

КЛАССИФИКАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И РАЗРУШАЕМОСТИ

В.Н. Захаров¹, В.Ю. Линник², Ю.Н. Линник², А.Б. Жабин³

¹ ИПКОН РАН, Москва, Россия

² Государственный университет управления, Москва, Россия, e-mail: d0c3n7@gmail.com

³ Тульский государственный университет, Тула, Россия

Аннотация: На основе ранее полученных результатов исследований показателей, характеризующих разрушаемость и особенности геологического строения угольных пластов, сформирована база данных шахтопластов, разрабатываемых на территории России. Исследованиями были охвачены около 300 шахтопластов России, в ходе которых определялись прочностные свойства угля, породных прослоек и твердых включений, а также их содержание в пласте. Для определения этих показателей использовались результаты инструментальных замеров прочностных свойств пластов и их структурных особенностей проводившихся в разные годы в подземных условиях горных выработок. Кроме этого использовались статистические данные и геологические описания пластов по их структурным колонкам. Целью исследований было использование сформированной базы данных для разработки типизаций по особенностям геологического строения угольных пластов и их разрушаемости. Разработанные типизации использовались при создании классификации угольных пластов как сред, подвергаемых разрушению механическим способом. Предложенная, таким образом методика, является инструментом для выбора параметров угледобывающих машин, а классификация позволяет ранжировать шахтопласты по совокупной оценке «строение-разрушаемость» от самых легких до наиболее трудно добываемых.

Ключевые слова: угольный пласт, база данных, сопротивляемость резанию, геологическое строение пластов, твердые включения, породные прослойки, крепость, интегральная оценка, разрушаемость, классификация, типизация.

Для цитирования: Захаров В. Н., Линник В. Ю., Линник Ю. Н., Жабин А. Б. Классификация угольных пластов по особенностям геологического строения и разрушаемости // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 5–12. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-5-12.

Classification of coal seams by features of geological structure and characteristics of breaking

V.N. Zakharov¹, V.Yu. Linnik², Yu.N. Linnik², A.B. Zhabin³

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² State University of Management, 109542, Moscow, Russia, e-mail: d0c3n7@gmail.com

³ Tula State University, Tula, Russia

Abstract: Based on the earlier research findings on characteristics of breaking and geological structure, the database has been compiled for coal seams under mining in the territory of Russia. The sco-

of the research embraced around 300 coal seams for which the structural behavior and contents of pe coal, dirt bands and solid inclusions were determined. To this effect, the data of in-situ instrumental measurements of strength and structural features were used. Additionally, statistics and geological description of coal seams by structural columns were involved. The research was aimed to use the resultant database for typification of coal seams by their geological structure and breaking characteristics. The developed typifications served for classification of coal seams as media subjected to disintegration. The proposed procedure is a tool for selecting parameters of coal cutting machines, and the classification allows ranking of coal seams by the integral structure–breakability estimate on the scale from the easiest to the most difficult.

Key words: coal seam, database, cuttability, geological structure of coal seams, solid inclusions, dirt bands, integral estimate, breakability, classification, typification.

For citation: Zakharov V. N., Linnik V. Yu., Linnik Yu. N., Zhabin A. B. Classification of coal seams by features of geological structure and characteristics of breaking. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:5-12. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-5-12.

Введение

Различия в геологическом строении и разрушаемости угольных пластов оказывает влияние на динамическую нагруженность и надежность выемочных машин, а следовательно, и на такие важные показатели эффективности их эксплуатации, как производительность, энергоемкость выемки пласта, сортность угля, что должно учитываться при выборе типа машин, а также параметров применяемых режущих инструментов, исполнительных органов и трансмиссий [1–5]. В этой связи были выполнены исследования, целью которых стала систематизация данных о шахтопластах, разрабатываемых на территории России и за рубежом [6–9] и разработка классификации по их основным характеристикам. Для достижения цели исследований необходимо было выбрать из всего набора горно-геологических и прочностных характеристик угольных пластов только те,

которые существенным образом влияют на показатели эффективности функционирования угледобывающих машин, и на этой основе типизировать пласты в зависимости от особенностей их строения и разрушаемости.

Методика классификации угольных пластов

В связи с поставленной целью на начальном этапе исследований была сформирована электронная база данных о характеристиках разрушаемости угольных пластов, сведения из которой были использованы при создании типизации, разделяющей угольные пласты на группы, в зависимости от особенностей их характеристик разрушаемости и геологического строения. База данных включает информацию о более чем 300 угольных пластах, из которых ведется добыча угля на шахтах РФ, и основывается на значениях следующих характеристик: наи-

Таблица 1

Представление данных о пласте по слоям *Layer data representation*

Номер слоя (пачки)	Мощность, м	Состав компонентов слоя	Сопrotивляемость резанию, Н/мм	Крепость по Протодьяконову
Количество слоев принимается по структурной колонке и нумеруется от кровли пласта к почве.				
Данные о составе слоя принимаются в соответствии с пп. 4.2 и 4.3.				

менование или геологический индекс пласта, его средняя эксплуатационная мощность m_3 (м), литотип породных прослоев и их суммарная средняя мощность $m_{п.п}$ (м), литотип твердых включений, их структура и удельное содержание в пласте $S_{вкл}$ (%), сопротивляемость резанию угля $A_{уг}$ (Н/мм), породных прослоев $A_{п.п}$ (Н/мм) и твердых включений $A_{вкл}$ (Н/мм), вязкость угля, сопротивляемость пласта резанию $A_{пл}$ (Н/мм), обобщенный показатель содержания и свойств неоднородностей в пласте (Н/мм), показатель эквивалентной сопротивляемости пласта резанию A_3 (Н/мм) [10–18]. Созданная база данных использовалась в качестве основного источника информации при создании классификации угольных пластов как сред, подвергаемых разрушению механическим способом.

В тех случаях, когда в базе данных отсутствовали данные по вновь разрабатываемому угольному пласту, исходным материалом для ориентировочного отнесения угольного пласта к тем или иным типовым условиям могут служить геологические и петрографические данные о нем — структурная колонка пласта и описание к ней.

Отнесение шахтопласта к типовым условиям осуществляется в следующей последовательности.

По исходным значениям базы данных формируется следующий массив:

1. Угольный бассейн;
2. Наименование пласта, марка угля, степень хрупкости угля — количественная ($E < 2,1$ вязкий) и качественная (вязкий

или хрупкий). В случае отсутствия сведений указывается, что нет данных (н/д);

3. Вынимаемая мощность пласта, включая присекаемые участки кровли и почвы, м;

4. Данные о геологическом строении пласта в пределах вынимаемой мощности, включающие:

4.1. Угольные пачки, их размеры. При наличии в пачке твердых включений указывается — «уголь с включениями»;

4.2. Данные о породных прослойках, типы пород и их размеры:

- углистый аргиллит, рыхлый или плотный, м;
- аргиллит, рыхлый или плотный, м;
- песчаник мелкозернистый или крупнозернистый, м;
- известняк, м;

4.3. Данные о твердых включениях в пласте:

4.3.1. Наличие или их отсутствие;

4.3.2. Тип преобладающих включений:

- карбонатные;
- карбонатно-пиритные;
- пиритные;
- другие типы;

4.3.3. Виды включений в массиве:

- раздробленные;
- нераздробленные;
- консолидированные;

4.4. Удельное содержание включений в угольных пачках и пласте, %.

Представление исходных данных об угольных пачках и породных прослойках осуществляется по форме табл. 1.

Данные о твердых включениях представляются по форме табл. 2.

Таблица 2

Представление данных о твердых включениях
Solid inclusions representation

Номер слоя, содержащего твердые включения	Мощность слоя, м	Тип включений	Вид включений	Удельное содержание, %	Количество включений на 100 м длины забоя
В графе «Удельное содержание» приводится значение для пласта, определенное по формуле (1) или данным табл. 3.					

Таблица 3

Удельное содержание в пласте твердых включений
Solid inclusions specific content

Число твердых включений на 100 м забоя, шт.	Удельное содержание твердых включений, % на 1 м мощности		
	раздробленные	нераздробленные	консолидированные
10	0,05	0,3	1,5
20	0,1	0,6	3,0
100	0,5	3,0	15,0

Если угольный пласт является пластом сложного строения и включает прослойки и твердые включения, то его необходимо относить к группе, отражающей наиболее сложные свойства любого из компонентов.

Удельное содержание в угольном пласте твердых включений рассчитывается в зависимости от их удельной площади (4):

$$S^* = 100\Sigma S/F, \quad (1)$$

где ΣS — суммарная площадь поперечного сечения твердых включений в интервале измерений по длине забоя, м²; F — обнаженная площадь забоя, м².

Удельное содержание включений ориентировочно может быть определено по табл. 3, однако, как правило, приводится в геологической документации шахты.

5. Определяется сопротивляемость резанию угля (по результатам измерения или на основании базы данных);

6. Определяется сопротивляемость резанию породных прослоев и твердых включений (на основании базы данных или по формулам (2) и (3)).

$$A_n = 0,3 \sigma_{сж}^{1,19}, \quad (2)$$

$$A_n = 56,3 f^{1,35}, \quad (3)$$

где $\sigma_{сж}$ — временное сопротивление одноосному сжатию; f — коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова.

По результатам сбора данных об угольных пластах, была разработана их классификация, представленная в табл. 4.

Таблица 4

Типизация особенностей геологического строения угольных пластов
Typification features of coal seams geological structure

Группа сложности строения пласта	Характеристики строения пласта	Обобщенный показатель содержания и свойств неоднородностей
1	Пласты с чистыми углями и с прослоями углистого аргиллита или (и) аргиллита с сопротивляемостью резанию $A_{н.п} < 200$ Н/мм или (и) с раздробленными твердыми включениями удельным содержанием до 1%	(0–30)/2,0
2	Пласты с прослоями аргиллита или (и) углистого аргиллита, или (и) алевролита с $200 < A_{н.п} \leq 400$ Н/мм или (и) с раздробленными твердыми включениями содержанием более 1% или не раздробленными и консолидированными — до 2,5 %	(1–163)/34,4
3	Пласты с прослоями алевролита, известняка и песчаников с $A_{н.п} > 400$ Н/мм или (и) не раздробленными твердыми включениями содержанием более 2,5% и консолидированными любого содержания	(4–432)/39,4

Таблица 5

Типизация угольных пластов по разрушаемости
Typifications of coal seams by destructibility

Категория разрушаемости	Значение показателей сопротивляемости угля резанию A_{yr} (Н/мм) и степени его хрупкости E
I	Вязкие угли ($E < 2,1$) с $A_{yr} < 150$ или хрупкие с $A_{yr} < 200$
II	Вязкие с $A_{yr} = 151 - 240$ или хрупкие с $A_{yr} = 201 - 300$
III	Вязкие с $A_{yr} > 240$ или хрупкие с $A_{yr} > 300$

Анализ таблиц позволяет сделать следующие выводы:

- показатель растет по мере увеличения сопротивляемости резанию неоднородностей. В третьей группе угольных пластов с высоким содержанием неоднородностей и их значительной крепостью, показатель растет до 432 Н/мм медианное составляет 39,4. Как правило, в подобных условиях и имеют место

ограничения по надежности и производительности средств добычи угля.

- если пласт, содержит не только прослойки, но и твердые включения, он относится к той группе, которая отражает более сложные свойства одного из компонентов. При этом рекомендуется твердые включения относить к отдельным видам и с учетом их размеров согласно данным, приведенным в табл. 3.

Таблица 6

Распределение по категориям разрушаемости углей основных бассейнов России
Classification of the degradability of the major coal basins of Russia

Бассейн, район	Марка угля	Степень хрупкости угля	Количество (%) шахтопластов с углями, относящимися к категории разрушаемости		
			I	II	III
Восточный Донбасс	А, ПО К, Ж, ОС, Т	хрупкие хрупкие	26,0	72,6	1,4
			100,0	—	—
Кузнецкий,	Г, Ж, Д К, СС, Т	вязкие хрупкие	74,4	23,0	2,6
			67,6	32,4	—
в т.ч. по районам: Томь-Усинский Ленинск-Кузнецкий Байдаевский Осинниковский Кемеровский Беловский Анжерсий	К Г, Д Г, Ж Т К, СС Г, Ж К, ОС	хрупкие вязкие вязкие хрупкие хрупкие вязкие хрупкие	61,5	38,5	—
			94,4	5,6	—
			30,0	65,0	5,0
			100,0	—	—
			100,0	—	—
			80,0	20,0	—
			64,5	35,5	—
Воркутинское Интинское	Ж, К Д	хрупкие вязкие	81,4	18,6	—
			—	100,0	—
Челябинский	Б	вязкие	100,0	—	—
Дальневосточный	Б К, Ж, Т Г, Д	вязкие хрупкие вязкие	83,0	17,0	—
			100,0	—	—
			—	60,0	60,0
Сахалинский	Б Г, Д	вязкие вязкие	100,0	—	—
			89,0	11,0	—

Таблица 7

Расчетные значения сопротивляемости резанию $A_{ур}$
Calculated values of cutting resistance A_c

Степень хрупкости угля	Расчетные значения $A_{ур}$ (Н/мм) по категориям разрушаемости		
	I	II	III
Хрупкий	160	240	360
Вязкий	120	180	270

Типизации углепластов по категориям разрушаемости (см. табл. 5) предложены в соответствии с требованиями ГОСТ 26914-86 «Комбайны очистные. Общие технические требования», в котором область рационального применения угледобывающих комбайнов подразделена на группы по уровням энерговооруженности и энергоемкости. Эти же типизации же применяются при выборе режущих инструментов и исполнительных органов для конкретных условий эксплуатации.

Помимо типизаций представленных в табл. 4 и 5 все угли рекомендуется разделять по назначению на подлежащие рассортировке и обогащению и рядовые. Сведения о хрупкопластических свойствах углей различных угольных регионов России представлены в табл. 6. По этим данным принимается степень хрупкости угля и далее, по табл. 5, выбирается категория разрушаемости угольного пласта.

В случае, когда неизвестны данные о сопротивляемости резанию пласта и степени хрупкости угля, используется расчетный метод, базирующийся на обобщении экспериментальных данных, полученных по основному угольным бассейнам и регионам и заключающийся в следующем.

1. По табл. 6 устанавливаются хрупкопластические свойства угля, принимается категория разрушаемости пласта, соответствующая суммарному квантилю равному 66,7%. Затем по табл. 7 устанавливается значение $A_{ур}$.

2. На основе определенных по табл. 7 значений $A_{ур}$ и принятой степени хрупкости окончательно устанавливается группа по категории разрушаемости угольного пласта.

Предложенные типизации дают возможность инженерным работникам принимать обоснованные решения при работе с задачами, связанными с выбором средств добычи угля и решения ряда технологических задач.

Заключение

Таким образом, разработанные типизации являются удобным средством для принятия грамотных инженерных решений при выборе средств добычи угля (угледобывающих машин, режущего инструмента и исполнительных органов, а предложенная на основе их (типизаций) классификация позволяет ранжировать шахтопласты по совокупной оценке «строение-разрушаемость» от самых легких до наиболее трудно добываемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. — М.: Недра, 1984. — 288 с.

2. Жабин А. Б., Лавит И. М., Чеботарев А. Н., Поляков А. В. Применение методов механики разрушения для расчета нагрузок, действующих на резцы горных машин для добычи угля // Горное оборудование и электромеханика. — 2017. — № 3. — С. 28—34.

3. Титов С.В., Мышляев Б.К. Эксплуатационные характеристики забойных скребковых конвейеров механизированных комплексов // Горные машины и автоматика. — 2003. — № 7. — С. 2–5.
4. Hebel G., Hemmer W., Lemmes F. Der Einsatz von Schramwalzen bei fallendem vertrieb // Gluckauf. 1986, vol. 122, No 21, pp. 1391–1392.
5. Hurt K.G., Mcstravich F.G. High Performanco Shoaror Drum Dosing. *Colliery Guardian*, Dec. 1988. Vol. 236, No 12.
6. Rui Zhang, Zhengfu Ning, Feng Yang, Huawei Zhao, Qing Wang A laboratory study of the porosity-permeability relationships of shaleand sandstone under effective stress // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2016, Vol. 81, pp. 19–27.
7. Vladimir Andjelkovic, Nenad Pavlovic, Zarko Lazarevic, Velimir Nedovic Modelling of shear characteristics at the concrete–rock mass interface // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2015, Vol. 76, pp. 222–236.
8. Matthias Klawitter, Joan Esterle, Sarah Collins A study of hardness and fracture propagation in coal // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2015, Vol. 76, pp. 237–242.
9. Gao Wei Study on the width of the non-elastic zone in inclined coal pillar for strip mining // *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2014, Vol. 72, pp. 304–310.
10. Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Расчет параметров исполнительных органов очистных машин на основе электронного банка данных о характеристиках разрушаемости угольных пластов // Горное оборудование и электромеханика. — 2011. — № 2. — С. 42–50.
11. Gendler S. G., Grishina A. M., Kochetkova E. A. Optimization of expenditures for labor protection at deep mining // *Eurasian Mining*. — 2017. — No 2. — С. 35–39.
12. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: problems and solutions // *Eurasian Mining*. — 2016. — No 2. — С. 11–15.
13. Позин Е. З., Меламед В. З., Азовцева С. М. Измельчение углей при резании. — М.: Наука, 1977. — 138 с.
14. Позин Е. З., Меламед В. З., Азовцева С. М. Оценка степени хрупкости угля по его способности к измельчению // Физико-механические свойства углей и горных пород и методы их разрушения: сборник научных статей, вып. 155. — М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977. — С. 3–11.
15. Кунтыш М. Ф., Баронская Э. И. Методы оценки свойств угольных пластов сложного строения. — М.: Наука, 1980. — 142 с.
16. Gendler S. G., Kovshov S. V. Estimation and reduction of mining-induced damage of the environment and work area air in mining and processing of mineral stuff for the building industry // *Eurasian Mining*. — 2016. — No 1. — pp. 45–49.
17. Buevich V. V., Gabov V. V., Zadkov D. A., Vasileva P. A. Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure // *Eurasian Mining*. — 2015. — No 2. — pp. 11–14.
18. Zimin A. V., Bondarenko A. V., Trushin A. A. Automation and control equipment developed by rivs for mineral processing industry // *Eurasian Mining*. — 2015. — No 1. — pp. 41–44. **ПДАБ**

REFERENCES

1. Pozin E. Z., Melamed V. Z., Ton V. V. *Razrushenie ugley vyemochnymi mashinami* [Coal destruction by mining machines], Moscow, Nedra, 1984, 288 p.
2. Zhabin A. B., Lavit I. M., Chebotarev A. N., Polyakov A. V. Application of fracture mechanics methods for calculation of loads acting on cutters of mining machines for coal mining. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2017, no 3, pp. 28–34. [In Russ].
3. Titov S. V., Myshlyaev B. K. Operating characteristics of the downhole scraper conveyors in the mechanized systems. *Gornye mashiny i avtomatika*. 2003, no 7, pp. 2–5. [In Russ].
4. Hebel G., Hemmer W., Lemmes F. Der Einsatz von Schramwalzen bei fallendem vertrieb. *Gluckauf*. 1986, vol. 122, No 21, pp. 1391–1392.
5. Hurt K.G., Mcstravich F.G. High Performanco Shoaror Drum Dosing. *Colliery Guardian*, Dec. 1988. Vol. 236, No 12.
6. Rui Zhang, Zhengfu Ning, Feng Yang, Huawei Zhao, Qing Wang A laboratory study of the porosity-permeability relationships of shaleand sandstone under effective stress. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2016, Vol. 81, pp. 19–27.

7. Vladimir Andjelkovic, Nenad Pavlovic, Zarko Lazarevic, Velimir Nedovic Modelling of shear characteristics at the concrete–rock mass interface. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2015, Vol. 76, pp. 222–236.

8. Matthias Klawitter, Joan Esterle, Sarah Collins A study of hardness and fracture propagation in coal. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2015, Vol. 76, pp. 237–242.

9. Gao Wei Study on the width of the non-elastic zone in inclined coal pillar for strip mining. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2014, Vol. 72, pp. 304–310.

10. Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Calculation of the parameters of the executive bodies of treatment machines on the basis of an electronic databank on the characteristics of the fracture of coal seams. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2011, no 2, pp. 42–50. [In Russ].

11. Gendler S.G., Grishina A.M., Kochetkova E.A. Optimization of expenditures for labor protection at deep mining. *Eurasian Mining*. 2017. No 2. C. 35–39.

12. Sidorenko A.A., Sishchuk J.M., Gerasimova I.G. Underground mining of multiple coal seams: problems and solutions. *Eurasian Mining*. 2016. No 2. C. 11–15.

13. Pozin E.Z., Melamed V.Z., Azovtseva S.M. *Izmel'chenie ugley pri rezanii* [Crushing of coal during cutting], Moscow, Nauka, 1977, 138 p.

14. Pozin E.Z., Melamed V.Z., Azovtseva S.M. *Otsenka stepeni khrupkosti uglya po ego sposobnosti k izmel'cheniyu* [Assessment of the degree of fragility of coal by its ability to grind]. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva ugley i gornykh porod i metody ikh razrusheniya*: Collection of scientific articles, issue 155], IGD im. A.A. Skochinskogo, 1977, pp. 3–11. [In Russ].

15. Kuntyshev M.F., Baronskaya E.I. *Metody otsenki svoystv ugol'nykh plastov slozhnogo stroeniya* [Methods for assessing the properties of coal seams of complex structure], Moscow, Nauka, 1980, 142 p.

16. Gendler S.G., Kovshov S.V. Estimation and reduction of mining-induced damage of the environment and work area air in mining and processing of mineral stuff for the building industry. *Eurasian Mining*. 2016. No 1. pp. 45–49.

17. Buevich V.V., Gabov V.V., Zadkov D.A., Vasileva P.A. Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure. *Eurasian Mining*. 2015. No 2. pp. 11–14.

18. Zimin A.V., Bondarenko A.V., Trushin A.A. Automation and control equipment developed by rivs for mineral processing industry. *Eurasian Mining*. 2015. No 1. pp. 41–44.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Захаров Валерий Николаевич — чл.-корр. РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова РАН, Линник Владимир Юрьевич¹ — доктор экономических наук, доцент, профессор, Линник Юрий Николаевич¹ — доктор технических наук, профессор, Жабин Александр Борисович — доктор технических наук, профессор, действительный член Академии горных наук, Тульский государственный университет, ¹ Государственный университет управления.

Для контактов: Линник В.Ю., e-mail: d0c3n7@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.N. Zakharov, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, V.Yu. Linnik¹, Doctor of Economical Sciences, Assistant Professor, Professor, e-mail: d0c3n7@gmail.com,

Yu.N. Linnik¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

A.B. Zhabin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of the Academy of Mining Sciences, Tula State University, 300012, Tula, Russia,

¹ State University of Management, 109542, Moscow, Russia.

Corresponding author: V.Yu. Linnik, e-mail: d0c3n7@gmail.com.