



УДК 622.24

ОБЗОР ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Ананьев К.А.¹, Ермаков А.Н.¹, Сидоров М.С.², Варнавский К.А.¹

¹ Кузбасский государственный технический университет Т.Ф. Горбачева

² ПАО «Распадская»



Информация о статье

Поступила:

02 октября 2022 г.

Рецензирование:

16 ноября 2022 г.

Принята к печати:

22 ноября 2022 г.

Ключевые слова:

вентиляционные сбойки,
буровые установки,
исполнительный орган,
расширитель

Аннотация.

Бурение сбоечных скважин в угольных шахтах для отведения метана из отработанного пространства занимает длительный процесс (до 5-7 дней на одну скважину). Периодически происходит разрушение скважины до ее крепления обсадными трубами. При этом диаметр обсаженной сбоечной скважины равен 800 мм, что недостаточно. Вследствие этого скважины бурятся с меньшим шагом, а это приводит к увеличению трудозатрат и суммарного времени бурения. В рамках поиска альтернативных вариантов бурения таких скважин с целью сокращения времени, увеличения диаметра и предотвращения их разрушения произведен обзор исполнительных органов горных машин, образующих выработки диаметром 1,2-1,5 м. Обзор позволил определить основные признаки исполнительных органов, которые могут быть применены при создании новых конструктивных решений горных машин проходки сбоек для отведения метана из отработанного пространства.

Для цитирования: Ананьев К.А., Ермаков А.Н., Сидоров М.С., Варнавский К.А. Обзор исполнительных органов буровых установок // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 4(19). – С. 35-61. – DOI: 10.26730/2618-7434-2022-4-35-61

Введение

При отработке газоносных угольных пластов длинными забоями на шахтах Кузбасса применяют комплекс мероприятий для обеспечения безопасности горных работ, связанных с выделением метана [1]. Одним из способов обеспечения безопасности на угольных шахтах, например, на шахте «Ерунаковская-VIII», является изолированный отвод метановоздушной смеси из выработанного пространства через сбоечные скважины.

Процесс проведения скважины осуществляется буровыми станками АБГ-300 и БГА2М в последовательности, указанной в таблице 1.

Из-за вынужденного многократного постепенного расширения скважины время бурения одной скважины достигает 5-7 дней. С учетом того, что таких скважин требуется несколько десятков, суммарные временные и трудозатраты оказываются весьма значительными. К тому же максимальный диаметр скважины составляет 900 мм, а после обсадки – 800 мм, что недостаточно для перемещения всего объема газа, поэтому зачастую рядом бурится еще одна скважина или равномерно уменьшается шаг бурения. Требуемый диаметр по эквивалентному сечению составляет 1200-1500 мм.

Еще одной проблемой многократного постепенного разбуривания является опасность разрушения скважины на каком-либо этапе бурения до ее обсадки, что еще повышает трудозатраты и сроки проведения скважины.

Перечисленные проблемы требуют рассмотрения возможности применения иных технических средств к формированию дегазационных скважин, способных в один заход осуществлять проведение выработок нужного диаметра (не считая возможной пилотной скважины) с одновременным их креплением.



Таблица 1. Последовательность и время операций бурения дегазационных скважин завального пространства

Table 1. Sequence and timing of operations for drilling degassing boreholes in the backfill space

Буровой станок	Диаметр скважины, мм	Процесс	Время, ч
АБГ-300	76	бурение пилотной скважины	20-60
	150	прямое расширение	
	250	прямое расширение	
	350	прямое расширение	
БГА2М	500	обратное расширение	80
	900	обратное расширение	
	900	обсадка трубой 800 мм	20
Общее время			120-160

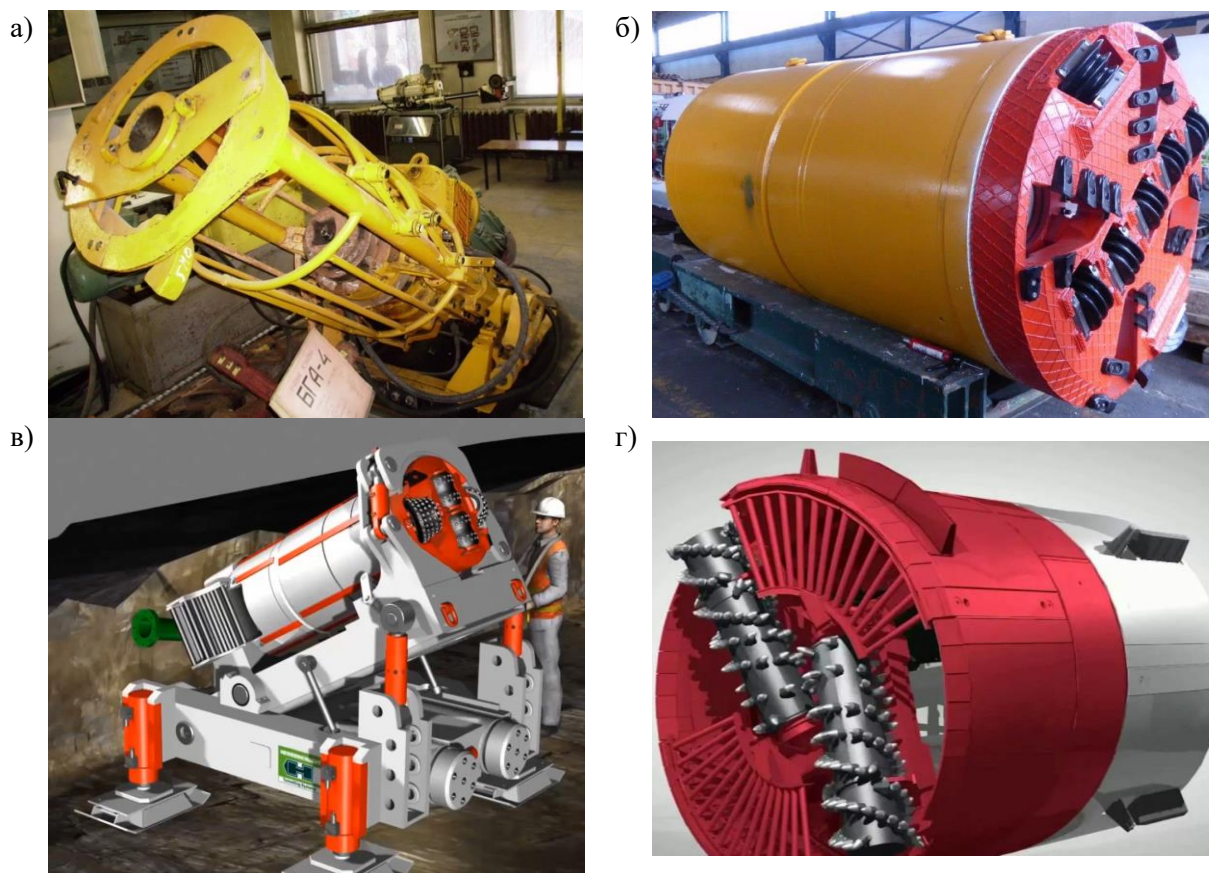


Рис. 1. Горные машины для проходки выработок круглого сечения: а – буровая установка; б – установка для микротоннелирования; в – буровой комплекс; г – геоход

Fig. 1. Mining machines for driving round mine workings: a – drilling rig; b – microtunneling rig; c – drilling complex; d – geokhod

Безусловно, есть примеры использования проходческих машин куда более внушительных размеров, например тоннелепроходческих комплексов диаметром более 10 м. Однако размеры самих комплексов также внушительны. В условиях угольных шахт первоочередными являются требования к массогабаритным характеристикам, которые позволяют осуществить доставку и перемещение оборудования в ограниченном пространстве. Масса и габаритные размеры во многом будут зависеть от требуемой мощности, затрачиваемой на разрушение горной породы на забое выработки, на транспортирование горной породы, на подачу разрушающего инструмента



на забой, на крепление и т.д. В частности, существенный вклад в значение требуемой мощности вносит исполнительный орган (ИО) разрушения забоя. От его типа и конструкции будет зависеть, какая мощность требуется на разрушение породы и подачу на забой.

Задача поиска рационального варианта ИО для вновь создаваемой горной машины, предназначенной для образования полости в горной породе диаметром до 1,5 м и длиной до 60 м требует рассмотрения ИО не только буровых установок (рисунок 1-а), но и других горных машин, таких как установка для микротоннелирования (рисунок 1-б), буровой агрегат (рисунок 1-в), геоход (рисунок 1-г). Для этого необходимо на первом этапе провести классификацию ИО на основе различных классификационных признаков.

Множество вариантов бурового инструмента рационально ограничить габаритами, условиями и назначением:

- диаметр проводимой скважины – до 1,5 м;
- проведение наклонных скважин по углю с присечкой породы (крепость породы 1-5 ед. по шкале М.М. Протодяконова);
- назначение – дегазационные сбойки.

Последующая классификация ИО проводится с учетом указанных ограничений.

1. По виду взаимодействия с забоем ИО может быть фрезерующим и плоско-шлифующим.
2. По активации движения: пассивный и активный.
3. По наличию уступа на забое: с образованием уступа, без образования уступа.
4. По виду оснащения инструментом: режущие (резцы, сплошное или секторное лезвие), раздавливающие (шарошечный всех видов), комбинированные.
5. По конструктивным признакам ИО могут быть следующих типов: лучевые буровые коронки (расширители); роторные; барабанные; шарошечные долота и т.д.

Исполнительные органы буровых установок

В буровых установках применяются лучевые коронки и расширители прямого и обратного хода. В зависимости от крепости породы ИО могут быть оснащены резцами или шарошками.

На рисунке 2 представлены ИО буровых станков БГА2В и БГА4, оснащенные резцами, а также забурники [2].

На рисунке 3 представлены ИО буровых станков БГА2В, оснащенные дисковым инструментом [2].

На рисунке 4 представлены шарошечные расширители. Шарошечные расширители широко используются в горизонтально-направленной бурении (ГНБ). В таблице 2 представлены массовые характеристики некоторых расширителей этого типа.

Таблица 2. Массовые характеристики шарошечных расширителей

Table 2. Mass characteristics of cutter reamers

Наименование (обозначение)	Диаметр, мм	Кол-во шарошек, шт.	Размеры, мм	Масса, кг
Волгабурмаш МС-ГАУ 800	800	6	800×800×2000	914
С-ЦВ 760	760	3	760×760×1000	400
IADC 137	690	6	690×690×1000	500
С-ЦВ 850	850	3	850×850×900	450
МС-ГАУ 800 в сборе с УБТ 229	800	6	800×800×2000	1600
МС-ГАУ 850	850	6	850×850×1500	900
РШ 6-914	914	6	914×914×1850	2170

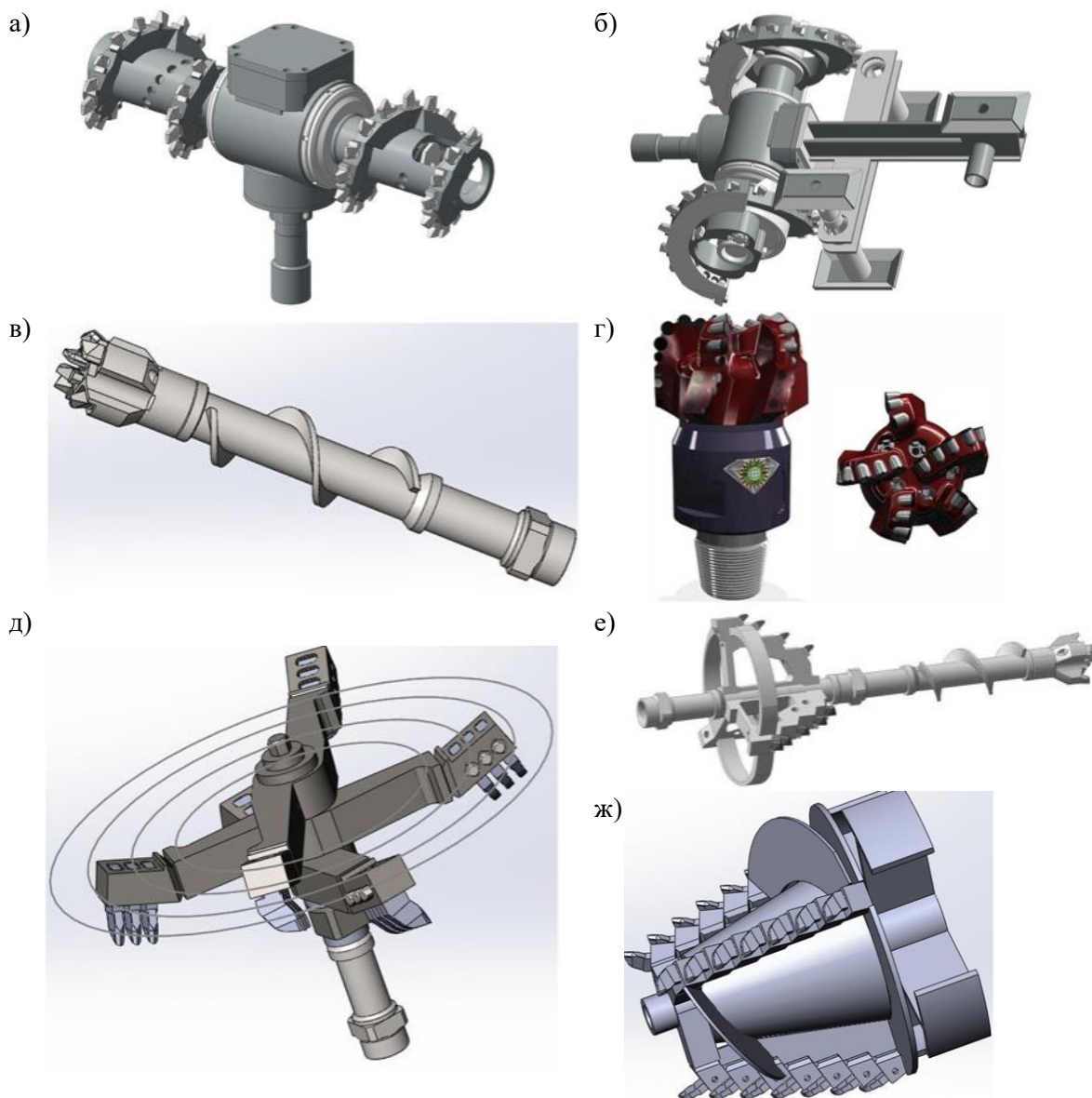


Рис. 2. ИО с резцами буровых станков БГА: а – расширитель обратного хода прямоугольного сечения 310×1100 мм по породам крепостью до 3 ед.*; б – расширитель обратного хода прямоугольного сечения 550×1100 мм по породам крепостью до 3 ед.; в – забурник диаметром от 120 до 150 мм по породам крепостью до 8 ед.; г – забурник диаметром 127 мм по породам крепостью до 12 ед. (пр-во Китай); д – расширитель обратного хода БГА-4М в сборе диаметром 1000-1200 мм (бурение от 50° до 90°) по породам крепостью до 3 ед. е – расширитель прямого хода диаметром 500 мм с забурником по породам крепостью до 8 ед.; ж – расширитель обратного хода БГА-2В в сборе диаметром 900 мм (бурение от 0° до 45°) по породам крепостью до 3 ед.

* – здесь и далее крепость определяется по шкале М. М. Протодяконова.

Fig. 2. Executive bodies with cutters of BGA type drill rigs: a – rectangular backward reamer with 310×1100 mm cross-section in rocks of up to 3 units of hardness *; b – rectangular backward reamer with 550×1100 mm cross-section in rocks of up to 3 units of hardness; c – drill bit with 120-150 mm diameter in rocks of up to 8 units of hardness; d – drill bit with 127 mm diameter in rocks of up to 12 units of hardness (China); e – backward reamer BGA-4M with 1000-1200 mm diameter (drilling from 50° to 90°) in rocks of up to 3 units of hardness; f – reamer of 500 mm diameter with drill bit in rocks of up to 8 units of hardness; g – backward reamer BGA-2B in 900 mm diameter (drilling from 0° to 45°) in rocks of up to 3 units of hardness.

* - hereinafter the hardness is defined according to Protodiakonov's scale.

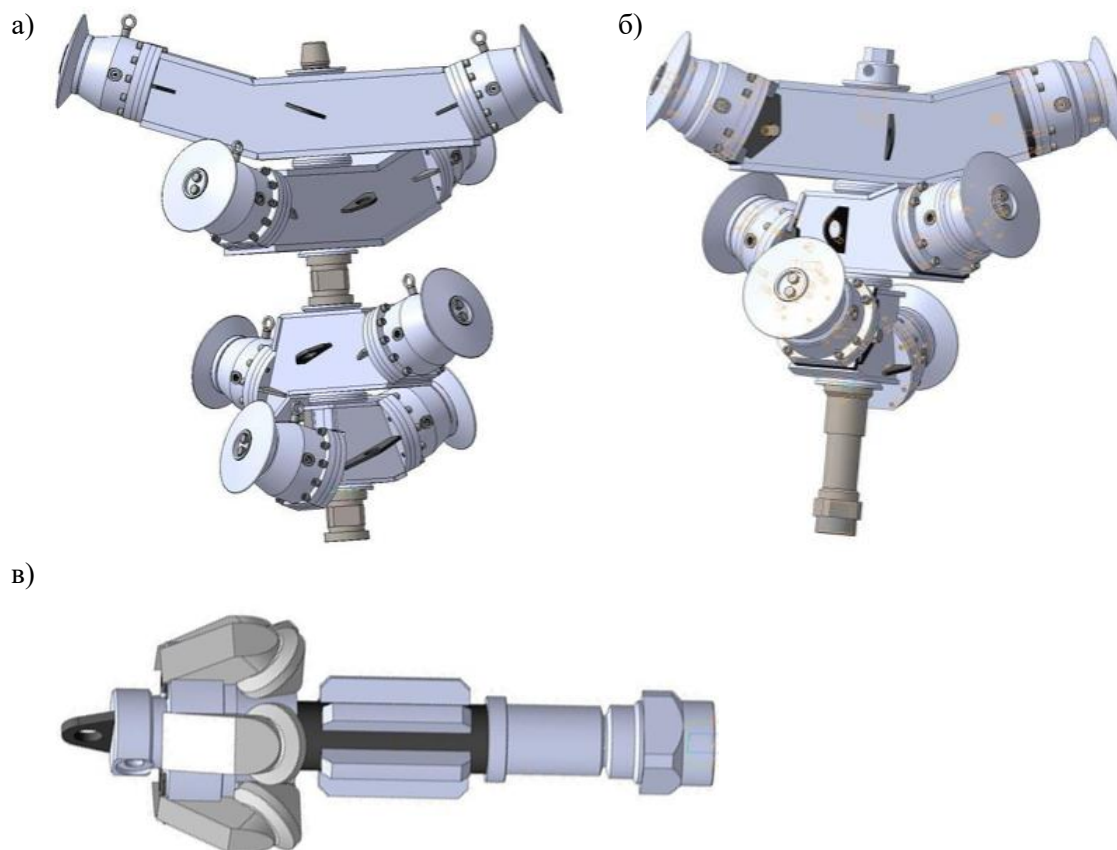


Рис. 3. ИО бурового станка БГА2В с дисковыми шарошками: а – расширитель обратного хода дисковый БГА2В в сборе диаметром 600–1300 мм (бурение от 50° до 90°) по породам крепостью до 8 ед.; б – расширитель обратного хода БГА2В в сборе диаметром 900 мм (бурение от 0° до 45°) по породам крепостью до 3 ед.; в – расширитель обратного хода диаметром 250 мм по породам крепостью до 12 ед.

Fig. 3. Executive bodies of BGA2V Drilling Rig with disc cutters: a – backward reamer disks assembled with diameter 600-1300 mm (drilling from 50° to 90°) in rocks of up to 8 units of hardness; b – backward reamer disks assembled with diameter 900 mm (drilling from 0° to 45°) in rocks of up to 8 units of hardness; c – backward reamer 250 mm in diameter in rocks of up to 12 units of hardness.

Шарошечные расширители могут быть вооружены армированными вставками (рис. 4-а, б, в) или фрезерованными зубьями (рисунок 4-г, д). Армированные вставки используются для более крепких пород (до крепости 12 ед.), фрезерованные зубья для более мягких пород (до 8 ед.).

Для ГНБ широкое распространение получили расширительные головки, оснащенные резцами. Основные их виды [3]:

- Режущий расширитель подходит для работы в средних грунтах (рисунок 5, а). Плоский элемент вооружен твердосплавными напайками. Измельчённая порода свободно проходит сквозь полое тело расширителя, а коническая форма образуется за счёт продолговатых прочных пластин, которые одним краем приварены к ободу, а вторым сходятся в одной рабочей точке.
- Режуще-уплотняющий расширитель без встроенного вертлюга (рисунок 5, б). Предназначен для среднего и тяжёлого грунта. Форма груши не препятствует транспортировке породы – есть канавки на корпусе для ее отвода.
- Режуще-уплотняющий расширитель со встроенным вертлюгом (рисунок 5, в). Инструмент способен резать, разрыхлять плотный и средний грунт. Полая конструкция не утяжеляет изделие. Режущие элементы расположены во все стороны.



- Комбинированный расширитель (рисунок 5, г). Состоит из режущего расширителя и калибрующего расширителя, который находится сразу за ним и измельчает грунт. Его диаметр чуть меньше основного приспособления.
- Расширитель кодиак без встроенного вертлюга (рисунок 5, д). Служит для тяжёлого грунта. ИО имеет коническую форму, а по спирали приварены резцы, есть возможность крепить дополнительные пластины.
- Расширители кодиак со встроенным вертлюгом (рисунок 5, е). ИО типичной конической формы. Три ряда резцов расположены по спирали. Предназначен для сложных условий бурения в виде крепких включений.



Рис. 4. Шарошечные расширители:
а, б, в – расширители с армированными
вставками;
г, д – расширители с фрезерованными
зубьями

Fig. 4. Roller reamers:
a, b, c – reamers with reinforced inserts;
d, e – reamers with milled teeth

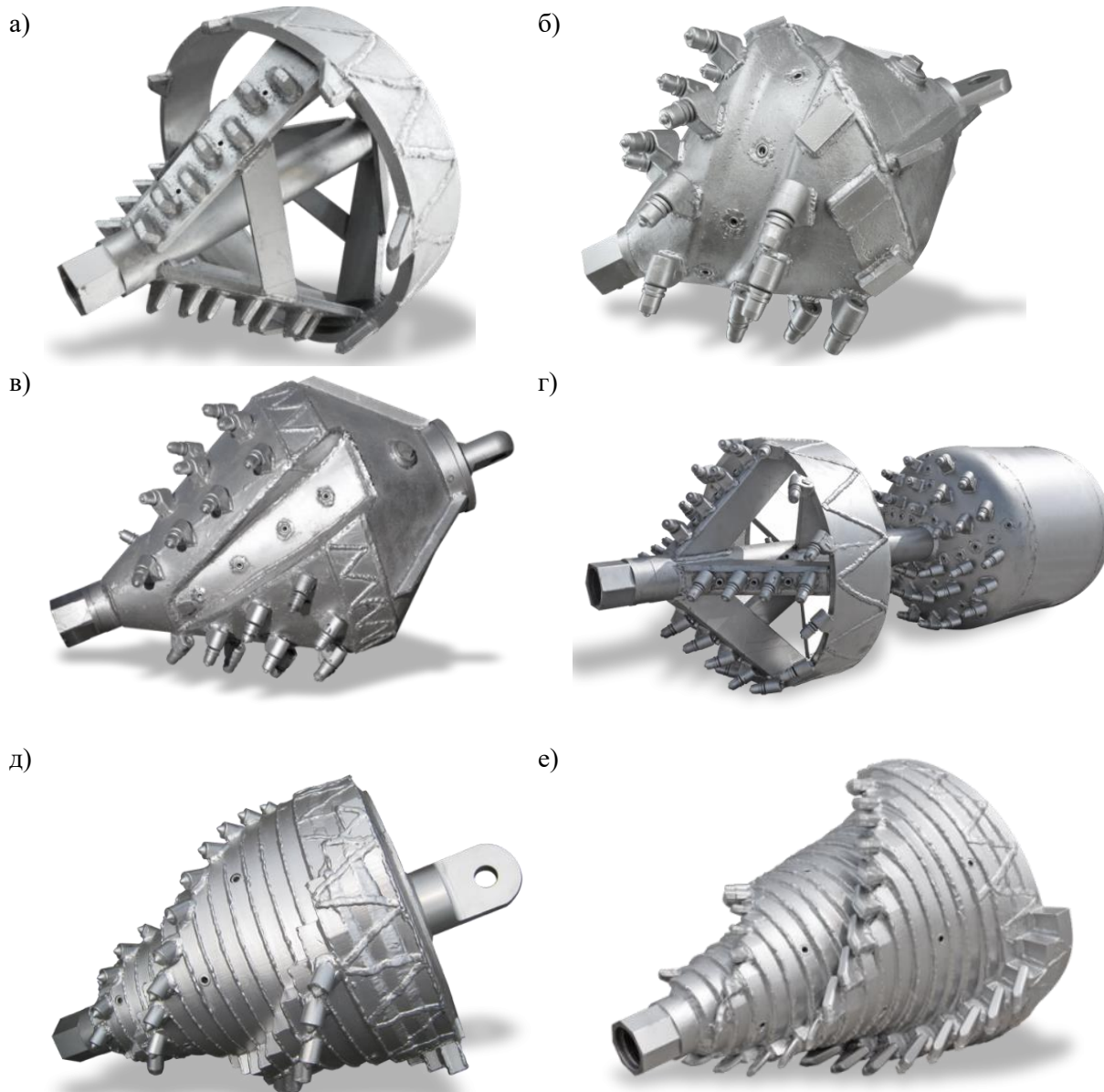


Рис. 5. Резцовые расширители для ГНБ: а – режущий расширитель; б – режуще-уплотняющий расширитель без встроенного вертлюга; в – режуще-уплотняющий расширитель со встроенным вертлюгом; г – комбинированный расширитель; д – расширитель кодиак без встроенного вертлюга; е – расширитель кодиак со встроенным вертлюгом

Fig. 5. Cutter reamers for horizontal directional drilling: a – cutter reamer; b – cutter-compacting reamer without integrated swivel; c – cutter-compacting reamer with integrated swivel; d – combined reamer; e – codiac reamer without integrated swivel; f – codiac reamer with integrated swivel

Компанией «Горный инструмент» выпускается расширитель прямого хода с наборными секциями и сменными резцами (рис. 6). Он состоит из пилотной ступени диаметром 76 мм, расширителей двух типоразмеров: от 93 до 120 мм, от 130 до 300 мм [4]. Пилотная ступень и расширители комплектуются сменными резцами в зависимости от горно-геологических условий работы инструмента.

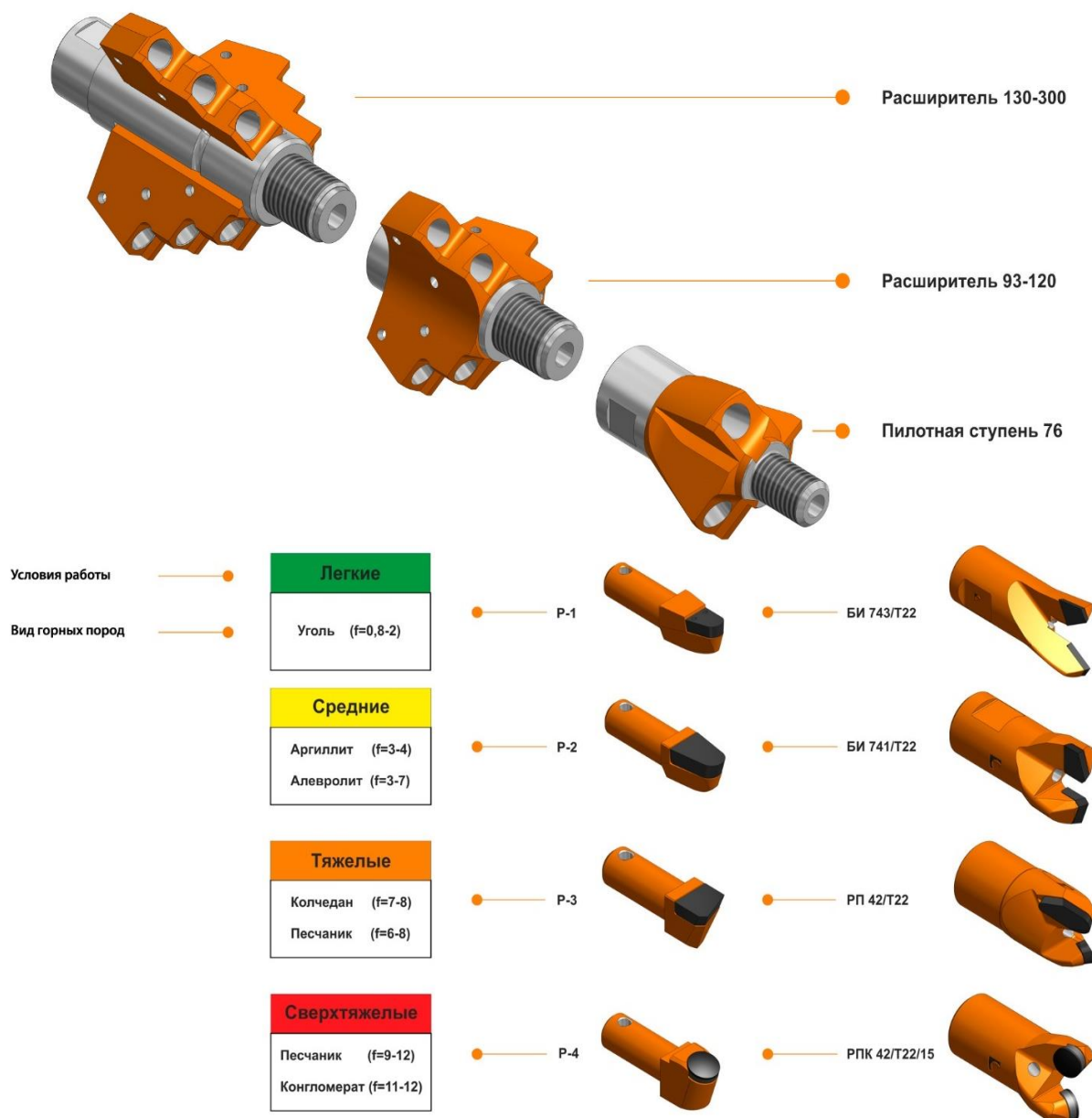


Рис. 6. Расширитель прямого хода с наборными секциями и сменными резцами «Горный инструмент» и сменный рабочий инструмент [4]

Fig. 6. Straight-stroke reamer with set sections and interchangeable cutters «Mining Tool» and interchangeable working tool [4]

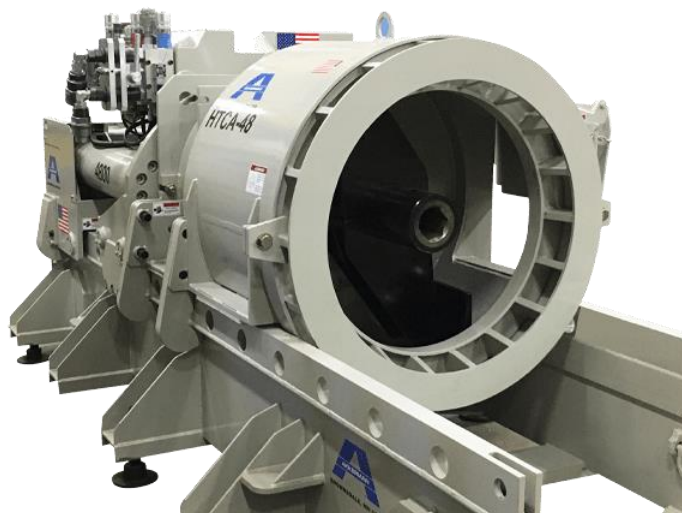
При направленном бурении с установкой обсадной колонны станками GBM (рис. 7-а) компании Akkerman в качестве расширителя прямого хода применяются расширители GRS-50 (The Guide Rod Swivel), оснащенные резцами (рис. 7-б, в) [5, 6].

Расширитель имеет шарнирное сопряжение со ставом, что обеспечивает его подвижность. Семейство GRS-50 с поворотной направляющей штангой с универсальным подшипниковым шарниром содержит ряд диаметров стальных корпусов с режущими головками (рис. 7-б). GRS-50 включает в себя несколько типоразмеров инструментов для увеличения размеров подшипников с высокой упорной нагрузкой, способных выдерживать постоянное осевое усилие 500 кН. Они предназначены для разрушения твердых и труднопроходимых грунтов.

На рисунке 8 показана технология проведения скважин при помощи GBM и расширителя GRS-50 [5].



а)



б)



в)



Рис. 7. Буровая установка GBM (а), расширители GRS-50 (б) с наружным диаметром 610 мм, 762 мм, 914 мм и 1067 мм, расширитель после эксплуатации (в) [5, 6]

Fig. 7. Drilling rig GBM (a) and reamers GRS-50 (b) with 610 mm, 762 mm, 914 mm and 1067 mm outside diameter and reamer after operation (c) [5, 6]

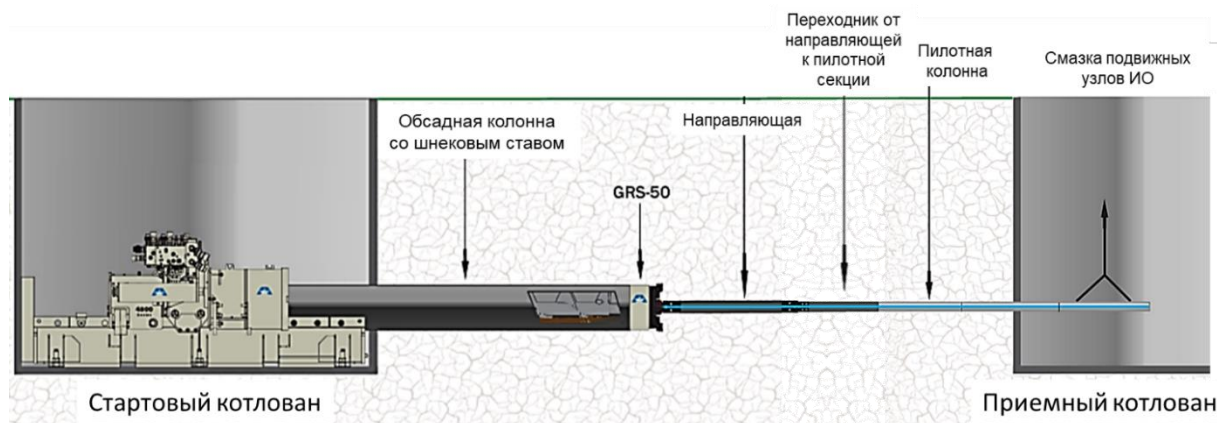


Рис. 8. Технология проведения скважин установкой GBM с расширителем GRS-50
Fig. 8. Technology of borehole drilling by GBM rig with GRS-50 reamer

Начало бурения осуществляется пилотной колонной, полой внутри, через которую может быть подана жидкость. Далее монтируется расширитель GRS-50, за ним движется обсадная колонна со шнековым ставом. Пилотная колонна соединяется с направляющей GRS-50 через переходник.

В таблице 3 представлены массогабаритные характеристики типоразмерного ряда расширителей GRS-50.

Таблица 3. Массогабаритные характеристики GRS-50
Table 3. Mass-size characteristics of GRS-50

Типоразмер	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, кг
GRS-50 24	609	1 118	544
GRS-50 26	660		590
GRS-50 28	711		635
GRS-50 30	762		680
GRS-50 36	914		816

Для более крепких пород (прочность на сжатие до 170 МПа) у Akkerman предусмотрен ИО с дисковыми шарошками RBU (Rock Boring Unit), секция с которым приваривается к обсадной трубе (рис. 9). ИО может иметь различный диаметр, указанный в табл. 4, где приведены массогабаритные характеристики RBU.

Таблица 4. Массогабаритные характеристики RBU
Table 4. Mass-size characteristics of RBU

Типоразмер	Диаметр корпуса, мм	Длина, мм	Диаметр диска, мм	Масса, кг
RBU 24	610	1 067	170	998
RBU 30	762			1270
RBU 36	914			1815
RBU 42	1067			2132

На рисунке 10 показана технология проведения скважин при помощи GBM и ИО RBU.

Как уже отмечалось, корпус RBU приварен к обсадной трубе, а ведущий шнек прикреплен с помощью шестигранного соединения. Бурение RBU не предполагает пилотной скважины.

Аналогичные RBU ИО встречаются и у других производителей. В таблице 5 приведены массогабаритные характеристики ИО компании American Augers (рисунок 11) [7].



а)



б)



Рис. 9. ИО RBU [6] на подставке (а) и приваренный к обсадной трубе (б)
Fig. 9. Executive body of RBU [6] on the stand (a) and welded to the casing pipe (b)

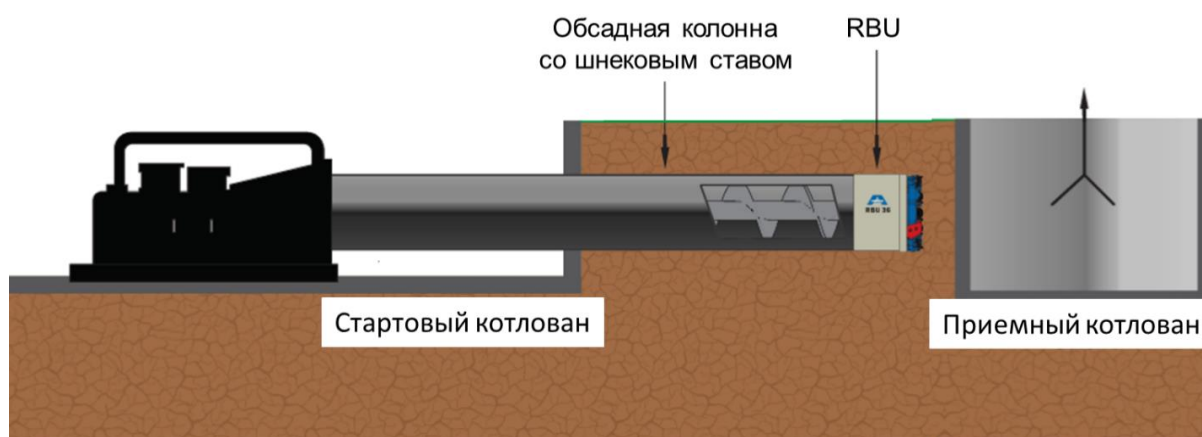


Рис. 10. Технология проведения скважин при помощи GBM и ИО RBU [5]
Fig. 10. Technology of well construction using GBM and RBU executive body [5]

Таблица 5. Массогабаритные характеристики ИО компании American Augers
Table 5. Mass-size characteristics of American Augers' executive bodies

Диаметр, мм	Длина, мм	Количество дисков	Масса, кг
610	1 067	9	1009
762		11	1391
914		13	1860
1067		16	2205



Рис. 11. ИО с дисковыми шарошками компании American Augers [7]
Fig. 11. American Augers' executive bodies with disc-shaped cutters [7].

Кроме того, компанией American Augers выпускаются ИО с коническими шарошками (рис. 12) [8] диаметром 508 мм, 610 мм, 762 мм, 914 мм, 1067 мм и 1219 мм.



Рис. 12. ИО с коническими шарошками компании American Augers
Fig. 12. American Augers' executive bodies with conical cutters.

Еще одной разновидностью ИО с коническими шарошками American Augers являются выдвижные ИО (рис. 13) [9]. Их применение обусловлено необходимостью разрушения твердых пород в процессе бурения по мягким породам. При этом осуществляется смена бурового инструмента без демонтажа обсадной колонны. После того, как твердые включения будут пройдены, ИО опять меняется на соответствующий породе тип. Массогабаритные характеристики выдвижных ИО с коническими шарошками приведены в табл. 6.



Рис. 13. Выдвижные ИО с коническими шарошками компании American Augers

Fig. 13. American Augers' retractable executive bodies with conical cutters

Таблица 6. Массогабаритные характеристики выдвижных ИО

Table 6. Mass-size characteristics of retractable executive bodies

Обозначение	Диаметр в сложенном состоянии, мм	Диаметр в разложенном состоянии, мм	Масса, кг
20RC4164-R	508	559	340
24RC4164-R	610	660	385
30RC4164-R	762	812	471
36RC4164-R	914	965	748
36RC4180-R	914	965	784
42RC4164-R	1066	1118	1011
42RC4180-R	1066	1118	1093
48RC4180-R	1219	1270	1292

Многоцелевые расширители HTD от American Augers можно позиционировать как многолучевые расширители прямого хода с забурником (рис. 14) [9]. Эти распределители имеют возможность уменьшения диаметра за счет сложения крайних резцов на величину, достаточную для демонтажа из обсадной колонны с целью замены на ИО с коническими шарошками (см. рис. 13). HTD – это универсальный, хорошо зарекомендовавший себя в полевых условиях расширитель, оснащенный твердосплавными режущими наконечниками для мягких пород, глины, песка и других материалов.

Массогабаритные характеристики многоцелевых расширителей приведены в таблице 7 [9].



Рис. 14. Многоцелевые расширители HTD American Augers

Fig. 14. American Augers' HTD multipurpose reamers



Таблица 7. Массогабаритные характеристики многоцелевых расширителей American Augers
Table 7. Mass-size characteristics of American Augers' multipurpose reamers

Обозначение	Диаметр в сложенном состоянии, мм	Диаметр в разложенном состоянии, мм	Масса, кг
08CH7036	190	241	17
10CH7036	241	311	24
12CH7036	292	362	28
24CH7036	571	648	64
30CH7048	724	800	116
36CH7048	876	952	128
40CH7064	965	1054	190
48CH7064	1143	1257	220
54CH7080	1295	1409	242
56CH7080	1346	1460	258
66CH7080	1714	1867	308
72CH7080	1752	1867	333

Еще одна разновидность ИО American Augers X-Mas Tree представляет собой коронку V-образной формы (рисунок 15) и предназначена для бурения в мягких горных породах, сланце, гравии, небольших валунах и других подобных породах с прочностью на сжатие до 41 МПа. V-образная форма обеспечивает самоцентрирующееся действие, помогая поддерживать прямолинейность. ИО оснащен тангенциальными поворотными резцами со вставкой из карбида вольфрама [9]. Массогабаритные характеристики ряда типоразмеров X-Mas Tree приведены в таблице 8 [9].

Таблица 8. Массогабаритные характеристики ИО X-Mas Tree
Table 8. Mass-size characteristics of X-Mas Tree executive bodies

Обозначение	Диаметр в сложенном состоянии, мм	Масса, кг
08RH5036	203	20
18RH5048	457	103
42RH5080	1066	447
54RH5080	1372	925
66RH5080	1676	1610



Рис. 15. ИО X-Mas Tree
Fig. 15. Executive body of X-Mas Tree type

Лучевые расширители компании Bohrtec, имеющие диаметр до 1,4 м, показаны на рис. 16 [10]. Они имеют периферийный кольцевой обод и конструктивно схожи с GRS-50 (см. рис. 7-б).



Рис. 16. Лучевые расширители компании Bohrtec
Fig. 16. Bohrtec's beam reamers

Компанией Bor-It производится ряд ИО различных типов (рисунок 17) [11]. Комбинированный расширитель (рисунок 17-а) по условиям аналогичен многоцелевым расширителям HTD от American Augers (см. рис. 14). Он идеально подходит для работы по песку, мягкому грунту, глине и мягким сланцам. На ИО установлены сменные радиальные резцы. Как и у расширителей HTD от American Augers, у ИО Bor-It имеются раскладные периферийные резцы, позволяющие в случае необходимости вытащить ИО из обсадной колонны и заменить на ИО для крепких пород и затем поменять обратно.

На рис. 17-б показан плоский породный ИО. Применяется для сложных работ, где встречаются твердые включения в виде камней, валунов. Плоская конструкция не делает этот ИО таким «агрессивным», как ИО для тяжелых условий эксплуатации (рисунок 17-в), но зато позволяет резцам постоянно очищаться, чтобы продолжать резать. Коронка вооружена сменными тангенциальными резцами. Диаметр ИО может быть от 254 мм до 1830 мм.

Коронки для тяжелых условий (рисунок 17-в) имеют V-образную форму для обеспечения самоцентрирующегося действия, которое помогает поддерживать направление бурения. Они подходят для бурения в породах средней крепости. Коронки вооружены сменными тангенциальными резцами. Они являются аналогами коронок American Augers X-Mas Tree (см. рис. 15).

Для горных пород с прочностью на сжатие до 55 МПа применяется ИО с коническими шарошками (рис. 17-г). Они оснащены армированными вставками. Эти коронки поставляются в стандартной комплектации с шестигранным переходником и кольцом-стабилизатором. Их диаметры могут быть от 102 до 1830 мм.

На рис. 18 представлено несколько расширителей, конструктивно аналогичных приведенным выше.

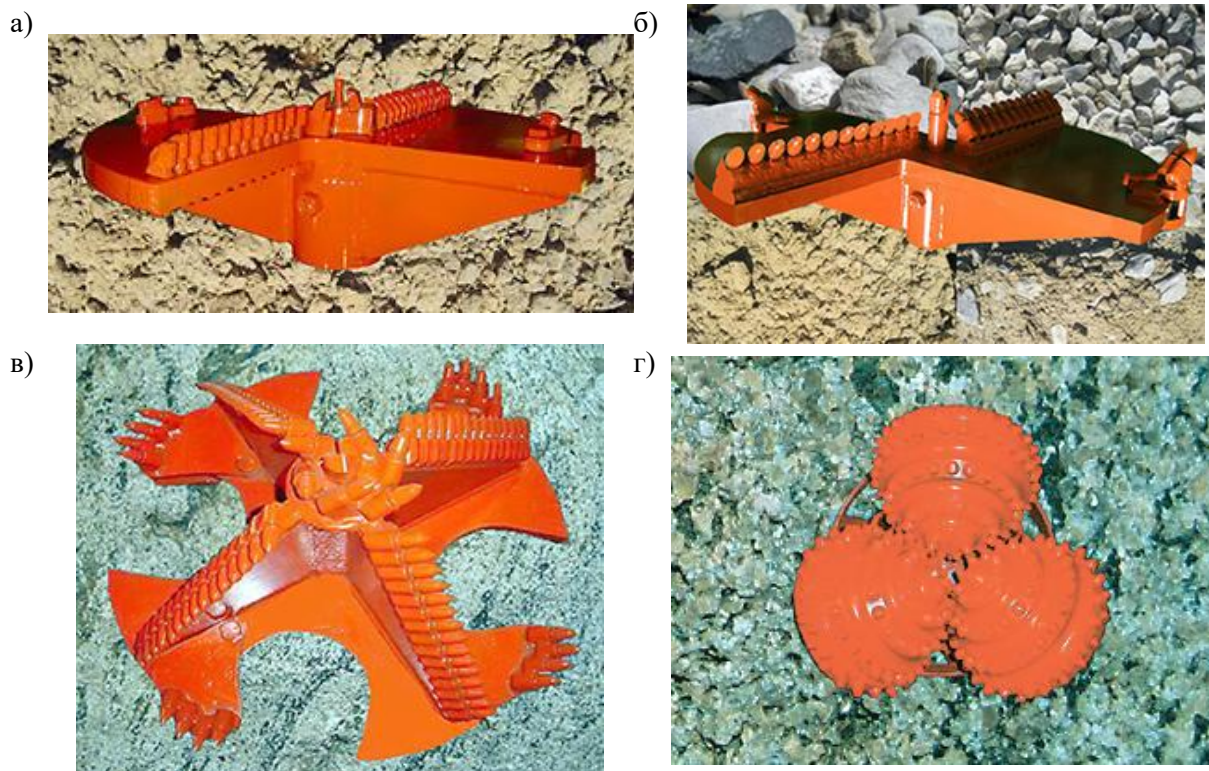


Рис. 17. ИО компании Bor-It: а – комбинированный; б – плоский породный ИО; в – V-образная коронка для тяжелых условий; г – с коническими шарошками

Fig. 17. Bor-It's executive bodies: a – combined; b – flat rock executive body; c – V-shaped crown for heavy conditions; d – with conical cutters

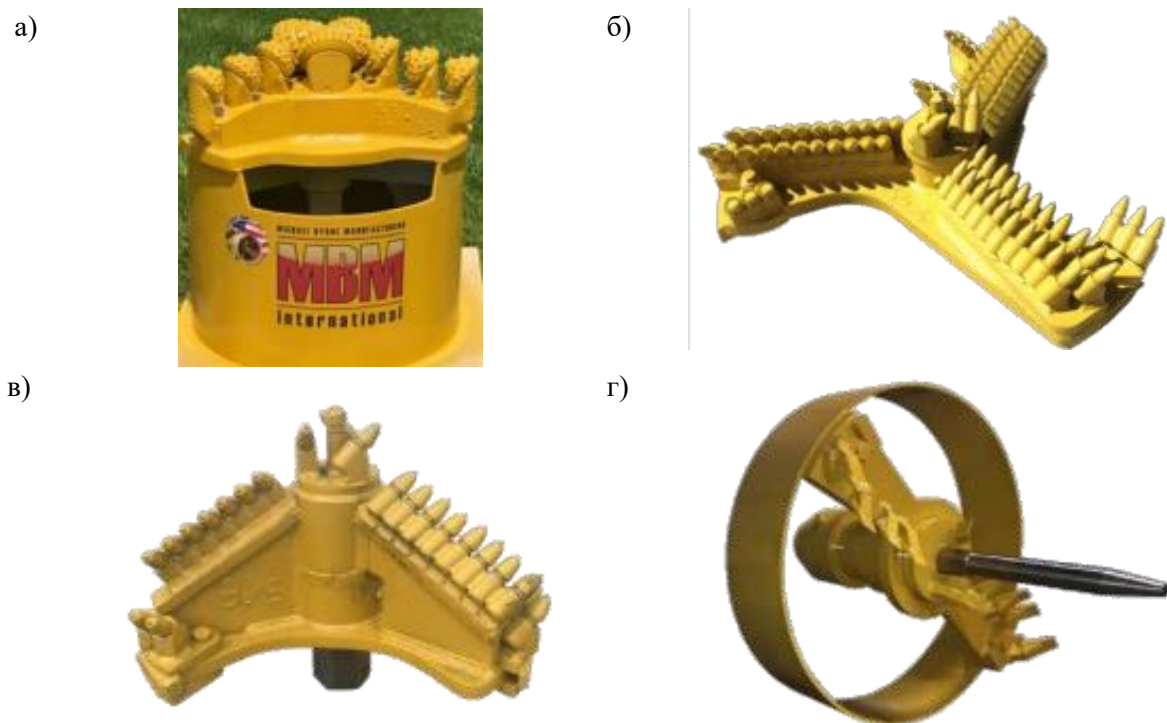


Рис. 18. Расширители: а – с коническими шарошками; б, в – лучевые с резцами; г – лучевой с периферийным кольцевым ободом

Fig. 18. Reamers: a – with conical cutters; b, c – beam with cutting bits; d – beam with a peripheral ring rim

Исполнительные органы установок для микротоннелирования

Установки для микротоннелирования характеризуются движением самой машины вслед за ИО и неразрывной связью с ним, а крепление осуществляется за машиной. Наглядным примером установок для микротоннелирования является установка AVN компании Herrenknecht диаметром от 0,4 до 4 метров (рис. 19) [12].



Рис. 19. Установка для микротоннелирования AVN компании Herrenknecht

Fig. 19. Herrenknecht AVN microtunneling machine

ИО таких установок представляется в виде планшайбы. В зависимости от условий проходки применяют различные конструкции планшайб с различным вооружением. На рис. 20 представлена схема выбора ИО. Вариативность ИО представлена тремя конструкциями – для мягких пород, для смешанных пород, для крепких пород (рис. 21).

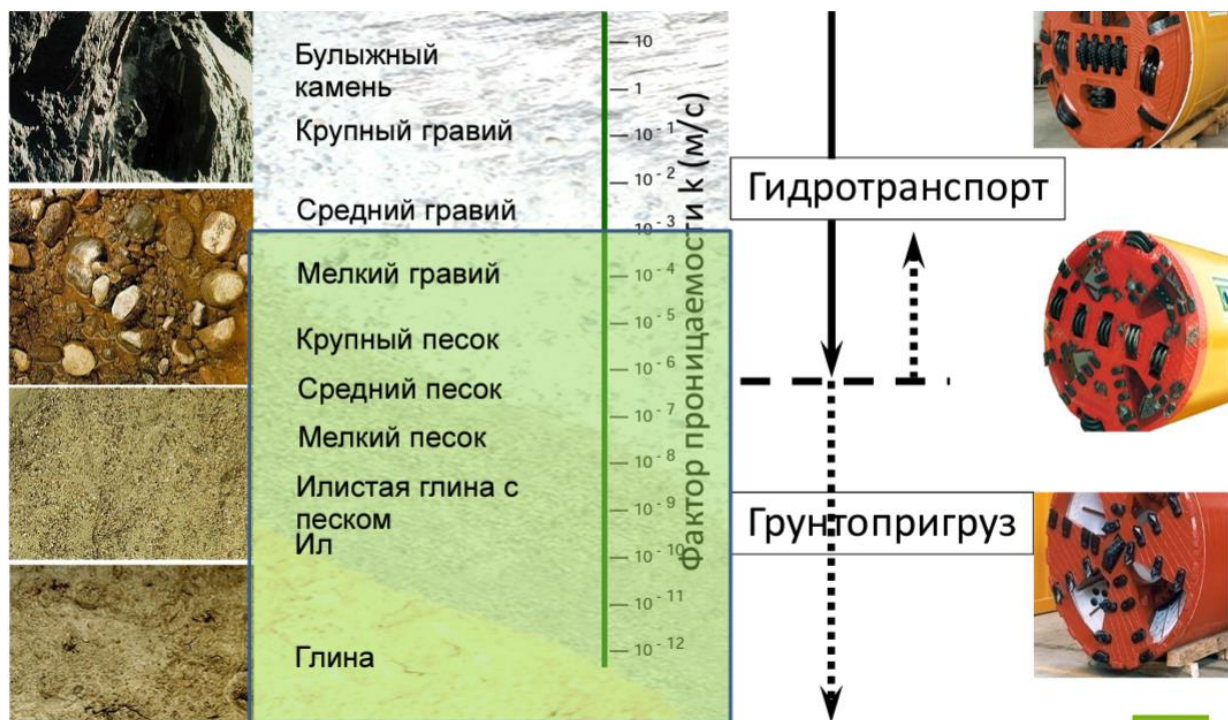


Рис. 20. Схема выбора рационального ИО в зависимости от условий проходки [13]

Fig. 20. Scheme for selecting a rational executive body depending on tunneling conditions [13]

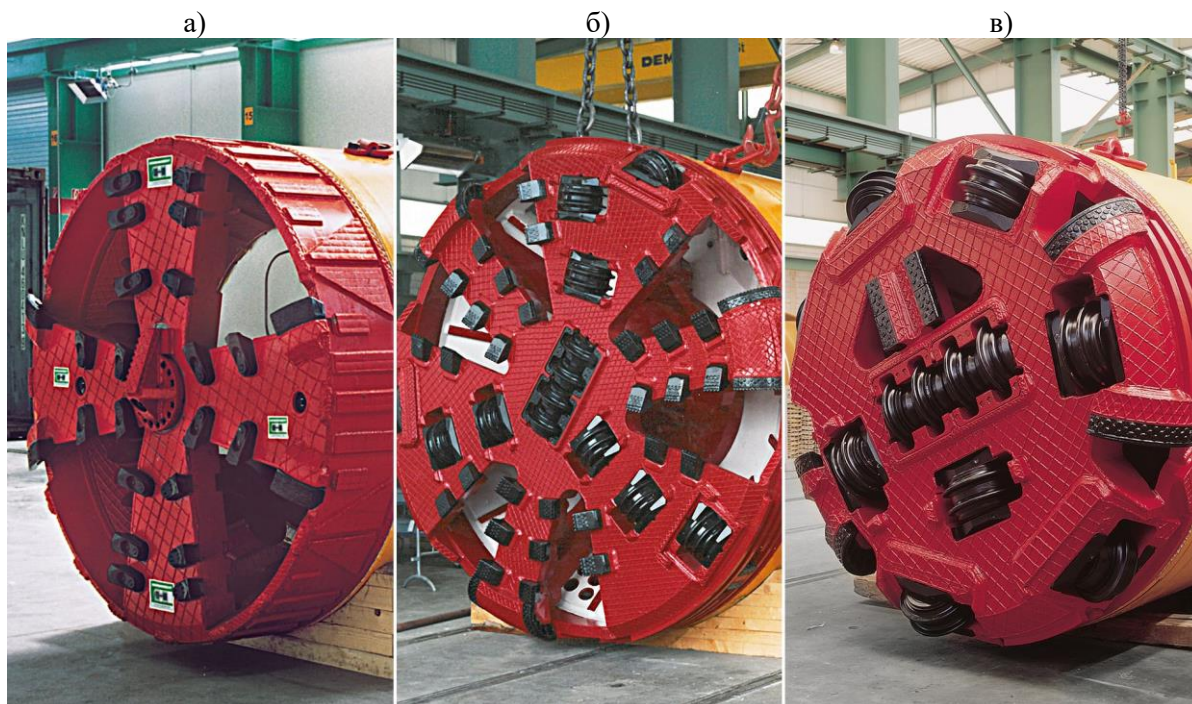


Рис. 21. ИО для мягких (а), для смешанных (б) и крепких пород (в) [12]
Fig. 21. Executive bodies for soft (a), for mixed (b) and for hard rocks (c) [12]

Между представленными на рисунке 21 вариантами выделяются 2 отличия. Во-первых, вооружение планшайбы для мягких пород представлено резцами, для смешанных пород резцами и дисковыми шарошками, а для крепких пород только шарошками. Во-вторых, отличается количество и размер погрузочных окон для прохождения отбитой породы. Для мягких пород окна имеют наибольший размер, т.к. при встрече, например, с камнем он должен беспрепятственно пройти в одно из погрузочных окон, за которыми расположена конусная дробилка. У ИО для смешанных пород имеются диски, которые могут частично разрушать твердые включения, соответственно размер погрузочных окон у них меньше. У ИО для крепких пород погрузка осуществляется через периферийные отверстия.

Аналогичные ИО применяются и другими производителями. На рис. 22 показаны ИО установок для микротоннелирования компании Robbins, а на рис. 23 – компании MTS. Как видно из рисунков, конструктивные различия между ИО разных производителей минимальны.

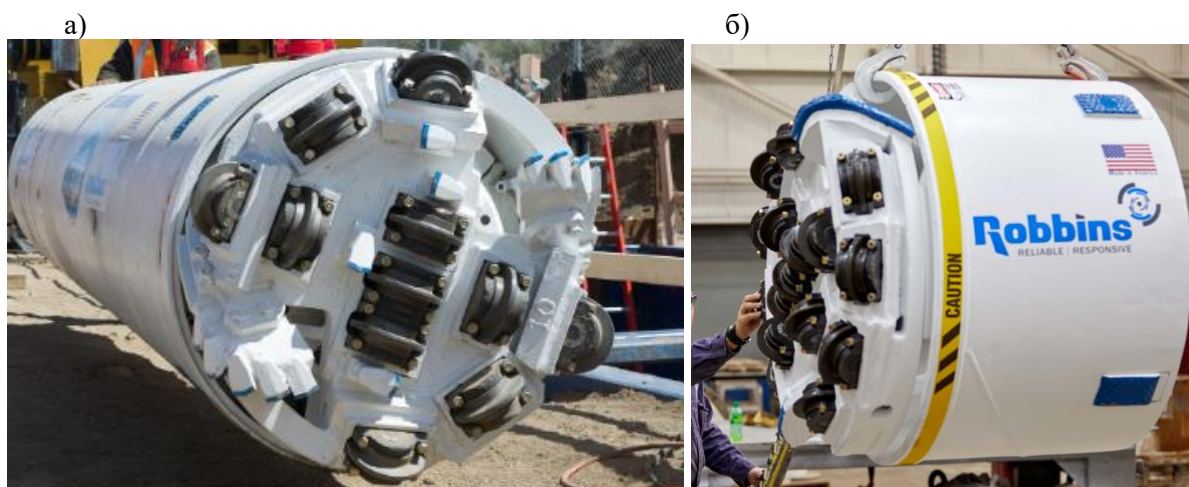


Рис. 22. ИО компании Robbins для смешанных (а) и крепких пород (б) [14]
Fig. 22. Robbins company's executive bodies for mixed (a) and for hard rocks (b) [14].

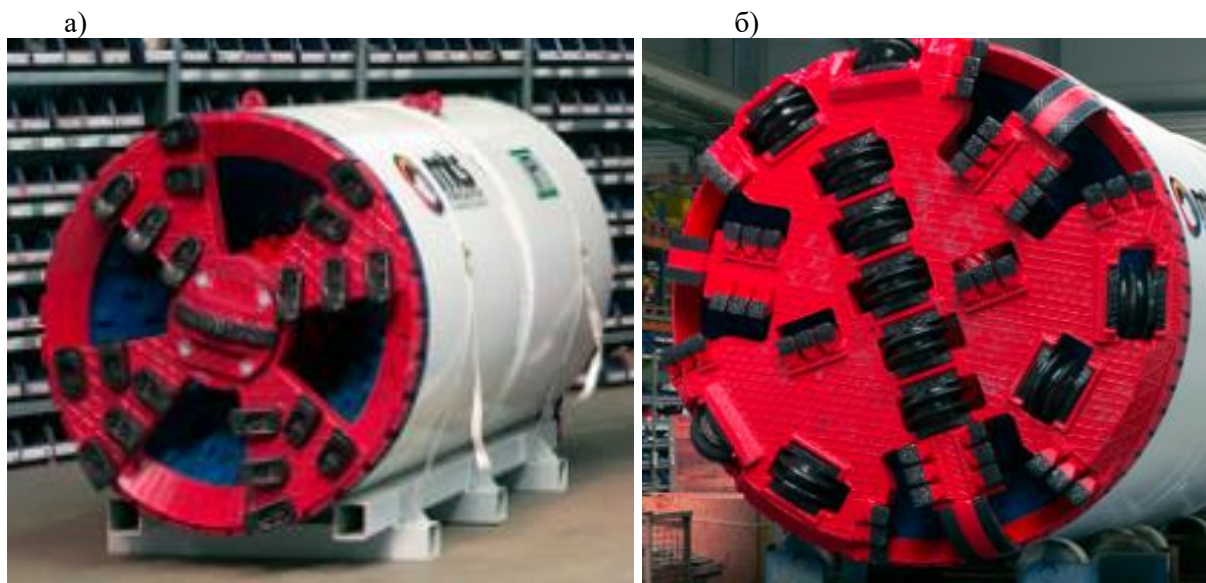


Рис. 23. ИО компании MTS для мягких (а) и смешанных пород (б) [15]
Fig. 23. MTS company's executive bodies for soft (a) and mixed rocks (b) [15].

Исполнительные органы буровых агрегатов

Отличие буровых агрегатов от буровых установок заключается в том, что буровые установки бурят скважины большого диаметра в несколько заходов, а буровые агрегаты за раз (не считая пилотной скважины). К буровым агрегатам относятся машины для бурения восстающих выработок (raise boring machine – далее RBM) (рисунок 24).

В буровых агрегатах применяются коронки и расширители прямого и обратного хода с шарошечным инструментом.



Рис. 24. Установка для бурения восстающих выработок
Fig. 24. Raise boring machine



На рис. 25-а представлены расширители обратного хода для восстающих скважин компании Herrenknecht диаметром от 1 до 8 м. На рис. 25-б показан их разрушающий инструмент в виде шарошек.

ИО такого же типа и шарошка компании Sandvik показаны на рис. 26.

а)



б)



Рис. 25. Линейка расширителей обратного хода Herrenknecht (а) и породоразрушающий инструмент (б) [16]

Fig. 25. Herrenknecht's backward reamer line (a) and rock destruction tool (b) [16].

а)



б)



Рис. 26. Буровой инструмент Sandvik (а) и шарошка (б) [17]

Fig. 26. Sandvik drilling tool (a) and a cutter (b) [17]

ИО Herrenknecht и Sandvik могут иметь модульную конструкцию, что позволяет транспортировать их в условиях ограниченного пространства [16, 17].

Различия между цельной, модульной и раздвижной конструкциями следующие.



Таблица 9. Массовые характеристики ряда расширителей Sandvik [17]
Table 9. Mass characteristics of a range of Sandvik reamers [17]

Наименование	Диаметр, мм	Кол-во шарошек	Масса*, кг
Цельная конструкция ИО с посадочным диаметром 340 мм			
CRH 3	1060 (1084)	4	2700
CRH 4	1420	6	3400
CRH 5	1524	8	4250
CRH 6	1829	10	5100
CRH 7	2134	12	5900
CRH 8	2440	14	6850
Цельная конструкция ИО с посадочным диаметром 360 мм			
CRH 8L	2440	14	7300
CRH 9L	2749	14	8150
CRH 10D	3094	16	10550
Цельная конструкция ИО с посадочным диаметром 390 мм			
CRH 10D	3094	16	11050
Модульная конструкция ИО с посадочным диаметром 340 мм			
CRH 6S	1829	10	5200
CRH 7S	2134	12	6100
CRH 8S	2440	14	7350
Модульная конструкция ИО с посадочным диаметром 360 мм			
CRH 10SD	3094	16	10750
Расширяемая конструкция ИО с посадочным диаметром 340 мм			
CRH 6E (с сегментом 2X7008-2101-30)	1829	10	5700
CRH 6E (с сегментом 2 X 7008-2169-30)	2152	10	5850
CRH 6E (с сегментом 2 X 7008-2169-30 или 4 X 7008-2170-30)	2429	14	7250
Расширяемая конструкция ИО с посадочным диаметром 360 мм			
CRH 8ESP (с сегментом 2 X 7008-2101-30)	2440	14	8600
CRH 8ESP (с сегментом 2 X 7008-2167-30 или 2 X 7008-2168-30)	2763	16	9450

* - общая масса расширителя с центратором, шарошками, креплениями

Цельная конструкция расширителя Sandvik RS510 (рисунок 27-а) имеет очень прочный и жесткий монолитный корпус. Все остальные элементы (шарошки, центраторы и т.д.) крепятся к корпусу болтами. Такая конструкция применяется в случаях, когда нет ограничений по размерам или весу транспортируемых элементов.

Модульные расширители Sandvik RS520 (рисунок 27-б) применяются в случаях, когда существуют ограничения по транспортному весу или размерам. Модульная конструкция состоит из основания-головки и двух съемных сегментов. Это позволяет транспортировать расширитель к месту установки через небольшие горные выработки. Затем сегменты крепятся к базовой головке болтами.

Расширяемые конструкции Sandvik RS530 (см. рис. 26-а) состоят из базовой головки, на которую могут быть установлены четыре или шесть сегментов. Это означает, что расширитель может иметь различные диаметры, а сборная конструкция позволяет доставлять ИО в труднодоступные места.

В табл. 9 представлены сведения о массе расширителей Sandvik.

Как следует из данных таблицы, минимальное значение массы расширителя составляет 2700 кг при диаметре около 1 м.

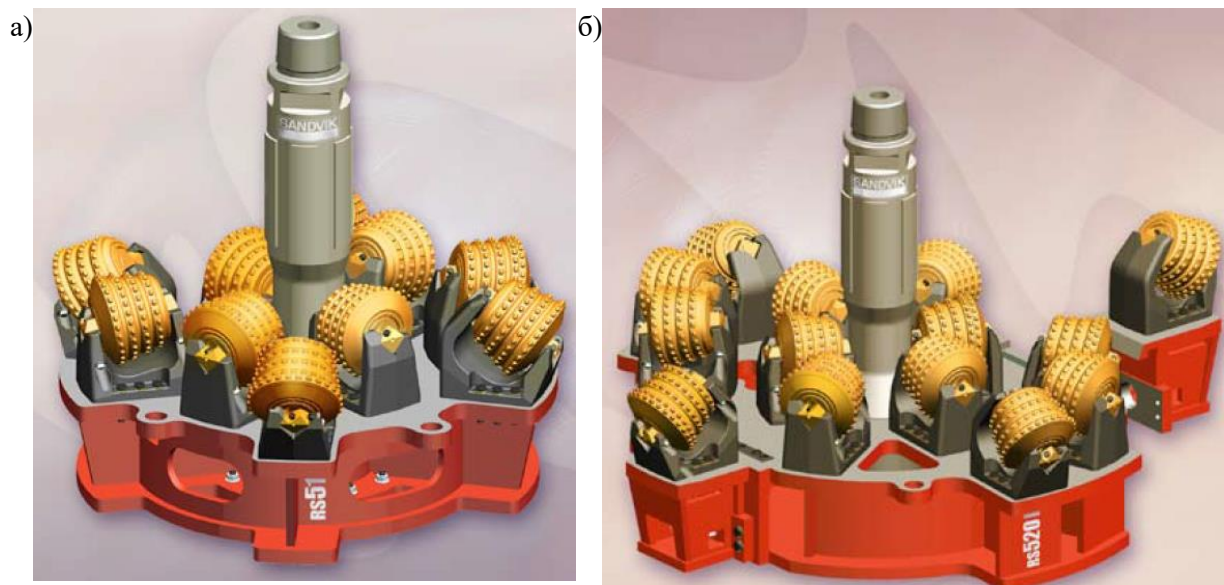


Рис. 27. Цельная конструкция расширителя Sandvik (а) и Модульные расширители Sandvik (б)
Fig. 27. One-Piece Sandvik Reamer (a) and Sandvik Modular Reamers (b)

Исполнительные органы геоходов

Принципиальной особенностью геоходов является ввинчивание в приконтурный массив корпуса, выполняющего функцию подвижной крепи [18-20]. В 1980–1990-х годах были созданы опытные образцы ЭЛАНГ-3 (рис. 28-а) и ЭЛАНГ-4 (рис. 28-б). Позднее, в 2015-2017 годах, был создан геоход модели «401» (рис. 29). Однако все эти конструкции имели диаметр более 3 метров, а ЭЛАНГ-3 был предназначен для мягких пород и оснащен ножевым ИО. В 2021 году был создан демонстрационный образец геохода диаметром 0,64 м с ножевым ИО [21], применимым только для мягких пород.

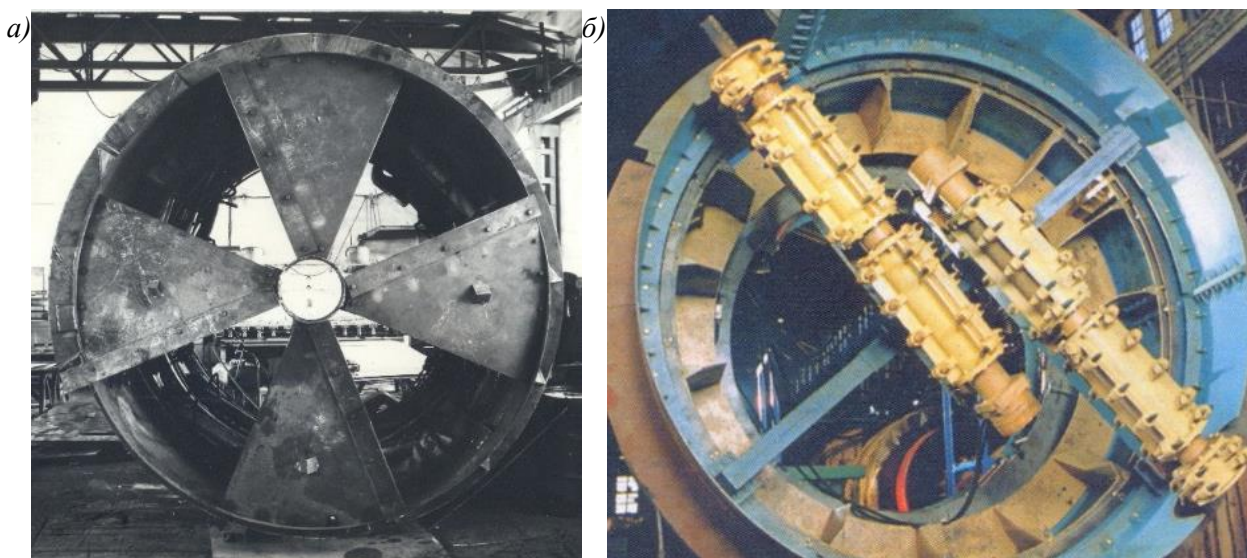


Рис. 28. Экспериментальные образцы ЭЛАНГ-3 (а) и ЭЛАНГ-4 (б)
Fig. 28. Experimental specimens of ELANG-3 (a) and ELANG-4 (b)



Рис. 29. Геоход модели «401»

Fig. 29. Model «401» geokhod

В ЭЛАНГ-4 и модели «401» диаметром 3,2 м применялись барабанные ИО, предназначенные для разрушения пород крепостью до 5 ед. по шкале Протодяконова [22, 23]. Барабанный ИО является фрезерующим активным ИО, т.е. имеющим свой собственный привод. При этом он образует уступ [24]. Это необходимо для обеспечения движения геохода на забой.

Геоходы в настоящее время серийно не выпускаются, находясь на этапе разработки. Поэтому работу их ИО в реальных условиях трудно прогнозировать [25-28].

Все рассмотренные ИО можно сгруппировать следующим образом.

1. ИО с коническими шарошками (рис. 4; 12; 13; 17-г; 18-а; 25-27);
2. ИО с дисковыми шарошками по сплошному забою (рис. 9; 11; 19; 21-в; 22);
3. V-образные ИО с резцовым инструментом (рис. 2-ж; 15; 17-в; 18-в);
4. Активные резцовые (рис. 2-а, б; 29);
5. Лучевые дисковые (рис. 3);
6. Расширители резцовые лучевые (рис. 2-д, е; 7; 14; 16; 17- а, б; 18-б, г; 21-а; 23-а).

На рис. 5 ИО для ГНБ можно отнести к 6 типу, при этом выделив у них еще одну функцию уплотнения грунта вокруг, что для хрупких пород актуальности не имеет.

На основании обзора ИО можно заключить следующее.

По условию применения наиболее рациональны ИО, оснащенные резцами. Шарошечные ИО предназначены для более крепких пород и имеют большую массу, чем резцовые. Исключение составляют лучевые дисковые, которые успешно применяются на установках БГА2М для расширения скважин по углю. Также требуют рассмотрения активные резцовые ИО, которые при ограниченной мощности на резание способны выполнить задачу разрушения забоя.



Список литературы

1. Черданцев А.М. Обоснование технологических схем интенсивной обработки пологих газоносных угольных пластов, склонных к самовозгоранию: дис. канд. техн. наук: 25.00.22. – СПб, 2020. – 145 с.
2. Буровой станок БГА2В // вистек.рф URL: <https://xn--b1agij7ag.xn--p1acf/assets/doc/2021/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D0%91%D0%93%D0%902%D0%92.pdf> (дата обращения: 15.10.2022).
3. Резцы для буровых работ “Горный инструмент”. Каталог. 2022 г.
4. Расширители для ГНБ // forward-gnb.ru URL: <https://forward-gnb.ru/burovoj-instrument/rasshiriteli/> (дата обращения: 15.10.2022).
5. Akkerman. Equipment systems // www.akkerman.com URL: https://www.akkerman.com/wp-content/uploads/akkerman_product_guide_120320.pdf (дата обращения: 15.10.2022).
6. Akkerman. Guided auger boring. Method of operation // www.akkerman.com URL: https://www.akkerman.com/wp-content/uploads/guided_auger_boring_method_statement_rev072518.pdf (дата обращения: 15.10.2022).
7. American Augers. Auger Boring Machines.
8. Equipment Spotlight: Auger Boring // Underground construction. – 2014. – Vol. 69. – № 5.
9. American augers. Auger boring. Product tooling accessories // jlm.se URL: [jlm.se URL: jlm.se/wp-content/uploads/2020/10/Auger-Boring-Product-Tooling-and-Accessories-Web.pdf](http://jlm.se/wp-content/uploads/2020/10/Auger-Boring-Product-Tooling-and-Accessories-Web.pdf) (дата обращения: 15.10.2022).
10. Оборудование // bohrtec.com URL: <https://www.bohrtec.com/ru/produkty/oborudovaniye.html> (дата обращения: 15.10.2022).
11. Bor-It High Performance Cutting Heads // bor-it.com URL: <https://bor-it.com/services> (дата обращения: 15.10.2022).
12. Установка для микротоннелирования AVN herrenknecht // Herrenknecht URL: www.herrenknecht.com/ru/produkte/productdetail/avn-maschine (дата обращения: 15.10.2022).
13. Зубехин, А.В. Методы повышения эффективности работы с микротоннелепроходческими установками Herrenknecht AG, 2012. – 40 с.
14. Установки для микротоннелирования Robbins // Robbinstbm URL: <https://www.robbinstbm.com/products/small-boring-machines/sbu-rc/> (дата обращения: 15.10.2022).
15. Установки для микротоннелирования Microtunneling systems // mts-tunneling.com URL: <https://mts-tunneling.com/en/products/microtunneling.html> (дата обращения: 15.10.2022).
16. Raise boring reaming heads and cutting tools // Herrenknecht AG URL: <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/raise-boring-reaming-heads-and-cutting-tools/> (дата обращения: 15.10.2022).
17. Raise boring equipment. Brochure // <https://www.rocktechnology.sandvik> URL: <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/products/rock-tools/pdf/raise-boring-tools-brochure.pdf?ysclid=lbpc1etf7h859462692> (дата обращения: 15.10.2022).
18. RAISE BORING MACHINE // terratec.co URL: <https://terratec.co/files/TERRATEC-RBM-Brochure.pdf> (дата обращения: 15.10.2022).
19. Classification of the geometric parameters of the external propulsion device of the geokhod / V. V. Aksenov, V. Y. Beglyakov, A.A. Kazantsev, A. B. Efremenkov // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Т. 2486. – №1. – p. 040021.
20. Компонентные решения машин проведения горных выработок на основе геовинчестерной технологии / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков, В. Ю. Бегляков, П. В. Бурков, М. Ю. Блашук, А. В. Сапожкова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 1. – С. 251-259.
21. Геовинчестерная технология и геоходы – наукоемкий и инновационный подход к освоению недр и формированию подземного пространства / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков // Уголь. – 2009. – № 2. – с. 26–29.
22. Пашков Д. А. Обоснование силовых и энергетических параметров исполнительных органов геохода для разрушения мягких пород. дис. канд. техн. наук: 05.05.06. – Кемерово, 2021. – 176 с.
23. Обоснование схемы установки и направления вращения барабанов на исполнительном органе геохода / А. А. Хорешок, К. А. Ананьев, А. Н. Ермаков, В. Н. Шахманов // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – №. 4. – С. 15-20.



24. Определение рационального числа резцов в линиях резания барабанных исполнительных органов геоходов / А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 3. – с. 110–115.

25. Khoreshok, A. Application of Multi-Criteria Decision Analysis for Choice Geokhods Cutting Head / A. Khoreshok, K. Ananyev, A. Ermakov, E. Golikova // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910503010>

26. Determination of the rational number of cutters on the outer cutting drums of Geokhod / A. Khoreshok, K. Ananiev, A. Ermakov [et al.] // Acta Montanistica Slovaca. – 2020. – Vol. 25. – No 1. – P. 70-80. – DOI 10.46544/AMS.v25i1.7. – EDN KEOOGO

27. Investigation of the mathematical model of the knife of geokhod executive body interaction with the bottomhole rock / V. V. Aksenov, A. B. Efremenko, V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Journal of Physics: Conference Series : IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012002. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012002. – EDN DUIMLL.

28. Обзор существующих решений исполнительных органов для формирования каналов за контурами выработки / А. Н. Ермаков, В. В. Аксенов, А. А. Хорешок, К. А. Ананьев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 20-24. – EDN SXTNKH.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 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, заведующий кафедрой горных машин и комплексов
e-mail: aka.gmk@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

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

Сидоров Максим Сергеевич, технический директор

ПАО «Распадская»

652870, Российская Федерация, Кемеровская область – Кузбасс, г. Междуреченск, ул. Мира, д. 106

Варнавский Кирилл Александрович, к.т.н., заведующий научно-исследовательской лабораторией цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса

e-mail: k.varnavskiy@mail.ru

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

Докторант кафедры механики и электроники, Шаньдунский университет науки и технологии, Циндао, Китай

579 Qianwangang Road, Economic & Technical Development Zone, Qingdao, Shandong Province, 266510 P.R. China



OVERVIEW OF DRILLING RIGS EXECUTIVE BODIES

Kirill A. Ananyev¹, Alexander A. Ermakov¹, Maxim S. Sidorov², Kirill A. Varnavsky^{1,3}

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² PJSC Raspadskaya

³ Shandong University of Science and Technology



Article info

Received:

02 October 2022

Revised:

16 November 2022

Accepted:

22 November 2022

Keywords: air connections,
drilling rigs, executive body,
reamer

Abstract.

Drilling connection holes in coal mines to remove methane from the worked-out space takes a long process (up to 5-7 days per hole). The hole is periodically destroyed before it is reinforced with casing. At the same time, the diameter of the cased connection hole well is 800 mm, which is not enough. As a consequence, the boreholes are drilled with smaller pitch, and it leads to increase of labor costs and total drilling time. Within the frames of the search for alternative variants of drilling such boreholes in order to reduce time, increase diameter and prevent their destruction a review of executing bodies of mining machines, which form workings with diameter of 1.2-1.5 m, was made. The review made it possible to determine the main features of the executive bodies, which can be used in the creation of new design solutions of mining machines for driving connection holes to remove methane from the worked-out space.

For citation Ananyev K., Ermakov A., Sidorov M., Varnavsky K. (2022) Overview of drilling rigs executive bodies, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 4(19):35. DOI: 10.26730/2618-7434-2022-4-35-61

References

1. Cherdantsev A.M. Obosnovanie tekhnologicheskikh skhem intensivnoy otrabotki pologikh gazonosnykh ugol'nykh plastov, sklonnykh k samovozgoraniyu: dis. kand. tekhn. nauk: 25.00.22. – SPb, 2020. – 145 s.
2. Burovoy stanok BGA2V // vistek.rf URL: <https://xn--b1agij7ag.xn--p1acf/assets/doc/2021/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D0%91%D0%93%D0%90%D0%92.pdf> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
3. Reztzy dlya burovyykh rabot "Gornyy instrument". Katalog. 2022 g.
4. Rasshiriteli dlya GNB // forward-gnb.ru URL: <https://forward-gnb.ru/burovoj-instrument/rasshiriteli/> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
5. Akkerman. Equipment systems // www.akkerman.com URL: https://www.akkerman.com/wp-content/uploads/akkerman_product_guide_120320.pdf (data obrashcheniya: 15.10.2022).
6. Akkerman. Guided auger boring. Method of operation // www.akkerman.com URL: https://www.akkerman.com/wp-content/uploads/guided_auger_boring_method_statement_rev072518.pdf (data obrashcheniya: 15.10.2022).
7. American Augers. Auger Boring Machines.
8. Equipment Spotlight: Auger Boring // Underground construction. – 2014. – Vol. 69. – № 5.
9. American augers. Auger boring. Product tooling accessories // jlm.se URL: [jlm.se URL: https://www.jlm.se/wp-content/uploads/2020/10/Auger-Boring-Product-Tooling-and-Accessories-Web.pdf](https://www.jlm.se/wp-content/uploads/2020/10/Auger-Boring-Product-Tooling-and-Accessories-Web.pdf) (data obrashcheniya: 15.10.2022).
10. Oborudovanie // bohrtec.com URL: <https://www.bohrtec.com/ru/produkty/oborudovaniye.html> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
11. Bor-It High Performance Cutting Heads // bor-it.com URL: <https://bor-it.com/services> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
12. Ustanovka dlya mikrotonnelirovaniya AVN herrenknecht // Herrenknecht URL: www.herrenknecht.com/ru/produkte/productdetail/avn-maschine (data obrashcheniya: 15.10.2022).
13. Zubekhin, A.V. Metody povysheniya effektivnosti raboty s mikrotonnelleprokhodcheskimi ustanovkami Herrenknecht AG, 2012. – 40 c.
14. Ustanovki dlya mikrotonnelirovaniya Robbins // Robbinsbm URL: <https://www.robbinsbm.com/products/small-boring-machines/sbu-rc/> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
15. Ustanovki dlya mikrotonnelirovaniya Microtunneling systems // mts-tunneling.com URL: <https://mts-tunneling.com/en/products/microtunneling.html> (data obrashcheniya: 15.10.2022).



16. Raise boring reaming heads and cutting tools // Herrenknecht AG URL: <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/raise-boring-reaming-heads-and-cutting-tools/> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
17. Raise boring equipment. Brochure // URL: <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/products/rock-tools/pdf/raise-boring-tools-brochure.pdf?ysclid=lbpc1etf7h859462692> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
18. RAISE BORING MACHINE // terratec.co URL: <https://terratec.co/files/TERRATEC-RBM-Brochure.pdf> (data obrashcheniya: 15.10.2022).
19. Classification of the geometric parameters of the external propulsion device of the geokhod / V. V. Aksenov, V. Y. Beglyakov, A. A. Kazantsev, A. B. Efremkov // AIP Conference Proceedings. – 2022. – T. 2486. – №1. – p. 040021.
20. Komponentnyye resheniya mashin provedeniya gornyx vyrabotok na osnove geovinchesternoy tekhnologii / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Beglyakov, P. V. Burkov, M. Yu. Blashchuk, A. V. Sapozhkova // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). – 2009. – №. 1. – S. 251-259.
21. Geovinchesternaya tekhnologiya i geokhody – naukoemkiy i innovatsionnyy podkhod k osvoeniyu nedr i formirovaniyu podzemnogo prostranstva / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov // Ugol'. – 2009. – № 2. – s. 26–29.
22. Pashkov D. A. Obosnovanie silovykh i energeticheskikh parametrov ispolnitel'nykh organov geokhoda dlya razrusheniya myagkikh porod. dis. kand. tekhn. nauk: 05.05.06. – Kemerovo, 2021. – 176 s.
23. Obosnovanie skhemy ustanovki i napravleniya vrashcheniya barabanov na ispolnitel'nom organe geokhoda / A. A. Khoreshok, K. A. Anan'ev, A. N. Ermakov, V. N. Shakhmanov // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2019. – №. 4. – S. 15-20.
24. Opredelenie ratsional'nogo chisla reztsov v liniyakh rezaniya barabannykh ispolnitel'nykh organov geokhodov / A. A. Khoreshok, K. A. Anan'ev, A. N. Ermakov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017. – № 3. – s. 110–115.
25. Khoreshok, A. Application of Multi-Criteria Decision Analysis for Choice Geokhods Cutting Head / A. Khoreshok, K. Ananyev, A. Ermakov, E. Golikova // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 105. – Article 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910503010>
26. Determination of the rational number of cutters on the outer cutting drums of Geokhod / A. Khoreshok, K. Ananiev, A. Ermakov [et al.] // Acta Montanistica Slovaca. – 2020. – Vol. 25. – No 1. – P. 70-80. – DOI 10.46544/AMS.v25i1.7. – EDN KEOOGO
27. Investigation of the mathematical model of the knife of geokhod executive body interaction with the bottomhole rock / V. V. Aksenov, A. B. Efremkov, V. Yu. Sadovets, D. A. Pashkov // Journal of Physics: Conference Series : IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012002. – DOI 10.1088/1742-6596/2052/1/012002. – EDN DUIMLL.
28. Obzor sushhestvuyushchih reshenij ispolnitel'nykh organov dlya formirovaniya kanalov za konturami vyrabotki / A. N. Ermakov, V. V. Aksenov, A. A. Khoreshok, K. A. Anan'ev // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). – 2014. – № 12. – S. 20-24. – EDN SXTCHK.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 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, PhD (Tech.), Associate Professor, Head of the Mining Machines and Complexes Department
e-mail: aka.gmk@kuzstu.ru

Alexander N. Ermakov, PhD (Tech.), Associate Professor, Senior Researcher of Mining Industry Digital Transformation Laboratory (MIDTLAB)

e-mail: ermakovan@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

28 Vesennyyaya str., Russian Federation, Kemerovo, 650000

Maxim S. Sidorov, Technical Director

PJSC Raspadskaya

106 Mira st., Russian Federation, Kemerovo region – Kuzbass,
Mezhdurechensk, 652870

Kirill A. Varnavsky, PhD (Tech.), Head of Mining Industry Digital Transformation Laboratory (MIDTLAB)

e-mail: k.varnavsky@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

28 Vesennyyaya str., Russian Federation, Kemerovo, 650000

Doctoral student of Mechanical and Electronic Engineering Department,
Shandong University of Science and Technology, Qingdao, China.

579 Qianwangang Road, Economic & Technical Development Zone, Qingdao, Shandong, 266510 P.R.China

