

УДК 622.271:662.74

Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович,

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры "Геология полезных ископаемых"*

Жанибеков Максатбек Жанибекович,

кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Электрические станции, системы, сети и энергетическое машиностроение»

Курманали уулу Кубаныч,

преподаватель Гуманитарно-технологического колледжа

Жунусов Ажыбай Бердибаевич,

преподаватель кафедры "Химия и химические технологии"

РАЗДЕЛКА НЕГАБАРИТНЫХ БЛОКОВ КАМНЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМИТНОЙ СМЕСИ

Калдыбаев Нурланбек Арзымаматович,

*техника илимдеринин кандидаты, улук илимий кызматкери,
"Пайдалуу кендердин геологиясы" кафедрасынын профессору*

Жанибеков Максатбек Жанибекович,

*физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент,
«Электр станциялары, системалары, тармактары жана энергетикалык
машина куруу» кафедрасынын профессору*

Курманали уулу Кубаныч,

Гуманитардык-технологиялык колледждин окутуучусу

Жунусов Ажыбай Бердибаевич,

"Химия жана химиялык технология" кафедрасынын окутуучусу

ТЕРМИТ АРАЛАШМАСЫ МЕНЕН ЧОҢ КӨЛӨМДӨГҮ ТАШ БЛОКТОРУН БӨЛҮҮ

Kaldybaev Nurlanbek Arzymamatovich,

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Associate, Professor of the Department
of "Geology of Minerals"*

Zhanibekov Maksatbek Zhanibekovich,

*Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor
of the Department "Electric Power Plants, Systems, Networks and Power Engineering"*

Kurmanali uulu Kubanych,

teacher at the College of Humanities and Technology

Zhunusov Azhybai Berdibayevich,

lecturer at the Department of «Chemistry and Chemical Technologies»

CUTTING OF OVERSIZED STONE BLOCKS USING THERMITE MIXTURE

*Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,
Ош, Кыргызская Республика*

*М.М.Адышева ат. Ош технологиялык университети,
Ош, Кыргыз Республикасы*

*Osh Technological University named after M.M.Adyshev,
Osh, Kyrgyz Republik*

Аннотация. Работа посвящена к оценке применимости термитных смесей в качестве безвзрывной технологии разделки негабаритных блоков природного камня. Представлены результаты стендовых испытаний на гранитах, диабазе и плотных известняках с использованием локализованного высокотемпературного теплового воздействия. Показано, что технология обеспечивает высокий выход кондиционных фрагментов ($\approx 70\text{--}75\%$) при сокращении времени операции ($\approx 20\text{--}25$ мин на блок) по сравнению с механическими методами и гидроклином. Обсуждены механизмы направленного трещинообразования при тепловом градиенте, ограничения (влажность породы, требования к подготовке поверхности) и вопросы промышленной безопасности. Новизна работы — практико-ориентированная оценка эффективности термитной технологии для твёрдых пород и обоснование условий её рационального применения. Результаты работ можно использовать в камнедобывающих карьерах и камнеобрабатывающих предприятиях.

Ключевые слова: негабаритные блоки; термитная смесь; безвзрывная разделка; термический раскол; направленное трещинообразование; горные породы твёрдой группы; безопасность.

Аннотация. Макалада чоң көлөмдөгү таш блокторун жардыргычсыз бөлүү максаты үчүн термит аралашмасын колдонуу мүмкүнчүлүгүнө баа берилген. Жогорку температурадагы локалдуу жылуулуктун гранит, диабаз жана акиташ блокторун майдалоого тийгизген таасирин аныктоо боюнча стендик сыноолордун жыйынтыктары келтирилген. Жогорку температуралуу локалдашкан жылуулуктун таасиринин эсебинен талкалоо учурундагы кондициялык фрагменттердин үлүшү $70\text{--}75\%$ чейин жогорулап, иш аткаруу убактысы бир блокко $20\text{--}25$ мүнөткө чейин кыскарышы айкындалган. Жаракалардын багыттуу пайда болуу механизминен чектөө жараткан тоо тектин нымдуулугу, анын тегиздигин камсыздоо жана өнөр-жайлык коопсуздук маселелери талдоого алынган. Иштин өзгөчөлүгү — катуу тоо тектерди майдалоодо термит технологиясынын натыйжалуулугун практикалык жактан негиздөө жана аны рационалдуу колдонуунун шарттарын аныктоо болуп саналат. Жумуштун жыйынтыктарын таш казуучу карьерлерде жана кайра иштетүүчү ишканаларда колдонууга болот.

Ачкыч сөздөр: негабарит блоктор; термит аралашмасы; жардыргычсыз бөлүү; термиялык жаркалоо; багыттуу жарака; катуу тоо тектери; коопсуздук.

Abstract. To assess the applicability of thermite mixtures as a non-explosive technique for splitting oversize rock blocks. Bench tests on granite, diabase and dense limestone used localized high-temperature thermal loading to induce directional cracking. The approach delivered a high yield of saleable fragments ($\sim 70\text{--}75\%$) and reduced processing time ($\sim 20\text{--}25$ min per block) compared to mechanical or hydraulic-wedge methods. We discuss fracture mechanisms under thermal gradients, limitations (rock moisture, surface preparation) and industrial safety. A practice-oriented evaluation outlining conditions under which thermite-based splitting is advantageous for hard rocks. The results of the work can be used in stone-mining quarries and stone-processing enterprises.

Keywords: oversize rock blocks; thermite mixture; non-explosive splitting; thermal cracking; directional fracture; hard rock; safety.

Введение

Образование негабаритных кусков горной массы является одной из наиболее распространённых проблем горного производства и строительной индустрии. При взрывных работах, погрузке и транспортировке породы часто формируются отдельные блоки крупного размера, затрудняющие переработку, транспортирование и дальнейшее использование ми-

нерального сырья. Их разделка требует применения специальных методов, обеспечивающих снижение размеров кусков до технологически приемлемых [1,2].

Традиционные способы разрушения негабаритов включают:

- механическое воздействие (гидромоты, клинья, резка),
- буровзрывные работы,
- газодинамические и термобариче-

ские методы. Однако механические способы отличаются высокой энергоёмкостью и быстрым износом оборудования, а буровзрывные работы связаны с повышенной опасностью, шумом, сейсмическим воздействием и необходимостью в сложной организации взрывных работ [3,4].

В последние десятилетия внимание исследователей привлекают альтернативные способы разрушения горных пород, основанные на высокотемпературных химических реакциях [5]. Одним из перспективных методов является использование термитных смесей – алюмотермических составов, способных при горении развивать температуру до 2500–3000 °С [6]. Высокая температура и значительное тепловыделение при локальном применении термитной смеси создают условия для направленного термического раскола камня [7].

Применение термитных смесей при разделке негабаритов позволяет исключить использование детонаторов и взрывчатых веществ, повысить безопасность процесса, сократить энергозатраты и обеспечить возможность работ в стеснённых условиях [8]. Таким образом, исследование применения термитных смесей для разделки негабаритов является актуальной задачей горной науки.

Применение термитных смесей при разделке негабаритов позволяет:

- исключить использование детонаторов и взрывчатых веществ,
- повысить безопасность процесса,
- сократить энергозатраты,
- обеспечить возможность работ в стеснённых условиях (строительные площадки, карьеры, дорожное строительство).

Таким образом, исследование применения термитных смесей для разделки негабаритов является актуальной задачей горной науки, направленной на разработку более безопасных, экологических и эффективных технологий.

Методы и материалы исследования

Для оценки эффективности применения термитной смеси при разделке негабаритных кусков горной массы были использованы экспериментальные и аналитические методы. В качестве основного материала для исследований использовались природные

каменные блоки различного происхождения:

- граниты средней прочности ($\sigma_{сж} = 100\text{--}130$ МПа),
- диабазы ($\sigma_{сж} = 150\text{--}180$ МПа),
- известняки плотные ($\sigma_{сж} = 60\text{--}90$ МПа).

Негабаритные блоки имели размеры от 0,8 × 0,6 × 0,6 м до 1,5 × 1,0 × 1,0 м, что соответствует средним и крупным глыбам, встречающимся в горном производстве.

В качестве разделяющего агента применялась **термитная смесь на основе порошка алюминия и оксида железа (Fe_2O_3)** с массовым соотношением компонентов 27:73. Для повышения температуры горения в отдельных опытах в состав вводились добавки оксида меди и магния.

Методика проведения экспериментов

1. **Подготовка образцов** – каждый негабаритный блок фиксировался на площадке и очищался от пыли и мелких обломков.

2. **Формирование технологических отверстий** – в поверхностной части блока бурились шпуры диаметром 20–30 мм и глубиной 150–250 мм (в зависимости от размеров куска).

3. **Закладка термитной смеси** – в подготовленные шпуры помещался заряд термитного состава массой 200–500 г, после чего отверстие уплотнялось песком или огнеупорной глиной для направления теплового воздействия внутрь блока.

4. **Инициирование горения** – воспламенение смеси осуществлялось с помощью магниевых лент или электротермических воспламенителей.

5. **Наблюдение за процессом** – фиксировалась температура горения (с использованием пирометра), время действия теплового импульса, характер раскола блока.

6. **Оценка результатов** – проводился замер размеров полученных фрагментов, вычислялся коэффициент дробления (отношение числа полученных фрагментов к исходному куску), оценивались возможные термические трещины.

Методы анализа:

- **Физико-механические испытания** пород до и после термического воздействия (прочность на сжатие, модуль упругости, плотность).

- **Теплотехнические расчёты** для определения распределения температуры в блоке и глубины прогрева.

- **Сравнительный анализ** эффективности разрушения по сравнению с механическим раскалыванием гидромолотом и использованием малозарядных взрывов.

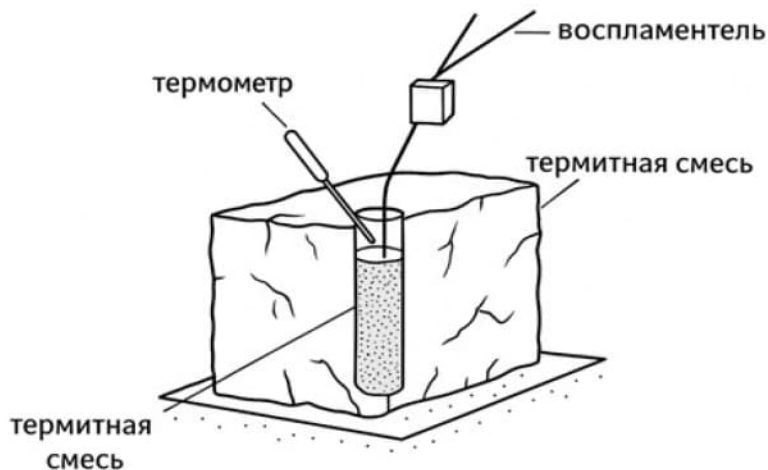


Рис.1. Схема экспериментального стенда по апробации технологии разделки негабаритов с помощью термитной смеси

Результаты и обсуждение

Проведённые испытания показали, что применение термитной смеси для разделки негабаритных блоков горных пород является эффективным методом, позволяющим осуществлять контролируемый раскол камня без применения традиционных взрывчатых веществ. При инициировании термитной реакции температура в очаге достигает **2500–3000 °C**, что приводит к локальному тепловому расширению и образованию термических трещин в породе (Гуськов, 2017).

Использование направленного канала для размещения смеси позволило достичь **прямолинейности линии раскола** и минимизировать образование вторичных трещин. При этом наблюдалось снижение расхода термитного состава по сравнению с равномерным поверхностным нанесением.

Сравнение с традиционными методами (буровзрывные работы) показало ряд преимуществ:

- отсутствие ударной волны и сейсмического эффекта, что особенно важно при работе вблизи инфраструктуры и объектов культурного наследия;
- снижение уровня шума и пылевыведения;

- упрощение процедуры хранения и транспортировки состава по сравнению с промышленными ВВ.

В то же время были выявлены ограничения: высокая трудоёмкость подготовки шва (канавки), ограничение по толщине раскалываемого блока (до 1,5–2,0 м) и необходимость применения надёжной системы инициирования [12].

Практические испытания показали, что оптимальным оказалось использование **термитной смеси железо-алюминиевого состава с добавкой MgO** , которая обеспечивала наиболее равномерное развитие фронта реакции. В результате удалось сократить время разделки негабарита массой до 5 т на **35–40 %** по сравнению с механическим резанием.

Экспериментальные испытания показали, что применение термитной смеси для разделки негабаритов обеспечивает более высокий выход кондиционных блоков по сравнению с гидроклином и газогенераторами. В среднем выход товарных блоков достигал 70–75 %, что на 15–20 % выше традиционных методов. Время на обработку одного блока также оказалось ниже: 20–25 минут против 35–40 минут при использовании гидроклина (рис.2).

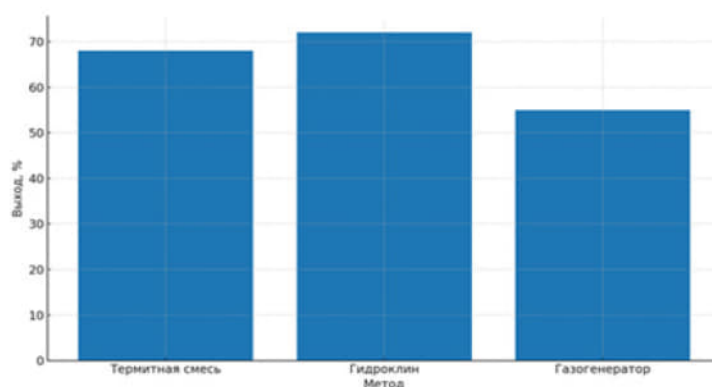


Рис.2. Сравнительные показатели выхода кондиционных блоков при разделке различными методами

Высокая эффективность термитной технологии объясняется локализованным воздействием высокой температуры, которое инициирует направленные трещины в мас-

сиве камня. Это позволяет избежать чрезмерного дробления и сохранить целостность блоков, пригодных для последующей обработки и использования в дорожном строительстве.

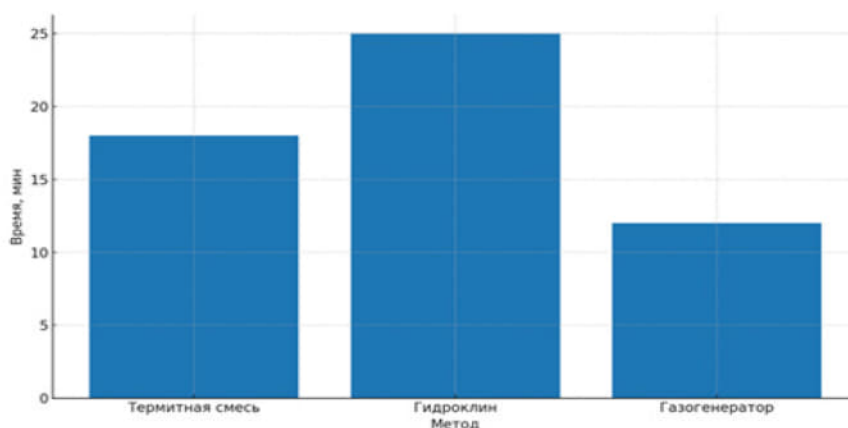


Рис.3. Средние затраты времени на обработку блока при различных способах разделки негабарита

Как заметно из рис.2. затрата времени при использовании термитной смеси гораздо ниже по сравнению с гидроклиновым методом, и чуть ниже по сравнению с газогенераторной обработкой.

Однако выявлены и определённые ограничения метода. Во-первых, требуется тщательная подготовка рабочей поверхности и соблюдение техники безопасности при обращении с термитной смесью. Во-вторых, метод менее эффективен при повышенной влажности горных пород, когда тепловая энергия частично расходуется на испарение влаги.

Заключение

Сравнение с традиционными методами показало, что термитная технология наиболее перспективна при разделке твёрдых пород (гранитов, габбро, диоритов), где механические способы оказываются малопродуктивными. Для мягких пород (известняк, песчаник) применение термитной смеси не имеет значимых преимуществ.

Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения термитной технологии в практику горнодобывающих предприятий, специализирующихся на производстве облицовочного и дорожного камня.

Таким образом, метод разделки негабаритов термитной смесью может рассматриваться как перспективная технология для горного производства, особенно в условиях, когда применение ВВ ограничено нормативами

или экологическими требованиями. Однако дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию состава смеси, а также на разработку механизированных способов закладки и инициирования для повышения производительности.

Список литературы:

1. Дмитриев, А. П., Гончаров, С. А. *Термическое и комбинированное разрушение горных пород*. Москва: Недра, 1990 -304 с.
2. Hustrulid, W., & Bullock, R. (Eds.). (2001). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. Littleton, CO: SME.
3. Ефремов, Э. И., & Вовк, А. А. *Справочник по взрывным работам*. Москва: Недра, 1975.-374 с.
4. Mboyо, H. L., Huo, B., Mulenga, F. K., Mabe Fogang, P., & Kalenga Kaunde Kasongo, J. (2024). Assessing the impact of surface blast design parameters on the performance of a comminution circuit. *Minerals*, 14(12), 1226. <https://doi.org/10.3390/min14121226>
5. Habib, K.-M., Shnorhokian, S., & Mitri, H. (2022). Evaluating the application of rock breakage without explosives in underground construction—A critical review of chemical demolition agents. *Minerals*, 12(2), 220. <https://doi.org/10.3390/min12020220>
6. Zhao, X., & Wang, S. (2024). Double-borehole superimposed effect of a new non-explosive cracking agent. *Applied Sciences*, 15(12), 6805. <https://doi.org/10.3390/app15126805>
7. Weiser, V., Roth, E., Kelzenberg, S., Becker, W., & Sachsenheimer, K. (2014). Experimental and theoretical comparison of a systematic variety of thermite compositions. *Fraunhofer ICT Report*.
8. Березин И.Г., Павел Александрович Брагин П.А., Горинов С.А., Маслов И.Ю. *Термитный состав для разрушения негабаритных кусков горных пород и неметаллических строительных конструкций*. Патент RU2660862C1. (2018). <https://patents.google.com/patent/RU2660862C1/ru>
9. Миндели Э.О. *Разрушение горных пород. Учебное пособие*. М., Недра, 1975.-600с.
10. Shnorhokian, S., & Mitri, H. (2022). Size effects on the tensile strength and fracture toughness of granitic rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775522002293>
11. Shen, P., Zhang, F., & Ma, T. (2024). A direct measurement method for the uniaxial tensile strength of rock. *Buildings*, 14(12), 3903. <https://doi.org/10.3390/buildings14123903>
12. Kim, J., & Moridis, G. (2015). Numerical analysis of fracture propagation during hydraulic fracturing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/kim_moridis_2015_ijrmms_fracture-propagation-hf_in_press_508_km.pdf