмотрим, как меняется сейсмическая обстановка

* *Линьков А.М.* Метод решения трехмерных задач о пластовых выработках и геологических нарушениях/ А.М.Линьков, В.В.Зубков, М.Хеиб // ФТПРПИ, 1997. № 4.

Linkov A.M., Zubkov V.V., Heib M. Method for solved 3D Problems at clearing excavations and faults // Physico-technical problems in mining Production. 1997. №4.

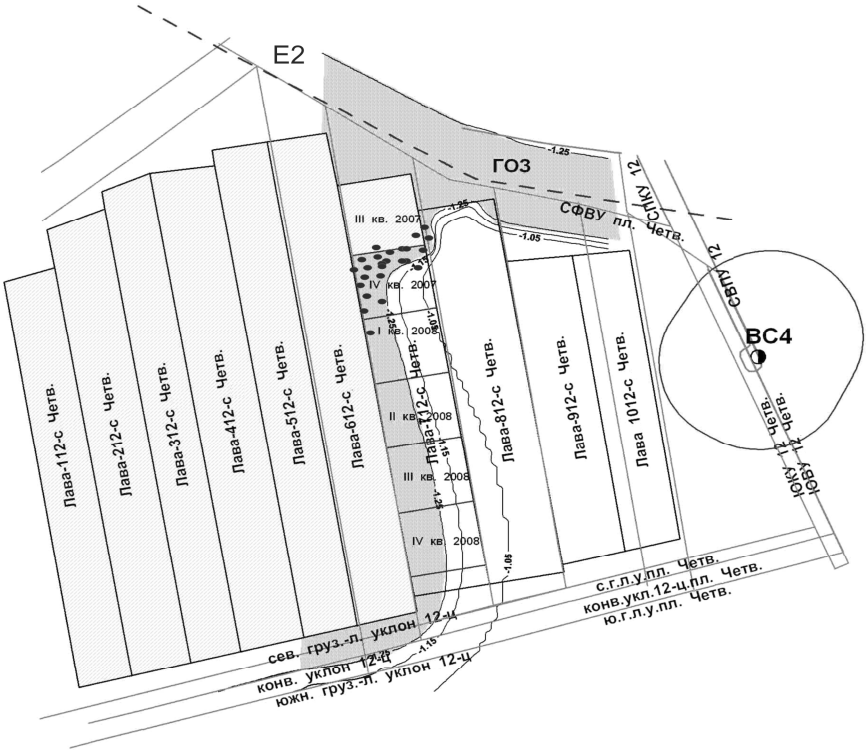


Рис.1. ГОЗ пласта Четвертого после отработки лавы 712-с на шахте «Комсомольская»: в 3-м квартале 2007 г.

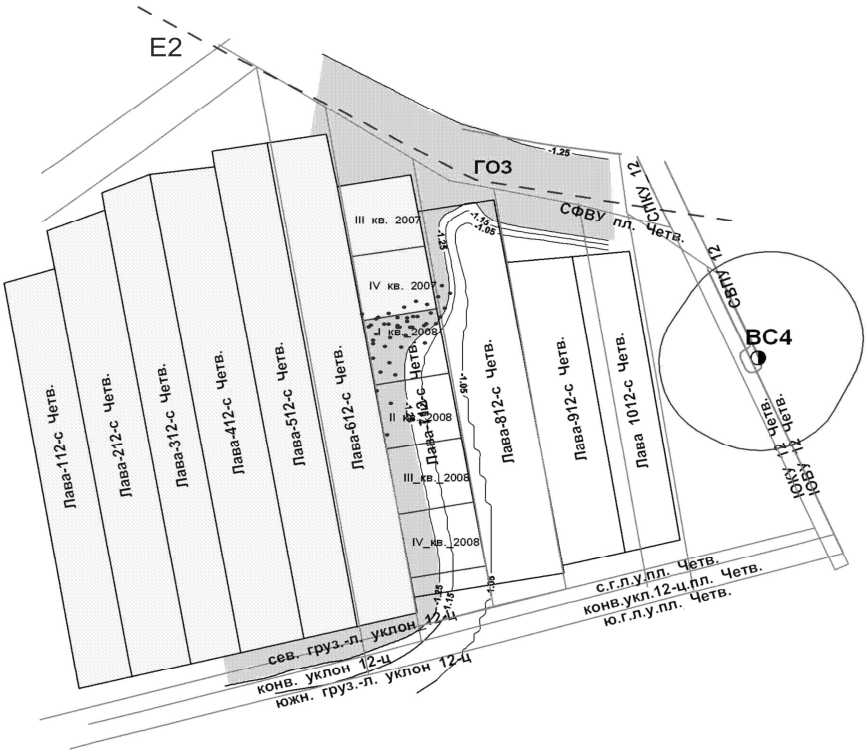


Рис.2. ГОЗ пласта Четвертого после отработки лавы 712-с на шахте «Комсомольская»: в 4-м квартале 2007 г.

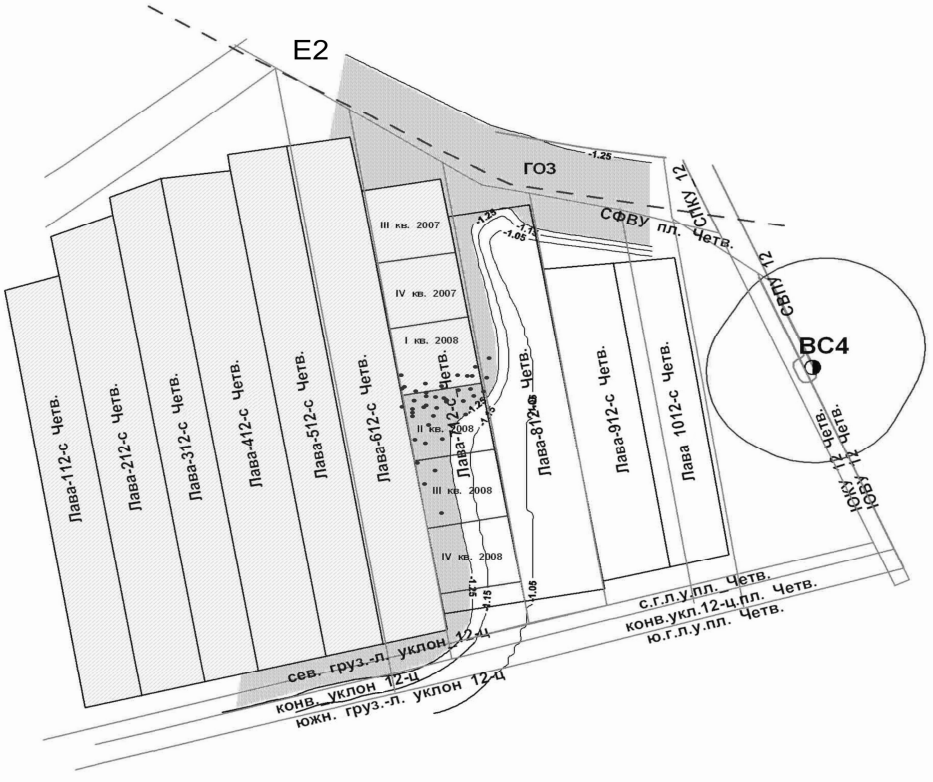


Рис.3. ГОЗ пласта Четвертого после отработки лавы 712-с на шахте «Комсомольская»: в 1-м квартале 2008 г.

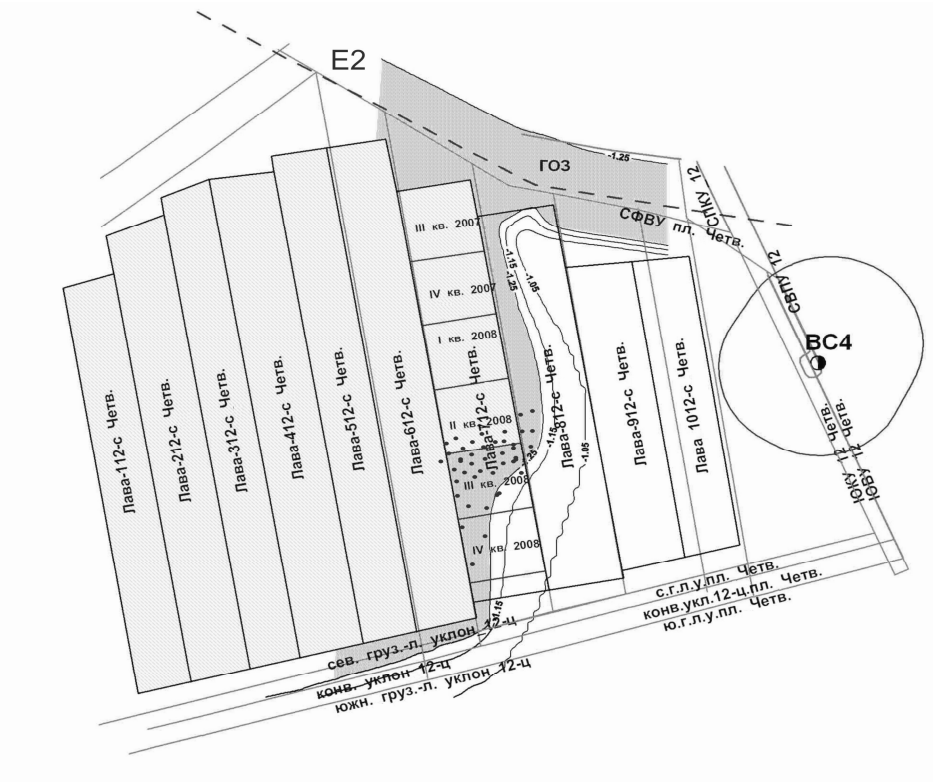


Рис.4. ГОЗ пласта Четвертого после отработки лавы 712-с на шахте «Комсомольская»: во 2-м квартале 2008 г.

при отработке лавы 712-с пласта Четвертого в период с 3-го квартала 2007 г. по 2-й квартал 2008 г. (данные о сейсмических событиях, зарегистрированных Региональным центром геодинамического и сейсмического контроля ОАО «Воркутауголь», предоставлены Л.И.Беляевой):

• 3-й квартал 2007 г. 289 событий с $E > 1000$ Дж (см. рис.1). Из них:

75,6 % – $E = 1000 \div 2000$ Дж;
12,2 % – $E = 2000 \div 3500$ Дж;
10,0 % – $E = 3500 \div 6000$ Дж;
2,2 % – $E = 6000 \div 15000$ Дж.

Сейсмические события в ГОЗ со стороны лавы 612-с с опережением фронта очистных работ (ФОР): до 160 м – $E = 1000 \div 2000$ Дж; до 60 м – $E = 2000 \div 6000$ Дж; 90 м с опережением ФОР на 25 м – $E = 6000 \div 15000$ Дж.

• 4-й квартал 2007 г. – 552 события с $E > 1000$ Дж (рис.2). Из них:

54,4 % – $E = 1000 \div 2000$ Дж;
28,8 % – $E = 2000 \div 3500$ Дж;
10,0 % – $E = 3500 \div 6000$ Дж;
5,8 % – $E = 6000 \div 15000$ Дж;
0,9 % – $E > 15000$ Дж.

Сейсмические события в ГОЗ со стороны лавы 612-с с опережением ФОР: до 245 м – $E = 1000 \div 2000$ Дж; до 150 м – $E = 1000 \div 3500$ Дж; до 160 м – $E = 3500 \div 6000$ Дж; до 130 м – $E = 6000 \div 15000$ Дж; в зоне обрушения пород кровли и поднятия пород почвы – более 15000 Дж.

• 1-й квартал 2008 г. – 491 событие с $E > 1000$ Дж (рис.3). Из них:

57,4 % – $E = 1000 \div 2000$ Дж;
30 % – $E = 2000 \div 3500$ Дж;
7,5 % – $E = 3500 \div 6000$ Дж;
5,1 % – $E = 6000 \div 15000$ Дж.

Сейсмические события в ГОЗ со стороны лавы 612-с с опережением ФОР: до 170 м – $E = 1000 \div 3500$ Дж; до 150 м – $E = 3500 \div 6000$ Дж; до 90 м – $E = 6000 \div 15000$ Дж.

• 2-й квартал 2008 г. – 295 событий с $E > 1000$ Дж (рис.4). Из них:

40,7 % – $E = 1000 \div 2000$ Дж;
31,5 % – $E = 2000 \div 3500$ Дж;
21,4 % – $E = 3500 \div 6000$ Дж;
6,4 % – $E = 6000 \div 15000$ Дж.

Сейсмические события в ГОЗ со стороны лавы 612-с с опережением ФОР: до 490 м – $E = 1000 \div 3500$ Дж; до 70 м – $E = 3500 \div 6000$ Дж; 90 м с опережением ФОР на 100 м – $E = 6000 \div 15000$ Дж.

Следует отметить, что большинство зарегистрированных сейсмических событий (более 80 %) имеют энергию от 1000 до 3500 Дж. Причем доля событий с энергией от 1000 до 2000 Дж составляет 5 %, а с энергией от 2000 до 3500 Дж – 30 %. Кроме того, все эти события произошли в очень узком диапазоне по глубине между отметками –820 и –780 м. Можно считать, что этот диапазон энергии сейсмических событий отвечает основным разрушениям, происходящим впереди фронта очистных работ. Несколько иная картина наблюдается при малом развитии очистных работ по пласту Четвертому в лаве 712-с (3-й квартал 2007 г.). В этом случае доля сейсмических событий с энергией от 1000 до 2000 Дж составляет 75 %.

Выводы

1. Программа FAULT3D позволяет проводить оценку напряженного состояния породного массива около очистных выработок в зоне влияния разрывных нарушений с необходимой точностью для практического использования.

2. Критерий построения границы геодинамически опасной зоны в полной мере отражает влияние основных горно-технических факторов при отработке свиты угольных пластов.

3. Установлено, что подавляющее число сейсмических событий происходит в геодинамически опасной зоне.

4. Установлено, что более 80 % сейсмических событий происходит с энергией от 1000 до 3500 Дж.

5. При отработке угольных пластов основные разрушения породного массива происходят в ГОЗ в интервале ±20 м от отрабатываемого пласта.