

3. Куделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горнообогатительных комбинатов УССР. - К.: «Наукова думка», 1984. – 496 с.
4. Колесников Д.В., Короленко М.К., Ступник Н.И., Удод Е.Г., Протасов В.П., Олейник Т.А. Повышение извлечения железа за счет переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса. - Кривой Рог: Дионис, 2012. – 236 с.
5. Шитарёв В.Г., Салманов О.Н. Параметры карьеров при комплексном использовании недр. - М.:Недра, 1990. – 112 с.
6. В.В. Перегудов, А.Е. Грицина, Б.Т. Драгун, Е.М. Николенко, Л.И. Ланцетова, В.Г. Губина. Уточненные методы определения параметров кондиций минерального сырья / Вісник Криворізького національного університету – Вып. 31, 2012. - С 289-293.
7. Полищук А.К., Полищук Г.К., Михайлов А.М. Разработка месторождений группой карьеров в составе комбината. – М: Недра, 1975.
8. Близиюков В.Г. Определение главных параметров карьера с учетом качества руды. – М: Недра, 1978.
9. Д.П. Товстановский, Н.Д. Бевз, В.Г. Близиюков, А.П. Корсун Критерий эффективности открытой разработки руд// Разраб. рудн. месторожд. – Вып. 17. - 1974. - С 20-22.
10. Близиюков В.Г. и др. Критерий оценки границ открытой разработки при комплексном использовании полезных ископаемых. – Разраб. рудн. месторожд. - Вып. 17. - К.: Техника, 1974. - С. 28-31.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.13

УДК 622.614.8: 621.31

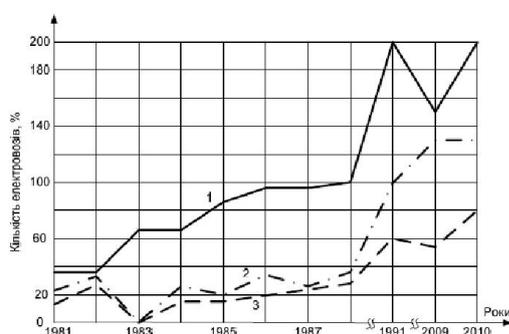
А.В. ЛЯХОМСКИЙ, д-р техн. наук, проф., Московский государственный горный университет,  
О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф., А.А. ХАРИТОНОВ, старший преподаватель  
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНОРАБОЧИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ КАК ЭЛЕМЕНТА ЭРГОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Изложены результаты исследований по определению и оценке воздействия критериальных (пороговых) значений пульсирующего напряжения и тока на организм человека. Приведена динамика изменений электротравматизма на электровозном транспорте, статистические характеристики сопротивления испытуемых при прохождении через организм переменного тока частотой 50 Гц, квантильные оценки сопротивления организма при пути тока «рука-рука», характеристики распределений средних значений пороговых осязательных токов и значения пороговых напряжений, соответствующих этим токам, коэффициенты корреляционных зависимостей осязательных токов и напряжений от угла открытия полупроводникового прибора, вероятностные области осязательных пульсирующих токов и напряжений и законы распределения амплитудных значений осязательного напряжения.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Как известно [1] железорудные шахты и комбинаты классифицируются как предприятия с повышенным уровнем травматизма, в том числе с повышенным риском поражения горнорабочих электрическим током [2].

**Анализ исследований и публикаций.** Основным источником поражения горнорабочих железорудных шахт электрическим током является тяговая контактная сеть, а точнее контактный провод (КП), внутришахтного транспорта (ВШТ) [2]. Только с 1991 по 2010 год количество электротравм со смертельным исходом от несанкционированного прикосновения к КП возросло в 3,5 раза в местах погрузки и почти в 2 раза в местах разгрузки полезных ископаемых (рис. 1).



**Рис. 1.** Динамика изменения электротравматизма на электровозном транспорте предприятий Украины с подземной добычей железной руды: 1 - общее количество электротравм; 2,3 - электротравмы соответственно со смертельным исходом, в том числе при касании к контактному проводу в местах погрузки и разгрузки ископаемого

Причиной этого является ухудшение технологии прокладки и обслуживания КП, отсутствие работоспособных устройств защитного отключения (УЗО) или, что тоже самое, реле защиты от поражения электрическим током горнорабочих [2].

Факт, только субъективных причин - ненадлежащего обслуживания тяговых сетей, несет и оттенок объективности - увеличение протяженности КС, а следовательно изменение их электрических параметров, которые должны обеспечивать работоспособность УЗО [2]. В работе [3] приведена оценка КС современных железоруд-

ных шахт, однако при этом знания и учета одного фактора параметров КП недостаточно.

**Цель исследований.** Оценка и учет параметров эрготехнического комплекса «тяговая контактная сеть - человек».

**Изложение материала и результаты.** При эксплуатации рудничной электровозной откатки объем экспериментальных данных, полученных сотрудниками МГИ и предоставленных автором для дальнейших исследований, позволил обеспечить представительные статистические выборки исследуемых параметров и получить результаты, которые приведены в табл. 1, с надежностью не ниже чем 0,90 [3,4].

Таблица 1

Статистические характеристики сопротивления испытуемых при прохождении через организм переменного тока частотой 50 Гц

Группы испытуемых	Величины	Статистические характеристики							
		Z, кОм	Me, кОм	Mo, кОм	$\sigma$ , кОм	D, кОм <sup>2</sup>	$\nu$	A	E
Начало ощущений (раздражений)									
Мужчины	Zощ.м	5,16	4,75	4,20	5,50	30,3	1,06	1,18	-1,48
Женщины	Zощ.ж	6,65	7,24	7,33	6,86	47,1	1,03	1,09	-1,79
Начало болевых ощущений									
Мужчины	Zбол.м	4,48	4,05	3,76	4,78	22,9	1,07	1,22	-1,34
Женщины	Zбол.ж	5,80	5,72	5,77	6,03	36,4	1,04	1,11	-1,70
Предел переносимости									
Мужчины	Zпер.м	4,17	3,71	3,20	4,17	17,4	1,09	1,28	-1,09
Женщины	Zпер.ж	5,05	4,71	4,31	5,31	28,3	1,05	1,16	-1,54

Используемое испытательное пульсирующее напряжение, в зависимости от изменения угла открытия полупроводников, показано на рис. 2, а квантильные оценки сопротивления испытуемых горнорабочих представлено в табл. 2.

В качестве метода при исследованиях: использовался активный метод, позволяющий по фиксированным ответным реакциям испытуемых определять критериальные (пороговые) значения напряжений и тока. С учетом новизны вопроса исследования проводились в диапазоне ощутимых токов в длительном (свыше 3 с) режиме.

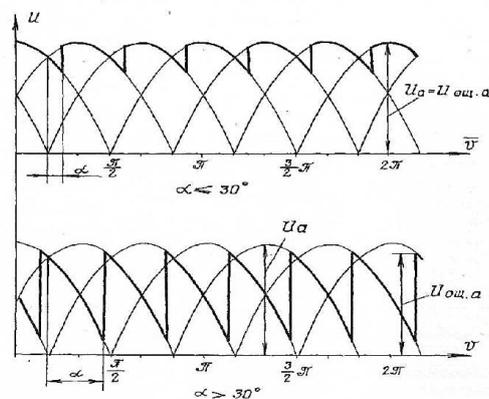


Рис. 2. Испытательное пульсирующее напряжение

Таблица 2

Стадии воздействия	Квантильные оценки сопротивления организма при пути тока «рука-рука»	
	Квантильные оценки для групп испытуемых	
	мужчины	женщины
Начало ощущений (раздражений)	$P(Z_{ощ.м} \leq 8,4 \text{ кОм}) = 0,908$	$P(Z_{ощ.ж} \leq 8,4 \text{ кОм}) = 0,282$
Начало болевых раздражений	$P(Z_{бол.м} \leq 7,8 \text{ кОм}) = 0,964$	$P(Z_{бол.ж} \leq 7,8 \text{ кОм}) = 0,836$
	$P(Z_{бол.м} \leq 9,0 \text{ кОм}) = 0,989$	$P(Z_{бол.ж} \leq 9,0 \text{ кОм}) = 0,938$
Предел переносимости	$P(Z_{пер.м} \leq 7,8 \text{ кОм}) = 0,954$	$P(Z_{пер.ж} \leq 7,8 \text{ кОм}) = 0,924$
	$P(Z_{пер.м} \leq 9,0 \text{ кОм}) = 0,976$	$P(Z_{пер.ж} \leq 9,0 \text{ кОм}) = 0,962$

В качестве воздействующего напряжения применялось выходное напряжение управляемого тиристорного выпрямителя разработанной экспериментальной установки.

Определение значений напряжения и тока, соответствующих ответным физиологическим реакциям испытуемых, проводилось при изменении угла регулирования выпрямителя в преде-

лах от 10 до 95°.

Увеличение напряжения, подаваемого на испытуемого, проводилось дискретно, со значением шага  $0,05 U_{\text{ощ}}$ , обеспечивающим достаточную точность определения пороговых значений напряжения и тока.

При измерениях проводилась регистрация амплитудных и средних значений напряжения и тока.

Исследования выполнены при протекании тока через человека по пути «рука-рука». В качестве контактирующих элементов применялись круглые алюминиевые электроды диаметром 20 мм.

Статистические характеристики распределений средних значений пороговых осязательных значений пульсирующих токов и соответствующих им пороговых напряжений приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Характеристики распределений средних значений пороговых осязательных токов

Статистики распределений	Значение статистик при углах фазовой отсечки									
	13°	22°	31°	40°	48°	57°	66°	75°	84°	93°
Математическое ожидание, мА	0,76	0,64	0,59	0,52	0,48	0,45	0,37	0,31	0,22	0,18
Среднеквадратическое Отклонение, мА	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,04	0,02
Коэффициент вариации	0,11	0,12	0,14	0,13	0,14	0,15	0,20	0,22	0,16	0,11
Медиана, мА	0,78	0,67	0,61	0,54	0,51	0,48	0,36	0,33	0,22	0,19
Мода, мА	0,75	0,65	0,56	0,52	0,51	0,46	0,34	0,28	0,21	0,17
Асимметрия	0,32	0,21	0,34	0,10	0,35	0,26	0,50	0,60	0,98	0,47
Экссесс	-0,96	-0,22	-0,96	-0,30	-0,33	-0,22	-0,03	-0,83	-0,06	-0,85

Таблица 4

Характеристики распределений средних значений пороговых напряжений, соответствующих пороговым осязательным токам

Статистики распределений	Значение статистик при углах фазовой отсечки, °									
	13	22	31	40	48	57	66	75	84	93
Математическое ожидание, В	6,34	5,91	5,49	5,23	4,42	3,87	3,48	2,84	2,18	1,69
Среднеквадратическое отклонение, В	0,31	0,31	0,43	0,41	0,39	0,28	0,32	0,43	0,39	0,25
Коэффициент вариации	0,05	0,06	0,09	0,08	0,09	0,07	0,09	0,15	0,13	0,15
Медиана, В	6,36	6,04	5,75	5,00	4,49	3,91	3,43	2,75	2,26	1,58
Мода, В	6,30	6,01	5,56	4,96	4,34	3,76	3,38	2,66	2,09	1,66
Асимметрия	0,66	0,25	0,20	0,23	0,69	0,60	1,34	0,93	0,38	0,45
Экссесс	-0,45	-0,38	-0,86	-0,54	-1,57	0,39	1,72	-0,02	0,71	-0,07

Полученные распределения пороговых осязательных токов и соответствующих им пороговых напряжений прикосновения для определенных углов открытия полупроводников носят одномодальный характер имеют невысокую рассеянность относительно математического ожидания и малую изменчивость.

Вместе с этим рассматриваемые распределения имеют близкие по значению величины математического ожидания, медианы и моды. Отмеченные особенности распределений позволяют говорить о том, что для каждого угла открытия полупроводников значения пороговых осязательных токов и соответствующих им напряжений прикосновения достаточно плотно концентрируются около значений математического ожидания. Другими словами, при воздействии на организм токов с изменениями угла открытия наступление ответной реакции в виде начальных ощущений обладает устойчивостью (однородностью) и происходит при достижении током и напряжением пороговых (критериальных) значений.

Для определения устойчивых уровней осязательных токов и напряжений целесообразно установить вероятностные области их изменения в зависимости от угла фазовой отсечки. Выявлены статистические связи между значениями угла открытия полупроводников, с одной стороны, и математическими ожиданиями, квантилями средних значений тока и напряжений, с другой стороны. Указанные связи достаточно надежно описываются корреляционными уравнениями вида

$$I_{\text{ощ.ср}} = a_I + b_I \cdot \alpha \quad (1)$$

$$U_{\text{ощ.ср}} = a_U + b_U \cdot \alpha$$

где  $I_{\text{ощ.ср}}$ ,  $U_{\text{ощ.ср}}$  - математическое ожидание или квантили средних значений ощутимых тока (мА) и напряжения (В);  $a_I, a_U, b_I, b_U$  - коэффициенты регрессионных уравнений;  $\alpha$  - угол фазовой отсечки, град.

Значения коэффициентов зависимостей (1) приведены в табл. 5.

Таблица 5

Коэффициенты корреляционных зависимостей ощутимых токов и напряжений от угла открытия тиристорных преобразователей АТП – 500/275

Величины тока и напряжения, входящие в зависимости	Значения коэффициентов для зависимостей			
	тока		напряжения	
	$a_I$	$b_I \cdot 10^{-2}$	$a_U$	$b_U \cdot 10^{-1}$
Математическое ожидание	0,82	0,70	7,37	0,61
Квантиль 0,05	0,61	0,55	6,45	0,57
Квантиль 0,95	0,97	0,77	7,74	0,58

Вероятностные характеристики полученных корреляционных уравнений показывают, что связи между рассматриваемыми признаками являются тесными при отрицательных коэффициентах корреляции, которые определены с незначительной погрешностью и высокой надежностью.

Вероятностные области ощутимых токов и напряжений с фазовыми отсечками приведены на рис. 3, ограничиваются «снизу» и «сверху» линиями регрессии для квантилей, соответственно, 0,05 и 0,95.

В указанных областях с вероятностью 0,90 находятся критериальные значения тока и напряжения, соответствующие ответной реакции в виде начальных ощущений. Значения тока и напряжения, лежащие ниже этих областей, могут рассматриваться как практически неощутимые; значения тока и напряжения, лежащие выше указанных областей, могут рассматриваться как безусловно ощутимые.

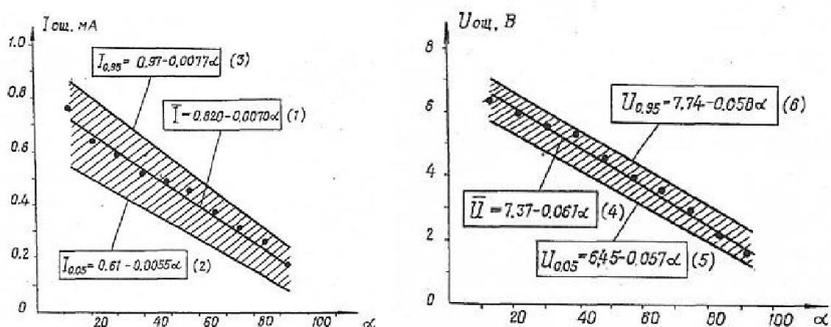


Рис. 3. Вероятностные области ощутимых пульсирующих токов  $a$  и напряжений  $b$

Анализ амплитудных значений напряжения, соответствующего пороговому ощутимому току, для разных углов открытия полупроводников показал, что математическое ожидание указанных амплитудных значений не имеет (как это было в случае средних значений) явно выраженной зависимости от угла открытия полупроводников. С помощью  $X$ -критерия Вандер-Вардена доказана возможность (при доверительной вероятности 0,95) принятия нулевой гипотезы с тем, что амплитудные значения напряжений с фазовыми отсечками, соответствующие ответной реакции в виде начальных ощущений, не зависят от угла открытия импульсных приборов.

Вместе с этим подтверждена гипотеза о несущественном различии выборок амплитудных значений ощутимых напряжений для разных углов открытия полупроводников, т.е. указанные выборки принадлежат одной генеральной совокупности.

Рассчитанные статистики объединенного для всех углов эмпирического распределения указанных амплитудных значений характеризуются следующими данными: математическое ожидание - 6,84 В; среднеквадратическое отклонение - 0,39 В; коэффициент вариации - 0,057; медиана - 6,84 В; мода - 6,85 В; асимметрия - 0,28; эксцесс - 2,00.

Статистики (распределения) показывают высокую степень концентрации отдельных значений вокруг математического ожидания, а также практическое совпадение значений последнего, медианы и моды. Это указывает на возможность распределения амплитудных значений напряжения, соответствующего пороговому ощутимому току, по нормальному закону. Статистиче-

ская проверка этой гипотезы с применением критерия Пирсона ( $\chi=6,15$ ,  $\chi=7,8$ ) позволяет сделать вывод о том, что с вероятностью не менее 0,95 можно принять нормальный закон распределения амплитудных значений напряжения при изменении угла (рис. 4).

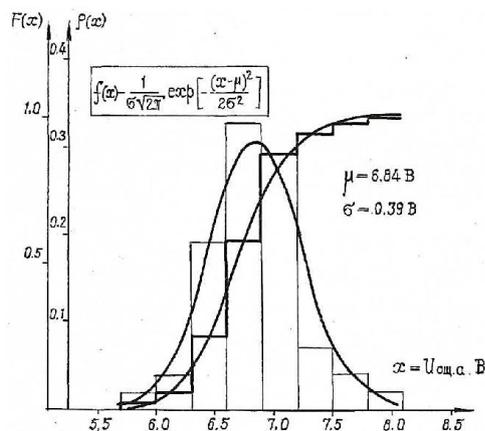


Рис. 4. Законы распределения амплитудных значений ошутимого напряжения

Для сравнительной оценки действия на человека токов различных видов требуется иметь пересчетный коэффициент между амплитудными и средними значениями.

Для примененной формы графика напряжения зависимость между средними и амплитудными значениями определится путем интегрирования мгновенного значения в пределах периода повторяемости

$$U_{cp} = \frac{m}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{m} + \alpha}^{\frac{\pi}{m} + \alpha} U_a \cos v dv = 0,955 U_a \cos \alpha = K'_U \cdot U_a \quad (2)$$

где  $m$  - число фаз выпрямителя.

При  $\alpha \leq 30^\circ$  амплитудные значения воздействующего напряжения совпадают с амплитудой огибающей выпрямленного напряжения.

При  $\alpha > 30^\circ$  имеем  $U_{ош.а} < U_a$ . В этом случае

$$U_{ош.а} = U_a \cos(\alpha - 30^\circ) = K''_U \cdot U_a \quad (3)$$

Подставляя значение  $U_a$  и переходя к обозначению для ошутимого напряжения, получаем

$$U_{ош.а} = K'_U \cdot (K''_U) U_a = K_U \cdot U_a \quad (4)$$

где  $K_U$  - коэффициент пересчета между амплитудными и средними значениями

$$\begin{cases} 0,955 \cdot \cos \alpha, \alpha \leq 30^\circ; \\ 0,955 \cdot \cos \alpha [\cos(\alpha - 30)]^{-1}, \alpha \geq 30^\circ. \end{cases} \quad (5)$$

Сравнение экспериментальных амплитудных значений напряжения с расчетными амплитудными значениями, полученными пересчетом с помощью  $K_U$  экспериментальных средних значений, показало их практическое совпадение. В связи с этим можно сделать вывод, что при определении критериальных значений напряжений и токов, отличающихся по форме графика от синусоидальных, можно исходить как из амплитудных, так и из средних и действующих значений. При этом следует указывать зависимость одних значений от других.

Сравнительная оценка действия токов различного вида показывает, что пульсирующие токи по сравнению с переменным током (50 Гц) и постоянным по величине и направлению током физиологически более активны.

Отношения амплитудных значений ошутимых токов переменного и постоянного тока к значениям ошутимого пульсирующего тока составляют, соответственно, 1,1-2,4 и 4,6- 8,4.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** При этом с вероятностью не менее 0,95 можно принять нормальный закон распределения амплитудных значений напряжения при изменении угла открытия полупроводников преобразователей АТП.

1. При определении критериальных значений напряжений и токов, отличающихся по форме от синусоидальных, можно исходить как из амплитудных, так и из средних и действующих значений.

2. Полученные результаты по оценке физиологических характеристик горнорабочих как элемента эрготехнической ситемы человек - источник поражения, позволяют разработать рекомендации по первичным критериям электробезопасности для условий железорудных шахт.

#### Список литературы

1. Правила безопасности в угольных шахтах / Самар: Самар. Дом печати, 1996. - 352 с.
2. Синчук О.Н. Электробезопасность рудничной откатки / Э.С. Гузов, А.Г. Ликаренко, А.Г. Животовский, Б.П. Борисов // К.: Техніка, 1988 г. - 188 с.
3. Синчук И.О. Тяговая контактная сеть железорудных шахт – потенциальный источник поражения горнорабочих электрическим током. Гірничий вісник, 2013. Вип. 96. – С. 288 - 290.

4. Ляхомский А.В. Исследование воздействия на человека напряжения и тока с фазовыми отсечками. Межвуз. сб. научн. тр. «Вопросы электроснабжения и электропривода». – Калинин, 1997. – С. 52 – 54.

5. Животовский А.Г. Совершенствование защиты от утечек тока в контактных сетях шахтного электровозного транспорта // Охрана труда и техника безопасности в горнорудной промышленности, 1989. - Вып.4. – С.19-20.

6. Волоотовский С.А. Полупроводниковые преобразовательные подстанции для подземного электровозного транспорта / В.Д. Фурсов, Г.Г. Пивняк // К.:Высшая школа, 1971 г. - 224 с.

Рукопись постуила в редакцию 19.03.13

УДК 621.926

С.І. ЛІПАНЧИКОВ, аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ НА ОСНОВІ РІВНЯННЯ МАСОВОГО БАЛАНСУ ЧАСТИНОК З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ВХІДНОГО ПОТОКУ РУДИ

В умовах сучасного металургійного виробництва, і, зокрема, в технологічному процесі дроблення та подрібнення, як відомо, гостро стає питання керування промисловим обладнанням.

Для вирішення цієї задачі ключовим є складання якомога більш адекватної математичної моделі об'єкту керування. У статті проаналізовано один з найбільш популярних способів складання математичної моделі – підходу на основі матеріального балансу, доповнений врахуванням зміни властивостей вхідного потоку руди.

**Ключові слова:** матеріальний баланс, матриці руйнування, класифікації.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Однією з ключових задач керування обладнання для дезінтеграції залізної руди є складання його математичного опису (моделі). Одним з розповсюджених (найбільш широко використовуваних) методів до складання математичного опису обладнання, що використовується для дроблення та подрібнення, є підхід на основі матеріального балансу частинок.

Враховуючи те, що в умовах сучасної промисловості необхідно постійно підвищувати якість і точність складання математичних моделей обладнання, постає необхідність у вдосконаленні даного підходу та візуалізації результатів його реалізації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботі [1] приведено модель конусної дробарки на основі матеріального балансу.

У роботі [2] описано підходи до математичного опису дезінтеграційного обладнання, а також безпосередньо моделювання та математичного опису механічного руйнування матеріалу в робочих камерах млинів та дробарок. Але ні в одному з джерел, описаних раніше, не враховується зміна властивостей вхідного потоку руди в млині.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є моделювання процесу подрібнення, описаного в [1], [2] з урахуванням зміни властивостей вхідного потоку.

**Викладення матеріалу та результати.** Імітаційне моделювання концепції математичного опису на основі матеріального балансу в *MATLAB*. Підхід до математичного опису процесу дезінтеграції на основі матеріального балансу.

Рівняння масового балансу вмісту дробарки або млина та його розв'язок подається за допомогою наступного рівняння [1]

$$\frac{dm(t)}{dt} = f(t) - p(t) - \gamma(t)(S - BS)m(t)$$

де  $\gamma(t)$  - змінна, що представляє міцність руди,  $f(t)$ ,  $p(t)$  - вектори, що представляють масову продуктивність та  $i$ -ї фракції живлення та виходу, відповідно. Маса  $i$ -ї фракції вмісту дробарки позначено як  $m$ . Матриця  $S$  - діагональна матриця, що представляє питому ступінь дроблення розміру  $i$ ,  $B$  - нижня трикутна матриця, де кожний елемент  $b_{ij}$  представляє собою долю частинок розміру  $j$ , що знаходяться серед частинок розміру  $i$  після дроблення (матриця руйнування). Ваговий розхід продукту вважається пропорційним масовому вмісту, тобто

$$p = Dm,$$