

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНОГО АВТОМАТА ПАТРОНИРОВАНИЯ АГРЕССИВНЫХ ЖИДКОСТЕЙ – ШАГ К РОБОТИЗАЦИИ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ

Лагута В.С.¹, Галахарь А.С.¹, Добрынин А.А.²

¹*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва;*

²*Институт проблем комплексного освоения недр им. Академика Н.В. Мельникова
РАН, Москва*

Ключевые слова: автомат патрулирования, агрессивные жидкости, безопасность, роботизация горнопроходческих работ, сроки изготовления, стоимость.

Аннотация. Рассмотрены вопросы разработки концепции автомата патрулирования агрессивных жидкостей и возможности роботизации буровзрывных работ на этой основе. Сформулированы общие требования и система ограничений для выполнения проекта. Приведены функциональная схема установки, состав основных элементов и датчиков, спецификация заказа на изготовление. Даны экспертные оценки стоимости изготовления опытных образцов и временные параметры реализации проектов установки и роботизированного комплекса.

THE CONCEPT OF DEVELOPING AND OPERATING A MOBILE AUTOMATIC CARTRIDGE FOR AGGRESSIVE LIQUIDS IS A STEP TOWARDS ROBOTIZATION OF TUNNELING OPERATIONS

Laguta V.S.¹, Galakhar A.S.¹, Dobrynin A.A.²

¹*Bauman Moscow State Technical University, Moscow;*

²*Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
named after Academician N.V. Melnikov RAS, Moscow*

Keywords: automatic patrolling, aggressive liquids, safety, robotization of mining operations, production time, cost.

Abstract. The issues of developing the concept of an automatic cartridge for aggressive liquids and the possibility of robotization of drilling and blasting operations on this basis are considered. The general requirements and a system of restrictions for the implementation of the project are formulated. The functional scheme of the installation, the composition of the main elements and sensors, and the specification of the manufacturing order are given. Expert estimates of the cost of manufacturing prototypes and time parameters for the implementation of installation and robotic complex projects are given.

Специализированный семинар в Институте проблем комплексного освоения недр им. Академика Н.В. Мельникова РАН, состоявшийся 27 декабря 2024г., и сессия «Роботизированные технологии и механизация горных предприятий» на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка – 2025» показали актуальность вопросов автоматизации и роботизации горнопроходческих работ. Это связано с развитием техники, совершенствованием технологии освоения недр и обеспечением безопасности персонала. С точки зрения безопасности и производительности роботизированные технологии

наиболее востребованы на сложных и «неудобных» объектах, требующих проведения буровзрывных работ. Проведенный анализ [1] показывает, что из всех известных и применяемых сегодня в горной промышленности взрывчатых веществ (ВВ) наиболее технологичны жидкие ВВ, которые практически свободно, самотёком могут заполнять предназначенные для них зарядные полости (емкости), обеспечивая при этом достаточно высокую плотность ВВ в заряде, что в совокупности можно рассматривать как реальные предпосылки для автоматизации взрывных работ.

Основание для разработки мобильного автомата смешивания и патронирования (АСиП) – большая потребность в патронированных взрывчатых веществах и специальных зарядах ВВ в горной и других отраслях промышленности (более миллиона зарядов в год).

В процессе формирования концепции установки авторы ориентировались на возможно более широкое использование готовых (отработанных ранее) технических решений (готовые модули):

1. Пластиковые емкости (резервуары) различного назначения.
2. Трубопроводная арматура, в т.ч. маломощное насосное оборудование и автоматические клапаны, для обеспечения безопасности протекания агрессивных жидкостей и жидких взрывчатых растворов (ЖВР).
3. Датчики (температура, уровни, давление).
4. Программируемые логические контроллеры (ПЛК) и системы программирования технологических циклов.
5. Механические системы подачи емкостей, пробок (крышек) в зону укупоривания.
6. Механизмы перемещения емкостей (флаконов) и пробок (крышек).

Основные параметры (условия) эксплуатации, которые были приняты за основу при разработке концепции смесительной установки:

1. Габаритные ограничения расположения и перемещения в зоне эксплуатации.
2. Предельный вес установки без демонтажа.
3. Источник питания:
 - 3.1. Для внешнего – характеристики, в том числе варианты подключения.
 - 3.2. Аккумулятор на установке – требуемое время непрерывной эксплуатации.
4. Варианты типа установки – стационарный, мобильный с приводом, перемещаемый на носителе, прицепной, мобильный (перемещаемый оператором).
5. Варианты типа связи с оператором – WiFi, проводной, комбинированный. Для проводных систем – расстояние передачи сигнала.
6. Перечень контролируемых параметров технологического процесса для проверки оператором.
7. Варианты управления процессом – автоматический, полуавтоматический, по командам оператора.
8. Количество заполненных емкостей, размещаемых непосредственно на установке для временного хранения.

9. Количество тары (незаполненных емкостей), размещаемых непосредственно на установке.
 10. Емкость тары (флакона) и эскизы её конструктивных вариантов.
 11. Способ и вид герметизации тары – крышка завинчивания, крышка защелкивания и т.п.
 12. Объем и характеристика емкостей с реагентами (эскизы вариантов, особенно если используется специальная тара со встроенными клапанами).
 13. Способ установки (монтажа) емкостей с реагентами – на установке в зоне смешивания; предварительная установка до перемещения в зону смешивания.
 14. Способы контроля технологического процесса – по датчикам, система технического зрения (СТЗ).
 15. Необходимость дублирования процесса смешивания.
 16. Тип процесса смешивания – просто залив, залив с последующим перемешиванием. Если вариант перемешиванием – допустимый тип – вибрация и/или вращение.
 17. Профилактические работы и техобслуживание – какие узлы подлежат демонтажу для промывки и т.п.
 18. Варианты способа фиксации заполненной емкости на позиции выдачи (оператору и/или устройству дальнейшего перемещения вне установки).
 19. Варианты расположения зоны смешивания реагентов – непосредственно в таре или в предварительном смесителе.
 20. Общая характеристика движения в процессе перемещения установки (особенно для случая перемещения с предварительно установленными реагентами) – скорость, перепады колебаний, возможный крен.
 21. Необходимость встроенной системы страхования установки от превышения допустимых ограничений при перемещении (в том числе переворот и т.п.).
 22. Допустимые минимальные расстояния расположения тары с реагентами и заполненных емкостей (флаконов).
 23. Максимальное количество пустой тары для заполнения в одном эксплуатационном цикле.
 24. Наличие препятствий при перемещении и варианты действий в этом случае для установки смешивания.
- Проведенный анализ возможных вариантов реализации установки позволил сформировать концепцию, удовлетворяющую большинству ранее сформулированных требований. Функциональная схема с указанием основных блоков АПиС приведена на рисунке 1.
- Примерный перечень электрооборудования установки смешивания ЖВР, который потребуется для её функционирования включает:
1. Компрессор маломощный – 2 шт.
 2. Электродвигатель (маломощный) – 1 шт.
 3. Автоматические клапаны – 10 шт.
 4. Датчики уровня жидкости – 8 шт.
 5. Датчики температуры – 6 шт.

6. Блок световой индикация (красный/желтый/зеленый) – 1 шт.

7. Комплект датчиков положения, датчиков наличия и т.п. для узла "залив+укупоривание" – 1 комплект, количество датчиков – определяется техническим заданием (ТЗ) на изготовление.

8. Датчик заряда аккумулятора и/или нормативного напряжения электросети – 1 шт.

9. Программируемый логический контроллер (ПЛК) – 1 шт. Примерный перечень каналов вх/вых для ПЛК:

9.1. Кол-во управляемых к-т (min) – 16.

9.2. Кол-во информационных к-т (min) – 15.

9.3. Кол-во дополнительных подключения – согласно ТЗ.

10. Пульт дистанционного управления и/или терминал – 1 шт.

11. Кнопка вкл/выкл – 1шт.

12. Кнопка аварийного останова – 1 шт.

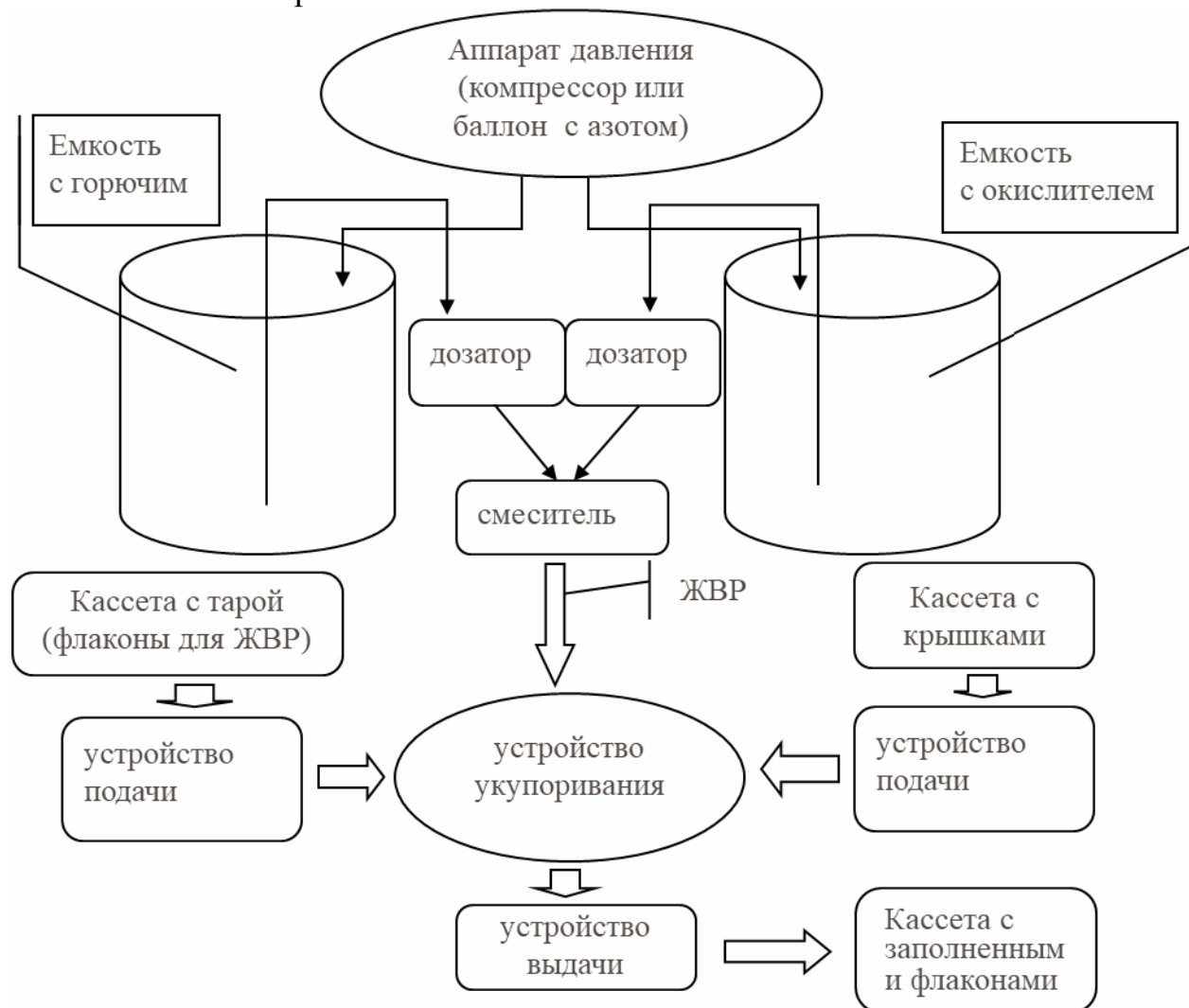


Рис. 1. Функциональная схема установки АПиС

Один из важных компонентов установки – используемый для заполнения тип флякона. При разработке концепции были сформулированы основные требования для проектирования его конструкции:

1. Смесь, заливаемая во флякон – двухкомпонентная – окислитель + горючее. Окислитель: диазота тетраоксид, кислота азотная концентрированная по

ГОСТ 701-89 (возможны другие). Горючее: жидкие углеводороды, нитробензол, бензол (возможны другие). Пропорция примерно – 50/50.

2. Требование по герметичности – основное.

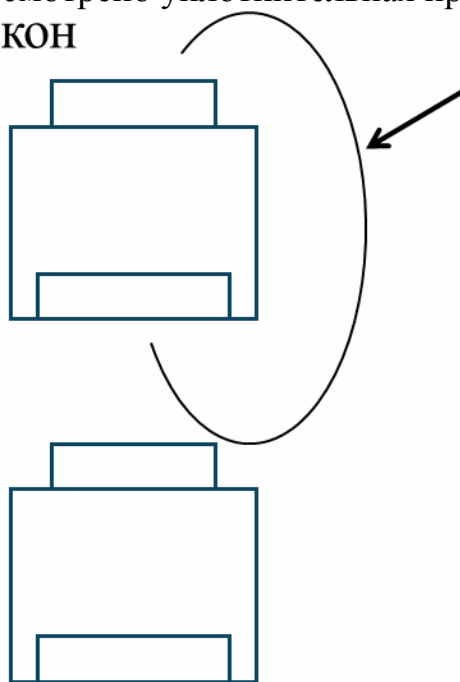
3. В рабочем режиме заполненные флаконы в таре с водой перевозятся к месту закладки в ранее подготовленные скважины (шпуры).

4. На первом этапе проекта флаконы представляют самостоятельный коммерческий проект (то есть возможно использование в ручном режиме смешивания). Установка разрабатывается параллельно под утвержденный заказчиком образец.

Были рассмотрены различные варианты материала для изготовления флаконов, такие как – полиэтилен ПНД (PE), полипропилен ПП-Б (PP-C), поливинилхлорид ХПВХ (PVC-C), поливинилиденфторид ПВДФ (PVDF). Проведенный анализ показал, что наиболее дешевый и доступный вариант с точки зрения коммерческого применения – Полиэтилен ПНД (PE).

Анализ конструктивных вариантов изготовления позволил определить наиболее технологичную форму флакона для последующего изготовления методом литья под давлением – цилиндрический флакон с крышкой «защелкивания» (рис. 2). Для дополнительного обеспечения безопасности в случае заполнения флаконов для хранения и удаленной транспортировки в корпусе крышки предусмотрено уплотнительная прокладка из кислотостойкой резины.

А: Флакон



Флаконы в требуемом количестве «собираются» в скважине или шпуре

Надежность герметизации обеспечивается конструкцией крышки-защелки и проведением испытания на герметичность каждой партии поставляемых флаконов

Б: Крышка-защелка

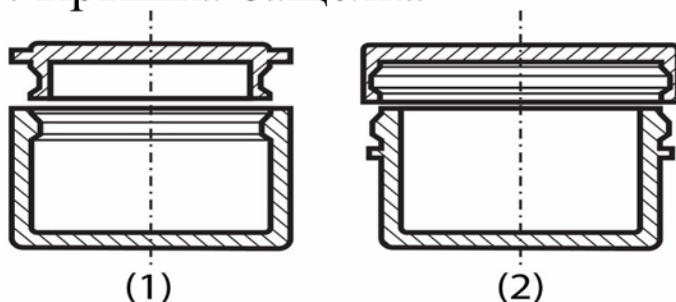


Рис. 2. Конструктивное исполнение флакона

Для обеспечения безопасности эксплуатации установки АПиС реализованы следующие меры [2, 3]:

- герметизация технологических систем – на установке использован байонетный тип соединения трубопроводной арматуры. Флаконы с готовым ЖВВ фиксируются крышкой-защелкой со специальной прокладкой для агрессивных жидкостей;

- оснащение средствами взрывопредупреждения – на установке предусматривается режим технологического и аварийного слива, а также емкости с нейтрализующей жидкостью;

- использование систем противоаварийной автоматической защиты - на установке предполагается реализовать принцип автоматического отключения и аварийного слива по показаниям датчиков температуры сразу на нескольких технологических компонентах установки;

- промывка водой – на установке предусмотрена емкость с водой (или клапан подключения к внешнему источнику) для промывки систем установки при пуске в работу или аварийной остановки.

Подготовка АПиС к работе состоит из следующей последовательности действий.

1. Установка и закрепление АПиС в выбранном месте.

2. Заземление установки.

3. Заполнение технологических ёмкостей жидкостями. Слабощелочной раствор заливается в ёмкость аварийного слива, а вода — в ёмкость приёма заполненных флаконов.

4. Установка резервуаров Окислителя и Горючего в приёмных позициях АПиС.

5. Выполнение присоединений трубопроводов к соответствующим резервуарам.

6. Регулирование и установка в рабочее положение элементов трубопроводной арматуры.

7. Подключение электропитания.

8. Визуальный контроль состояния резервуаров и технологических ёмкостей, температуры на элементах установки по индикаторам на устройстве управления (пульте управления).

После выполнения указанного перечня действий оператор удаляется на безопасное расстояние (устанавливается требованиями техники безопасности на объекте, но не менее 50 м) и выбирает режим функционирования АПиС — автоматический или пошаговый. В обоих режимах в устройстве управления (УУ) задействован режим аварийной остановки процесса по критической температуре на элементах АПиС.

Для проектирования и изготовления установки конкретного заказчика сформирован опросный лист (спецификация):

1. Требуемая производительность флаконов, шт./час.

- 2.1. Количество типоразмеров заполняемых флаконов.

- 2.2. Конструкция, габаритные размеры и вес флакона (по вариантам типоразмеров).

- 2.3. Количество флаконов в поставке, шт.
3. Габаритные размеры и вес ёмкости с окислителем.
4. Габаритные размеры и вес ёмкости с горючим.
5. Количество флаконов (оболочек) в заряжаемой кассете.
6. Ограничения по габаритам установки.
7. Ограничения по весу установки с заполненными технологическими емкостями и кассетами.
8. Тип установки (стационарный или мобильный).
9. Перечень контролируемых параметров процесса смешивания и диапазон допустимых значений параметров.
10. Источник электропитания и требования по обеспечению бесперебойной работы.
11. Климатическое исполнение (IP).
12. Удаление оператора, метров (не менее 50м).
13. Дополнительные опции.
14. Специальные требования к оборудованию.

Развитие техники и технологий горнопроходческих работ идет в направлении автоматизации и роботизации буровзрывных работ [4-8]. Основные пилотные и промышленные образцы роботизированной техники представлены зарубежными предприятиями, такими как ABB, Scania, Billiton, KUKA Robotor и др. В союзном государстве такими проектами занимаются такие предприятия как КамАЗ, БелАЗ, российское подразделение корпорации «Орика СиАйЭс» и некоторые другие.

Вопрос создания промышленных роботизированных установок актуален и активно развивается, но в России по-прежнему отсутствуют образцы техники, ориентированной на использование взрывных технологий в ограниченном пространстве (шахта) или объеме (отдельный объект). В МГТУ им. Н.Э.Баумана (вернее в составе его инженерных подразделений) есть реальные заделы, которые позволяют поставить и реализовать задачу создания робототехнического комплекса (РТК) бурения и закладки патронированных флаконов для этих условий. Проект может быть реализован как совместная разработка нескольких подразделений МГТУ и производственной площадки (в случае выхода на ограниченную серию), например Группы компаний «Галант» (г. Чистополь):

- НУЦ «Робототехника» МГТУ им. Н.Э.Баумана (<http://www.bmstu.ru>) – модуль реализации манипуляций бурения и/или закладки флаконов в шпур, в т.ч. реализация управления РТК;

- инжиниринговые подразделения – совместный проект кафедры «Гусеничные и колесные машины» МГТУ и промышленных групп КамАЗ и ГАЗ
- базовая транспортная платформа под РТК;

- группа компаний «Галант» (г.Чистополь, <http://www.detal116.ru>) - производственная площадка для создания опытного образца АУПиС и производства флаконов для последующего патронирования на стадии эксплуатации;

- поставка комплектующих (детали и компоненты) для создания опытного образца – «Институт производственных исследований» (г.Москва, <http://www.ipi.do.am>).

Функции Генподрядчика осуществляет сторона-инициатор проекта либо основные его участники, например НУЦ «Робототехника», ООО «Галант» в зависимости от требований к проекту со стороны инвестора.

Экспертная оценка, проведенная специалистами МГТУ им. Н.Э.Баумана, Группы компаний «Галант», «Института производственных исследований» по стоимости, а также времени проектирования и создания **опытных образцов** показала:

- установка патронирования и смешивания ЖВР – ориентировочная стоимость – 7,5...8,5 млн. руб.;
- изготовление многоместной технологической оснастки для производства флаконов – 2,0...2,5 млн. руб.;
- ориентировочная стоимость флакона с крышкой при минимальной партии в 200 тыс. шт. – 40 руб.
- общее время выполнения первого этапа проекта (получение и утверждение опытных образцов) АСиП – 9...12 месяцев.
- ориентировочная стоимость реализации проекта РТК буровзрывных работ (опытно-промышленного образца) составляет порядка 150,0 млн. руб. при ориентировочном сроке реализации проекта порядка 2-3-х лет.

Важным условием успешного старта и завершения работ по созданию АПиС является наличие утвержденного (согласованного) технического задания на основании изложенной концепции проекта.

Современный уровень развития науки и техники уже сегодня позволяет приступить к разработке сложных робототехнических комплексов [9], в том числе в роботизации взрывных технологий для горной промышленности. Исключение большого числа работников из технологического процесса обеспечит существенное снижение себестоимости и значительно повысит его безопасность, т.к. присутствие ограниченного числа операторов, управляющих оборудованием и контролирующих его работу предполагается только за пределами опасной зоны. Внедрение роботизации наиболее опасных процессов горного производства подтолкнёт специалистов к разработке и внедрению принципиально новых взрывных технологий, которые позволят исключить присутствие людей при выполнении горнопроходческих работ.

Список литературы

1. Добрынин А.А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. – М.: ИД Академии Жуковского, 2014. – 528 с.
2. Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ N 494 от 03.12.20 г.
3. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах. Технический регламент таможенного союза ТР ТС 012/2011. – 2011г.
4. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. – 2020. – Т.18, № 1. – С. 4-15.
5. Прокопьева В.М., Каймонов М.В. Обзор роботизированной техники в горном деле // Интерактивная наука. – 2023. – №8(84). – С. 49-53.
6. Исьянов О.А., Марчев А.С., Рабольт А.Н., Мерескин И.В. Опыт применения низкопрофильной роботизированной погрузочно-доставочной машины XLPD при

отработке маломощных пластообразных рудных тел Рудника № 8 ПАО «ППГХО» им. Е.П. Славского» // Горная Промышленность. – 2019. – № 6. – С. 44-48.

7. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации // Горная Промышленность. – 2020. – № 1. – С. 8-11.
8. Добрынин А.А. Роботизация взрывных работ. Предпосылки. Результаты. Возможные перспективы // Маркшейдерия и Недропользование. – 2022. – № 3(119). – С. 6-11.
9. Лагута В.С., Калинин С.В. Индустриализация на основе роботизации: варианты постановки задачи создания (внедрения) технической системы // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 1316-1324.

Сведения об авторах:

Лагута Виктор Степанович – к.т.н., доцент;

Галахарь Александр Сергеевич – к.т.н., доцент;

Добрынин Александр Артурович – к.т.н., ведущий научный сотрудник.