

УДК 622.235

# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРАНУЛИТОВ В БЛИЗИ МЕСТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ РЕЦИКЛИНГА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА И АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ

**А. Е. ФРАНТОВ**, ведущий научный сотрудник, д-р техн. наук,  
aef1948@gmail.com

**И. Н. ЛАПИКОВ**, старший научный сотрудник, канд. техн. наук

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова РАН, Москва, Россия

## Введение

При выборе предпочтительных технических и технологических решений по ведению взрывных работ в условиях севера и Арктической зоны РФ (АЗРФ) [1], в частности использованию материалов рециклинга в рецептуре гранулитов, следует учитывать факторы, влияющие на экологические последствия применения взрывчатых веществ на горных работах, безопасные в экстремальных климатических условиях методы взрывания, сочетаемость в суровых климатических условиях инновационных и существующих средств механизации взрывных работ. При принятии оптимизационных технико-технологических решений по использованию средств механизации по изготовлению гранулитов в суровых климатических условиях учет перечисленных факторов затруднен ввиду неполноты доступной информации или ее ограниченности при коммерческой эксплуатации техники. Решением, позволяющим преодолеть отмеченные недостатки, является метод экспертной оценки, широко используемый в бизнесе, науке [2, 3].

В условиях сурового климата, неразвитости инфраструктуры, сложной логистики гранулиты с материалами рециклинга в рецептуре являются эффективным инструментом разрушения горных пород. Они обладают повышенными взрывчатыми характеристиками, достаточно высокой физической стабильностью, большой эффективностью применения, сниженной экологической нагрузкой на окружающую среду. Основной эксплуатационный недостаток гранулитов – пониженная водостойчивость купируется добавками (водоблокирующими) или заряжанием изолирующие оболочки (рукава).

Альтернативой гранулированным составам выступают эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ), лишенные недостатков гранулитов, обусловленных недостаточной водостойчивостью. При этом следует отметить, что выгода от использования льющихся консистенций, обладающих сложной рецептурой и технологией изготовления и, в связи с этим,

предложен методический подход по интегральной оценке смесительно-зарядных машин (СЗМ) для изготовления гранулитов вблизи мест их применения в суровых климатических условиях севера и Арктической зоны Российской Федерации с использованием материалов рециклинга в рецептуре. Проанализированы отечественный и зарубежный парк СЗМ, их конструктивные особенности, а также физико-технические свойства применяемых материалов рециклинга. Представлены матрица экспертных оценок для сравнения различных моделей СЗМ по принятым для условий севера и Арктической зоны РФ критериям и методика расчета интегральной оценки с учетом значимости каждого критерия.

**Ключевые слова:** гранулиты, смесительно-зарядные машины, Арктическая зона РФ, северные территории, взрывные работы, интегральная оценка, экспертный метод, арктический пакет, материалы рециклинга

**DOI:** 10.17580/gzh.2025.12.08

стоящих существенно дороже, проявляется при значительных объемах применения ЭВВ, что характерно для крупных горнодобывающих предприятий. Отмечая хорошие эксплуатационные качества ЭВВ, следует сказать, что при разработке месторождений в природных, климатических, инфраструктурных условиях севера и АЗРФ (значительная территориальная удаленность и изолированность предприятий, низкая энергообеспеченность, высокий уровень затрат на строительство, отсутствие дорожной сети и др.) для средних и малых по объемам добычи рудников и карьеров указанное преимущество ЭВВ нивелируется и отдается предпочтение гранулированным составам.

Потенциал средств механизации изготовления и заряжания гранулитов охватывает широкий спектр устройств: смесительно-зарядные машины (СЗМ) для изготовления гранулитов; СЗМ для перевозки и заряжания заводских взрывчатых веществ (ВВ) или изготовления гранулитов из невзрывчатых компонентов; универсальные СЗМ для изготовления гранулитов, эмульсионных ВВ и их смесей; передвижные установки для изготовления гранулитов на земной поверхности; стационарные пункты изготовления гранулитов. Северные и арктические климатические условия предъявляют дополнительные требования в части обеспечения надежности и эффективности эксплуатации оборудования, а применение в рецептуре гранулитов материалов рециклинга, в свою очередь, усиливает специализацию навесного оборудования СЗМ. Таким образом,

интегральная оценка техники для изготовления гранулитов вблизи мест их применения направлена на уточнение среди использования техники в суровых климатических условиях, решение вопросов повышения функционала навесного оборудования СЗМ при применении материалов рециклинга в рецептуре гранулитов.

### Методология исследований

Методология построена на выборе дополнительного оснащения навесного оборудования при изготовлении гранулита с учетом физических и химических свойств материалов рециклинга, изготовлении смесительно-зарядной техники для гранулитов, с выделением основных конструктивных элементов машин (транспортной базы, навесного оборудования), учете влияния природных и климатических факторов на технологические параметры смесительно-зарядных машин при изготовлении гранулитов, формировании методического подхода по интегральной оценке смесительно-зарядного оборудования для рассматриваемых видов гранулитов для условий севера. Необходимо отметить, что в работе внимание акцентируется именно на влиянии природно-климатических условий. Типовые и рекомендуемые параметры машин (производительность заряжания, диаметр заряжаемых скважин и др.), характеризующие горнотехнические условия разработки, в контексте данного рассмотрения вопроса не отнесены к значимым факторам. Выбор критерии и характеризующих их признаков обусловлен влиянием на безопасность, надежность и эффективность применения гранулитов вблизи мест их применения с использованием материалов рециклинга в суровых климатических условиях [1, 4].

### Результаты исследований. Производство смесительно-зарядных машин. Особенности оборудования для изготовления гранулитов

На основании анализа источников в открытым доступе, данных информационных сайтов онлайн-ресурсов можно сделать вывод, что в сфере производства СЗМ, предназначенных для изготовления гранулитов, производителей можно условно разделить на две группы – серийные и мелкосерийные (единичные). К первой группе отнесены компании АО «НИПИгормаш», АО «Нитро Сибирь», ООО «Азоттех», АО «Гормаш», АО «КНИИМ». Единичный выпуск или мелкосерийное производство осуществляют АО «СибВзрывКомплект», ООО «ACP-Взрыв», ООО «СпецТрансМаш» и др.

Компания АО «НИПИгормаш» представлена машинами для гранулитов [5], к особенностям которых можно отнести различия в грузоподъемности по исходным компонентам ВВ (8–15 т), использование конструктивно отличающихся устройств подачи готового ВВ в скважину (выдвижной питатель, нижний боковой поворотный шnek, зарядный шnek с поворотным устройством), применение подъемно-разгрузочных средств механизации

(краново-манипуляционная установка – КМУ). Транспортная база используемых машин расширяет возможности всей линейки СЗМ. Имеются машины (например, СЗМ М3-3Б-12 С), позволяющие приготовлять гранулиты с угольным порошком. АО «НИПИгормаш» выпускает линейку различных СЗМ для гранулитов: М3-3Б-8; МС3-12-ВП-К; М3-3Б-12АП; МС3-12-НП-К; М3-3Б-12-КМ; М3-3Б-12 С; М3-3Б-12; МС3-15-НП-К; М3-3Б-15; М3-3Б-15-КМ; М3-3Б-15Э; М3Г-10; М3У-16; МС3У-14-НПБ; МС3У-14-НПБ-К.

Линейка компании «Нитро Сибирь» [6] представлена машинами для приготовления гранулитов с грузоподъемностью по исходным компонентам 16–17 т, а также универсальными машинами с отдельной загрузкой исходных компонентов для гранулита вместимостью 14,5 т. Транспортная база построена на использовании шасси грузовых автомобилей разной грузоподъемности. Модельный ряд СЗМ для гранулитов включает МС3-16Гр, МС3-17Гр, МС3-20УТ, МС3-20У.

Линейка продукции ООО «Азоттех» имеет два направления: база и техно [7]. Первое направление поддерживает грузоподъемность машин по исходным компонентам для гранулита 10–12 т, второе обладает более широким диапазоном грузоподъемности машин по исходным компонентам: 10–12; 14–16 и 18–20 т. Многокомпонентные гранулиты приготавливают с использованием гравитационного смесителя. Транспортная база построена на шасси автомобилей КАМАЗ, Scania, IVECO и др. Линейка СЗМ для гранулитов ООО «Азоттех» представлена моделями TDR.ANFO-10, TDR.ANFO-15-KMV, TDR-12/10.

В АО «Гормаш» [8] линейка СЗМ представлена машинами на шасси стандартных грузовых автомобилей с грузоподъемностью по ВВ 8–15 т и на шасси карьерного самосвала с грузоподъемностью по ВВ 25–27 т. В линейке применены дополнительные опции – установка еще одного бункера для энергодобавок. Модельный ряд СЗМ для гранулитов включает модели МС3-25, МС3-В, МС3-ВУ, ТСЗМ-11 Э.

В компании «КНИИМ» смесительно-зарядная машина для приготовления гранулита представлена маркой СЗМ-18 «Игданит» грузоподъемностью по исходным компонентам до 15 т. В машине использовано шасси КАМАЗ 65201 с колесной базой 6×6. Для заряжания скважин в машине применен нижний боковой поворотный шnek. Для загрузки компонентов использована КМУ.

В сфере производства СЗМ в России оперируют компании, выпускающие продукцию в небольших количествах. Машина UN-VR-14 компании ИНТЕО соответствует параметрам универсального класса СЗМ. Рассматриваемая техника рассчитана на изготовление гранулированных и эмульсионных ВВ. Смесительно-зарядная машина на шасси Scania (Скания) G400 666 компании «Скан ЮгоВосток» [9] специализируется на изготовлении и заряжании гранулитов. Назначение оборудования – работа в условиях тяжелого бездорожья и низких температур. На открытых горных работах находит применение

смесительно-зарядная машина Ульба-400МИ. Установку монтируют на шасси КАМАЗ, МАЗ [10]. На рынке России достаточно широко представлены машины зарубежного производства [11]. В работе [12] показаны мировые тренды производителей смесительно-зарядных машин. Суммарный приоритет в производстве промышленных взрывчатых веществ принадлежит гранулированным составам. Наряду с этим нарастает производство и применение эмульсий и суспензий на их основе. Китайская СЗМ WL-BCLH-15 [13] предназначена для заряжания механических смесей АСДТ. Смесительно-зарядная машина [14] работает на пористой аммиачной селитре и обеспечивает производительность по ВВ 5000 т в год.

Проведенное исследование смесительно-зарядных машин, особенностей их конструкции позволяет выделить критерии, имеющие существенное значение при изготовлении и применении на севере и в АЗРФ гранулитов с использованием в рецептуре материалов рециклинга – это навесное технологическое оборудование и транспортная база СЗМ. Для навесного оборудования, используемого в дальнейшем в качестве критерия оценки техники, применена совокупность признаков – бункер для аммиачной селитры, бак для дизельного топлива, продольный шнековый питатель, шнековый манипулятор, автоматизация изготовления и заряжания, другое оборудование (лестницы, различные устройства и т. д.). Для автомобильного шасси использована совокупность признаков – грузоподъемность, колесная база, кабина, топливный бак, трансмиссия, задний свес, поставляемое в составе автомобиля оборудование, дополнительное оборудование (КМУ и др.).

### **Использование материалов рециклинга для изготовления гранулитов вблизи мест их применения**

При оценке свойств материалов рециклинга используют физико-технические характеристики [1], представленные в **табл. 1**.

**Таблица 1. Материалы рециклинга для технологий взрывания**

Материалы рециклинга	Вид материала, источник возникновения
<i>Нефтепродукты</i>	
Нефтепродукты отработанные группы ММО (масла моторные отработанные) и МИО (масла индустриальные отработанные)	Нефтепродукты отработанные группы ММО и МИО при эксплуатации карьерного оборудования; нефтепродукты отработанные группы ММО при дизельной генерации электроэнергии в регионах северного завоза горючесмазочных материалов
<i>Металлическое порошковое горючее</i>	
Вторичные алюминиевые порошки	Продукт утилизации бытовых и промышленных отходов — материалов, содержащих алюминий
<i>Порошковое горючее</i>	
Угольный порошок	Продукт образуется при обогащении или переработке угля
Коксовая мелочь	Получают в технологии коксования посредством прокаливания углей при высокой температуре в закрытых сосудах
Резиновая крошка, резиновый гранулят	Продукт утилизации отработанных крупногабаритных шин карьерного автотранспорта, конвейерного транспорта и изделий для проветривания шахт, шины коммерческого и личного автотранспорта
Пластиковая крошка полипропиленовая, полизтиленовая	Продукт утилизации бытовых и промышленных отходов, содержащих пластиковые материалы

При использовании материалов рециклинга во взрывных технологиях проводят их подготовку, которая включает: очистку отработанных нефтепродуктов от загрязнения механическими и физико-химическими способами; кондиционирование низкотемпературных свойств топливных смесей компаундингом и включением депрессорно-диспергирующих присадок; изменение морфологических характеристик порошковых материалов (размер частиц, микрогеометрия поверхности, гранулометрический состав, степень неравномерности частиц).

Для изготовления гранулитов с металлическими и порошковыми горючими дополнительное оборудование состоит из бункера и механических устройств для подачи порошкового материала. В части подачи и смешения порошковых материалов хорошо себя зарекомендовала вибротехника (питатели, оживители).

Топливную смесь (ТС) с улучшенными низкотемпературными свойствами для гранулитов получают компаундингом отработанных нефтепродуктов с зимними или арктическими марками дизельного топлива. Включение депрессорно-диспергирующих присадок позволяет получить ТС с более низкими значениями предельной температуры фильтруемости и температуры помутнения. Для кондиционирования низкотемпературных свойств отработанных нефтепродуктов смешение компонентов проводят в размещенных на шасси баках.

### **Исполнение машин и оборудования для изготовления гранулитов в суровых климатических условиях**

Переоборудование и дооснащение узлов и агрегатов СЗМ в опции северного (арктического) пакета анализировали с учетом опыта эксплуатации в северных и арктических условиях горной техники: экскаваторов, карьерных автосамосвалов, бульдозеров, буровых станков, подъемного оборудования и другой техники.

**Таблица 2. Переоборудование и дооснащение узлов и агрегатов (северный пакет) средств механизации изготовления и заряжания гранулитов для условий низких температур**

Узлы СЗМ	База	Рама	Бункеры	Емкости	Насосы	Весы	Смеситель	Мешалки
Опции арктического пакета	Зимний пакет для транспортного средства, обустройство кабины	Комплектация арктического пакета не приводит к существенной нагрузке на раму	Бункеры твердых компонентов не требуют термоизоляции	Термоизоляция и система подогрева емкостей жидких компонентов	Термоизоляция и система подогрева топливопроводов и насосов жидких компонентов	При дозировании твердых компонентов не требуются	Система подогрева компонентов и насосов	Система подогрева компонентов и насосов

В работе [15] обобщены данные и оценены параметры надежности автомобильного транспорта с учетом эксплуатации в суровых климатических условиях. Большое внимание уделяется влиянию климатических температурных режимов на надежность работы узлов и агрегатов горнотранспортной техники. Вопросам улучшения морозостойкости применяемых материалов, повышения эффективности при запуске и продолжительной работе в экстремальных климатических условиях буровой техники посвящена работа [16]. Для работы при низких температурах в подземных условиях зарубежную буровую технику оснащают дополнительными компонентами для обогрева в системах топливоподачи и смазки двигателя, электроснабжения, гидросистем бурения и передвижения всей установки. Опция рассчитана на работу при температурах до  $-30^{\circ}\text{C}$  [17]. Оснащение кранового оборудования для работы в условиях севера включает установку двойного остекления и дополнительный обогрев кабины от автономных дизельных отопителей [18]. Для тракторов северное исполнение включает подогрев двигателя перед пуском, автономное воздушное отопление кабины, подогрев дизельного топлива и системы фильтрации, утепление кабины и пола трактора, утепление топливопровода, использование маловязких масел [19].

На основе проведенного обзора опций северного исполнения горнотранспортного оборудования можно заключить, что для изготовления гранулитов в условиях севера и АЗРФ смесительно-зарядная техника должна быть переоборудована и дооснащена следующими узлами и агрегатами: зимним пакетом для транспортного средства и обустройства кабины; термоизоляцией и системой подогрева емкостей жидких компонентов; термоизоляцией и системой подогрева топливопроводов и насосов жидких компонентов; системой подогрева компонентов и насосов в смесителе; системой подогрева компонентов и насосов в мешалках.

С учетом классификации конструкционных признаков средств механизации изготовления и заряжания гранулитов [4] в **табл. 2** представлены узлы СЗМ при изготовлении гранулитов, требующие переоборудования или дооснащения в условиях низких температур. Такие элементы СЗМ, как система управления, пульт управления, электроника, зарядный рукав, зарядное устройство при рассмотрении арктического пакета не учитывались.

### **Методический подход по оценке оборудования для приготовления гранулитов с материалами рециклинга в условиях севера и АЗРФ**

Резюмируя сказанное выше, можно констатировать, что линейка смесительно-зарядной техники для гранулитов включают достаточно большой модельный ряд машин разных производителей. Колесные формулы автомобильных шасси позволяют эксплуатировать СЗМ в условиях бездорожья (на эксплуатационных блоках) для перевозки тяжелых грузов. Гранулит получают при смешении компонентов преимущественно в шnekовом смесителе. Существуют машины с гравитационным смешением компонентов и др. Объем емкостей для компонентов меняется в зависимости от грузоподъемности автомобильного шасси. Машины имеют различия в устройствах подачи готового гранулита в скважину. Таким образом, представленные данные показывают, что для выбора и эффективного использования имеющегося арсенала оборудования для приготовления гранулитов с материалами рециклинга в условиях севера и АЗРФ необходима сравнительная оценка технического потенциала машин. Сравнение должно иметь многоуровневый характер: сравнение модельных рядов техники разных производителей; сравнение марок техники внутри модельного ряда техники одного производителя; сравнение марок техники разных производителей. Для получения обсуждаемой характеристики разработан методический подход, включающий получение интегральной оценки технического потенциала оборудования для изготовления гранулитов вблизи мест их применения. Это позволяет не только определить весомое выделенных критериев с совокупностью характеризующих их признаков в интегральной оценке оборудования, но учитывать такие важные факторы, как опыт конструирования техники, масштаб ее производства, технический потенциал техники и др.

Матрицу экспертных оценок (**табл. 3**) формируют на основе численных значений по десятибалльной шкале [20, 21]. Оценку ведут с использованием критериев: шасси; навесное оборудование; материал рециклинга; арктический пакет. Для получения интегральной оценки экспертное оценивание опирается на совокупность признаков критериев, которые изложены в соответствующих разделах статьи. Производители СЗМ указаны в шапке таблицы и строке 6. Оценка выделенных критериев методически включает данные от одного

**Таблица 3. Матрица экспертного оценивания технического потенциала СЗМ разных производителей**

Критерий оценивания СЗМ	Экспертная оценка критерия					
	НИПИгормаш		Нитро Сибирь		НИПИгормаш	
Шасси	ША <sup>1</sup> <sub>НИПИ</sub>	ША <sup>i</sup> <sub>НИПИ</sub>	ША <sup>1</sup> <sub>НС</sub>	ША <sup>i</sup> <sub>НС</sub>	ША <sup>ср</sup> <sub>НИПИ</sub>	ША <sup>ср</sup> <sub>НС</sub>
Навесное оборудование	НО <sup>1</sup> <sub>НИПИ</sub>	НО <sup>i</sup> <sub>НИПИ</sub>	НО <sup>1</sup> <sub>НС</sub>	НО <sup>i</sup> <sub>НС</sub>	НО <sup>ср</sup> <sub>НИПИ</sub>	НО <sup>ср</sup> <sub>НС</sub>
Материалы рециклинга	МР <sup>1</sup> <sub>НИПИ</sub>	МР <sup>i</sup> <sub>НИПИ</sub>	МР <sup>1</sup> <sub>НС</sub>	МР <sup>i</sup> <sub>НС</sub>	МР <sup>ср</sup> <sub>НИПИ</sub>	МР <sup>ср</sup> <sub>НС</sub>
Арктический пакет	АП <sup>1</sup> <sub>НИПИ</sub>	АП <sup>i</sup> <sub>НИПИ</sub>	АП <sup>1</sup> <sub>НС</sub>	АП <sup>i</sup> <sub>НС</sub>	АП <sup>ср</sup> <sub>НИПИ</sub>	АП <sup>ср</sup> <sub>НС</sub>
Азоттех		КНИИМ		Азоттех		КНИИМ
Шасси	ША <sup>1</sup> <sub>АТ</sub>	ША <sup>i</sup> <sub>АТ</sub>	ША <sup>1</sup> <sub>КНИИМ</sub>	ША <sup>i</sup> <sub>КНИИМ</sub>	ША <sup>ср</sup> <sub>АТ</sub>	ША <sup>ср</sup> <sub>КНИИМ</sub>
Навесное оборудование	НО <sup>1</sup> <sub>АТ</sub>	НО <sup>i</sup> <sub>АТ</sub>	НО <sup>1</sup> <sub>КНИИМ</sub>	НО <sup>i</sup> <sub>ГОР</sub>	НО <sup>ср</sup> <sub>АТ</sub>	НО <sup>ср</sup> <sub>КНИИМ</sub>
Материалы рециклинга	МР <sup>1</sup> <sub>АТ</sub>	МР <sup>i</sup> <sub>АТ</sub>	МР <sup>1</sup> <sub>КНИИМ</sub>	МР <sup>i</sup> <sub>ГОР</sub>	МР <sup>ср</sup> <sub>АТ</sub>	МР <sup>ср</sup> <sub>КНИИМ</sub>
Арктический пакет	АП <sup>1</sup> <sub>АТ</sub>	АП <sup>i</sup> <sub>АТ</sub>	АП <sup>1</sup> <sub>КНИИМ</sub>	АП <sup>i</sup> <sub>ГОР</sub>	АП <sup>ср</sup> <sub>АТ</sub>	АП <sup>ср</sup> <sub>КНИИМ</sub>

**Таблица 4. Ранжирование критериев и установление интегральной оценки технического потенциала СЗМ разных производителей**

Критерий оценивания СЗМ	Оценка значимости критерия		Среднее значение 30 <sub>ср</sub>	Весовой коэффициент $k_b$	Ранг критерия оценивания СЗМ ( $P = 30_{ср} \cdot k_b$ ) и интегральная оценка технического потенциала СЗМ			
	30 <sup>1</sup>	30 <sup>i</sup>			НИПИ гормаш	Нитро Сибирь	Азоттех	КНИИМ
Шасси	30 <sup>1</sup> <sub>ША</sub>	30 <sup>i</sup> <sub>ША</sub>	30 <sub>ср</sub> <sub>ША</sub>	$k_b^{ША}$	P <sub>НИПИ</sub> <sub>ША</sub>	P <sub>НС</sub> <sub>ША</sub>	P <sub>АТ</sub> <sub>ША</sub>	P <sub>КНИИМ</sub> <sub>ША</sub>
Навесное оборудование	30 <sup>1</sup> <sub>НО</sub>	30 <sup>i</sup> <sub>НО</sub>	30 <sub>ср</sub> <sub>НО</sub>	$k_b^{НО}$	P <sub>НИПИ</sub> <sub>НО</sub>	P <sub>НС</sub> <sub>НО</sub>	P <sub>АТ</sub> <sub>НО</sub>	P <sub>КНИИМ</sub> <sub>НО</sub>
Материалы рециклинга	30 <sup>1</sup> <sub>МР</sub>	30 <sup>i</sup> <sub>МР</sub>	30 <sub>ср</sub> <sub>МР</sub>	$k_b^{МР}$	P <sub>НИПИ</sub> <sub>МР</sub>	P <sub>НС</sub> <sub>МР</sub>	P <sub>АТ</sub> <sub>МР</sub>	P <sub>КНИИМ</sub> <sub>МР</sub>
Арктический пакет	30 <sup>1</sup> <sub>АП</sub>	30 <sup>i</sup> <sub>АП</sub>	30 <sub>ср</sub> <sub>АП</sub>	$k_b^{АП}$	P <sub>НИПИ</sub> <sub>АП</sub>	P <sub>НС</sub> <sub>АП</sub>	P <sub>АТ</sub> <sub>АП</sub>	P <sub>КНИИМ</sub> <sub>АП</sub>
Интегральная оценка оборудования				$\sum k^i_b$	$\sum P_{нипии}$	$\sum P_{нс}$	$\sum P_{ат}$	$\sum P_{книим}$

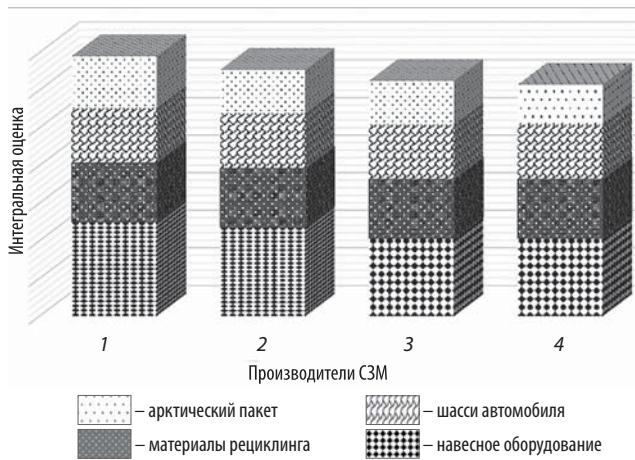
до  $i$ -го количества экспертов, что отражено в столбцах 2–5. Средняя величина экспертной оценки показана в столбцах 6 и 7. Для получения интегральной оценки технического потенциала оборудования на разном масштабном уровне проводят оценивание модельных рядов техники разных производителей СЗМ, марок техники одного производителя, марок техники разных производителей.

Ввиду того, что оцениваемые критерии оказывают различное влияние на процесс изготовления и заряжания гранулита, проводят ранжирование их значимости (табл. 4). Важность критериев может быть оценена с использованием коэффициентов относительной важности или экспертных оценок [22]. В данном случае значимость каждого критерия оценивают эксперты, ранее оценившие технику, используя десятибалльную шкалу. Далее определяют среднее значение оценки значимости критерия и его весовой коэффициент, получаемый делением среднего значения на сумму оценок. Ранг критерия

для СЗМ составляет произведение средней экспертной оценки на величину весового коэффициента.

### Заключение

Тестирование по предложенной методике позволяет сравнить СЗМ для приготовления гранулитов с применением материалов рециклинга в условиях севера и АЗРФ, используя в качестве основы сравнения интегральную оценку технического потенциала машин разных производителей. Экспертное оценивание включает двадцать три параметра по четырем категориям. При тестировании методики получены интегральные оценки, показанные на рисунке. Производители СЗМ расположены на диаграмме по убыванию интегральной оценки. Лидирующее место в оценке технического потенциала машин для гранулитов с материалами рециклинга при использовании в условиях севера и АЗРФ занимает АО «НИПИГОРМАШ». Это обусловлено несколькими факторами: большим опытом



### Интегральная оценка смесительно-зарядных машин разных производителей, предназначенных для изготовления гранулита с материалами рециклиинга в условиях севера и АЭРФ:

- 1 – АО «НИПИГОРМАШ», 2 – ООО «Азоттех»,  
3 – АО «НИТРО СИБИРЬ», 4 – АО «КНИИМ»

компании в данной сфере деятельности; масштабом производства продукции; школой конструирования машин данного вида; модернизационным потенциалом продукции.

Помимо этого, следует отметить, что смесительно-зарядная техника для открытых горных работ АО «НИПИГОРМАШ» обладает практическим опытом изготовления многокомпонентных гранулитов (машина МЗ-3Б-12 С), перекрывает широкий диапазон объемов производства взрывчатых веществ на местах их применения, грузовое шасси позволяет эффективно использовать технику на эксплуатационных блоках, оборудование для приготовления ВВ и подъемно-разгрузочные средства механизации благоприятствуют использованию материалов рециклиинга в рецептуре гранулитов.

На втором-третьем месте в оценке технического потенциала машин для гранулитов следуют ООО «Азоттех» и АО «Нитро Сибирь», техника которых имеет отличия от рассмотренной выше. Для многокомпонентных гранулитов в модели ООО «Азоттех» используют гравитационный смеситель, в машинах обеих компаний применяют отличающиеся между собой устройства подачи ВВ в скважину, но при этом их оснащают подъемно-разгрузочными средствами механизации (КМУ), а грузовое шасси обладает повышенной грузоподъемностью.

Следующим в оценке технического потенциала машин для изготовления гранулитов вблизи мест применения с использованием материалов рециклиинга стоит АО «КНИИМ». Компания обладает многолетним опытом создания оборудования для механизации работ с ВВ. В С3М для изготовления гранулитов применен классический набор оборудования – бункеры и емкости для компонентов, подача и смешение компонентов шнековым смесителем, заряжение скважин поворотным шнеком.

Машины АО «Гормаш» не участвовали в оценке технического потенциала смесительно-зарядной техники. Однако они обладают впечатляющими параметрами грузоподъемности по компонентам гранулита (до 27 т). Конкурирует по этим параметрам только С3М для эмульсионных ВВ компании «Нитро Сибирь».

Несерийные производители в изготавливаемых С3М используют аналогичное оборудование и материалы. В сравнении с зарубежными производителями техники для изготовления гранулитов, используемой на открытых горных разработках России, отечественные производители используют аналогичные технические решения.

Наиболее интересное решение для С3М, предназначенных для изготовления гранулита, использовано в крупнотоннажной С3М для эмульсий компании «Нитро Сибирь», которая оснащена арктическим пакетом для эксплуатации в суровых климатических условиях.

Проведенные обзор и анализ современного состояния проектирования смесительно-зарядных машин показывает, что развитие данного класса техники характеризуется переходом от узкоспециализированных установок к универсальным и модульным системам, ориентированным на расширение функциональности и адаптацию к различным видам исходных материалов, включая фракции вторичной переработки. Опыт конструирования в этой области подтверждает наличие устойчивого спроса как на крупнотоннажные серийные решения, так и на мелкосерийные машины для опытной эксплуатации и отработки новых технологических схем. Используемые в мировой практике платформы включают широкий спектр шасси – от стандартных дорожных до высокопроходимых и арктически адаптированных, что определяет гибкость применения в различных климатогеографических условиях.

Ключевой тенденцией становится ориентация на модульность и универсальность навесного оборудования, что позволяет работать с материалами различной плотности, гранулометрического состава и влажности. Для материалов рециклиинга, обладающих высокой вариабельностью физико-механических свойств, важна концепция динамической адаптации рабочих режимов С3М: обеспечения стабильного перемешивания, дозирования и подачи без снижения безопасности и эксплуатационной надежности. Основное внимание следует уделять характеристикам материалов – их вязкости, гигроскопичности, термостабильности и склонности к агломерации. От этих параметров напрямую зависят выбор схемы хранения и транспортирования компонентов, а также эффективность смесительно-дозирующих систем в условиях низких температур.

В арктических районах ключевым направлением совершенствования является формирование так называемого северного пакета – совокупности решений по термозащите, энергообеспечению и экологической безопасности. Для обеспечения надежной работы машин при температурах ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  необходимы комплексные меры терморегуляции, теплоизоляции и

защиты узлов от обледенения, а также энергетическая автономность и устойчивость к перепадам влажности. Конструктивно это реализуется через модульный подход, допускающий установку систем подогрева, терmostабилизации и мониторинга состояния агрегатов без изменения базовой архитектуры машины.

Особое внимание при работе с материалами рециклинга необходимо уделять контролю влажности и предотвращению замерзания, а также износостойкости узлов, контактирующих с абразивными и агрессивными фракциями. Эксплуатационная надежность и безопасность в этих условиях тесно связаны с подбором конструкционных материалов, защитных покрытий и схем обслуживания. Концептуально целесообразно развивать направления интеграции цифровых систем контроля качества и мониторинга, обеспечивающих стабильность свойств перерабатываемых материалов при температурных колебаниях.

В мировой практике наблюдается тенденция к объединению решений мобильного и стационарного типов. Мобильные установки обеспечивают гибкость и оперативность в полевых условиях, тогда как стационарные пункты дают преимущества в контроле микроклимата, энергетической стабильности и экологической безопасности. Оптимальной представляется гибридная модель, при которой мобильные СЭМ используют в сочетании с стационарными модулями хранения и подготовки компонентов, что особенно актуально для удаленных северных районов.

Применение материалов рециклинга в экстремальных климатических условиях требует отдельного научного направления,

включающего изучение их термодинамических и структурных изменений при низких температурах, влияния повторных циклов замерзания-оттаивания и абразивных воздействий. Для повышения достоверности эксплуатационных характеристик необходима разработка экспериментальных методик оценки совместимости таких материалов с арктическими режимами работы машин.

В качестве дальнейших шагов рекомендуется:

- разработать матрицу физико-химических параметров рециклинговых материалов в диапазоне температур от  $-60$  до  $+20$  °C и использовать ее для обоснования конструктивных и эксплуатационных требований к СЭМ;
- стандартизировать состав арктического пакета (изоляция, энергорезерв, антикоррозионная защита, фильтрация воздуха и влаги);
- внедрять в серийные модели средства цифрового мониторинга состояния узлов, особенно в зоне контакта с материалами переменной влажности и плотности;
- проводить полевые испытания СЭМ с использованием модульных элементов навесного оборудования, ориентированных на работу с материалами вторичной переработки.

Таким образом, совершенствование смесительно-зарядных машин должно опираться на синтез инженерных решений, направленных на адаптацию к свойствам рециклинговых материалов, и комплексные меры обеспечения надежности и безопасности эксплуатации в условиях экстремального климата Арктики.

- Библиографический список**
1. Франтов А. Е., Викторов С. Д., Лапиков И. Н., Вяткин Н. Л., Болотова Ю. Н. Развитие методических подходов при моделировании свойств много-компонентных гранулитов, применяемых в условиях низких температур и других осложняющих факторов // Горная промышленность. 2024. № 55. Р. 79–90.
  2. Рудакова О. А. Методы экспертной оценки свойств сварных соединений сталей феррито-перлитного класса на основе фрактального анализа структурного состава : дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2011. – 125 с.
  3. Леушин И. О., Нищёнков А. В., Чистяков Д. Г. Оценка целесообразности совершенствования технологии изготовления деталей чугунных стеклоформ методами многокритериальной экспертной оценки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2014. № 2(46). С. 63–68.
  4. Викторов С. Д., Франтов А. Е. Выбор критерии эффективности и методов оценки простейших ВВ для северных и арктических районов России // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр : матер. IV конф. Междунар. науч. школы акад. РАН К. Н. Трубецкого. – М. : ИПКОН РАН, 2020. С. 67–71.
  5. Смесительно-зарядная машина МСЗУ-14-НПБ / НАО «НИПИГОРМАШ». URL: <https://npgm.ru/product-catalog/machine-mixing-and-chargers/acatalogitems/72-mszu-14-npb.html> (дата обращения: 03.06.2025).
  6. МС3-17ГР. URL: <https://www.nitros.ru/products?id=13> (дата обращения: 28.03.2025).
  7. Смесительно-зарядные машины / АЗОТТЕХ. URL: <https://azottech.ru/products/smesitelno-zaryadnye-mashiny/?ysclid=mhxph9534519968229> (дата обращения: 02.07.2025).
  8. Продукция / АО «Гормаш», 2022. URL: <https://belgormash.ru/production/> (дата обращения: 10.04.2025).
  9. Смесительно-зарядная машина Scania (Скания) G400 6x6. URL: [https://scan-auto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/specialnye\\_automobili/scania-g400-6x6-smesitelno-zaryadnaya/](https://scan-auto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/specialnye_automobili/scania-g400-6x6-smesitelno-zaryadnaya/) (дата обращения: 04.07.2025).
  10. Зарядно-смесительная машина «УЛБА-400МИ» для открытых горных работ / ООО «НПП СибМаш», 2020. URL: <https://sib-mash.com/produkciya/zaryadno-smesitel'naya-mashina-ulba-400mi-dlya-otkrytyh-gornyh-rabot?ysclid=mhx2ldz7e106053796> (дата обращения: 12.06.2025).
  11. Синин В. А., Меньшиков П. В., Шеменев В. Г. Эффективность применения смесительно-зарядных машин, предназначенных для транспортирования, изготовления и заряжания взрывчатых веществ // Черная металлургия. Бюллетень научной, технической и экономической информации. 2018. № 2. С. 7–11.
  12. Сахапова Т. С., Проценко К. Ю., Тихонова Е. А., Ипатова М. А. Обзор зарубежных производителей смесительно-зарядной техники для открытых горных работ // Горная промышленность. 2022. № 3. С. 79–83.
  13. JWL-BCLH-15 смесительно-зарядная машина АСДТ / King Explorer, 2025. URL: <https://ru.kingexplorer.com/product/16.html> (дата обращения: 17.06.2025).
  14. Производство промышленных взрывчатых веществ для горно-добывающей отрасли и строительства / ООО «КМ Мусир», 2024. URL: <https://muosir.com/> (дата обращения: 17.06.2025).
  15. Кулешов А. А., Тымовский Л. Г. Эксплуатация карьерного транспорта в условиях Севера. – М. : Недра, 1973. – 144 с.
  16. Особенности использования буровых машин в условиях Арктики. 2024. URL: <https://tmpz-m.ru/blog/burovoe-oborudovanie/osobennosti-ispolzovaniya-burovuykh-mashin-v-usloviyakh-arktiki/> (дата обращения: 19.03.2025).

17. Смесительно-зарядная машина. URL: <https://perevozka24.com/pages/smesitelno-zaryadnaya-mashina> (дата обращения: 23.05.2025).
18. Северный пакет для автокрана, северное исполнение кранов. URL: <http://old.allcranes.ru/info/articles/sever/> (дата обращения: 05.05.2025).
19. Северный пакет для бульдозеров. URL: <https://rosalliance.ru/about/info/buldozer-v-severnom-ispolnenii.html> (дата обращения: 26.06.2025).
20. Ницёнков А. В. Применение экспертных методов для оценки и выбора технологических процессов // Инновационные технологии в образо-

вательной деятельности : матер. Всероссийской науч.-метод. конф. – Н. Новгород : НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2016. С. 148–155.

21. Закалинский В. М., Франтов А. Е. О принципе преемственности технологических решений в области взрывных работ // Взрывное дело. 2011. № 105/62. С. 83–92.
22. Коэффициенты относительной важности критерия. URL: [https://studopedia.net/1\\_67580\\_koeffitsienti-otnositelnoy-vazhnosti-kriteriya.html](https://studopedia.net/1_67580_koeffitsienti-otnositelnoy-vazhnosti-kriteriya.html) (дата обращения: 16.04.2025). 

«GORNYI ZHURNAL», 2025, № 12, pp. 61–68  
DOI: 10.17580/gzh.2025.12.08

## Equipment for on-site preparation of granular explosives using recycling materials in the North and the Arctic Zone

### Information about authors

A. E. Frantov<sup>1</sup>, Leading Researcher, Doctor of Engineering Sciences, aef1948@gmail.com  
I. N. Lapikov<sup>1</sup>, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences

<sup>1</sup>Academician Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources—IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

### Abstract

The article proposes a methodological approach to evaluation of the mixing and charging machines for preparation of granulites mixtures at their application points in severe climate conditions of the North and Arctic Zone of the Russian Federation using recycling materials. The method involves the expert evaluation of the selected criteria together with their qualitative attributes. The domestic and foreign models of the mixing and charging machines, their design (mechanical features, auxiliary equipment), as well as the physical and technical properties of recycling materials (oil products, aluminium and coal powders, rubber and plastic crumbs, etc.) are reviewed. The integrated evaluation procedure includes four key criteria: chassis, attached implements, compatibility with recycling materials and a package of arctic fittings if any. For each criterion, the weight factors are determined on the basis of the expert evaluation.

The paper reviews and classifies Russian manufacturers of mixing and charging machines (full- and small-scale production) for preparation of granulit mixtures with recycling materials and their basic structural and technical characteristics are identified. The content of the ‘arctic fitting package’ for the mixing and charging machines is determined and detailed, including a winter set for chassis, thermal insulation, and heating systems for reservoirs, fuel lines, pumps and mixers. The expert evaluation matrix for the comparison of different the mixing and charging machines models and the integrated evaluation procedure with the weight factors of each criterion are presented.

The proposed methodical approach allows the comparative analysis of the equipment for the mechanical preparation and charging of granulit mixtures using recycling materials in the conditions of low temperatures, aimed at enhanced ecological safety and efficiency of blasting operations in the North and in the Arctic areas.

**Keywords:** granulites, mixing and charging machines, recycling, Arctic zone of the Russian Federation, northern areas, blasting, integrated assessment, expert method, arctic package, recycling materials.

### References

1. Frantov A. E., Viktorov S. D., Lapikov I. N., Vyatkin N. L., Bolotova Yu. N. Development of methodological approaches in modeling the properties of multicomponent granulites used in low temperature conditions and other complicating factors. *Gornaya Promyshlennost*. 2024. No. 55. pp. 79–90.
2. Rudakova O. A. Expert Evaluation Methods for Properties of Joint Welds of Ferritic–Pearlitic Steels on the Basis of Fractal Analysis of Structural Composition : Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Perm, 2011. 125 p.
3. Leushin I. O., Nishchenkov A. V., Chistyakov D. G. Expediency assessment of improvement of the technology of manufacturing the cast-iron glass mold details by multicriteria expert evaluation methods. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova*. 2014. No. 2(46). pp. 63–68.
4. Viktorov S. D., Frantov A. E. Selection of efficiency criteria and estimation methods for the simplest explosive for the northern and arctic areas of Russia. *Problems and Prospects of Integrated Subsoil Use and Preservation : IV Academician Trubetskoy's School Proceedings*. Moscow : IPKON RAN, 2020. pp. 67–71.
5. Mix and Pump Machine MSZU-14-NPB. NIPIGORMASH. Available at: <https://npgm.ru/product-catalog/machine-mixing-and-chargers/acatalogitems/72-mszu-14-npb.html> (accessed: 03.06.2025).
6. MCZ-17GR. Available at: <https://www.nitros.ru/products?id=13> (accessed: 28.03.2025).
7. Mix and Pump Machines. AZOTECH. Available at: <https://azotech.ru/products/smesitelno-zaryadnye-mashiny/?ysclid=mhxph9534519968229> (accessed: 02.07.2025).
8. Products. Gormash JSC, 2022. Available at: <https://belgormash.ru/production/> (accessed: 10.04.2025).
9. Scania G400 6×6 Mix and Pump Trucks. Available at: [https://scanauto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/specialnye\\_automobili/scania-g400-6x6-smesitelno-zaryadnaya/](https://scanauto.ru/catalog-motor-vehicle-scania/trucks-scania/specialnye_automobili/scania-g400-6x6-smesitelno-zaryadnaya/) (accessed: 04.07.2025).
10. Mix and Pump Machines ULBA-400MI for Open Pit Mining. NPP SibMash LLC, 2020. Available at: <https://sib-mash.com/produkciya/zaryadno-smesitelnaya-mashina-ulba-400mi-dlya-otkrytykh-gornykh-rabot?ysclid=mhx2ldz7e106053796> (accessed: 12.06.2025).
11. Sinitsin V. A., Menshikov P. V., Shemenev V. G. Efficiency of mix and pump machines for preparation, haulage and pumping of explosives. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchnoy, tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii*. 2018. No. 2. pp. 7–11.
12. Sakhapova T. S., Protsenko K. Yu., Tikhonova E. A., Ipatova M. A. Overview of foreign manufacturers of mixing and charging equipment for surface mining. *Gornaya Promyshlennost*. 2022. No. 3. pp. 79–83.
13. JWLBCLH-15 ASDT Mixing and Charging Machines. King Explorer, 2025. Available at: <https://ru.kingexplorer.com/product/16.html> (accessed: 17.06.2025).
14. Production of industrial explosives for the mining and construction industries. Muosir LLC, 2024. Available at: <https://muosir.com/> (accessed: 17.06.2025).
15. Kuleshov A. A., Tymovskiy L. G. Operation of Surface Mining Machines in the North. Moscow : Nedra, 1973. 144 p.
16. Peculiarities of Drilling Machine Operation in the Arctic. 2024. Available at: <https://tmpz-m.ru/blog/burovoe-oborudovanie/osobennosti-ispolzovaniya-burovykh-mashin-v-usloviyakh-arktiki/> (accessed: 19.03.2025).
17. Mix and Pump Machines. Available at: <https://perevozka24.com/pages/smesitelno-zaryadnaya-mashina> (accessed: 23.05.2025).
18. Northern Package for Autocrane. Northern Design of Cranes. Available at: <http://old.allcranes.ru/info/articles/sever/> (accessed: 05.05.2025).
19. Northern Package for Dozers. Available at: <https://rosalliance.ru/about/info/buldozer-v-severnom-ispolnenii.html> (accessed: 26.06.2025).
20. Nishchenkov A. V. Application of expert methods for evaluation and selection of process flows. *Innovative Technologies in Education : All-Russian Conference Proceedings*. Nizhniy Novgorod : NGTU im. R. E. Alekseeva, 2016. pp. 148–155.
21. Zakalinskiy V. M., Frantov A. E. About the continuity principle of technological solutions for blasting. *Vzryvnoe delo*. 2011. No. 105/62. pp. 83–92.
22. Weight Factors of a Criterion. Available at: [https://studopedia.net/1\\_67580\\_koeffitsienti-otnositelnoy-vazhnosti-kriteriya.html](https://studopedia.net/1_67580_koeffitsienti-otnositelnoy-vazhnosti-kriteriya.html) (accessed: 16.04.2025).