

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.271; 519.23

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-134-144

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ БЛОКОВОГО СПОСОБА ОТРАБОТКИ КАРЬЕРНОГО ПОЛЯ

Селюков Алексей Владимирович,  
Герасимов Андрей Викторович,  
Кузнецова Алла Валериевна

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

\* для корреспонденции: sav.ormpi@kuzstu.ru



### Информация о статье

Поступила:

09 июня 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 ноября 2025 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2025 г.

Опубликована:

22 декабря 2025 г.

### Ключевые слова:

блоковый способ, свита  
пластов, стохастический  
характер, параметры блоков,  
законы распределения

### Аннотация.

Горнодобывающая промышленность составляет одну из основ экономики регионов Российской Федерации. Данный факт подтверждается требованиями государства в увеличении объемов добываемого полезного ископаемого, что сказывается на условиях проживания населения в непосредственной близости к объектам горнодобывающей промышленности, в том числе открытых горных работ. В связи с этим в современных условиях особое внимание уделяется рациональному недропользованию при открытой разработке твердых полезных ископаемых. При отработке карьерного поля с использованием блокового способа сдерживающим фактором является отсутствие научно-технических и научно-методических наработок, направленных на обоснование параметров блоков. Вследствие этого работа, направленная на обоснование параметров блоков при отработке свит пластов наклонного и крутого залегания, является актуальной. При блоковом порядке отработки карьерных полей перспективных угольных залежей в настоящий момент времени отсутствует единый стратегический подход к формированию таких параметров блоков, как его длина, ширина и глубина. Как известно, пригородные условия залегания месторождений твердых полезных ископаемых оказывают комплексное влияние на формирование параметров системы и технологии производства работ. В связи с этим предлагается использовать вероятностный характер параметров залегания свит пластов наклонного и крутого падения для оценки параметров блоков.

**Для цитирования:** Селюков А.В., Герасимов А.В., Кузнецова А.В. Идентификация законов распределения в оценке параметров блокового способа отработки карьерного поля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 6 (172). С. 134-144. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-134-144, EDN: SLEASM

**Введение.** Около 2/3 перспективных угольных участков на территории нашей страны относятся к сложноструктурным месторождениям с крутым и наклонным залеганием свит пластов, отработка которых возможна с применением блокового способа. В настоящее время данные месторождения отрабатываются преимущественно с применением продольных одно- или двухбортных систем разработки с внешним отвалообразованием.

При применении углубочных продольных одно- и двухбортных систем разработки имеется ряд недостатков:

- увеличение расстояния транспортирования вскрышных пород;
- увеличение затрат на производство вскрыши;
- увеличение общей длины фронта работ;
- увеличение протяженности транспортных коммуникаций;

- увеличение затрат на сооружение и содержание транспортных коммуникаций;
- все вскрышные породы вывозятся на внешние отвалы, и для их размещения необходимы большие земельные отвалы;
- увеличение площадей, которые являются источниками;
- отсутствует возможность восстановления поверхности в процессе эксплуатации месторождения, из-за чего создается большой разрыв во времени между нарушением и рекультивацией земель.

На действующих предприятиях доля внешних отвалов составляет порядка 67,0%, внутренних – 33,0%. При средневзвешенных объемах внешних отвалов и площадей, занимаемых этими отвалами, объем вскрыши, приходящийся на 1,0 м<sup>2</sup>, составит 84,4 м<sup>3</sup>.

Прогноз развития добычи угля по консервативному и оптимистическому вариантам, а также размещение вскрышных пород на внешних и внутренних отвалах, в том числе площади изъятия земель под внешнее отвалообразование, представлены в Таблице 1.

По итогам прогноза к концу 2035 года минимальные площади земель, нарушенных внешними отвалами, составят 70,2 млн м<sup>2</sup>. В связи с этим возникает необходимость разработки решений по рациональному недропользованию.

Перспективным направлением рационального недропользования при развитии открытых горных работ является блоковый способ

отработки свит пластов, сущностью которого является отработка свит пластов наклонного и крутопадающего залегания с максимальным использованием выработанного пространства карьерного поля. При этом решения, заложенные в данный способ, основываются на применении углубочных систем разработки. Блоковый способ отработки карьерных полей разработан и предложен доцентом Б. Т. Рутковским [1].

**Основная часть.** Основоположником данного способа предлагается следующее технологическое решение: деление карьерного поля на блоки производится по его длине на отдельные части – блоки. Отработка блоков ведется последовательно. Первоначальный блок отрабатывается до конечной глубины карьера с вывозкой вскрышной породы автотранспортом на внешний отвал, вскрышная порода последующих блоков размещается во внутреннем отвале предыдущего блока. Далее выработанное пространство второго блока заполняется вскрышной породой третьего и т. д. Концепция блокового способа представлена на Рис. 1.

Основным недостатком данного способа является отсутствие научно-технических и научно-методических разработок, направленных на установление горно-геологических условий залегания и обоснование параметров блоков. Данный недостаток обусловлен отсутствием взаимосвязи параметров разрабатываемого блока и выработанного пространства отработанного блока, при котором объем разрабатываемых

Таблица 1. Прогноз развития добычи угля открытым способом в Российской Федерации

Table 1. Forecast of the development of open-pit coal mining in the Russian Federation

Год	2020	2025	2030	2035	Итого
Добыча угля по консервативному варианту, млн т	185,30	181,70	188,80	188,00	743,80
Вскрыша, млн м <sup>3</sup>	2 204,50	2 162,50	2 246,70	2 237,20	8 850,90
Внешние отвалы, млн м <sup>3</sup>	1 474,80	1 446,70	1 503,10	1 496,70	5 921,20
Внутренние отвалы, млн м <sup>3</sup>	729,70	715,80	743,70	740,50	2 929,60
Площадь изъятия земель, млн м <sup>2</sup>	17,47	17,14	17,81	17,73	70,20
Добыча угля по оптимистическому варианту, млн т	204,40	224,40	241,90	246,50	917,20
Вскрыша, млн м <sup>3</sup>	2 432,80	2 669,90	2 878,60	2 933,50	10 914,80
Внешние отвалы, млн м <sup>3</sup>	1 627,60	1 786,20	1 925,80	1 962,50	7 302,00
Внутренние отвалы, млн м <sup>3</sup>	805,30	883,70	952,80	971,00	3 612,80
Площадь изъятия земель, млн м <sup>2</sup>	19,28	21,16	22,82	23,25	86,50

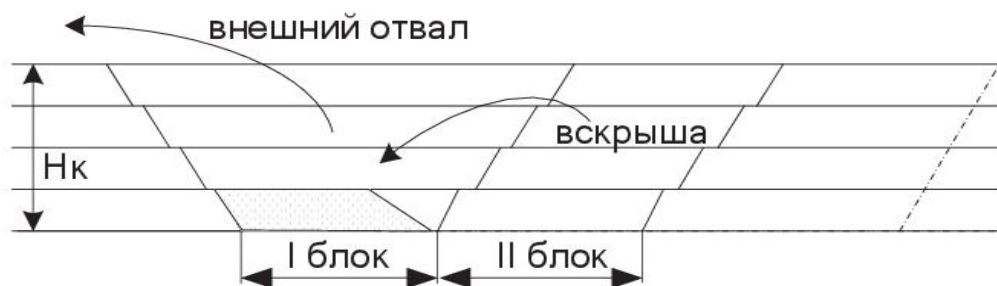


Рис. 1. Общий вид блокового способа по Б. Т. Рутковскому (продольное сечение карьерного поля), где Нк – глубина карьера, м  
Fig. 1. General view of the block method according to B.T. Rutkovsky (longitudinal section of the quarry field), where Нк is the depth of the quarry, m

пород невозможно разместить в выработанном пространстве предыдущего блока. Это обстоятельство обуславливает необходимость разработки математической модели по определению параметров блокового способа.

Блок является частью карьерного поля как по глубине, так и в поперечном сечении. Отличительной особенностью блока является длина блока.

Для дальнейшей работы предлагается следующая последовательность определения параметров блоков:

- установить параметры карьерного поля;
- определить параметры первоначального блока;
- определить параметры второго и последующих блоков.

Главными параметрами карьера являются [2-4]: глубина карьерного поля ( $H_{\text{карьер}}$ ), м; ширина карьера по дну ( $B_{\text{карьер}}^{\text{низ}}$ ), м; ширина карьера по верху ( $B_{\text{карьер}}^{\text{верх}}$ ), м; длина карьера по дну ( $L_{\text{карьер}}^{\text{низ}}$ ), м; длина карьера по верху ( $L_{\text{карьер}}^{\text{верх}}$ ), м.

В настоящее время одним из основных факторов определения контура и параметров карьерного поля является граничный коэффициент вскрыши, экономически учитывающий затраты на добычу, транспортирование, обогащение и реализацию продукции. При этом необходимо учитывать возможность максимального извлечения полезного ископаемого, результатам которой соответствует выемка всего полезного ископаемого в свите пластов. В связи с этим глубина горных работ при отработке конкретного месторождения и, как следствие, глубина блока будут удовлетворять следующему условию:

$$f(K_{\text{вскрыши}}^{\text{контур}}) \leq H_{\text{карьер}} \leq f(K_{\text{вскрыши}}^{\text{граничный}}), \quad (1)$$

где,  $K_{\text{вскрыши}}^{\text{граничный}}$  – граничный коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т,  $K_{\text{вскрыши}}^{\text{контур}}$  – контурный коэффициент вскрыши, м<sup>3</sup>/т.

Ширина карьера ориентирована на максимальное извлечение полезного ископаемого, т. е. на ширину свиты пластов, с учетом возможности размещения оборудования – ширины разрезной траншеи. Таким образом, ширина карьера по дну определится так:

$$B_{\text{карьер}}^{\text{низ}} = f(R_{\text{разворота}}^{\text{Автосамосвала}}, m_1^{\text{норм}} \text{ пласта}, m_1^{\text{норм}} \text{ междупласть}, \alpha_{\text{пи}}) \quad (2)$$

где  $R_{\text{разворота}}^{\text{Автосамосвала}}$  – радиус разворота автосамосвала по переднему колесу (указывается в технических характеристиках принятого оборудования), м;  $m_1^{\text{норм}} \text{ пласта}$  – нормальная мощность одного пласта, м;  $m_1^{\text{норм}} \text{ междупласть}$  – нормальная мощность одного междупластья в свите, м;  $n$  – количество пластов в свите, шт.

В связи с особенностью открытых горных работ, заключающейся в том, что карьерное поле

на каждом горизонте, по мере отработки уменьшается, необходимо определить ширину карьера по верху ( $B_{\text{карьер}}^{\text{верх}}$ ) согласно выражению:

$$B_{\text{карьер}}^{\text{верх}} = f(B_{\text{карьер}}^{\text{низ}}, H_{\text{карьер}}, \alpha_{\text{уст}}^{\text{вис}}, \alpha_{\text{уст}}^{\text{леж}}), \quad (3)$$

где  $\alpha_{\text{уст}}^{\text{вис}}$  – значение устойчивого угла откоса борта карьера со стороны висячего бока свиты, град,  $\alpha_{\text{уст}}^{\text{леж}}$  – значение устойчивого угла откоса борта карьера со стороны лежачего бока свиты, град.

В целях максимального извлечения полезного ископаемого карьерное поле по верху ( $L_{\text{карьер}}^{\text{верх}}$ ) целесообразно располагать по всей длине распространения свиты, в связи с чем длина карьера сопоставима с длиной распространения свиты ( $L_{\text{свиты}}$ ). Соответственно, аналогично ширине карьерного поля длина карьерного поля по дну ( $L_{\text{карьер}}^{\text{низ}}$ ) определится следующим образом:

$$L_{\text{карьер}}^{\text{низ}} = f(L_{\text{свиты}}, H_{\text{карьер}}, \alpha_{\text{торц}}^{\text{уст}}), \quad (4)$$

где,  $\alpha_{\text{торц}}^{\text{уст}}$  – значение устойчивого угла откоса борта карьера в торце, град.

Так как деление карьерного поля на блоки производится по его длине, то поперечные размеры и глубина карьерного поля будут постоянны и соответствовать вышеуказанным формулам 1-4. При этом параметры первоначального блока аналогично параметрам карьера будут представлены следующей системой уравнений:

$$B_{1 \text{ блока}}^{\text{верх}} = B_{\text{карьер}}^{\text{верх}}; \quad (5)$$

$$B_{1 \text{ блока}}^{\text{низ}} = B_{\text{карьер}}^{\text{низ}}; \quad (6)$$

$$H_{1 \text{ блока}} = H_{\text{карьер}}; \quad (7)$$

$$\alpha_{1 \text{ блока}}^{\text{вис}} = \alpha_{\text{уст}}^{\text{вис}}; \quad (8)$$

$$\alpha_{1 \text{ блока}}^{\text{леж}} = \alpha_{\text{уст}}^{\text{леж}}; \quad (9)$$

$$L_{1 \text{ блока}}^{\text{низ}} = ?; \quad (10)$$

$$L_{1 \text{ блока}}^{\text{верх}} = ?; \quad (11)$$

Как видно из выше представленной системы уравнений, отсутствуют выражения определения длин первоначального блока.

Карьерные поля, разрабатываемые блоковым способом, могут достигать значительных размеров по длине. Поэтому длина карьерного поля напрямую отражает масштабы производства и связана с дальностью транспортирования.

При этом протяженность блоков не зависит от параметров залегания свиты, а на предварительном этапе исследования можно заключить, что длина блоков ограничена лишь размерами карьерного поля и экономическим критерием, которым является рациональное расстояние транспортирования.

$$L_{1 \text{ блока}}^{\text{низ}} = f(V_{\text{внешн. отвала}}, L_{\text{тр}}^{\text{рац}}). \quad (12)$$

Длина первоначального блока по верху устанавливается аналогично ширине первоначального блока по верху, с учетом

значений углов в торцевой части карьерного поля, как показано в выражении:

$$L_{1 \text{ блока}}^{\text{Верх}} = f(L_{1 \text{ блока}}^{\text{Низ}}, H_{1 \text{ блока}}, \alpha_{\text{торц}}^{\text{уст}}). \quad (13)$$

Таким образом, определены максимальные параметры первоначального блока.

С учетом концепции блокового способа, где деление карьерного поля производится по его длине, поперечные параметры второго аналогичны параметрам первоначального блока.

По концепции блокового способа весь объем вскрышной породы второго блока необходимо разместить во внутреннем отвале в выработке первоначального блока, соответственно, идя от обратного, объем и длина второго блока по возможности размещения всей вскрыши во внутреннем отвале определяются исходя из параметров внутреннего отвала.

Данное условие позволяет сделать вывод, что объем вскрыши второго блока не должен превышать максимальную вместимость внутреннего отвала в выработанном пространстве первоначального.

В связи с этим, основным отличием в определении параметров второго и последующих

блоков является длина второго блока по дну. Связано это с тем, что для первоначального блока правомерна логическая связка: внешний отвал – первоначальный блок. Для второго блока и последующих блоков правомерна следующая логическая связка: внутренний отвал – второй блок.

$$V_{1 \text{ блока}} = f(H_{1 \text{ блока}}, V_{1 \text{ блока}}^{\text{Верх}}, V_{1 \text{ блока}}^{\text{Низ}}, L_{1 \text{ блока}}^{\text{Низ}}, L_{1 \text{ блока}}^{\text{Верх}}) \quad (14)$$

Далее необходимо выполнить оценку выработанного пространства первоначального блока для возможности размещения в нем внутреннего отвала, формируемого из вскрышных пород следующего блока.

Так как внутренний отвал расположен в выработанном пространстве первоначального блока, то ему присущи основные параметры первоначально блока, такие как ширина и глубина блока:

$$L_{\text{отвала}}^{\text{Низ}} = f(V_{\text{внешн. отвала}}, Kp, H_{1 \text{ блока}}, V_{1 \text{ блока}}^{\text{Верх}}, V_{1 \text{ блока}}^{\text{Низ}}, L_{1 \text{ блока}}^{\text{Низ}}, L_{1 \text{ блока}}^{\text{Верх}}). \quad (15)$$

Длину отвала по верху определяют исходя из

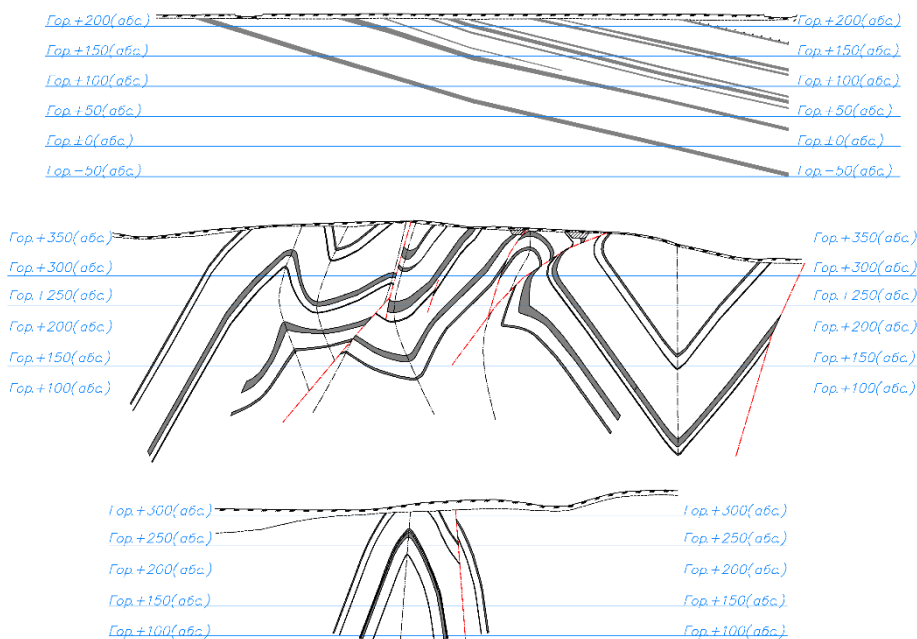


Рис. 3. Примеры залегания свит пластов наклонного и крутонападающего залегания  
Fig. 3. Examples of formations of inclined and steeply falling strata

Таблица 2. Параметры свит пластов наклонного и крутого падения

Table 2. Formation parameters of inclined and steep drop formations

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Нормальная мощность одного пласта, м	$m_{1 \text{ пласта}}^{\text{норм}}$	2,5÷9,7
Протяженность свиты пластов в плане, км	$L_{\text{свиты}}$	1,9÷9,3
Средняя мощность четвертичных отложений, м	$h_{\text{четв}}$	3,1÷19,2
Угол залегания свиты пластов, град	$\alpha_{\text{пл}}$	16,0÷64,4
Нормальная мощность одного междупластья в свите, м	$m_{1 \text{ междупластья}}^{\text{норм}}$	13,1÷67,3
Количество пластов в свите, шт	$n$	4,0÷28,0

длины основания отвала с учетом значений устойчивых углов. При этом параметры внутреннего отвала определяют следующим образом:

$$L_{\text{отвала}}^{\text{Верх}} = f(L_{\text{отвала}}^{\text{Низ}}, \gamma_{\text{откоса отвала}}, \alpha_{\text{торца}}^{\text{уст}}) \quad (16)$$

Вместимость внутреннего отвала определяют аналогично объему первоначального блока по выражению:

$$V_{\text{внут. отвала}} = f(V_{\text{внут. отвала}}^{\text{Верх}}, V_{\text{внут. отвала}}^{\text{Низ}}, L_{\text{отвала}}^{\text{ср}}) \quad (17)$$

Так как объем второго блока должен быть равен объему внутреннего отвала, то при прочих равных параметрах длина второго блока определится по формуле:

$$L_{2 \text{ блока}} = f(V_{\text{внут. отвала}}, K_p, V_{2 \text{ блока}}^{\text{Верх}}, V_{2 \text{ блока}}^{\text{Низ}}, H_{2 \text{ блока}}, L_{\text{отвала}}^{\text{ср}}, m_{\text{пи}}^{\text{норм}}, h_{\text{четв}}, \alpha_{\text{пи}}) \quad (18)$$

Учитывая схемные решения отработки второго и последующего блока, определение параметров третьего и последующих блоков будет аналогичным параметрам второго.

Горно-геологические условия залегания свит пластов как Кузбасса, так и России в целом очень различны и варьируются от горизонтальных и пологих до наклонных и крутопадающих и характеризуются сложным свитовым залеганием.

Блоковый способ в своей основе заключен в совершенствовании углубочных систем разработки, которые применяются при отработке наклонных и крутопадающих залежей (Рис. 3).

Анализ горно-геологических условий свит пластов перспективных участков позволил установить параметры свит пластов наклонного и крутого падения на месторождениях центрального Кузбасса. Параметры свит пластов наклонного и крутого падения представлены в Таблице 2.

Учитывая выше представленные параметры свит пластов, их значительный диапазон, возникает необходимость унифицировать методику определения параметров блоков. Одним из способов, который позволяет объективно систематизировать горно-геологические условия, является подход с использованием статистических методов, позволяющих выявить вероятностный закон распределения случайных величин [5-9]. С использованием статистических методов осуществлена идентификация законов распределения параметров, характеризующих размеры блоков [10-15]. В качестве примера далее представлены расчеты по параметру «мощность наносов».

Исходя из вида гистограммы и полигона наблюдаемых частот (Рис. 4), выдвигается нулевая гипотеза  $H_0$  о соответствии наблюдаемой частоты теоретическому  $\gamma$ -распределению. В качестве альтернативных

Таблица 3. Фрагмент выборки, характеризующий параметр «Мощность наносов»

Table 3. Sample fragment characterizing the parameter «Sediment thickness»

Номер элемента выборки	Значение, м
1	0,10
2	0,59
3	0,73
4	0,79
5	0,81
6	1,33
7	2,35
...	
1370	36,9

Таблица 4. Параметры выборки, характеризующие параметр «Мощность наносов»

Table 4. Sample parameters characterizing parameter the «Sediment thickness»

Параметр	Значение	Ед. изм.
Выборочное средние	9,100	м
Выборочное математическое ожидание		
Выборочное среднеквадратическое отклонение	7,205	м
Максимальное значение выборки	0,100	м
Минимальное значение выборки	38,000	м
Рекомендуемое число групп интервалов	11	шт
Шаг интервала	3	м
Размер выборки	1370	шт

Таблица 5. Наблюдаемые частоты

Table 5. Observed frequencies

Интервал	Наблюдаемая частота
0,1 - 3	268
3 - 6	322
6 - 9	223
9 - 12	187
12 - 15	138
15 - 18	75
18 - 21	44
21 - 24	32
24 - 27	41
27 - 30	22
30 - 33	7
33 - 36	5
36 - 39	3

гипотез о соответствии выдвигается:  $H_1$  –  $N$ -распределение (Гаусса),  $H_2$  –  $\beta$ -распределение,  $H_3$  –  $exp$ -распределение.

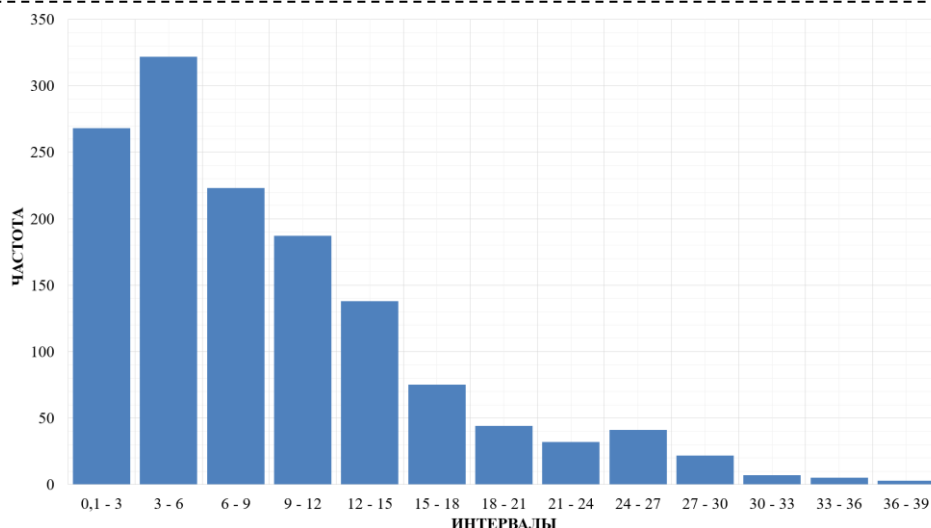


Рис. 4. Гистограмма наблюдаемых частот  
Fig. 4. Histogram of the observed frequencies

Таблица 6. Теоретические частоты  
Table 6. Theoretical frequencies

Интервал	Распределение			
	$\gamma$ -распределение	N-распределение	$\beta$ -распределение	exp-распределение
0,1 - 3	268	253	272	442
3 - 6	322	315	185	321
6 - 9	223	255	221	224
9 - 12	187	185	222	152
12 - 15	138	127	188	100
15 - 18	75	85	134	62
18 - 21	44	55	81	36
21 - 24	32	36	41	19
24 - 27	41	23	18	9
27 - 30	22	14	6	4
30 - 33	7	9	2	1
33 - 36	5	6	0	0
36 - 39	3	3	0	0
Сумма	1367	1366	1370	1370

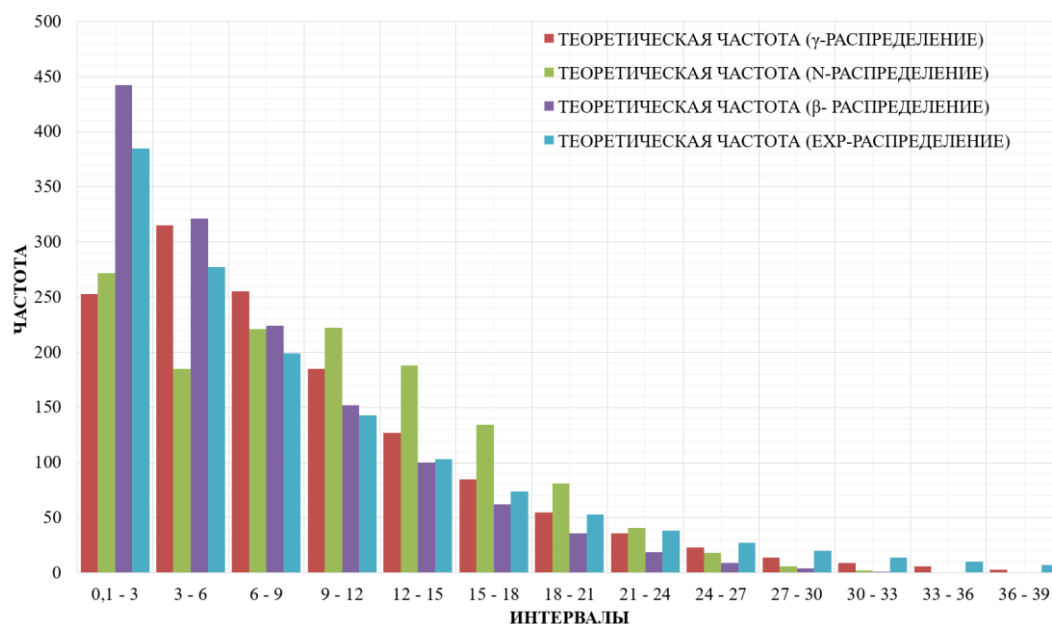


Рис. 5. Гистограмма теоретических частот  
Fig. 5. Histogram of theoretical frequencies

Таблица 7. Проверка гипотез  $H_0 - H_3$  по критерию Колмогорова ( $\lambda$ -критерий) при анализе параметра «Мощность наносов»  
 Table 7. Verification of hypotheses  $H_0 - H_3$  by the Kolmogorov criterion ( $\lambda$ -criterion) in the analysis of the parameter «Sediment thickness»

$v_{набл}^{накоп}$	6	268	590	813	1000	1138	1213	1257	1289	1330	1352	1359	1364	1367
$v_{теор}^{накоп} (\gamma-распр)$	2	253	568	823	1008	1135	1220	1275	1311	1334	1348	1357	1363	1366
$sup v_{теор}^{накоп} - v_{набл}^{накоп} $	21													
$\lambda_{набл}$	0,57													
$\lambda_{крит}$	$\lambda_{крит} = 1,36$ , при $\alpha = 0,95$													
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (0,57) < \lambda_{крит} (1,36)$ – гипотеза $H_0$ принимается													
$v_{теор}^{накоп} (N-распр)$	145	272	457	678	900	1088	1222	1303	1344	1362	1368	1370	1370	1370
$sup v_{теор}^{накоп} - v_{набл}^{накоп} $	139													
$\lambda_{набл}$	3,76													
$\lambda_{крит}$	$\lambda_{крит} = 1,36$ , при $\alpha = 0,95$													
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (3,76) > \lambda_{крит} (1,36)$ – гипотеза $H_1$ отвергается													
$v_{теор}^{накоп} (\beta-распр)$	0	442	763	987	1139	1239	1301	1337	1356	1365	1369	1370	1370	1370
$sup v_{теор}^{накоп} - v_{набл}^{накоп} $	181													
$\lambda_{набл}$	4,89													
$\lambda_{крит}$	$\lambda_{крит} = 1,36$ , при $\alpha = 0,95$													
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (4,89) > \lambda_{крит} (1,36)$ – гипотеза $H_2$ отвергается													
$v_{теор}^{накоп} (exp-распр)$	15	385	662	861	1004	1107	1181	1234	1272	1299	1319	1333	1343	1350
$sup v_{теор}^{накоп} - v_{набл}^{накоп} $	117													
$\lambda_{набл}$	3,16													
$\lambda_{крит}$	$\lambda_{крит} = 1,36$ , при $\alpha = 0,95$													
<b>Вывод</b>	$\lambda_{набл} (3,16) > \lambda_{крит} (1,36)$ – гипотеза $H_3$ отвергается													

где  $v_{набл}^{накоп}$  – накопленная наблюдаемая частота;  $v_{теор}^{накоп}$  – теоретическая наблюдаемая частота;  $\lambda_{набл}$  – наблюдаемое значение  $\lambda$ -критерия;  $\lambda_{крит}$  – критическое значение  $\lambda$ -критерия;  $\alpha$  – уровень достоверности.

Таблица 8. Проверка гипотез  $H_0 - H_3$  по критерию Крамера-Мизеса-Смирнова ( $n\omega^2$ -критерий) при анализе параметра «Мощность наносов»  
 Table 8. Verification of hypotheses  $H_0 - H_3$  by the Kramer-Mises-Smirnov criterion ( $n\omega^2$ -criterion) in the analysis of the parameter «Sediment thickness»

in the analysis of the parameter «Sediment thickness»						
$i$	1	2	3	...	1370	$\Sigma$
$x_i$	0,1	0,2	0,32		36,9	
расчет $n\omega^2(\gamma\text{-распр})$	5,46E-07	8,86E-11	5,19E-07		1,01E-05	1,43E-01
$n\omega^2_{\text{набл}}(\gamma\text{-распр})$	$n\omega^2_{\text{набл}} = 0,14$ при $\alpha = 0,95$					
Вывод	$n\omega^2_{\text{набл}}(0,14) < n\omega^2_{\text{набл}}(0,46)$ – гипотеза $H_0$ принимается					
расчет $n\omega^2(N\text{-распр})$	1,11E-02	1,10E-02	1,08E-02	...	6,24E-06	6,35E+00
$n\omega^2_{\text{набл}}(N\text{-распр})$	$n\omega^2_{\text{набл}} = 6,35$ при $\alpha = 0,95$					
Вывод	$n\omega^2_{\text{набл}}(6,35) > n\omega^2_{\text{набл}}(0,46)$ – гипотеза $H_1$ отвергается					
Расчет $n\omega^2(\beta\text{-распр})$	1,33E-07	1,20E-06	3,33E-06	...	6,51E-06	1,54E+00
$n\omega^2_{\text{набл}}(\beta\text{-распр})$	$n\omega^2_{\text{набл}} = 15,39$ при $\alpha = 0,95$					
Вывод	$n\omega^2_{\text{набл}}(15,39) > n\omega^2_{\text{набл}}(0,46)$ – гипотеза $H_2$ отвергается					
$n\omega^2_{\text{крит}}$	0,46 при $\alpha = 0,95$					
расчет $n\omega^2(\text{exp-распр})$	1,12E-04	9,69E-05	8,31E-05	...	7,03E-05	3,86E+00
$n\omega^2_{\text{набл}}(\text{exp-распр})$	$n\omega^2_{\text{набл}} = 3,86$ при $\alpha = 0,95$					
Вывод	$n\omega^2_{\text{набл}}(3,86) > n\omega^2_{\text{набл}}(0,46)$ – гипотеза $H_3$ отвергается					

где  $n\omega^2_{набл}$  – наблюдаемое значение  $n\omega^2$ -критерия;  $n\omega^2_{крит}$  – критическое значение  $n\omega^2$ -критерия;  $\alpha$  – уровень достоверности.

Таблица 9. Проверка гипотез  $H_0 - H_3$  по критерию Пирсона (критерий- $\chi^2$ ) при анализе параметра «Мощность наносов»Table 9. Verification of hypotheses  $H_0 - H_3$  by the Pearson criterion (criterion- $\chi^2$ ) in the analysis of the parameter «Sediment thickness»

$n$	0,1 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12 - 15	15 - 18	18 - 21	21 - 24	24 - 27	27 - 30	30 - 33	33 - 36	36 - 39	$\Sigma$
$v_{набл}$	268	322	223	187	138	75	44	32	41	22	7	5	3	1367
	37													
$v_{теор}$ ( $\gamma$ -распр)	253	315	255	185	127	85	55	36	23	14	9	6	3	1366
	32													
$\chi^2_{набл}$	0,89	0,16	4,02	0,02	0,95	1,18	2,20	0,44	14,09	0,78				24,72
$\chi^2_{крит}$	$\chi^2_{крит} = 24,72$ , при $\alpha = 0,95$ и $df = 7$													
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{набл} (24,72) > \chi^2_{крит} (12,26)$ – гипотеза $H_0$ отвергается													
$v_{теор}$ ( $N$ -распр)	272	185	221	222	188	134	81	41	18	6	2	0	0	1370
	8													
$\chi^2_{набл}$	0,06	101,45	0,02	5,52	13,30	25,98	16,90	1,98	29,39	105,13				299,72
$\chi^2_{крит}$	$\chi^2_{крит} =$ , при $\alpha = 0,95$ и $df = 7$													
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{набл} (269,64) > \chi^2_{крит} (12,26)$ – гипотеза $H_1$ отвергается													
$v_{теор}$ ( $\beta$ -распр)	442	321	224	152	100	62	36	19	9	4	1	0	0	1370
	5													
$\chi^2_{набл}$	68,50	0,00	0,00	8,06	14,44	2,73	1,78	8,89	113,78	204,80				422,98
$\chi^2_{крит}$	$\chi^2_{крит} = 422,98$ , при $\alpha = 0,95$ и $df = 7$													
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{набл} (422,98) > \chi^2_{крит} (12,26)$ – гипотеза $H_2$ отвергается													
$v_{теор}$ (exp-распр)	385	277	199	143	103	74	53	38	27	20	14	10	7	1350
	51													
$\chi^2_{набл}$	35,56	7,31	2,89	13,54	11,89	0,01	1,53	0,95	7,26	3,84				84,78
$\chi^2_{крит}$	$\chi^2_{крит} = 84,78$ , при $\alpha = 0,95$ и $df = 8$													
<b>Вывод</b>	$\chi^2_{набл} (84,78) > \chi^2_{крит} (12,26)$ – гипотеза $H_3$ отвергается													

где  $\chi^2_{крит}$  – критическое значение критерия -  $\chi^2$ ;  $\chi^2_{набл}$  – наблюдаемое значение критерия -  $\chi^2$ ;  $v_{набл}$  – наблюдаемое значение частоты;  $v_{теор}$  – теоретическое значение частоты;  $\alpha$  – уровень значимости (достоверности);  $df$  – число степеней свободы.

Таблица 10. Результаты статистического анализа параметров блоков

Table 10. The results of the statistical analysis of the block parameters

№	Параметр	Теоретический закон распределения	Выборочное математическое ожидание	Выборочное среднее квадратическое отклонение	Параметр формы	Параметр масштаба
1	Мощность наносов	$\gamma$ -распределение	9,100	7,205	1,594	5,708
2	Количество пластов		13,711	7,506	3,337	4,109
3	Нормальная мощность пластов	$N$ -распределение	3,690	2,885	-	-
4	Горизонтальная мощность пластов	$\gamma$ -распределение	12,433	13,882	0,802	15,501
5	Ширина карьерного поля		1099,208	573,119	3,678	298,820
6	Глубина карьерного поля		211,834	140,771	2,264	93,548
7	Горизонтальная мощность свиты		80,522	87,887	0,839	95,925
8	Горизонтальная мощность междупластьев		71,460	77,416	0,852	83,869
9	Нормальная мощность междупластьев		25,801	24,073	1,149	22,461
10	Длина карьерного поля	$N$ -распределение	3516,317	1766,705	-	-
11	Дальность транспортирования (внешний отвал)	$\gamma$ -распределение	3,932	1,673	5,524	0,712
12	Дальность транспортирования (внутренний отвал)		0,786	0,335	5,524	0,142
13	Соотношение длины		1,716	0,871	3,881	0,442



Из Таблиц 7-9 видно, что все три критерия отвергли предположение о бета-распределении, распределении Гаусса и экспоненциальном-распределении. Два из трех критериев (Таблицы 7 и 8) подтвердили гамма-распределение, что позволяет сделать вывод о принятии гипотезы, которая утверждает, что случайная величина «мощность наносов» распределена в соответствии с гамма-распределением с функцией плотности распределения [7]:

$$F(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp^{-\frac{x}{\beta}}, \text{ при } \alpha > 0, \beta > 0, x \in (0; R^+), x \neq \infty, \quad (19)$$

где  $x$  – значение элемента выборки;  $\alpha, \beta$  – параметры формы и масштаба;  $\Gamma$  – гамма-функция;  $R$  – множество действительных чисел.

Аналогичным образом были обработаны результаты по другим параметрам. Результаты представлены в Таблице 10.

**Вывод.** В результате исследования 126 выборок значений параметров, характеризующих размеры блоков разрезов Кузбасса, и выявления вида вероятностных распределений этих значений установлено, что 84,62% выборок соответствуют  $\gamma$ -распределению, 15,38% – N-распределению, 0% –  $\beta$ -распределению, 0% – exp-распределению.

Таким образом, с достоверностью 0,95 можно утверждать, что при определении параметров блоков на разрезах Кузбасса необходимо использовать  $\gamma$ -распределение с ограниченной правосторонней областью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рутковский Б. Т. Блочный способ отработки карьерных полей с большим простираем// Разработка угольных месторождений открытым способом. Сб. науч. тр. Кемерово : КузПИ, 1972. С. 81–87.
2. Селюков А. В., Герасимов А. В. Проектирование параметров блочного способа открытой угледобычи с применением автотранспортной технологии // Вестник Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. 2024. № 1. С. 31–38.
3. Селюков А. В., Герасимов А. В. Обоснование области применения автосамосвалов различной грузоподъемности при блочном способе отработки карьерного поля // Вестник Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. 2024. № 1. С. 29–31.
4. Селюков А. В., Герасимов А. В. Регулирование дисбаланса объемов отвалообразования при блочном способе отработки карьерных полей угольных разрезов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2024. № 3. С. 313–328.
5. Кузнецова А. В., Грибанов Е. Н., Николаева Е. А., Гутова Е. В. Теория вероятностей: методы и способы решения задач: учебное пособие. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. Кемерово, 2020. 111 с.
6. Тынкевич М. А., Пимонов А. Г., Славлюбова Я. В. Введение в статистический анализ данных (Теория и практика): учеб. Пособие. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2021. 157 с.
7. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных сотрудников. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
8. Лемешко Б. Ю., Лемешко С. Б., Постовалов С. Н., Чимитова Е. В. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. 888 с.
9. Мицель А. А. Прикладная математическая статистика. Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2022. 118 с.
10. Кузнецов И. С., Зиновьев В. В., Кузнецова А. В. Выявление вида вероятностного распределения продолжительности основных технологических процессов при моделировании вскрышных работ на разрезах Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2024. №2(25). С. 79–103. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-79-103.
11. Орлов А. И. Теория принятия решений: учеб. пособие. М. : Издательство «Экзамен», 2005. 656 с.
12. Миронюк В. П., Мельников Д. А. Обработка распределения времени обслуживания автомобилей при перевалке контейнеров // Инженерный вестник Дона. 2011. № 4 (47) С. 568–572.
13. Сенатов В. В. Центральная предельная теорема. Точность аппроксимации и асимптотические разложения. Москва : URSS: Либроком, 2009. С. 350.
14. Беликова Г. И., Витковская Л. В. Основы теории вероятностей и элементы математической статистики. Учебное пособие. СПб. : РГТМУ, 2018. 160 с.
15. Ершова Т. Б. Статистика: учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 / Татьяна Борисовна Ершова. 2 изд., перераб. и испр. Комсомольск-на-Амуре : Изд-во АмГПУ, 2015. 74 с.

Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Селюков Алексей Владимирович**, д-р. тех. наук, профессор, sav.ormpi@kuzstu.ru, Россия, Кемерово, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

**Герасимов Андрей Викторович**, аспирант, and-95.2010@mail.ru, Россия, Кемерово, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

**Кузнецова Алла Валериевна**, канд. тех. наук, доцент, cherednichenkoav@kuzstu.ru, Россия, Кемерово, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

Заявленный вклад авторов:

Селюков Алексей Владимирович – формирование идеи исследования, анализ результатов, написание и редактирование материала, формулировка выводов.

Герасимов Андрей Викторович – написание и редактирование материала, формулировка выводов.

Кузнецова Алла Валериевна – статистическая обработка данных, идентификация законов распределения, анализ результатов, написание и редактирование материала, формулировка выводов

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### IDENTIFICATION OF DISTRIBUTION LAWS IN THE EVALUATION OF THE PARAMETERS OF THE BLOCK METHOD OF MINING THE CAREER FIELD

Alexey V. Selyukov,  
Andrey V. Gerasimov,  
Alla V. Kuznetsova

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\* for correspondence: sav.ormpi@kuzstu.ru



#### Article info

Received:

09 June 2025

Accepted for publication:

15 November 2025

Accepted:

02 December 2025

Published:

22 December 2025

**Keywords:** block method, suite of layers, stochastic nature, block parameters, distribution laws.

#### Abstract.

The mining industry is one of the foundations of the economy of the regions of the Russian Federation. This fact is confirmed by the state requirements to increase the volumes of extracted minerals, which affects the living conditions of the population in close proximity to mining facilities, including open-pit mining. In this regard, in modern conditions, special attention is paid to rational subsoil use in the open-pit development of solid minerals. When developing a quarry field using the block method, the limiting factor is the lack of scientific, technical and scientific and methodological developments aimed at substantiating the parameters of the blocks. As a result, the work aimed at substantiating the parameters of the blocks when developing suites of inclined and steep seams is relevant. In the block order of developing quarry fields of promising coal deposits, at present there is no single strategic approach to the formation of such block parameters as its length, width and depth. As is known, suburban conditions of occurrence of solid mineral deposits have a complex effect on the formation of system parameters and production technology. In this regard, it is proposed to use the probabilistic nature of the parameters of occurrence of formations of inclined and steep dipping layers to assess the parameters of blocks.

**For citation:** Selyukov A.V., Gerasimov A.V., Kuznetsova A.V. Identification of distribution laws in the evaluation of the parameters of the block method of mining the career field. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 6(172):134-144. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-6-134-144, EDN: SLEASM

## REFERENCES

1. Rutkovsky B.T. Block method of mining quarry fields with a large strike / B.T. Rutkovsky. Development of coal deposits by open method, collection of scientific tr. Kemerovo: KuzPI; 1972. Pp. 81–87.
2. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Designing the parameters of the block method of open-pit coal mining with the use of auto transport technology. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta=Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 2(162):68–78. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-68-78. EDN: DDPME.
3. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Justification of the field of application of dump trucks of various load capacities in the block order of mining of the quarry field. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024; 2(162):57–67. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-57-67. EDN: FCPLPH.
4. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Regulation of the imbalance of waste formation volumes in the block method of mining open-pit coal fields. *Bulletin of the Tula State University. Earth Sciences*. 2024; 3:313–328.
5. Kuznetsova A.V., Gribanov E.N., Nikolaeva E.A., Gutova E.V. Probability theory: methods and ways of solving problems: textbook. Kemerovo: KuzSTU Publishing House; 2020. 111 p. [In Russ.]
6. Tynkevich M.A., Pimonov A.G., Slavolyubova Ya.V. Introduction to statistical data analysis (Theory and practice): textbook. Kemerovo: KuzSTU Publishing House; 2021. 157 p. [In Russ.]
7. Kobzar' A.I. Applied mathematical statistics. For engineers and research workers. Moscow: Fizmatlit Publishers; 2006. 816 p. [In Russ.]
8. Lemesko B.Yu., Lemesko S.B., Postovalov S.N., Chimitova E.V. Statistical analysis of data, modeling and study of probabilistic patterns. Computer approach: monograph. Novosibirsk: Publishing house of NSTU; 2011. 888 p. [In Russ.]
9. Mitsel' A.A. Applied mathematical statistics. Tomsk: TUSUR Publishing; 2022. 118 p. [In Russ.]
10. Kuznetsov I.S., Sinoviev V.V., Kuznetsova A.V. Identification of the type of probabilistic distribution of the main technological processes duration when modeling stripping operations at Kuzbass open pit mines. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2024; 2(25):79–103. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-79-103. EDN: SBMZUH.
11. Orlov A.I. Decision making theory: textbook. allowance. M.: Publishing house "Exam"; 2005. 656 p. (In Russ.)
12. Mirnyuk V.P., Melnikov D.A. Processing the distribution of vehicle service time during container transshipment. *Engineering Bulletin of the Don*. 2011; 4(47):568–572. (In Russ.)
13. Senatov V.V. Central limit theorem. Approximation accuracy and asymptotic expansions. Moscow: URSS: Librocom; 2009. P. 350 (In Russ.)
14. Belikova G.I., Vitkovskaya L.V. Fundamentals of probability theory and elements of mathematical statistics. Tutorial. St. Petersburg: RGGMU; 2018. 160 p. (In Russ.)
15. Ershova T.B. Statistics: a textbook. B 2 h. Ch. 2 / Tatyana Borisov-na Ershova. 2 ed., reworked. and ask. Komsomolsk-on-Amur: Izd-vo AmGPGU; 2015. 74 p. (In Russ.)

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

The authors declare no conflict of interest.

## About the authors:

**Alexey V. Selyukov**, Professor, sav.ormpi@kuzstu.ru, Russia, Kemerovo, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**Andrey V. Gerasimov**, postgraduate, and-95.2010@mail.ru, Russia, Kemerovo, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**Alla V. Kuznetsova** Associate Professor, cherednichenkoav@kuzstu.ru, Russia, Kemerovo, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

## Contribution of the authors:

Alexey V. Selyukov – formation of the research idea, analysis of the results, writing and editing of the material, formulation of conclusions.

Andrey V. Gerasimov – writing and editing of the material, formulation of conclusions.

Alla V. Kuznetsova – statistical data processing, identification of distribution laws, analysis of results, writing and editing of material, formulation of conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

