

SBlock – руководство пользователя и теоретические основы

Март 2012

V2.01



gsester@icubed.com

Содержание

ЧАСТЬ 1. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	1
Предназначение SBlock	1
Что можно делать с SBlock?	1
Особенности SBlock	2
Принципы	2
Начало работы с SBlock	3
Виды анализов	6
Мультиблоковый анализ	6
Данные для мультиблокового анализа	6
Запуск мультиблокового анализа	11
Мультиблоковый анализ – Результаты	13
Сводная информация о результатах	13
Плоский разрез по уступу (2D Bench Section)	14
Вероятность в 3D (3D Probability)	15
Влияние разлома в 3D (3D Fault Effect)	16
Распределение величин ширины уступов (Distribution of Bench Widths)	16
Поведение трещин (Joint Activity)	17
Объемы вывалов (Failure Volumes)	17
Просмотр в 3D обрушений, вызванных трещиноватостью (View 3D Joint Failures)	18
Просмотр результатов по предохранительным площадкам (View Catch Bench Results)	18
Анализ влияния (Sensitivity Analysis)	20
Групповой анализ (Batch Runs)	21
Установки группового анализа (Batch Run Setup)	21
Результаты группового анализа (Batch Run Results)	22
Одноблоковый анализ (Single Block Analysis)	23
Данные для одноблокового анализа	23
Результаты одноблокового анализа (Single Block Results)	23
ЧАСТЬ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	24
История вопроса	24
Мультиблоковый анализ	24
Анализ предохранительных площадок	24
Одноблоковый анализ	24
Блок-схема программы при мультиблоковом анализе	24
Сдвигение блока и коэффициент запаса	33
Анализ обрушения горной массы	34

ЧАСТЬ 1. РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Предназначение SBlock

- SBlock предназначена для оценки устойчивости уступов, где обрушения определяются трещиноватостью.
- Программа также может использоваться для оценки воздействия крупных структур, таких как разломы и сквозные трещины, но ее сильная сторона всё же в области вопросов, связанных с уступами, в которых имеется большое количество трещин.
- SBlock придерживается подхода, основанного на оценке рисков, поэтому решения могут приниматься, основываясь на рисках травматизма или финансовых потерь.
- SBlock не анализирует обрушения по округлым поверхностям скольжения сквозь массив горных пород. Программа также не рассматривает ступенчатые типы обрушений, образующихся вдоль сочетания различных поверхностей трещин и сквозь ненарушенные породы.

Что можно делать с SBlock?

SBlock помогает отвечать на подобные вопросы.

- Насколько увеличится объем вывала, если увеличить угол откоса уступа на 5 градусов?
- Насколько уменьшится ширина предохранительной площадки от обрушения бровки уступа?
- Какая ориентация лучше для оптимизации объема вывалов и обрушений для уступов выше транспортного уклона?
- Насколько изменится эффективность предохранительных площадок при увеличении угла между соседними транспортными уклонами на 3 градуса?
- Насколько увеличится риск травматизма от обрушений при уменьшении ширины предохранительной площадки на 1 м?
- Насколько изменится действующая ширина уступа при увеличении высоты уступа на 5 м?
- Какое влияние оказывает разлом северо-восточного простирания на устойчивость отдельного уступа?

Особенности SBlock

- Автоматический выбор вида потенциального обрушения на основе систем трещин
- Расчет объема вывалов основан на частоте трещин и длине их следов
- Моделирование воздействия отдельного разлома на вывалы, связанные с трещиноватостью
- Анализ предохранительных площадок применительно к вывалам, уменьшающим ширину уступов
- Детальная информация о роли различных систем трещин в обрушениях
- Подход, основанный на оценке рисков

Принципы

- SBlock использует принцип ключевых блоков (Goodman & Shi, 1980) и статистическую обработку систем трещин для моделирования множества потенциальных блоков в уступах карьера.
- Ведется статистика количества потенциально неустойчивых блоков, объемов вывалов, коэффициентов запаса и т.д., что позволяет оценить относительную устойчивость различных вариантов уступов карьера. Программа автоматически ищет комбинации различных трещин и проверяет их на предмет потенциальных сдвижений.
- Оцениваются сдвижения по одной плоскости, двум, трём (хотя и очень редко). Сдвигающиеся блоки могут иметь до 7 граней. В расчет включены хорошо известные виды обрушений как клиновидные и по плоскости.
- В программе также содержится модуль для расчета эффективности уступов по сдерживанию обрушений. Эффективность предохранительных площадок рассчитывается с использованием эмпирических уравнений, полученных на основе фактических испытаний обрушений, осуществленных Департаментом транспорта Орегона (ODOT Report, 2002).
- Результаты представляются как легко интерпретируемые величины объема обрушений и значений рисков. Также предоставляются другие результаты, такие как вероятность обрушений и коэффициенты запаса.

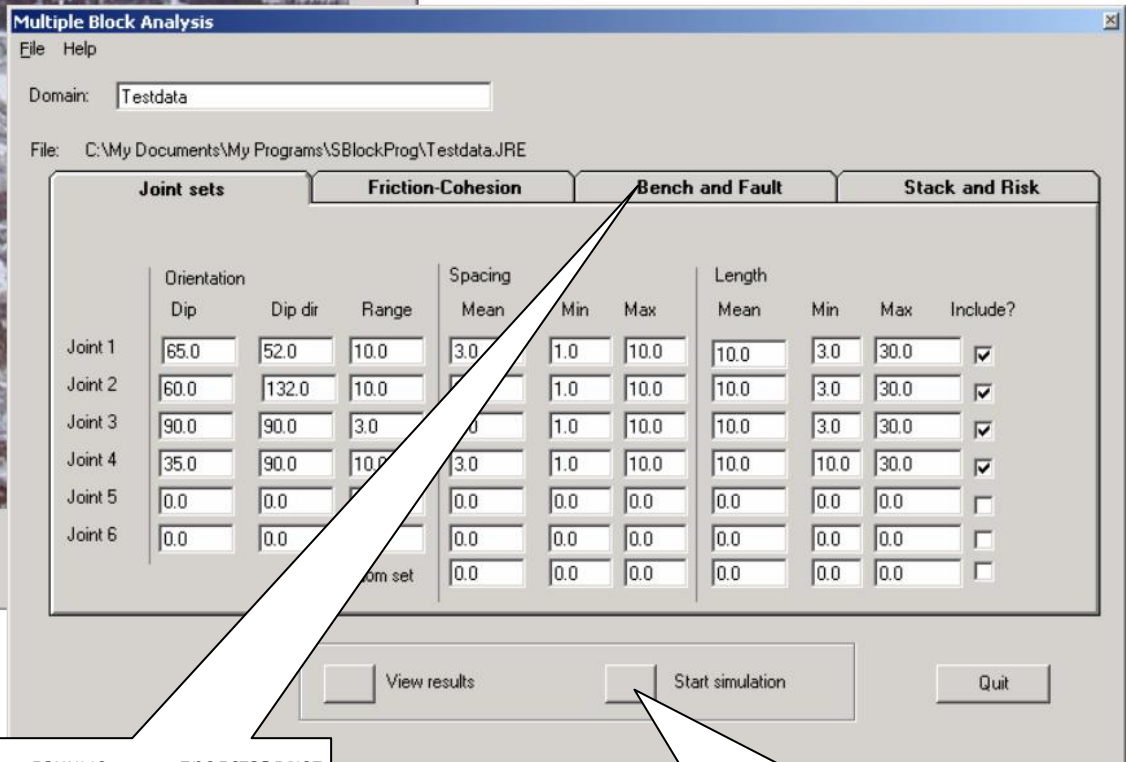
Начало работы с SBLOCK



Вы будете в основном использовать мультиблоковый анализ, который создает тысячи блоков на основе данных по системам трещин и рассчитывает объемы вывалов и эффективность предохранительных площадок.

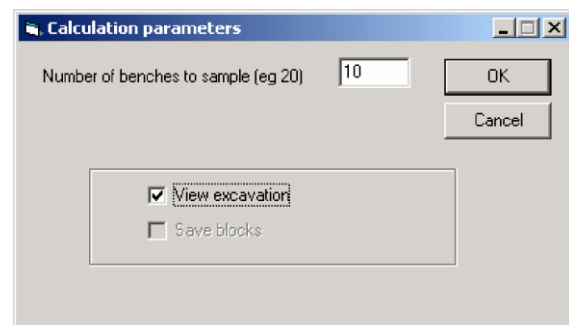
Нажмите Start – Open an existing job – Multi Block Run

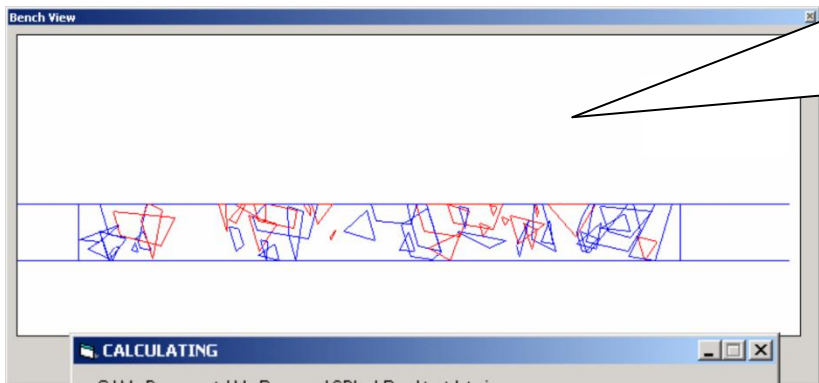
Вы найдете файл с названием Testdata.JRE в папке с программой SBLOCK – выберите его для открытия. Это некоторые данные о системах трещин для тестирования программы.



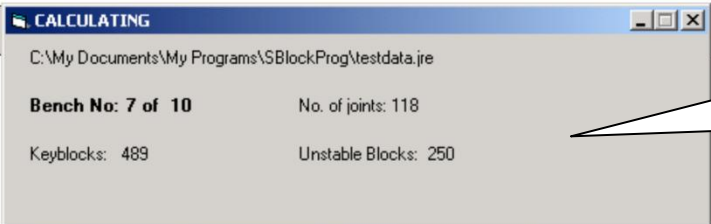
Тестовые данные представляют геомеханический сектор, содержащий четыре системы трещин, – все системы будут включены в анализ. Если нажать на вкладки в данном окне, то можно просмотреть или изменить значения сцепления и углов внутреннего трения для трещин. Вы также можете задать геометрию и количество уступов.

После нажатия кнопки **Start Simulation** программа выведет следующее окно – поставьте галочку напротив **View excavation** и нажмите **OK**.

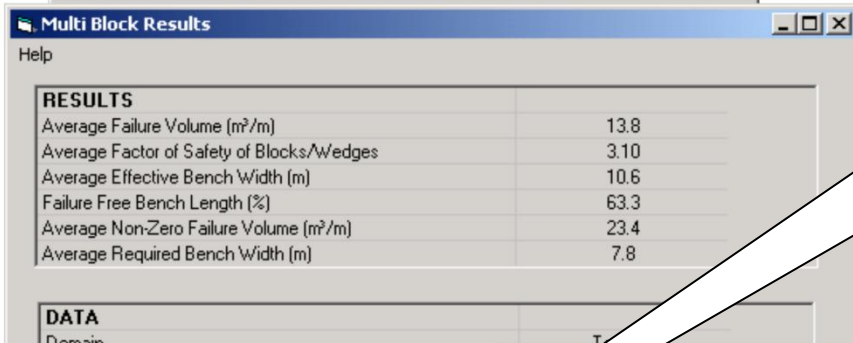




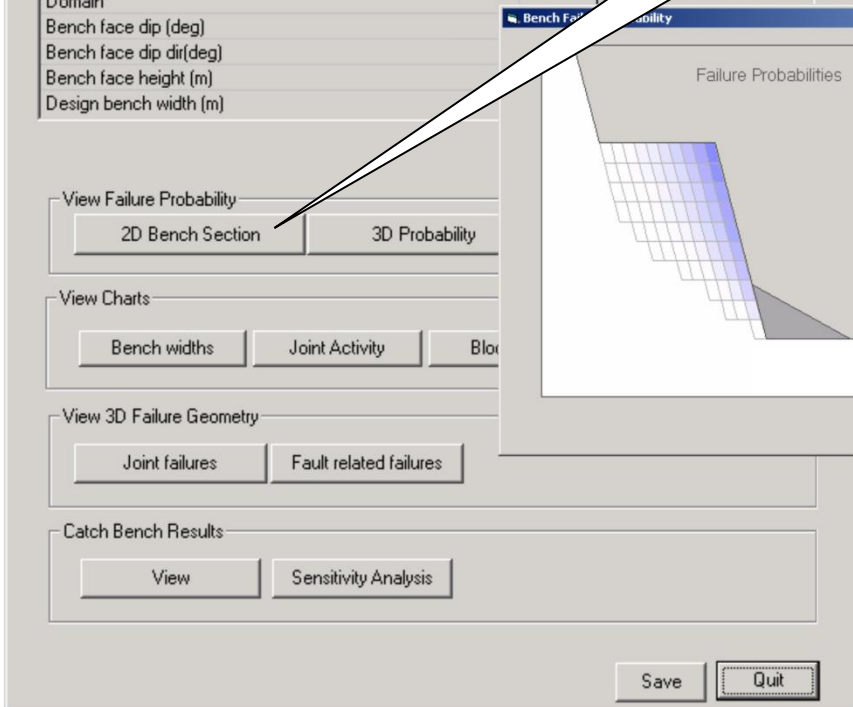
Эти окна показывают ход анализа. Верхнее окно демонстрирует вид откоса уступа и потенциально неустойчивые блоки, которые были выявлены на основе статистической обработки трещиноватости. Красные блоки являются неустойчивыми. После выявления всех блоков, удовлетворяющих статистике систем трещин, блоки стираются, и начинается анализ следующего уступа.



Нижний экран показывает ход обработки, число трещин, выявленных в текущем уступе, общее количество выявленных ключевых блоков и количество выявленных неустойчивых блоков.

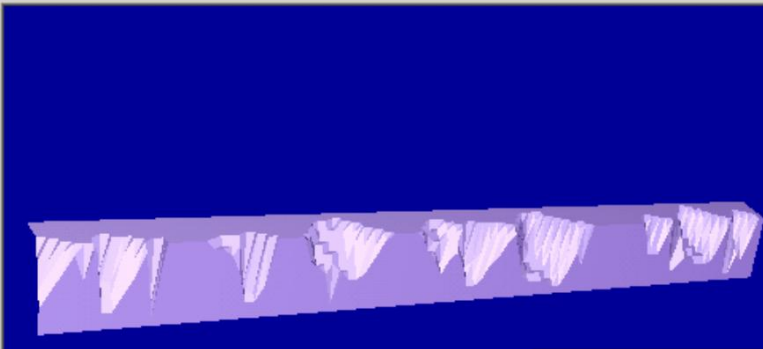


Когда расчет окончен, появляется сводное окно результатов – оно показывает обобщенные результаты об объеме вывалов, коэффициенте запаса, ширине уступов и т.д. При нажатии кнопки **2D Bench Section** Вы можете просмотреть вероятные контуры глубины вывала.



Это окно демонстрирует вероятность вывала, выраженного в виде глубины обрушения уступа. Данные результаты показывают, что существует вероятность 45%, что бровка уступа обрушится, и вероятность падает до 20% на глубине 3.6 м. Схема также показывает форму вываленной горной массы на подошве уступа – на основе усредненного объема вывала. В данном случае показано, что эффективность площадки уменьшилась на 80%.

Three-D View on Bench - Bench No. 1 of 10



Fly in
Fly out


< Up >
Dn

< Pan > Pan >

Можно просмотреть трехмерное отображение уступов с отображением положения вывалов, выявленных программой. Эффективная ширина уступа с учетом вывалов показана ниже. В данном случае результат показывает, что 55% уступов будут шире 11 м.

Bench widths

Cumulative Distribution of Bench Widths




Bench Width (m)	Percentage Greater
6	100
8	90
10	65
11	55
12	0

Copy Distribution Close

Rockfall Results

Results

Rockfalls Retained on Benches



5000blods Released

Copy

RESULTS:

Percent of Rocks that Exceeded 9.0m Standoff:	20.12%
Percentage of Rocks Retained by Catch Benches:	53.4%
Personnel Risk Index (%)	96.206%
Equipment Risk Index (\$)	\$100

Data

Domain	Testdata
Bench face dip (deg)	75.0
Bench face height (m)	20.0
Design Bench width (m)	12.0
Effective Bench width (m)	1.6
Working bench width (m)	30.0
Standoff (m)	9.0

Select Chart

Catch Benches

Retention

По окончании каждого мультиблокового анализа программа автоматически осуществляет анализ предохранительных площадок. В приведенном примере было 4 уступа шириной 12 м и рабочий уступ шириной 30 м. Данные результаты показывают, что 5-ый уступ (верхний уступ) удерживает около 50% вывалов, оставшиеся 50% осыпаются на 4-ый уступ, который удерживает 36% вывалов, и т.д. 1-ый уступ – рабочий уступ – удержит 85% вывалов, попадающих на него, а 15% пойдут дальше, вниз по борту. Текстовые данные результатов показывают, что 20% всех вывалов превысят безопасное расстояние в 9 м от оборудования на рабочем уступе.

Виды анализов

SBlock может использоваться для трех разных видов анализа:

- **Мультиблоковый анализ (Multi Block Analysis):** используются данные о системах трещин и геометрия уступов для выявления потенциально неустойчивых блоков. Большое количество блоков анализируется таким образом, что получается статистика по объему вывалов, их глубине, среднему коэффициенту запаса неустойчивых блоков. Результаты используются для расчета эффективной ширины уступов после вывалов, ширины уступов, занятой вывалившейся горной массой, а также в качестве исходных данных для анализа обрушений.
- **Одноблоковый анализ (Single Block Analysis)** предусмотрен также для оценки геометрии определенного блока/клина. Этот вид анализа достаточно ограничен, но полезен при определении параметров конкретного клина или блока. Мультиблоковый анализ производит тысячи подобных расчетов.
- **Анализ обрушений (Rock Fall Analysis):** результаты мультиблокового анализа используются для оценки эффективности предохранительных площадок по удержанию обрушений. Эффективность предохранительных площадок зависит от ширины уступа, угла откоса, высоты и количества горной массы, находящейся на подошве откоса.

SBlock в основном используется для выполнения мультиблокового анализа. Каждый вид анализа требует некоторых исходных данных и обеспечивает результаты, описанные ниже.

Мультиблоковый анализ

Исходные данные для мультиблокового анализа приведены ниже – следом данные, необходимые для одноблокового анализа.

Данные для мультиблокового анализа

Для запуска мультиблокового анализа необходимо задать как минимум две системы трещин. Окно для ввода данных по системам трещин выглядит следующим образом:

	Orientation			Spacing			Length			Include?
	Dip	Dip dir	Range	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	
Joint 1	65.0	52.0	10.0	3.0	1.0	10.0	10.0	3.0	30.0	<input checked="" type="checkbox"/>
Joint 2	60.0	132.0	10.0	3.0	1.0	10.0	10.0	3.0	30.0	<input checked="" type="checkbox"/>
Joint 3	90.0	90.0	3.0	3.0	1.0	10.0	10.0	3.0	30.0	<input checked="" type="checkbox"/>
Joint 4	35.0	90.0	10.0	3.0	1.0	10.0	10.0	10.0	30.0	<input checked="" type="checkbox"/>
Joint 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
Joint 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
Random set				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>

Следующие данные необходимы для каждой системы трещин:

Ориентация (Orientation)

Ориентация системы трещин определяется средним значением угла падения – Dip (0-90 градусов), и азимутом падения – Dip direction (0-360 градусов) по часовой стрелке от северного направления. Диапазон – Range – определяет разброс значений угла падения и азимута падения в градусах. Разброс в 40 градусов означает, что угол и азимут падения варьируются до 20 градусов выше и ниже среднего значения. Ввод значения угла падения в 90 градусов и разброса, например, в 30 градусов является нормальным, так как программа самостоятельно развернет азимут падения при угле падения более 90 градусов. Также программой производится корректировка при значении азимута падения более 360 градусов.

Расстояние между трещинами (Spacing)

Среднее значение расстояния между трещинами системы вводится в поле Mean spacing, также необходимо ввести минимальное – Minimum и максимальное – Maximum значение расстояния между трещинами системы. SBLOCK предполагает, что величины расстояния между трещинами системы подчиняются отрицательному экспоненциальному закону распределения, с отбрасыванием минимальных и максимальных значений.

Протяженность (Length)

Вводится среднее значение длины следа трещин в поле Mean length, также указываются минимальное и максимальное значение длины следа, соответственно, в полях Minimum и Maximum. SBLOCK предполагает, что величины длины следов трещин подчиняются отрицательному экспоненциальному закону распределения, с отбрасыванием минимальных и максимальных значений.

Случайная система (Random Set)

Задаёт случайную систему трещин – угол и азимут падения будет выбираться случайным образом, необходимо ввести величину среднего расстояния между трещинами и длины следа трещин случайной системы. SBLOCK создаст соответствующую частоту случайных трещин и будет учитывать ее при анализе.

Включить? (Include?)

В данном поле ставится галочка для включения системы трещин в анализ. Если галочка отсутствует, то система трещин не учитывается при анализе. Это полезно при оценке влияния отдельных систем трещин.

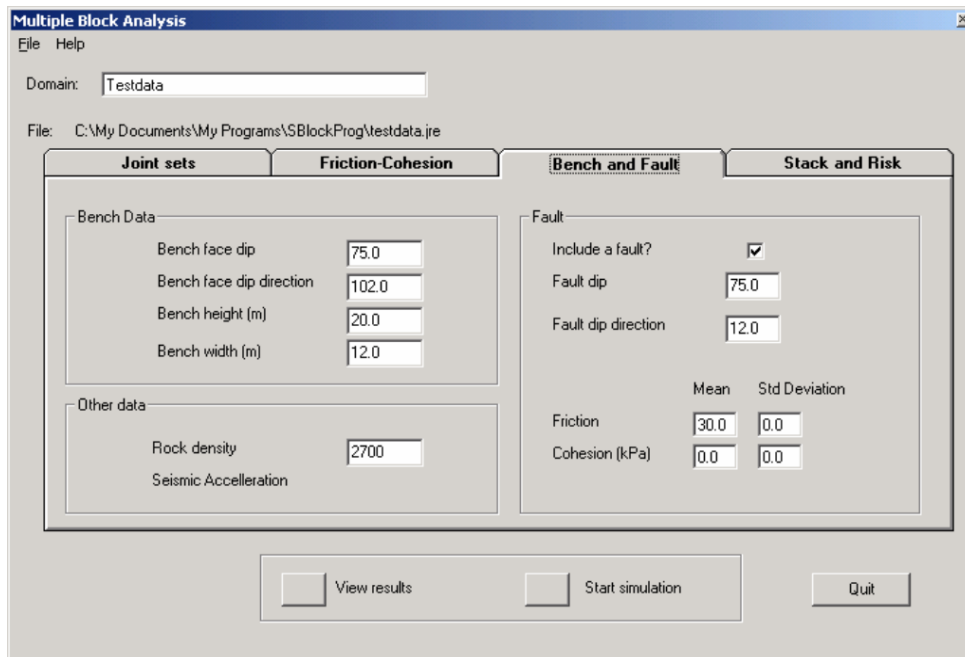
Угол внутреннего трения – Сцепление (Friction-Cohesion)

Угол внутреннего трения трещин и их сцепление вводятся во вкладке “Friction-Cohesion” окна исходных данных. Для анализа необходимо ввести средние величины угла внутреннего трения и сцепления для системы трещин. Для расчета устойчивости на сдвиг используется простой линейный критерий Кулона-Мора.

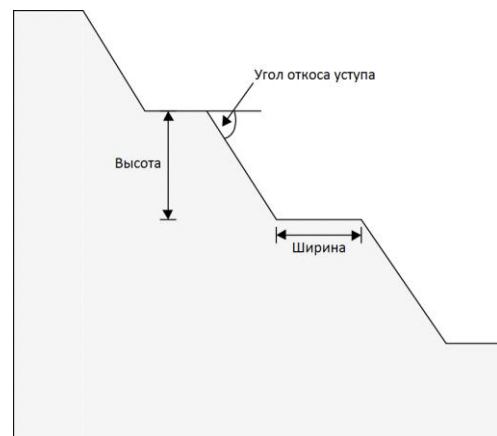
- Сцепление (Cohesion) вводится в кПа.
- Угол внутреннего трения (Friction angle) вводится в градусах и должен быть меньше 90 градусов, обычно в районе 30 градусов.

Параметры уступов и разломов

Параметры уступов вводятся во вкладке “Bench and Fault” окна исходных данных:



- Угол откоса уступа (Bench Face Dip): обычно от 70 до 80 градусов;
- Азимут падения откоса уступа (Bench Face Dip Direction): по часовой стрелке от северного направления (от 0 до 360 градусов);
- Высота уступа (Bench Height): вертикальная высота каждого уступа в метрах – обычно 15 м;
- Ширина уступа (Bench Width): горизонтальная ширина каждого уступа в метрах – горизонтальное расстояние между бровками площадки.



Параметры разлома (Fault Data)

SBlock может определять вывалы, вызванные трещиноватостью, совместно с отдельным разломом.

Трещины будут случайным образом отобраны аналогично обычному мультиблоковому анализу, но разлом всегда имеет постоянную ориентацию, фиксированное положение и будет присутствовать в каждом потенциальном блоке. Все блоки (клиновидного вывала или по плоскости) затем могут быть образованы в противоположность рассматриваемому разлому, и отдельная статистика будет представлена для итоговых вывалов.

Угол падения разлома (Fault Dip), азимут падения разлома (Dip Direction), угол внутреннего трения (Friction) и сцепление (Cohesion) вводятся аналогично трещинам.

Для разлома требуется ввести величины среднеквадратичного отклонения угла внутреннего трения и сцепления – это дает возможность применять переменную величину прочности к разлому. SBlock предполагает, что значения углов внутреннего трения и сцепления подчиняются нормальному закону распределения. Анализ разломов не является обязательным при мультиблоковом анализе.

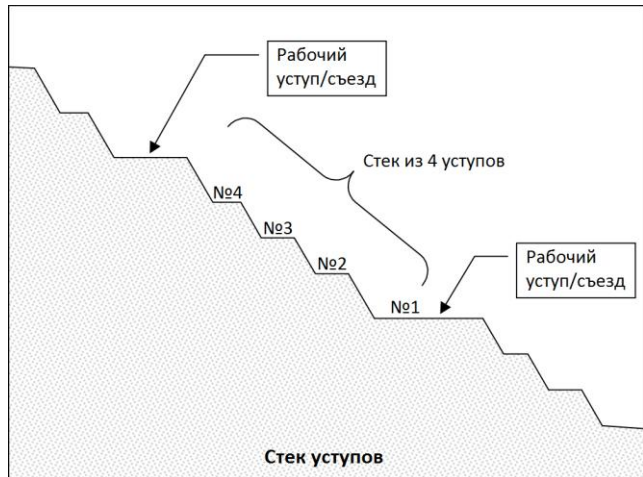
Другие параметры

Плотность (Density) задается в кг/м^3 – обычно 2700.

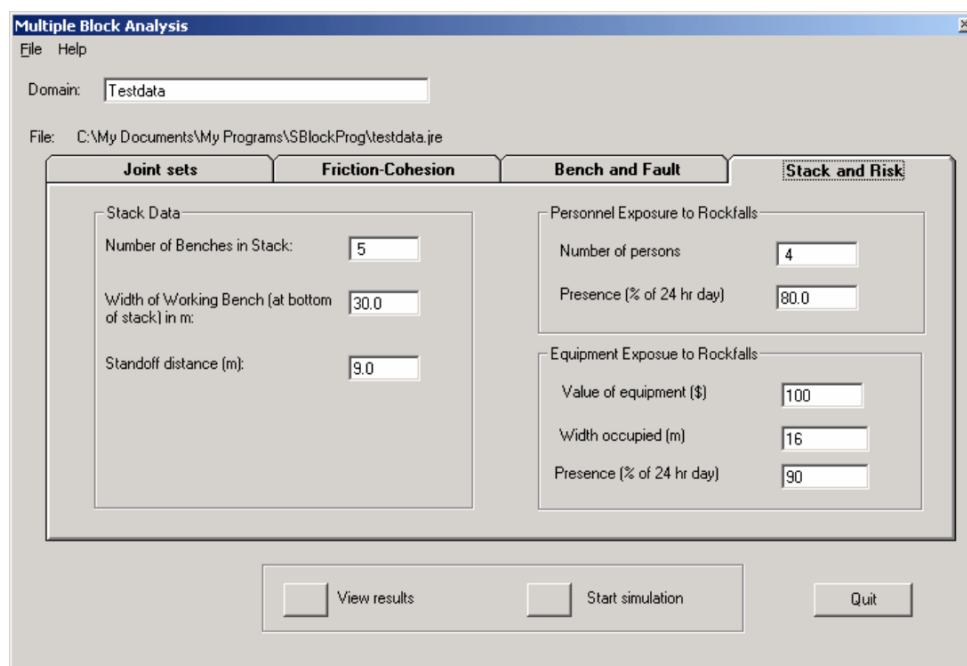
Сейсмическое ускорение (Seismic Acceleration) задается в м/с^2 – сейсмическое ускорение направлено наружу, перпендикулярно откосу уступа, для моделирования ударной нагрузки от землетрясения – обычно используется нулевое значение, так как это не очень удовлетворительный метод оценки сейсмической нагрузки.

Стековые параметры (Stack Data)

Стек – это количество уступов между транспортными съездами или широкими рабочими уступами. SBlock использует стек для расчета опасности обрушений на транспортный съезд или рабочий уступ. В стеке можно задать любое количество уступов от 1 до 100. Уступы в стеке действуют как предохранительные площадки, защищающие транспортный съезд или рабочий уступ от обрушений. Все уступы будут иметь одинаковую ширину, высоту и угол откоса.



- Количество уступов в стеке (Number of Benches in Stack): любое количество уступов – обычно от 5 до 8.
- Ширина рабочего уступа (Width of working bench): ширина уступа или транспортного съезда в подошве стека в метрах. Обычно от 30 до 50 м.
- Безопасное расстояние (Standoff Distance): расстояние от нижней бровки нижнего уступа до оборудования или персонала. Если самосвалы работают не менее, чем в 5 м от нижней бровки, то безопасное расстояние равно 5 м.



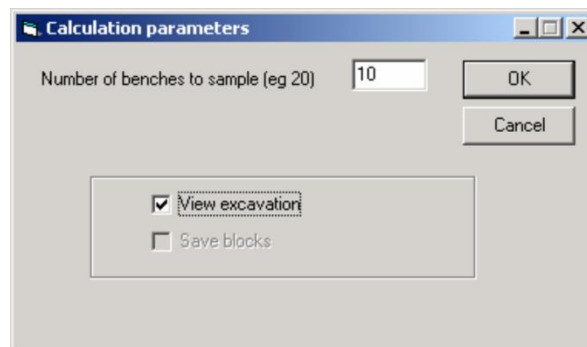
Данные по рискам (Risk Data)

SBlock выражает опасность обрушений, связанных с расположением уступов, с точки зрения рисков. Риски могут быть вероятностью травматизма или вероятностью экономического ущерба. Риски рассчитываются как: вероятность события × пространственное присутствие × временное присутствие × последствия. Для оборудования или установок последствием является потеря в результате повреждений от обрушения. С точки зрения травматизма последствия выражаются в виде единиц. SBlock рассчитывает риск обрушения как индекс, так как количество потенциальных обрушений неизвестно. Это позволяет оценить индекс для различных схем уступов, но не дает абсолютных величин рисков.

- Наличие персонала (Personnel Exposure): наличие персонала на рабочем уступе или транспортном съезде, выраженное в процентах от 24 часов.
- Наличие оборудования (Equipment Exposure): Стоимость оборудования в долларах США, находящегося на 200 м простирающемся рабочем уступе в любой момент времени. Например, если работает три самосвала по цене 100 000 долларов каждый, но лишь один из них находится в одно и то же время на уступе, вводится величина \$100 000.
- Занятая ширина (Width Occupied): определяет ширину оборудования по простирающему уступу, то есть ширина, подверженная обрушениям. Например, самосвал может иметь ширину 12 м с точки зрения падения горной массы.
- Наличие (Presence): Простой оборудования на уступе или транспортном съезде в течение 24 часов.

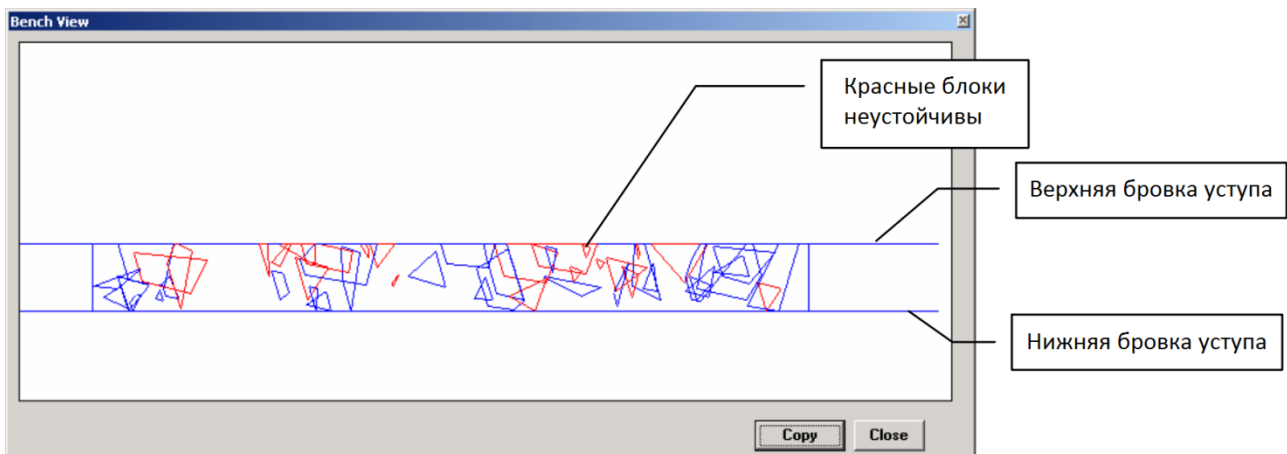
Запуск мультиблокового анализа

При нажатии **Run Analysis** в окне данных для мультиблокового анализа появится следующее окно:

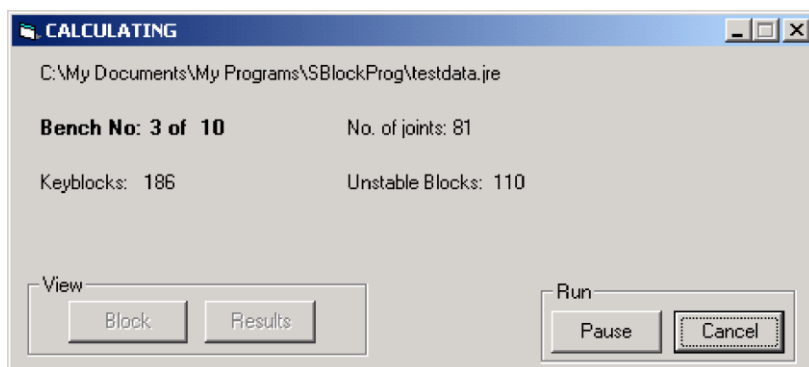


Выбор количества уступов (Number of benches to sample) косвенно определяет количество трещин, которые будут сгенерированы, и количество потенциально неустойчивых блоков. SBLOCK возьмет разрез по простиранию уступа в 200 м для определения неустойчивых блоков – это будет один уступ. После завершения расчетов по одному уступу трещины удаляются, и начинается расчет следующего уступа длиной 200 м. Этот процесс повторяется в соответствии с выбранным количеством уступов. Пользователь не контролирует количество блоков, которые будут выявлены программой.

Просмотр выработки (View Excavation) – можно поставить галочку для просмотра процесса формирования блоков в процессе расчета. Соответствующее окно показывает вид на 200-метровый откос уступа с отображением контуров блоков: красные контуры показывают неустойчивые блоки, синие – устойчивые. При этом каждая трещина не отображается – только трещины, образующие грани блоков.

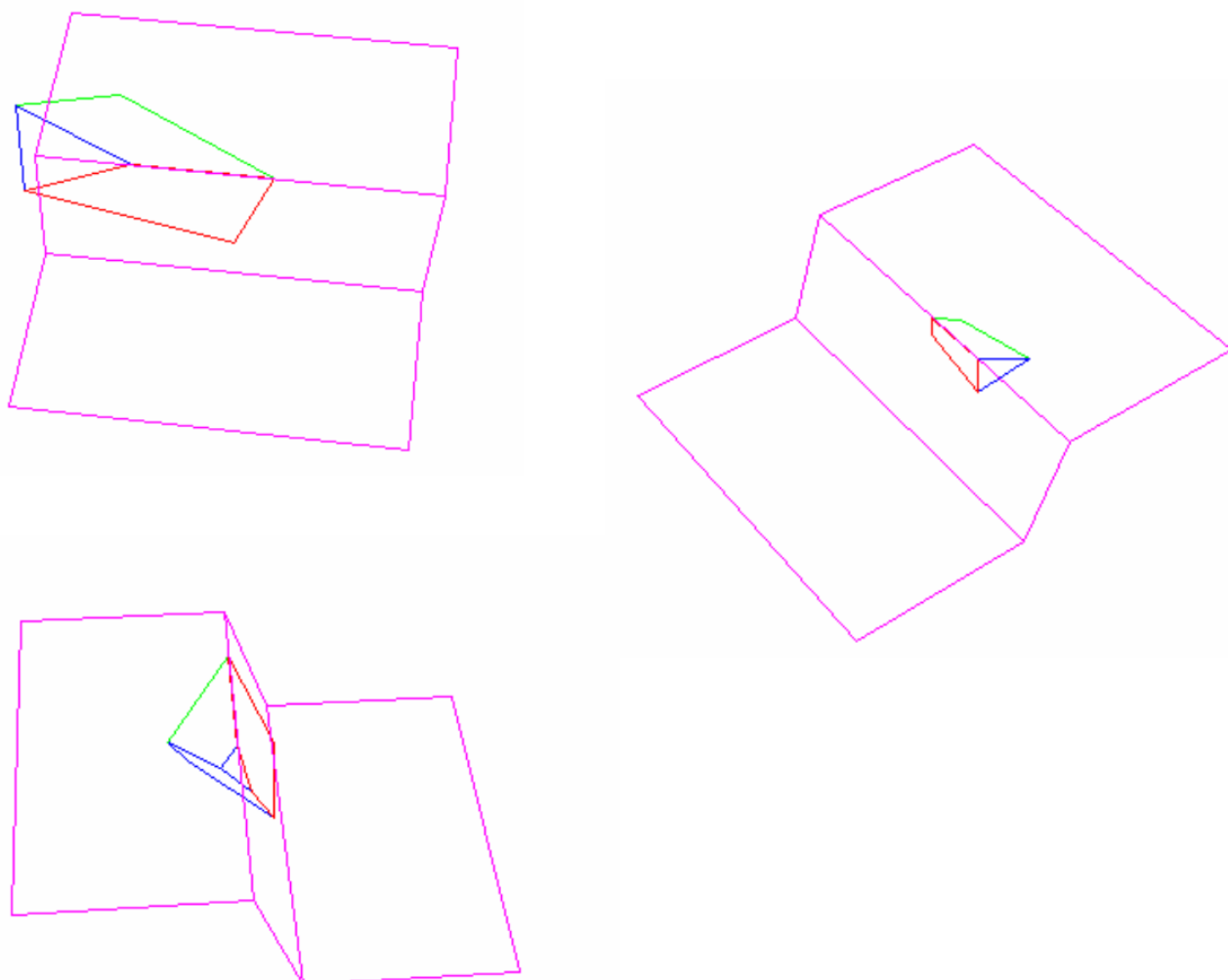


В процессе мультиблокового анализа появится следующее окно:



Оно показывает прогресс расчетов и позволяет прервать запущенный процесс и просмотреть промежуточные результаты. На данном примере окна показано, что 186 ключевых блоков найдено и 100 из них неустойчивы. Также показано, что 81 трещина была найдена по длине текущего уступа.

При нажатии кнопки **Pause** можно просмотреть последний сформированный блок – это дает хорошее представление о форме блоков, определяемых SBlock (см. примеры ниже).



Мультиблоковый анализ – Результаты

Сводная информация о результатах

По завершении расчетов появится следующее окно со сводной информацией о результатах и исходных данных:

The screenshot shows the 'Multi Block Results' window with the following content:

RESULTS	
Average Failure Volume (m ³ /m)	17.2
Average Factor of Safety of Blocks/Wedges	2.60
Average Effective Bench Width (m)	10.3
Failure Free Bench Length (%)	55.0
Average Non-Zero Failure Volume (m ³ /m)	25.3
Average Required Bench Width (m)	8.7

DATA	
Domain	Testdata
Bench face dip (deg)	75.0
Bench face dip dir(deg)	102.0
Bench face height (m)	20.0
Design bench width (m)	12.0

Below the data tables are several interactive sections:

- View Failure Probability:** 2D Bench Section, 3D Probability, 3D-Fault Effect
- View Charts:** Bench widths, Joint Activity, Block Size, Failure Volumes
- View 3D Failure Geometry:** Joint failures, Fault related failures
- Catch Bench Results:** View, Sensitivity Analysis

At the bottom are 'Save' and 'Quit' buttons.

Annotations on the right side of the image point to specific features:

- Обобщенные результаты (Generalized results) - points to the RESULTS table.
- Обобщенные исходные данные (Generalized input data) - points to the DATA table.
- Просмотр в различном виде вероятности обрушения (View failure probability in different views) - points to the View Failure Probability section.
- Графики/гистограммы с результатами (Charts/histograms with results) - points to the View Charts section.
- Просмотр в 3D уступов с отображением геометрии вывалов (View 3D benches with display of failure geometry) - points to the View 3D Failure Geometry section.
- Анализ и результаты вывалов горной массы и эффективности предохранительных площадок (Analysis and results of rock mass failures and effectiveness of safety platforms) - points to the Catch Bench Results section.

Сводная информация о результатах состоит из:

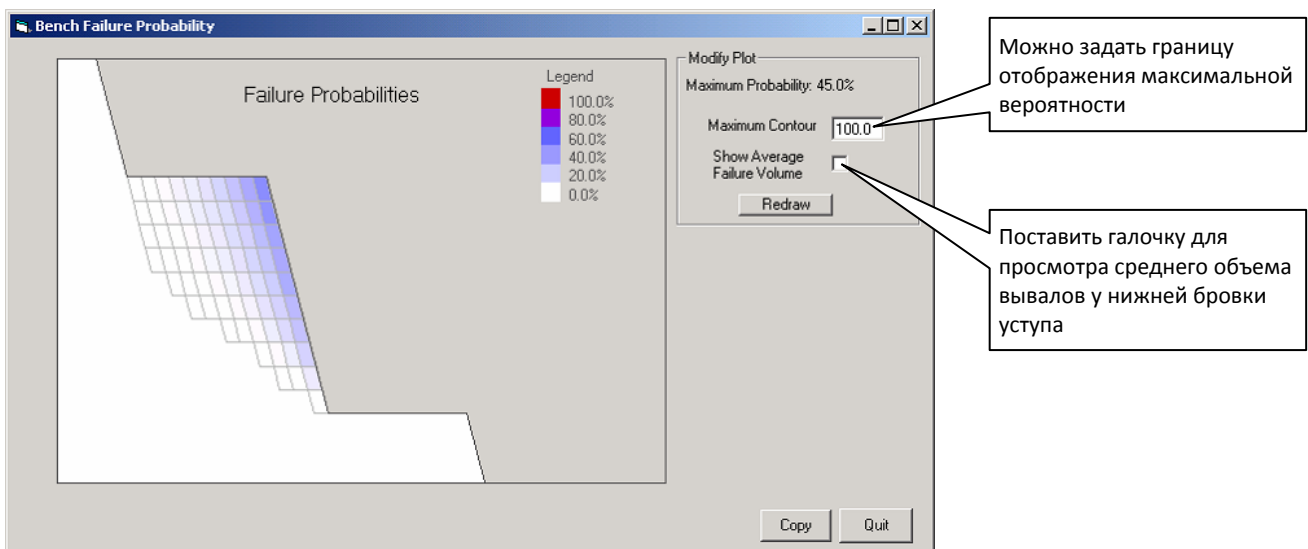
- **Средний объем вывалов (Average failure volume):** средний объем вывалов горной массы, рассчитанный 1 м срезами через каждые 2 м по простиранию моделируемых уступов. Включает части уступов, где вывалы равны нулю. Объем вывалов выражается как объем на 1 м длины уступа по простиранию (см. ненулевой объем вывала ниже).
- **Средний коэффициент запаса блоков/клиньев (Average factor of safety of blocks/wedges):** среднее арифметическое всех коэффициентов запаса блоков, которые могут съехать по свободной поверхности. Включает в себя устойчивые и неустойчивые блоки, но не учитывает блоков, съезжающих по ненарушенной породе (съезжающих со свободной поверхности уступов).
- **Средняя эффективная ширина уступов (Average effective bench width):** это среднее значение горизонтального размера моделируемых уступов, показывает влияние вывалов со стороны верхней бровки на ширину уступов. Если уступы спроектированы шириной 15 м, а эффективная ширина равна 11 м, то это означает, что в среднем 4 м со стороны бровки уступа обрушились.
- **Длина уступа без вывалов (Failure Free Bench length):** длина верхней бровки уступов, не подверженная вывалам, в процентах.

- **Средний объем ненулевых вывалов (Average non-zero failure volume):** средний объем вывалов, полученный как отношение общего объема вывалов к длине верхней бровки, подвергшейся обрушениям (исключая из расчетов длину верхней бровки уступов, не подверженную вывалам). Это дает хорошее представление о количестве обрушенной горной массы по каждому месту вывала. В некоторых случаях образуется один или два крупных вывала, и объем, выраженный как среднее по всей длине уступа, может показаться небольшим, но при этом отдельные вывалы могут быть большими.
- **Средняя необходимая ширина уступа (Average required bench width):** ширина уступа, необходимая для удержания вывала среднего объема, исходя из угла естественного откоса в 30 градусов и 40% увеличения объема. Предполагается, что вывалившаяся горная масса пребывает в виде обломков и лежит в куче на подошве каждого уступа. Это дает представление, какой должна быть ширина уступов для удержания вывалившегося объема. Это необходимо сопоставлять с эффективной шириной уступов (Effective bench Width). Необходимо отметить, что эти две величины основаны на средних значениях, при этом отдельные вывалы могут быть гораздо шире средних.

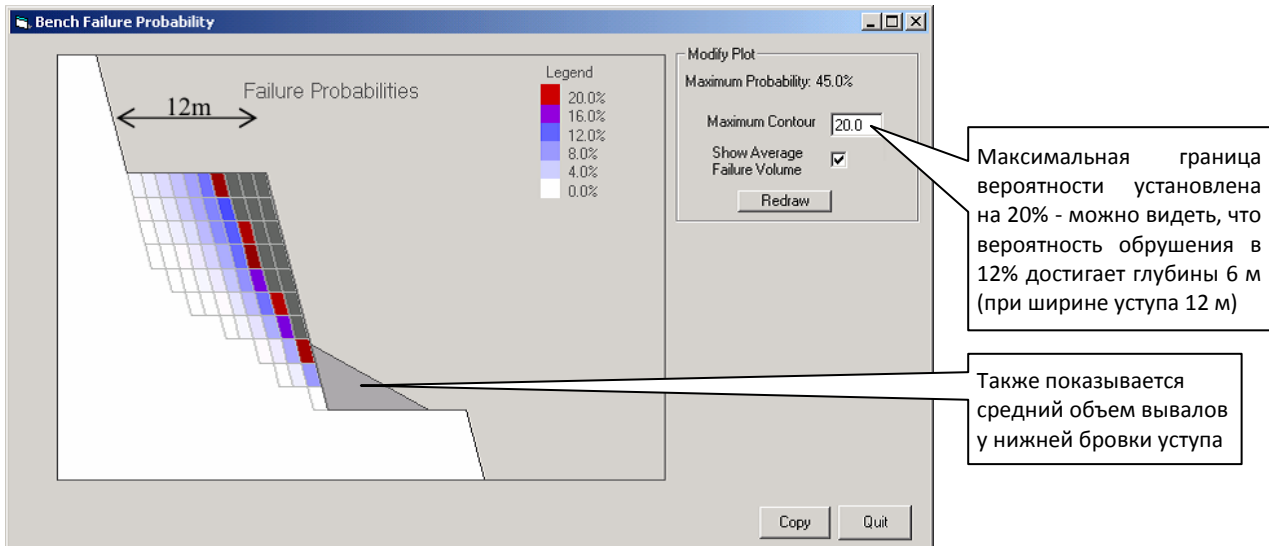
Окно сводной информации позволяет просмотреть несколько графических иллюстраций и трехмерных изображений результатов:

Плоский разрез по уступу (2D Bench Section)

Показывает среднюю вероятность обрушения по разрезу – в виде индикации глубины вывала в уступе.



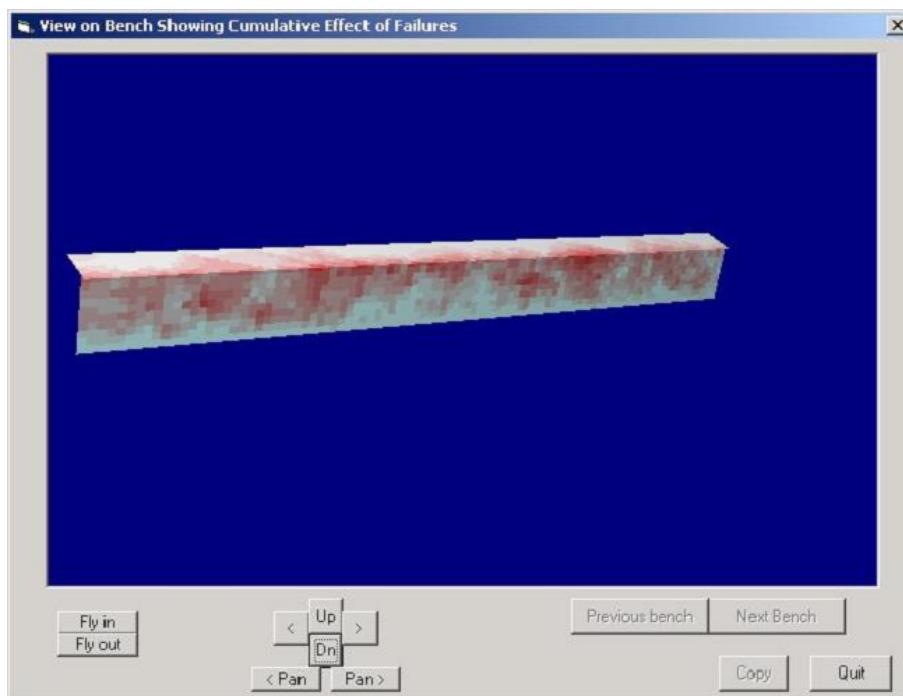
Эта графическая иллюстрация показывает, что верхняя бровка уступа имеет вероятность обрушения около 45%. Вероятность того, что обрушение распространится глубже 6 м, как видно по следующей графической иллюстрации, около 12%, где максимальная граница вероятности ограничена 20%.



Более точная оценка обрушения уступа может быть получена по графическим иллюстрациям, описанным ниже.

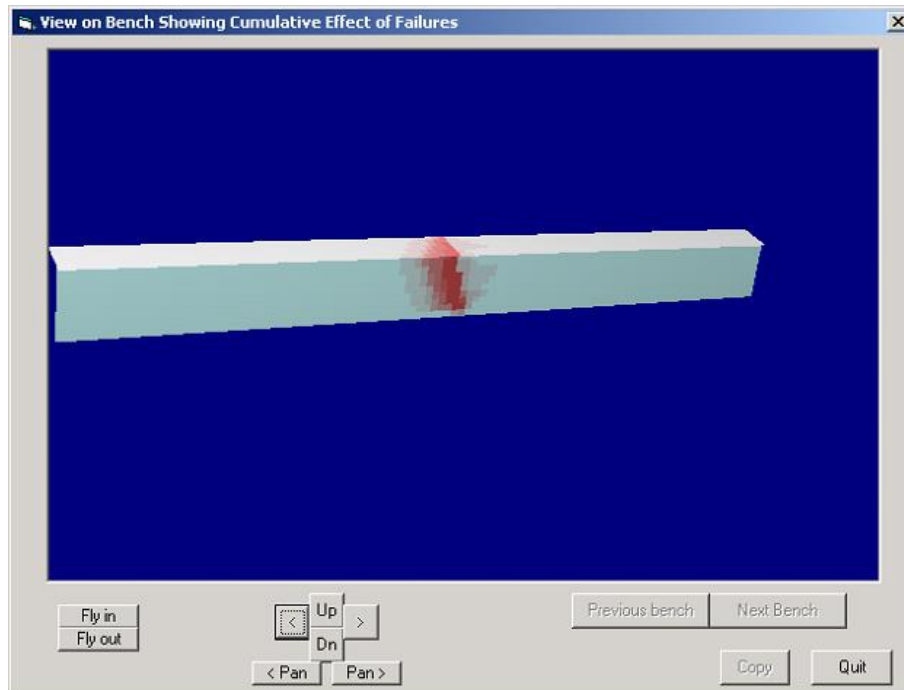
Вероятность в 3D (3D Probability)

Данное окно показывает в трехмерном виде совокупность обрушений по всем моделируемым уступам в процентном виде – более красный оттенок означает более высокий процентаж – в случае появления всего нескольких вывалов уступ будет пятнистым. Это дает представление о глубине и распространении вывалов, которые могут произойти.



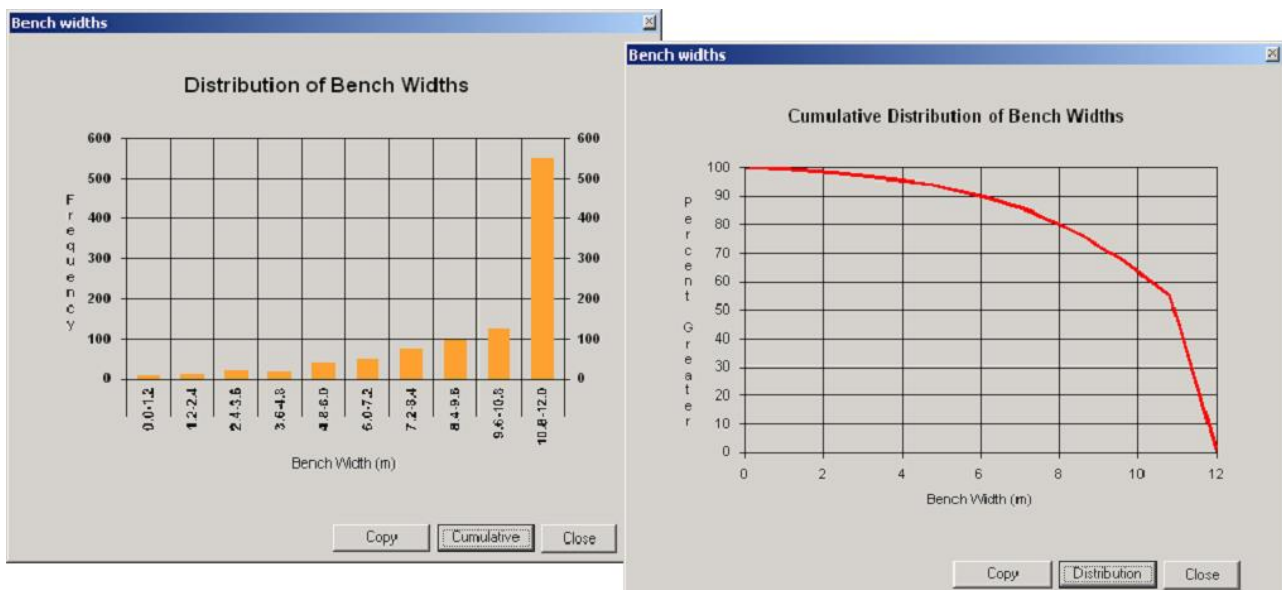
Влияние разлома в 3D (3D Fault Effect)

Это окно показывает обрушение, вызванное трещиноватостью, в месте прохождения разлома. Более темные оттенки означают более высокую вероятность обрушения. Обрушения рассчитываются, исходя из того, что положение разлома неизменно, а блоки или клинья образуются трещинами, пересекающимися разломом.



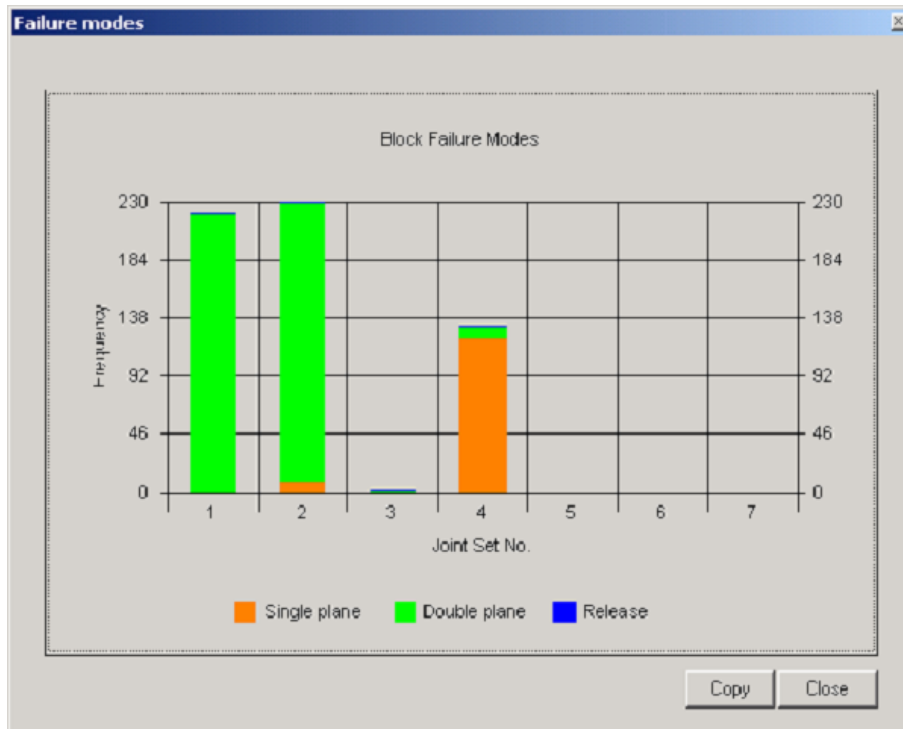
Распределение величин ширины уступов (Distribution of Bench Widths)

Данное окно отображает график распределения величин ширины уступов при наличии вывалов блочной и клиновидной формы. Также можно просмотреть график накопленных значений – на графике внизу показано, что 80% всех уступов имеют ширину более 8 м.



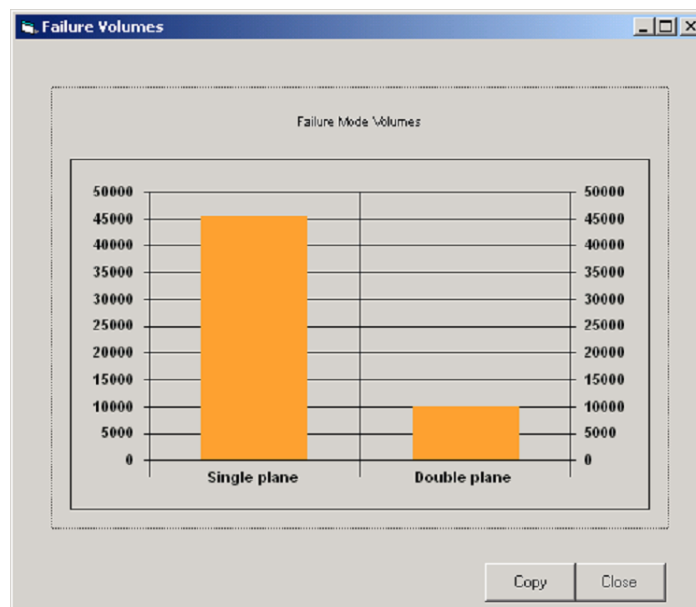
Поведение трещин (Joint Activity)

Данное окно показывает, какие системы трещин повлияли на образование неустойчивых блоков. Следующий график демонстрирует, что система трещин 3 не оказывает влияния, системы трещин 1 и 2 формируют клиновидные обрушения (сдвиг по двум плоскостям), в то время как система трещин 4 вызывает обрушение по одной плоскости (обрушение по плоскости).



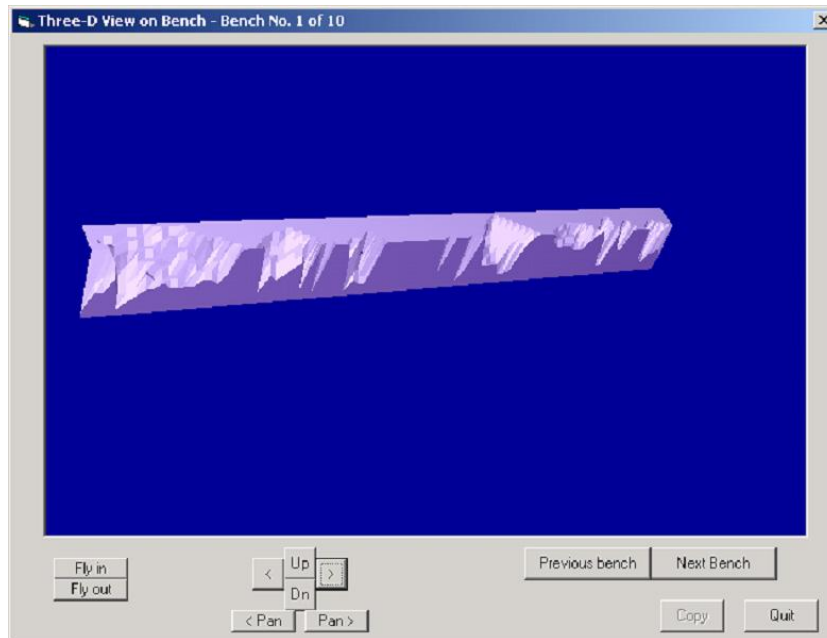
Объемы вывалов (Failure Volumes)

Этот график показывает, какой объем обрушенной горной массы приходится на каждый вид обрушения. Приведенный ниже график показывает, что большинство обрушений произошло по одной плоскости, и меньшее количество обрушений произошло по двум плоскостям сдвига (клиновидные обрушения).



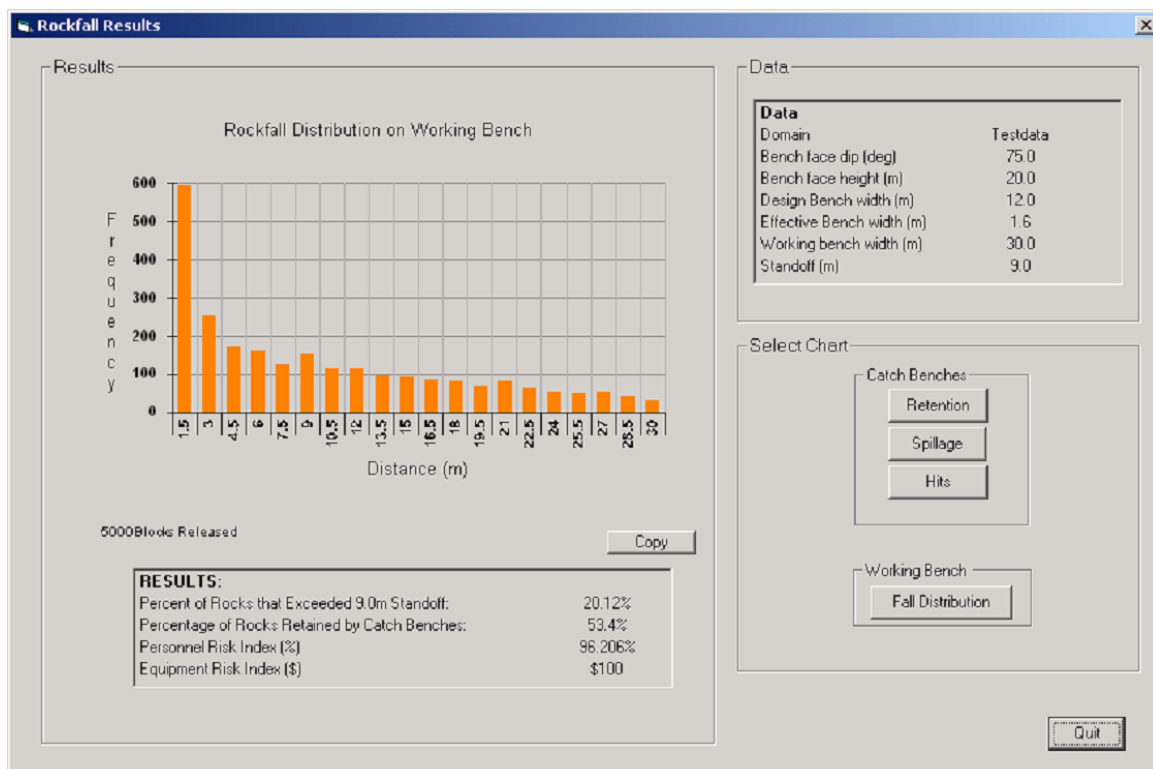
Просмотр в 3D обрушений, вызванных трещиноватостью (View 3D Joint Failures)

Данное окно демонстрирует трехмерное изображение каждого моделируемого уступа после удаления обрушившихся блоков. Данная графическая иллюстрация не показывает очень малые блоки (менее 0.5 м³). Это изображение можно вращать/панорамировать/масштабировать. Также можно последовательно просматривать моделируемые уступы путем нажатия кнопок Next Bench/Previous Bench.



Просмотр результатов по предохранительным площадкам (View Catch Bench Results)

Данное окно отображает результат анализа обрушений, который автоматически производится после каждого мультиблокового анализа. Целью анализа обрушений является оценка эффективности



уступов по удержанию вывалов. Анализ обрушений основан на идее стека уступов с рабочим уступом внизу. Программа выдает 5000 блоков с различным положением в стеке уступов и рассчитывает, как далеко они откатятся/отскочат. Следует отметить, что количество выдаваемых блоков всегда равно 5000 и не зависит от устойчивости борта. Откос уступа, эффективная ширина уступа после обрушения, обломки горной массы у нижней бровки каждого уступа, высота уступа и угол откоса уступа оказывают влияния на эффективность уступов по удержанию вывалов. Расчет основывается на диаграммах проектирования обрушений, выпущенных Департаментом транспорта Орегона на основе реальных испытаний по обрушению горной массы в карьерах (см. более подробную информацию в разделе Список литературы).

Результаты приводятся в следующем виде:

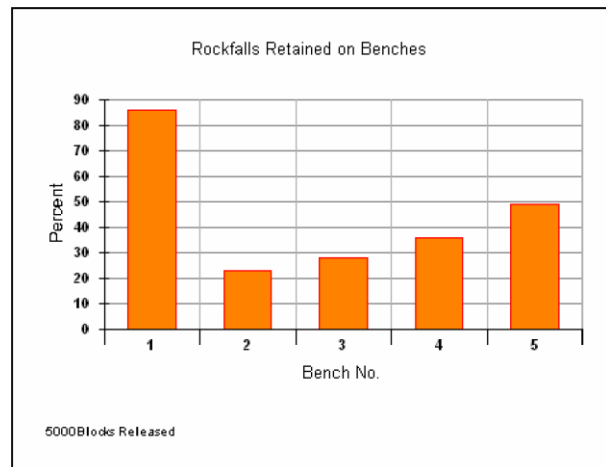
- **Процент вывалов, превысивших безопасное расстояние (Percent of rockfalls that exceed standoff):** рассчитывается как количество породы, попавшей в зону безопасного расстояния, определенного пользователем. В приведенном выше примере безопасное расстояние было установлено в 9 м, и 20% горной массы пересекло этот предел.
- **Процент горной массы, удержанной предохранительными площадками (Percentage of rocks retained by catch benches):** это процент горной массы, который не вывалился на самый нижний уступ (рабочий уступ), а был удержан на верхних уступах в стеке.
- **Индекс риска для персонала (Personnel risk index):** это индекс, рассчитанный, исходя из количества людей на рабочем уступе, времени их присутствия на уступе и вероятности того, что вывалы попадут в безопасное расстояние. Этот индекс может быть использован для сравнения между собой различных схем отработки уступов.
- **Индекс риска для оборудования (Equipment risk index):** используется аналогичная описанной выше процедура для расчета риска (\$) того, что оборудование будет повреждено вывалами.

График распределения вывалов (Rockfall Distribution chart) показывает места по рабочему уступу, где вывалы остановятся. График, показанный выше, показывает, что большая часть вывалов осталась около нижней бровки откоса, при этом небольшое количество горной массы прошло всё расстояние до отметки 30 м.

Также можно посмотреть эффективность отдельных предохранительных площадок:

Удержание (Retention)

Показывает, какой процент вывалов был удержан на каждом уступе. Уступ №1 (Bench No.) – это рабочий уступ на графиках. Данный график показывает, что самый верхний уступ (№5) способен удержать около 48% вывалов, которые на него попадают, следующий уступ ниже (№4) способен удержать 36% вывалов, попадающих на него. Причина более низкого процента в том, что некоторое количество горной массы с уступа №5 выйдет за пределы и пойдет ниже с большей энергией. Рабочий уступ (№1) удержит 86% горной массы, вывалившейся на него, но оставшиеся 14% уйдут дальше вниз по откосу. (В данном примере рабочий уступ имеет ширину 30 м, что объясняет, почему он удержит больше горной массы, чем вышележащие предохранительные площадки).

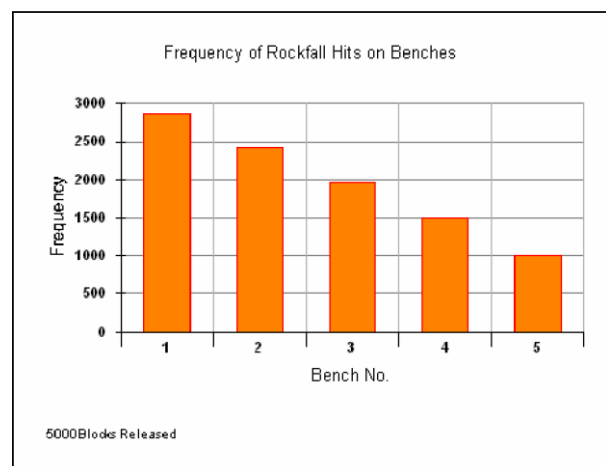


Потери (Spillage)

График потерь является обратный к графику удержания, – показывает процент горной массы, потерянной каждым уступом.

Попадания (Hits)

Этот график показывает число вывалов, попавших на каждый уступ, основываясь на расчете 5000 блоков. Необходимо помнить, что большое количество горной массы, попавшее на один уступ, может проследовать дальше и попасть на следующие уступы ниже.



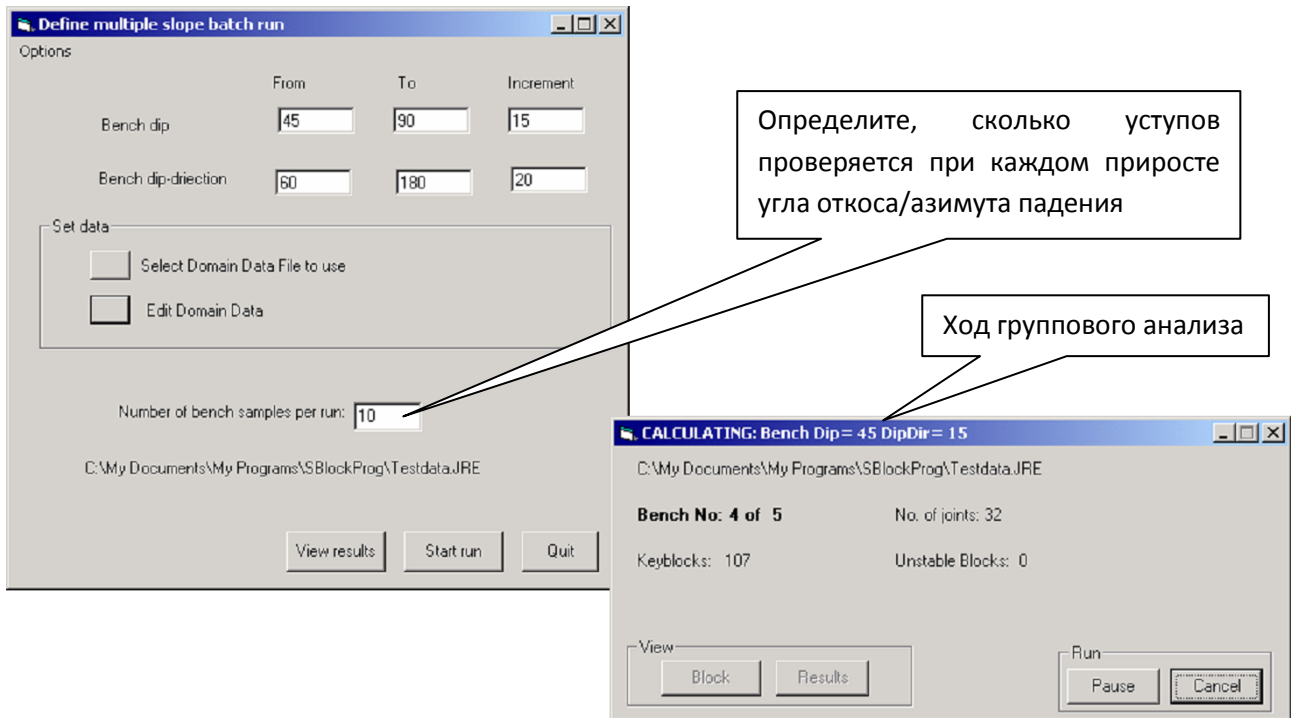
Анализ влияния (Sensitivity Analysis)

Анализ чувствительности к вывалам может быть выполнен после проведения Мультиблокового анализа. Это позволяет изменить число уступов в стеке, безопасное расстояние и ширину рабочего уступа. SBlock будет использовать уже рассчитанное распределение ширины уступов (после обрушения) и пересчитает эффективность уступов. Это позволяет быстро оценить риск вывалов от количества уступов в стеке.

Групповой анализ (Batch Runs)

Установки группового анализа (Batch Run Setup)

Опция группового анализа позволяет создавать серии уступов различной ориентации, чтобы последовательно их проанализировать и затем просмотреть результаты одновременно. Окно данных группового анализа говорит само за себя – вы задаёте, какие углы откосов и азимуты падения должны быть оценены, указываете используемый файл данных и количество уступов для рассмотрения для каждого прироста угла откоса/азимута падения.



Результаты группового анализа (Batch Run Results)

Результаты группового анализа сохраняются в серии файлов – SBLOCK создает файлы с результатами, присваивая им имена следующим образом:

Domain file name + _dip + dipdirection + .jre

Доменное имя файла + _угол откоса + азимут падения + расширение файла .jre

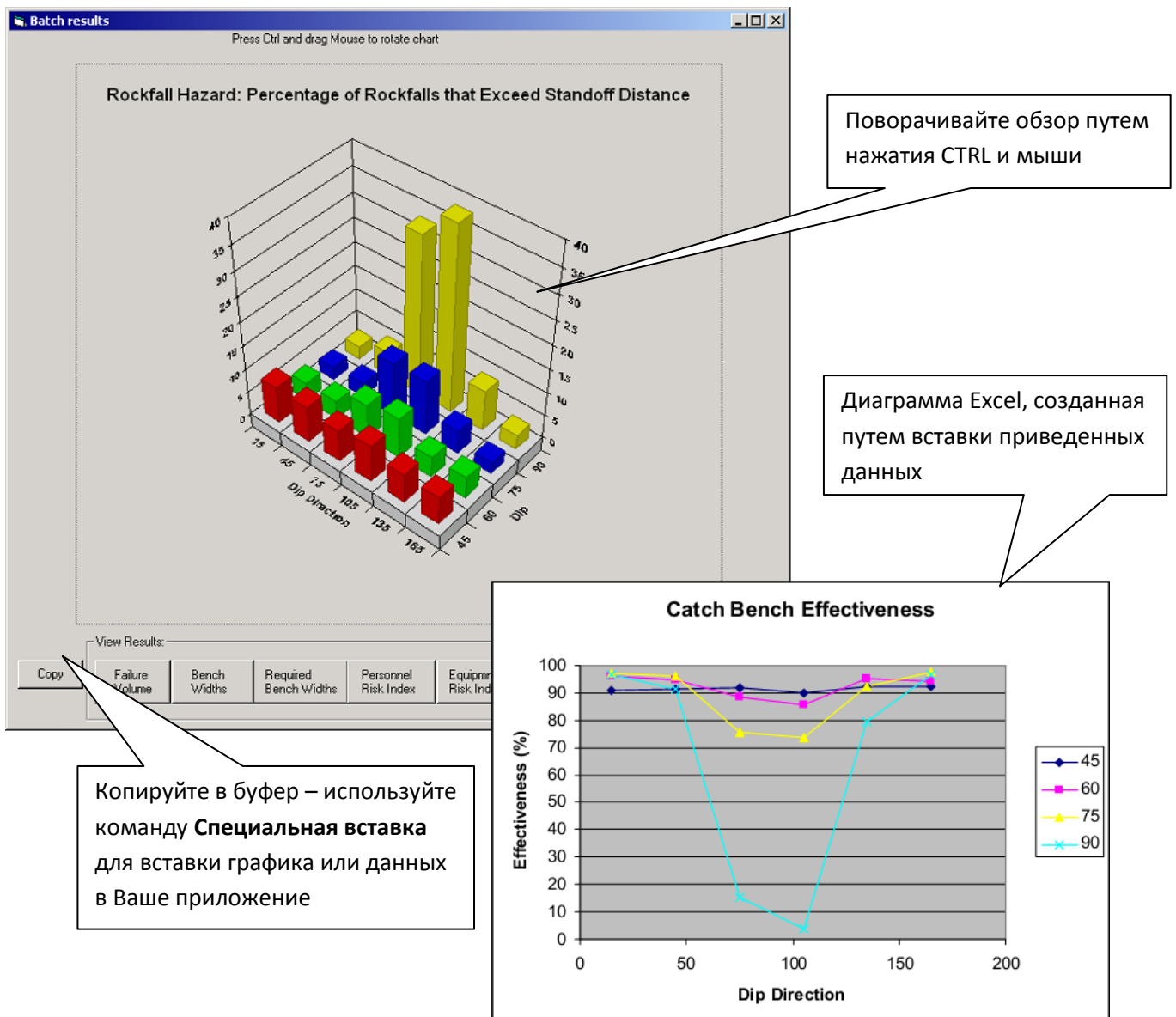
Обратите внимание, что все трехмерные представления, а также данные по предохранительным площадкам и т.д., сохраняются для каждого анализа в группе.

Просмотреть отдельно каждый файл с результатами можно путем использования опций меню Open Existing Job (Открыть созданную работу) – Multi Block Run (Мультиблоковый анализ). Итоговый групповой файл также сохраняется и содержит ключевые результаты, он именуется как:

Domain file name + .sbt

Доменное имя файла + расширение файла .sbt

Итоговые результаты можно просмотреть в виде трехмерных столбчатых графиков. Столбчатые диаграммы обеспечивают быстрый обзор результатов.

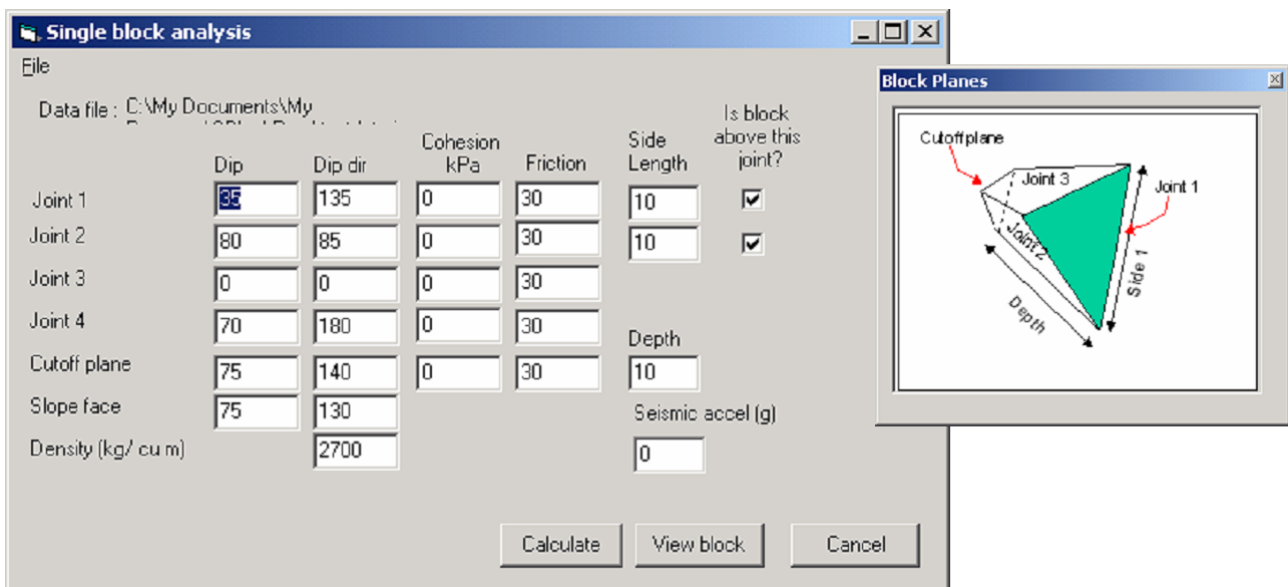


Одноблочный анализ (Single Block Analysis)

Данные для одноблочного анализа

Одноблочный анализ позволяет оценить устойчивость известного блока с известными ориентациями трещин и размерами граней. Вы можете использовать данный анализ для оценки эффекта увеличения или уменьшения угла откоса уступа на устойчивость. Это довольно ограниченный, но полезный инструмент для получения представления о коэффициентах запаса и связанных параметрах, таких как угол внутреннего трения и сцепление.

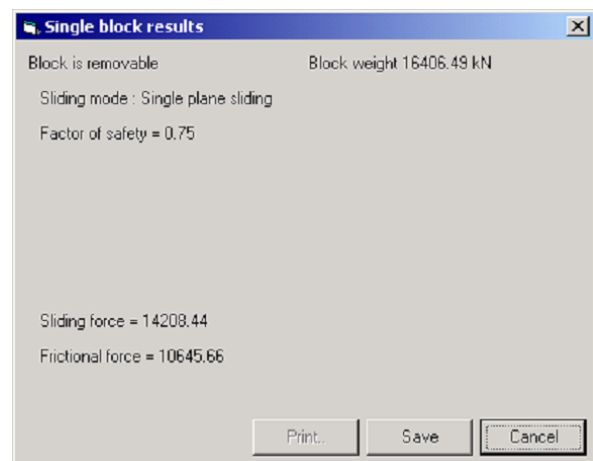
При начале одноблочного анализа (Single Block Analysis) появляется опция выбора типа обрушения – клиновидного (wedge) или по плоскости (plane). Для обрушения по плоскости необходимо задать пять систем трещин плюс ориентацию откоса. Типовыми данными для этих видов анализа являются: угол падения и азимут падения трещин, угол внутреннего трения и сцепление. Необходимо также задать длину как минимум двух сторон, чтобы полностью определить размер блока/клина. Дополнительно необходимо задать, находится ли клин/блок выше или ниже двух поверхностей трещин, чтобы программа могла найти правильные полупространства, где формируется блок. Небольшое диалоговое окно появляется, чтобы помочь в определении правильной нумерации поверхностей.



Проверить геометрию блока можно нажатием на View Block (Посмотреть блок). Если блок выглядит неправильно, то, скорее всего, задан неверный порядок трещин или определено неверное полупространство (Block above plane – Блок выше поверхности).

Результаты одноблочного анализа (Single Block Results)

Результаты одноблочного анализа отображаются следующим образом: Выдается сводка по подвижности блока (block removability), его весу (Block weight), сдвигающей (Sliding force) и удерживающей (Resistance force) силе, виду сдвига (Sliding mode) и коэффициенту запаса (Factor of safety).



ЧАСТЬ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

История вопроса

SBlock использует метод ключевых блоков, разработанный Гудманом и Ши (1985), для расчета сдвигаемости блоков с поверхности откоса. Это позволяет оценивать блоки любой формы. SBlock может оценивать блоки, имеющие до 8 граней. После определения сдвигаемости программа использует векторные методы для определения направления сдвига, нормальных и сдвигающих сил по поверхностям сдвижения и коэффициент запаса для блока. Сдвижение может происходить по одной поверхности (обрушение по плоскости) или по двум поверхностям (клиновидное обрушение), а также иногда по трём поверхностям. Пользователю не требуется определять, какой вид сдвижения и обрушения рассматривать, – программа определяет блоки и устанавливает, будут ли они вываливаться с поверхности откоса, а также устанавливает вид сдвижения.

Мультиблоковый анализ

При мультиблоковом анализе программа циклически выбирает поверхности трещин из предоставленной статистики трещиноватости и проверяет, сформировался ли блок. Мультиблоковый расчет основывается на том, что уступы карьера имеют длину 200 м. Каждый раз, когда трещины выбраны, они проверяются на предмет того, пересекают ли они «линии сканирования», которые располагаются по срединной высоте борта уступа. Количество трещин, пересекающих линию сканирования, сопоставляется с ожидаемой частотой трещин вдоль линии сканирования. Когда достаточное количество трещин по линии сканирования отобрано, начинается обработка нового уступа. Объем вывалов и другая статистика накапливается для каждого уступа, а итог приводится по окончании каждого расчета. Несколько сотен уступов может быть отобрано для получения репрезентативной статистики обрушений.

Анализ предохранительных площадок

По окончании каждого мультиблокового расчета SBlock осуществляет анализ эффективности предохранительных площадок, исходя из оставшейся ширины уступов (после обрушений). В программе используются эмпирические соотношения между расстояниями вывалов и углом откоса – высотой откоса, по определению Департамента транспорта Орегона (2002). Предполагается, что большое количество горной массы выбрасывается с поверхности откоса, и ее финальное расстояние разлета определяется, обеспечивая статистику эффективности уступов карьера по удерживанию вывалов горной массы.

Одноблоковый анализ

Одноблоковый анализ ограничен оценкой одного заданного блока. Это полезно при анализе коэффициента запаса единственного блока. Для определения устойчивости блока используется метод ключевых блоков и методы присоединенных векторов.

Блок-схема программы при мультиблоковом анализе

Общая блок-схема программы при мультиблоковом анализе показана на Рисунке 1. По сути SBlock создает блоки, исходя из статистики трещиноватости, пока не будет найдено требуемое количество трещин вдоль по линиям сканирования. Этот процесс повторяется, пока требуемое количество уступов не будет смоделировано. По завершении анализа устойчивости проводится анализ вывалов.

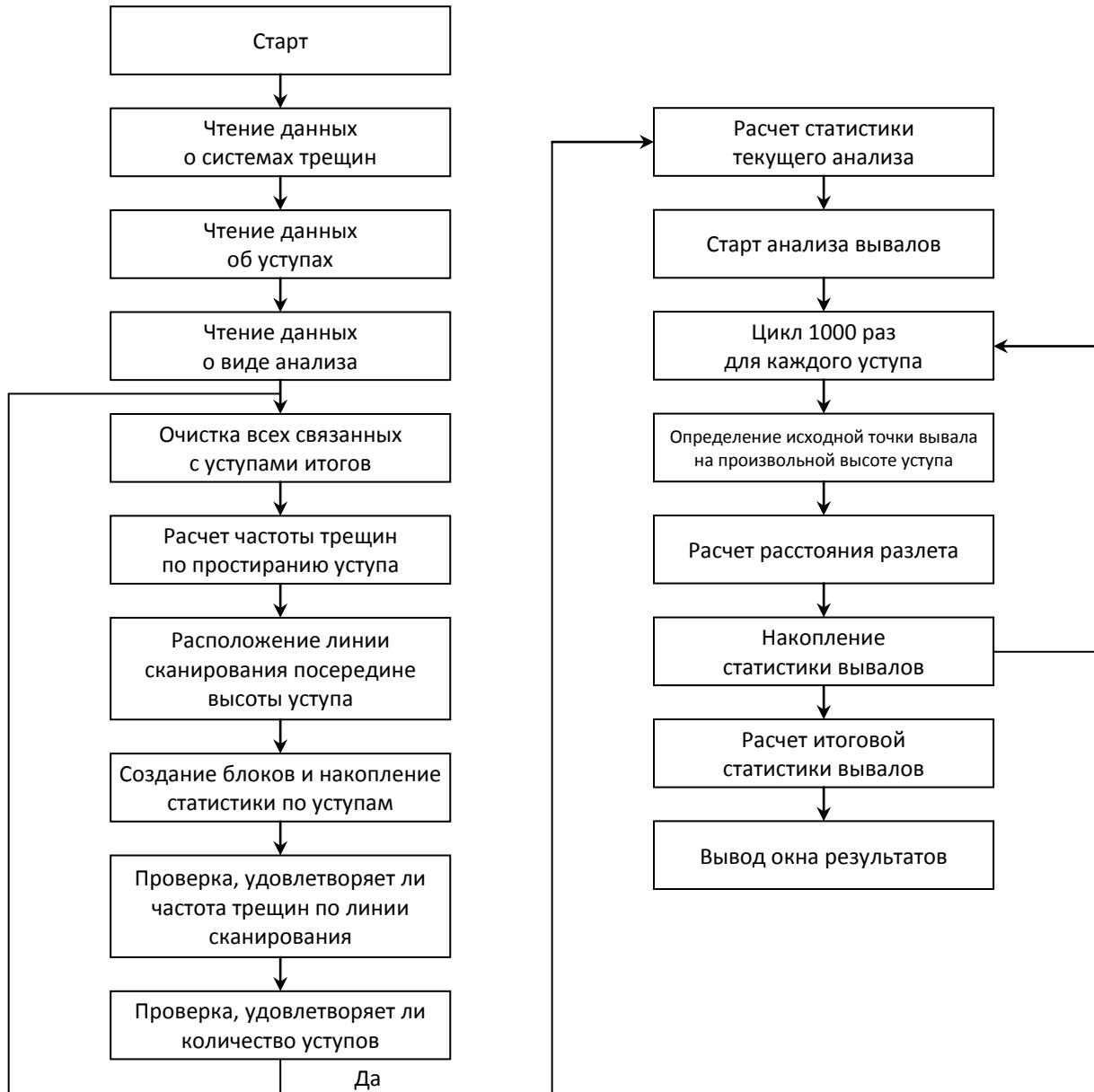


Рис. 1. Блок-схема программы при мультиблоковом анализе.

Принимаемые допущения относительно трещин

Программа предполагает, что каждая трещина усекается другой трещиной. Программа использует длину следа совместно с углом падения/азимутутом падения в качестве полного описания трещин. Предполагается, что расстояния между трещинами и длина их следа подчиняются усеченному отрицательному экспоненциальному распределению. Предполагается, что ориентация трещин и прочностные свойства подчиняются нормальному распределению.

Формирование блоков

Для формирования необходимого количества блоков программа использует данные по длине трещин и их ориентации. Предполагается, что каждый блок распространяется до конечных точек отобранных трещин – малые блоки, находящиеся внутри бóльших блоков, не рассматриваются, – программа предполагает, что они обрушатся в составе бóльших блоков. Каждый блок создается независимо от остальных блоков. Формирование блока типично клиновидной формы (сдвигание по двум плоскостям) показано на Рисунке 2. Программа сначала определяет ключевые блоки по данным трещиноватости, затем помещает блок в произвольное место на откосе уступа. Если блок выступает над верхней поверхностью уступа, часть блока выше этой поверхности усекается, как показано на Рисунке 2. Рисунок 3 показывает блок, сдвигающийся по одной плоскости.

Количество блоков определяется необходимой частотой трещин вдоль линии сканирования, расположенной посередине высоты откоса уступа, что также отображает нумерация граней блока. Грани блока нумеруются следующим образом (см. рис. 2):

- Грань 0: верх уступа;
- Грань 1: первая выбранная плоскость трещины;
- Грань 2: вторая выбранная плоскость трещины;
- Грань 3: расположена в верхней части грани 2 (напротив грани 1);
- Грань 4: расположена в конце линии пересечения граней 1 и 2 (схоже с трещиной растяжения при стандартном анализе клиновидных обрушений)
- Грань 5: расположена в верхней части грани 1 (напротив грани 2).
- Грань 6: откос уступа
- Грань 7: зарезервирована для случайной трещины – не отражена на эскизах.

Блок-схема программы по выбору трещин и созданию блока показана на Рисунке 4. Соответствующие шаги процесса расчета рассмотрены ниже.

Нахождение наблюдаемой частоты систем трещин на плоскости откоса

Наблюдаемое расстояние между трещинами в каждой системе трещин в плоскости откоса уступа определяется путем деления истинного расстояния между трещинами на $\cos \delta$, где δ – угол между нормалью к плоскости ориентации системы трещин и нормалью к плоскости откоса уступа (также известный как поправка Терцаги).

Выбор трещин, исходя из частоты

После того, как наблюдаемые частоты систем трещин на откосе уступа определены, частоты нормируются на единицу, и берется случайное число для выбора системы трещин, которая будет выступать в качестве грани №1 в ключевом блоке.

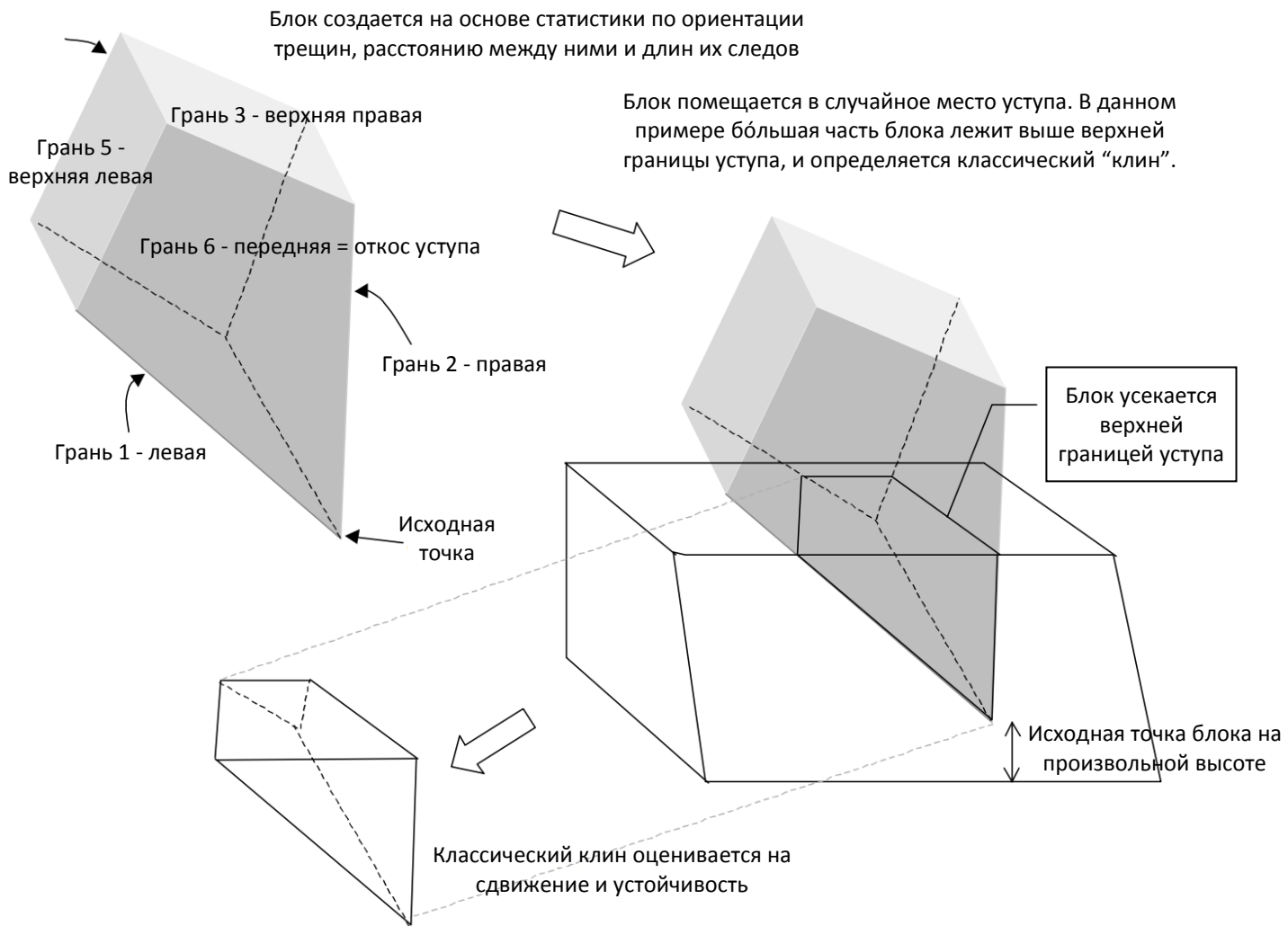


Рис. 2. Формирование блока – классический клин.

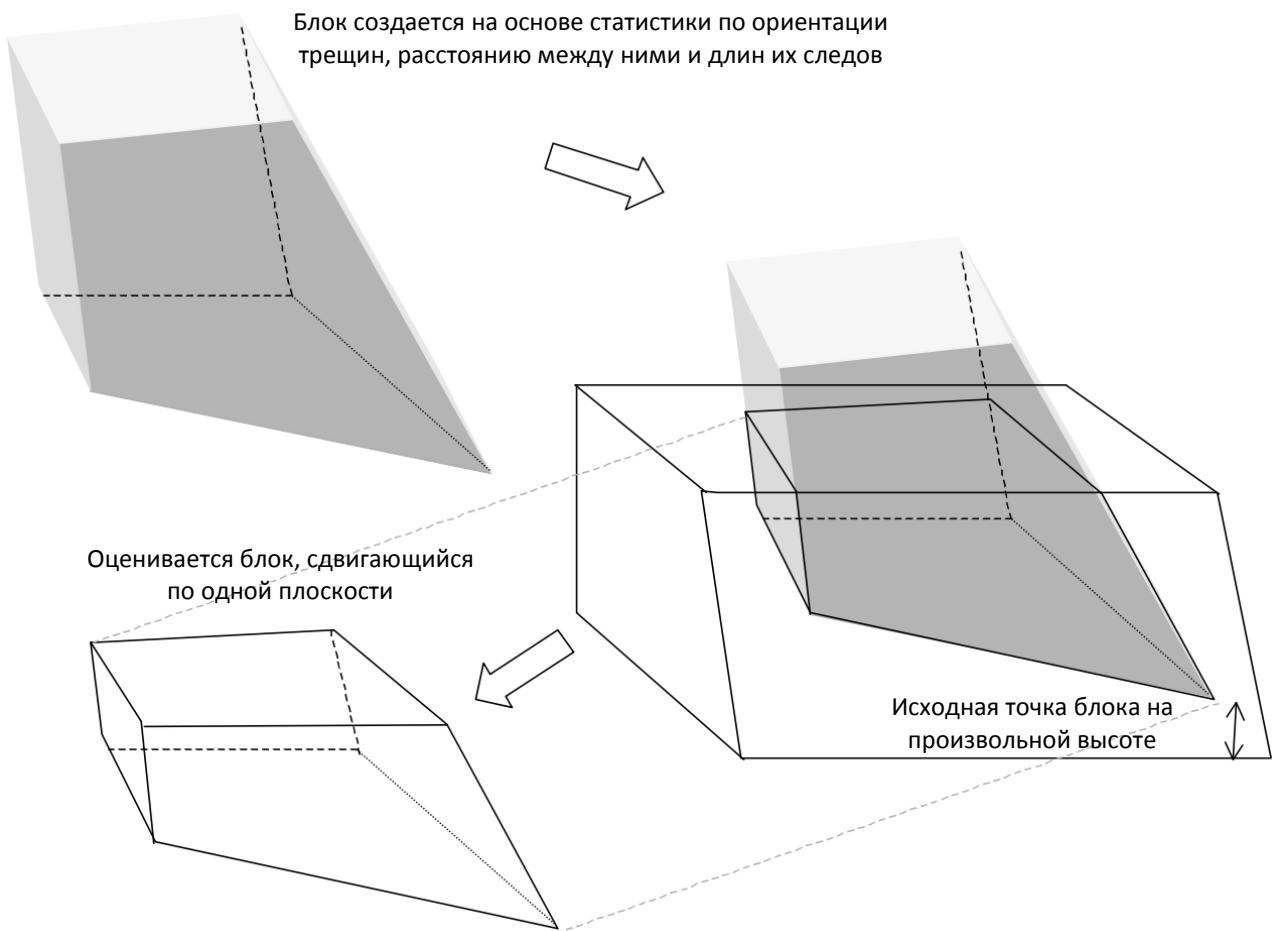


Рис. 3. Формирование блока – блок с одной поверхностью сдвига.

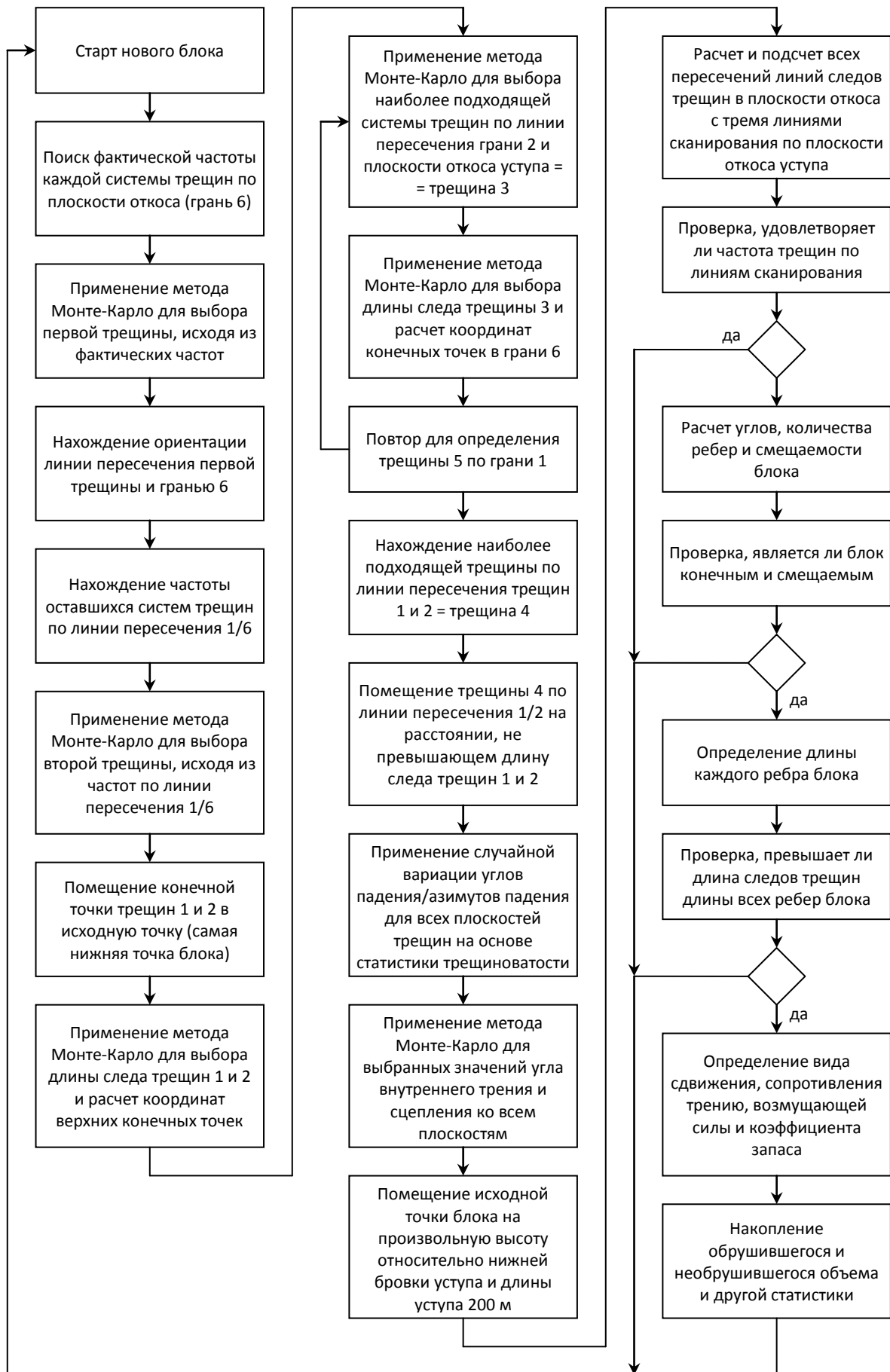


Рис. 4. Блок-схема для расчета блока.

Нахождение ориентации линии пересечения (следа) трещин на плоскости откоса уступа

Программа создает систему уравнений, описывающих каждую плоскость. Уравнения плоскости имеют следующий вид:

$$Ax + By + Cz = D,$$

где x , y и z – координаты точки на плоскости. Коэффициенты A , B и C определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} A &= \sin \alpha \sin \beta \\ B &= \sin \alpha \cos \beta \\ C &= \cos \alpha \end{aligned}$$

где α – угол падения плоскости, β – азимут падения. D – это длина перпендикуляра, опущенного из исходной точки на плоскость. Если плоскость проходит через исходную точку, значение D равно нулю.

Для дальнейших расчетов требуются уравнения следов граней 1 и 2 на плоскости откоса уступа (грань 6). Линии следов определяются путем решения для линии пересечения плоскости трещины и плоскости откоса, следующим образом:

$$I_{1,2} = (B_1C_2 - C_1B_2, C_1A_2 - A_1C_2, A_1B_2 - B_1A_2),$$

где I – вектор пересечения; A , B и C – коэффициенты уравнений двух плоскостей.

Аналогичным образом рассчитывается частота трещин по линии следа грани 1 в плоскости откоса уступа, и выбирается система трещин, которая выступает в качестве грани 2. Этот процесс повторяется для граней 3 и 5. Грань 4 выбирается путем рассмотрения частоты трещин по линии пересечения граней 1 и 2. Если в массиве горных пород присутствует только две системы трещин, грань 4 не определяется.

Определение случайной вариации длины следа

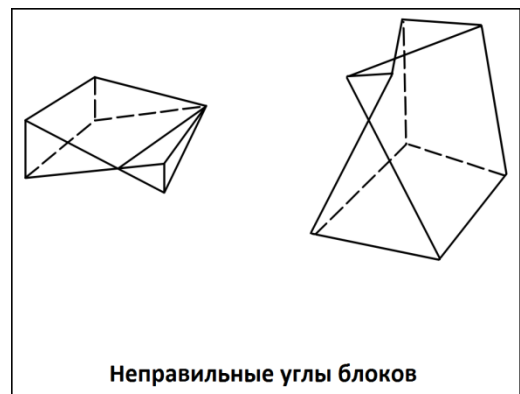
Грани блока определяются случайными величинами следов и ориентации, взятыми из распределений длин следов. Это рассчитывается путем выбора случайного числа из отрицательного экспоненциального распределения со средним, равным средней длине следа системы трещин, о которой идет речь:

$$t = \frac{-\ln(1 - R)}{\lambda}$$

где λ – обратная величина средней длины следа, t – средняя длина следа, R – случайное число между 0 и 1. Угол падения и азимут падения граней выбираются случайным образом из нормального распределения с заданным средним значением и среднеквадратическим отклонением, равным одной шестой разброса данных.

Расчет углов блока

Базовый угол каждого блока принимаются за исходную точку произвольной системы координат. Остальные углы определяются точками тройного пересечения остальных плоскостей. Обзор эскиза показывает, что может быть сформировано большое количество потенциальных блоков. Программа рассчитывает координаты всех потенциальных углов блока. Количество потенциальных углов блока равно $2n$,



поэтому блок, состоящий из 7 граней, образует 128 потенциальных углов. Все потенциальные углы блока рассчитываются путем совместного решения уравнений для трех плоскостей. В программе используется стандартный механизм решения уравнений, который основывается на методе детерминант.

Определение правильных углов блока

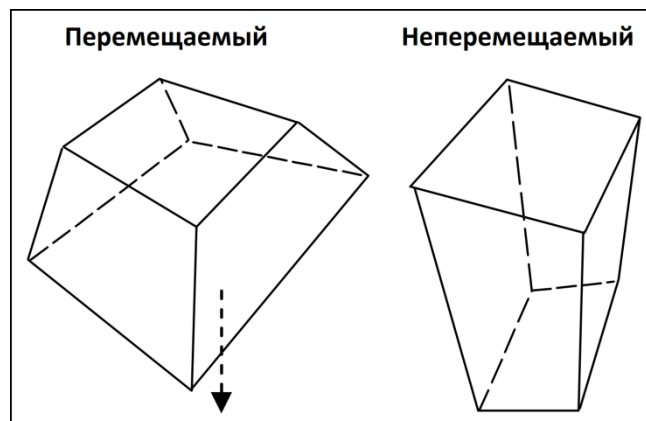
После того, как все потенциальные углы блока найдены, необходимо определить, являются ли все эти углы правильными. Программа проверяет правильность первоначально определенных углов на предмет, удовлетворяют ли они полупространственному определению блока. Затем программа проверяет, сформирован ли блок в полупространстве выше или ниже каждой плоскости. Например, блок должен быть всегда ниже плоскости откоса уступа. Для точек, находящихся выше плоскости m , справедливо следующее неравенство:

$$A_m X + B_m Y + C_m \geq D_m$$

Программа берет каждый угол и определяет, находится ли он на правильной стороне относительно трех других плоскостей, не пересекающихся в данном угле. Если все углы проходят данную проверку, то блок считается правильным.

Определение сдвигаемости блока

Блок может обрушиться только в случае, если существует возможность переместить его из массива горных пород. Блоки, которые можно переместить, называются ключевыми блоками. На эскизе ниже показаны перемещаемые и неперемещаемые блоки в кровле выработки. Блок слева может вывалиться из массива горных пород, поскольку углы падения трещин, образующих ребра блока, расходятся друг от друга в разные стороны при сдвигении вниз. Блок справа сужающийся, поскольку углы падения трещин сближаются друг к другу при сдвигении вниз.



Для определения сдвигаемости используются методы, разработанные Гудманом и Ши. Для расчетов используется теорема перемещаемости выпуклых блоков. Теорема гласит, что:

Выпуклый блок перемещаем, если его блоковая пирамида пуста, а его пирамида трещин не пуста. Выпуклый блок неперемещаем, если его блоковая пирамида пуста, и его пирамида трещин пуста.

Блоковая пирамида определяется как блок, в котором все грани повернуты так, что они проходят через начальную точку. Если поверхность отработки не включена в блоковую пирамиду, то она именуется пирамидой трещин. Блоковая пирамида или пирамида трещин является «пустой», если векторы ребер пирамиды одновременно удовлетворяют неравенствам, определяющим пирамиду. Например, если блок образован шестью плоскостями и определяется:

$$A_1, A_2, B_3, B_4, A_5, A_6,$$

блоковая пирамида определяется путем присваивания $D = 0$ для каждой плоскости. Неравенства, определяющие блоковую пирамиду, выглядят следующим образом:

$$A_1x + B_1y + C_1z \geq 0;$$

$$A_2x + B_2y + C_2z \geq 0;$$

$$A_3x + B_3y + C_3z \leq 0;$$

$$A_4x + B_4y + C_4z \leq 0;$$

$$A_5x + B_5y + C_5z \geq 0;$$

$$A_6x + B_6y + C_6z \geq 0.$$

Ребра блоков определяются путем нахождения векторов пересечения плоскостей. Вектор пересечения I двух плоскостей находится путем определения результата пересечения единичных нормалей к плоскостям. Например,

$$I_{1,2} = \widehat{n}_1 \times \widehat{n}_2$$

Единичные нормали определяются из:

$$\widehat{n}_i = (A_i, B_i, C_i)$$

Векторы пересечения проверяются один за другим путем подстановки их координат в неравенства, определяющие пирамиду. Используются как положительные, так и отрицательные векторы. Векторы пересечения, которые одновременно удовлетворяют всем неравенствам, являются ребрами пирамиды. Если таких векторов нет, то пирамида пустая. Если блок перемещаемый, то программа продолжает вычисления.

Расчет длин ребер блока

После того, как все координаты углов определены, расстояние L между двумя углами i и j , образующими ребро блока, вычисляется при помощи следующего уравнения:

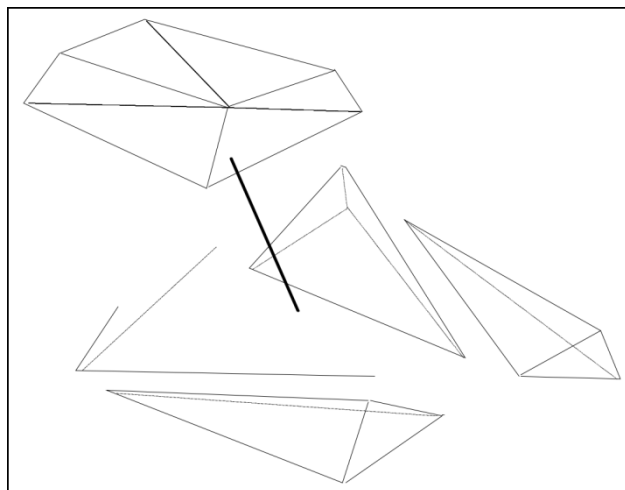
$$L = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}.$$

Определение, является ли длина трещин достаточной, чтобы сформировать блок

Знание длин ребер блока – это простой способ проверить, является ли длина трещин, образующих блок, больше ребер блока. Это показывает, формируются ли блоки на самом деле.

Расчет объема и веса блоков

Если трещины достаточно длинные, то блок считается полностью сформированным и способным к обрушению путем сдвижения. Объем блока рассчитывается путем деления блока на тетраэдры, как показано ниже:



Объем каждого тетраэдра рассчитывается следующим образом, используя координаты x , y и z четырех углов:

$$V = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1 \\ x_4 - x_1, y_4 - y_1, z_4 - z_1 \end{vmatrix}$$

Масса блока рассчитывается умножением объема на плотность.

Сдвигание блока и коэффициент запаса

Вес блока определяется как вектор (R), действующий вертикально вниз. Определяются внутренние нормали (N) для всех граней блока. Определяется, какие грани блока пригружены весом, угол между внутренней нормалью и R будет больше 90° .

Сдвигание по одной плоскости

Проверяется сдвигание по одной плоскости путем определения проекции вектора R на каждую пригруженную грань, это будет вектор сдвига (S).

$$T = N \times R \text{ (результат пересечения)}$$

$$S = T \times N$$

Проверяется каждый вектор сдвига на предмет его обрушения в границах пирамиды трещин (определенной выше). Если только один вектор сдвига удовлетворяет этому условию, то происходит сдвигание по одной плоскости. Рассчитываются нормальная и сдвиговая составляющие вектора R по плоскости сдвига. Рассчитываются площадь сдвига и коэффициент запаса касемо сдвига.

Сдвигание по двум плоскостям

Если имеется более одной потенциальной плоскости сдвига, проверяется сдвигание по двум плоскостям путем нахождения вектора пересечения потенциальных плоскостей сдвига. Проверяется, обрушается ли этот вектор в границах пирамиды трещин. Если вектор сдвига верный, определяются сдвигающие силы для каждой плоскости.

N_1, N_2 – это вектора внутренних нормалей двух плоскостей сдвига.

$$T_1 = N_1 \times N_2 \text{ (результат пересечения)}$$

$$T_2 = R \times N_2$$

Сила сопротивления по плоскости 1 задается как:

$$F_1 = \frac{1}{|T_1|^2} |T_2 \bullet T_1| \cdot \tan \varphi_1 + c_1 \cdot A_1$$

где φ_1 и c_1 – значения угла внутреннего трения и сцепления по тем системам трещин, по которым были выбраны плоскости 1 и 2 были изначально выбраны.

Затем рассчитывается сила сопротивления по плоскости 2:

$$T_3 = R \times N_1$$

$$F_2 = \frac{1}{|T_1|^2} |T_3 \bullet T_1| \cdot \tan \varphi_2 + c_2 \cdot A_2$$

Далее определяется общая сдвигающая сила:

$$S = \frac{1}{|T_1|^2} |R \bullet T_1| \cdot |T_1|$$

Рассчитывается коэффициент запаса

$$FoS = \frac{F_1 + F_2}{S}$$

Программа сохраняет статистику по всем коэффициентам запаса.

Итоговые расчеты

Программа также запоминает положение на поверхности откосе каждого обрушившегося блока для просмотра в 3D режиме и для расчета объема обрушений. Расчетная сетка создается в пределах объема уступа, и все точки, попадающие внутрь обрушившегося блока помечаются. По окончании каждого расчета все помеченные точки складываются, чтобы рассчитать объем вывалов. Это предотвращает ситуации, при которых точки, обрушившиеся более одного раза, будут посчитаны дважды. Помеченные точки используются для создания трехмерного отображения уступов. Помеченные точки также используются для нахождения распределения ширин уступов после окончания расчета.

Анализ обрушения горной массы

Целью анализа обрушения горной массы является определение эффективности уступов удерживать горную массу после возникновения обрушения. Ширина уступов изменяется для учета клиновидных обрушений/обрушений по плоскости, которые имели место. Обрушающаяся горная масса не имеет ничего общего с рассчитываемыми клиновидными обрушениями/обрушениями по плоскости. Обрушающиеся куски горной массы считаются относительно небольшими блоками (от 10 см × 10 см до 1 м × 1 м), которые отделяются с откоса уступов и начинают катиться вниз по откосу. Эти блоки могут отделяться из-за буровзрывных работ, ветра, циклов замерзания-оттаивания и др., и являются угрозой безопасности во время осуществления горных работ.

SBlock использует стек уступов, как было описано в начале руководства, для оценки эффективности уступов в удержании вывалившейся горной массы. Предполагается, что стек состоит из рабочего уступа – это уступ №1, и заданного числа уступов выше рабочего, которые формируют стек. В процессе анализа обрушения горной массы 1000 блоков горной породы высвобождаются из каждого откоса уступа. Каждый блок высвобождается со случайной высоты откоса уступа. Расстояние, которое блок пролетает вниз по откосу, продолжится, пока блок не остановится на площадке уступа или не

перелетит за верхнюю бровку рабочего уступа (вниз, на следующий стек). Для получения хорошей статистики высвобождается тысяча блоков на каждом уступе – тысяча высвободившихся блоков не имеет никакого отношения к качеству массива горных пород и к устойчивости уступов.

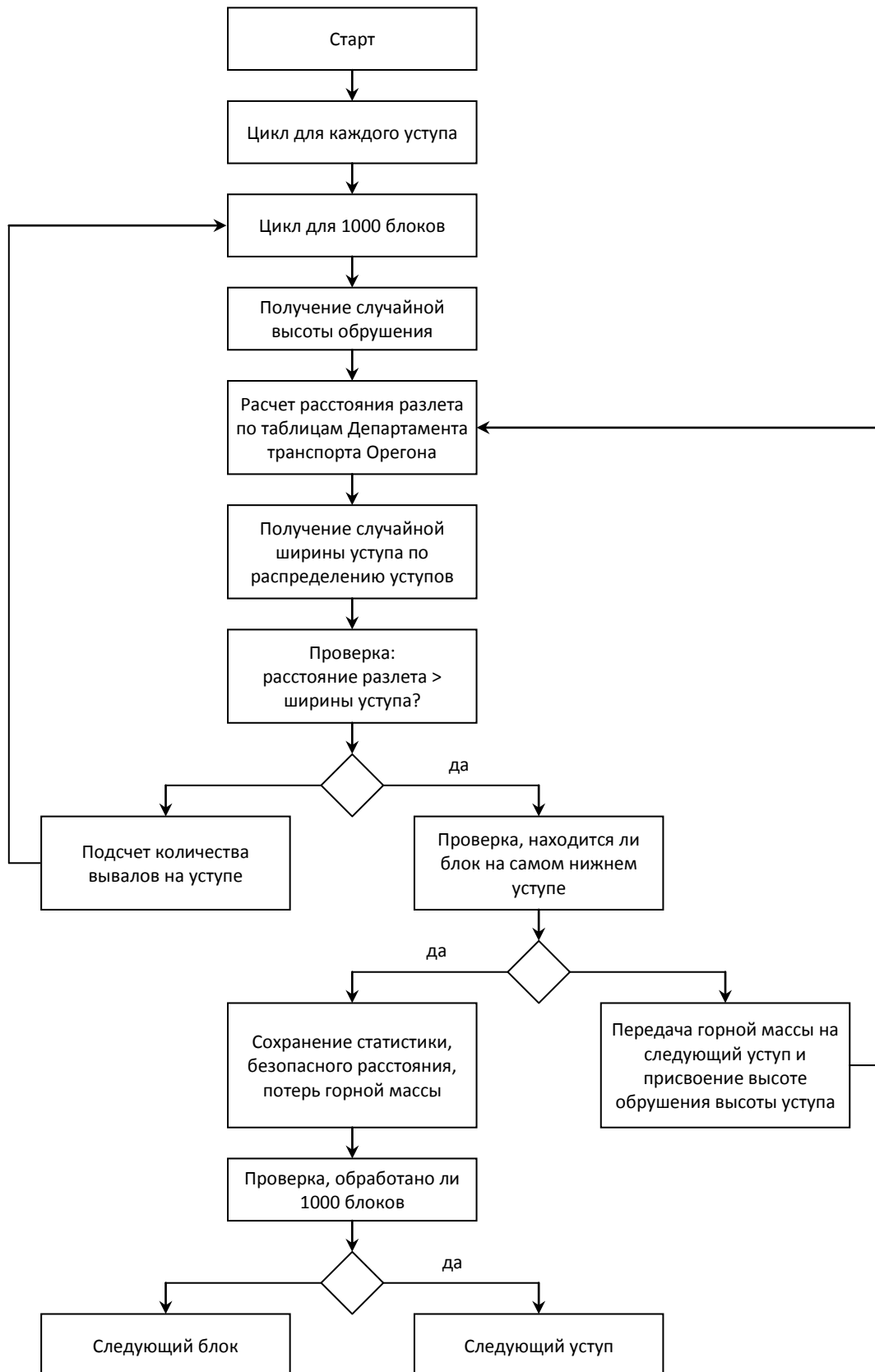


Рис. 5. Блок-схема для анализа обрушений.

Программа использует эмпирические графики обрушений Департамента транспорта Орегона для расчета расстояния, пройденного каждым блоком. Эти графики основаны на сериях натуральных испытаний, выполненных в экспериментальном карьере с подготовленными уступами различной высоты и с различными углами откосов, где сбрасывались блоки горной массы и замерялись их расстояния разлета.

Блок-схема расчета приведена на рис. 5. Ниже даны некоторые замечания по методике расчета.

Расстояние разлета

Расстояние разлета рассчитывается, исходя из высоты обрушения (которая является случайной долей от высоты уступа) и угла откоса уступа, с использованием таблиц Департамента транспорта Орегона. При этом принимается, что площадка каждого уступа горизонтальна.

Ширина уступа

Ширина уступа, используемая для расчетов, выбирается по распределению значений ширины уступов после клиновидных/плоскостных обрушений. Программа также вычитает ширину объема вывала из ширины уступа. Эта ширина рассчитывается, исходя из среднего значения объема вывалов. При этом принимается, что обрушившиеся клинья/блоки будут находиться возле нижней бровки откоса с углом естественного откоса в 30° . Кроме этого предполагается, что обрушившаяся раздробленная горная масса имеет коэффициент разрыхления 40%. Если имеет место очень большое обрушение, то вполне возможно, что действующая ширина уступа будет равна нулю (см. рис. 6).

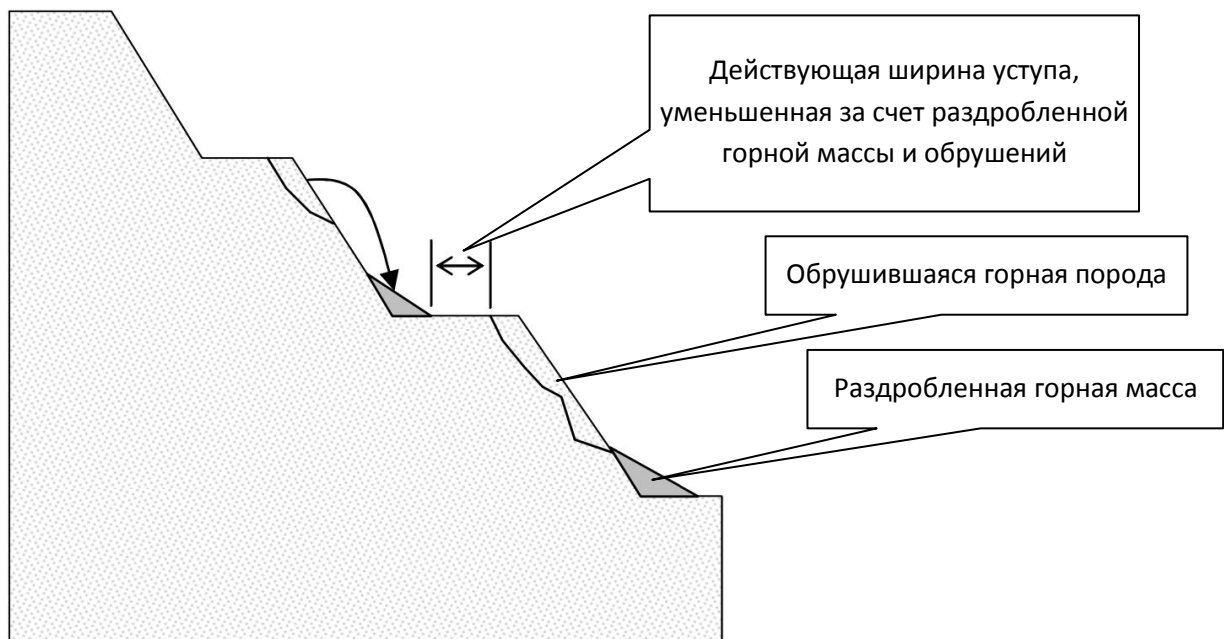


Рис. 6. Действующая ширина уступа при анализе обрушений.

Расстояние разлета больше, чем ширина уступа

Если расстояние разлета превышает ширину уступа, блок горной породы передается на следующий уступ с высотой обрушения, равной высоте уступа. «Импульс» от предыдущего уступа передается в виде дополнительного расстояния разлета. Например, если ширина уступа 10 м, а расстояние разлета 12 м, блок преодолет первый уступ, и превысит его ширину на 2 м. Расстояние разлета для следующего уступа будет $12 \text{ м} + 2 \text{ м}$ и т.д. Очевидно, что величина ширины уступов будет всегда переменной, так как она выбирается по распределению значений действующей ширины уступов.