

ТЕХНОЛОГИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ И ОЦЕНКА ИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НА КАРЬЕРАХ

*А. Я. Бережецкий (Госнадзорхрантруда Украины),
В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, А. П. Пашков, канд. техн. наук (ННИИОТ)*

Розглянуто структурні схеми технологій вибухових робіт залежно від типів застосовуваних вибухових речовин, пунктів їх приготування, транспортування і засобів механізації технологічних операцій. Розроблено комплексний показник конкурентоспроможності, за допомогою якого можна оцінювати ефективність застосування тієї чи іншої технології.

За последние годы в Украине произошли существенные изменения в технике и технологии взрывных работ. Активизировалась деятельность специализированных предприятий и организаций по созданию новых промышленных взрывчатых материалов (ВМ), новых технологических процессов и технических устройств, применяемых при взрывных работах. Наблюдается устойчивая тенденция увеличения объема потребления и роста номенклатуры взрывчатых веществ (ВВ), изготавливаемых из невзрывчатых компонентов непосредственно на местах или вблизи мест их использования. Некоторые крупные горнодобывающие предприятия создали собственные производства водосодержащих ВВ. На основе новейших технологических процессов с использованием отечественного и зарубежного оборудования вводятся в строй пункты приготовления эмульсионных ВВ (ЭВВ), позволяющие расширить их область применения и внедрить наиболее эффективные и безопасные.

Следует отметить, что в Украине на открытых горных работах ежегодно расходуется 80...85 тыс. тонн ВВ (в США – около 2 млн. тонн, в России – свыше 700 тыс. тонн) [1]. Доля ВВ местного приготовления в 2002 году составила около 60 % (36,9 тыс. тонн), заводского – около 40 % (25,9 тыс. тонн) и конверсионных – чуть более 3 % (2 тыс. тонн). При этом около 65 % ВВ от общего их объема используется на железорудных карьерах Кривбасса. Только по предприятиям, взрывные работы на которых выполняются межведомственной ассоциацией «Укрвзрывпром», объем ВВ местного приготовления достиг 56,9 %.

Наличие большого ассортимента ВВ местного и заводского изготовления диктует необходимость разработки безопасных и эффективных средств и методов взрывных работ, входящих в технологические схемы изготовления конкретных ВВ (или их комбинаций в конструкциях зарядов).

В работах [2–5] рассмотрены технологии приготовления гранулированных и эмульсионных ВВ. Даны структурные схемы изготовления ЭВВ на стационарных пунктах и в смесительно-зарядных машинах типа «фабрика на колесах» [2], изложены физико-химические процессы, происходящие при изготовлении ЭВВ, описаны технологии приготовления и заряжания в скважины водосодержащих ВВ [3, 4], технологии взрывного разрушения горных пород [5]. В работе

[6] приведены рекомендации по выбору эффективных взрывчатых смесей и технологий их применения с учетом технических и стоимостных показателей. Последние, в свою очередь, должны учитываться при определении комплексного критерия эффективности. В этом случае за оптимальный вариант принимается тот, при котором достигается минимум приведенных затрат, определяемых с учетом критерия эффективности.

Анализ этих работ показывает, что выводы и рекомендации по ним даны для ограниченного числа ВВ, а варианты технологий взрывных работ, начиная с момента приобретения компонентов для ВВ или изготовления ВВ и заканчивая забойкой скважин, не разработаны. Предложенный критерий эффективности для оценки ВВ и технологий их применения [6] не в полной мере учитывает организационные, энергетические и комплексные факторы, а также факторы безопасности.

Целью настоящей работы является обоснование технологий взрывных работ и критериев оценки их конкурентоспособности в зависимости от типов ВВ и условий изготовления и применения на открытых горных работах. При этом решались следующие задачи:

разработка структурных схем технологий взрывных работ с применением ВМ заводского изготовления, гранулированных горячельющихся ВВ, ЭВВ, конверсионных ВВ местного изготовления, а также технологий с применением полиэтиленовых рукавов для формирования зарядов в обводненных скважинах;

обоснование показателя конкурентоспособности варианта технологии взрывных работ на основе комплексного учета факторов, влияющих на технологические операции.

Известно, что технология взрывных работ при разрушении горных пород представляет собой совокупность приемов и способов воздействия на горную породу для обеспечения требуемых результатов взрыва [5]. При этом положительные результаты достигаются там, где высокий уровень механизации и автоматизации охватывает все технологические операции и сочетается с современными формами безопасной организации труда. Кроме того, технология взрывных работ должна обеспечивать экологическую безопасность и надежность.

При разработке структурных схем технологий взрывных работ учитывались требования нормативно-правовых актов, единых правил безопасности при взрывных работах (ЕПБ) и Директивы Совета Европейского экономического сотрудничества № 93/15 [7].

На заводах Украины изготавливаются следующие основные ВМ:

ВВ – гранулотол, граммонит 79/21 ГС, аммонит 6 ЖВ, ЗАРС-1, ЗАРС-1М; средства взрывания – шашки-детонаторы Т-400Г и ТТ-500, детонирующие шнуры ДШЭ-12, ДШЭ-9 и ДША, капсуль-детонаторы и пиротехнические реле.

В соответствии со структурной схемой для этих ВМ (рис. 1) начальной операцией является приобретение и доставка ВМ автотранспортом или железнодорожными вагонами в мешках или легких контейнерах на предприятие заказчика. Доставка ВМ железнодорожным транспортом

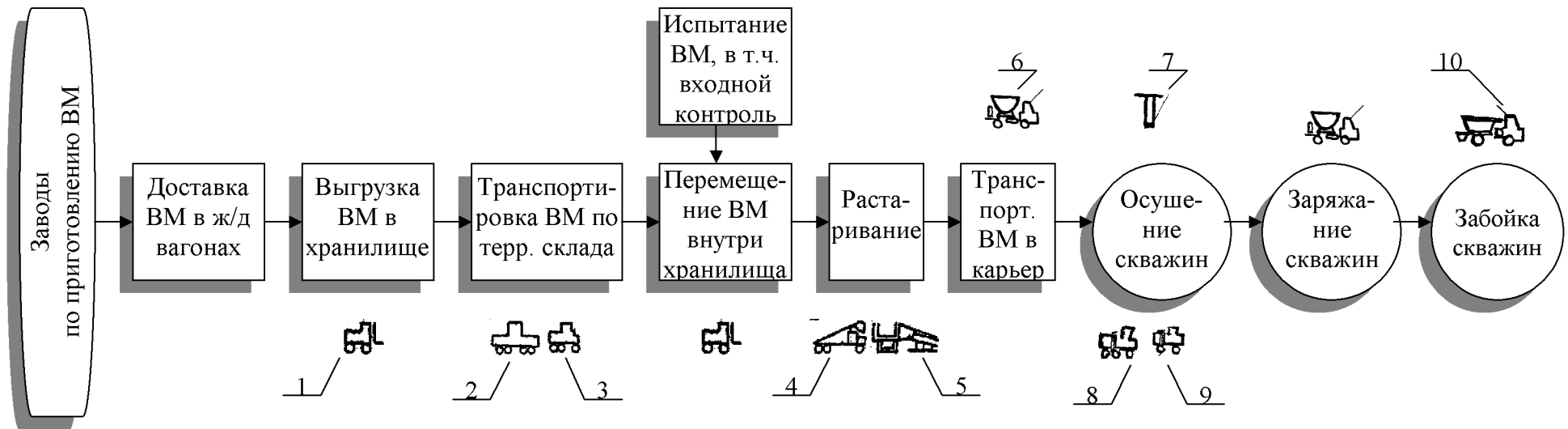


Рис. 1. Структурная схема технологии взрывных работ с применением ВВ заводского изготовления: 1 – погрузчик; 2 – ж/д платформа; 3 – автотранспорт; 4 – передвижная растаривающая установка (МПР-30); 5 – стационарная растаривающая установка; 6 – транспортно-зарядная машина (МЗ-8); 7 – операция по осушению скважин; 8, 9 – машина для осушения скважин; 10 – машина для забойки скважин (УОС-250, МО-1)

при больших расстояниях имеет определенные недостатки. Вагоны с ВВ могут простаивать на железнодорожных станциях, что повышает степень опасности при их доставке. Затраты на этот вид транспорта выше по сравнению с автомобильным.

Эффективность и безопасность выгрузки заводских ВМ определяется наличием безопасных складов, железнодорожных подъездных путей к ним и средств механизированной погрузки. Мешки с ВВ укладывают на поддоны, а затем погрузчиками транспортируют в хранилища. При необходимости ВВ в поддонах транспортируется по территории склада дрезиной на железнодорожной платформе. Все ВМ обязательно проходят испытания. Если эти испытания невозможно выполнить в лаборатории, их проводят в условиях, максимально приближенных к условиям применения при взрывных работах, согласно КНД-50-93 и Директиве Совета ЕЭС № 93/15. Испытания ВМ проводятся на физическую и химическую стабильность, чувствительность к удару и трению, стойкость к воздействию воды и газовой выделению.

Использование ВВ заводского изготовления требует наличия крупных базисных складов, большого количества механизмов и оборудования, а также службы охраны. Поэтому в современных рыночных условиях использование заводских ВВ становится неоправданным. Высокая стоимость, опасность в обращении и экологическая опасность все более ограничивают их применение.

Широкое внедрение новых ВВ местного приготовления принципиально изменило структуру и содержание операций в технологиях взрывных работ. Факторами, обеспечивающими надежное и эффективное использование гранулированных ВВ местного приготовления (рис. 2), являются строгое выполнение требований к качеству поставок и условиям хранения компонентов ВВ, своевременная проверка (испытание) компонентов и готового ВВ в условиях, адекватных условиям их использования (согласно КНД-50-009-93), осушение и очистка скважин от буровой мелочи перед заряданием (согласно п. 136 ЕПБ).

Взрывчатые характеристики ВВ простейшего состава в значительной степени зависят от качества их приготовления. Поэтому гранулированная аммиачная селитра (АС) поставляется предприятиям, изготавливающим ВВ, в прочной водонепроницаемой таре. Стационарные пункты для изготовления этих ВВ должны отвечать требованиям проектной технической документации и правилам устройства и безопасной эксплуатации стационарных пунктов изготовления гранулированных и водосодержащих ВВ (согласно НАОП 1.2.90-1.08.88).

Структурная схема производства взрывных работ с применением гранулированных ВВ местного приготовления включает операции по доставке компонентов ВВ с заводов-изготовителей в крытых железнодорожных вагонах или автомашинах насыпью в мешках или мягких контейнерах. Для механизации операций по выгрузке и перемещению контейнеров (мешков) с компонентами ВВ и постановке их на хранение предприятия должны быть обеспечены аккумуляторными погрузчиками во взрывобезопасном исполнении грузоподъемностью 1...3 т и высотой до 2 м, а также бортовыми машинами или дрезиной с железнодорожной платформой. Для проведения испытаний компонентов ВВ и приготовленных ВВ предприятие обязано иметь испытательную площадку,

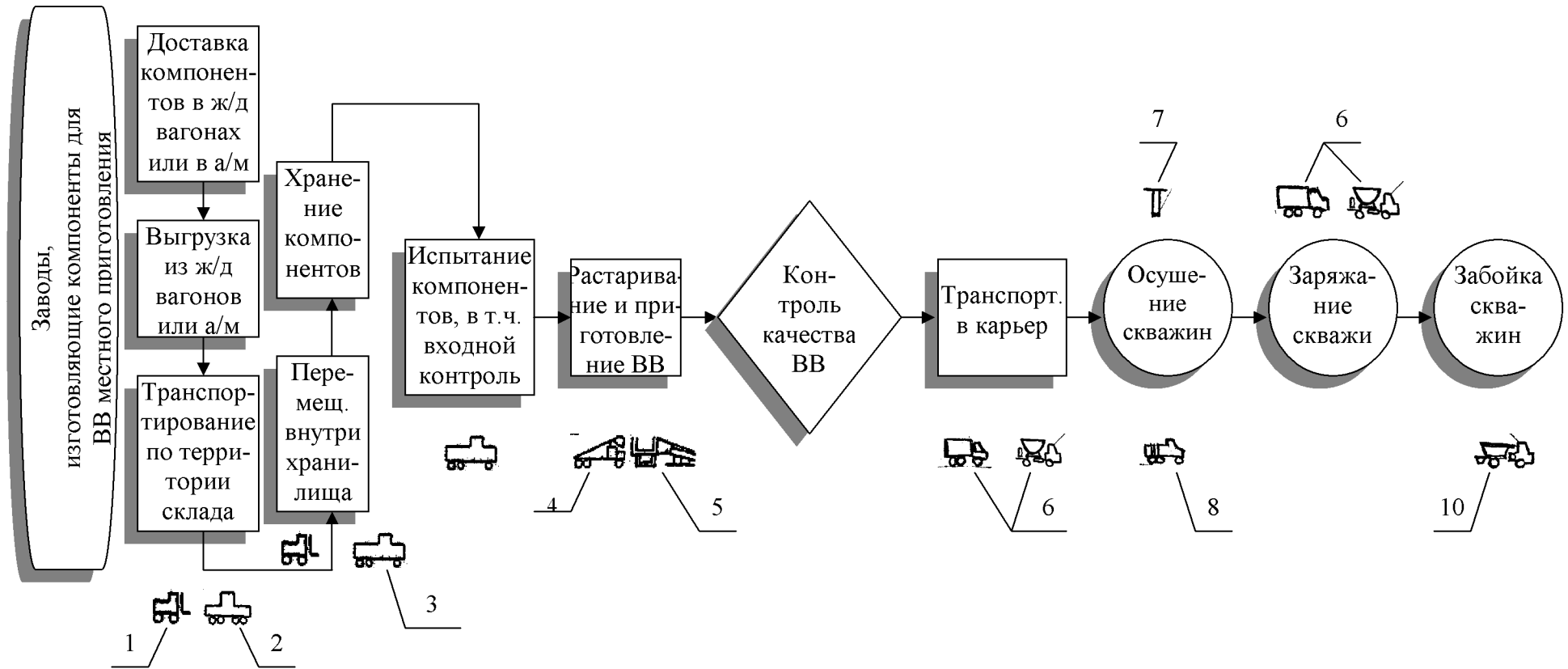


Рис 2. Структурная схема технологии взрывных работ с применением гранулированных ВВ местного приготовления (обозначения соответствуют рис.1)

опоясанную внешней предохранительной зоной шириной 25 м. Площадка должна иметь блиндаж или укрытие для людей, оборудованное связью и звуковой сигнализацией.

Компоненты для ВВ доставляются к пункту изготовления в объемах не более сменной потребности. Основанием для изготовления ВВ является разрешение Госнадзорохрантруда Украины.

Изготовление ВВ проводится в смесительных и транспортно-смесительных машинах, допущенных к применению в установленном порядке. В процессе приготовления гранулита или игданита автосмеситель типа АБС-5 подается в пункт загрузки невзрывчатых компонентов и в барабан смесителя загружается гранулированная АС, а в бак АБС-5 – дизельное топливо (ДТ). Концентрат (или угольная пыль) в расчетном количестве загружается в АБС-5 оператором по команде руководителя пункта механизированного приготовления ВВ.

Испытания изготовленного ВВ должны производиться в соответствии с техническими условиями на конкретное ВВ. Пробы взрывник обязан отбирать в условиях, соответствующих тем, при которых применяется данное ВВ и с учетом срока подготовки массового взрыва.

В последние годы снижаются объемы потребления горячельющихся ВВ типа акватол Т-20Г. Эти ВВ предназначены для заряжания сухих и обводненных скважин в породах средней крепости и крепких, не содержащих сульфиды. Технологический процесс получения Т-20Г в общей структурной схеме взрывных технологий (рис. 3) состоит из следующих стадий:

доставка и подготовка компонентов для приготовления раствора-окислителя при температуре, не превышающей 115 °С;

смешивание раствора-окислителя с тротилом непосредственно перед заряжением скважин.

Процесс подготовки АС заключается в растаривании, рыхлении, просеивании и магнитной сепарации при приготовлении горячего раствора окислителя. Подготовка загустителя состоит в растаривании и выдавливании водного раствора из тары – полиэтиленовых мешков.

Гранулотол растаривается, просеивается, поступает в бункер растаривающей установки и из него самотеком подается в смесительно-зарядную или специальную доставочную машину. Изготовление акватола Т-20Г состоит в смешивании горячего раствора окислителя (до 115 °С) с тротилом непосредственно перед испытанием и заряжением в скважины.

К недостаткам технологии приготовления и применения водосодержащих горячельющихся ВВ относятся:

невозможность качественного приготовления ВВ, так как при нагревании транспортирующих ВВ узлов свыше 60 °С работа установки должна быть прекращена, а согласно ТУ температура раствора окислителя должна быть около 115 °С;

способность горячего заряда растекаться по трещинам массива в стенках скважин;

расслоение полученного ВВ, поскольку время снижения температуры до затвердения тротила в акватоле Т-20Г (74...76 °С) составляет от 3 до 54 минут, а

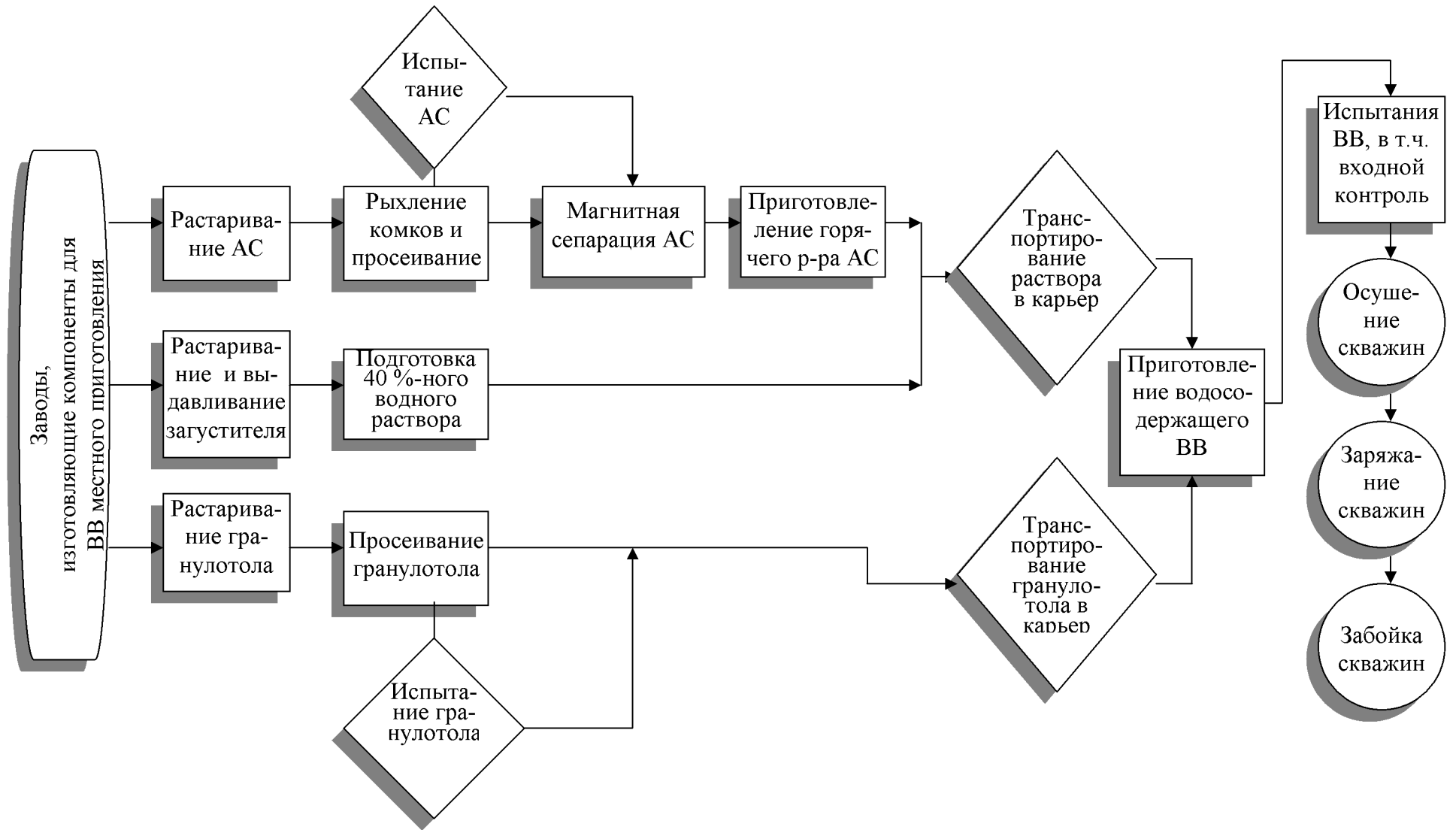


Рис. 3. Структурная схема технологии взрывных работ с применением водосодержащего горячельющегося ВВ местного приготовления типа аквазола Т-20Г

процесс расслоения раствора АС и тротила заканчивается через 20...30 минут после зарядки скважин, причем наличие загустителя при этих температурах на процесс расслоения практически не влияет.

Принципиальным различием в способах приготовления ВВ на местах применения (рис. 4) и горячельющихся водосодержащих ВВ является высокая поверхность контакта окислителя и горючего за счет диспергирования окислителя до капель размером 5...10 мкм и покрытия их масляной пленкой толщиной 10^{-8} м. Оптимальное содержание окислителя в ЭВВ составляет 60...85 %, воды – 8...16 %. Количество пустот определяет плотность смеси, а ее вязкость регулируется консистенцией горючего компонента. Мощность ЭВВ зависит от состава окислителя и возрастает с уменьшением содержания воды.

Эмульсии, имеющие высокую температуру кристаллизации и поддающиеся перекачиванию при температурах 15...85 °С, относятся к горячим. Типичным ВВ на основе горячей эмульсии является порэмит (см. рис. 4). Такие ВВ нашли применение на ряде предприятий России. Разновидностью ЭВВ на основе холодной эмульсии является украинит-Д, который за счет введения специальных антифризов может перекачиваться при относительно низких температурах (35...40 °С).

Стационарный пункт приготовления ЭВВ типа порэмита состоит из помещений для хранения окислителей и эмульгатора, хранилища нефтепродуктов и относящихся к категории опасных помещений для приготовления первичной эмульсии (матрицы). Окончательное газонасыщение эмульсии производится непосредственно перед ее зарядкой в скважины.

К недостаткам эмульсионных ВВ следует отнести:

обращение с матричной эмульсией небезопасно;

перенасыщенный раствор солей нитрата при определенных условиях может кристаллизоваться, теряя при этом стабильность и снижая свой энергетический уровень;

закачивание в скважины ЭВВ связано с его потерями в трещиноватых породах и возможным загрязнением смеси буровой мелочью.

Кроме того, следует отметить относительно высокую стоимость эмульсионных смесей, превышающую в 5...6 раз стоимость АС-ДТ, их многокомпонентность и сложную технологию изготовления, что является сдерживающим фактором их широкого распространения. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, перспективными ВВ в Украине могут быть тяжелые эмульсии с содержанием АС-ДТ в соотношении 25/75.

Новым направлением в развитии взрывных технологий является использование конверсионных ВВ, что позволяет повысить мощность взрыва зарядов этих ВВ и снизить стоимость взрывных работ (рис. 5).

Из всех известных методов извлечения ВВ при утилизации боеприпасов наиболее доступен и прост метод неконтактной выплавки тротила в термостатах, обогреваемых паром. В этом направлении интенсивно работают ПО «Павлоградский химический завод», ПО «Завод им. Петровского», АОЗ «Елаент-Киев», корпорация «Сотрудничество». Основные стадии утилизации включают передачу по договору ВВ, снятых с вооружения, в реактивных изделиях и штатной таре. Далее одна часть списанных боеприпасов для

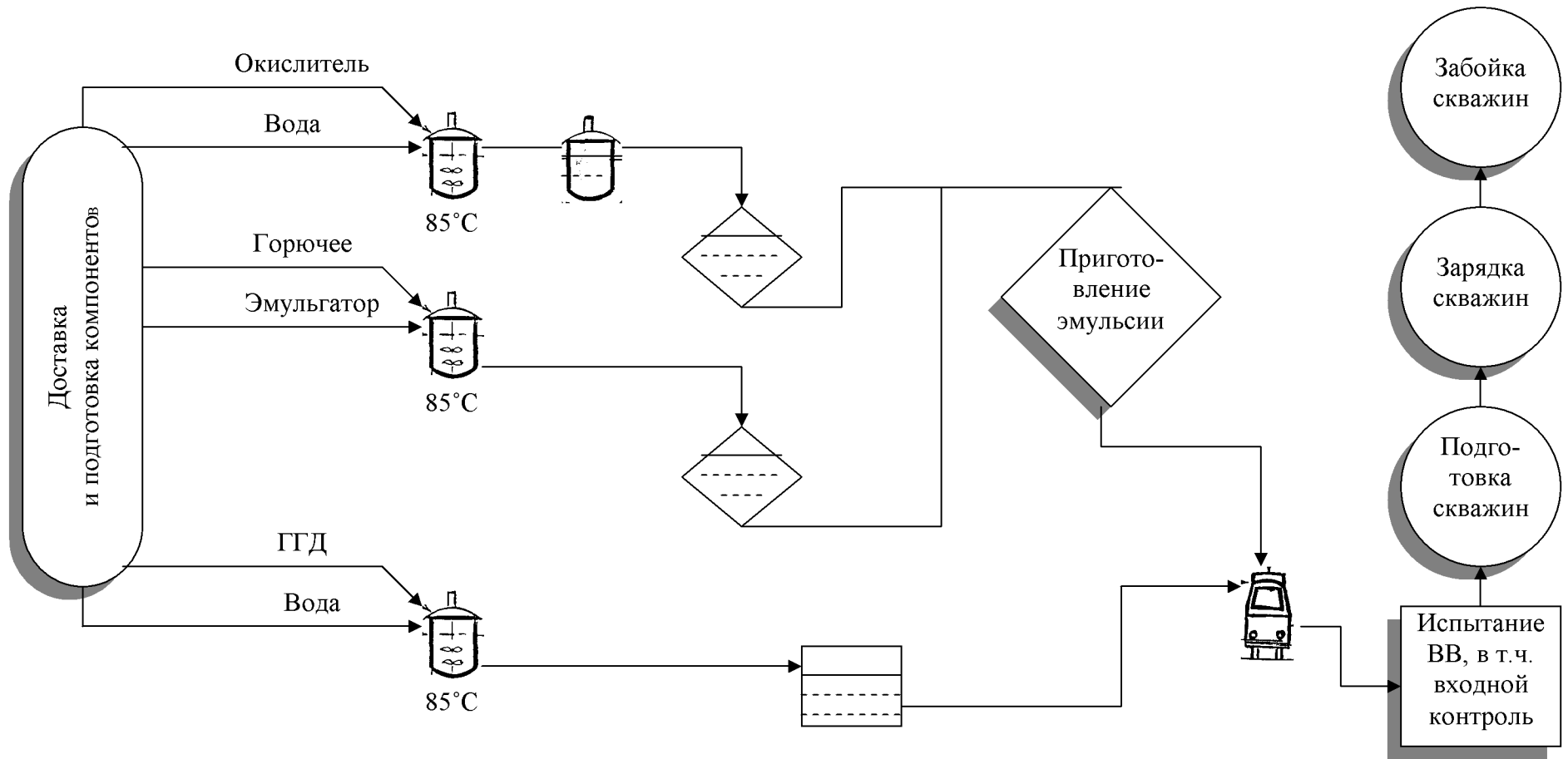


Рис. 4. Структурная схема технологии взрывных работ с приготовлением ЭВВ на местах их применения

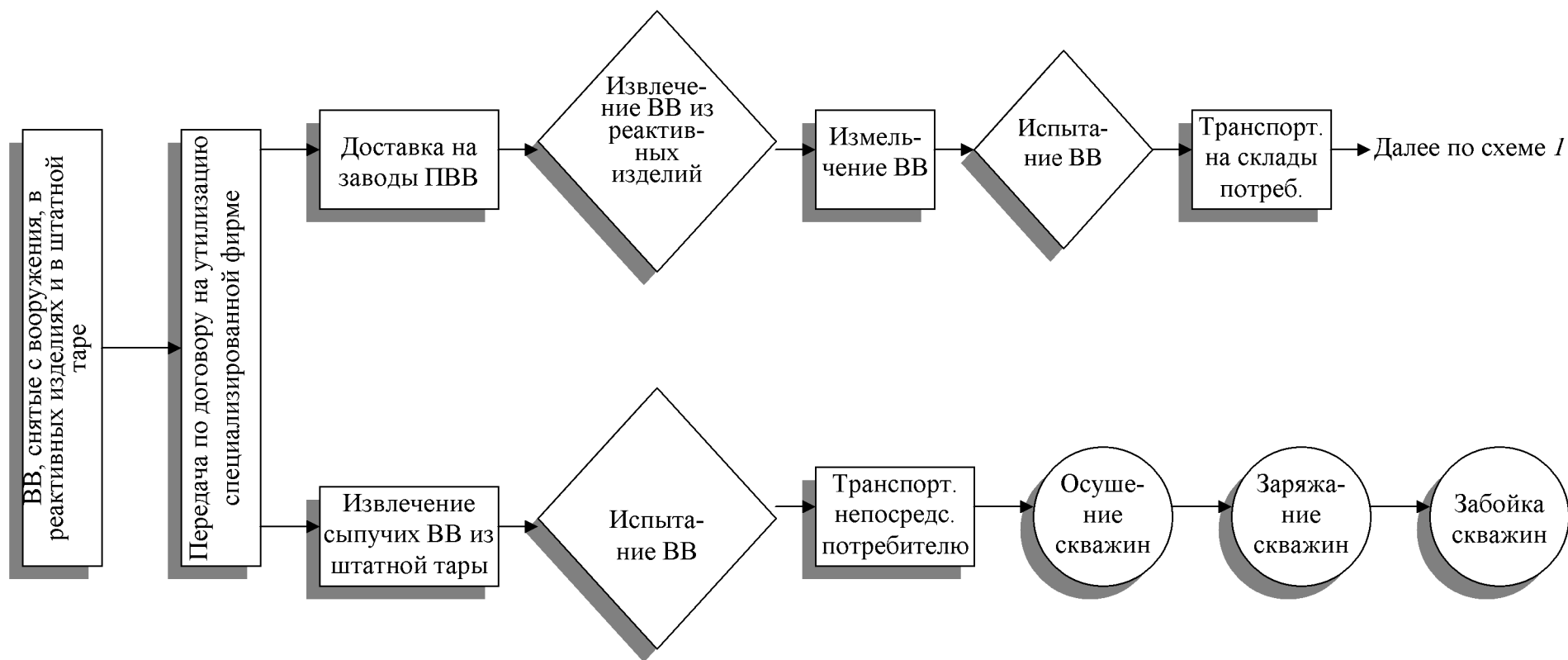


Рис. 5. Структурная схема технологии взрывных работ с использованием конверсионных боеприпасов

извлечения из них ВВ и их измельчения доставляется на заводы ПВВ. Другую часть боеприпасов, состоящих из сыпучих ВВ в штатной таре, специализированные фирмы испытывают и поставляют непосредственно потребителям, имеющим разрешение Госнадзорохрантруда Украины на их применение.

Добавление 25 % крошки смесевых твердых топлив в ВВ позволяет повысить их работоспособность в 1,4 раза. Эффективны комбинированные заряды из баллиститных порохов и граммонита 79/21 ГС, а также смесь пироксилинового пороха и АС. По дробящей способности смесь соответствует гранулотолу, а в экологическом отношении превосходит его, так как имеет близкий к нулю кислородный баланс [3].

К недостаткам конверсионных ВВ относят высокие значения потенциалов электризации пироксилиновых порохов при пересыпании и малую насыпную плотность пироксилиновых и баллиститных порохов ($650 \dots 800 \text{ кг/м}^3$), в связи с чем при зарядании через столб воды, как рекомендуют инструкции, образуются пробки из ВВ в скважинах на уровне зеркала воды.

При необходимости утилизации конверсионных ВВ Госнадзорохрантруда (письмо № 05-9/577 от 25.03.94) разрешил использование снятых с вооружения боеприпасов в качестве промышленных ВВ на дневной поверхности при наличии регламента технологического процесса, паспортов на утилизируемые изделия, технологических схем приготовления ВВ и зарядания ими скважин (в чертежах) и др. [8].

Одним из направлений сокращения потребления дорогостоящих водостойчивых ВВ является применение при зарядании обводненных скважин неводостойчивых (частично-водостойчивых) ВВ, помещаемых в полиэтиленовые рукава (ПР) [9, 10].

Технологии взрывных работ с использованием зарядов в ПР (рис. 6) предусматривают приобретение и доставку ПР, гильз и компонентов ВВ (или заводских ВВ) на склад. За сутки до начала зарядания в скважинах производятся контрольные промеры с целью определения числа обводненных скважин и их состояния (наличие нарушений в скважинах, уровень воды в них). По контрольным данным на складе осуществляется подготовка отрезков ПР необходимой длины (обычно на 10...15 % больше максимальной глубины заряжаемых скважин), которые формируются в виде «гармошки» при помощи ручного станка или специальной машины. В день зарядания скважин снаряженные ПР гильзы доставляются в карьер к взрываемому блоку пород.

Исследованиями установлено [11], что гидроизоляция зарядов неводостойчивых ВВ без предварительного осушения скважин эффективна только в том случае, если столб воды в скважине не превышает 3 м. При уровне воды более 3 м скважину рекомендуется перед заряданием осушить агрегатами для осушения скважин (АОС, УОС-2Т и др.) или микровзрывами донных зарядов [12]. Тем не менее формирование зарядов ВВ в ПР при высоте столба воды в скважине более 3 м является более экономичным по сравнению с другими способами, несмотря на увеличение времени и снижение производительности зарядания [13, 14]. Это достигается за счет уменьшения расхода и стоимости

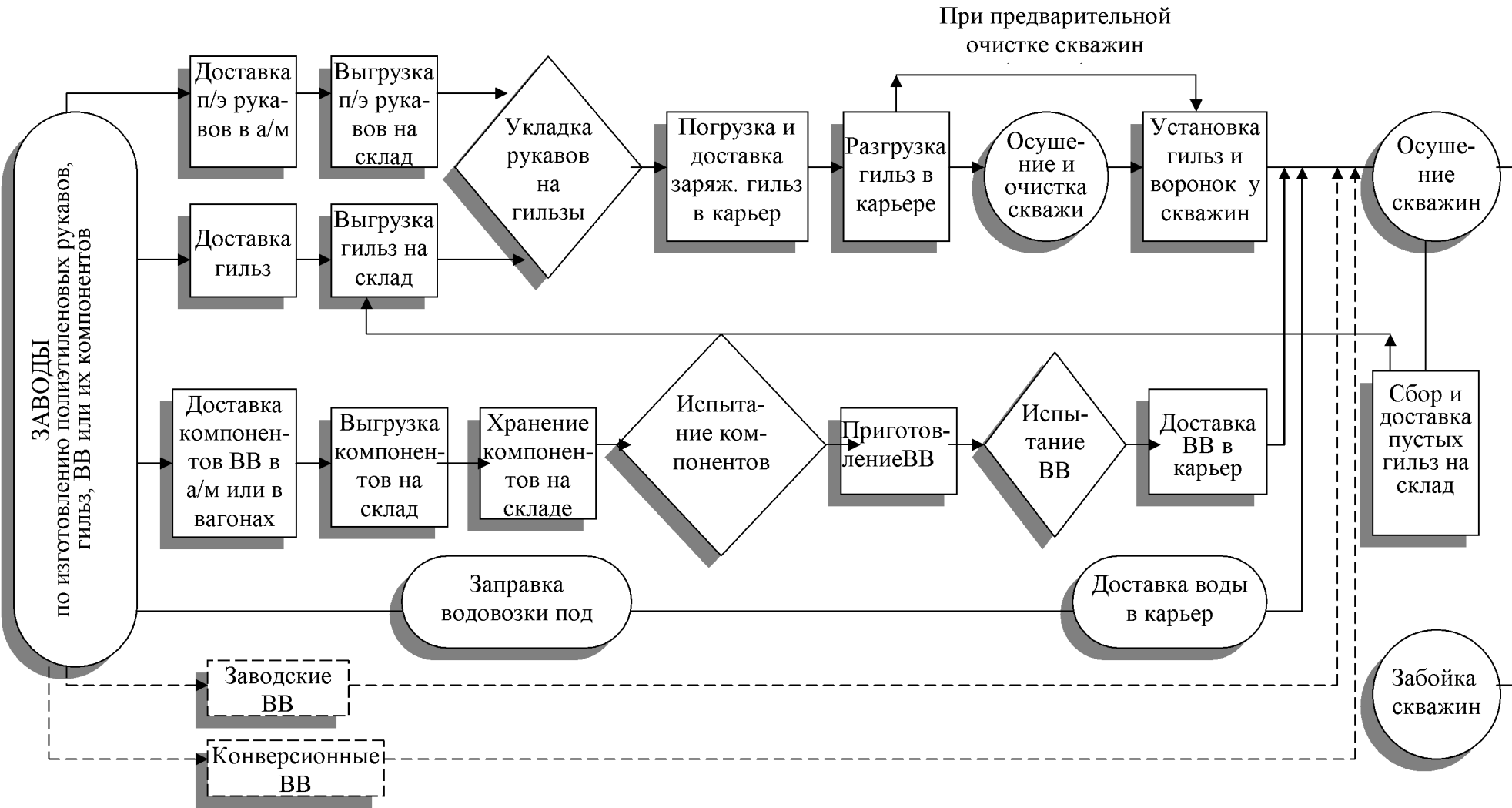


Рис. 6. Структурная схема технологии взрывных работ при зарядании скважин зарядами ВВ в полиэтиленовых рукавах

специально разработанных типов ВВ без снижения качества дробления горных пород.

Конкурентоспособность рассмотренных вариантов технологий взрывных работ должна оцениваться для конкретных горнотехнических условий с учетом применяемых типов ВВ, горно-транспортного оборудования, средств механизации и т.д. Критерий оценки эффективности любого варианта технологии должен базироваться на минимизации ресурсоемкости технологического процесса. Общим требованием к критерию является комплексный подход, учитывающий доленой расход ресурса в процессах его подготовки и использования.

Эффективность технологии взрывных работ оценивается рядом факторов, которые объединяются в следующие группы: технические, технологические, организационные, энергетические, экономические, безопасные и комплексные.

Опуская рассмотрение сущности факторов каждой группы, в формализованном виде частные показатели ресурсоемкости по этим факторам можно представить величиной R_{ijkm} , где i – номер рассматриваемого технологического решения; j – номер рабочего процесса, $j = \overline{1, J_i}$; k – номер типа расходуемого ресурса, $k = \overline{1, R_{ij}}$; m – номер разновидности ресурса, $m = \overline{1, M_{ijk}}$.

Стоимостная оценка рассматриваемых показателей определяется произведением $C_{km} \cdot R_{ijkm}$, где C_{km} – удельная стоимость расходуемого ресурса.

На основе наиболее важных в рассматриваемых условиях показателей можно определить комплексный показатель по нескольким параметрам с учетом их весомости α_{km} . Комплексный показатель R_{Ki} характеризует степень соответствия существующей потребности ресурсов по всему набору показателей варианта производства технологии взрывных работ и равен

$$R_{Ki} = \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{K_{ij}} \sum_{m=1}^{M_{ijk}} \alpha_{km} \cdot C_{km} \cdot R_{ijkm} . \quad (1)$$

По отношению к базовому варианту сравнительная оценка будет представлена выражением

$$\Delta R_{Ki} = R_{Ki} - R_{K\delta} . \quad (2)$$

Уровень конкурентоспособности i -го варианта технологии относительно j -го варианта предлагается определять на основе сопоставления их сравнительных комплексных оценок по отношению к базовому варианту. Показатель конкурентоспособности варианта технологии K_{ij} принимает вид отношения сравнительной комплексной оценки i -го варианта к сравнительной комплексной оценке j -го варианта, то есть

$$K_{ij} = \Delta R_{Ki} / \Delta R_{Kj} . \quad (3)$$

Рассматриваемый i -ый вариант технологии взрывных работ на карьере будет конкурентоспособным, если его показатель K_{ij} будет больше единицы.

Таким образом, используя параметры и технико-экономические показатели по операциям всего технологического процесса, начиная от приобретения ВВ и их компонентов и заканчивая забойкой скважин, для условий конкретного предприятия (карьера) можно по предложенной методике определить конкурентоспособность применяемой технологии взрывных работ. Такой подход позволит определить рациональный тип ВВ как для современных условий применения, так и на перспективу, исходя из потребительского спроса горнодобывающих предприятий.

1. *Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду при использовании простейших ВВ и специальной забойки* / Э. И. Ефремов, А. Я. Бережецкий, А. В. Пономарев и др. // *Екологія і природокористування*. – Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України. – 2003. – Вип. 5. – С. 137–140.

2. *Иоффе В. Б., Жученко Е. И.* Обеспечение промышленной безопасности при производстве и применении эмульсионных взрывчатых веществ на горных предприятиях. – М.: ННЦ ГП. – ИГД им. А. А. Скочинского, 2002. – 111 с.

3. *Крысин Р. С., Домничев В. Н.* Современные взрывчатые вещества местного приготовления. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 140 с.

4. *Крысин Р. С.* Новые взрывчатые вещества // *Горный журнал*. – 1999. – № 6. – С. 45–47.

5. *Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах* / Э. И. Ефремов, П. В. Бересневич, В. Д. Петренко и др. – Днепропетровск: Січ, 1996. – 179 с.

6. *Жученко Е. И.* Гранулированные взрывчатые смеси и их применение. – М.: ННЦ ГП. – ИГД им. А. А. Скочинского, 2002. – 96 с.

7. *Про зближення положень національних правових приписів щодо розміщення на ринку та нагляду за вибуховими матеріалами цивільного призначення.* Директива Ради ЄЕС № 93/15 від 5-го квітня 1995 р.

8. *Лещ П. Л.* О нормативно-правовом обеспечении испытаний и допуска к применению новых промышленных взрывчатых материалов, машин, устройств и приборов для взрывных работ, а также боеприпасов, приобретаемых по конверсии // *Промышленные взрывчатые вещества и средства их инициирования*. – Шостка: ГосНИИХП. – 1995. – Вып. 1. – С. 87–91.

9. *Гидроизолированные заряды неводоустойчивых ВВ при взрывах* / В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, В. С. Прокопенко, И. В. Косьмин // *Уголь Украины*. – К.: Техника. – 1998. – № 10. – С. 15–18.

10. *Прокопенко В. С.* Разработка устройств подачи полиэтиленовых рукавов многоразового и одноразового использования при зарядании скважин // *Вісник НТУУ “КП”*. Серія “Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ “КП”. – 2002. – Вип. 7. – С. 39–44.

11. *Ефремов Э. И., Баранник В. В.* Использование неводоустойчивых взрывчатых веществ при разрушении обводненных горных пород // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск, 2002. – № 4. – С. 70–72.

12. *Пашиков А. П.* Розробка безпечного та ефективного методу вибухової відбійки обводнених гірських порід // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2003. – Вип. 8. – С. 101–107.

13. *Прокопенко В. С.* Особенности формирования зарядов неводоустойчивых взрывчатых веществ в полимерных рукавах при зарядании скважин // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ “КПІ”. – 2002. – Вип. 6. – С. 40–50.

14. *Прокопенко В. С.* Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах: Автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.15.11 / ННДІОП . – К.: 2003. – 35 с.