

Научная статья

УДК 622.831.322

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-138-145

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПУЧЕНИЯ ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Семенцов Вячеслав Владимирович¹, Осминин Дмитрий Валерьевич¹,
Гоголин Вячеслав Анатольевич², Ермакова Инна Алексеевна²

¹ АО «НЦ ВостНИИ»² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: eia.pm@kuzstu.ru



Информация о статье

Поступила:

01 декабря 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

19 марта 2026 г.

Ключевые слова:

пучение почвы, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, горное давление, конвергенция пород кровли и почвы

Аннотация.

В статье представлены результаты комплексного исследования проявлений горного давления в вентиляционном штреке лавы 48-8 шахты «Ерунаковская-VIII», находящейся на глубине 600–650 м. Особое внимание уделено явлению пучения почвы, которое оказывает существенное влияние на безопасность и эффективность очистных работ. Установлено, что пучение обусловлено не только напряженно-деформированным состоянием массива горных пород под действием опорного давления от очистного забоя, но и реологическими свойствами пород непосредственной почвы, в частности, их склонностью к ползучести. Для прогнозирования деформаций использовано численное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе «ELCUT», учитывающее сложные горно-геологические и горнотехнические условия. На основе результатов проведенных численных экспериментов установлена длина зоны влияния очистного забоя на деформационное состояние штрека. Исследовано изменение конвергенции кровли и почвы по длине штрека, начиная от сопряжения штрека с лавой. Из общей конвергенции выделены две составляющие – смещения кровли и смещения (пучение) почвы. Установлено, что основную долю в конвергенцию кровли и почвы штрека вносят смещения почвы. Расчет пучения почвы с учетом ползучести пород проводился методом переменных модулей деформаций пород. Показано, что ползучесть пород непосредственной почвы приводит к значительному увеличению пучения почвы по всей длине штрека. Проведенные натурные наблюдения подтвердили достоверность численных прогнозов. На основе полученных данных предложены практические рекомендации по повышению безопасности ведения работ, включая увеличение скорости продвижения забоя, оптимизацию параметров крепи и сечения выработки.

Для цитирования: Семенцов В.В., Осминин Д.В., Гоголин В.А., Ермакова И.А. Прогнозирование пучения почвы горных выработок на основе численного моделирования для повышения безопасности ведения очистных работ в угольных шахтах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 1 (173). С. 138-145. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-138-145, EDN: HNJHBL

Введение

Исследованиями доказано, что достоверное прогнозирование проявлений горного давления в выемочных горных выработках во многом предопределяет эффективность и безопасность

ведения очистных работ в угольных шахтах [1, 2].

Шахтными наблюдениями АО «НЦ ВостНИИ» в условиях отработки лавы 48-8 шахты «Ерунаковская-VIII» установлено, что пучение почвы вентиляционного штрека 48-8 в

значительной степени влияет на возникновение аварийных ситуаций по фактору проявлений горного давления при ведении горных работ на выемочном участке.

Характер и интенсивность пучения определяют способы борьбы с пучением, тип и параметры крепи горных выработок, а также сечения горных выработок при их проведении и эксплуатации.

Прогнозирование пучения почвы горных выработок является довольно сложной задачей [3–6]. Численное моделирование позволяет в заданных горно-геологических и горнотехнических условиях прогнозировать интенсивность пучения почвы на различных этапах поддержания горных выработок и заблаговременно разработать меры по борьбе с пучением.

Повышение безопасности ведения очистных работ в угольных шахтах и разработка новых ресурсосберегающих технологий выемки угольных пластов возможны на основе комплексных исследований [7–9], включающих анализ практического опыта отработки угольных пластов [10–12], шахтные наблюдения и компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива с

использованием численного моделирования.

Краткая характеристика горно-геологических и горнотехнических условий отработки лавы 48-8

Пласт 48, обрабатываемый шахтой «Ерунаковская-VIII», залегает на глубине 600÷650 м при средней мощности пласта 2,1 м и среднем угле падения пласта 11°. Мощность пород непосредственной кровли достигает 10 м, а мощность пород основной кровли пласта 48 составляет 22 м. Непосредственная почва пласта 48 имеет мощность 0,35÷1,7 м и склонна к пучению. Ниже пласта 48 залегает пласт 45 мощностью 1,4 м. Мощность междупластья изменяется от 2,6 м до 16,7 м. Породы кровли и почвы представлены алевролитами, аргиллитами и песчаниками.

Механизированная отработка пласта 48 ведется системой разработки длинными столбами по простиранию с полным обрушением кровли. Длина очистного забоя составляет 300 м, а скорость его подвигания в среднем изменяется от 2 до 7 м/сут.

Вентиляционный штрек 48-8 сечением в свету 18,0 м² пройден по углу с присечкой почвы и кровли пласта 48 и закреплен анкерной крепью. Ширина выработки составляет 5,2 м, а высота – 3,5 м.

Расчетная схема

Численное моделирование геомеханического состояния вентиляционного штрека проводилось методом конечных элементов [13–15] по лицензионной программе «ELCUT» с учетом имеющихся решений конкретных задач [16–20]. В вертикальном разрезе массива горных пород, поперечном вентиляционному штреку, выделялась прямоугольная расчетная область (Рис. 1а) Размеры области по горизонтали составляли 300 м, а по вертикали – 450 м. Такие размеры расчетной области позволяли устранить влияние штрека на граничные условия. На верхней границе области задавались нормальные напряжения, соответствующие глубине проведения вентиляционного штрека, равной 600 м. На боковых и нижней границах в нормальных к ним направлениях задавалось условие неподвижности. Касательные напряжения на всех границах отсутствовали. Горные породы в расчетной области находились в поле гравитационных сил.

В плоском вертикальном поперечном сечении штрека (Рис. 1б) и сечении вкрест простирания пласта (Рис. 1в) учитывались основные структурные элементы вмещающих пород пласта 48 и пласта 45. Элементы расчетной схемы: 1 – пласт 48; 2 – лава 48-8; 3 – вентиляционный

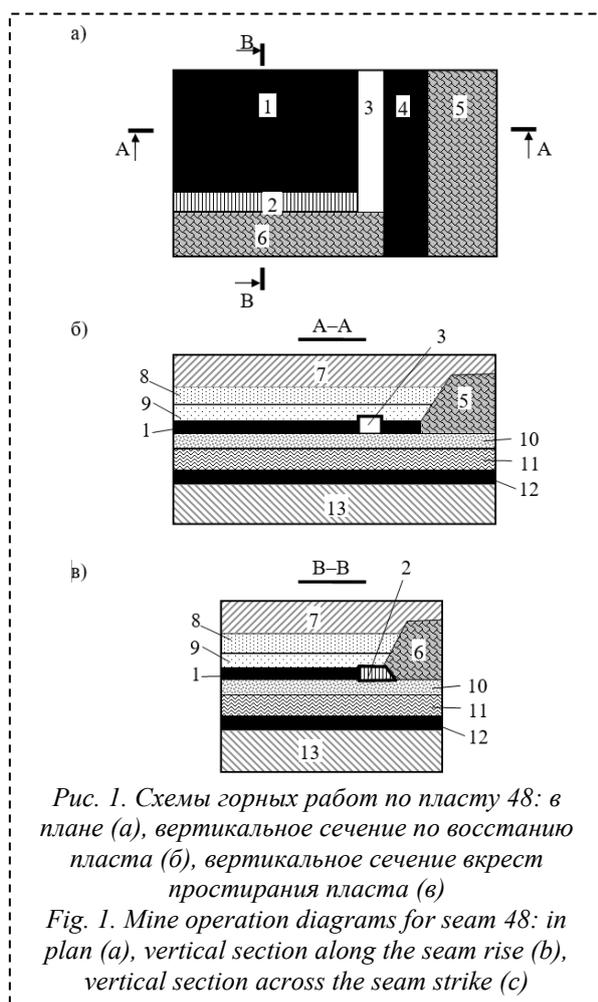


Рис. 1. Схемы горных работ по пласту 48: в плане (а), вертикальное сечение по восставию пласта (б), вертикальное сечение вкрест простирания пласта (в)

Fig. 1. Mine operation diagrams for seam 48: in plan (a), vertical section along the seam rise (b), vertical section across the seam strike (c)

Таблица 1. Физико-механические и геометрические характеристики основных слоев массива горных пород

Table 1. Physical, mechanical and geometric characteristics of the main layers of the rock mass

| Слой | Мощность, m , м | Плотность, ρ , кг/м ³ | Модуль линейных деформаций E , МПа | Коэффициент поперечных деформаций ν |
|-----------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| Основная кровля пласта 48 | 20,0 | 2500 | $3 \cdot 10^4$ | 0,25 |
| Непосредственная кровля пласта 48 | 10,0 | 2500 | $2 \cdot 10^4$ | 0,25 |
| Пласт 48 | 2,1 | 1400 | $1 \cdot 10^3$ | 0,22 |
| Непосредственная почва пласта 48 | 1,5 | 2500 | $1 \cdot 10^2$ | 0,28 |
| Междупластье | 3,0 | 2500 | $8 \cdot 10^2$ | 0,25 |
| Пласт 45 | 1,4 | 1400 | $1 \cdot 10^3$ | 0,22 |
| Основная почва пласта 45 | - | 2500 | $3 \cdot 10^4$ | 0,25 |
| Обрушенные породы кровли | 12,5 | 2000 | $8 \cdot 10^2$ | 0,30 |

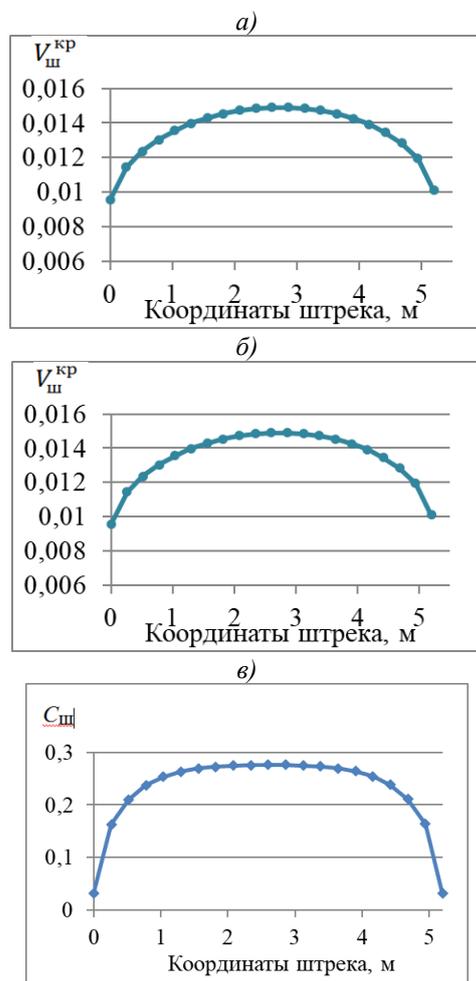


Рис. 2. Смещения кровли $V_{ш}^{кр}$ (а), смещение почвы $V_{ш}^{п}$ (б), конвергенция кровли и почвы $C_{шп}$ (в) вентиляционного штрека 48-8 до начала ведения очистных работ

Fig. 2. Roof displacement (a), soil displacement (b), convergence of the roof and soil of the (c) ventilation drift 48-8 before the start of cleaning

обрушенные породы лавы 48-7; 6 – обрушенные породы лавы 48-8; 7 – кровля; 8 – основная кровля пласта 48; 9 – непосредственная кровля пласта 48; 10 – непосредственная почва пласта 48; 11 – междупластье; 12 – пласт 45; 13 – непосредственная почва пласта 45.

Входные данные и основные результаты

Физико-механические и геометрические характеристики основных слоев горных пород в расчетной области приведены в Таблице 1.

Число узлов сетки конечных элементов составляло порядка $4 \cdot 10^5$. Среднее число узлов на 1 м² расчетной области равно 3, а на границе со штреком – 50. Точность решения контролировалась выполнением граничных условий.

Смещения пород кровли $V_{ш}^{кр}$ и почвы $V_{ш}^{п}$, а также их конвергенция $C_{шп}$ до начала ведения очистных работ показаны на Рис. 2.

Конечная (измеряемая) конвергенция кровли и почвы штрека C_k определялась разностью конвергенции с дополнительной нагрузкой штрека $C_{шп}$ и предварительной конвергенцией до начала отработки лавы $C_{ш}$.

На Рис. 3 представлен результат расчета конвергенции кровли и почвы C_k вентиляционного штрека 48-8, находящегося в зоне влияния опорного давления от очистных работ.

Как показало численное моделирование, наибольшая конвергенция кровли и почвы вентиляционного штрека лавы 48-8 происходит на расстоянии до 50 м от очистного забоя.

Учитывая, что непосредственная почва пласта 48 склонна к пучению, было установлено влияние фактора времени, связанного с ползучестью породы непосредственной почвы, на конвергенцию кровли и почвы вентиляционного штрека 48-8 в соответствии с методом переменных модулей [21-25].

штрек 48-8; 4 – межластный целик; 5 –

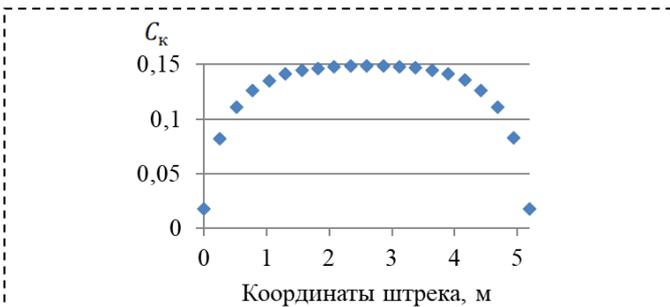


Рис. 3. Распределение конвергенции кровли и почвы C_k вентиляционного штрека 48-8 в зоне максимума опорного давления от очистных работ
 Fig. 3. Distribution of roof and soil convergence C_k of ventilation drift 48-8 in the zone of maximum supporting pressure from mining operations

Таблица 2. Деформационные характеристики непосредственной почвы с учетом ползучести
 Table 2. Deformation characteristics of the immediate soil taking into account creep

| | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| $x, м$ | 7,5 | 15 | 45 | 80 | 120 |
| $t_x, сут.$ | 56,5 | 52,5 | 37,5 | 20,0 | 0 |
| $E \cdot 10^{-7}, МПа$ | 4,7 | 4,8 | 5,0 | 5,5 | 10,0 |
| μ | 0,40 | 0,39 | 0,37 | 0,35 | 0,28 |

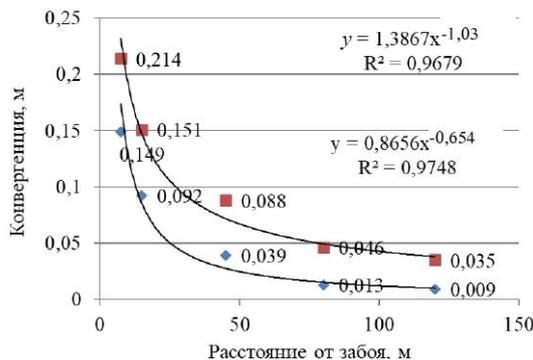


Рис. 4. Конвергенция кровли и почвы по длине вентиляционного штрека от очистного забоя: синий маркер – без учета ползучести пород почвы; красный маркер – с учетом ползучести пород почвы
 Fig. 4. Convergence of the roof and soil along the length of the ventilation drift from the working face: blue marker – without taking into account the creep of soil rocks; red marker – taking into account the creep of soil rocks

Деформационные характеристики непосредственной почвы с учетом ползучести при скорости подвигания очистного забоя 2 м/сут приведены в Таблице 2.

На Рис. 4 показано изменение конвергенции кровли и почвы по длине вентиляционного штрека.

Из Рис. 4 следует, что учет ползучести пород непосредственной почвы пласта 48 показывает рост конвергенции кровли и почвы вентиляционного штрека 48-8 в 1,6 раза на

расстоянии 15 м от сопряжения очистного забоя и штрека и в 3,6 раза на расстоянии 50 м от очистного забоя.

Важно отметить, что смещения почвы вносят наибольший (до 90%) вклад в конвергенцию вентиляционного штрека.

На расстоянии 15 м от забоя величина конвергенции без учета ползучести непосредственной почвы составляет 149 мм, а с учетом ползучести равна 214 мм (см. Рис. 4). Дополнительно установлено, что если пучению подвержены также породы междупластья, то величина пучения почвы вентиляционного штрека 48-8 может составить 889 мм на протяжении 15 м от очистного забоя.

При отработке выемочного участка 48-9 по пласту 48 шахты «Ерунаковская-VIII» АО «НЦ ВостНИИ» были установлены реперные станции для наблюдения за изменением конвергенции пород кровли и почвы в вентиляционном штреке на различных этапах поддержания относительно опорного давления от очистных работ (Таблица 3).

Натурные наблюдения за изменением конвергенции пород кровли и почвы в вентиляционном штреке 48-8 подтверждают результаты прогнозирования с использованием численного моделирования методом конечных элементов. Полученные уравнения регрессии позволяют рассчитать величину конвергенции на различном расстоянии от очистного забоя.

Заключение и выводы

1. Разработана методика численного моделирования смещений кровли, почвы и конвергенции выемочных горных выработок, учитывающая влияние очистных работ на условия поддержания выработок и фактор времени.

2. Методика позволяет прогнозировать негативные проявления горного давления в выемочных выработках, такие как пучение почвы, куполообразование, вывалы и разрушения боков.

3. Достоверное определение интенсивности горного давления на различных этапах поддержания горной выработки относительно очистных работ позволяет заблаговременно принять меры по борьбе с пучением (выбор оптимальных параметров подвигания очистного забоя, параметров крепи и сечения горных выработок, применение направленного гидроразрыва кровли или разгрузки массива скважинами и др.) для обеспечения безопасного эксплуатационного состояния выработки.

Таблица 3. Результаты наблюдений за изменением конвергенции пород кровли и почвы в вентиляционном штреке 48-8

Table 3. Results of observations of changes in the convergence of roof and soil rocks in ventilation drift 48-8

| № | Дата замера, ДД.ММ | Положение забоя лавы 48-8 | Место измерений в вентиляционном штреке 48-8 | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | ПК 30 | ПК 35 | ПК 40 | ПК 45 |
| | | | Расстояние между реперами кровля-почва, мм | | | |
| 1 | 07.10 | ПК 4 | 2991 | 2864 | 2026 | 2105 |
| 2 | 14.10 | ПК 8 | 2953 | 2825 | 1982 | 2056 |
| 3 | 28.10 | ПК 15-3м | 2900 | 2764 | 1932 | 2020 |
| 4 | 23.11 | ПК 19-3м | 2800 | 2663 | 1816 | 1950 |
| 5 | 08.12 | ПК 24+2м | 2605 | 2581 | 1753 | 1900 |
| 6 | 23.12 | ПК 29-3м | 2200 | 2396 | 1679 | 1860 |
| 7 | 12.01 | ПК 32-4м | - | 2185 | 1597 | 1793 |
| 8 | 25.01 | ПК 34+2м | - | 1900 | 1482 | 1741 |
| 9 | 08.02 | ПК 37-4м | - | - | 1200 | 1669 |
| 10 | 01.03 | ПК 44-5м | - | - | - | 1300 |
| Конвергенция пород кровли и почвы в вентиляционном штреке 48-8 на расстоянии 140-160 м от очистного забоя, мм | | | 91 | 201 | 273 | 245 |
| Конвергенция пород кровли и почвы в вентиляционном штреке 48-8 на расстоянии 50-60 м от очистного забоя, мм | | | 386 | 468 | 544 | - |
| Конвергенция пород кровли и почвы в зоне сопряжения вентиляционного штрека 48-8 с очистным забоем (до 15 м впереди очистного забоя), мм | | | 791 | 964 | 826 | 805 |

4. Пучение почвы вентиляционного штрека 48-8 лавы 48-8 по пласту 48 шахты «Ерунаковская-VIII» обусловлено наряду с горным давлением также и ползучестью пород непосредственной почвы.

5. Эксплуатация вентиляционного штрека 48-8 в условиях шахты «Ерунаковская-VIII» сопровождается значительным пучением почвы, превышающим критическое значение 500 мм, и без применения дополнительных мер по борьбе с пучением не позволяет обеспечить безопасность ведения горных работ на выемочном участке по фактору проявлений горного давления.

6. Натурными наблюдениями и численным моделированием установлено, что одной из наиболее эффективных мер по снижению пучения почвы вентиляционного штрека 48-8 в условиях шахты «Ерунаковская-VIII» является повышение скорости подвигания очистного забоя, что позволяет снизить влияние ползучести непосредственной почвы штрека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенцов В. В., Осминин Д. В., Нифанов Е. В. Устойчивость выемочных горных выработок при обработке пластов с труднообрушающимися кровлями //

Вестник НЦ ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 3. С. 14–25.

2. Семенцов В. В., Гоголин В. А., Ермакова И. А., Исаченко А. А. Влияние скорости подвигания очистного забоя при отработке выемочного участка 48-8 филиала шахты «Ерунаковская-VIII» АО «ОУК Южкзбассуголь» на изменение состояния приконтурного геомассива, влияющего на развитие аварийных ситуаций // Уголь. 2023. № 4. С. 37–41.

3. Демин В. Ф., Яворский В. В., Демина Т. В., Стефлюк Ю. Ю. Разработка эффективных способов борьбы с пучением пород почвы в подготовительных выработках угольных шахт // Успехи современного естествознания. 2015. № 12. С. 95–99.

4. Ткачев В. А., Черных В. Г., Прозорова Ю. А. Исследование влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на пучение почвы подготовительных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 4. С. 338–343.

5. Кузьмин С. В., Сальвассер И. А. Поиск перспективных способов борьбы с пучением пород почвы в горных выработках шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» // Маркшейдерский вестник. 2014. № 3. С. 39–43.

6. Ghorbani M., Shahriar K., Sharifzadeh M., Masoudi R. A critical review on the developments of rock support systems in high stress ground conditions // International Journal of Mining Science and Technology. 2020. Vol. 30. Iss. 5. Pp. 555–572.

7. Игнатов Е. В., Тюленев М. А. Геомеханическое

обоснование геометрических и технологических параметров системы разработки «длинными полосами с короткими забоями» // Техника и технология горного дела: научно-практический журнал. 2023. № 2. С. 59–87.

8. Зубов В. П., Ле Куанг Фук. Разработка ресурсосберегающей технологии выемки пологих угольных пластов с труднообрушающимися породами кровли (на примере шахт Куангниньского угольного бассейна) // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 1–12. DOI: 10.31897/PMI.2022.72.

9. Зубов В. П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. 2018. № 6. С. 77–83.

10. He Manchao, Wang Qi, Wu Qunying. Innovation and future of mining rock mechanics // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2021. № 13(1). Pp. 1–21.

11. Rashed G., Mohamed K. & Kimutis R. A coal rib monitoring study in a room-and-pillar retreat mine // Int. J. Min. Sci. Technol. 2021. № 31. Pp. 127–135.

12. Xu X., He F., Li X., He W. Research on mechanism and control of asymmetric deformation of gob side coal roadway with fully mechanized caving mining // Eng. Fail. Anal. 2021. № 120. Pp. 1–12.

13. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике М.: Мир, 1975. 271 с.

14. Фадеев А. В. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.

15. Карасев М. А. Эффективное применение численных методов анализа для решения задач геомеханики // Записки Горного института. 2010. Т. 185. С. 161–165.

16. Казанин О. И., Сидоренко А. А., Ильинец А. А., Васильев В. Ф. Численные исследования пучения почвы штреков при применении разгрузочных щелей на шахте

«Талдинская-западная 2» // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2018. Вып. 3. С. 171–178.

17. Сахно И. Г., Негрей С. Г., Лызенко А. А. Математическое моделирование деформационных процессов в разрушенных горных породах с помощью метода конечных элементов // Сб. науч. тр. ДонНТУ. 2008. Вып. № 14. С. 121–124.

18. Гапеев С. Н., Лозовский С. П., Рязанцев А. П. Компьютерное моделирование процесса пучения почвы в подготовительных выработках // Сб. науч. тр. междунар. конф. «Неделя горняка». М.: МГУ, 2003. Т. 1. С. 99–101.

19. Клыков А. Е., Широколов Г. В. К расчету пучения почвы протяженной выработки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 4 (116). С. 43–48.

20. Шашенко Н. В., Хозяйкина А. Н., Дубовик А. И., Сосна Д. О. Методика численной имитации процесса пучения пород почвы в магистральных выработках // ВІСТІ Донецького гірничого інституту. № 2(41). 2017. С. 23–32.

21. Griffiths D. V., Marquez R. M. Three-dimensional slope stability analysis by elasto-plastic finite elements // Géotechnique. 2007. Vol. 57. № 6. Pp. 537–546.

22. Yudan J. Numerical Modelling of Shaft Lining Stability. Abstract of Ph.D. Dissertation. Nottingham, 2010. 311 p.

23. Sloan, S.W. 2013. Geotechnical stability analysis // Géotechnique. Vol. 63. № 7. Pp. 531–572.

24. Амусин Б. З., Линьков Л. М. Применение метода переменных модулей в задачах линейнонаследственной ползучести // Труды ВНИМИ. 1973. № 88. С. 180–184.

25. Литвинский Г. Г. Закономерности длительной прочности горных пород // Проблемы горного давления. 2015. № 1(26). С. 94–98.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Семенов Вячеслав Владимирович, исполнительный директор – первый заместитель генерального директора АО «НЦ ВостНИИ», (Кемерово, 650000, Институтская, 3), к.т.н., e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru

Осминин Дмитрий Валерьевич, заведующий лабораторией горной геомеханики АО «НЦ ВостНИИ», (Кемерово, 650000, Институтская, 3), к.т.н., e-mail: d.osminin@nc-vostnii.ru

Гоголин Вячеслав Анатольевич, профессор кафедры математики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (Кемерово, 650000, ул. Весенняя, 28), д.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2153-9358>, e-mail: gva.pm@kuzstu.ru

Ермакова Инна Алексеевна, профессор кафедры математики, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (Кемерово, 650000, ул. Весенняя, 28), д.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2153-9358>, e-mail: eia.pm@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Семенов Вячеслав Владимирович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, анализ данных, выводы.

Осминин Дмитрий Валерьевич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, анализ данных, выводы.

Гоголин Вячеслав Анатольевич – сбор и анализ данных, проведение расчетов, выводы, написание текста.

Ермакова Инна Алексеевна – сбор и анализ данных, проведение расчетов, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

FORECASTING SOIL HEAVING IN MINE WORKINGS BASED ON NUMERICAL MODELING TO IMPROVE THE SAFETY OF MINING OPERATIONS IN COAL MINES

Viacheslav V. Sementsov¹, Dmitriy V. Osminin¹,
Viacheslav A. Gogolin², Inna A. Ermakova²

¹ JSC «NC VostNII»

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: eia.pm@kuzstu.ru



Article info

Received:

01 December 2025

Accepted for publication:

15 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

19 March 2026

Keywords: finite element method, stress-strain state, convergence of roof rocks and soil, soil heaving

Abstract.

The paper presents the results of a comprehensive study on rock pressure manifestations in the gate road of longwall panel 48-8 at the Erunakovskaya–VIII mine, located at a depth of 600–650 m. Particular emphasis is placed on sole heave, a phenomenon that significantly impacts the safety and efficiency of longwall mining operations. It has been established that sole heave is caused not only by the stress–strain state of the rock mass under abutment pressure from the advancing longwall face but also by the rheological properties of the immediate sole strata—specifically, their tendency toward creep. Deformations were predicted using finite element numerical modeling implemented in the licensed software package “ELCUT”, which accounts for complex geomechanical and mining conditions. Based on the numerical experiments, the extent of the longwall face’s influence zone on the gate road’s deformation behavior was determined. The variation in roof-to-sole convergence along the gate road—starting from its intersection with the longwall face—was analyzed. The total convergence was decomposed into two components: roof displacement and sole displacement (heave). It was found that sole displacement constitutes the predominant contribution to the overall roof-to-sole convergence. The calculation of sole heave accounting for rock creep was performed using the variable rock deformation modulus method. The analysis demonstrates that creep in the immediate sole leads to a significant increase in sole heave along the entire length of the gate road. Field monitoring data confirmed the reliability of the numerical predictions. Based on the obtained results, practical recommendations are proposed to enhance operational safety, including increasing the face advance rate, optimizing support design parameters, and adjusting the cross-sectional dimensions of the roadway.

For citation: Sementsov V.V., Osminin D.V., Gogolin V.A., Ermakova I.A. Forecasting soil heaving in mine workings based on numerical modeling to improve the safety of mining operations in coal mines. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 1(173):138-145. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-138-145, EDN: HMJHBL

REFERENCES

1. Sementsov V.V., Osminin D.V., Ivanov E.V. Stability of excavation workings when working out layers with hard-to-collapse roofs. *Bulletin of the Scientific Center of VostNII on industrial and environmental safety*. 2021; 3:14–25.
2. Sementsov V.V., Gogolin V.A., Ermakova I.A., Isachenko A.A. The influence of the speed of movement of the treatment face during the development of the excavation site 48-8 of the Yerunakovskaya–VIII branch of the Yuzhkuzbassugol mine on the change in the state of the contour geomass affecting the development of emergency situations. *Coal*. 2023; 4:37–41.
3. Demin V.F., Yavorsky V.V., Demina T.V., Steflyuk Yu.Yu. Development of effective ways to combat heaving of soil rocks in preparatory workings of coal mines. *Successes of modern natural science*. 2015; 12:95–99.
4. Tkachev V.A., Chernykh V.G., Prozorova Yu.A. Investigation of the influence of mining-geological and mining-technical factors on soil heaving of preparatory workings. *Mining information and analytical bulletin*. 2016; 4: 338–343.
5. Kuzmin S.V., Salvasser I.A. Search for promising ways to combat heaving of soil rocks in the mine workings of JSC SUEK-Kuzbass. *Surveying bulletin*. 2014; 3:39–43.
6. Ghorbani M., Shahriar K., Sharifzadeh M., Masoudi R. A critical review on the developments of rock support systems in high stress ground conditions. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020; 30(5):555–572.

7. Ignatov E.V., Tyulenev M.A. Geomechanical substantiation of geometric and technological parameters of the development system «long strips with short faces». *Technique and technology of mining: scientific and practical journal*. 2023; 2:59–87.
8. Zubov V.P., Le Kuang Fook. Development of resource-saving technology for excavation of shallow coal seams with hard-to-collapse roof rocks (on the example of the mines of the Kuangning coal basin). *Notes of the Mining Institute*. 2022; 257:1–12.
9. Zubov V.P. Applied technologies and actual problems of resource conservation in underground mining of stratified mineral deposits. *Mining Journal*. 2018; 6:77–83.
10. He Manchao, Wang Qi, Wu Qunying Innovation and future of mining rock mechanics. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2021; 13(1)1–21.
11. Rashed G., Mohamed K., Kimutis R. A coal rib monitoring study in a room-and-pillar retreat mine. *Int. J. Min. Sci. Technol.* 2021; 31:127–135.
12. Xu X., He F., Li X., He W. Research on mechanism and control of asymmetric deformation of gob side coal roadway with fully mechanized caving mining. *Eng. Fail. Anal.* 2021; 120:1–12.
13. Zenkevich O. The finite element method in engineering M.: Mir; 1975. 271 p.
14. Fadeev A.V. The finite element method in geomechanics. M.: Nedra; 1987. 221 p.
15. Karasev M.A. Effective application of numerical analysis methods for solving problems of geomechanics. *Notes of the Mining Institute*. 2010; 185:161–165.
16. Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Ilyinets A.A., Vasiliev V.F. Numerical studies of soil heaving of drifts when using unloading slots at the Taldinskaya-Zapadnaya 2 mine. *News of TulSU. Earth Sciences*. 2018; 3:171–178.
17. Sakhno I.G., Negrey S.G., Lysenko A.A. Mathematical modeling of deformation processes in destroyed rocks using the finite element method. *Sb. nauch. tr. DonNTU*. 2008; 14:121–124.
18. Gapeev S.N., Lozovsky S.P., Ryazantsev A.P. Computer modeling of the soil heaving process in preparatory workings. *Collection of scientific tr. international conference «Miner's Week»*. M.: MGSU; 2003; 1:99–101.
19. Klychkov A.E., Shirokolobov G.V. On the calculation of soil heaving of extended workings. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016; 4(116):43–48.
20. Shashenko N.V., Khozyaykina A.N., Dubovik A.I., Sosna D.O. Methodology of numerical imitation of the process of soil heaving in Master's work. *NEWS of the Donetsk Mining Institute*. 2017; 2(41):23–32.
21. Griffiths D.V., Marquez R.M. Three-dimensional slope stability analysis by elasto-plastic finite elements. *Geotechnique*. 2007; 57(6):537–546.
22. Yudan J. Numerical Modelling of Shaft Lining Stability. Abstract of Ph.D. Dissertation. Nottingham, 2010. 311 p.
23. Sloan S.W. Geotechnical stability analysis. *Geotechnique*. 2013; 63(7):531–572.
24. Amusin B.Z., Linkov L.M. Application of the method of variable modules in linear hereditary creep problems. *Proceedings of VNIMI*. 1973; 88:180–184.
25. Litvinsky G.G. Patterns of long-term rock strength. *Problems of rock pressure*. 2015; 1(26):94–98.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Viacheslav V. Sementsov Executive Director -First Deputy General Director of JSC «NC VostNII», (Kemerovo, Russian Federation, 650000, Institutaska, 3), DSc (Engineering), e-mail: v.sementsov@nc-vostnii.ru

Dmitrij V. Osminin Head of the Laboratory of Mining Geomechanics of JSC «NC VostNII», (Kemerovo, Russian Federation, 650000, Institutaska, 3), DSc (Engineering), e-mail: d.osminin@nc-vostnii.ru

Viacheslav A. Gogolin. Professor of the Department of Mathematics, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (Kemerovo, Russian Federation, 650000, Vesennyaya, 28), DSc (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2153-9358>, e-mail: gva.pm@kuzstu.ru

Inna A. Ermakova, Professor of the Department of Mathematics, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (Kemerovo, Russian Federation, 650000, Vesennyaya, 28), DSc (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2153-9358>, e-mail: eia.pm@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Viacheslav V. Sementsov – research problem statement; scientific management conceptualisation of research, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions.

Dmitrij V. Osminin – research problem statement; conceptualisation of research, data analysis, drawing the conclusions.

Viacheslav A. Gogolin – data collection, data analysis, carrying out calculations, drawing the conclusions, writing the text.

Inna A. Ermakova – reviewing the relevant literature; carrying out calculations, data analysis, drawing the conclusions, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

