



УДК 622.24:622.268.4

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ДЛЯ БУРЕНИЯ ВОССТАЮЩИХ ВЫРАБОТОК В КАЧЕСТВЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СБОЕЧНЫХ СКВАЖИН В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

Ананьев К.А.¹, Ермаков А.Н.¹, Хорешок А.А.¹, Сидоров М.С.², Отчайкин М.С.³

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

²ПАО «Распадская»

³ООО «СЦ Автоматики»



Информация о статье

Поступила:

17 декабря 2022 г.

Рецензирование:

11 апреля 2023 г.

Принята к печати:

25 июня 2023 г.

Ключевые слова:

бурение, сбоечные скважины,
установки для бурения
восстающих выработок,
метановоздушная смесь

Аннотация.

На шахтах Кузбасса метановоздушная смесь из завального пространства отводится через сбоечные скважины. Время бурения одной скважины доходит до 5-7 дней, включая процесс обсадки, что весьма значительно при бурении большого числа (несколько десятков) сбоек. Такая длительность связана прежде всего с применяемым оборудованием. Как правило, для этих целей используются буровые установки типа БГА2 (БГА2М или БГА2В). Требуемый диаметр скважины – 900 мм и более, и БГА2 не способна за один-два захода пробурить на эту величину, а тем более сразу в процессе бурения установить обсадную трубу. В статье проведен обзор установок для бурения восстающих выработок для определения возможности их применения как альтернативы БГА2. Установлено, что, несмотря на достоинства, в полной мере эти установки не способны заменить существующую технику.

Для цитирования: Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Хорешок А.А., Сидоров М.С., Отчайкин М.С. Оценка возможности применения установок для бурения восстающих выработок в качестве технических средств для создания сбоечных скважин в угольных шахтах Кузбасса // Техника и технология горного дела. – 2023. – №2(21). – С. 4-25. – DOI:10.26730/2618-7434-2023-2-4-25, EDN: LEBNXL

Введение

Для обеспечения безопасности ведения горных работ на угольных шахтах Кузбасса в качестве одного из мероприятий осуществляется изолированный отвод метановоздушной смеси из завального пространства. Данная смесь отводится через сбоечные скважины. На шахте «Ерунаковская-VIII» для бурения сбоечных скважин применяются установки БГА2М (для окончательного расширения и обсадки), которые широко распространены на шахтах Кузбасса. При этом время бурения одной скважины доходит до 5-7 дней, включая процесс обсадки, что весьма значительно при бурении большого числа (несколько десятков) сбоек. Такая длительность связана прежде всего с применяемым оборудованием. Как правило, для этих целей используются буровые установки типа БГА2М и БГА2В. Требуемый диаметр скважины – 900 мм и более, и БГА2М/БГА2В не способна за один-два захода пробурить на эту величину, а тем более сразу в процессе бурения установить обсадную трубу, применяемую в качестве постоянной крепи. Число проходок с постепенным расширением скважины равно шести, начиная с пилотной скважины диаметром 76 мм и заканчивая скважиной 900 мм, после идет



обсадкой трубой 800 мм. При этом скважины малого диаметра (до 350 мм) бурятся установкой АБГ-300, т. е. для бурения одной скважины применяется две установки.

Вариантом повышения скорости возведения одной скважины является снижение числа проходок. Еще одним важным моментом, требующим реализации, является одновременное с бурением крепление скважины. Незакрепленная скважина при возникновении геодинамических явлений может разрушиться, что приведет к необходимости бурения новой. Так как БГА2М/БГА2В по своим параметрам не подходят для реализации данной задачи, требуется рассмотреть возможность применения других буровых установок, способных в один проход бурить скважину нужного диаметра (не считая возможной пилотной скважины, требуемой для точности бурения) с одновременной установкой обсадной колонны.

В данной статье рассматривается возможность применения установок для бурения восстающих выработок (Raise Boring Machines – далее RBM).

Материалы и методы

Для оценки возможности применения RBM определена следующая последовательность:

- 1) описание условий эксплуатации и требований к дегазационным скважинам, указание сведений о применяемых на данный момент буровых установках БГА2М/БГА2В;
- 2) описание назначения и обзор существующих конструкций RBM, сбор данных об их основных параметрах;
- 3) анализ параметров RBM и оценка возможности применения RBM для бурения сбоечных скважин в угольных шахтах Кузбасса.

При описании условий эксплуатации в основном использованы данные шахты «Ерунаковская-VIII», для определения наиболее распространенных геометрических параметров выработок используются статистические данные других шахт Кузбасса. При проведении обзора RBM требования к дегазационным скважинам дадут информацию, какие параметры RBM необходимо собирать для их последующего анализа. Параметры буровых установок БГА2М/БГА2В будут использоваться для сравнения с параметрами RBM.

Обзор существующих конструкций RBM и сбор данных об их основных параметрах осуществляется на основании каталожных данных заводов-изготовителей.

На основании полученных в ходе обзора сведений будет производиться анализ параметров RBM, их сравнение с БГА2М/БГА2В и оценка возможности применения RBM для бурения сбоечных скважин в угольных шахтах Кузбасса. В качестве критериев оценки будут выступать требования к дегазационным скважинам.

Результаты

Описание условий эксплуатации и требований к дегазационным скважинам, указание сведений о применяемых на данный момент буровых установках БГА2М/БГА2В

Бурение сбоечных скважин на шахте «Ерунаковская-VIII» осуществляется из вентиляционного штрека подготавливаемой к отработке лавы в конвейерный штрек действующего забоя. Такая схема широко распространена на многих шахтах Кузбасса. Геометрические параметры вентиляционных штреков ряда шахт приведены в Таблице 1.

На шахте Алардинская вентиляционный штрек на самом деле имеет форму трапеции, но не с параллельными почвой и кровлей, а с параллельными боковыми поверхностями, при этом кровля повторяет границу залегания пласта и расположена под углом порядка 13°. Поэтому условно ее можно также считать прямоугольной, как указано выше в таблице.

Из данных Таблицы 1 видно, что площадь выработки в свету изменяется от 12,3 до 21,3 м². При этом больше 18 м² – только две выработки, а менее 13 м² – одна. В диапазоне от 13 до 18 м² находится 8 выработок. Этот диапазон площадей сечений вентиляционных выработок, из которых будет производиться бурение сбоечных скважин, является наиболее распространенным для приведенного ряда шахт Кузбасса и в дальнейшем будет принят за типовой в рамках данной работы.

Таблица 1. Геометрические параметры вентиляционных штреков ряда шахт Кузбасса [1]
Table 1. Geometric parameters of ventilation drifts of a series of Kuzbass mines [1]

Шахта	Площадь выработки в свету, м ²	Габариты (Ш×В), мм	Форма
ш. Талдинская-Западная-1	17,4	-	прямоугольная
ш. Талдинская-Западная-2	21,3	5200×4200	прямоугольная
ш. им. 7 ноября	16,8	4200×4500	прямоугольная
ш. Комсомолец	13,95	4500×3100	прямоугольная
ш. Полысаевская	12,3	4100×3050	прямоугольная
ш. Первомайская	13,5	-	прямоугольная
ш. Первомайская	13,3	4500×3500	прямоугольная
ш. Красноярская	14,7	4500×3500	прямоугольная
ш. Ерунаковская	17,5	5000×3500	прямоугольная
ш. им. С.М. Кирова	16,1	5200×3100	прямоугольная
ш. Алардинская	20,8	5000×(3400-4700)	прямоугольная

Максимальный диаметр, на который происходит бурение – 900 мм, что связано с возможностями применяемого бурового оборудования. В условиях шахты «Ерунаковская-VIII» для улучшения изолированного отвода метановоздушной смеси из завального пространства диаметр скважины может быть увеличен до 1,5 м. Длина скважины определяется целиком между вентиляционным и конвейерным штреками и составляет порядка 40 м. Угол бурения составляет 5-15 градусов к горизонту. Бурение осуществляется по углю. При встрече с породными прослойками чаще всего происходит искривление траектории бурения и скважина перебуривается.

Буровое оборудование располагается в выработке площадью около 13-18 м² в свету (Рис. 1).

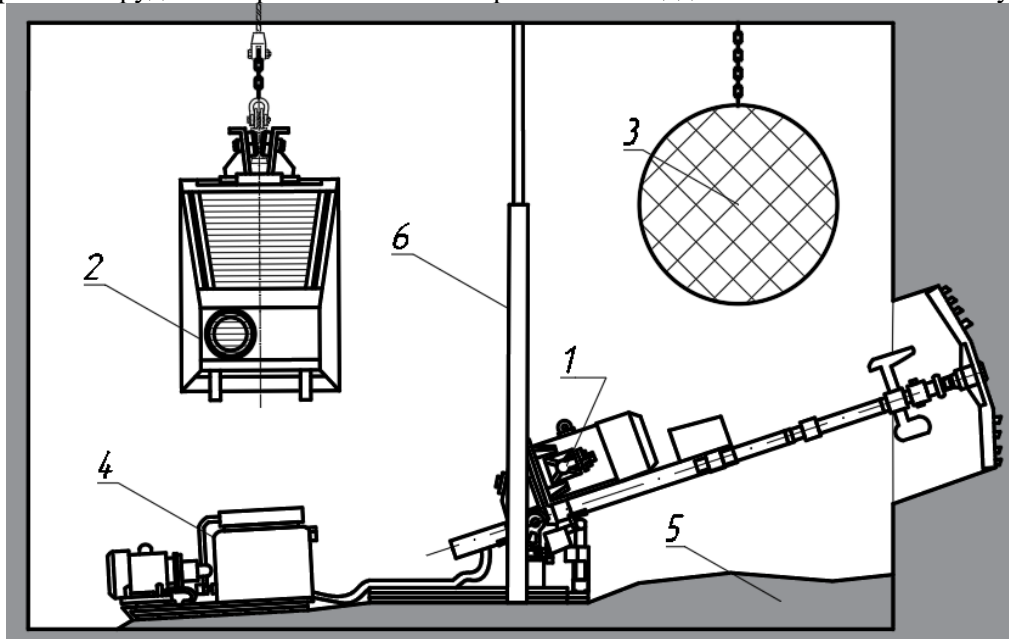


Рис. 1. Схема расположения коммуникаций и оборудования в выработке при бурении сбоечных скважин: 1 – буровая установка; 2 – подвесная монорельсовая дорога с локомотивом; 3 – магистральная труба для откачивания метановоздушной смеси; 4 – маслостанция; 5 – зона пучения почвы; 6 – распорные стойки буровой установки

Fig. 1. Scheme of the location of communications and equipment in the excavation when drilling collapsible wells: 1 – drilling rig; 2 – monorail overhead track with a locomotive; 3 – trunk pipe for pumping methane-air mixture; 4 – oil station; 5 – soil swelling zone; 6 – drilling rig struts

Форма сечения выработки прямоугольная. В выработке стационарно размещаются: магистральная труба для откачивания метановоздушной смеси диаметром 1,2 м (к которой по мере продвижения забоя подключаются пробуренные вентиляционные сбойки), подвесная монорельсовая дорога, противопожарный став, пневмомагистраль (опционально). Наиболее существенными из них с точки зрения создания помех при бурении являются монорельсовый локомотив и магистральная труба. Почва выработки слабая и склонная к пучению, что приводит к уменьшению габаритов выработки. Это ограничивает рабочую зону буровой установки.

Несмотря на наличие монорельсовой дороги, перемонтаж оборудования не всегда осуществляется дизельным локомотивом. Зачастую используется ручной труд или средства малой механизации. Поэтому применяемое буровое оборудование должно иметь модульную конструкцию, разделяемую на транспортабельные части.

Буровые установки БГА2М и БГА2В (Рис. 2), применяемые в настоящий момент, имеют гидравлический привод подачи. Бурение прямым ходом возможно в диапазоне углов 0-90 градусов, расширение обратным ходом осуществляется в диапазоне углов 45-90 градусов к горизонту. БГА2В в настоящее время включает возможность исполнения на самоходной тележке.

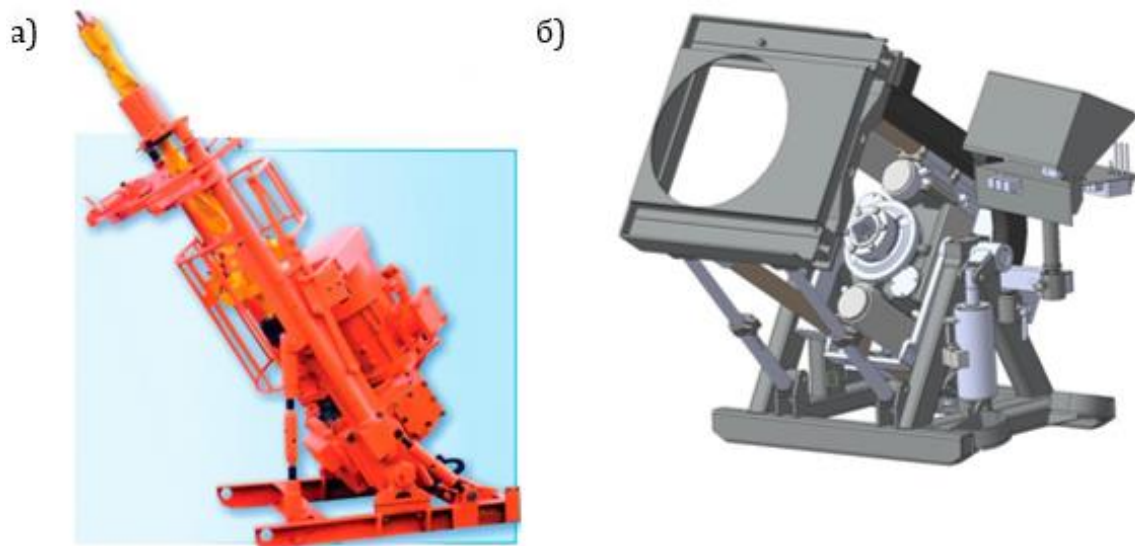


Рис. 2. Буровые установки БГА2М (а) и БГА2В (б)
Fig. 2. Drilling rigs BGA2M (a) and BGA2V (b)

Последовательность бурения скважин по применяемой на шахте технологии следующая:

- забуриться по заданному маркшейдерским проектом направлению;
- отбурить скважину диаметром 76 мм на проектную длину;
- произвести извлечение бурового инструмента;
- разбурить скважину до диаметра 93 мм на длину скважины;
- произвести извлечение бурового инструмента;
- разбурить скважину до диаметра 200 мм на длину скважины;
- произвести извлечение бурового инструмента;
- разбурить скважину до диаметра 350 мм на длину скважины;
- произвести извлечение бурового инструмента;
- разбурить скважину до диаметра 500 мм на длину скважины;
- произвести извлечение бурового инструмента;
- разбурить скважину до диаметра 900 мм на проектную длину под обсадную колонну;
- произвести извлечение бурового инструмента;
- установить обсадную колонну из труб диаметром 800 мм (отрезками по 1,5 м) и затампировать цементной смесью на глубину 500 мм;
- демонтировать станок согласно «Руководству по эксплуатации...»;

- транспортировать станок к месту бурения следующей скважины.

Последовательность показывает бурение в 6 проходок и еще обсадку скважины. Бурение до диаметра 350 мм включительно на шахте «Ерунаковская-VIII» производится станком АБГ-300 (данное оборудование здесь не рассматривается и характеристики станка не приводятся). Для работы по данной технологии установки БГА2М-04 и БГА2В имеют установленную мощность 26 и 55 кВт соответственно [2, 3]. Вписываемость в габариты выработки обеспечивается за счет размеров 1900×1400×1100 мм. Масса БГА2В составляет 1000 кг, а БГА2М – 1800 кг. Массы приведены без учета маслостанций.

Описание назначения и обзор существующих конструкций RBM, сбор данных об их основных параметрах

В зарубежной и отчасти отечественной практиках в рудниках и угольных шахтах для соединения выработок различного назначения успешно применяют установки для бурения восстающих выработок [4-17] (Рис. 3). Как правило, это выработки, расположенные на разных горизонтах, при этом скважина имеет преимущественно вертикальное или немного смещенное от вертикали положение. Однако при помощи RBM осуществляется бурение и горизонтальных скважин [18]. При этом скважины могут быть как проходными, так и слепыми, т.е. не иметь выхода на свободную поверхность [19, 20].



Рис. 3. Установки для бурения восстающих выработок

Fig. 3. Drilling units for rising workings

В большинстве случаев изначально осуществляется бурение пилотной скважины (Рис. 4-а, б) [6, 21, 22]. Пилотная скважина бурится с помощью шарошечного долота с коническими шарошками (Рис. 4-в). Шлам из скважины удаляется промывкой водой. При необходимости пилотным бурением можно управлять с помощью системы направленного бурения.

После бурения пилотной скважины шарошечное долото снимается и заменяется расширителем. При разбуривании обратным ходом снизу вверх расширитель подтягивается назад к буровому агрегату (Рис. 5-а). Отбитая порода самотеком транспортируется в нижележащую выработку [23]. Таким образом бурятся скважины до 6-8 метров в диаметре и до 1000 м в длину в зависимости от производителя оборудования.

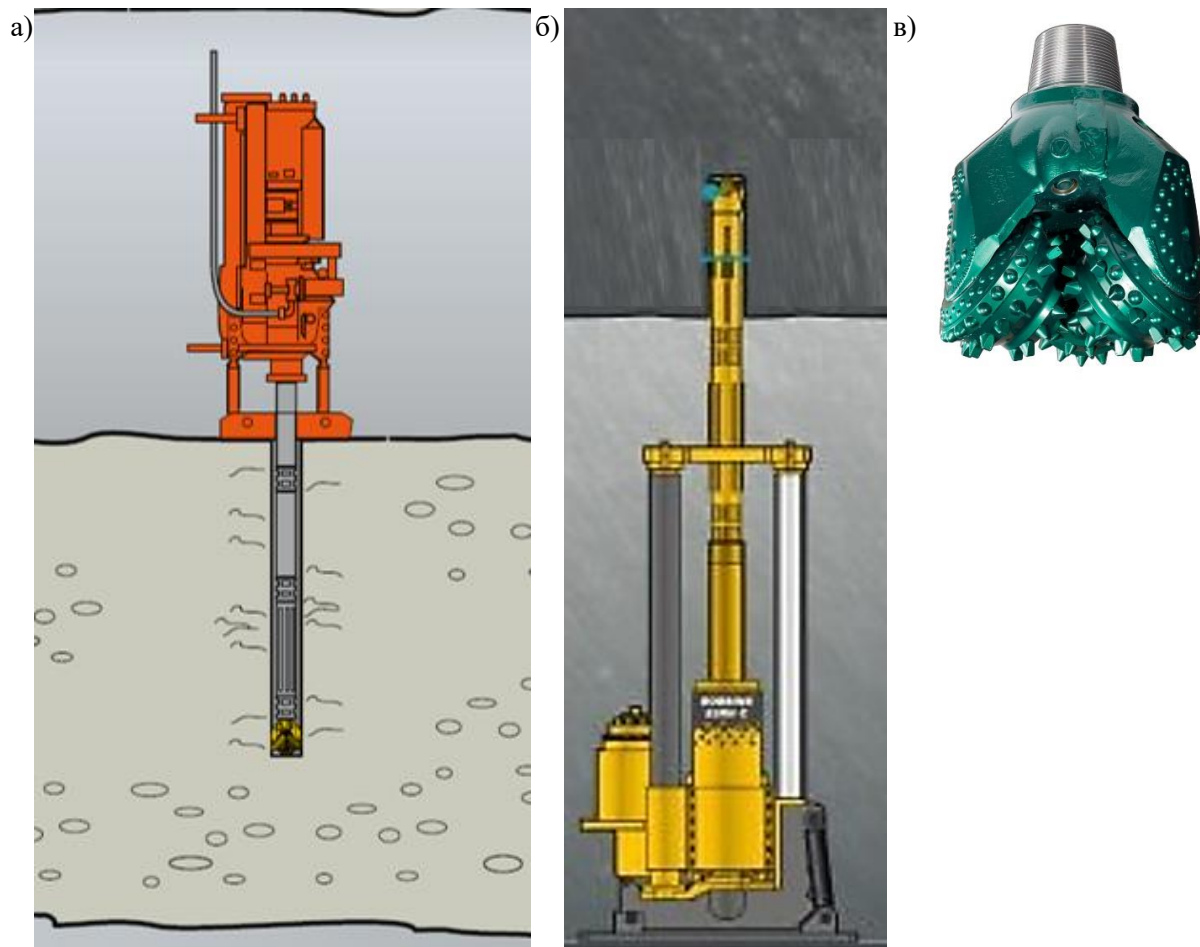


Рис. 4. Бурение пилотной скважины шарошечным долотом вниз (а), вверх (б); шарошечное долото (в)

Fig. 4. Drilling a pilot hole with a roller cone bit: downward (a), upward (b); roller cone bit (c)

При необходимости восстающего бурения, но при отсутствии доступа к верхнему горизонту, т.е. при бурении «глухих» скважин (Рис. 5-б), бурение осуществляют без предварительно проведенной пилотной скважины. Для такого бурения используют специальную буровую коронку, которая одновременно бурит пилотную скважину и разбуривает до нужного диаметра. Исполнительный орган вращается и подается вверх. Поскольку во время бурения бурильная колонна подвергается сжатию, для поддержки бурильной колонны необходимы опорные фонари. Разрушенная горная масса удаляется из скважины самотеком.

Горизонтальное бурение (Рис. 5-в) является отличным методом в городских строительных проектах, где применение буровзрывных работ ограничено или запрещено, а туннельные бурильные машины слишком громоздки. Сначала бурится горизонтальная пилотная скважина, аналогичная вертикальной, показанной на Рис. 4, при необходимости с помощью системы направленного бурения. Затем пилотную шарошку заменяют расширительной головкой. Поскольку отверстие горизонтальное, расширитель должен быть оснащен специальной системой удаления шлама. Типичные диаметры горизонтальных расширителей – от 0,6 до 4,5 м. Этот метод используется для бурения туннелей для кабелей, путей эвакуации, сточных вод и т. д. без чрезмерного нарушения окружающей среды. Горизонтальное бурение требует хорошей устойчивости породы, т.е. применение обсадных труб не предусмотрено [21].

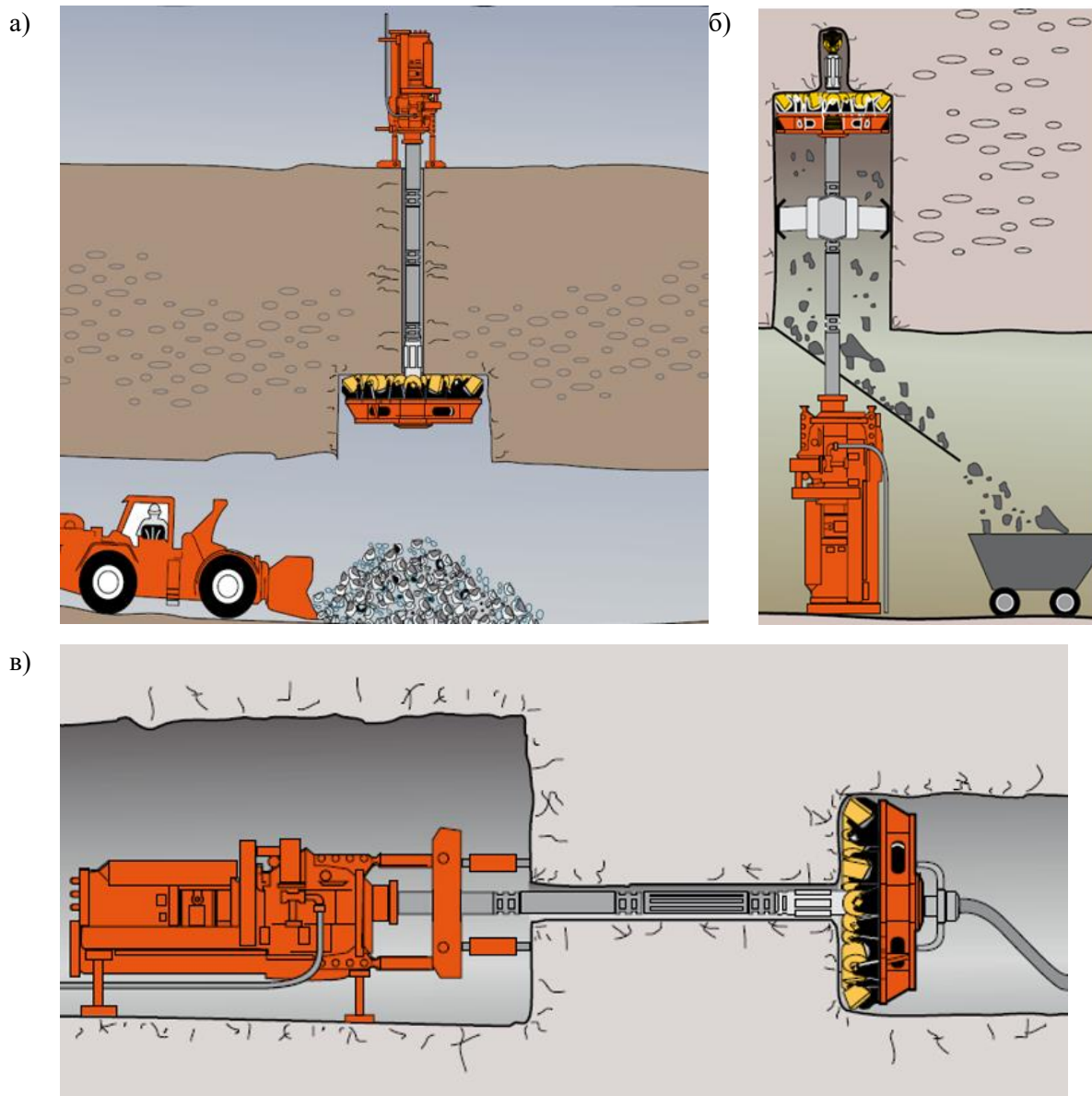


Рис. 5. Варианты применения ИО Sandvik: а – разбуривание обратным ходом снизу вверх; б – «глухое» бурение снизу вверх; в – горизонтальное бурение [21]

Fig. 5. Sandvik actuator application options: a – bottom-up reverse drilling; b – bottom-up «blind» drilling; c – horizontal drilling [21]

Бурение сверху вниз (Рис. 6) с предварительно пробуренной пилотной скважиной может быть осуществлено с помощью расширителя диаметром от 0,6 до 1,8 м. Предварительно требуется бурение пилотной скважины, после которого пилотное долото и бурильная колонна удаляются, и устанавливается расширитель прямого хода. Разрушенная горная масса удаляется из скважины самотеком. Поскольку во время бурения бурильная колонна подвергается сжатию, для поддержки бурильной колонны необходимы опорные фонари.

Помимо горизонтальных и вертикальных скважин при помощи RBM возможно бурение и наклонных скважин как снизу вверх, так и сверху вниз (Рис. 7).

В этих случаях принцип бурения такой же, как и при бурении вертикальных скважин (см. Рис. 5-а, б). Выставление угла наклона осуществляется при помощи установочных гидроцилиндров.

RBM могут быть установлены на самоходной платформе, например установка Epiroc Easer L на колесном ходу (Рис. 8) [25] или Herrenknecht RBR на гусеничном ходу (Рис. 9) [26].



Как было отмечено ранее, БГА2В также может иметь самоходное исполнение, однако для применения установок на самоходной платформе должна быть создана определенная инфраструктура на предприятии и габариты выработок, обеспечивающие вписываемость оборудования.

Перечень основных узлов RBM на стационарной опоре приведен на Рис. 10 [24].

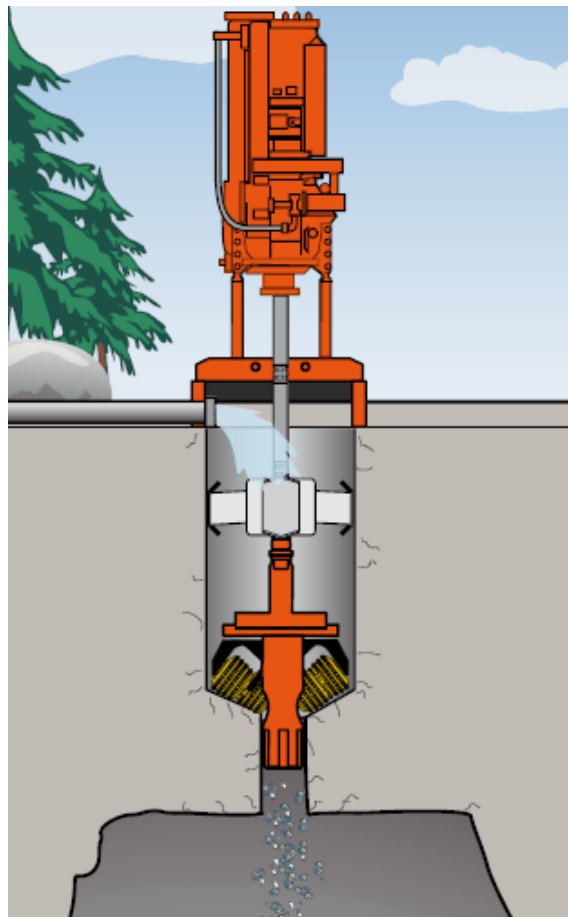


Рис. 6. Бурение скважины сверху вниз
Fig. 6. Drilling a well from top to bottom

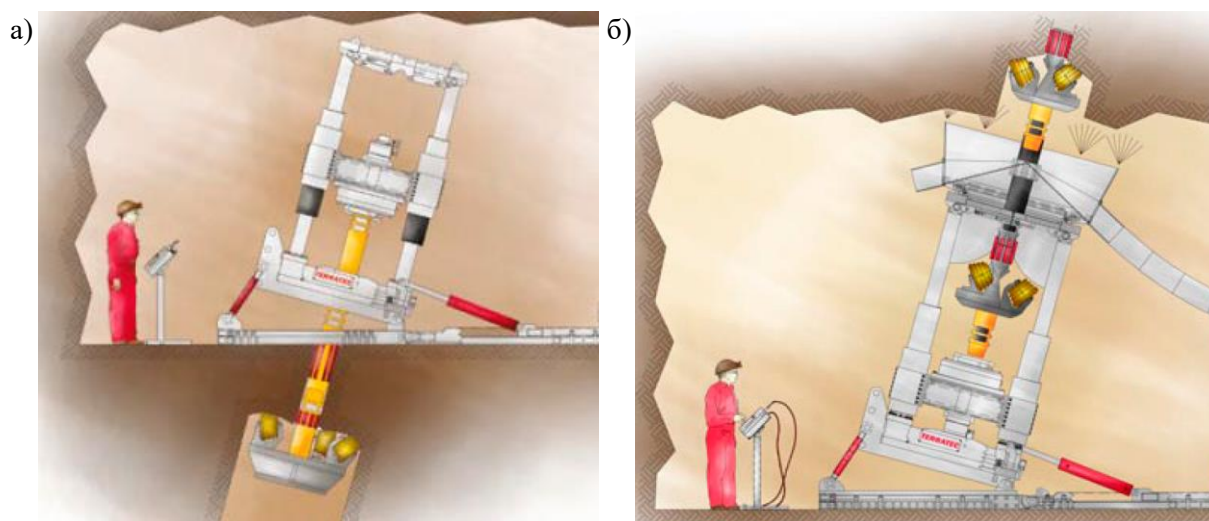


Рис. 7. Бурение наклонных скважин: а – сверху вниз, б – снизу вверх [24]
Fig. 7. Drilling of inclined wells: a – from top to bottom, b – from bottom to top [24]

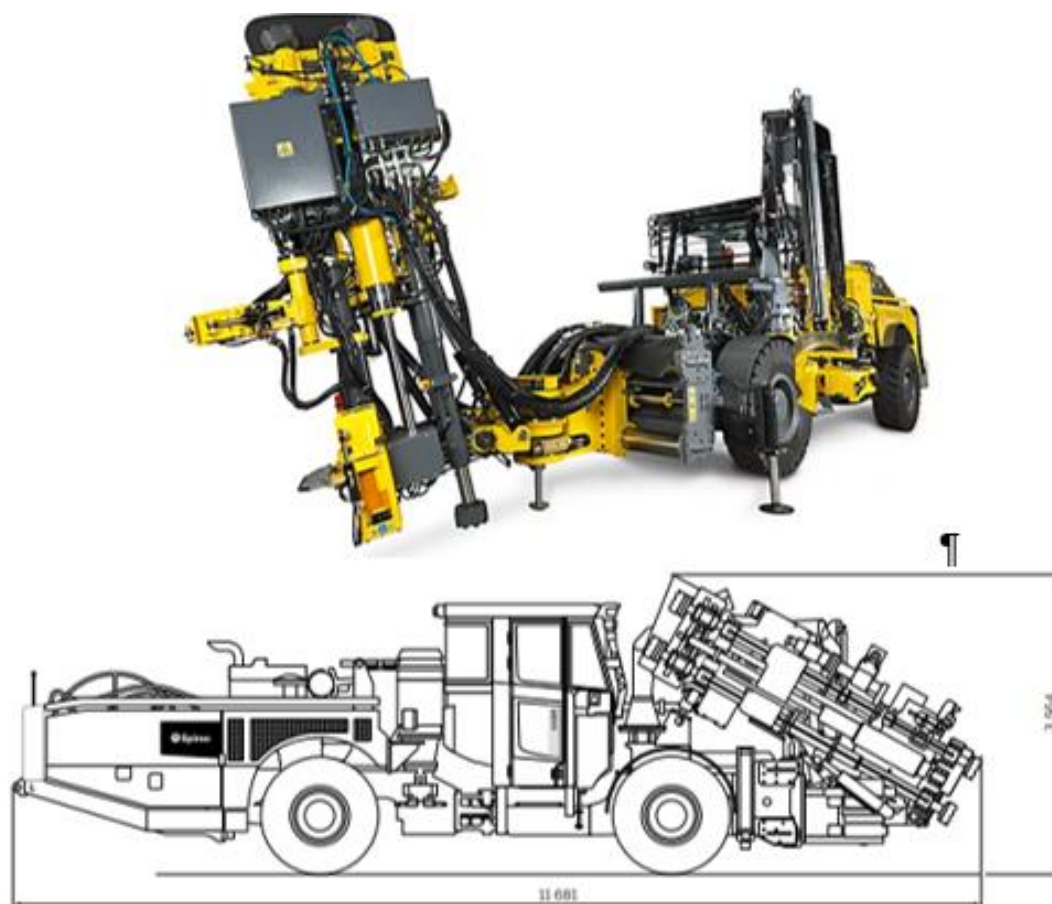
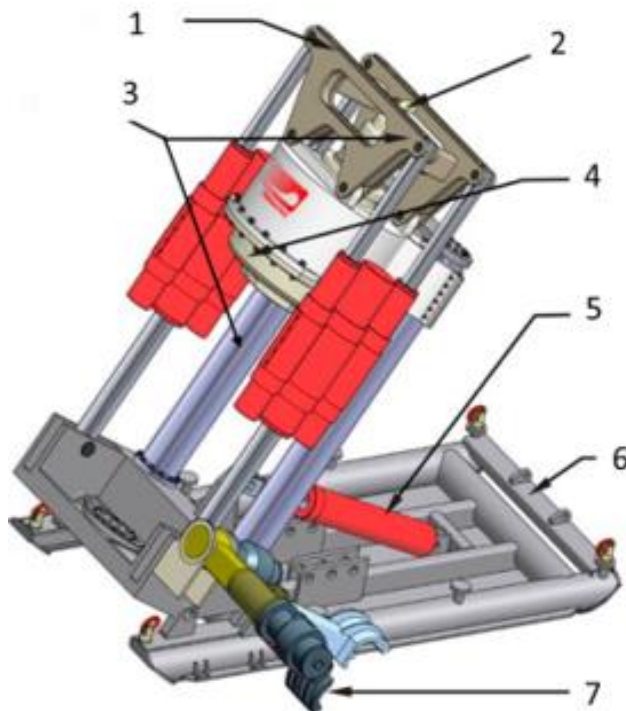


Рис. 8. Установка Epiroc Easer L на колесном ходу [25]
Fig. 8. Epiroc Easer L wheeled machine [25]



Рис. 9. Установка Herrenknecht RBR на гусеничном ходу [26]
Fig. 9. Herrenknecht RBR tracked machine [26]



1. Упорная рама;
2. Гидравлический привод;
3. Полый вал;
4. Плавающий привод;
5. Гидроцилиндр установки угла
6. Опорно-транспортное
основание
7. Механизм для установки бурового
инструмента

Рис. 10. Основные узлы RBM
Fig. 10. Main units of RBM

Помимо перечисленных узлов, как правило, отдельно располагается энергосиловая установка – маслостанция. Ее габариты и масса зависят от мощности RBM.

В качестве привода подачи на всех RBM применяются гидроцилиндры, которые могут быть телескопическими для увеличения хода (Рис. 11-а) [27], но при этом снижается усилие подачи, так как у каждой последующей ступени уменьшается диаметр поршня. В ряде установок для увеличения хода гидроцилиндры разворачивают в разные стороны, соединяя их корпуса (Рис. 11-б).

а)



б)



Рис. 11. RBM с телескопическими (а) и с развернутыми гидроцилиндрами (б)
Fig. 11. RBM with telescopic (a) and unfolded hydraulic cylinders (b)

В случае применения схемы с развернутыми гидроцилиндрами используют, как правило, три цилиндра с каждой стороны. На Рис. 12 приведено такое исполнение станка SBM 300. При этом цилиндры, расположенные штоками вверх, имеют меньший диаметр (на Рис. 12 обозначены как малые цилиндры), чем цилиндр, расположенный штоком вниз (на Рис. 12 обозначен как большой), с таким расчетом, что сумма площадей поршней малых цилиндров равна площади большого. Этим обеспечивается равенство усилий раздвижки. Еще одним плюсом схемы с тремя цилиндрами является симметричное расположение цилиндров относительно оси бурения, что предотвращает перекося при подаче.

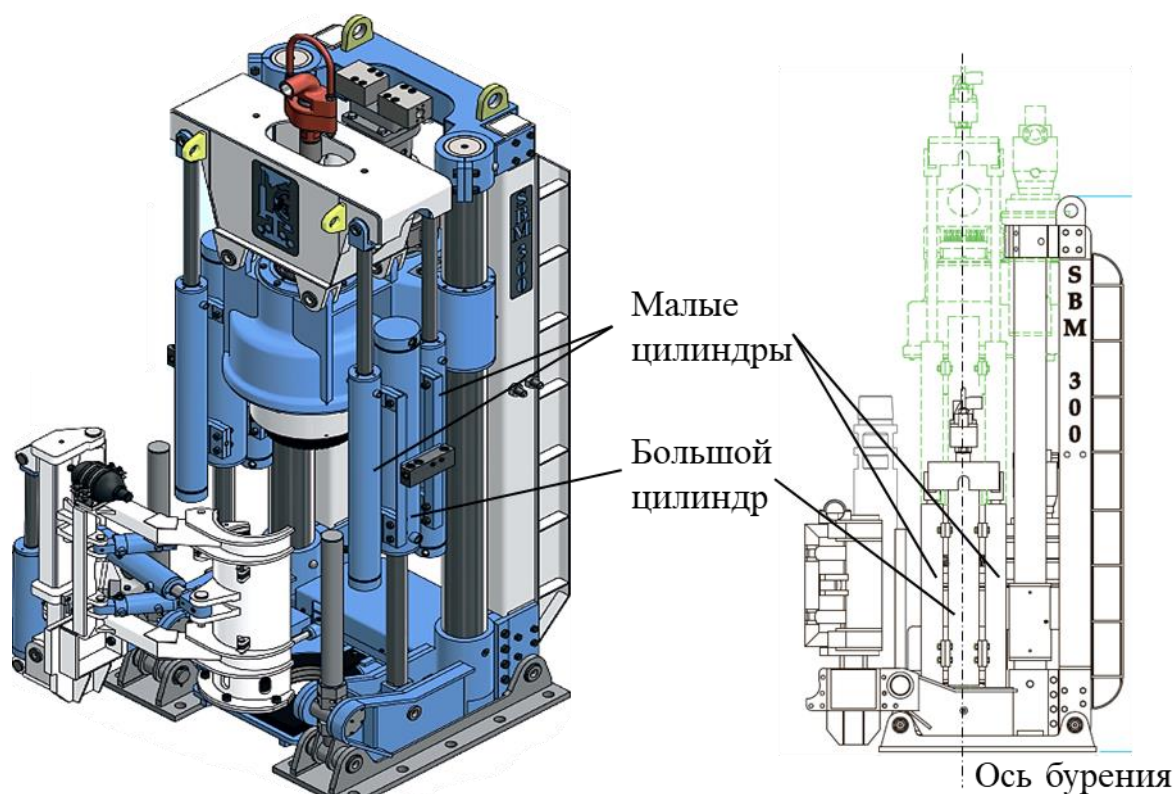


Рис. 12. Схема применения развернутых гидроцилиндров подачи на RBM
Fig. 12. Diagram of application of unfolded hydraulic cylinders on RBM

Привод вращения может быть гидравлическим или электрическим. Причем некоторые установки на выбор потребителя могут комплектоваться как одним типом, так и другим, например Robbins 92R [28].

Современные конструкции имеют вращающийся буровой став. Но имелись конструкции, например, как в гезенко-проходческой машине «Стрела-77» (Рис. 13) [29], когда буровой став не вращался, а привод вращения (электрический или пневматический) был установлен непосредственно у рабочего органа. За счет этого увеличивалось усилие подачи.

В Таблице 2 приведены основные технические параметры ряда RBM различных производителей диаметром до двух метров. Там же приведены параметры и эксплуатируемых в настоящее время на шахте установок – БГА2М и БГА2В. Диаметры в таблице приведены для бурения прямым ходом. Разбуривание обратным ходом этими установками может быть до диаметра 900–1000 мм. При этом в начале было обозначено, что рассматривается возможность бурения скважины за один проход (не считая пилотную скважину) и одновременной обсадки. Диаметр 900–1000 мм обратным ходом невозможно получить сразу без бурения скважин промежуточного диаметра.

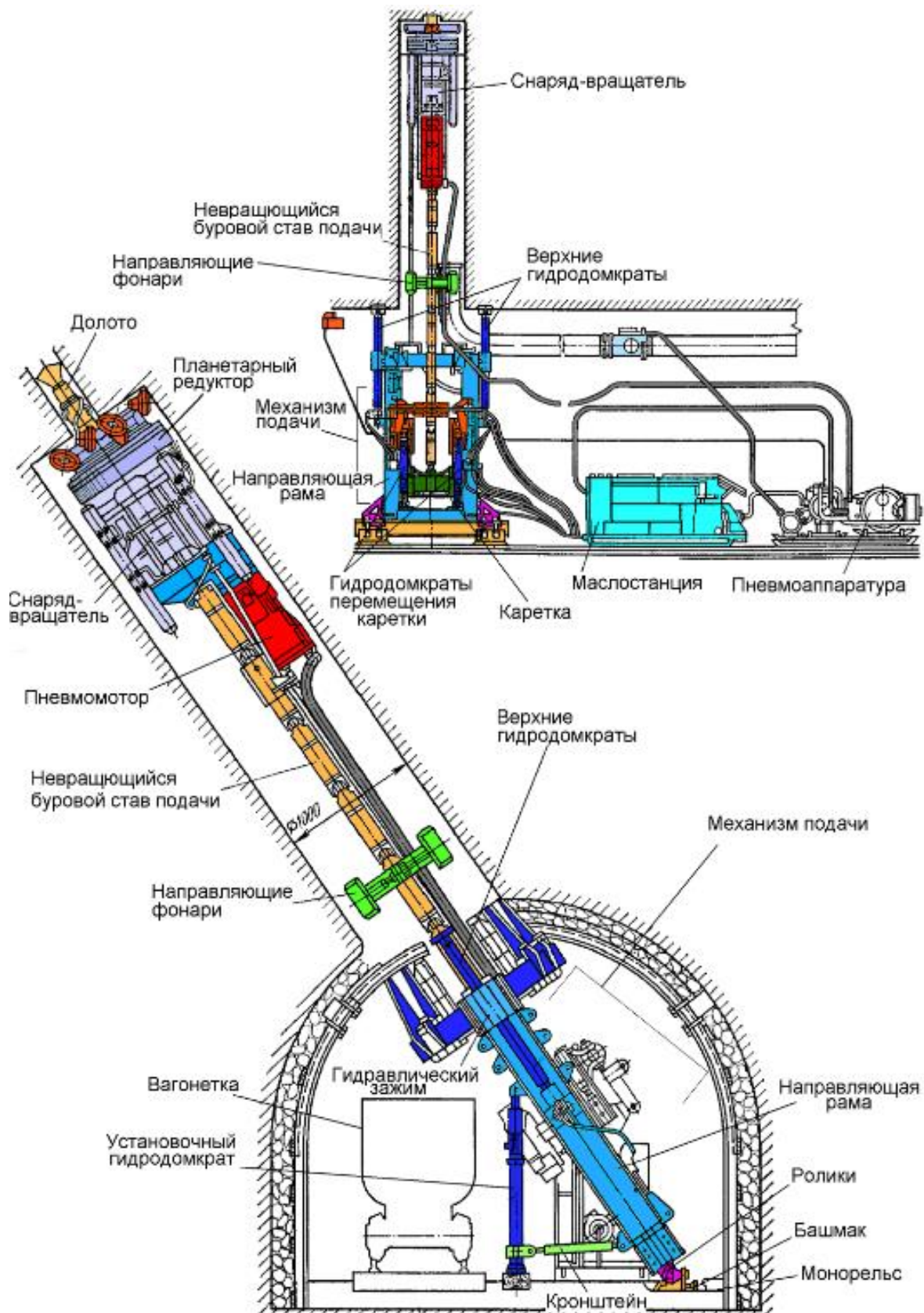


Рис. 13. Гезенко-проходческая машина «Стрела-77»
Fig. 13. Winze-boring machine «Arrow-77»



Таблица 2. Основные технические параметры некоторых моделей RBM
Table 2. Main technical parameters of some RBM models

Наименование установки	Номинальный диаметр, м	Глубина бурения, м	Момент при расширении, кН·м	Усилие подачи, кН	Установленная мощность, кВт
БГА2М-04 [2]	0,5	60	2,4	120	26
БГА2В [3]	0,5	150	6	260	55
KAMACH AFY900/90 (LM-90) [30]	0,9	90	15	150	52,7
Redbore 30 [31]	1,06	15	27,1	445	-
Robbins 34RH C Std [27, 32]	1,2	340	64	1150	160
SBM 300 Machine	1,2	182	50	850	112
TERRATEC TDR-600 [24]	1,5	200	43,4	985	97,5
TERRATEC TDR-1000 [24]	1,5	200	43,4	1400	121
Redbore 50X	1,8	40	92,1	1335	-
Redbore 50 [33]	2,13	183	92,1	1779	-
TERRATEC UB-1000 [24]	1,5	200	61	1100	121
Redbore 40 [34]	1,52	152	51,52	1023	-
Robbins 44RH C [35]	1,5	340	75	2000	160
Robbins 44RHC Low Prof [35]	1,5	340	75	2000	160
Стрела-77 [29]	1,5	100	-	380	62,5
TERRATEC TR2000 L [24]	2	250	175	3100	242

Продолжение табл. 2

Наименование установки	Тип привода вращения	Высота*, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Угол бурения к горизонтали, градус	Масса установки, т
БГА2М-04 [2]	гидравл.	2000	1100	900	от -5 до +45	1,000
БГА2В [3]	гидравл.	1900	1400	1100	от -5 до +90	1,800
KAMACH AFY900/90 (LM-90) [30]	гидравл.	2380	1275	2847	60-90	4,500
Redbore 30 [31]	гидравл.	2940	1360	1500	45-90	4,082
Robbins 34RH C Std [27, 32]	гидравл.	3420	1800	1800	60-90	9,300
SBM 300 Machine	гидравл.	2717	1170	1050	45-90	3,500
TERRATEC TDR-600 [24]	гидравл.	4495	2150	5040	60-90	9,300
TERRATEC TDR-1000 [24]	гидравл.	4195	2550	5970	60-90	12,100
Redbore 50X	гидравл. / электрич.	3430	2280	2240	45-90	14,628
Redbore 50 [33]	гидравл. / электрич.	4040	1420	1350	45-90	7,124
TERRATEC UB-1000 [24]	гидравл.	4392	3050	2450	60-90	14,000
Redbore 40 [34]	гидравл.	3560	1420	1320	45-90	5,242
Robbins 44RH C [35]	гидравл.	3540	3120	1755	60-90	10,400
Robbins 44RH C Low Prof [35]	гидравл.	3250	2600	1650	60-90	7,900
Стрела-77 [29]	электро/ пневмо	2970	1900	1380	40-75	9,470
TERRATEC TR2000 L [24]	гидравл.	4350	2250	2300	60-90	13,500



Анализ параметров RBM и оценка возможности применения RBM для бурения сбоечных скважин в угольных шахтах Кузбасса

Для анализа массовых и энергетических характеристик по данным Таблицы 2 построены графики зависимости массы буровой установки и установленной мощности от номинального диаметра скважины (Рис. 14).

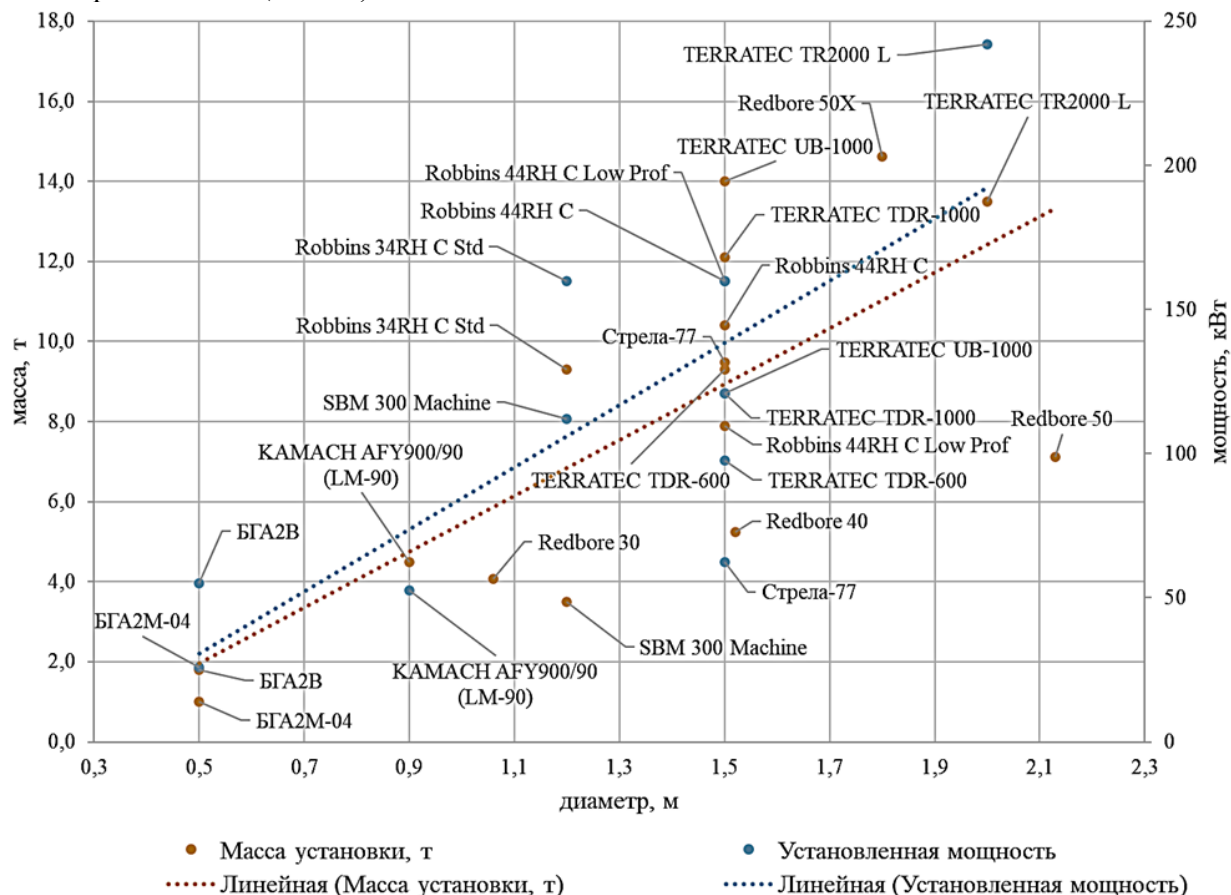


Рис. 14. Графики зависимости массы буровой установки и мощности от номинального диаметра скважины

Fig. 14. Charts of rig weight and power dependence on the nominal borehole diameter

В целом тренды показывают увеличение как массы, так и мощности при увеличении диаметра (Рис. 14), что, в общем-то, вполне естественно. БГА2М и БГА2В имеют меньшую металлоемкость по сравнению с остальными, но при этом имеют меньшую мощность и буримый диаметр. По критерию транспортирования ни одна RBM не превосходит БГА2.

Установленная мощность буровых установок БГА2М ниже принятых к сравнению машин. Мощность БГА2В в два раза выше, чем БГА2М, и составляет 55 кВт, что больше мощности КАМАШ АFY900/90, предназначенной для бурения скважин 900 мм, и чуть меньше, чем у Стрелы-77 с буримым диаметром 1,5 м. При этом анализ значений установленной мощности всех установок показывает весьма значительный разброс значений при одном и том же диаметре. Наглядно это видно из графика при диаметре 1,5 м, где значения мощности меняются примерно от 60 до 120 кВт. Это связано с тем, что параметр «установленная мощность» включает и мощность, затрачиваемую на подачу. Если посмотреть зависимость установленной мощности от «объема» скважины (Рис. 15), т. е. учитывать ее длину, то получается практически линейная аппроксимация с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9$. Объем скважины определится как произведение площади на глубину скважины.

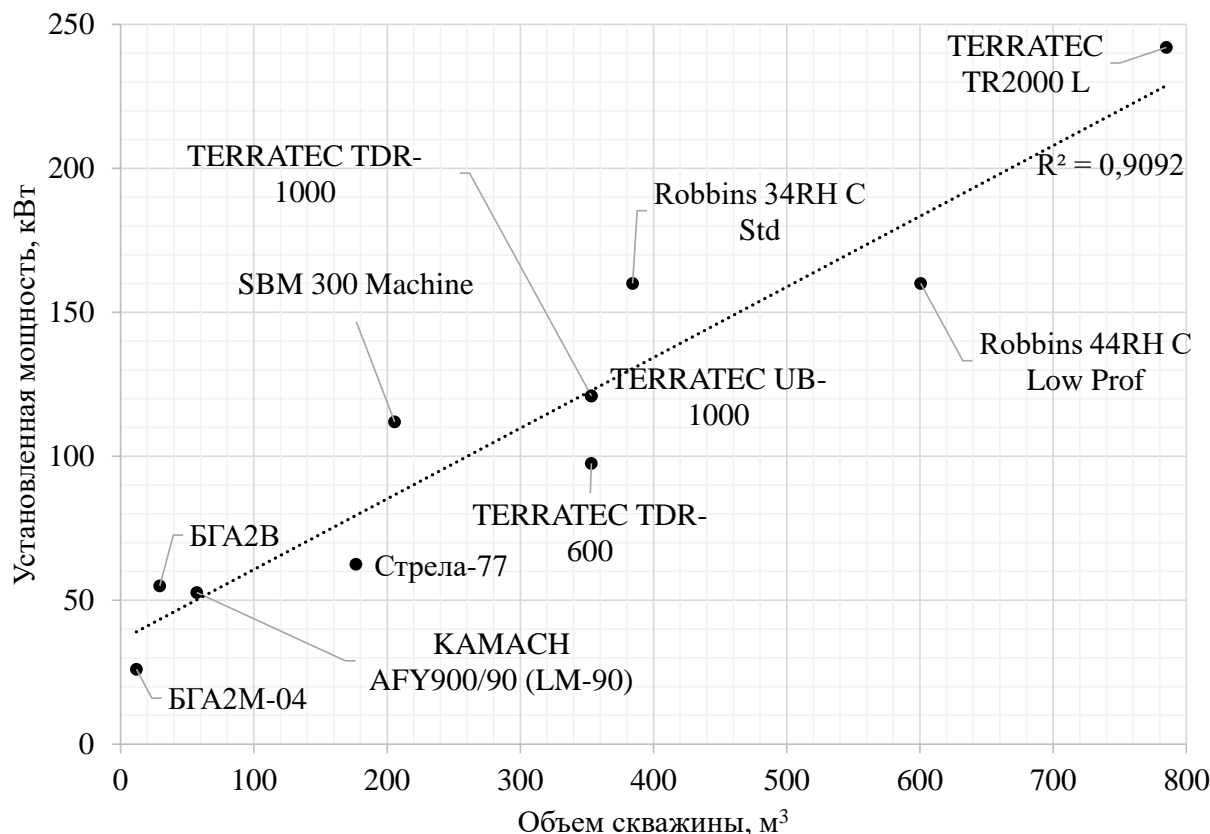


Рис. 15. График зависимости установленной мощности от «объема» скважины
Fig. 15: Dependence of installed capacity on the «volume» of the well

Учитывая требуемую длину вентиляционных сбоек, составляющую порядка 40 м, более важным параметром для сравнения установок, чем установленная мощность, является крутящий момент. Что касается реализации глубины бурения, то все RBM имеют значение этого параметра не менее 40 м (см. Таблицу 2), т. е. удовлетворяют этому требованию. В целом по крутящему моменту RBM значительно превосходят установки БГА. Причины этому, помимо большего диаметра буримой скважины, заключаются в предназначении для бурения более крепких пород и отличных от БГА исполнительных органах.

Еще одним важным фактором применимости является геометрическая вписываемость станка в пространство выработки. Как было показано ранее на Рис. 1, бурение производится в весьма стесненных условиях. Вписываемость станка определяется его длиной, высотой, шириной. Все эти параметры играют роль, но более значимым является размер, определяющий поперечное положение станка – высота (для RBM). Для станков БГА, работающих, как правило, под углом, этот параметр является длиной. Во избежание путаницы с этим параметром в Таблице 1 в качестве высоты принят размер вдоль оси бурения. На Рис. 16 показаны гистограммы относительных высот RBM, приведенных к высоте БГА2М.

Из гистограмм видно, что все RBM превышают длину БГА2М, причем некоторые модели превышают более, чем в 2 раза. Меньшую длину имеет лишь буровой станок БГА2В. Тем не менее, ряд RBM имеет схожие значения. Например, КАМАШ AFY900 имеет высоту 2380 мм, что в 1,2 раза больше БГА2М, а SBM 300 Machine, в 1,4 раза. При этом в Таблице 2 даны высоты RBM только в задвинутом состоянии, в выдвинутом состоянии размеры значительно увеличатся. Если в задвинутом состоянии высота SBM 300 Machine 2717 мм, то в выдвинутом 3438 мм (Рис. 16), а это уже превышение высоты базовой установки БГА2В в 1,7 раза.

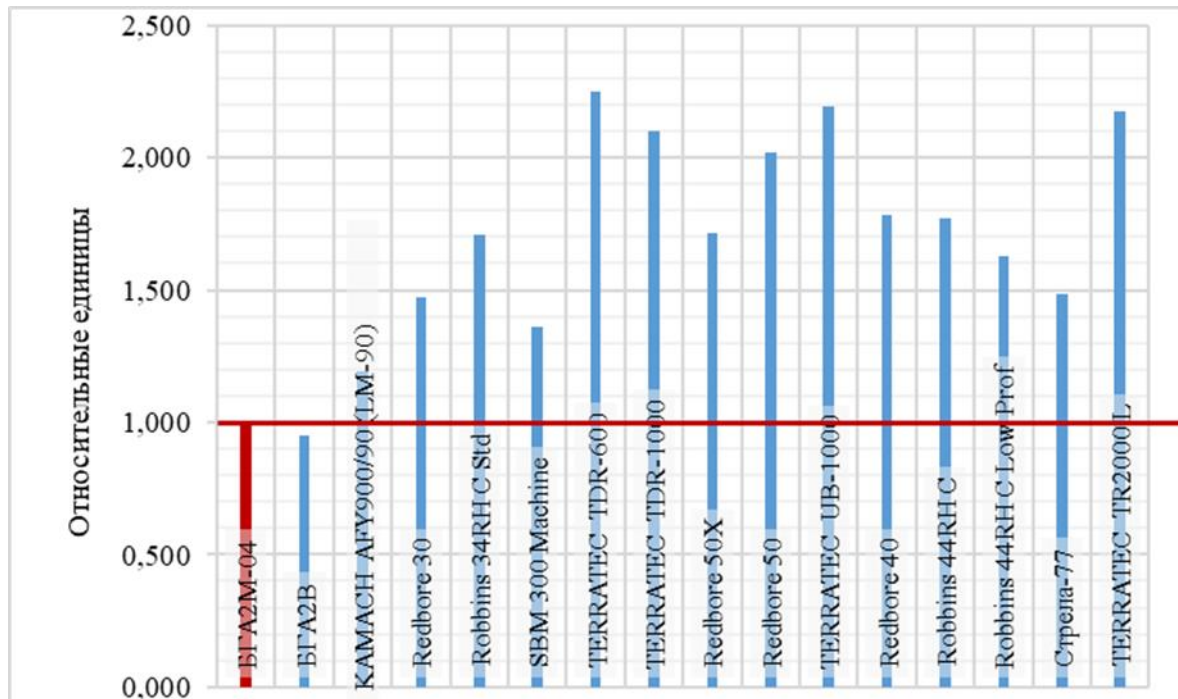
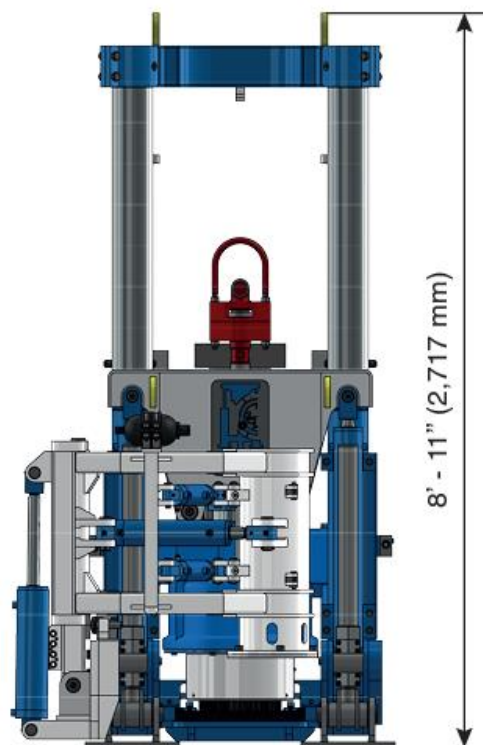


Рис. 16. Гистограммы относительных высот буровых станков
Fig. 16. Histograms of relative heights of drill rigs

a)



b)

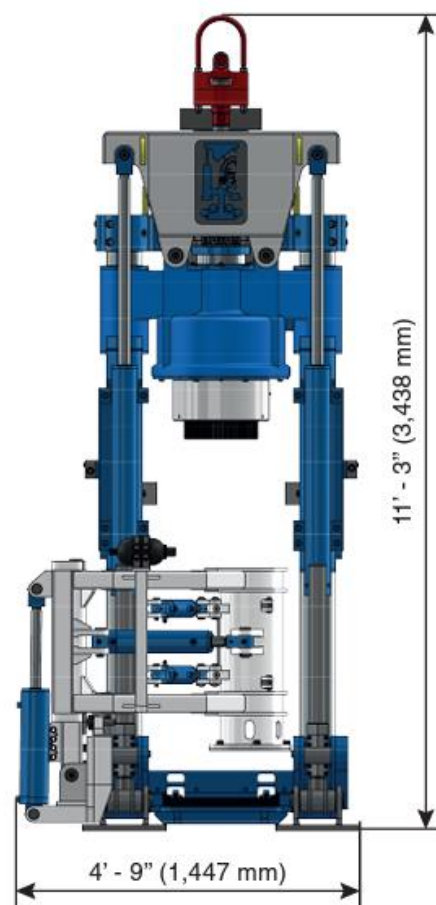


Рис. 17. SBM 300 Machine в задвинутом (a) и выдвинутом (б) состояниях
Figure 17. SBM 300 Machine in retracted (a) and extended (b) states



Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы по возможности применения RBM для бурения сбоечных скважин в угольных шахтах Кузбасса.

1. При принятой технологии проведения вентиляционных сбоек на шахтах Кузбасса время работ составляет порядка 5-7 дней с учетом обсадки скважины. Причинами является многопроходность бурения, т. е. многократное постепенное разбуривание скважины.

2. Технология бурения скважин при помощи RBM позволяет получать скважины нужного сечения за один проход. Это достигается большим крутящим моментом, чем на установках типа БГА2.

3. RBM могут бурить вертикальные, горизонтальные и наклонные скважины в направлениях как снизу вверх, так и сверху вниз.

4. Масса RBM превышает массу БГА2М в 3,5 и более раза, а БГА2В в 1,9 и более. Это может стать существенным недостатком при перемонтаже установки даже на небольшое расстояние, т. к. потребует привлечения дополнительных технических средств – монорельсового дизельного локомотива, что не всегда возможно сделать быстро. Использование RBM на самоходных тележках возможно только в случае изменения подходов к подготовке почвы и содержанию горных выработок, что в настоящее время не рассматривается.

5. Габаритные размеры RBM, прежде всего габариты вдоль оси бурения, превышают размеры БГА2М/БГА2В. При площади сечения в свету выработки, из которой производится бурение, равной 18 м², и размещенных в выработке коммуникациях (см. Рис. 1), повышение габаритов не позволит разместить буровую установку с возможностью выдвижения вдоль оси бурения.

Таким образом, достоинствами RBM является бурение полного диаметра за один проход (на считая пилотной скважины) с возможностью одновременной обсадки. Однако они имеют значительные массу и габаритные размеры, что делает невозможным их использование в весьма стесненных условиях выработок шахты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2021 138/3).

The research was supported by the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ 075-03-2021-138/3).

Список литературы

1. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»: альбом / В. Н. Демура [и др.] ; Сиб. угольная энергет. компания. - Москва : Горное дело : Киммерийский центр, 2014. – 255 с.
2. ОАО “Анжеромаш” Буровые Станки: [Электронный ресурс]. URL: http://www.angera.ru/prod_02.htm (Дата обращения: 23.05.2023).
3. Буровой станок БГА2В: [Электронный ресурс]. URL: bit.ly/3Ygg1Et. (Дата обращения: 23.05.2023).
4. Shaterpour-Mamaghani, A. Development of new empirical models for performance estimation of a raise boring machine / Aydin Shaterpour-Mamaghani, Hanifi Copur, Engin Dogan, Tayfun Erdogan // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2018. – Т. 82. – С. 428-441. DOI: 10.1016/j.tust.2018.08.056
5. Shaterpour-Mamaghani, A. Suggestion of new models for predicting performance of raise boring machines based on indentation tests / A. Shaterpour-Mamaghani, H. Copur, E. Dogan, T. Erdogan // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2023. – Т. 138. – С. 105181. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105181
6. Shaterpour-Mamaghani, A., Bilgin, N., Balci, C. и др. Predicting performance of raise boring machines using empirical models // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2016. – Т. 49. – С. 3377-3385. DOI: 10.1007/s00603-015-0900-1
7. James A. Catastrophic failure of a raise boring machine during underground reaming operations // Engineering Failure Analysis. – 1997. – Т. 4. – №. 1. – С. 71-80. DOI: 10.1016/S1350-6307(96)00025-8
8. Xu G. L. Development of BMC200 raise-boring machine // Coal Mining Technology. – 2008. – Т. 13. – №. 6. – С. 61-62.
9. Su X. M., Wang W. S. Application of raise-boring method in Luohe iron mine // China Mine Engineering. – 2010. – Т. 39. – №. 2. – С. 11-13. DOI: 10.1016/J.JRMGE.2014.12.006
10. Shaterpour-Mamaghani, A. Full-Scale linear cutting tests using a button cutter and deterministic performance prediction modeling for raise boring machines / Shaterpour Mamaghani A., Çopur H., Gümüş A.,



Tumaç D., Balci C., Erdogan T. // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2022. – Т. 127. – С. 104609. DOI: 10.1016/j.tust.2022.104609

11. Hu X., Liu Z., Tan H. Influence of engineering parameters on rock breaking performance of raise boring machine // Measurement. – 2021. – Т. 174. – С. 109005. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109005

12. Jing G., Yan W., Hu F. Predictive Control Method of Reaming up in the Raise Boring Process Using Kernel Based Extreme Learning Machine // Processes. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 277. DOI: 10.3390/pr11010277

13. Shaterpour-Mamaghani A., Copur H. Empirical performance prediction for raise boring machines based on rock properties, pilot hole drilling data and raise inclination // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2021. – Т. 54. – С. 1707-1730. DOI: 10.1007/s00603-020-02355-1

14. Zhiqiang L. I. U. Research on process and key technologies of raise boring [J] // Coal Science and Technology. – 2019. – Т. 47. – №. 5. – С. 12-21.

15. Shaterpour-Mamaghani A. Field And Laboratory Studies On The Performance Prediction Of Raise Boring Machines: PhD Thesis. – Fen Bilimleri Enstitüsü. – 69 p.

16. Hashiba, K., Fukui, K., Kitahara, M., Kiyama, R., and K. Okutsu. Estimation of Rock Mass Conditions During Shaft Excavation With the Raise Boring Method // Paper presented at the ISRM International Symposium – 10th Asian Rock Mechanics Symposium, Singapore, October 2018.

17. Penney A. R., Stephenson R. M., Pascoe M. J. Raise bore stability and risk assessment empirical database update // Proceedings The Fourth Australasian Ground Control in Mining Conference, Sydney, Australia November. – 2018.

18. Perego J. Horizontal raise boring at John Day Dam: Proc 1987 Rapid Excavation and Tunnelling Conference, New Orleans, 14–17 June 1987 V2, P938–953. Publ Littleton: Society of Mining Engineers, 1987 // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – Pergamon, 1990. – Т. 27. – №. 2. – С. A126.

19. Liu Z., Meng Y. Key technologies of drilling process with raise boring method // Journal of rock mechanics and geotechnical engineering. – 2015. – Т. 7. – №. 4. – С. 385-394. DOI: 10.1016/j.jrmge.2014.12.006.

20. Hardrock Tunnel Boring Machines. Bernhard Maidl, Leonhard Schmid, Willy Ritz, Martin Herrenknecht. – John Wiley & Sons, 2012. – 356 с.

21. Raise boring equipment. Brochure [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rocktechnology.sandvik/> (Дата обращения: 23.05.2023).

22. Bo Han. Construction technology and parameter calculation of air drilling with raise boring machine / Bo Han, Guo-ye Jing, Ang Li, Hao-jie Hao // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 233. – С. 01056. DOI: 10.1051/e3sconf/202123301056

23. Jing G., Yan W., Hu F. Predictive Control Method of Reaming up in the Raise Boring Process Using Kernel Based Extreme Learning Machine // Processes. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 277. DOI: 10.3390/pr11010277

24. Terratec. Raise boring machine [Электронный ресурс]. URL: <https://www.terratec.co/files/TERRATEC-RBM-Brochure.pdf>. (Дата обращения: 23.05.2023)

25. Epiroc Easer L. Mobile raiseboring machine for medium to large size drifts [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/easer-l> (Дата обращения: 23.05.2023).

26. Установка пилотного бурения с расширением (RBR) - Herrenknecht AG [Электронный ресурс]. URL: <https://www.herrenknecht.com/ru/produkte/productdetail/raise-boring-rig-rbr/> (Дата обращения: 23.05.2023).

27. Epiroc. Robbins 34RH [Электронный ресурс] // Epiroc. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/robbins-34rh> (Дата обращения: 23.05.2023).

28. Epiroc. Robbins 92R [Электронный ресурс] // Epiroc. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/robbins-92r> (Дата обращения: 23.05.2023).

29. Клорикьян С.Х., Косоруков Н.Д., Лаптев А.Г., Лебедев А.Д., Маршак С.А., Солопий И.С., Сребный М.А., Старичнев В.В., Чичкан А.А. Машины и оборудование для шахт и рудников. Справочник. 6-е изд., стереотип. - М.: МГГУ, 2000. - 471 с.

30. kamach.co.uk [Электронный ресурс] // <https://www.kamach.co.uk/afy900-raiseboring-machine1.html> (Дата обращения: 23.05.2023).

31. Redbore 30 | Redpath Mining Contractors and Engineers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.redpathmining.com/raise-drills/redbore-30/> (Дата обращения: 23.05.2023).

32. Elgenklöw M. Boxhole boring at El Teniente – the Lieutenant marches on // Tunnelling and underground space technology. – 2003. – Т. 18. – №. 5. – С. 485-495.

33. Redbore 50 | Redpath Mining Contractors and Engineers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.redpathmining.com/raise-drills/redbore-50/> (Дата обращения: 23.05.2023).

34. Redbore 40 | Redpath Mining Contractors and Engineers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.redpathmining.com/raise-drills/redbore-40/> (Дата обращения: 23.05.2023).



35. Epiroc. Robbins 44RH [Электронный ресурс] // Epiroc. URL: <https://www.epiroc.com/en-gb/products/raiseboring/robbins-44rh> (Дата обращения: 23.05.2023).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2023 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Ананьев Кирилл Алексеевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой горных машин и комплексов
e-mail: aka.kgmik@kuzstu.ru

Ермаков Александр Николаевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса
e-mail: ermakovan@kuzstu.ru

Хорешок Алексей Алексеевич, д.т.н., проф., директор Горного института
e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Сидоров Максим Сергеевич, технический директор

ПАО «Распадская»
652870, Кемеровская область – Кузбасс, г. Междуреченск, ул. Мира, д. 106

Отчайкин Максим Сергеевич, технический директор

ООО «СЦ Автоматика»
652500, Кемеровская область – Кузбасс, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Суворова, д. 19/1, к. 2.



ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING RAISE BORING MACHINES AS TECHNICAL MEANS TO CREATE STACKED BOREHOLES IN THE COAL MINES OF KUZBASS

Kirill A. Ananyev¹, Alexander N. Ermakov¹, Alexey A. Khoreshok¹, Maxim S. Sidorov²,
Maxim S. Otchaykin³

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² PJSC Raspadskaya

³ «Automatics» Service Center, LLC



Article info

Received:

17 December 2022

Revised:

11 April 2023

Accepted:

25 June 2023

Keywords: drilling, assembly
wells, raise boring machines,
methane-air mixture

Abstract.

At the Kuzbass mines, the methane-air mixture from the backfill space is drained through assembly wells. The time for drilling one well reaches 5-7 days, including the casing process, which is quite significant when drilling a large number (several dozens) of wells. Such a duration is primarily due to the equipment used. As a rule, for these purposes the drilling rigs of the BGA2 type (BGA2M or BGA2B) are used. The required diameter of a borehole is 900 mm or more, and BGA2 is not capable of drilling to this diameter in one or two runs, moreover it is not capable of installing casing pipe right in the process of drilling. In this article the authors reviewed the rigs for drilling ascending workings in order to determine the possibility of their application as an alternative to BGA2. It was found that in spite of the advantages, these rigs are not able to fully replace the existing equipment.

For citation Ananyev K.A., Ermakov A.N., Khoreshok A.A., Sidorov M.S., Otchaykin M.S. (2023) Assessment of the possibility of using raise boring machines as technical means to create stacked boreholes in the coal mines of Kuzbass, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(21):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-2-4-25, EDN: LEBHXL

References

1. Tehnologicheskie shemy podgotovki i otrabotki vyemochnyh uchastkov na shahtah OAO «SUJeK-Kuzbass» : al'bom / V. N. Demura [i dr.] ; Sib. ugol'naja jenerget. kompanija. - Moskva : Gornoe delo : Kimmerijskij centr, 2014. – 255 s.
2. OAO “Anzheromash” Burovye Stanki: [Jelektronnyj resurs]. URL: http://www.angera.ru/prod_02.htm (Data obrashhenija: 23.05.2023).
3. Burovoj stanok BGA2V: [Jelektronnyj resurs]. URL: bit.ly/3Ygg1Et. (Data obrashhenija: 23.05.2023).
4. Shaterpour-Mamaghani, A. Development of new empirical models for performance estimation of a raise boring machine / Aydin Shaterpour-Mamaghani, Hanifi Copur, Engin Dogan, Tayfun Erdogan // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2018. – T. 82. – S. 428-441. DOI: 10.1016/j.tust.2018.08.056
5. Shaterpour-Mamaghani, A. Suggestion of new models for predicting performance of raise boring machines based on indentation tests / A. Shaterpour-Mamaghani, H. Copur, E. Dogan, T. Erdogan // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2023. – T. 138. – S. 105181. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105181
6. Shaterpour-Mamaghani, A., Bilgin, N., Balci, C. i dr. Predicting performance of raise boring machines using empirical models // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2016. – T. 49. – S. 3377-3385. DOI: 10.1007/s00603-015-0900-1
7. James A. Catastrophic failure of a raise boring machine during underground reaming operations // *Engineering Failure Analysis*. – 1997. – T. 4. – №. 1. – S. 71-80. DOI: 10.1016/S1350-6307(96)00025-8
8. Xu G. L. Development of BMC200 raise-boring machine // *Coal Mining Technology*. – 2008. – T. 13. – №. 6. – S. 61-62.
9. Su X. M., Wang W. S. Application of raise-boring method in Luohe iron mine // *China Mine Engineering*. – 2010. – T. 39. – №. 2. – S. 11-13. DOI: 10.1016/J.JRMGE.2014.12.006



10. Shaterpour-Mamaghani, A. Full-Scale linear cutting tests using a button cutter and deterministic performance prediction modeling for raise boring machines / Shaterpour Mamaghani A., Çopur H., Gümüş A., Tumaç D., Balci C., Erdogan T. // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2022. – T. 127. – S. 104609. DOI: 10.1016/j.tust.2022.104609
11. Hu X., Liu Z., Tan H. Influence of engineering parameters on rock breaking performance of raise boring machine // *Measurement*. – 2021. – T. 174. – S. 109005. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109005
12. Jing G., Yan W., Hu F. Predictive Control Method of Reaming up in the Raise Boring Process Using Kernel Based Extreme Learning Machine // *Processes*. – 2023. – T. 11. – №. 1. – S. 277. DOI: 10.3390/pr11010277
13. Shaterpour-Mamaghani A., Copur H. Empirical performance prediction for raise boring machines based on rock properties, pilot hole drilling data and raise inclination // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2021. – T. 54. – S. 1707-1730. DOI: 10.1007/s00603-020-02355-1
14. Zhiqiang L. I. U. Research on process and key technologies of raise boring [J] // *Coal Science and Technology*. – 2019. – T. 47. – №. 5. – S. 12-21.
15. Shaterpour-Mamaghani A. Field And Laboratory Studies On The Performance Prediction Of Raise Boring Machines: PhD Thesis. – Fen Bilimleri Enstitüsü. – 69 p.
16. Hashiba, K., Fukui, K., Kitahara, M., Kiyama, R., and K. Okutsu. Estimation of Rock Mass Conditions During Shaft Excavation With the Raise Boring Method // Paper presented at the ISRM International Symposium – 10th Asian Rock Mechanics Symposium, Singapore, October 2018.
17. Penney A. R., Stephenson R. M., Pascoe M. J. Raise bore stability and risk assessment empirical database update // *Proceedings The Fourth Australasian Ground Control in Mining Conference*, Sydney, Australia November. – 2018.
18. Perego J. Horizontal raise boring at John Day Dam: Proc 1987 Rapid Excavation and Tunnelling Conference, New Orleans, 14–17 June 1987 V2, P938–953. Publ Littleton: Society of Mining Engineers, 1987 // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. – Pergamon, 1990. – T. 27. – №. 2. – S. A126.
19. Liu Z., Meng Y. Key technologies of drilling process with raise boring method // *Journal of rock mechanics and geotechnical engineering*. – 2015. – T. 7. – №. 4. – S. 385-394. DOI: 10.1016/j.jrmge.2014.12.006.
20. *Hardrock Tunnel Boring Machines*. Bernhard Maidl, Leonhard Schmid, Willy Ritz, Martin Herrenknecht. – John Wiley & Sons, 2012. – 356 s.
21. Raise boring equipment. Brochure [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.rocktechnology.sandvik/> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
22. Bo Han. Construction technology and parameter calculation of air drilling with raise boring machine / Bo Han, Guo-ye Jing, Ang Li, Hao-jie Hao // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2021. – T. 233. – S. 01056. DOI: 10.1051/e3sconf/202123301056
23. Jing G., Yan W., Hu F. Predictive Control Method of Reaming up in the Raise Boring Process Using Kernel Based Extreme Learning Machine // *Processes*. – 2023. – T. 11. – №. 1. – S. 277. DOI: 10.3390/pr11010277
24. Terratec. Raise boring machine [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.terratec.co/files/TERRATEC-RBM-Brochure.pdf>. (Data obrashhenija: 23.05.2023)
25. Epiroc Easer L. Mobile raiseboring machine for medium to large size drifts [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/easer-l> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
26. Ustanovka pilotnogo burenija s rasshireniem (RBR) - Herrenknecht AG [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.herrenknecht.com/ru/produkte/productdetail/raise-boring-rig-rbr/> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
27. Epiroc. Robbins 34RH [Elektronnyj resurs] // Epiroc. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/robbins-34rh> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
28. Epiroc. Robbins 92R [Elektronnyj resurs] // Epiroc. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/robbins-92r> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
29. Klorik'jan S.H., Kosorukov N.D., Laptev A.G., Lebedev A.D., Marshak S.A., Solopij I.S., Srebnij M.A., Starichnev V.V., Chichkan A.A. Mashiny i oborudovanie dlja shaht i rudnikov. Spravochnik. 6-e izd., stereotip. – M.: MGPU, 2000. – 471 s.
30. kamach.co.uk [Elektronnyj resurs] // <https://www.kamach.co.uk/afy900-raiseboring-machine1.html> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
31. Redbore 30 | Redpath Mining Contractors and Engineers [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.redpathmining.com/raise-drills/redbore-30/> (Data obrashhenija: 23.05.2023).
32. Elgenklöw M. Boxhole boring at El Teniente – the Lieutenant marches on // *Tunnelling and underground space technology*. – 2003. – T. 18. – №. 5. – S. 485-495.
33. Redbore 50 | Redpath Mining Contractors and Engineers [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.redpathmining.com/raise-drills/redbore-50/> (Data obrashhenija: 23.05.2023).



34.Redbore 40 | Redpath Mining Contractors and Engineers [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.redpathmining.com/raise-drills/redbore-40/> (Data obrashhenija: 23.05.2023).

35.Epiroc. Robbins 44RH [Elektronnyj resurs] // Epiroc. URL: <https://www.epiroc.com/en-gr/products/raiseboring/robbins-44rh> (Data obrashhenija: 23.05.2023).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2023 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Kirill A. Ananyev, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Head of the Mining Machines and Complexes Department, e-mail: aka.gmk@kuzstu.ru

Alexander N. Ermakov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Senior Researcher of Mining Industry Digital Transformation Laboratory (MIDTLAB)
e-mail: ermakovan@kuzstu.ru

Alexey A. Khoreshok, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Director of Mining Institute
e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
28 Vesenniyaya str., Russian Federation, Kemerovo, 650000

Maxim S. Sidorov, Technical Director
PJSC Raspadskaya
106 Mira st., Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass, Mezhdurechensk, 652870

Maxim S. Otchaykin, Technical Director
«Automatics» Service Center, LLC
19/1 Suvorov st., Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass, Leninsk-Kuznetsky, 652500

