

## Производство и применение в промышленных условиях невзрывных разрушающих смесей

Александр С. Флягин<sup>1</sup> flyagingdr@mail.ru  
 Валерий А. Ворсин<sup>1</sup> Место для ввода текста.  
 Владислав М. Уфимцев<sup>1</sup> Место для ввода текста.

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН, ул. Мамина-Сибиряка, 58, г. Екатеринбург, 620219, Россия

**Реферат.** В современных городских условиях плотной застройки, а также при производстве специальных работ в горной промышленности требуются новые качественные материалы для невзрывного разрушения зданий, сооружений и горных пород. Таким материалом являются невзрывные расширяющиеся смеси (НРС). НРС используются в тех случаях, когда разрушение горных пород взрывом недопустимо в силу опасных последствий, связанных с нарушением устойчивости породного массива и негативными сейсмическими проявлениями взрыва. Невзрывные расширяющиеся смеси получили распространение при ведении горных и строительных работ во многих странах: США, Японии, Канаде, Чехии и др. Их используют при добыче каменных блоков, разделке негабарита, разрушении бетонных конструкций и пр. Специалистами академического университета, научного института и представителя промышленности был разработан продукт не уступающий, а даже превосходящий отечественные и зарубежные аналоги. Максимальное развиваемое давление на стенки шпура достигает 187,5 МПа. На сегодняшний день на Российском рынке представлен дешёвый, но более низкий по качеству НРС произведённый в Китае. Отечественная разработка напрямую удовлетворяет всем условиям Постановления правительства РФ об импортозамещении. В статье описаны основные типы НРС, принципиальные отличия от аналогов в способе производства (обжига). Рассмотрен механизм воздействия на горный массив. Указаны основные преимущества данного материала. Область применения составов очень обширна это строительные работы в стеснённых условиях (т.е. вблизи зданий и сооружений, транспортных магистралей, промышленных коммуникаций, населённых пунктов, в действующих цехах, и т.д.), добыча штучного камня, дробление массива (подбурки, негабарит и др.), бережное извлечение кристаллосырья, работы по демонтажу строительных конструкций и др. Целесообразно применение данных составов в тех местах где невозможно применение ВВ.

**Ключевые слова:** невзрывные расширяющиеся смеси (НРС), агломерационный обжиг, горные породы, патронированный НРС, нерудные строительные материалы

## Production and application in industrial conditions of non-explosive destructive mixtures

Aleksandr S. Flyagin<sup>1</sup> flyagingdr@mail.ru  
 Valery A. Vorsin<sup>1</sup> Место для ввода текста.  
 Vladislav M. Ufimtsev<sup>1</sup> Место для ввода текста.

<sup>1</sup> Institute of mining, Ural branch of RAS, Mamina-Sibiryak str., 58, Ekaterinburg, 620219, Russia

**Summary.** In modern urban conditions of dense construction, as well as in the production of special works in the mining industry, new quality materials for non-explosive destruction of buildings, structures and rocks are required. Such material is non-explosive expanding mixtures (LDCs). LDCs are used in cases when the destruction of rocks by explosion unacceptable due to the dangerous consequences associated with the violation of stability of rock massif and negative seismic manifestations of the explosion. Non-explosive expanding mixtures are widespread in mining and construction works in many countries: the USA, Japan, Canada, the Czech Republic and others. They are used in the extraction of stone blocks, cutting of oversized, destruction of concrete structures, etc. Specialists of the academic University, research Institute and industry representative developed a product that is not inferior, and even superior to domestic and foreign analogues. The maximum developed pressure on the walls of the hole reaches 187.5 MPa. To date, the Russian market is represented by cheap, but lower in quality LDCs produced in China. Domestic development directly meets all the conditions of the Russian government Decree on import substitution. The article describes the main types of LDCs, the fundamental differences from analogues in the mode of production (firing). The mechanism of impact on the mountain range is considered. The main advantages of this material are indicated. The scope of the compositions is very extensive is the construction work in cramped conditions (ie. near buildings and structures, highways, industrial communications, settlements, in existing shops, etc.), mining of piece stone, crushing array (burrs, oversized, etc.), careful extraction of crystalline materials, work on dismantling of building structures, etc. it is Advisable to use these compounds in those places where it is not possible to use explosives.

**Keywords:** non-explosive expanding mixtures (LDCs), sintering, rocks, patronized LDCs, non-metallic building materials

В современных реалиях при производстве Нерудных Строительных Материалов (НСМ) существует проблема добычи, составляющая 44% затрат горного цеха (вскрыша, буровзрывные работы и экскавация), и по горнопроходческим работам, составляющая до 67% затрат (горно-капитальные, горно-подготовительные, геологоразведочные, эксплуатационно-разведочные) при добыче полудрагоценных, драгоценных руд [1].

Для цитирования

Флягин А.С., Ворсин В.А., Уфимцев В.М. Производство и применение в промышленных условиях невзрывных разрушающих смесей // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 290–296. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-290-296

Для снижения затрат при выемке из массива и сохранения целостности штучных блоков облицовочных горных пород на камнедобывающих предприятиях, вторичном дроблении негабарита и разрушении строительных объектов в стеснённых условиях с 1979 года начался выпуск невзрывных разрушающих смесей компаниями ОнодаСимеит Ко ЛТД («Бристар», Япония), СумитомоСимент Ко ЛТД («С-Майт», Япония), Ниппон Симент Ко («Хемибрейкер», Япония),

For citation

Flyagin A. S., Vorsin V. A., Ufimtsev V. M. Production and application in industrial conditions of non-explosive destructive mixtures. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 290–296. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-290-296

Нефина ЛТД («Тер-Мит», Финляндия-Нидерланды) и расширяющегося цемента «Минерал Кеми АГ» (Швейцария). Однако композиции представленных фирм имеют достаточно высокую стоимость [2, 3].

Основополагающей задачей для горнодобывающей и строительной отраслей является сокращение затрат на буровзрывные работы и повышение безопасности труда при использовании невзрывных расширяющихся смесей (НРС).

Известны два типа НРС, отличающихся по химической природе расширяющей основы смеси: сульфатные на основе сульфатоалюминатов кальция и известковые. Последние отличаются кратким сроком проявления расширения, весьма доступной и дешевой сырьевой базой в виде известняковых отсеков от производства строительной и металлургической извести и потому заслуживают предпочтения.

НРС выпускается в виде порошков серого цвета тонкого помола, образующий при гидратации твердые соединения гидроксида кальция, объем которого, как минимум, вдвое превышает объем исходной твердой фазы оксида кальция (рисунок 1).



Рисунок 1. Невзрывная расширяющаяся смесь

Figure 1. Non-explosive expanding mix

Оксид кальция, или известь, отличается уникальным по величине энергетическим

потенциалом гидратации – около 1170 кДж на кг. Кроме того, этот процесс сопровождается самодисперсацией кусков извести в порошок, что исключает возможность получения на основе обычной извести достаточно прочных продуктов реакции, способных совершать работу по разрушению, т. к. образующаяся дисперсия, известная у строителей как известь-пушонка, при достижении определённого давления в скважине «фонтанирует» наружу.

Принципиальное отличие гидратации НРС от гашения строительной извести в «пушонку» состоит в многократном замедлении гидратации СаО, что достигается повышенной температурой обжига и введением в обжигаемый известняк стабилизирующих присадок, например, щелочей. При этом оксид кальция образует кристаллы размером до 1000 мкм, неспособные к быстрой гидратации, что обеспечивает постепенное уплотнение ее продуктов внутри скважины и, конечном счете, реализацию разрушающего потенциала известкового НРС.

Выше упомянутые, зарубежные, в том числе и отечественные производители НРС для его получения используют вращающиеся печи, уровень температуры обжига в которых лимитируется возможностями огнеупорной футеровки барабана печи – не выше 1400 °С. В отличие от них на кафедре ТВМиСИИММТ для получения НРС использован агломерационный обжиг<sup>1</sup> с уровнем температур свыше 1600 °С, что гарантирует высокий уровень термической стабилизации извести (рисунок 2). С повышением температуры и увеличением длительного обжига объем пор в извести снижается, а плотность увеличивается, что связано с увеличением размеров кристаллов оксида кальция и их срастанием между собой в крупные агрегаты [4], что даёт высокое квазистатическое давление (рисунок 3).

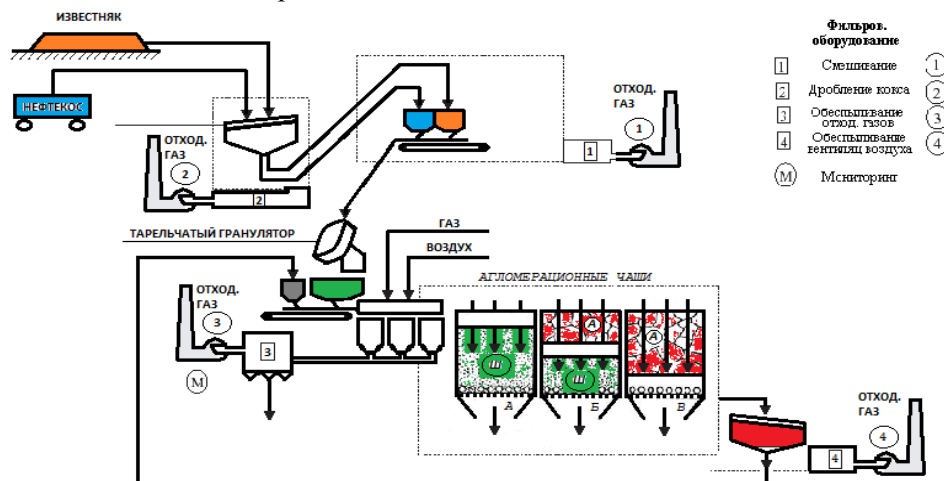


Рисунок 2. Технологическая схема получения агломерационного НРС на аглочашах

Figure 2. The flowchart of the sintering LDCs on alocasia

<sup>1</sup>Агломерационный обжиг (АО) – термический процесс, осуществляемый в плотном зернистом слое материала, содержащем твердое

топливо, посредством просасывания сквозь зернистый слой воздуха согласно гравитации. т.е. сверху вниз.



Рисунок 3. Агломерационный НРС после высокотермической обработки

Figure 3. Agglomeration LDCs after high-temperature processing

Также нами произведена классификация агломерационного НРС по квазистатическому давлению на стенки шпура по сортам: до 50 МПа – I сорт, до 100 МПа – II сорт, до 150 МПа – I сорт и выше 150 МПа – E сорт. Применение того или иного сорта зависит от шкалы коэффициента крепости горной породы (шкала Протодяконова): III сорт – для категории IV (довольно крепкие), II сорт – для категории III (крепкие), I сорт – для категории II (очень крепкие) и E сорт – для категории I (в высшей степени крепкие). Все наши выводы были подтверждены опытно-промышленными работами на действующих карьерах и шахтах.

Коллективом авторов разработан продукт – невзрывчатые расширяющиеся смеси «Kraken» (далее НРС «Kraken»), которые позволяют без особых усилий и дополнительных лицензий и допусков (без шума и вредных отходящих газов при выполнении работ), и соответственно, без дополнительных капитальных вложений провести ряд трудоёмких работ по разрушению необходимого объекта.

До проявления эффекта разрушения, как правило, достаточно не более 24 часов. Преимуществом НРС по сравнению с другими средствами является отсутствие разлёта осколков, вибраций и шума, а также, микротрещин при расчленении бетонных конструкций и откалывании каменных блоков горных пород. Гарантийный срок хранения не менее года при сохранении герметичности упаковки и хранении в сухом помещении, так как материал очень гигроскопичен.

НРС «Kraken» применяется в таких областях как:

- Горнодобывающая промышленность для разделки негабарита и отделения каменных блоков от массива породы для получения штучного камня (рисунок 4);



Рисунок 4. Блочный камень отделённый от массива с применением НРС

Figure 4. A block of stone separated from the array with the use of LDCs

- Горно-шахтная промышленность для бережного извлечения драгоценных и полудрагоценных минералов из породы без проведения взрывных работ (рисунок 5);



Рисунок 5. Бурение массива горных пород на добыче драгоценных минералов и изумрудная щетка

Figure 5. Drilling of rock mass on extraction of precious minerals and emerald brush

- В строительстве для разрушения каменных материалов, при демонтаже фундаментных плит и блоков, сооружений гражданского и промышленного назначения (рисунок 6);





Рисунок 6. Разрушенный фундамент

Figure 6. Destroyed basement

«Kraken» обеспечивает технически и экономически выгодные решения в:

- в стеснённых условиях, где находящиеся поблизости сооружения должны быть защищены от ударной волны, генерируемой взрывами и разлёта осколков;
- предварительном разрушении горных пород, создании изолированных блоков, которые затем легче разобрать и транспортировать;
- получении блоков из мрамора и гранита, чем традиционный метод резки канатными пилами;
- при дроблении горных пород или цементно-бетонных сооружений, где использование взрывчатых веществ не допустимо [7].

НПС «Kraken» обладает следующими свойствами в зависимости от разрушаемого объекта:

- щелочность 11,5–13 pH
- объемная насыпная плотность 1,3–1,6 т/м<sup>3</sup>
- водопотребность 26 ÷ 40%
- время видимого эффекта разрушения 2,0 ÷ 72 часа
- развиваемое давление расширения – 25 ÷ 260 МПа
- срок хранения – не более 2-х лет

Также, невзрывчатые расширяющиеся смеси «Kraken» тонкого помола предназначаются для получения безусадочных, расширяющихся, напрягающих цементов, расширяющегося тампонажного материала (РТМ). В виде добавки характеризуется линейным расширением цементного камня тампонажных растворов при цементировании нефтяных и газовых скважин

с температурой до 50 °С. Количество вводимой добавки зависит от линейного расширения цементного камня, минералогического состава цемента, качества используемой воды и т. д. и определяется для каждого конкретного случая лабораторным путём [8].

Сначала проводится подготовка объекта разрушения, и, исходя из ряда характеристик объекта, осуществляется разметка схемы бурения шпуров, далее, на заданную глубину, но не менее 70% высоты или толщины разрушаемого объекта, бурятся шпуры по рассчитанной разметке ручным перфоратором, либо, при больших объёмах, машиной строчного бурения (рисунок 7).



Рисунок 7. Бурение шпуров в негабаритном куске горной породы

Figure 7. Drilling holes in an oversized piece of rock

Рекомендуемый диаметр шпуров 32–50 мм. При большем диаметре идёт перерасход НПС «Kraken». Шпуры перед заливкой смеси должны быть чистыми.

Существует два способа применения:

1. Рабочую смесь образуют в любой удобной ёмкости путём смешивания «Kraken» с водой в определённой пропорции, которой заполняют полость – шпура, в каком-либо объекте (рисунок 8).



Рисунок 8. Готовая суспензия для зарядания шпуров  
Figure 8. Suspension prepared for the loading of bore-holes

2. Патронированный НРС «Kraken», который представляет собой жесткие патроны цилиндрической формы по диаметру шпура. Патрон имеет способность впитывать воду, что обеспечивает гидратацию материала и дальнейшую его работу по разрушению объекта. Патроны НРС позволяют выполнить раскол монолитных объектов в любой плоскости за счет возможности их размещения в вертикальных, горизонтальных, наклонных и даже восстающих шпурах. Они высокотехнологичны в применении. Не требуется производить трудоемкие операции взвешивания и размешивания для приготовления рабочей смеси НРС, исключаются любые ее потери и перерасход, что обеспечивает экономическую эффективность использования патронов. Отсутствие пыления порошкообразного НРС и попадания рабочей смеси в окружающую среду определяют экологическую чистоту и безопасность применения, патронированного НРС [5].

В данном случае патроны погружаются в воду в течение минуты, а после загоняются в шпур с помощью досылателя (рисунок 9).

В результате гидратации порошка, смесь начинает твердеть, набирать прочность, увеличиваясь при этом в объеме. Данная реакция сопровождается развитием давления на стенки шпура до 187,5 МПа что подтверждено актом промышленных испытаний, при этом, в объекте развиваются напряжения, превышающие предельную прочность объекта на растяжение, что приводит к разрушению в виде образования сначала

микротрещин и дальнейшего их развития вплоть до раскалывания объекта на отдельные части в течение 24–72 часов (рисунок 10), в зависимости от температуры окружающей среды и структуры материала объекта [6].



Рисунок 9. Патронированный НРС  
Figure 9. Patronized LDCs

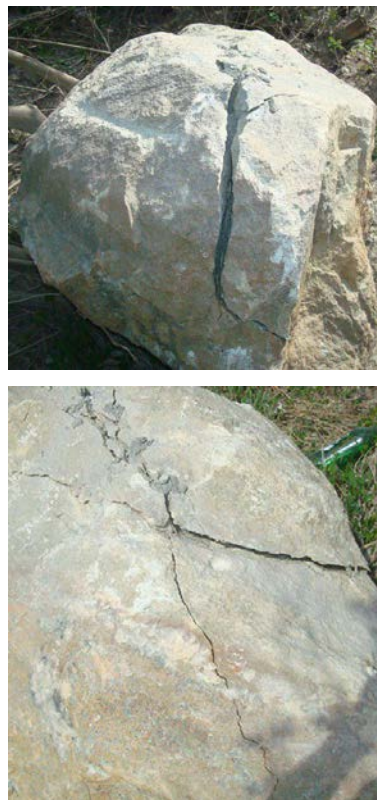


Рисунок 10. Разрушенный негабаритный кусок горной породы

Figure 10. Destroyed oversized piece of rock



Что касается сравнения с аналогами, то на российском рынке существует несколько подобных продуктов, таких как «Максидинамит цемент», «Тихий взрыв», «НРС-1», так же на международном рынке «Bristar», «Ecobust» и несколько других производителей таблица 1, то продукция «Kraken» при конкурентной цене обеспечивает лучшие технические характеристики на разрыв,

имея большее давление на стенки шпура, наш НРС не имеет способности вылетать из шпура при повышенных температурах, и что очень важно удобство использования – НРС в патронах позволяет удобнее и быстрее работать с материалом, что несёт прямые экономические выгоды (таблица 1).

Сравнение с зарубежными аналогами

Таблица 1.

Table 1.

Comparison with foreign analogues

Производитель Manufacturer	Kraken	Bristar	Ecobust	Betonamit
Расширяющее усилие, МПа Expansion force, MPa	187,5	140	138	150
Время для развития максимального усилия, ч Time for the development of maximum effort, h	48	48	48	96
Страна-производитель Manufacturer country	Россия Russia	Италия Italy	Канада Canada	Германия Germany

Область применения составов очень обширна это строительные работы в стеснённых условиях (т. е. вблизи зданий и сооружений, транспортных магистралей, промышленных коммуникаций, населённых пунктов, в действующих цехах, и т. д.), добыча штучного камня, дробление массива (подбурки, негабарит и др.), бережное извлечение кристаллосырья, работы по демонтажу строительных конструкций и др.

Целесообразно применение данных составов в тех местах где не возможно применение ВВ. Данные составы абсолютно безопасны для окружающей среды, так как процесс разрушения не вызывает ударной воздушной волны, не производит сейсмического эффекта, а также не выделяет вредных газообразных продуктов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Данные Федеральной Антимонопольной Службы. URL: <http://fas.gov.ru/>

2 Сахно И.Г. Лабораторные исследования особенностей работы невзрывчатых разрушающих веществ при фиксированном сопротивлении их объемному расширению // Проблемы гірського тиску. 2010. № 18. С. 135–149.

3 Грановский Ю.Л. Невзрывные разрушающие композиции на основе негашеной извести // Бетон и железобетон. 1988. № 8. С. 14–15.

4 Капустин Ф.Л., Семериков И.С. Химия минеральных вяжущих материалов. Екатеринбург: Ред.-изд. отдел ИПЦ УрФУ, 2013. 123 с.

5 Левинтант Р.Г., Агеев С.Г., Заметта Б.В. Патронированное невзрывчатое разрушающее средство // Строительные материалы. 1991. № 9. С. 16–17.

6 Патент РФ 2251619 Способ получения невзрывного разрушающего средства // Белоногов С.С., Боровков В.Ф., Уфимцев В.М., Берсенов Г.П. заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный технический университет-УПИ". 2003.

7 Найданов К.Ц. Разработка шадящих технологий добычи ювелирного и поделочного самоцветного сырья (на примере Восточной Сибири). Автореф. дис. канд. техн. наук. Чита: Читинский гос. ун-т, 2007. 21 с.

8 Патент РФ 2567254 Способ получения невзрывного разрушающегося средства агломерационным обжигом // Уфимцев В.М., Ворсин В.А. заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный технический университет-УПИ" 2015.

#### REFERENCES

1 Dannye FAS [Data of the Federal Antimonopoly Service] Available at: <http://fas.gov.ru/> (in Russian)

2 Sakhno I.G. Laboratory investigations of the features of the work of non-explosive destructive substances with a fixed resistance to their volumetric expansion. *Problemi gir'skogo tisku* [Mountain pressure problems] 2010. no. 18. pp. 135-149. (in Russian)

3 Granovsky Yu.L. Non-explosive destructive compositions based on quicklime. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete] 1988. no. 8. pp. 14-15. (in Russian)

4 Kapustin F.L., Semerikov I.S. Khimiya mineral'nykh vyazhushchikh [Chemistry of mineral knitting materials] Ekaterinburg, CPI UrFU, 2013. 123 p. (in Russian)

5 Levintant R.G., Ageev S.G., Zametta B.V. Patronized non-explosive destructive means. *Stroitel'ny materialy* [Building materials] 1991. no. 9. pp. 16-17. (in Russian)

6 Belonogov S.S., Borovkov V.F., Ufimtsev V.M., Bersenev G.P. Sposob poluchniya nevzryvnogo razrushayushchego [Method of obtaining a non-explosive destroying agent] Patent RF, no. 2251619, 2003. (in Russian)

7 Naidanov K.Ts. Razrabotka shchadyashchikh tekhnologii dobych yuveirnogo samotsvetnogo kamnya [Development of sparing technologies for the extraction of jewelry and ornamental semi-precious raw materials (for example, Eastern Siberia)] Chita, Chita State university, 2007. 21 p. (in Russian)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Александр С. Флягин** м.н.с., лаборатория разрушения горных пород, Институт горного дела УрО РАН, ул. Мамина-Сибиряка, 58, г. Екатеринбург, 620219, Россия, flyagingdr@mail.ru

**Валерий А. Ворсин** м.н.с., лаборатория разрушения горных пород, Институт горного дела УрО РАН, ул. Мамина-Сибиряка, 58, г. Екатеринбург, 620219, Россия

**Владислав М. Уфимцев** м.н.с., лаборатория разрушения горных пород, Институт горного дела УрО РАН, ул. Мамина-Сибиряка, 58, г. Екатеринбург, 620219, Россия

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Александр С. Флягин** написал рукопись, редактировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Валерий А. Ворсин** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Владислав М. Уфимцев** консультация в ходе исследования

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 13.03.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.04.2018

8 Ufimtsev V.M., Vorsin V.A. Sposob polucheniya nevzryvnogo razrushchayushchego sredstva [Method of obtaining a non-explosive breaking agent by agglomeration firing] Patent RF, no. 2567254, 2015. (in Russian)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Aleksandr S. Flyagin** junior researcher, laboratory of destruction of rocks, Institute of mining, Ural branch of RAS, Mamina-Sibiryak str., 58, Ekaterinburg, 620219, Russia, flyagingdr@mail.ru

**Valery A. Vorsin** junior researcher, laboratory of destruction of rocks, Institute of mining, Ural branch of RAS, Mamina-Sibiryak str., 58, Ekaterinburg, 620219, Russia

**Vladislav M. Ufimtsev** junior researcher, laboratory of destruction of rocks, Institute of mining, Ural branch of RAS, Mamina-Sibiryak str., 58, Ekaterinburg, 620219, Russia

#### CONTRIBUTION

**Aleksandr S. Flyagin** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Valery A. Vorsin** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Vladislav M. Ufimtsev** consultation during the study

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.13.2018

ACCEPTED 4.19.2018