

## Научная статья

УДК 629.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-128-140

Аксенов Владимир Валерьевич<sup>1,2</sup>, Копытов Александр Иванович<sup>2</sup>,  
Пашков Дмитрий Алексеевич<sup>2\*</sup>, Вети Ахмед Аиманович<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

<sup>3</sup>Западно-Сибирский филиал ООО «АЗОТ МАЙНИНГ СЕРВИС»

\* для корреспонденции: pashkov.d.a@inbox.ru

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КЛИНОВОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ПОЛКА В САЕ FIDESYS

### Аннотация.

В ходе реконструкции горнодобывающих предприятий важной задачей является совмещение углубки вертикального ствола с работой эксплуатационного подъема, осуществляющего выдачу горной массы на поверхность. Углубка стволов представляет собой ключевой этап реконструкции, поскольку только после ее завершения становится возможным выполнение горнопроходческих и подготовительных работ на нижележащих горизонтах, обеспечивающих доступ к новым запасам полезного ископаемого. В этих условиях безопасность проходчиков обеспечивается предохранительными полками, воспринимающими ударные воздействия от технологической просыпи горной массы, образующейся во время работы грузочного устройства или при аварийной саморазгрузке скипов. Существующие методы определения ударных нагрузок на предохранительные полки опираются преимущественно на эмпирические зависимости, включающие значительное число трудноопределяемых коэффициентов. Это снижает точность расчетов и ограничивает их применимость в современной инженерной практике. Повышение достоверности оценки нагрузок требует использования математического моделирования и современных численных методов. В настоящем исследовании выполнено определение напряженно-деформированного состояния элементов клинового предохранительного полка в отечественной САЕ-платформе FIDESYS. Применение данного программного комплекса позволило выполнить анализ прочности конструкции, повысить точность расчетов для обоснования параметров клинового предохранительного полка в условиях ствола «Скиповой» шахты «Шерегешская» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК»). На основе результатов имитационного моделирования определены напряжения в основных конструктивных элементах клинового предохранительного полка. Для верхнего предохранительного полка выявлено снижение уровня напряжений при увеличении высоты сброса частиц (на 40,88% в амортизирующем устройстве, на 67,72% в буферной плите и на 59,73% в несущем элементе). В то же время для элементов нижнего предохранительного полка выявлен рост напряжений (на 148,22% в амортизирующем устройстве, 97,93% в буферной плите и 80,83% в несущем элементе), связанный с перераспределением массы и усилением динамического воздействия просыпи горной массы на верхний полк.



### Информация о статье

Поступила:

13 февраля 2026 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 мая 2026 г.

Принята к печати:

15 июня 2026 г.

### Ключевые слова:

Вертикальный ствол, скиповой подъем, клиновой предохранительный полк, аварийная просыпь, МКЭ, САЕ FIDESYS, виртуальное моделирование

**Для цитирования:** Аксенов В.В., Копытов А.И., Пашков Д.А. Вети А.А. Численное моделирование изменения напряженно-деформированного состояния элементов клинового предохранительного полка в САЕ FIDESYS // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 3 (185). С. 128-140. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-128-140, EDN: OMBTGL

## Введение

Углубка вертикальных стволов шахт в большинстве случаев выполняется без остановки работы эксплуатационного подъема, обеспечивающего транспортирование горной массы на поверхность. В таких условиях защита проходческих работ на углубляемых участках обеспечивается предохранительными полками (ПП), воспринимающими ударные нагрузки от технологической просыпи горной массы, возникающей при работе загрузочного устройства или аварийной саморазгрузке скипов [1–3].

Предохранительные полки представляют собой класс подземных инженерных сооружений, рассчитанных на восприятие значительных динамических воздействий [4–7]. Анализ существующих конструкций предохранительных полков показывает, что они характеризуются высокой материалоемкостью, конструктивной громоздкостью, значительными трудозатратами при монтаже и демонтаже, а

также недостаточным уровнем безопасности, особенно в условиях увеличения глубины вертикальных стволов и перехода к применению высокопроизводительных большегрузных подъемных сосудов [8].

Проблема усугубляется тем, что расчет параметров предохранительных полков основан преимущественно на эмпирических зависимостях, содержащих большое число трудноопределяемых коэффициентов, что снижает точность проектных решений и ограничивает их применение в современной практике [9–10]. Ранее проведенные исследования также не привели к созданию конструкций, полностью удовлетворяющих производственным требованиям на современном этапе развития технологического комплекса эксплуатации вертикальных скиповых стволов. В условиях роста глубины разработки месторождений и увеличения динамических нагрузок задача создания эффективных, экономичных и надежных предохранительных полков становится особенно актуальной [5–6].

Коллектив авторов на протяжении ряда лет проводит исследования по определению параметров клиновых предохранительных полков, применяемых при углубке вертикальных скиповых стволов шахт, оснащенных многоканатным подъемом (Рис. 1) [11].

Конструкция включает две смещенные по высоте части, каждая из которых содержит:

- амортизирующее устройство 1, 7, выполненное из деревянного бруса с наклонной отражательной плоскостью, футерованной металлическим листом;
- буферную распределительно-утяжелительную плиту 2, 8, выполненную из монолитного железобетона;
- несущий элемент 3, 9, выполненный из металлопроката и опирающийся на фундамент 4;
- разделительную стенку 5, соединяющую обе части предохранительного полка и полностью перекрывающую сечение вертикального ствола.

Эффективность работы конструкции достигается за счет того, что наклонная отражательная плоскость нижней части полка входит в отбойную нишу, обеспечивая смещение горной массы в заданную технологическую нишу околоствольного двора рабочего горизонта. Параллельное расположение буферной плиты, амортизирующего элемента и опорных балок относительно наклонной плоскости способствует равномерному восприятию и гашению нагрузки, возникающей при ударе падающих частиц.

В рамках настоящей работы поставлена задача с использованием методов математического моделирования и численного анализа обосновать конструк-

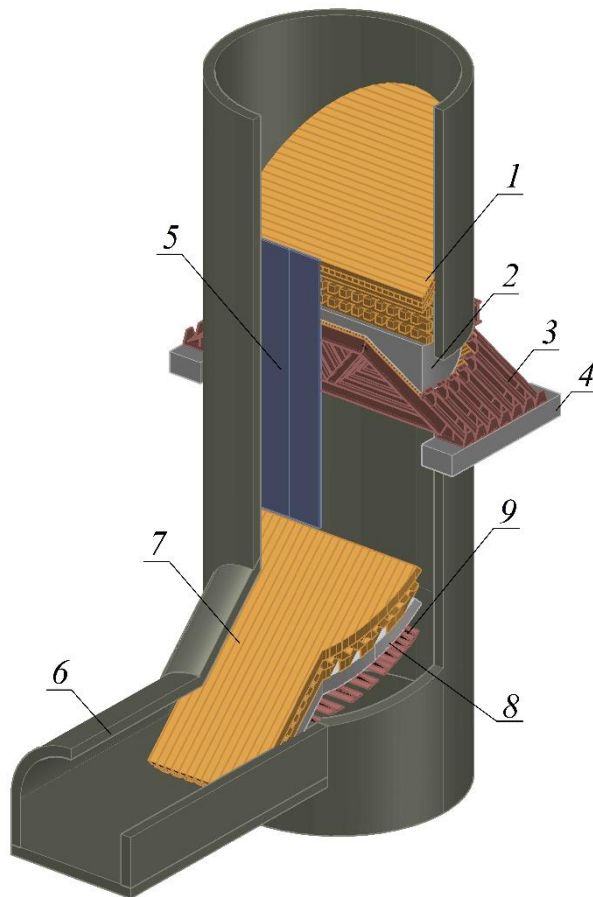


Рис. 1. Клиновой предохранительный полк  
1, 7 – амортизирующее устройство; 2, 8 – буферная распределительно-утяжелительная плита; 3, 9 – несущий элемент; 4 – фундамент; 5 – разделительная стенка;  
6 – отбойная ниша

Fig. 1. Wedge-type protective shelf  
1, 7 – shock absorber; 2, 8 – buffer distribution and weight plate; 3, 9 – load-bearing element; 4 – foundation; 5 – dividing wall;  
6 – baffle niche

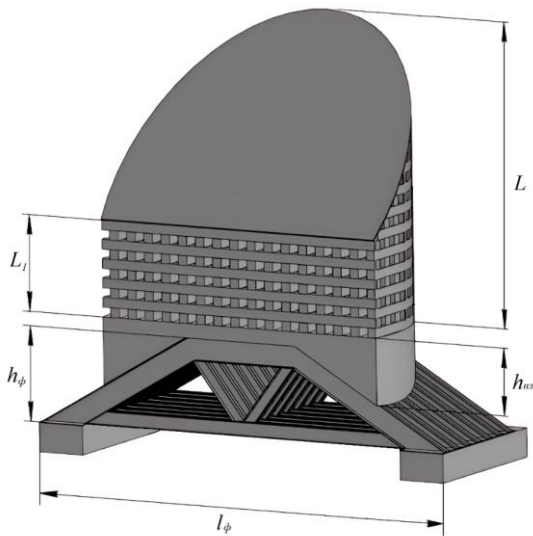


Рис. 2. Геометрические параметры верхнего предохранительного полка  
 $l_{\phi}$  – ширина фермы;  $h_{\phi}$  – высота фермы;  
 $h_{нп}$  – высота буферной распределительно-утяжелительной плиты;  $L$  – полная конструктивная высота АУ;  $L_1$  – высота АУ до начала наклонной плоскости

Fig. 2. Geometrical parameters of the wedge-type protective shelf

$l_{\phi}$  – truss width;  $h_{\phi}$  – truss height;  
 $h_{нп}$  – height of the buffer distribution and weight plate;  $L$  – total structural height of the truss;  $L_1$  – height of the truss to the start of the inclined plane

тивные параметры и определить напряженно-деформированное состояние элементов клинового предохранительного полка в отечественной САЕ-платформе FIDESYS [12–15].

Для оценки конструкции предохранительного полка методом виртуальных испытаний выполнены следующие этапы:

- 1) Разработана твердотельная геометрическая модель предохранительного полка.
- 2) Заданы граничные и силовые условия, отражающие реальные условия эксплуатации.
- 3) Выполнено имитационное моделирование.
- 4) Определено напряженно-деформированное состояние элементов конструкции предохранительного полка.
- 5) Выполнен анализ полученных результатов.

Модель имитационного моделирования разработана для условий ствола «Скиповой» шахты «Шерегешская» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» [16].

#### Особенности работы ИО геолода

ИО геолода присущ ряд особенностей [14–18]:

- не имеет аналогов среди существующих горнопроходческих систем;
- необходимость разрушения поверхности забоя на полное сечение проводимой выработки и на шаг внешнего движителя за один оборот геолода;

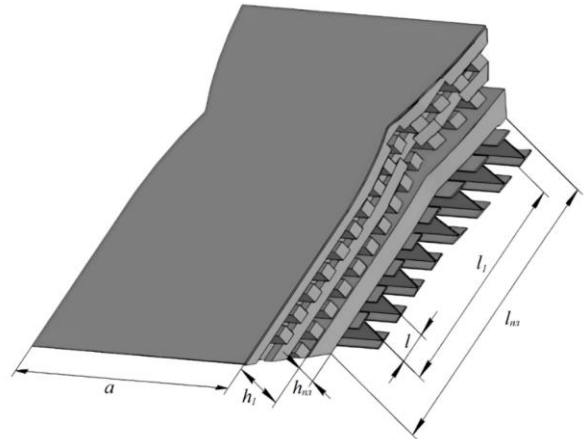


Рис. 3. Геометрические параметры нижнего предохранительного полка

$a$  – ширина нижнего предохранительного полка;  
 $h_1$  – высота АУ;  $h_{нп}$  – высота буферной распределительно-утяжелительной плиты;  
 $l_{нп}$  – длина буферной плиты;  $l$  – расстояние между балками;  $l_1$  – длина несущего элемента НПП

Fig. 3. Geometrical parameters of the wedge-type protective shelf

$a$  – width of the lower safety shelf;  
 $h_1$  – height of the AU;  $h_{нп}$  – height of the buffer distribution and weight plate;  
 $l_{нп}$  – length of the buffer plate;  $l$  – distance between beams;  $l_1$  – length of the load-bearing element of the NPP

– перемещение режущих инструментов, находящихся ближе к оси вращения геолода, обеспечивается под большими углами, в отличие от режущих инструментов, находящихся на периферии (Рис. 3);

– необходимость формирования и разрушения уступа;

– необходимость обеспечения соответствия параметрам внешнего движителя и жесткой кинематической связи с ним.

Из Рис. 3 и особенностей работы ИО геолода видны предпосылки к необходимости применения ИО геликоидной формы. Для обоснования необходимости применения исполнительных органов геолода геликоидной формы проведено исследование влияния геликоидности ножевого ИО геолода на его силовые параметры.

На Рис. 4 представлены варианты ножевого ИО геолода геликоидной формы (а) и негеликоидной (б).

#### Исследование напряженно-деформированного состояния клинового предохранительного полка

Для исследования исходными данными являются геометрические параметры твердотельной модели верхнего (Рис. 2) и нижнего (Рис. 3) предохранительного полка.

Для разработки твердотельной модели ПП осуществляется построение его объемной сборки с использованием САД-системы КОМПАС 3D v22.

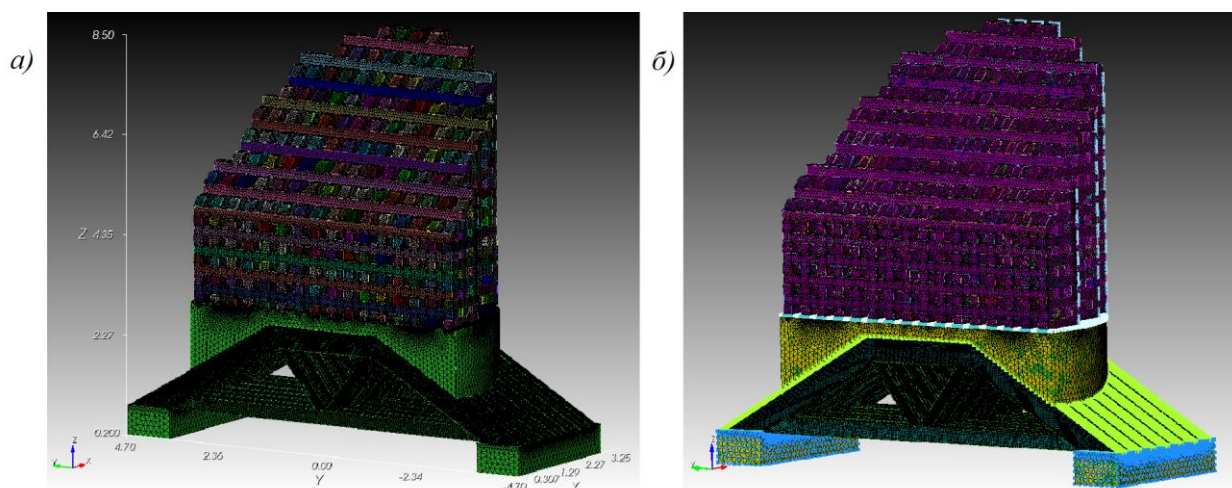


Рис. 4. Виртуальная модель верхнего предохранительного полка в интерфейсе CAE FIDESYS  
 а – линейные размеры; б – граничные условия  
 Fig. 4. Virtual model of the upper safety shelf in the CAE FIDESYS interface  
 a – linear dimensions; b – boundary conditions

Таблица 1. Параметры CAE-модели верхнего предохранительного полка  
 Table 1. Parameters of the CAE-model of the upper safety shelf

Параметр	CAE-модель 1	CAE-модель 2	CAE-модель 3	CAE-модель 4
Угол наклона АУ, град	45			
Высота сброса частиц, м	100	300	500	700
Распределенная сила на ПП, кН/м <sup>2</sup> [13]	5836	4380	3558	3494

Таблица 2. Свойства материалов и входные данные верхнего предохранительного полка  
 Table 2. Material properties and input data for the upper safety shelf

Элемент конструкции	Материал	Модуль Юнга (E), МПа	Коэффициент Пуассона (ν)	Плотность (ρ), кг/м <sup>3</sup>	Количество тел, шт.	КЭ-сетка	
						Количество элементов, шт.	Количество узлов, шт.
Амортизирующее устройство	Дерево Сосна [19]	500	0,03	600	328	1851455	445948
Буферная распределительно-утяжелительная плита	Бетон В20 [20]	27000	0,2	2500	1	637824	122532
Несущий элемент	Сталь С 255 [21]	200000	0,3	8000	70	1042183	417662

Таблица 3. Максимальные напряжения в элементах конструкции верхнего предохранительного полка  
 Table 3. Maximum stresses in the upper safety shelf structural elements

Параметр	CAE-модель 1	CAE-модель 2	CAE-модель 3	CAE-модель 4
Напряжения в амортизирующем устройстве, МПа	4,99	4,13	3,05	2,95
Напряжения в буферной распределительно-утяжелительной плите, МПа	12,70	5,72	5,37	4,10
Напряжения в несущем элементе, МПа	1120	626	550	451

Для разработки математической модели выбрана конечно-элементная система FIDESYS, разрабо-

танная на кафедре вычислительной механики МГУ им. М.В. Ломоносова [18].

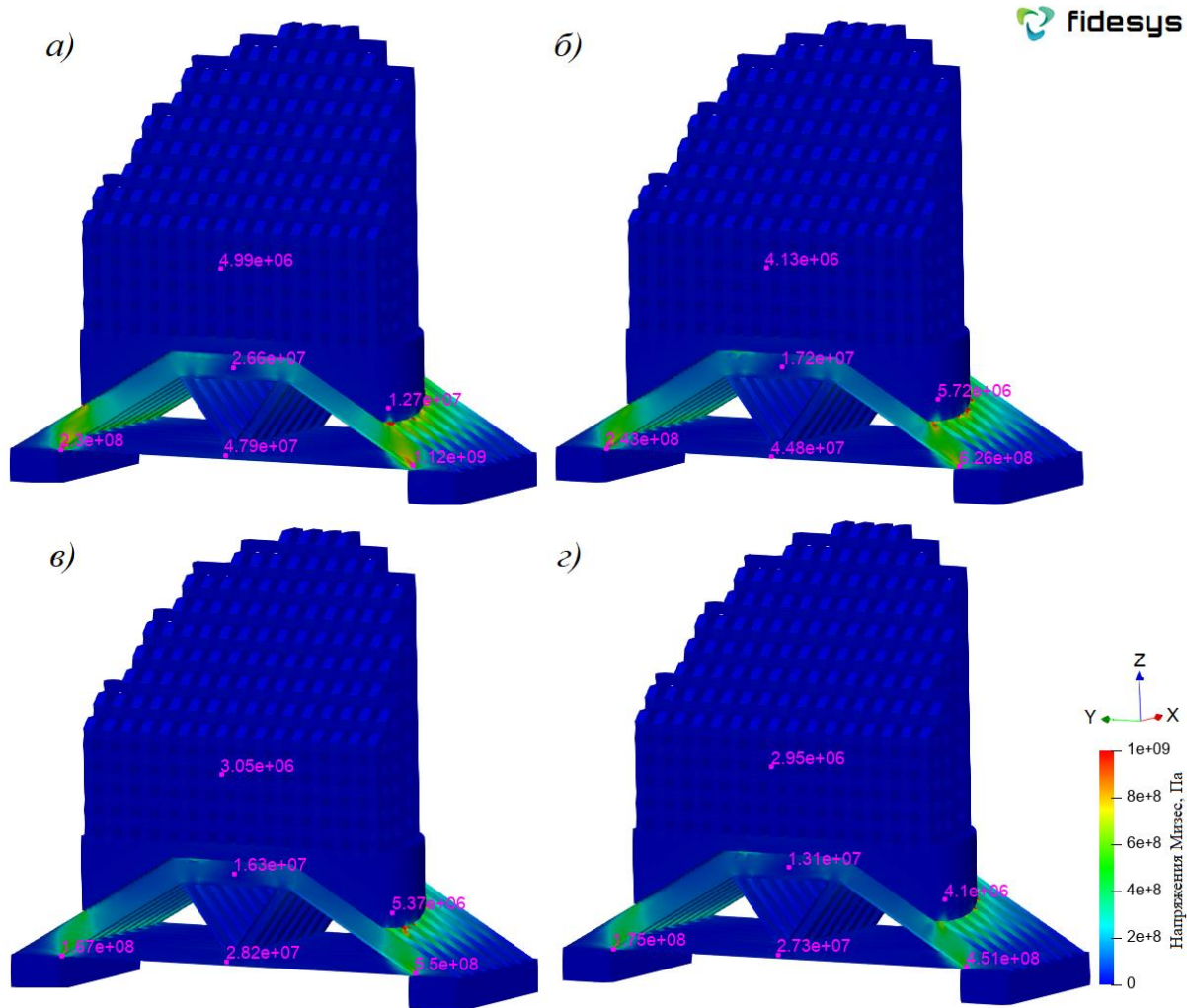
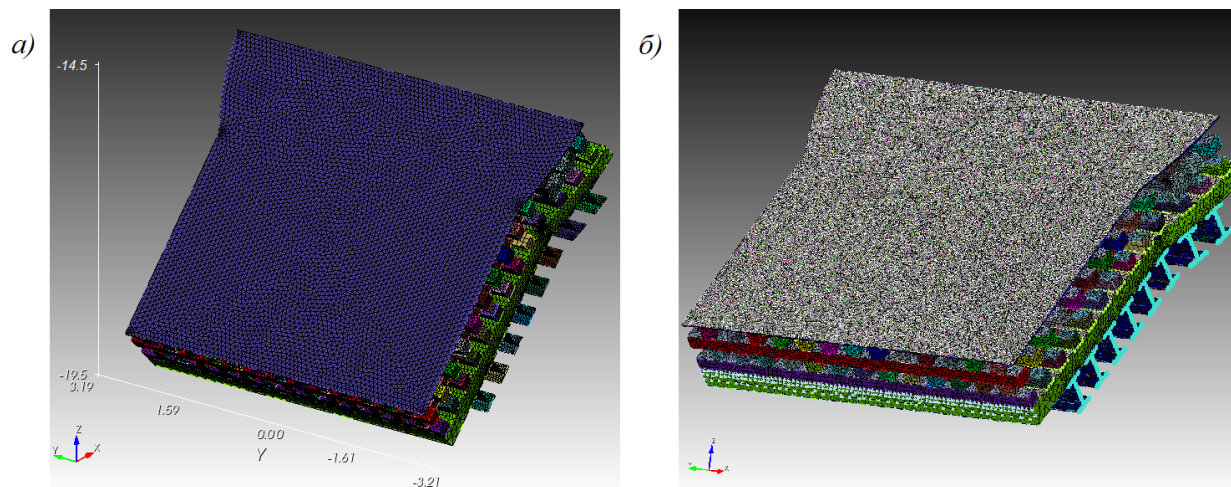


Рис. 6. Распределение напряжений по Мизесу верхний предохранительный полок  
 а – высота сброса частиц 100 м.; б – высота сброса частиц 300 м.;  
 в – высота сброса частиц 500 м.; г – высота сброса частиц 700 м

Fig. 6. Mises stress distribution of the upper safety shelf  
 a – particle discharge height 100 m; b – particle discharge height 300 m;  
 c – particle discharge height 500 m; d – particle discharge height 700 m



а – линейные размеры; б – граничные условия

Рис. 7. Виртуальная модель нижнего предохранительного полка в интерфейсе CAE Fidesys

Fig. 7. Virtual model of the lower safety shelf in the CAE Fidesys interface

Таблица 4. Параметры CAE-модели нижнего предохранительного полка  
Table 4. CAE model parameters of the lower safety shelf

Параметр	CAE-модель 1	CAE-модель 2	CAE-модель 3	CAE-модель 4
Угол наклона АУ, град	45			
Высота сброса частиц, м	100	300	500	700
Распределенная сила на ПП, кН/м <sup>2</sup> [12]	6118	6370	9490	10724

Таблица 5. Свойства материалов и входные данные нижнего предохранительного полка  
Table 5. Material properties and input data for the lower safety shelf

Элемент конструкции	Материал	Модуль Юнга (E), МПа	Коэффициент Пуассона (ν)	Плотность (ρ), кг/м <sup>3</sup>	Количество тел, шт.	Сетка	
						Количество элементов, шт.	Количество узлов, шт.
Амортизирующее устройство	Дерево Сосна [19]	500	0,03	600	56	466529	114353
Буферная распределительно-утяжелительная плита	Бетон В20 [20]	27000	0,2	2500	1	336771	64966
Несущий элемент	Сталь С 255 [21]	200000	0,3	8000	8	139508	48856

Таблица 6. Максимальные напряжения в элементах конструкции нижнего предохранительного полка  
Table 6. Maximum stresses in the lower safety shelf structural elements

Параметр	CAE-модель 1	CAE-модель 2	CAE-модель 3	CAE-модель 4
Напряжения в амортизирующем устройстве, МПа	1,41	1,47	1,64	3,50
Напряжения в буферной распределительно-утяжелительной плите, МПа	145,00	151,00	225,00	287,00
Напряжения в несущем элементе, МПа	1200	1330	1960	2170

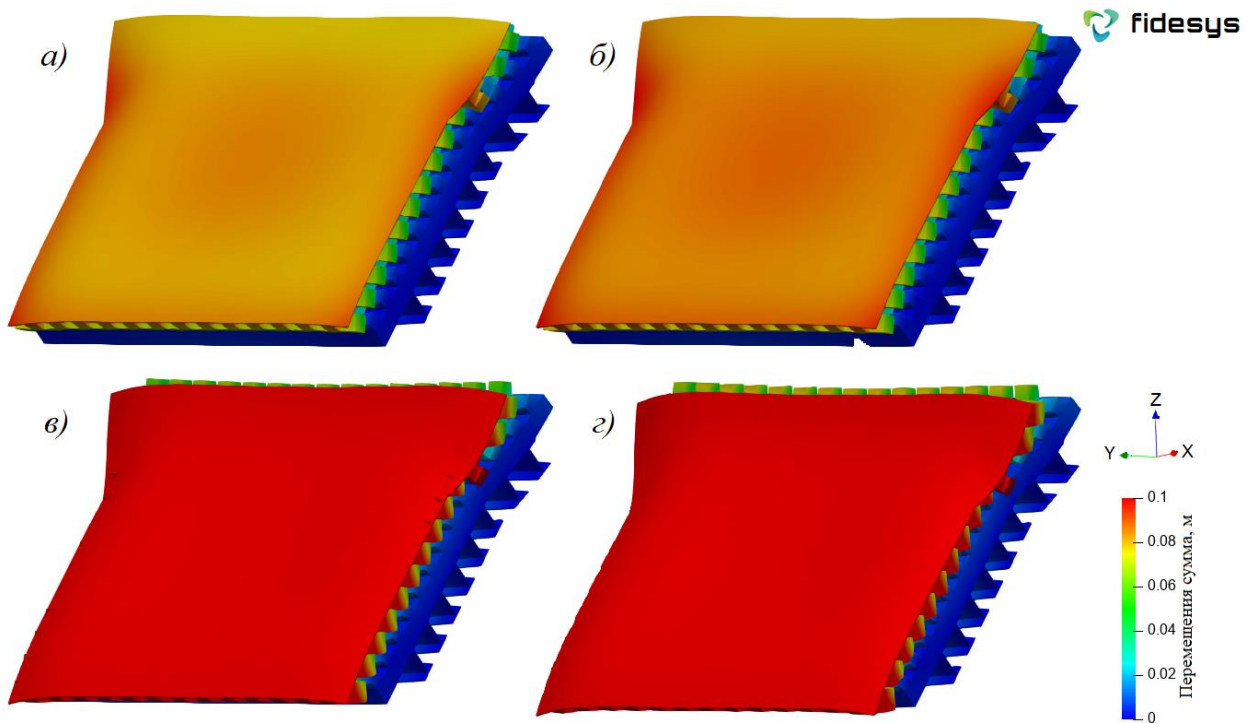


Рис. 8. Деформация по вектору вдоль оси Z нижний предохранительный полка  
а – высота сброса частиц 100 м.; б – высота сброса частиц 300 м.;  
в – высота сброса частиц 500 м.; г – высота сброса частиц 700 м

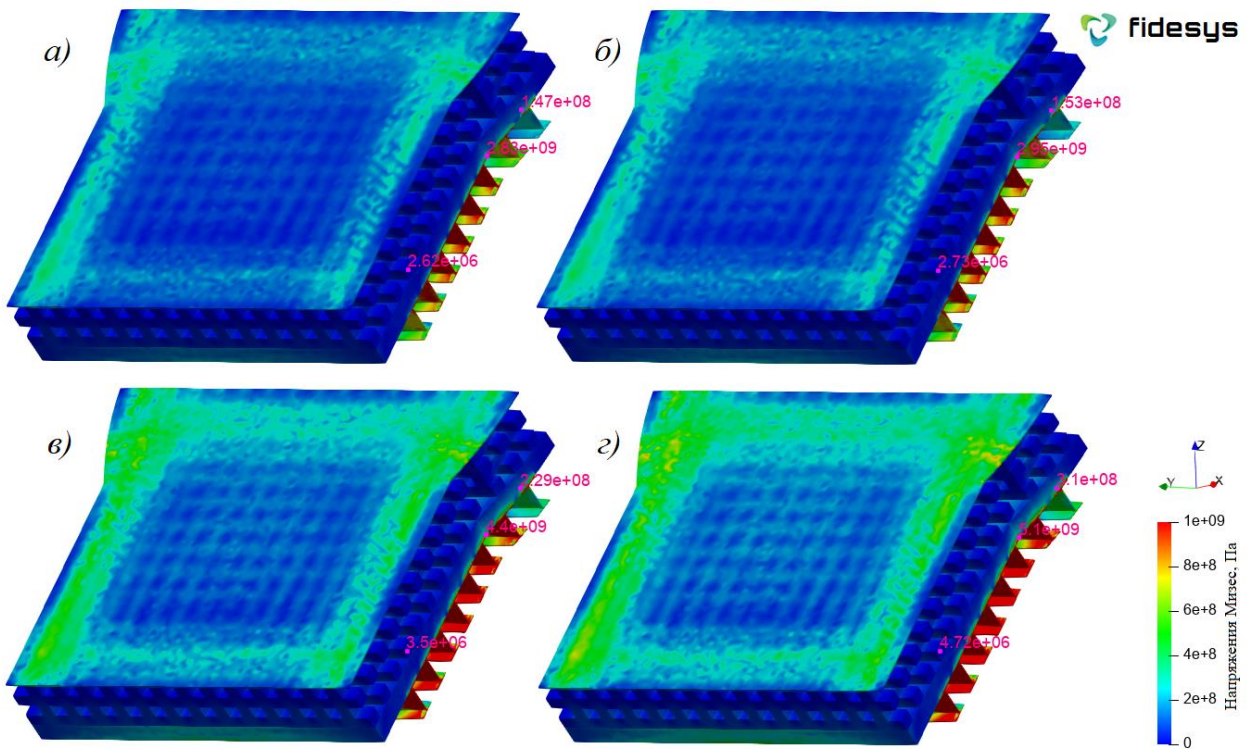


Рис. 9. Распределение напряжений по Мизесу нижний предохранительный полок  
 а – высота сброса частиц 100 м.; б – высота сброса частиц 300 м.;  
 в – высота сброса частиц 500 м.; г – высота сброса частиц 700 м  
 Fig. 9. Mises stress distribution in the lower safety shelf  
 а – particle discharge height 100 m; б – particle discharge height 300 m;  
 в – particle discharge height 500 m; г – particle discharge height 700 m

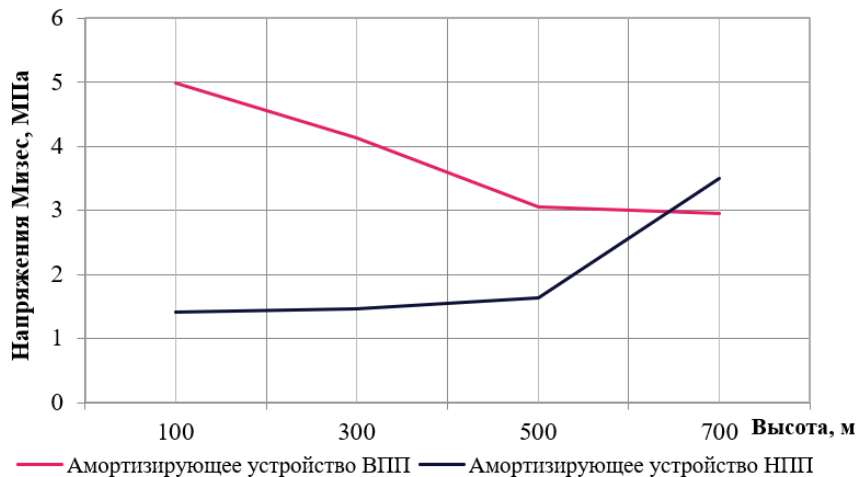


Рис. 10. Изменение максимальных напряжений в амортизирующем элементе предохранительного полка  
 Fig. 10. Maximum stress variation in the damping element of the safety shelf

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния верхнего предохранительного полка к рассмотрению принимается модель, представленная на Рис. 4. Параметры САЕ-моделей приведены в Таблице 1.

САЕ-система Fidesys предоставляет комплексный подход для управления материалами, поддерживая три ключевых сценария: использование встроенной библиотеки, импорт эксперименталь-

ных данных из внешних файлов и создание новых материалов с детальным описанием свойств (пластичность, ползучесть, анизотропия и т. д.) [18]. Данный функционал обеспечивает эффективное решение задач любой сложности. Свойства материалов для расчета конструкции верхнего предохранительного полка и входные данные представлены в САЕ Fidesys в Таблице 2.

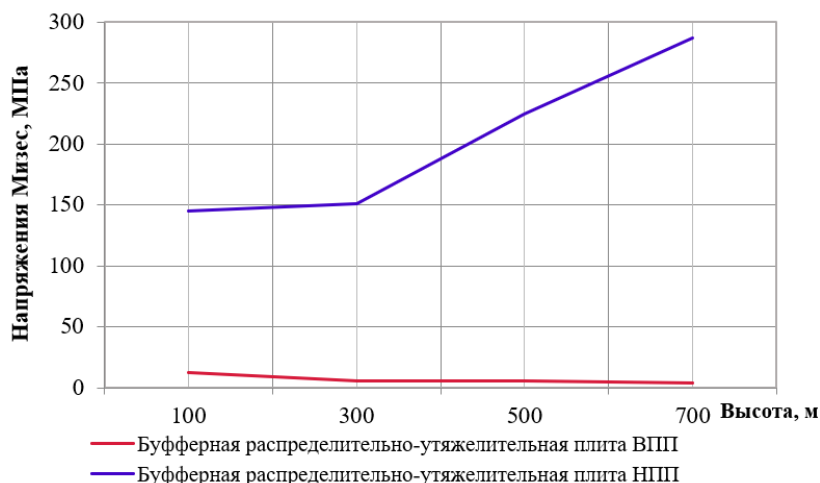


Рис. 11. Изменение максимальных напряжений в буферной распределительно-утяжелительной плите предохранительного полка

Fig. 11. Maximum stress evolution in the safety shelf buffer/weight plate

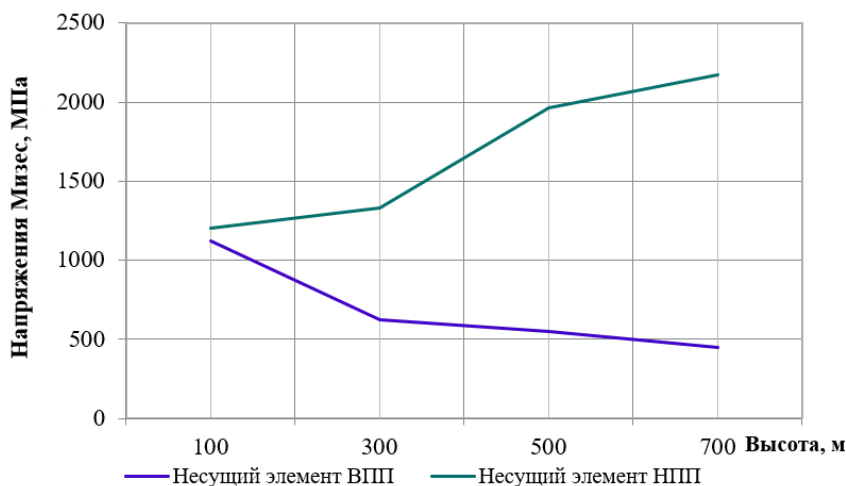


Рис. 12. Изменение максимальных напряжений в несущем элементе предохранительного полка

Fig. 12. Maximum stress variation in the load-bearing element of the safety shelf

В результате численного моделирования получены следующие данные:

- деформация по вектору вдоль оси Z (Рис. 5).
- распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (Рис. 6).
- максимальные напряжения в элементах конструкции верхнего ПП (Таблица 3).

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния нижнего предохранительного полка к рассмотрению принимается модель, представленная на Рис. 7. Параметры САЕ-моделей приведены в Таблице 4.

Свойства материалов для расчета конструкции нижнего предохранительного полка и входные данные представлены в САЕ Fidesys в Таблице 5.

В результате численного моделирования получены следующие данные:

- 1) Деформация по вектору вдоль оси Z (Рис. 8).
- 2) Распределения эквивалентных напряжений по Мизесу (Рис. 9).
- 3) Максимальные напряжения в элементах конструкции нижнего ПП (Таблица 6).

Результаты определения максимальных напряжений в элементах предохранительного полка в зависимости от высоты сброса частиц представлены на Рис. 10–12.

Анализ результатов моделирования, выполненного в САЕ-платформе FIDESYS, показывает, что:

- при увеличении высоты сброса частиц напряжения в амортизирующем устройстве верхнего предохранительного полка снижаются на 40,88%;
- при увеличении высоты сброса частиц напряжения в амортизирующем устройстве нижнего ПП возрастают на 148,22%;
- при увеличении высоты сброса частиц напряжения в буферной распределительно-утяжеляющей плите верхнего ПП снижаются на 67,72%;
- при увеличении высоты сброса частиц напряжения в буферной распределительно-утяжеляющей плите нижнего ПП возрастают на 97,93%;
- при увеличении высоты сброса частиц напряжения в несущем элементе верхнего ПП снижаются на 59,73%;

– при увеличении высоты сброса частиц напряжения в несущем элементе нижнего ПП возрастают на 80,83%.

Следует отметить, что полученные экстремальные значения напряжений носят локальный характер и используются преимущественно для сравнительного анализа влияния высоты сброса частиц на элементы конструкции. Указанные значения отражают возможное концентрирование напряжений в зонах контакта и передачи нагрузок и не интерпретируются как эксплуатационные предельные параметры.

Конструкция верхнего предохранительного полка характеризуется последовательным снижением напряжений во всех элементах при увеличении высоты сброса частиц в диапазоне 100–700 м. Это обусловлено снижением нагрузки вследствие рассеивания потока и изменения траектории движения частиц. В свою очередь, конструкция нижнего предохранительного полка демонстрирует рост напряжений во всех элементах при увеличении высоты сброса частиц в диапазоне 100–700 м. Данный эффект связан с усилением воздействия на нижнюю часть конструкции вследствие изменения траектории движения частиц и перераспределения массы после взаимодействия потока с верхним предохранительным полком.

#### **Выводы**

В работе выполнено исследование напряженно-деформированного состояния клинового предохранительного полка при углубке вертикальных скиповых стволов шахт в условиях работы эксплуатационного подъема.

Для оценки работоспособности конструкции клинового предохранительного полка использован метод виртуальных испытаний, основанный на сочетании имитационного моделирования процессов взаимодействия просыпи горной массы с элементами предохранительного полка и численного анализа в отечественной CAE-платформе FIDESYS.

Разработана твердотельная модель клинового предохранительного полка в CAD-системе КОМПАС-3D v22, заданы граничные и силовые условия, соответствующие реальным условиям эксплуатации ствола «Скиповой» шахты «Шерегешская».

На основе результатов имитационного моделирования определены напряжения в основных конструктивных элементах клинового предохранительного полка. Установлено, что характер распределения напряжений зависит от высоты сброса частиц (в диапазоне 100–700 м) и типа элемента в конструкции.

Для верхнего предохранительного полка выявлено снижение уровня напряжений при увеличении высоты сброса частиц (на 40,88% в амортизирующем устройстве, на 67,72% в буферной плите и на 59,73% в несущем элементе). В то же время для элементов нижнего предохранительного полка выявлен рост напряжений (на 148,22% в амортизирующем устройстве, 97,93% в буферной плите и 80,83% в несущем элементе), связанный с перераспределением массы и усилением динамического

воздействия просыпи горной массы на верхний полк.

Практическая значимость исследования заключается в применении современного отечественного программного обеспечения для обоснования параметров конструкции клиновых предохранительных полков при реконструкции вертикальных стволов шахт. Полученные результаты позволяют оценить влияние эксплуатационных факторов и выявить опасные зоны.

Предлагаемая конструкция клинового предохранительного полка обеспечивает повышение безопасности при одновременном снижении материалоемкости, что способствует сокращению сроков монтажа и демонтажа для ускорения углубки вертикальных стволов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Першин В. В. Реконструкция, ремонт, восстановление и ликвидация горных выработок. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный технический университет Т. Ф. Горбачева. Кемерово, 2021. 520 с.
2. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» [Электронный ресурс] : Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 507 (в ред. от 23.06.2022) / Федер. служба по экол., технол. и атом. надзору (Ростехнадзор). Электрон. дан. (1 файл: 4.8 МБ). [Б. м.] : [б. и.], 2024. Загл. с титул. экрана. URL: [https://vgsch.organizations.mchs.gov.ru/uploads/resource/2024-06-20/normativnaya-dokumentaciya\\_1718863505204917089.pdf](https://vgsch.organizations.mchs.gov.ru/uploads/resource/2024-06-20/normativnaya-dokumentaciya_1718863505204917089.pdf) (дата обращения: 17.11.2024). Зарегистрирован в Минюсте России 18.12.2020 № 61587.
3. Баронский И. В., Косарев Н. Ф., Першин В. В., Копытов А. И. Шахтное строительство в Кузбассе. Кемерово : Кузбассвузиздат, 2006. 543 с.
4. Федоров С. А. Углубка стволов шахт. Москва : Госгортехиздат, 1961. 476 с.
5. Горбунов Б. Ф. Опыт применения предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов: Обзорная информация. ЦНИИУголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР. Москва, 1984. 33 с.
6. Горбунов Б. Ф. Строительство предприятий угольной промышленности: Обзоры по передовому производственному опыту. Опыт применения предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов: Обзорная информация. Москва : ЦНИИЭИуголь, 1984. №7. 32 с.
7. Веселов Ю. А., Мамонтов Н. В., Третьяченко А. Н. Углубка и ремонт шахтных стволов : Справочник рабочего. Москва : Недра, 1992. 270 с.
8. Копытов А. И., Войтов М. Д., Вети А. А. Новые технологические решения предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт // Горный журнал. 2015. № 1. С. 67–70.
9. Инструкция по расчету, сооружению и ликвидации предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шах. ВНИИОМШС. Харьков, 1979. 91 с.

10. Временная инструкция по защите забоев вертикальных стволов шахт Минчермет СССР ВО «Союзшахтопроходка» МВССО УССР, Криворожский горный институт. Кривой Рог, 1985. 104 с.
11. Патент на полезную модель № 133198 «Клиновой предохранительный полок» Авторы: Жук И. В., Копытов А. И., Першин В. В., Войтов М. Д., Вети А. А., заявл. 06.05.13 опубл. 10.10.13.
12. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В., Соннов М. А. Оценка конструкции козырька самосвала посредством виртуального испытания FOPS в САЕ Fidesys // Горная промышленность. 2025. № 5. С. 64–68. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-5-64-68.
13. Левин В. А., Козлов В. В., Филатова А. В., Храименков А. В. Реализация и тестирование методов расчета напряженно-деформированного состояния упругопластических оболочек в САЕ Fidesys // Чебышевский сборник. 2024. Т. 25. Вып. 4. С. 213–227.
14. Романюта Д. А., Ариенчук А. С. К вопросу о расчете жесткой прямоугольной изотропной пластины с жестко закрепленным контуром под действием сосредоточенной нагрузки в центре пластины // Известия КГТУ. 2025. № 79. С. 113–126. DOI: 10.46845/1997-3071-2025-79-113-126.
15. Мороз Н. Е., Сидоров Д. В., Соннов М. А. Применение цифровых двойников для прогнозной оценки удароопасности надштрековых целиков // Горная промышленность. 2022. № 3. С. 93–98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-93-98
16. Копытов А. И., Войтов М. Д., Вети А. А. «Новый тип клинового предохранительного полка при углубке ствола «Скиповой» на шахте «Шерешевская» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. № 4. 2013. С. 64–65.
17. Fidesys [Электронный ресурс] : программный комплекс для конечно-элементного моделирования : офиц. сайт / ООО «Цифровой двойник». Электрон. дан. Москва, [2010-2024]. URL: <https://digitaltwin.ru/products/fidesys/> (дата обращения: 05.08.2024). Загл. с экрана.
18. ФИДЕСКС. Система прочностного анализа САЕ Fidesys: Руководство пользователя. Версия 8.0. Москва, 2025. 311 с.
19. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 [Текст] : свод правил / Минстрой России. Введ. 2017-08-28. Москва : М-во строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2017. 140 с. Взамен СП 64.13330.2011.
20. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 [Текст] : свод правил / Минстрой России. Введ. 2019-06-20. Москва : Стандартинформ, 2019. 150 с.
21. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* [Текст] : свод правил / Минстрой России. Введ. 2017-08-28. Москва : М-во строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2017. 140 с.

© 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:

**Аксенов Владимир Валерьевич** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, г. Кемерово, Российская Федерация, Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН, главный научный сотрудник НЦЦТ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева;

**Копытов Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева;

**Пашков Дмитрий Алексеевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НЦЦТ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, e-mail: [pashkov.d.a@inbox.ru](mailto:pashkov.d.a@inbox.ru)

**Вети Ахмед Аиманович** – ведущий технолог ГКК и ПВВ, г. Прокопьевск, Российская Федерация, ЗСФ ООО «АЗОТ МАЙНИНГ СЕРВИС»

Заявленный вклад авторов:

Аксенов Владимир Валерьевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы.

Копытов Александр Иванович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы.

Пашков Дмитрий Алексеевич – научный менеджмент, концептуализация исследования, написание текста, сбор и анализ данных, выводы.

Вети Ахмед Аиманович – научный менеджмент, концептуализация исследования, написание текста, сбор и анализ данных, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

<sup>1</sup> Institute of Coal of the Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry SB RAS<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University<sup>3</sup> West Siberian Branch of Azot Mining Service LLC, Prokopyevsk, Russian Federation

\* for correspondence: pashkov.d.a@inbox.ru

**NUMERICAL MODELING OF STRESS-STRAIN STATE CHANGES IN WEDGE PROTECTIVE SHELF ELEMENTS IN CAE FIDESYS****Abstract.**

*During the reconstruction of mining enterprises, an important task is to combine the deepening of the vertical shaft with the operation of the production hoist, which delivers mined material to the surface. Shaft deepening is a key stage of reconstruction, as only after its completion does it become possible to carry out development and preparatory work on the underlying horizons, providing access to new mineral reserves. Under these conditions, the safety of miners is ensured by protective shelves that absorb impact loads from the technological spillage of mined material occurring during the operation of the loading device or during emergency self-dumping of skips. Existing methods for determining impact loads on protective shelves rely mainly on empirical relationships involving a significant number of difficult-to-determine coefficients. This reduces the accuracy of calculations and limits their applicability in modern engineering practice. Improving the reliability of load assessment requires the use of mathematical modeling and modern numerical methods.*

*In this study, the stress-strain state of the elements of a wedge-shaped protective shelf was determined using the domestic CAE platform FIDESYS. The application of this software package made it possible to perform a structural strength analysis, improve calculation accuracy, and substantiate the parameters of the protective shelf for the conditions of the "Skipovoy" shaft at the "Sheregeshskaya" mine (JSC "EVRAZ ZSMK"). Based on the simulation results, the stresses in the main structural elements of the wedge safety shelf were determined. For the upper safety shelf, a decrease in the stress level was detected with an increase in the height of particle discharge (by 40.88% in the shock-absorbing device, by 67.72% in the buffer plate and by 59.73% in the load-bearing element). At the same time, an increase in stresses was detected for the elements of the lower safety shelf (by 148.22% in the shock-absorbing device, 97.93% in the buffer plate and 80.83% in the load-bearing element) associated with the redistribution.*

**Article info**

Received:

13 February 2026

Accepted for publication:

15 May 2026

Accepted:

15 June 2026

**Keywords:** Vertical shaft, skip hoist, wedge-shaped protective shelf, emergency spillage, FEM, CAE FIDESYS, virtual modeling

**For citation:** Aksenov V.V., Kopytov A.I., Pashkov D.A., Wetti A.A. Numerical modeling of stress-strain state changes in wedge protective shelf elements in CAE FIDESYS. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 3(185):128-140 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-3-128-140, EDN: OMBTGL

## REFERENCES

1. Pershin V.V. Reconstruction, repair, restoration and liquidation of mining operations. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. Kemerovo, 2021. 520 p.

2. On the approval of Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules in coal mines" [Electronic resource] : Rostekhnadzor Order No. 507 dated 12/08/2020 (as amended dated

06/23/2022) / Feder. Environmental and Technical Services and the atom. supervision (Rostekhnadzor). Electron. dan. (1 file: 4.8 MB). [B. M.] : [B. I.], 2024. Title page. the screen. URL: [https://vgsch.organizations.mchs.gov.ru/uploads/resource/2024-06-20/normativnaya-dokumentaciya\\_1718863505204917089.pdf](https://vgsch.organizations.mchs.gov.ru/uploads/resource/2024-06-20/normativnaya-dokumentaciya_1718863505204917089.pdf) (date of request: 17.11.2024). Registered with the Ministry of Justice of Russia on 12/18/2020 No. 61587.

3. Baronsky I.V., Kosarev N.F., Pershin V.V., Kopytov A.I. Mine construction in Kuzbass. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; 2006. 543 p.

4. Fedorov S.A. Deepening of mine shafts. Moscow: Gosgortehizdat; 1961. 476 p.

5. Gorbunov B.F. Experience in using safety devices for deepening vertical trunks: Overview information. TSNIIeugol, Central Research Institute of the Ministry of Coal Industry of the Ukrainian SSR. Moscow, 1984. 33 p.

6. Gorbunov B.F. Construction of coal industry enterprises: Reviews on advanced production experience. The experience of using safety devices for deepening vertical trunks: Overview information. Moscow: Tsniiuegol; 1984. № 7. 32 p.

7. Veselov Yu.A., Mamontov N.V., Tretyachenko A.N. Deepening and repair of mine shafts : A worker's Handbook. Moscow : Nedra Publ.; 1992. 270 p.

8. Kopytov A.I., Voitov M.D., Veti A.A. New technological solutions for safety devices for deepening vertical shafts. *Mining Journal*. 2015; 1:67-70.

9. Instructions for the calculation, construction and elimination of safety devices for deepening vertical shafts. VNIOMSHS. Kharkov, 1979. 91 p.

10. Temporary instructions for the protection of vertical shaft faces of mines of the USSR Ministry of Agriculture in the "Soyuzshakhtoprokhodka" of the USSR Ministry of Internal Affairs, Krivoy Rog Mining Institute. Krivoy Rog, 1985. 104 p.

11. Utility model patent No. 133198 "Wedge safety shelf" Authors: Zhuk I.V., Kopytov A.I., Pershin V.V., Voitov M.D., Veti A.A. Application 05/06/13 publ. 10/10/13

12. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Sonnov M.A. Evaluation of the design of a dump truck visor by means of a virtual FOPS tests at CAE Fidesys. *Mining industry*. 2025;(5):64-68. DOI: 10.30686/1609-9192-2025-5-64-68.

13. Levin V.A., Kozlov V.V., Filatova A.V., Khraimenkov A.V. Implementation and testing of methods for calculating the stress-strain state of elastic

plastic shells in CAE Fidesys. *Chebyshevsky collection*. 2024; 25(4):213-227.

14. Romanyuta D.A., Arienchuk A.S. On the issue of calculation of a rigid rectangular isotropic plate with a rigidly fixed contour under the action of a concentrated load in the center of the plate. *Izvestia of KSTU*. 2025; 79:113-126. DOI: 10.46845/1997-3071-2025-79-113-126.

15. Moroz N.E., Sidorov D.V., Sonnov M.A. The use of digital doubles for predictive assessment of the impact hazard of superstructure sights. *Mining industry*. 2022;(3):93-98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-93-98.

16. Kopytov A.I., Voitov M.D., Veti A.A. A new type of wedge safety shelf for deepening the Skip shaft at the Sheregeshskaya mine. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2013; 4:64-65.

17. Fidesys [Electronic resource] : software package for finite element modeling : official. website / Digital Twin LLC. Electron. dan. Moscow, [2010-2024]. URL: <https://digitaltwin.ru/products/fidesys/> (date of access: 08/05/2024). Caption from the screen.

18. FIDESC. CAE Fidesys Strength Analysis System: User's Guide. Version 8.0. Moscow, 2025. 311 p.

19. SP 64.13330.2017. Wooden structures. Updated version of SNiP II-25-80 [Text] : code of rules / The Ministry of Construction of Russia. Introduction. 2017-08-28. Moscow : Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, 2017. 140 p. Instead of SP 64.13330.2011.

20. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003 [Text] : code of rules / The Ministry of Construction of Russia. Introduction. 2019-06-20. Moscow: Standartinform; 2019. 150 p.

21. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II-23-81\* [Text] : a set of rules / The Ministry of Construction of Russia. Introduction. 2017-08-28. Moscow: Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; 2017. 140 p.

© 2026 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 author:

**Vladimir V. Aksenov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Kemerovo, Russian Federation, Institute of Coal of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Scientific Research Center, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev;

**Alexander I. Kopytov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev;

**Dmitry A. Pashkov** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Scientific Research Center, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, e-mail: [pashkov.d.a@inbox.ru](mailto:pashkov.d.a@inbox.ru)

**Ahmed A. Wetti** – Leading technologist of GKK and PVV, Prokopyevsk, Russian Federation, ZSF AZOT MINING SERVICE LLC

Contribution of the authors:

Vladimir V. Aksenov – formulation of a research problem, scientific management, conceptualization of research, conclusions.

Alexander I. Kopytov Kopytov, Alexander Ivanovich – formulation of a research problem, scientific management, conceptualization of research, conclusions.

Dmitry A. Pashkov – scientific management, research conceptualization, writing, data collection and analysis, conclusions.

Ahmed A. Wetti – scientific management, research conceptualization, writing, data collection and analysis, conclusions.

*Authors have read and approved the final manuscript.*

