

РОБОТИЗАЦИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ. ПРЕДПОСЫЛКИ. РЕЗУЛЬТАТЫ. ВОЗМОЖНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

ROBOTIZATION OF BLASTING OPERATIONS. BACKGROUND. RESULTS. POSSIBLE PROSPECTS

*A. Dobrynin,
candidate of technical sciences,
head of the department,
«Modern Scientific and Technological Academy»,
Moscow.*

The current level of development of science and technology already allows us to start developing robotic explosive technologies for the mining industry, however, we need ideas on how to do this? Based on the analysis of historical prerequisites, the results of scientific research and industrial tests, the idea and options for the implementation of robotic blasting technology in open-pit mining are proposed. The idea of creating a robotic technology of blasting is based on the use of liquid explosive solutions, which, having high power and good fluidity, may be technologically suitable for this. The exclusion of a large number of workers from the technological process will provide a significant reduction in cost and significantly increase its safety, since the presence of a limited number of operators operating equipment and controlling its operation is assumed only outside the danger zone. The introduction of robotization of the most dangerous mining processes will push specialists to develop and implement fundamentally new explosive technologies, which were impossible to allow in the presence of people in principle.

Keywords: robot, unmanned equipment, mining, blasting, liquid explosives, explosive solutions, industrial tests, wireless explosives initiation system, safety.

Роботизация в XXI веке охватывает всё большее количество областей и в т.ч. горную промышленность, однако в России это происходит как-то неспешно, особенно, что касается технологии взрывных работ. Идей как это сделать, тем более готовых технологических решений, не видно. В общем-то, «что делать?» и «с чего начать?» — извечные русские вопросы. Однако сразу следует оговориться, что есть оправдание такому положению дел и оно совершенно не зависит от уровня развития науки и техники. Современный уровень вполне достаточный для развития роботизации в горной промышленности, но пока цена жизни и труда российских горняков находится на таком низком уровне, то даже о дистанционных процессах управления горным производством мечтать не приходится, а не то, что о роботах. Почему так, это уже область исследования скорее гуманитариев. Требования к учёным, горным инженерам и др. техническим специалистам — поначалу, хотя бы, предложить идеи, чтобы в дальнейшем определиться с целями

*А.А. Добрынин,
кандидат технических наук,
заведующий кафедрой,
АНО ДПО «Современная научно-технологическая
академия»,
г. Москва.*

Ключевые слова: робот, беспилотная техника, горная промышленность, взрывные работы, жидкие взрывчатые вещества, взрывчатые растворы, промышленные испытания, беспроводная система инициирования взрывчатых веществ, безопасность.

и задачами, которые может придётся срочно придумывать и решать, если вдруг в России возникнет реальная необходимость в роботизации горной промышленности, включая взрывные работы?

Однако мир не стоит на месте. В некоторых городах развитых стран уже стал появляться беспилотный транспорт, например, в Англии тестируется пассажирский автобус.

Изобретательные, инициативные люди также принимают участие в развитии данного направления. Китайка Чен Тао, пытаясь спастись от коронавируса, воспользовалась игрушечной машинкой с радиоуправлением. Безопасная игрушка, оснащённая двумя видеокамерами и динамиком, ездит за продуктами и с её помощью хозяйка общается с продавцами и людьми на улицах крупного города.

Есть примеры реализации и более серьёзных проектов, в т.ч. с применением взрывчатых материалов (ВМ). Например, проект японского космического агентства JAXA, в результате реализации которого в 2019 г., после трёх с половиной лет полёта аппарата «Хаябуса-2», дистанционно управляемым взрывом кумулятивного заряда пластифицированного октогена ~ 4,5 кг, который метнул медный ударник ~ 2,5 кг, была разрушена порода на поверхности Астероида 1999 JU3 (Рюгу). При этом, чтобы не попасть в опасную зону взрыва по разлёту кусков породы «Хаябуса-2» успел спрятаться за астероид. В 2020 г. образцы породы успешно доставлены на Землю [1].

Известно, что горное дело было и остаётся достаточно консервативным и, видимо, чтобы его эффективно развивать следует заимствовать подходящие идеи и технические решения из других отраслей промышленности, где развитие роботизации идёт значительно быстрее. Например, серьёзных успехов добились некоторые компании в области роботизации сельскохозяйственных работ, где на взгляд автора, роботам приходится выполнять не менее сложные операции, чем те, которые встречаются в горной промышленности. В Великобритании, Испании и США разработаны роботизированные машины, которые собирают и упаковывают только зрелую клубнику. В Израиле роботы, оснащённые машинным зрением и искусственным интеллектом, на лету снимают с яблони только спелые яблоки. В Китае создаются «без-

людные фермы», где работает автономная сельхозтехника, которая опирается на национальную систему глобального позиционирования Beidu, а также на развернутые мобильные сети 5G.

Из российских достижений в данной области можно отметить беспилотный зерноуборочный комбайн Togum 785 компании Ростсельмаш. Опытный образец комбайна самостоятельно определяет свое положение в пространстве благодаря приемнику RNSS, использующего сигналы от GPS, Glonass и Beidu. Кроме того, для уточнения положения с точностью до 2,5 см комбайн дополнительно получает данные со стационарной базовой станции РТК, размещаемой на расстоянии до 5 км от комбайна. Комбайн обнаруживает препятствия по пути движения, избегания столкновений с ними. Презентация беспилотного Togum 785 была успешно проведена на уборке сои в октябре 2021 г. в Тамбовской области на базе ООО «Агрофирма «Октябрьская».

Известный дефицит рабочей силы в аграрном секторе заставляет многие фирмы внедрять беспилотную технику и создавать автономные фермы. Уместно отметить, что роботы попутно решают и социальные проблемы некоторых стран, т.к. они уже сегодня разводят цветы, клубнику, виноград, помидоры, салат, зерно, а не гастарбайтеров, избыточное количество которых вряд ли может стимулировать развитие роботизации.

В российской горной промышленности есть похожие проблемы, т.к. в отдаленные районы приходится привлекать работников для работы вахтовым методом не только со всей страны, но и из-за рубежа. При этом на некоторых горных предприятиях вахты длятся 4 и более месяцев при 12-ти часовой рабочей смене, причём без выходных, что по отношению к людям, оторванным от своих семей, это, по крайней мере, не гуманно. Ещё в средние века в Европейских странах принимались горные законы, которыми горнорабочим запрещалось работать в течение двух смен (продолжительность каждой смены около 6 часов) кряду, «дабы работа их не истощала» [2].

Горные предприятия с точки зрения автоматизации и роботизации технологических процессов имеют преимущество по сравнению, например, с городскими условиями, где уже случались аварии с беспилотными автомобилями, хотя бы потому, что здесь, при эффективном контроле территории предприятия и управлении квалифицированным персоналом, встречается меньше неадекватных и т.п. людей, а в случае успешного внедрения, даже дистанционного управления технологическим оборудованием, на первом этапе, должно произойти существенное сокращение работников из числа тех, которые вынуждены находиться в загазованном, запылённом призабойном пространстве и в других опасных местах. Удаление бурильщиков, взрывников, водителей-операторов смесительно-зарядных машин (СЗМ) и других работников из призабойного пространства обеспечит снижение: рисков получить травму и профзаболевание, стоимости бурения, заряжания, транспортировки взрывчатых веществ (ВВ) и забойки. Кроме того, обеспечивается экономия на заработной плате и времени отдыха работников, а также экономия энергии, топлива и др. материалов.

Дистанционное управление такими процессами как бурение, экскавация и транспортирование разрушенной горной массы уже внедряется на горных предприятиях Австра-

лии, Беларуси, Канады, Китая, США, Чили, ЮАР и где-то понемногу в России [3-9], поэтому есть основание считать, что оно будет освоено всеми передовыми горными компаниями мира, где горнякам платят достойную зарплату, обеспечивают безопасность труда на хорошем уровне и не позволяют себе содержать лишних работников.

Процессы изготовления ВВ, размещения их и средств инициирования (СИ) в зарядных выработках, являются наиболее опасными среди технологических процессов, без которых сегодня невозможно горное производство, где необходима энергия взрыва.

Однако, чтобы создать новую безопасную роботизированную технологию, нужна идея, которая может быть успешно воплощена в конкретном проекте, если все предлагаемые технологические операции сегодня действительно реализуемы, т.е. для этого имеются необходимое оборудование, материалы или их несложно создать, используя доступное сырьё, освоенные технологии и пр. Но, и этого мало. Очень важно, чтобы появились дальновидные, успешные люди, имеющие большое желание развивать роботизацию в горном деле, готовые предоставить для этого необходимые ресурсы.

На наш взгляд из всех известных и применяемых сегодня в горной промышленности ВВ наиболее технологичны жидкие ВВ, которые практически свободно, самотёком могут заполнять предназначенные для них зарядные полости, обеспечивая, при этом, без каких-либо дополнительных усилий, применения специальных насосов и др., достаточно высокую плотность ВВ в заряде, что в совокупности можно рассматривать как возможную идею для создания роботизированной технологии взрывных работ.

Известно, что взрывчатые составы с преимущественным содержанием жидких компонентов, приготовляемые непосредственно на месте употребления, были предложены и запатентованы немецким физиком и химиком Германом Шпренгелем ещё в 1871 г. [патенты Великобритании № 921 и № 2642]. Данный тип ВВ так и вошёл в историю под названием «Взрывчатые вещества Шпренгеля». Эти ВВ представляли собою простые смеси окислителя и горючего и могли быть инициированы капсюлем-детонатором. В качестве горючего указывались нитробензол, нитронафталин, пикриновая кислота, сероуглерод, нефтепродукты, а в качестве окислителей — хлорат калия, концентрированная (дымящая) азотная кислота и жидкая двуокись азота (А сколько новых интересных химических веществ появилось с тех времён? Кто ими сегодня серьёзно занимается? Кто их исследовал? — *Примечание автора*). Компоненты взрывчатых смесей Шпренгеля являются опасными и вредными веществами, но по отдельности не взрываются, благодаря чему их можно безопасно транспортировать и смешивать непосредственно в местах применения, особенно, если это происходит без участия человека. Данные ВВ достаточно успешно применялись в горном деле и строительстве в конце XIX - начале XX веков.

Эжен Турпен — французский химик-органик, также занимался жидкими ВВ. В 1881 г. он разработал и запатентовал жидкую взрывчатую смесь «панкластит», состоящую из тетраоксида диазота (N_2O_4) в качестве окислителя, и различных горючих веществ, в общем-то, относящуюся к более общему классу так называемых «ВВ Шпренгеля».

Преимуществами панкластита на период его разработки являлись невысокая стоимость, высокие плотность и энергия взрыва, а также отсутствие твёрдых продуктов взрыва. Из-за высокой коррозионной активности тетраоксида азота хранение и транспортировка его должны осуществляться в специальной таре. Приготовленная смесь обладает высокой чувствительностью к механическим воздействиям, но её несложно приготовить непосредственно на месте ведения взрывных работ. Зачем транспортировать готовое ВВ?

Во время Первой мировой войны из-за острой нехватки штатных ВВ промышленного производства, панкластиты нашли широкое применение, в первую очередь, в авиабомбах. Французская армия применяла панкластит под названием «Анилит» в бомбах специальной конструкции с разделным размещением компонентов. В итальянской армии использовалась смесь бензола с тетраоксидом азота. Есть информация о крупном, для того времени, взрыве заряда массой около 6 т (примерно 4,5 т тетраоксида азота и 1,5 т бензола), который провели в Бродино, в 1921 г.

В период Второй мировой войны панкластиты вновь нашли применение. Часть британских тяжёлых авиабомб снаряжалась «Анилитом». После Второй мировой войны термин «Анилит» распространился на все составы, содержащие тетраоксид азота и в XXI веке коллектив ООО ПКФ «Стимул» решил продолжить эту традицию, организовав разработку, испытания и внедрение в промышленность жидких ВВ «АНИЛИТЫ» по ТУ 7276-002-95310915-2016, на которые, в результате успешных промышленных испытаний 17.01.2017 г. Ростехнадзор выдал разрешение на применение ВВ № РВВ-0411.

ООО ПКФ «Стимул» успешно применяло жидкие ВВ при реконструкции автодороги «Цуриб-Арчиб» в Дагестане в 2016 г., а также при обрушении ж/б трубы и дроблении ж/б фундаментов на территории бывшей ТЭЦ-3 в г. Грозном, в 2014 г. и др. объектах [10, 11].

В качестве горючих компонентов согласно ТУ 7276-002-95310915-2016 пока предусмотрено использовать: топливо для реактивных двигателей по ГОСТ 10227-2013, топлива термостабильные Т-6 и Т-8В для реактивных двигателей по ГОСТ 12308-2013 и керосины осветительные по ТУ 38.401-58-10-90. В результате проведённых испытаний, а также на основании рекомендаций учёных РХТУ имени Д. И. Менделеева пришлось отказаться от использования ранее применяемого дизельного топлива («увы, в каждой заправке своя сольера»), т.к. использование горючего компонента низкого качества может привести к непредсказуемым последствиям.

Из наших современников, которые серьёзно изучали жидкие ВВ следует отметить профессора школы материаловедения и инженерии Пекинского Технологического института Лю Ципина. В его книге «Liquid explosive» (2015 г.) упоминается, что жидкие взрывчатые смеси являются одними из самых важных жидких ВВ, разработанных до сих пор [12]. В настоящее время они широко используются в различных областях, включая производство, добывающую промышленность, сельское хозяйство и использование в военных целях [13].

Из российских достижений в данной области, кроме работ проведённых компанией ООО ПКФ «Стимул», следует

отметить компанию «Уралхим», которая организовала проведение ряда научно-исследовательских работ с жидким взрывчатым раствором (ЖВР) «Эксид» на основе кислоты азотной концентрированной по ГОСТ 701-89 [14, 15]. Некоторые характеристики данного ЖВР представлены в *табл. 1*. Кроме определения взрывчатых свойств ЖВР проводились экспериментальные исследования пластиков с целью выбора стойких к действию концентрированной азотной кислоты. В результате проведённых исследований было установлено, что некоторые сорта доступных пластиков вполне могут быть пригодны не только для изготовления оболочек под заряды ЖВР, но и для изготовления узлов зарядного оборудования вместо дорогостоящих спецсталей и фторопластов, используемых сегодня при работе с азотной кислотой. В проведённом эксперименте трубчатые оболочки, изготовленные из некоторых видов пластиков, простояли в естественных условиях при температуре от минус 11 до плюс 24°C с концентрированной азотной кислотой 3 месяца и могли бы простоять дольше, т.к. не деградировали, не потеряли своих прочностных свойств. В связи с чем есть основание полагать, что для оболочек под заряды, например, ЖВР панкластиты, могут быть использованы более дешёвые сорта пластика, например вторичные, полученные в результате переработки отходов, но для уточнения этого предположения необходимо проводить дальнейшие исследования. К сожалению, не смотря на хорошие экспериментальные результаты, компания «Уралхим» не довела работы с ЖВР «Эксид» до логического завершения — внедрения полученных результатов в горную промышленность. Возможно, случилось это потому, что жидкие ВВ могут стать «могильщиками» аммиачно-селитренных ВВ. Остаётся только надеяться, что вдруг кто-то сумеет возобновить научно-исследовательские работы в данном перспективном направлении.

Если рассматривать ЖВР, изготавливаемые в местах ведения взрывных работ, то, по сравнению с традиционными промышленными ВВ, дополнительно можем получить существенные преимущества начиная с отсутствия необходимости в каком-либо обращении ВМ. Например, нет необходимости содержать склады ВМ, грузить, перевозить ВМ и пр., что небезопасно. Очередная авария с грузовиком компании «Махат», который перевозил ВМ на золотодобывающий рудник в Гане, произошла 20 января 2022 г. в результате чего 17 человек погибли сразу, пострадало около 60 человек, при этом в зоне взрыва оказались около 500 жилищ, большая часть из которых разрушена полностью. Кроме того, благодаря стехиометрическому соотношению окислителя и горючего в составе ЖВР в районе производства взрывных работ и вокруг получим более чистую атмосферу за счёт снижения токсичных продуктов взрыва. [16, 17].

Заряжание скважин, а точнее формирование, изготовление заряда ВВ в предварительно размещённых в скважинах оболочках, например, в пластиковых, может производиться по-разному. Возможные технологические варианты приведены ниже.

Вариант 1. Сначала в оболочку, расположенную в скважине, заливается жидкий горючий компонент, а затем окислитель, который обычно имеет большую плотность. В этом случае происходит самопроизвольное растворение, смешение компонентов и, как показала практика, в случае формирования панкластитов, в достаточно ограниченное время.

Таблица 1

Характеристики некоторых жидких взрывчатых растворов.

Наименование	Химическая формула	Теплота взрыва, кДж (ккал)	$d_{кр}$ (ρ), мм	Бризантность по Гессу, мм	Фугасность по Трауцлю, см ³	Объём газов, л/кг	D, км/с	$H_{уд}$, 2 кг, см (10 кг, %)
Панкластит № 1	$N_2O_4 + CS_2$ 35,7:64,3				330	602		
С бензолом	$N_2O_4 + C_6H_6$ 81,8:18,2							
С нитробен-золом	$N_2O_4 + C_6H_5NO_2$ 69,8:30,2	7440 (1777)			505		8,0 (1,38) ²	
С нитробензолом	$N_2O_4 + C_6H_5NO_2$ 65:35						7,65	
Анилит	$N_2O_4 + C_xH_y$	6280 (1500)	менее 1 (1,28)	32	495	750	6,7 (1,28)	60 (10 кг) (8 %)
С азотной кислотой	$HNO_3 + C_6H_5NO_2$ 71,7:28,3	(1465)	6-7	21			7,0 (1,4)	
С азотной кислотой и THM	$HNO_3 + C(NO_2)_4 + C_6H_5NO_2$ 58,3:14,6:27,1		5				6,8	
Экслид	HNO_3 + сульфон	5280 (1260)	менее 2 (1,35)			760	6,6 (1,35)	
TNT	$CH_3C_6H_2(NO_2)_3$	3700 (870)	60-80 (0,9-1) 26,9(1,62)	16-17 (порошок)	285-310	684(1,62) 690(1,64)	5-5,2 (1) 7 (1,6)	100 (4-8 %)
RDX	$C_3H_6N_3(NO_2)_3$	5000(1,1) 5420(1,7)	1-1,5 2-4(1,1)	25; 29 (25 г) ³	470; 480 520	890 908	6,08 (1) 8,38 (1,7)	30-32 (80 %)
HMX	$C_4H_8N_4(NO_2)_4$	5080(1,3) 5460(1,8)	1,0; 2-4(1,12)	25 (25 г)	415; 480	782 908	6,08 (1) 9,124 (1,9)	- (84 %)
PETN	$C(CH_2ONO_2)_4$	5756 5866 (1400)	1-1,5(1,0)	25 (25 г)	490; 500	780 790	5,55 (1,0) 8,4 (1,62)	10-17 (100 %)
Аммонит № 6ЖВ по ГОСТ 21984-76	$NH_4NO_3 + CH_3C_6H_2(NO_2)_3$	4312 (1030)	10-13 4-6	14-15	365-370	895	3,6-4,8	40 (16-32%)

Примечание: 1 - индивидуальные ВВ и Аммонит № 6ЖВ приведены для сравнения;
2 - в скобках указана плотность ВВ, г/см³;
3 - в скобках указана масса ВВ, г.

Например, данный вариант был отработан при изготовлении сравнительно небольших зарядов ВВ при проведении исследовательских работ и промышленных испытаний с ЖВР «Анилиты» по ТУ 7276-002-95310915-2016. Однако, прежде чем распространить данный способ на формирование зарядов ВВ в глубоких, длинных скважинах необходимо провести дополнительные исследования, чтобы точно убедиться в пригодности конкретных компонентов в реальных условиях горного производства.

Вариант 2. Окислитель и горючее смешиваются в СЗМ или в каком-либо другом смесительном оборудовании непосредственно в процессе подачи их уже в составе ВВ в скважину. Для этого в конструкции СЗМ (оборудовании) должен быть предусмотрен смеситель статического типа, которого, как показала практика, должно быть вполне достаточно для многих видов ЖВР. В противном случае дополнительно в конструкцию СЗМ (оборудования) устанавливается динамический смеситель не сложной конструкции, например, небольшая мешалка, миксер. В этом случае уже в скважину заливается готовое ВВ и, хотя вопросов с точки зрения смешения компонентов, в общем-то нет, однако безопасность выполнения операции заряжания ВВ снижается, поэтому в таких операциях не должны участвовать люди. Такие операции должны выполняться дистанционно управляемой техникой или роботами.

Вариант 3. Благодаря использованию сильных окислителей, растворителей, например, при использовании концентрированной азотной кислоты по ГОСТ 701-89, как это было в экспериментах, организованных компанией «Уралхим», горючие компоненты могут применяться и в твёрдом виде, например, в гранулированном или др. При этом между гранулами или любыми другими фрагментами горючего должно быть обеспечено пространство для свободного распределения окислителя по всей зарядной полости с целью обеспечения необходимого контакта с горючим. После чего, и желательно, через конкретное, заданное время, горючий компонент должен полностью раствориться, т.е. должен образоваться («созреть») ЖВР, обладающий одинаковыми или почти одинаковыми характеристиками по всей колонке заряда ВВ. При этом можно будет использовать не один, а сразу несколько горючих и др. компонентов, за счёт чего возможно будет обеспечить требуемое время растворения их в окислителе, т.е. время «созревания» ЖВР. Логично желать, чтобы «созревание» ЖВР случилось именно к моменту окончания всех работ на заряжаемом блоке, но никак не ранее, что вполне возможно.

Возвращаясь к вопросу о роботизации взрывных работ, можем отметить, что технологические операции, которые необходимо выполнять СЗМ или другой зарядной техникой (оборудованию), в общем-то не сложны и сегодня успешно

выполняются в мире, в других технологических процессах в различных отраслях промышленности.

Исходя из описанных вариантов необходимо обеспечить следующие операции:

- ✧ загрузка, заливка, в основном, жидких невзрывчатых компонентов в СЗМ или в другое оборудование;
- ✧ доставка компонентов на заряжаемый блок только по территории горного предприятия, а не по автодорогам общего пользования, что кроме повышения безопасности нашего общества, позволит обеспечить требуемую управляемость и точность движения беспилотного автомобиля за счёт установки в требуемых местах возле автодорог горного предприятия стационарных современных навигационных станций и др. необходимого оборудования;
- ✧ слив, подача компонентов в скважины (необходимое количество определяется заданием по каждой скважине), что уже давно отработано в мире и, в т.ч. в России, с использованием эмульсионных ВВ и ANFO, при этом в составе оборудования автомобиля не требуется насос для подачи ВВ в скважину, т.к. ЖВР обладают хорошей текучестью в отличие от вязких эмульсионных ВВ, что значительно упрощает конструкцию СЗМ или автомобиля без смесителя. Суть выполнения данной операции сводится к простому действию — открытию и закрытию крана, расположенного под ёмкостью, в которой находится невзрывчатый жидкий компонент;
- ✧ размещение забоечного материала в верхней части скважины.

Анализируя указанные операции отметим, что загрузка автомобиля или СЗМ компонентами может осуществляться в местах их хранения или «с колёс», например, из оборотных железнодорожных или других цистерн, при участии оператора-водителя и т.к. ВВ здесь нет, то требуется выполнять известные требования правил безопасности, которые должны соблюдаться на любом химическом или др. предприятии при работе с жидкими химическими веществами (окислителями и горючими).

Доставка компонентов ВВ на блок во время первого рейса, который имеет возможность запомнить компьютер автомобиля, осуществляется с водителем. Исключение составляет вариант 2, где предусмотрено изготовление ВВ в СЗМ на заряжаемом блоке с первого захода. Однако и в этом случае водитель может выполнить первый рейс до заряжаемого блока, откуда перед началом процесса заряжания (формирования ВВ в зарядной выработке) должен будет удалиться на безопасное расстояние и далее контролировать работу зарядной техники (беспилотного автомобиля).

В случае 1 и 3 варианта, когда на заряжаемый блок заводится и заливается в скважины только первый невзрывчатый компонент, например, горючее, автомобиль управляется водителем. При завозе второго невзрывчатого компонента, например, окислителя, и слива его в скважину, где уже находится горючее, беспилотный автомобиль должен выполнять данную операцию уже самостоятельно или управляться оператором дистанционно с безопасного расстояния, т.к. в момент размещения второго компонента в скважину там начинает образовываться ВВ в результате растворения компонентов друг в друге.

Расстояние от беспилотного, контролируемого или дистанционно управляемого автомобиля или СЗМ ориентировочно составляет 1,5-2,0 км, однако должно быть не менее расчётного безопасного расстояния для случая детонации заряда ВВ, сформированного в конкретной скважине. В ёмкостях автомобиля и СЗМ находятся только невзрывчатые компоненты, т.е. предполагать, что они детонируют или заряженный блок целиком, в принципе, не следует.

Автоматическое опускание и подъём зарядного шланга для слива заданного количества компонентов или ВВ в скважину давно уже отработано при использовании эмульсионных ВВ.

Получается, что все описанные операции, которые необходимо выполнить для подготовки и проведения взрывных работ сегодня выполнимы. И они, по мнению автора, не сложнее поиска, сбора и упаковки спелой клубники в полях беспилотными комбайнами.

Узким, слабым звеном в процессе подготовки взрыва до сих пор на большинстве горных предприятий остаётся операция монтажа взрывной или электровзрывной сети. Эта важная технологическая операция выполняется вручную и от качества монтажа взрывной сети зависит не только сохранность техники, но и жизнь людей, участвующих в технологических операциях, связанных с дальнейшей переработкой взорванной горной массы. До сих пор встречаются необнаруженные, вовремя, отказы скважинных зарядов ВВ и никто не гарантирует, что в ближайшее время (годы) это прекратится.

При работе на заряжаемом блоке большого количества различной техники случаются наезды на волноводы, детонирующий шнур и др. элементы взрывной сети, не исключая её повреждения, при том, что производство ещё не дошло до дистанционного управления машинами, тем более до беспилотной техники.

Однако, чтобы, автоматизировать и далее роботизировать операции заряжания ВВ надо было всё-таки как-то решить вопрос с монтажом взрывной сети. И другого варианта, кроме как разместить боевики с взрывной сетью заранее, учитывая уровень развития техники, под рукой не было. Да, это технически в принципе было возможно, однако могло создать известные трудности при манёврах СЗМ и/или другой техники во время заряжания скважин.

Решить данную проблему, т.е. открыть широкие горизонты для развития новых, в т.ч. роботизированных взрывных технологий возможно благодаря использованию беспроводных систем инициирования (БСИ), т.е. систем нового поколения. И весьма кстати в мире, в XXI веке появилась первая БСИ «WebGen™», разработанная компанией «Ogica», которая передает сигнал для инициирования взрыва через массив горных пород, т.е. полностью исключает необходимость использования внутрискважинных и поверхностных соединительных проводов [4]. БСИ можно устанавливать в зарядные выработки заранее, а про монтаж взрывной сети и вероятность её повреждения в процессе монтажа уже можно позабыть. Промежуточные детонаторы (ПД) БСИ «WebGen™» включают в себя: электронику с батареей, соединительный порт для установки замедления, 3-х осевую антенну, пентолитовую шашку с детонатором и замковое устройство, удерживающее все элементы в конструкции ПД. ПД БСИ собираются и кодируются непосредственно возле заряжаемых

выработок. БСИ «WebGen™» имеет 3-й уровень совокупной функциональной безопасности (SIL 3), т.е. система всегда находится в безопасном состоянии до момента инициирования и, возможно, в т.ч. поэтому уже применяется на горных предприятиях в Австралии, Аргентине, Бразилии, Доминиканской Республике, Канаде, Колумбии, Мексике, Перу, США, Финляндии, Чили.

Внедрение БСИ, относимых автором к системам инициирования 6-го поколения, позволит значительно повысить уровень безопасности операций с ВМ в условиях как открытых, так и подземных горных предприятий, при этом открываются широкие возможности для внедрения роботизированных технологий взрывных работ, для реализации которых могут понадобиться компоненты и ВВ, о которых ранее не знали или не обращали на них внимание, т.к. с ними было неудобно работать вручную, перевозить, хранить на складах ВМ и др.

В любом случае ВВ, в основном, будут изготавливаться на местах из невзрывчатых компонентов, а к таким ВВ относятся изобретённые ещё в XIX веке жидкие ВВ, достаточно мощные, чтобы их не рассматривать как перспективные для горного производства и других видов взрывных работ.

В заключение следует сказать, что многие стадии технологического процесса горного производства взаимосвязаны и следует роботизировать все производственные операции, где возможна, даже случайная, встреча с ВМ. Например, после производства массового взрыва происходит экскавация раздробленной массы и здесь эпизодически обнаруживаются скрытые отказы зарядов ВВ, которые сразу после взрыва не могут обнаружить взрывники. При воздействии

ковша экскаватора на ВМ случается их детонация с трагическими последствиями. Например, в результате воздействия ковша экскаватора на ВМ на Лебединском ГОКе 11 ноября 2020 г. травмы получил помощник машиниста, а ковш экскаватора разлетелся на части, а 6 августа 2021 г. там же погиб 35-летний машинист экскаватора «Hitachi 5600/6». В результате взрыва части скважинного заряда ВВ кабина с машинистом отделилась от корпуса экскаватора и улетела на нижний горизонт.

Выводы

1. Современный уровень развития науки и техники уже сегодня позволяет приступить к разработке роботизированных взрывных технологий для горной промышленности, однако, нужны идеи как это сделать и с чего начать?

2. 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.

3. Внедрение роботизации наиболее опасных процессов горного производства подтолкнёт специалистов к разработке и внедрению принципиально новых взрывных технологий, которые допустить в присутствии людей в принципе было невозможно.

4. Исследователям следует внимательнее отнестись к изучению класса ЖВР, которые обладая хорошими энергетическими характеристиками и текучестью, могут оказаться востребованными в роботизированных взрывных технологиях. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Александр Хохлов. Грунт с небес: «Хаябуса-2» и «Чанъэ-5» вернулись на Землю // ТрВ-Наука. 2020. № 25(319).
2. Гринько Н.К., Грυνь В.Д., Лунев В.Г. Недр духовной культуры горного дела. Изд. ООО «Типография «ИМИДЖ-ПРЕСС», 2011, с. 36.
3. Онуприенко В.С., Шептура В.И., Персиянов Е.В., Волков А.В. Современное состояние и перспективы развития горных работ в Кировском филиале АО «Апатит», Горный журнал № 9, 2019, с. 50-56.
4. Оверченко М.Н., Мозер С.П. Оборудование и технологии компании ORICA для ведения подземных горных работ / Горная Промышленность № 5 (147), 2019.
5. Исыанов 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 № 6 / 2019, с. 44-48.
6. Хазин М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых / Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2020. Т. 18. № 1. С. 4-15.
7. Гусаков Г.Б. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ БЕЛАЗ / Горная Промышленность № 3, 2021. С. 44-47.
8. Минин И.В., Заворницын В.В., Плотников А.М., Минин В.В. Доход при безлюдных технологиях горных производств ОАО «УГМК» / ГЛОБУС. Геология и бизнес № 1(65) март 2021. С. 132-136.
9. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации / Горная Промышленность № 1, 2020. С. 8-11.
10. Добрынин А.А., Абдулгаджиев А.М., Добрынин И.А. Анилиты: результаты промышленных испытаний // Горение и взрыв. 2017. Т. 10. № 4. С. 92-95.
11. Добрынин А.А., Добрынин И.А. Повышение безопасности при организации и проведении специальных взрывных работ//Горный информационно-аналитический бюллетень № 8, М.: Мир горной книги, 2015, с. 345-349.
12. Sun Y (1992) Military composite explosives. Beijing.
13. Liu, J. Liquid explosives. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2015. - 344 p.
14. Патент RU 2654971 Смесевое жидкое взрывчатое вещество. Бюллетень № 15, Роспатент, 2018 г.
15. Генкин М.В., Розаренова Т.В., Добрынин А.А., Лавров В.В., Савченко А.В. Жидкое взрывчатое вещество «Экслид». Горение и взрыв, 2018. Том. 11. № 4. С. 125-129.
16. Добрынин А.А. Взрывчатые вещества. Химия. Составы. Безопасность. - М.: ИД Академии Жуковского, 2014. - 528 с.
17. Добрынин А.А. Взрывы промышленных ВВ — значимый экологический аспект. Рациональное освоение недр № 1, 2019, с. 64-72.