

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра горных машин и комплексов

ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ЩИТОВЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Методические указания к практическим работам
по дисциплине «**Горные машины, комплексы и оборудование**»
для обучающихся технических специальностей и направлений

Составители Л. Е. Маметьев
А. А. Хорешок
А. М. Цехин
А. Ю. Борисов

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № 24 от 26.04.2021
Рекомендованы к изданию
учебно-методической комиссией
специальности 21.05.04
Протокол № 3 от 27.04.2021
Электронная версия
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2021

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом растет население планеты, а транспортных средств становится все больше и недостаток свободного пространства ощущается все острее. Особенно это характерно для городов-мегаполисов. Поэтому для сохранения мобильности людей и грузов новые объекты инфраструктуры неизбежно уходят под землю, а это требует все более интенсивного освоения городского подземного пространства. И здесь приходится говорить не о прокладке «трубы», а о горных выработках значительного диаметра – тоннелях и коллекторах, для проведения которых используется щитовая проходческая техника. Она способна также безопасно прокладывать тоннели на большие расстояния под горными массивами, морскими заливами и реками, а высокотехнологичное управление с помощью высокоточных приборов гарантирует ведение щита к цели с точностью до миллиметра по заданной трассе. Все это является неоспоримыми преимуществами закрытого метода строительства тоннелей.

При этом все более длинные тоннели на постоянно увеличивающихся глубинах, возрастающие объемы и темпы строительства требуют большей эффективности и безопасности тоннелестроения с применением щитовых проходческих комплексов.

В последнее десятилетие создано значительное число новых высокопроизводительных механизированных проходческих щитовых комплексов, в основном зарубежными фирмами, с различными типами исполнительных органов для строительства тоннелей в разных горно-геологических условиях.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель выполнения работы – приобретение студентами знаний и представлений о направлениях создания отечественной и зарубежной техники с учетом приведенной информации по назначению, области применения, классификации, принципу работы и конструкции щитовых проходческих комплексов и проходческих щитов для строительства горных выработок различного назначения и формы поперечного сечения.

1. Назначение, область применения и классификация проходческих комплексов

Щитовые проходческие комплексы предназначены для проведения коллекторов, тоннелей и других горных выработок в грунтах и породах, требующих частичного или сплошного крепления выработки.

Щитовые проходческие комплексы применяются в большом диапазоне горно-геологических условий и подразделяются на три основные группы:

- для проведения тоннелей в водонасыщенных неустойчивых грунтах, где требуется герметизация призабойной зоны выработки;
- для проведения тоннелей в устойчивых грунтах и породах с $f = 0,5-6$;
- для проведения тоннелей в породах с $f = 6-7$.

Щитовые проходческие комплексы классифицируются по следующим основным признакам:

- по типу исполнительного органа (непрерывного, циклического, комбинированного действия);
- по форме поперечного сечения тоннеля, выработки (круглая, овальная, прямоугольная);
- по диаметру щита (малого до 3,2 м, среднего 3,2–5,2 м, большого $> 5,2$ м);
- по типу погрузочного органа (непрерывного и периодического действия);
- по типу механизма возведения постоянной крепи (с крепеукладчиками для сборной крепи, с пневмобетоноподачиками для монолитной крепи).

Признанными лидерами в области создания щитовой проходческой техники являются фирмы «Herrenknecht AG», «Wirth» (Германия); «LOVAT» (Канада); «Robbins» (США); «Фест Альпине Бергтехник» (Австрия); «Framatone Mechanical Engineering» (NFM), «Fives-Cail Babcock» (FCB) и «CSM Bessac» (Франция), «Мицубиси», «Ишикавадзима-Харима», «Кавасаки» и «Хитачи» (Япония), а также ПКБ «ЦНИИподземмаш», «КРОТ инжиниринг» (Россия). Этими же фирмами предлагаются инженерные услуги по оптимальной подготовке проекта, организации управления стройплощадкой и с самого начала сопровождение строи-

тельства тоннеля. Уровень механизации в щитовых проходческих комплексах в настоящее время достигает 90–95 %.

Современное тоннелестроение демонстрирует стремление использовать механизированные тоннелепроходческие комплексы диаметром свыше 13 м. Получаемое при этом большое поперечное сечение тоннеля позволяет разместить в нем несколько транспортных полос. Самыми большими в мире являются комплексы выпускаемые фирмой «Herrenknecht AG» (Германия), которая уже более 20 лет присутствует на рынке России и планирует изготовление щитовых машин диаметром до 19 м. Хорошо зарекомендовали себя щитовые комплексы при проходке тоннелей диаметром 13,21 м (г. Сочи); 14,2 м (г. Москва); 15,2 м (г. Мадрид); 15,43 м (г. Шанхай). Щитовыми комплексами этой фирмы успешно пройдены в мире тоннели диаметрами 5,86; 6,15; 6,5; 8,83; 12,6; 13,21; 14,2; 15,2 и 15,43 м.

В настоящее время в рамках уникального проекта «НИАТ» строится тоннель «Готтард» (от Цюриха до Милана) длиной 57 км, на который давит горный массив до 2300 м высотой. Работа осуществляется четырьмя тоннелепроходческими комплексами «Herrenknecht AG» диаметром от 8,83 до 9,58 м.

Вторая фирма, присутствующая на рынке России более 25 лет, – канадская фирма «LOVAT». Щитовыми комплексами этой фирмой в мире успешно пройдены тоннели диаметром 2,92; 3,15; 3,3; 4,24; 5,5; 5,63; 6,0; 6,56; 9,5; 9,8; 11,0 м, в том числе в Москве (3,3 и 11 м), на БАМе (4,24 и 9,5 м), в Нижнем Новгороде (6,0 м), в Казани (6,0 м), в Челябинске (5,5 м). В России создана компания ООО «LOVAT Tunneling Systems». За последние 10–15 лет только в Европе протяженность тоннелей увеличилась на 1860 км.

В ближайшей перспективе тоннелепроходческими комплексами в России будут построены тоннели под проливами на остров Сахалин, на Аляску (США) длиной 30–60 км.

Параметры щитовых проходческих комплексов представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Фирма/ параметр	Herrenknecht AG	Мицубиси	Бессак	Роббинс
Диаметр щита, м	15,2	2,67	4,36	7,63
Длина комплекса, м	46	40	37	32
Мощность привода, кВт	1000	270	250	3000
Усилие подачи, МН	25,6	7,8	12,0	15,2
Скорость вращения исполнительного органа, об/мин	0–4	0–1,8	0–3	0–2
Крутящий момент, кН·м	2500	1436	1800	2800
Масса, т	350	75	115	280
Производительность, м/мес	500	450	350	380

2. Проходческие щиты, их конструкция и классификация

Проходческий щит (рис. 2.1.) представляет собой передвижную временную крепь в виде оболочки, под прикрытием которой в призабойной зоне выполняются следующие операции: разрушение, погрузка и транспортировка за пределы щита породы (грунта); возведение постоянной крепи; передвижка щита.

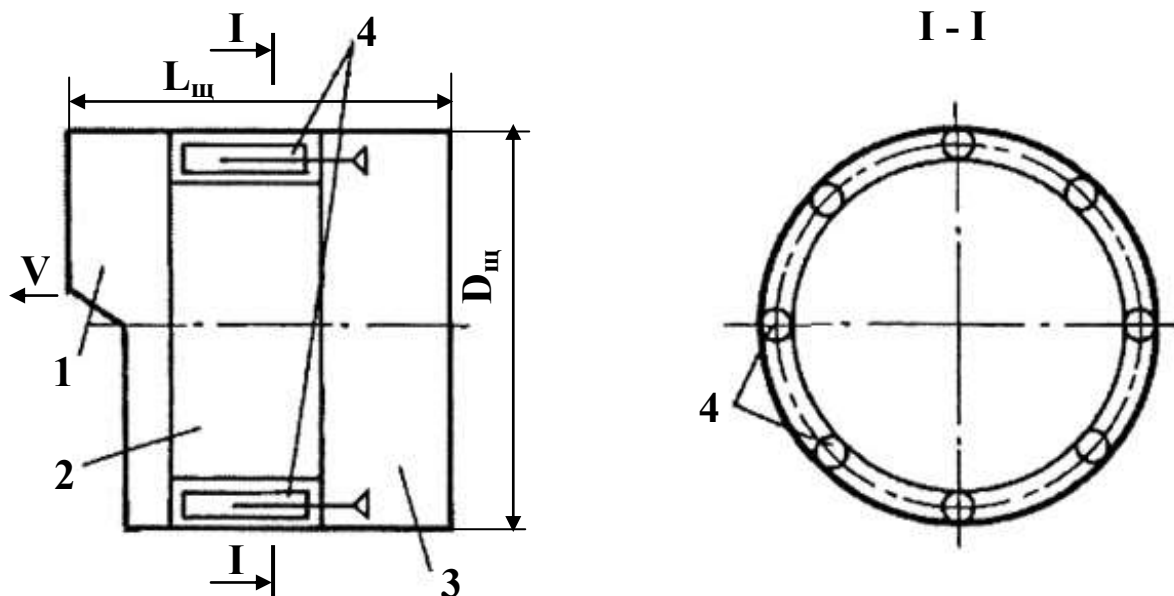


Рис. 2.1. Конструкция проходческого щита:

1, 2, 3 – соответственно головная, опорная и хвостовая части щита; 4 – домкраты передвижки щита; V – направление движения щита; $D_{щ}$ – диаметр щита; $L_{щ}$ – длина щита

Щиты малого и среднего диаметра применяются в основном для строительства коллекторов, тоннелей для размещения в них различных коммуникаций. Щиты большого диаметра используются для сооружения транспортных тоннелей.

Вторым элементом механизированного щита является исполнительный орган. Наибольшее распространение получили роторный, барабанный, планетарный, стреловидный, экскаваторный исполнительные органы.

Тип исполнительного органа щита определяется состоянием породы, грунта забоя. При проведении тоннеля в водонасыщенных, неустойчивых грунтах исполнительный орган должен герметизировать призабойную часть тоннеля (рис. 2.2).

Для герметизации призабойной зоны исполнительный орган оснащается *перегородкой* (диафрагмой), в которой предусмотрен герметичный люк для прохода машиниста при выполнении ремонтных работ, замены резцов на исполнительном органе.

Для повышения устойчивости от обрушения забоя необходимо создать противодействие на забой, уравнивающее горное давление грунта и гидростатическое давление грунтовых вод. Эта операция носит название «*активный пригруз забоя*» – регулируемое давление на всю площадь забоя, действующее постоянно в процессе проходки тоннеля.

Известные и широко применяемые в настоящее время *тоннельные щитовые машины* для проходки в сложных инженерно-геологических условиях (ТЩМ) в зависимости от вида активного пригруза забоя разделяются на 4 типа:

- ТЩМ с суспензионным (бентонитовым) пригрузом;
- ТЩМ с грунтовым пригрузом (рис. 2.3);
- ТЩМ с воздушным пригрузом;
- ТЩМ с комбинированным пригрузом.

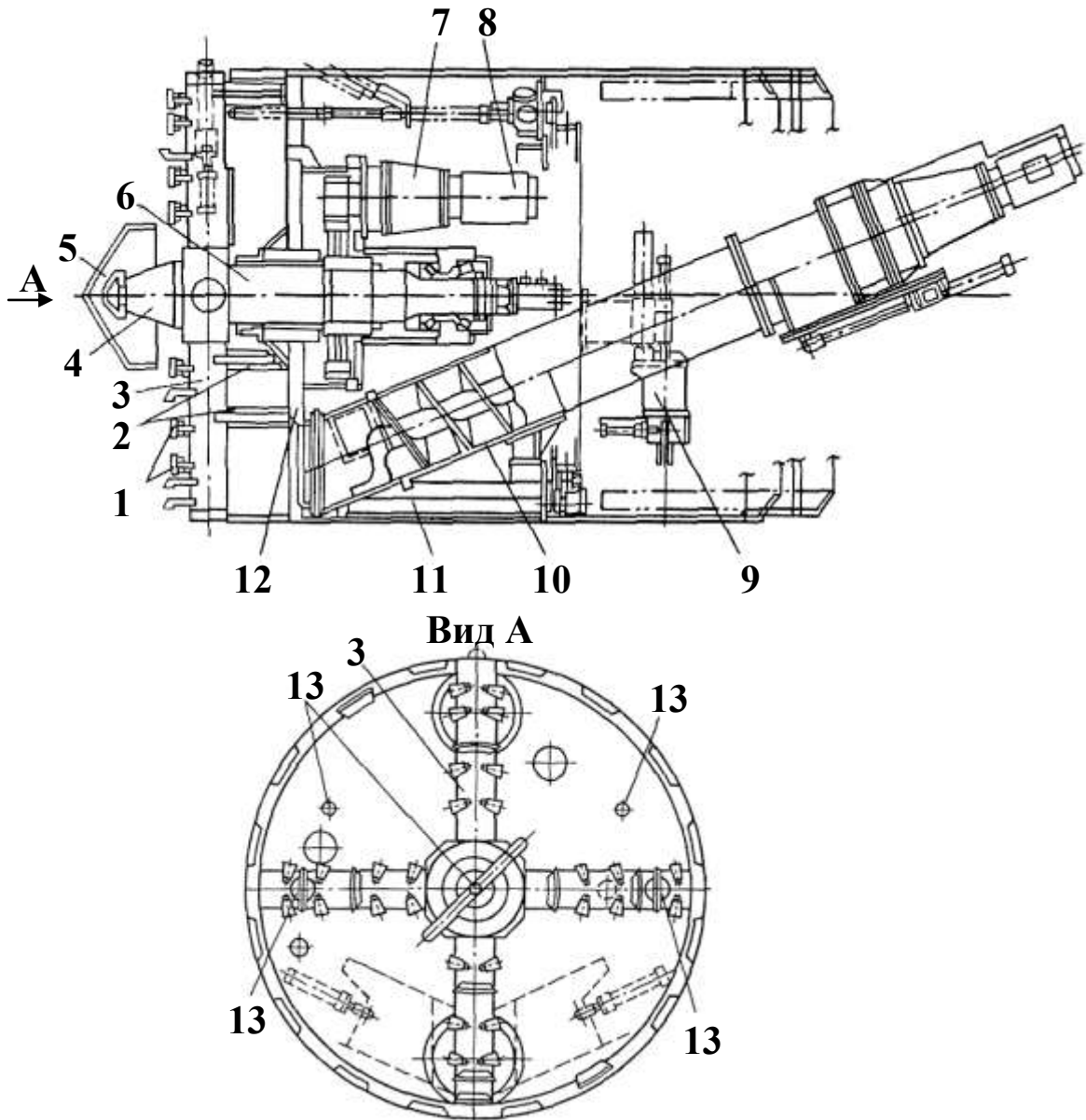


Рис. 2.2. Схема герметичного щита диаметром 3 м:

1 и 2 – резцы и лопатки рабочего органа; 3 – четырехлучевой роторный рабочий орган; 4 – головка рабочего органа; 5 – забурник; 6 – вал рабочего органа; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель; 9 – рычажный блокоукладчик; 10 – шнековый конвейер; 11 – щитовой домкрат; 12 – герметичная перегородка (диафрагма); 13 – отверстия в планшайбе для подачи суспензии

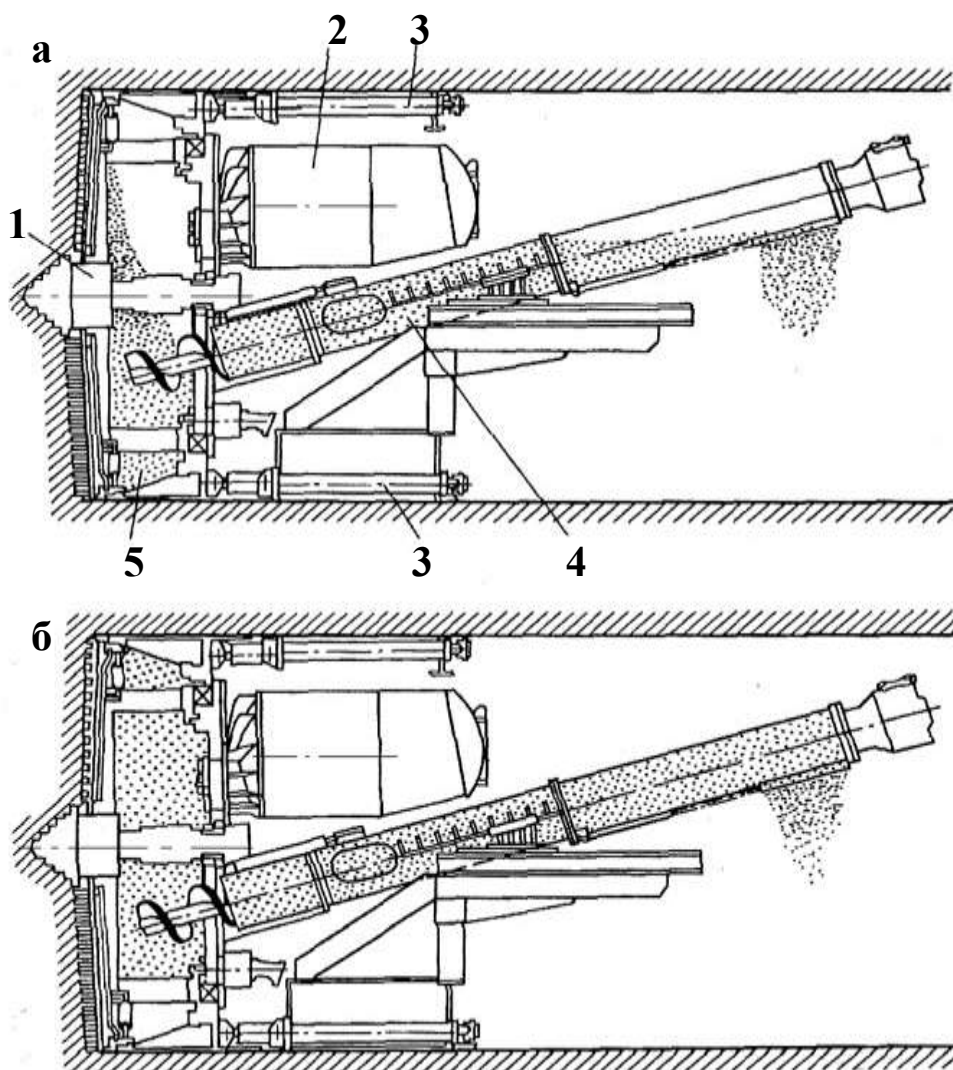


Рис. 2.3. Режимы работы щита с грунтовым пригрузом:
 а – со свободным выпуском грунта; б – с пригрузом; 1 – рабочий орган щита; 2 – привод рабочего органа; 3 – гидродомкраты щита; 4 – шнековый конвейер; 5 – конический барабан рабочего органа

Принцип действия. Бентонитовая суспензия, заполняющая призабойную камеру и находящаяся под давлением, через прорезки в планшайбе или окна рабочего органа лучевого типа проникает к забою и покрывает его по всей площади. При этом твердые частицы суспензии входят в поры грунта забоя и уже через 1–2 с образуют на его поверхности сплошную глинистую водонепроницаемую корку. Сама суспензия оказывает активное давление на забой, уравновешивая давление грунтовой воды и давление, оказываемое взвешенным в воде грунтом.

Принцип действия герметической щитовой машины с *грунтопригрузом* (рис. 2.3) заключается в том, что в призабойной камере ее, благодаря интенсивному силовому перемешиванию, происходит изменение качества разработанного грунта, а именно повышение пластичности и понижение его проницаемости. В результате этого обеспечивается эффективное крепление забоя.

В случае с *воздушным пригрузом* в призабойную камеру щитовой машины нагнетается сжатый воздух, давление которого уравнивает давление грунтовой воды и грунта забоя.

В устойчивых породах необходимость в «*активной пригрузке забоя*» отпадает.

2.1. Щиты с роторным исполнительным органом

Щиты с роторным исполнительным органом (рис. 2.2, 2.3, 2.4) получили наибольшее распространение вследствие некоторого преимущества по сравнению со щитами, имеющими другие типы исполнительных органов. Главные из них: более широкая область применения; возможность в случае необходимости герметизации забоя; непрерывность воздействия на забой; регулирование частоты вращения и подачи ротора для получения оптимальной толщины стружки; сплошное разрушение породы по всему сечению забоя и высокие скорости строительства тоннелей.

Вместе с тем эти щиты имеют ряд *недостатков*: сложность исполнительного органа, большая его масса; трудность замены инструмента; большая мощность двигателей исполнительного органа, а также напорного механизма; наличие реактивного момента, стремящегося поворачивать щит вокруг продольной оси.

Щиты с роторным исполнительным органом изготавливаются диаметром от 1,22 до 15,43 м и более. Область применения этих щитов колеблется по крепости пород от $f = 0,5$ до $f \leq 5-6$ при резцовом инструменте и $f = 5-7$ при шарошечном.

На рис. 2.4. представлены *роторные исполнительные органы* тоннелепроходческих комплексов различных фирм.

На рис. 2.4, а представлен тоннелепроходческий комплекс S 300 «Herrenknecht AG» с роторным исполнительным органом диаметром 15,2 м с грунтовым пригрузом забоя для строительства автодорожного тоннеля в Мадриде. Исполнительный орган состоит из внутренней и внешней планшайб с независимыми

друг от друга приводами и оснащен дисковыми шарошками и режцами. Внутренняя приводится в действие 10 двигателями суммарной мощностью 2000 кВт, а внешняя – с помощью 50 двигателей в 12000 кВт.

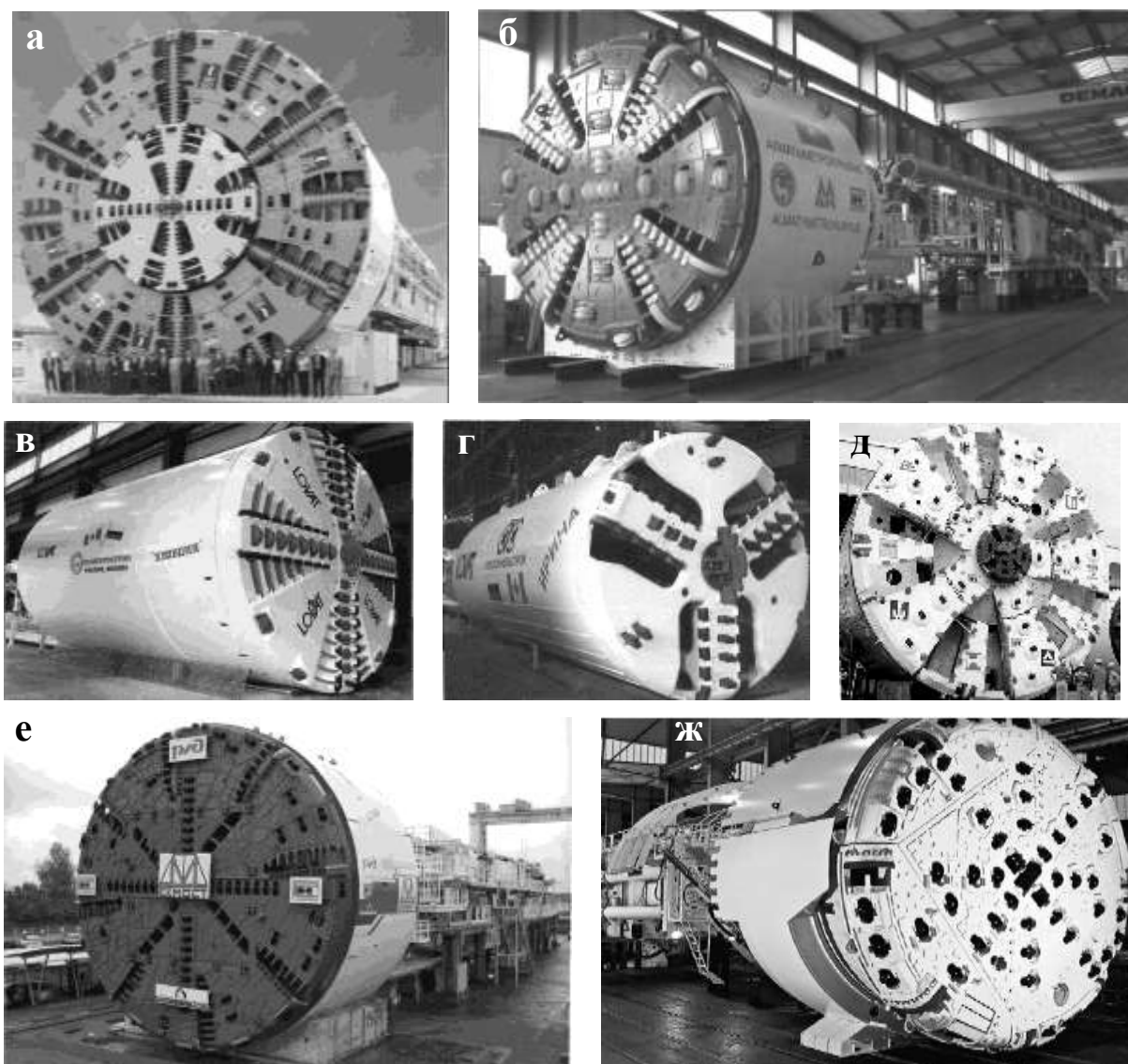


Рис. 2.4. Роторные исполнительные органы тоннелепроходческих комплексов

На рис. 2.4, б представлен тоннелепроходческий комплекс S 320 «Herrenknecht AG» мощностью 1252 кВт длиной 65 м с роторным исполнительным органом диаметром 5,86 м с активным грунтовым пригрузом для метрополитена г. Алматы. Щит оснащен дисковыми шарошками и режцами.

На рис. 2.4, в представлен тоннелепроходческий комплекс RME242SE канадской фирмы «LOVAT» с грунтовым пригрузом

забоя для проведения тоннеля Бутовской линии Московского метрополитена наружным диаметром 6 м и длиной 1004 м. Параметры комплекса: диаметр щита 6,13 м; длина щита 8,36 м; длина комплекса 90 м. Щит оснащен дисковыми шарошками и резцами.

На рис. 2.4, г представлен тоннелепроходческий комплекс RME 129 SE серии 23500 канадской фирмы «LOVAT» с грунтовым пригрузом забоя и режущим инструментом. Комплекс предназначен для проходки тоннеля диаметром 3,3 м и длиной 700 м в г. Москва.

На рис. 2.4, д представлен комбинированный щит диаметром 14,2 м «Herrenknecht AG». Отличительной особенностью щита является полуоткрытый привод с подвижным креплением рабочего органа. Благодаря этому появилась возможность работы в различных режимах. Впервые задействована система SSP – система сейсмической разведки, которая позволяет увидеть характер грунта на расстояние до 40 м впереди щита. Возможны все комбинации в концепции щита: *бентонитовый, грунтовый и воздушный пригруз; щит с открытым забоем; шарошечным или режущим инструментом.*

На рис. 2.4, е представлен тоннелепроходческий комплекс S-534 «Herrenknecht AG» диаметром 13,21 м для скальных пород для проходки автодорожного тоннеля № 3 на участке Адлер - Красная Поляна.

На рис. 2.4, ж представлен тоннелепроходческий комплекс TBM S-211 (S-210) «Herrenknecht AG» диаметром 8,83 м.

Последние два щита оснащены дисковыми шарошками.

2.2. Щиты с барабанным исполнительным органом

Цель разработки: обеспечение возможности сооружения тоннелей прямоугольного сечения методом MMST (Multi-Micro Shield Tunneling).

Проходческий щит (рис. 2.5) состоит из шарнирного щитового корпуса 1, щитовых гидроцилиндров 2, двух исполнительных органов барабанного типа 3, питательного трубопровода 4 для подачи суспензии, транспортного трубопровода 5 для выдачи шламового раствора в тоннель и блокоукладчика 6.

Корпус щита включает герметическую диафрагму 7, на которой крепятся гидроприводы 8 исполнительных органов.

Исполнительный орган барабанного типа включает две крайних секции, которые оснащены резцами, и среднюю секцию, содержащую два роторных барабана 9 малого диаметра, также оснащенных резцами.

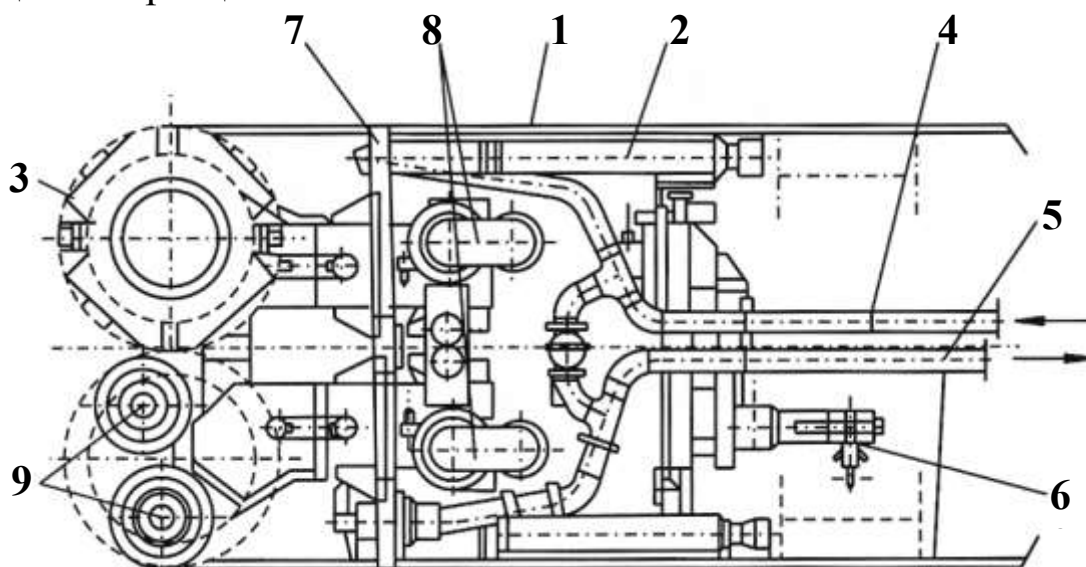


Рис. 2.5. Конструктивная схема щита с исполнительным органом барабанного типа

При продвижении щита исполнительные органы своими резцами ведут разработку забоя. Разработанный грунт падает внутрь барабанов, где он смешивается с суспензией. По транспортному трубопроводу с помощью насоса шламодный раствор выдается в тоннель и поступает на поверхностную сепарационную установку.

После изготовления и проведения демонстрационных испытаний первый образец щита с барабанными исполнительными органами (рис. 2.6) был применен в 1997 г. при проходке в г. Токио двух расположенных друг над другом тоннелей квадратного сечения с наружными размерами $2,7 \times 2,7$ м и длиной по 163,7 м.

В 1997–1998 гг. при сооружении вблизи экспресс-линии «Кавасаки» трех вентиляционных тоннелей общей длиной 213,1 м применялись щитовые машины (см. рис. 2.7) с рабочими органами барабанного типа, осуществляющие проходку горизонтально ориентированных частей тоннелей высотой 3,0 м и шириной 7,5 м.



Рис. 2.6. Первый образец щита с рабочими органами барабанного типа



Рис. 2.7. Горизонтально-ориентированный щит с рабочими органами барабанного типа

2.3. Щиты со стреловидным исполнительным органом

Из этого типа щитов преимущественное распространение получили щиты с исполнительным органом в виде выдвижной резцовой коронки на подвижной стреле (рис. 2.8–2.12). Щиты с таким исполнительным органом изготавливаются в основном диаметром от 3,2 до 5,2 м, но могут быть и для других сечений тоннелей, например арочного сечения (рис. 2.11) с коронкой $D = 1,3$ м.

Недостатком таких щитов является трудность управления исполнительным органом, особенно при разработке породы в периферийной части забоя – требуются большие навыки машиниста. Кроме того, забой обязательно должен быть устойчивым, что ограничивает область применения таких щитов. Щиты с таким исполнительным органом предназначены для строительства тоннелей в породах с $f \leq 6$.

Механизированный щит ПЦМ-5,2 (рис. 2.8) диаметром 5,2 м входит в комплекс КЩ-5,2Б конструкции института ЦНИИПодземмаш и предназначен для строительства штреков в шахтах и тоннелей в сложных горно-геологических условиях, в породах от малоустойчивых песчаных до средней крепости, в том числе магистральных штреков в строящихся шахтах большой производительности в Подмосковном угольном бассейне.

Стреловидный исполнительный орган заимствован от проходческого комбайна. Щит состоит из корпуса 9 сварной конструкции, коронки 5 с резцами 6 типа РПП, закрепленной на стреле 4, что дает возможность разрушать породы с $f = 5-6$.

Стрела совершает повороты вверх на 35° , вниз на 45° гидродомкратами 3, вправо и влево на 33° гидродомкратами 14. Коронка выдвигается гидродомкратами 2 на 600 мм и приводится во вращение с частотой 28,0 или 45,0 об/мин от электродвигателя 1 мощностью 93 кВт.

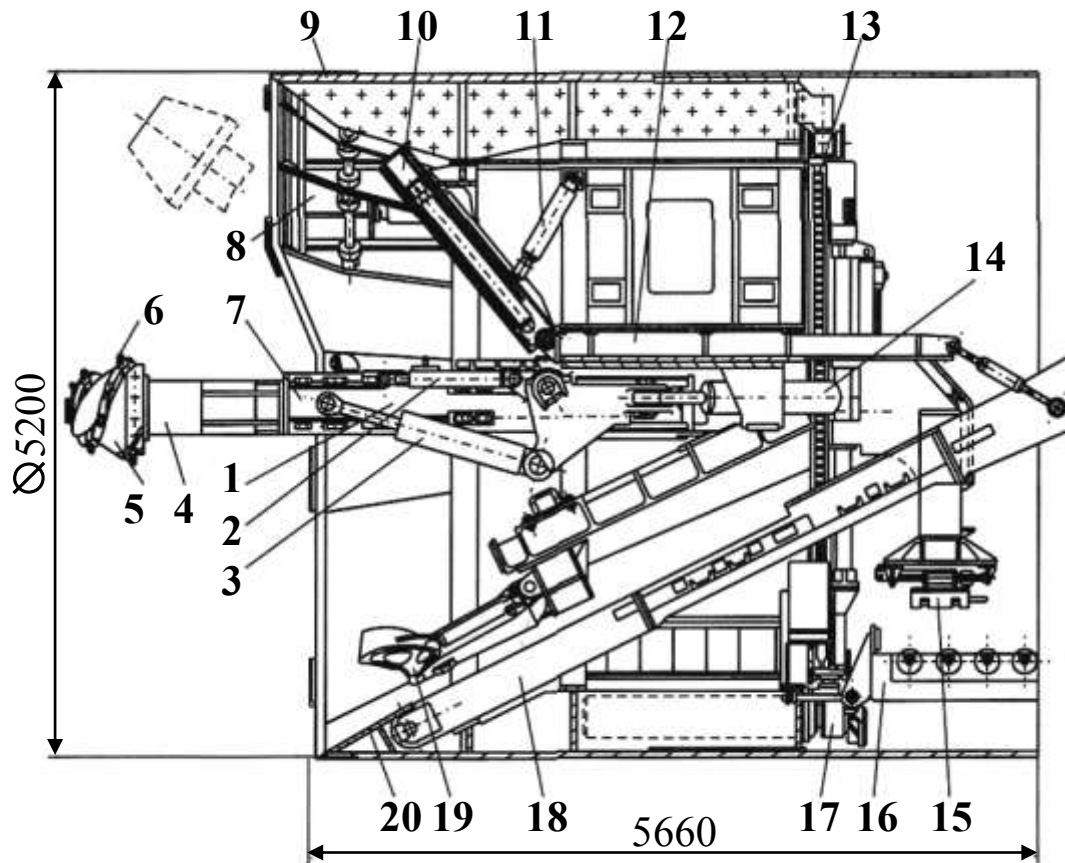


Рис. 2.8. Схема щита ПЩМ-5,2 комплекса КЩ-5,2Б

Диаметр коронки по резцам составляет 800 мм, длина коронки – 600 мм. Исполнительный орган закреплен на основной горизонтальной раме 12. На случай пылеобразования при разработке забоя предусмотрен подвод воды под резцы.

При малоустойчивых и сыпучих песчаных породах щит оснащается рабочей площадкой 10, которая домкратами 11 устанавливается в горизонтальное положение для разрушения породы забоя ручным инструментом.

Головная часть щита состоит из девяти сегментов, стыкуемых между собой болтами и снабженных выдвижными козырьками 8 с гидравлическим приводом.

Погрузочный орган 19 представляет собой двухчелюстной наклонный грейфер с ходом перемещения 1350 мм по наклонно-

му приемному столу 20. Порода грузится на скребковый погру- зочный конвейер 18. Крепление тоннеля восемью железобетон- ными блоками толщиной 200 мм производится кольцевым крепе- укладчиком 15 с зубчатым венцом 13 и двумя направляющими стойками. Блоки крепи перемещаются по рольгангу 16. Щит пе- редвигается в сторону забоя восемнадцатью щитовыми домкра- тами 17.



Рис. 2.9. Щит М-941М МHSM2 «Herrenknecht AG» $d = 3,68$ м



Рис. 2.10. Щит «CSM Bessac» $d = 4,36$ м



Рис. 2.11. Щит «Мицубиси» $S = 10,7 \times 9,92$ м



Рис. 2.12. Щит с воздушным пригрузом

Фирма «Гринсайд Мак Алпайн» (Англия) изготавливает щиты со стреловидным исполнительным органом с *одной, двумя и четырьмя коронками*, смонтированными на одной или двух стрелах и оснащенные резами. Машины с одной коронкой монтируются в щитах диаметром 3,0–4,0 м, с двумя коронками – диаметром 4,0–5,5 м, с четырьмя коронками – диаметром более 5,5 м.

Исполнительные органы *избирательного действия*, применяемые в щитах, как правило, заимствованы из проходческих комбайнов. Компания «Wirth» (Германия) предлагает тоннелепроходчик Mobile Tunnel Miner (МТМ 550) с установленной мощностью $N = 800$ кВт и комбайны со стреловидным исполнительным органом серии Т1, Т2, Т3 и Т4 ($N = 100\text{--}200$; $200\text{--}300$; 300 и 400 кВт) (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Комбайны «Wirth»

В щитах с исполнительным органом *избирательного действия*, как правило, отбитая порода падает в нижнюю часть головной части щита, откуда погрузочным органом попадает на конвейер.

В щитах наибольшее распространение получил исполнительный орган с одной резцовой коронкой на стреле. Наибольший диаметр коронки колеблется от 0,6 до 1,0 м, число резцов – от 16 до 40, максимальная скорость резания – от 1,17 до 3,4 м/с. Перемещение коронки производится, как правило, гидравлическими домкратами.

На рис. 2.14 показан исполнительный орган механизированного проходческого щита ПЩМ-3,2 комплекса КЩ-3,2Б. Он заимствован от получившего широкое распространение комбайна 4ПУ и состоит из резцовой коронки 4, укрепленной на стреле 3 и вращающейся от электродвигателя 10 через планетарный редуктор 11. Исполнительный орган установлен в поворотной раме (турели) 9 с помощью цапф 6, относительно которых он поворачивается в вертикальной плоскости с помощью двух гидродомкратов вертикальной подачи 1. Поворот исполнительного органа в горизонтальной плоскости происходит вместе с турелью с

помощью гидродомкратов 7. Турель может поворачиваться относительно вертикальной оси прикрепленной через подшипниковую опору к неподвижной раме 8. Исполнительный орган имеет телескопическое устройство для выдвижения коронки на забой на длину 500 мм со стрелой, редуктором и электродвигателем. Для этого редуктор 11 соединен с подвижной рамой 12, которая с помощью гидродомкратов может перемещаться по направляющим брускам 2, где она закрепляется клиньями 5. Брусочки соединяются между собой соединительной балкой 13 образуя жесткую рамную конструкцию.

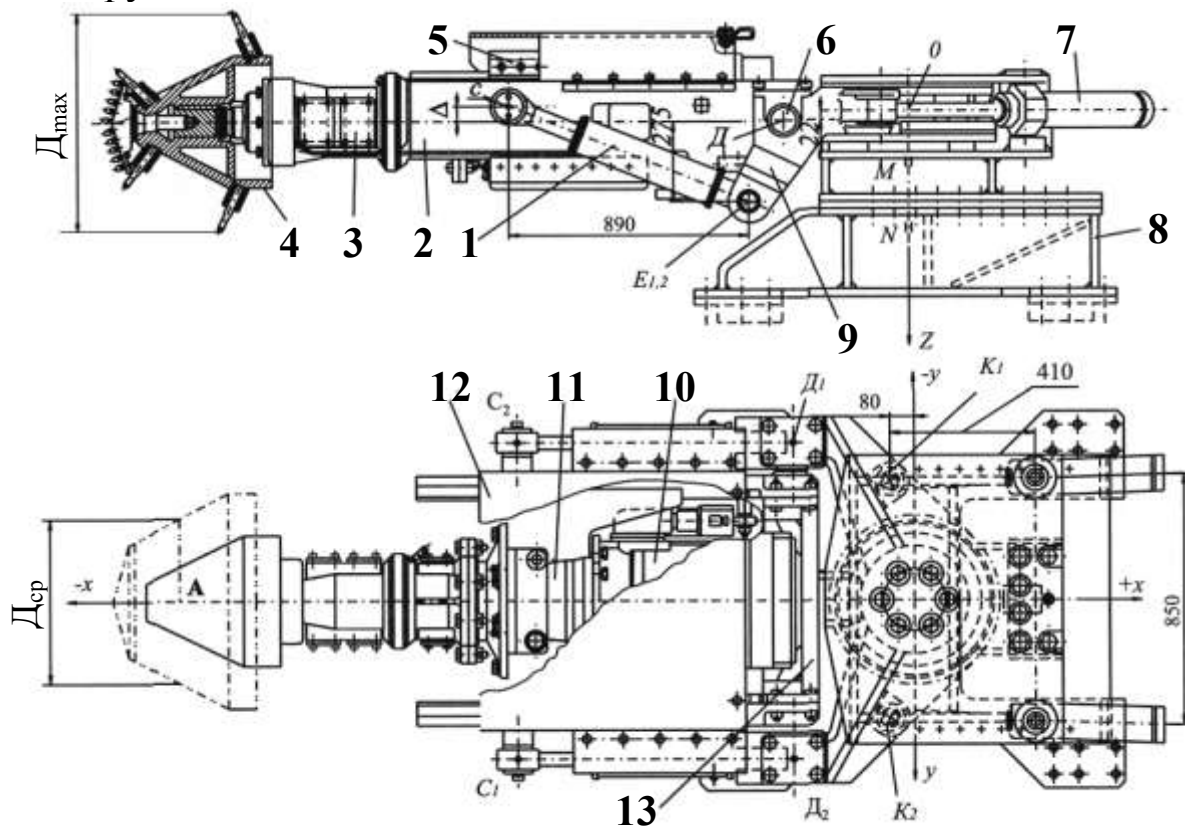


Рис. 2.14. Исполнительный орган механизированного проходческого щита ПЩМ-3,2 комплекса КЩ-3,2Б

Гидравлические домкраты исполнительного органа питаются от одного из насосов насосной станции с двумя маслонасосами типа Н-403, приводимого электродвигателем мощностью 13 кВт. В контакте с породой одновременно находятся одиннадцать резцов.

Коронка исполнительного органа имеет литой корпус. Шаг между линиями резания спирально располагаемых на ней резцов

составляет 20–30 мм. Коронка закрепляется на валу стрелы забурником с левой резьбой.

2.4. Щиты с экскаваторным исполнительным органом

Щиты с экскаваторным исполнительным органом (рис. 2.15–2.17) изготавливаются диаметром от 1,22 до 8,0 м и более. Вместимость ковша изменяется от 0,05 до 1,14 м³. В щитах очень большого диаметра могут быть применены ковши большей вместимости. Область применения экскаваторного исполнительного органа ограничивается возможностями разрушения ковшем породы с $f \leq 1,5$.



Рис. 2.15. Щит
«CSM Bessac»



Рис. 2.16. Щит
«Малахит»



Рис. 2.17. Щит
«АГАТ»

На рис. 2.15 представлен щит T009 AC «Bessac» для проходки тоннеля $d = 4,33$ м и длиной 870 м (г. Москва). При необходимости вместо экскаваторной лопаты может быть использована фрезерная головка с собственным приводом на выдвижной стреле рабочего органа.

Тоннелепроходческий комплекс «МАЛАХИТ» (ООО «Крот инжиниринг», РФ) (рис. 2.16) с проходческим щитом диаметром 3,6 м предназначен для строительства тоннелей из неармированного монолитно-прессованного, водонепроницаемого бетона в мягких грунтах, в том числе водонасыщенных с гидростатическим давлением до 0,2 МПа.

Разработка забоя осуществляется с пневмопригрузом в безлюдной, герметичной призабойной камере. Управляемая головная часть щита, как видно из рисунка, оснащена экскаваторными исполнительными органами – шестью периферийными и одним центральным.

Проходческий комплекс «АГАТ» («Крот инжиниринг», РФ) (рис. 2.17) предназначен для прокладки подземным способом прямоугольных железобетонных секций методом продавливания для инженерных коллекторов различного назначения в городских условиях сечением $S = 2,5 \times 2,5$ м.

Существуют комплексы с экскаваторными щитами конструкции ОАО «НТЦ»: КПЦМ-2,6Э ($d = 2,6$ м); КПЦМ-3,6Э ($d = 3,6$ м) и КПЦМ-4,0Э ($d = 4,0$ м) конструкции ЦНИИподземмаш.

Фирмой «Крот инжиниринг» был изготовлен щитовой проходческий комплекс «Гранит» с экскаваторным щитом диаметром 4,02 м предназначенный для строительства тоннелей из монолитно-прессованного бетона в устойчивых грунтах с открытым забоем, оснащенный механизмом разработки грунтов *экскаваторного типа* с верхней подвеской и пресс-бетонным оборудованием скользящего типа.

Щиты с экскаваторным исполнительным органом, как правило, имеют выдвижные или поворотные секционные козырьки, занимающие в зависимости от степени устойчивости породы в забое от 90 до 210° периметра головной части щита. Исполнительный орган размещается в нижней части забоя. Во многих щитах большого диаметра исполнительный орган смонтирован на мощных площадках, которыми щит разделен на ярусы от одного до трех. Ковшей с манипуляторами на каждой площадке бывает один или два. Щиты диаметром от 3,9 до 12,2 м изготавливаются фирмами «Перини», «Мемко» (США), «Тирисима», «Комацу» (Япония) и др.

Основными преимуществами щитов с экскаваторным исполнительным органом являются: возможность без каких-либо демонтажных работ в случае необходимости (удаление включений, валунов, частичное или полное крепление забоя), свободное проникновение людей к забою; высокая надежность в работе; возможность унификации исполнительного органа и других машин и механизмов для щитов близких размеров; относительная простота конструктивного исполнения. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев исполнительный орган является одновременно погрузочным, вследствие чего часто отпадает необходимость в погрузочном конвейере. В щитах большого диаметра

порода грузится ковшом непосредственно в вагон большой вместимости.

3. Тоннельные щитовые машины

3.1. Щитовые машины с шарнирным корпусом

Щитовые машины с шарнирным корпусом предназначены для проходки тоннелей с криволинейными участками трасс и состоят по длине из двух и более частей, которые при двухслойном диафрагмовом соединении с помощью дополнительно устанавливаемых управляющих гидроцилиндров поворачиваются друг относительно друга на определенный угол.

В настоящее время создано три вида щитовых машин с шарнирным корпусом.

Щитовые машины с одношарнирным корпусом *первого вида* (рис. 3.1, 3.2, 3.3) обеспечивают проходку тоннелей за счет поворота частей корпуса относительно друг друга. Одной из таких машин с одношарнирным корпусом (рис. 3.1) диаметром 2,89 м, изготовленной фирмой «Комацу» (г. Иокогама) пройден тоннель длиной 740 м, имеющий криволинейные участки с радиусом 10 и 20 м.



Рис. 3.1. Щитовая машина фирмы «Комацу» $d = 2,89$ м



Рис. 3.2. Щитовая машина фирмы «Ишикавадзима-Харима» $d = 5,8$ м



Рис. 3.3. Щитовая машина фирмы «Мицубиси» $d = 4,45$ м

В последние годы японские фирмы начали не только изготавливать, но и применять герметические щитовые машины с *двухшарнирным корпусом* (рис. 3.4).

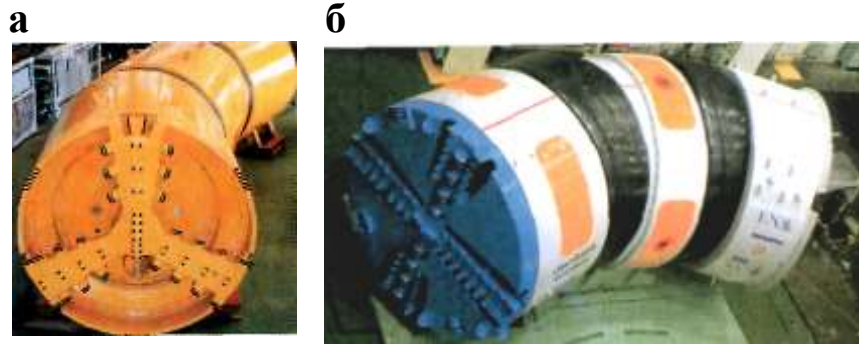


Рис. 3.4. Щитовые машины фирмы «Компакт Шилд»:
а – $d = 3,09$ м; б – $d = 4,1$ м

Щитовые машины с шарнирным корпусом *второго вида* (рис. 3.5) обеспечивают более плавное движение щитовой машины за счет изменения положения оси вращения роторного исполнительного органа и использования копир-резца.

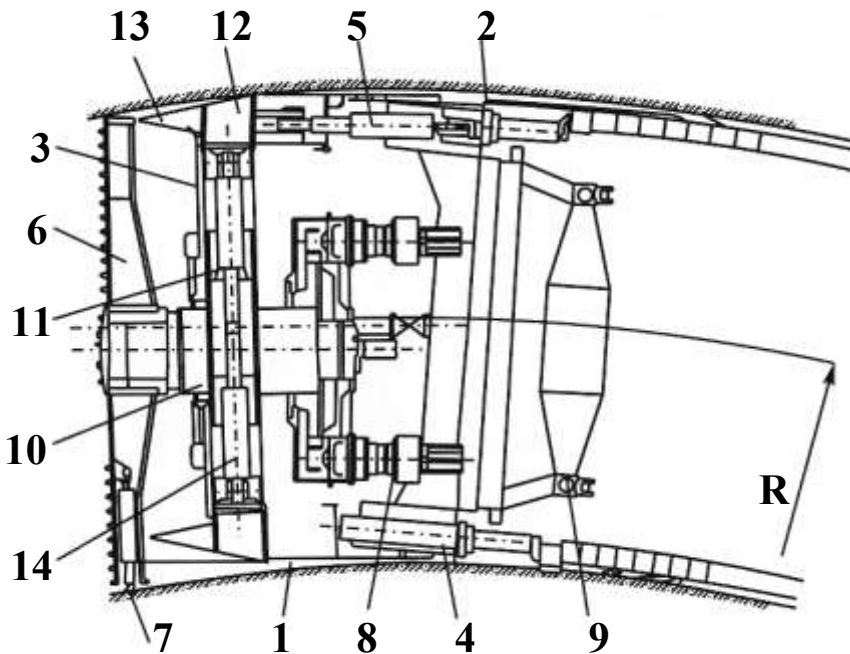


Рис. 3.5. Конструктивная схема щитовой машины с шарнирным корпусом второго вида

Щитовая машина включает шарнирный корпус, состоящий из передней 1 и задней 2 частей, его герметическую диафрагму 3, жестко закрепленную в передней части корпуса, щитовые гидроцилиндры 4, закрепленные в задней части корпуса, управляющие гидроцилиндры 5, шарнирно соединяющие части корпуса, ротор-

ный исполнительный орган 6 с выдвижным копир-резцом 7 и приводом 8, а также блокоукладчик 9.

Несущая обойма 10 оси исполнительного органа закреплена в сухаре 11, который установлен с возможностью передвижения в направляющих, жестко прикрепленных сзади к герметической диафрагме передней части щитового корпуса. Сзади и внутри ножевого кольца 12 передней части щитового корпуса, имеющего спереди конический козырек 13, установлены поперечные управляющие гидроцилиндры 14.

Когда внешний диаметр щитовой машины является значительным, а заданный радиус криволинейного участка трассы проходимого тоннеля очень мал, то с помощью поперечных управляющих гидроцилиндров 14 весь исполнительный орган смещается на некоторую величину внутрь кривой. При одновременном выдвижении копир-резца 7 по заданной программе щитовая машина получает возможность устойчивого движения.

Щитовые машины *с шарнирным корпусом третьего вида* позволяют одновременно выполнять при щитовой проходке операции по разработке забоя и монтажу сегментов тоннельной обделки и, как следствие, повысить скорость проходки тоннеля большой протяженности и снизить стоимость строительства.

3.2. Многороторные (многоочковые) щитовые машины

3.2.1. Двухочковые щитовые машины

Главным назначением двухочковых щитовых машин является обеспечение возможности сооружения за один проход одного тоннеля с площадью сечения, эквивалентной сумме площадей сечения двух отдельно сооружаемых тоннелей и с существенно меньшей площадью по сравнению с одиночным тоннелем, имеющим одинаковую пропускную способность.

Двухочковые щитовые машины делятся на:

- машины горизонтальной ориентации (рис. 3.6);
- машины вертикальной ориентации (рис. 3.7);
- поворотные машины (рис. 3.8).



Рис. 3.6. Двухочковые щитовые машины горизонтальной ориентации, примененные при строительстве тоннелей в различных городах Японии

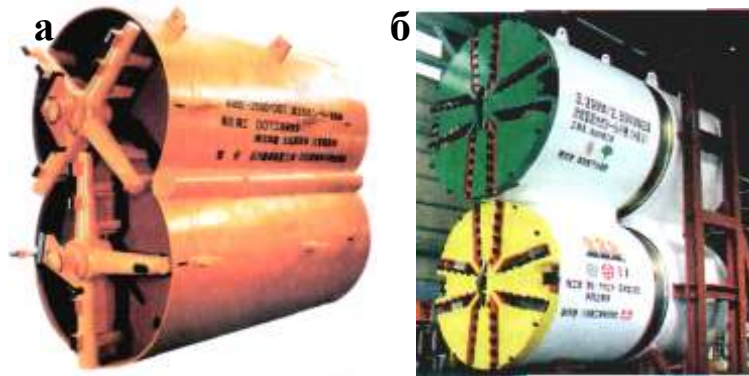


Рис. 3.7. Двухочковые щитовые машины вертикальной ориентации: а – опытный образец сечением $S = 4,185 \times 2,5$ м; б – с суспензионным пригрузом сечением $S = 6,58 \times 3,69$ м

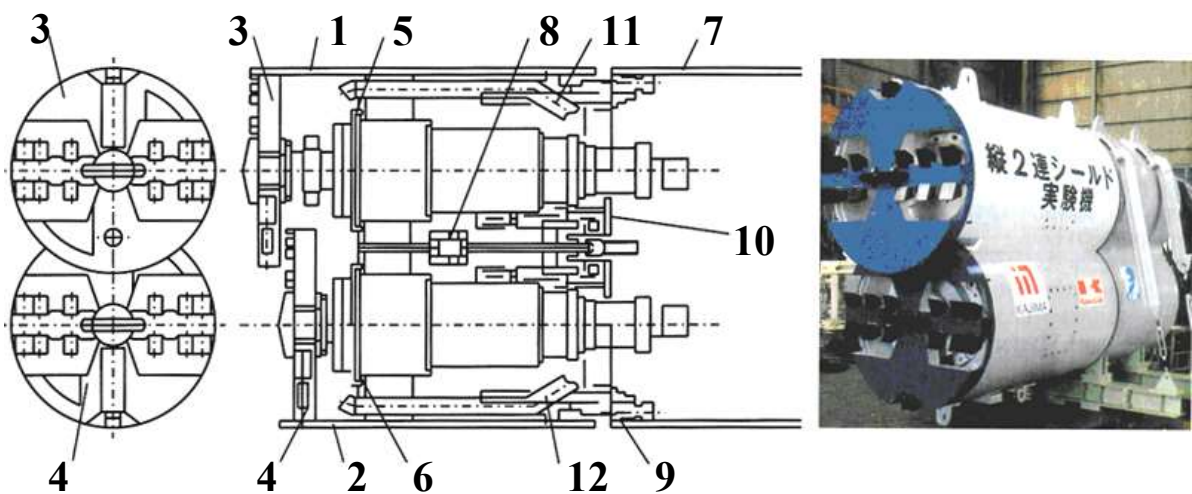


Рис. 3.8. Поворотные двухочковые щитовые машины

Поворотные двухочковые щитовые машины (рис. 3.8) во время работы изменяют свою ориентацию в сечении по длине трассы тоннеля от горизонтальной до вертикальной и наоборот.

Главными элементами щитовой машины (рис. 3.8) являются две отдельные части 1 и 2 щитового корпуса, два независимых друг от друга исполнительных органа с роторами 3 и 4, укрепленных в герметических диафрагмах 5 и 6 соответствующих головных частей щитового корпуса, единая задняя часть щитового корпуса 7, шарнирный узел 8 сочленения передних частей щитового корпуса, щитовые 9 и управляющие 10 гидроцилиндры, питательный трубопровод 11 подачи бентонитовой суспензии в единую призабойную камеру щитовой машины и транспортный трубопровод 12 выдачи шламового раствора из призабойной камеры в тоннель.

Передние 1 и 2 и задняя 7 части щитового корпуса соединены шарнирно, при этом задняя часть оснащена хвостовым уплотнением.

Поворот щитовой машины в процессе ее продвижения по трассе достигается за счет изменения взаимного положения отдельных передних частей 1 и 2 щитового корпуса относительно друг друга, осуществляемого путем поворота их в шарнирном узле 8 с помощью управляющих гидроцилиндров 10.

Более точному ведению щитовой машины может помочь отключение некоторых щитовых гидроцилиндров, а также изменение направления и скорости вращения исполнительных органов.

3.2.2. Многоочковые щитовые машины

Кроме двухочковых щитовых машин в последнее время нашли применение многоочковые (рис. 3.9).

С помощью многоочковых щитовых машин прокладываются тоннельные сооружения, наружная поверхность которых в сечении имеет вид трех и более окружностей, частично перекрывающих друг друга.

Многоочковые щитовые машины условно разделяются на:

- *единые щитовые машины*, имеющие единый в сечении корпус, в котором установлены все роторные рабочие органы;
- *блочные щитовые машины*, состоящие из отдельных блоков^а, каждый из которых имеет собственный рабочий орган.



Рис. 3.9. Щитовые машины:

а – единая трехочковая щитовая машина фирмы «Мицубиси»
 $(d_{\text{центр}} = 8,846 \text{ м}; d_{\text{бок}} = 8,14 \text{ м}; V_{\text{маш}} = 17,44 \text{ м});$

б – четырехочковая щитовая машина с суспензионным пригрузом
 $(d_{\text{max}} = 6,56 \text{ м}; d_{\text{min}} = 1,72 \text{ м}; V_{\text{маш}} = 13,18 \text{ м}; H_{\text{маш}} = 7,06 \text{ м});$

в – блочная трехочковая щитовая машина $(V_{\text{маш}} = 15,8 \text{ м};$
 $H_{\text{маш}} = 10,1 \text{ м})$

3.3. Щитовые машины некруглого сечения

До последнего времени единственной формой поперечного сечения тоннеля при использовании щитовых машин роторного типа была *круглая*. Однако с эксплуатационной точки зрения она имеет ряд определенных недостатков.

На рис. 3.10. представлены щитовые машины некруглого сечения.



Рис. 3.10. Щитовая машина: а – вертикально-овального сечения с роторно-планетарным рабочим органом $(H = 4,66 \text{ м и } B = 3,16 \text{ м})$

фирмы «Мицубиси», работающая в режиме грунтопригруза;
 б – с 3-мя центральными и 4-мя периферийно-угловыми роторными исполнительными органами $(H = 2,88 \text{ м и } B = 7,27 \text{ м})$

фирмы «Ишикавадзима-Харима»; в – горизонтально-овального сечения с вертикальными гранями $(H = 3,8 \text{ м}; B = 4,2 \text{ м})$ с многоосным роторным рабочим органом и глинисто-грунтовым пригрузом фирмы «Ишикавадзима-Харима»

Необходимость повышения пропускной способности коллекторов, а также автодорожных тоннелей заставляет проектировщиков заменять их круглое сечение на *вертикально-овальное* (первое слово в этом наименовании означает положение оси, проходящей по наиболее длинному размеру сечения), *прямоугольное*, *арочное*, *горизонтально-овальное*, *горизонтально-прямоугольное*, *горизонтально-эллиптическое*, *горизонтально-несимметричное овальное*.

Фирма «Robbins» изготовила несколько образцов щитов для проведения тоннеля площадью $S = 50-80 \text{ м}^2$ арочной формы с горизонтальной подошвой. Имеют место разработки других фирм по созданию новых типов многороторных комбайнов для проведения выработок с некруглым поперечным сечением.

4. Исполнительные органы щитовых машин

Роторный исполнительный орган (рис. 4.1) наиболее универсальный, поскольку щитами с таким исполнительным органом можно строить тоннели практически в любых горно-геологических условиях от обводненных песчаных до пород, которые разрушаются шарошечным инструментом. Роторными исполнительными органами оснащены однороторные щиты, многороторные щитовые машины, поворотные щитовые машины, щитовые машины некруглого сечения.

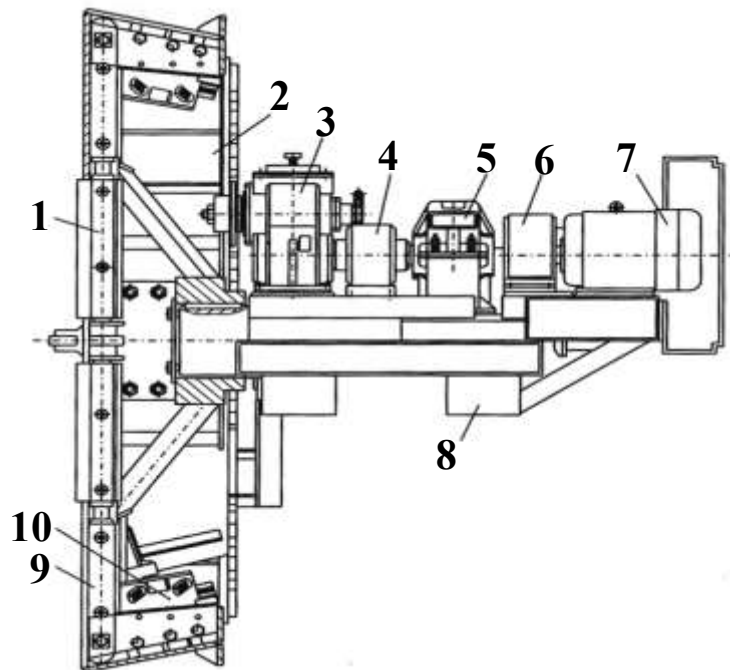


Рис. 4.1. Исполнительный орган щита с электрическим приводом

Ротор исполнительного органа оснащается породоразрушающим инструментом, закрепляемым на его рабочей поверхности. Роторные исполнительные органы бывают с плоской планшайбой (диском) со щелями для выхода породы; с винтовой планшайбой; с радиальными лучами; с кольцевой или комбинированной планшайбами. Исполнительные органы могут оснащаться как резцами, так и дисковыми шарошками.

Исполнительный орган (рис. 4.1) механизированного щита ПЩМ-3,6 имеет *планшайбу* 2 с плоской рабочей поверхностью и состоит из кольца и секторов. Планшайба 2 вращается с частотой 2,1 об/мин от привода, состоящего из двух асинхронных электродвигателей 7, уравнильных муфт 6, редукторов (РМ-500-1V) 5, муфт предельного момента 4, редукторов 3, вращающих роторный исполнительный орган посредством зубчатой передачи, содержащей две приводные шестерни и зубчатый венец, состоящий из сборных секций.

На планшайбе 2 закреплены два основных 1 и 9 и два вспомогательных пластинчатых резца, разрушающих породу с $f \leq 1,2$ и подающих ее во внутреннюю полость щита. Весь исполнительный орган собран на раме 8, которая выдвигается двумя гидравлическими домкратами вдоль оси щита.

С целью расширения области применения исполнительный орган щита может быть переделан на лучевой с радиальными резцами. Это дает возможность разрабатывать забой с породами с $f \leq 6$. На боковой поверхности планшайбы имеются дополнительные ножи 10 для очистки внутренней поверхности ножевой части щита.

Плоская планшайба (рис. 4.2) состоит из центральной части 3 с пластинчатыми резцами 12, забурником 7 и кольцевой части из двух сегментов 2 с люками 1, двух сегментов 6 для установки пластинчатых резцов 5 и двух рядов резцедержателей 9 с резцами 8 типа ШБМ.

Порода падает во внутреннюю полость щита через щели, закрываемые заслонками 4 и 11. Резцедержатели 10 закреплены также в центральной части планшайбы и на забурнике. Общее число стержневых резцов – 83. Планшайба вращается с частотой 1–3,5 об/мин от четырех гидравлических двигателей, питающих-

ся от общей насосной станции с электродвигателями суммарной мощностью 120 кВт.

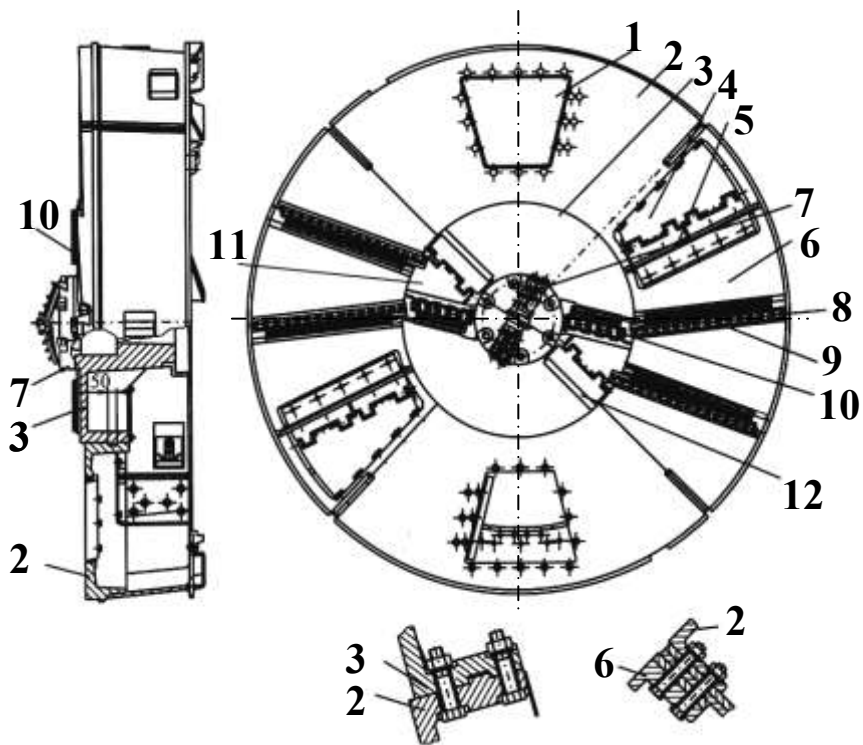


Рис. 4.2. Плоская планшайба щита ПЦМ-3,2 комплекса КЦ-3,2БР

Лучевые планшайбы для породы крепостью $f = 6-7$ оснащаются дисковыми шарошками (рис. 4.3, б и 4.4), а при $f < 6$ – резцами (рис. 4.3, а).

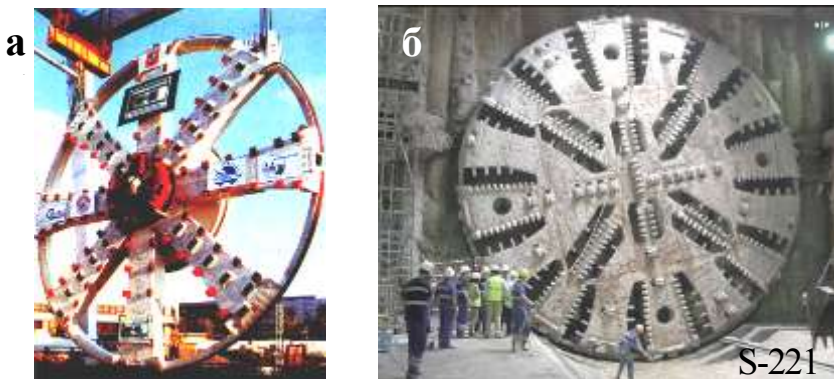


Рис. 4.3. Лучевые планшайбы фирмы «Herrenknecht AG»: а – $d = 14,2$ м; б – $d = 12,6$ м

Планшайба типа ММЦ-1 (рис. 4.4) комплекса ТЦБ-3 состоит из ротора, на пяти лучах 1 которого закреплены в разных

положениях по два ряда сорок два комбинированных породоразрушающих инструмента 2, две оконтуривающие дисковые шарошки 3, три центральные дисковые шарошки 6, копир-шарошки, а также поворотные подгребающие 4 и неподвижные 5 лопасти. Ротор посредством зубчатого колеса вращается с частотой 0,5–3,0 об/мин от четырех двигателей постоянного тока типа ДП-82А мощностью 140 кВт каждый.

Породоразрушающий инструмент имеет оригинальную конструкцию, заключающуюся в том, что на каждой опоре смонтированы дисковая шарошка 8 и резец 7. Лезвие шарошки несколько выступает относительно режущей кромки резца.

Крепкие породы разрушаются в основном шарошками, а стержневые резцы срезают оставшиеся гребни. На исполнительном органе могут быть установлены также пластинчатые резцы, лезвия которых выступают еще меньше, чем лезвия стержневых резцов. Они предназначены для разрушения мягких пород и предохранения шарошек от налипания.

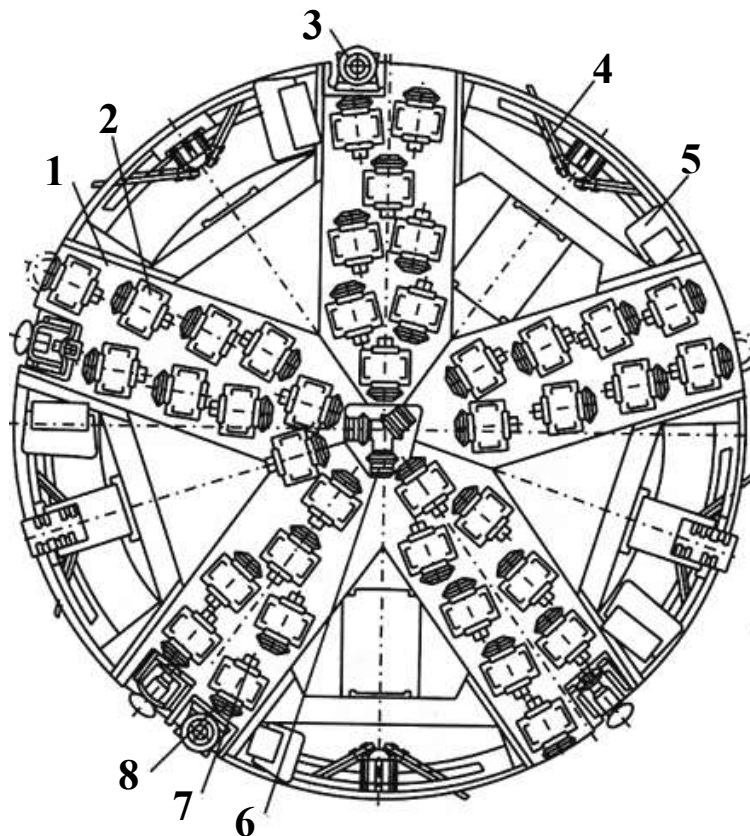


Рис. 4.4. Планшайбы щита ММЦ-1 комплекса ТЩБ-3

5. Рабочий инструмент исполнительных органов

Эффективность исполнительного органа проходческого щита во многом зависит от правильного подбора типа инструмента и его качества. Инструмент исполнительных органов проходческих щитов можно подразделить на три группы: для разрушения грунтов с $f = 0,5-1,2$; и горных пород с $f \leq 5-6$ и пород $f = 6-7$.

Для исполнительных органов щитов применяются стержневые резцы. В щитах могут применяться резцы, используемые на проходческих комбайнах. Хорошо показали себя резцы ШБМС-1-1-04 (рис. 5.1, а), РК-8Б и РБ-243 (рис. 5.1, б), имеющие конусные державки, угол резания – соответственно 90° и 100° , вылет – 40 мм.

Резец РПП (рис. 5.1, в), эффективно работающий при $f \leq 5-6$ и абразивности до 15 мг. Вылет резца – 70 мм, посадочный диаметр конусной (1:20) державки из стали 35ХГСА – 45 мм, длина резца – 130 мм. Твердый сплав марки ВК-8ВК имеет толщину 10 мм. Угол заострения – 90° , максимальное усилие резания – 20,0 кН. Целесообразно для этих резцов принять скорость резания 1,5–2 м/с при разрушении пород с $f = 4-5$ и 0,8–1 м/с при $f = 6$. Много различных типов резцового инструмента с различными наплавками и характеристиками применяются на проходческих щитах за рубежом.

Для разрушения пород средней крепости, крепких применяется **шарошечный инструмент** (рис. 5.2). Шарошки бывают зубчатые, штыревые и дисковые с разной геометрией и схемами расстановки на исполнительном органе (рис. 5.3).

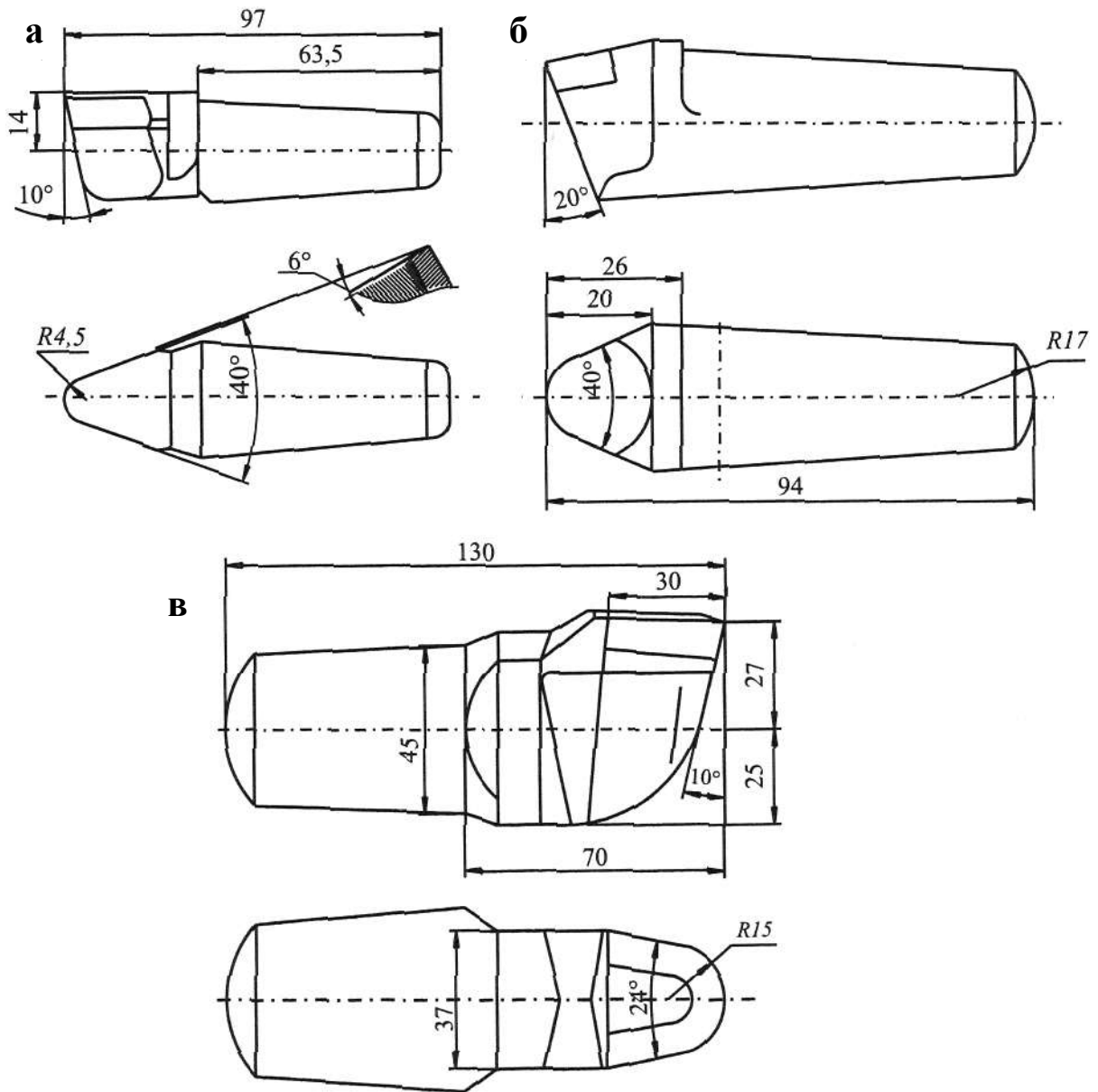


Рис. 5.1. Стержневые резцы:
 а – ЩБМС-1-1-04; б – РК-8Б; в – РПП

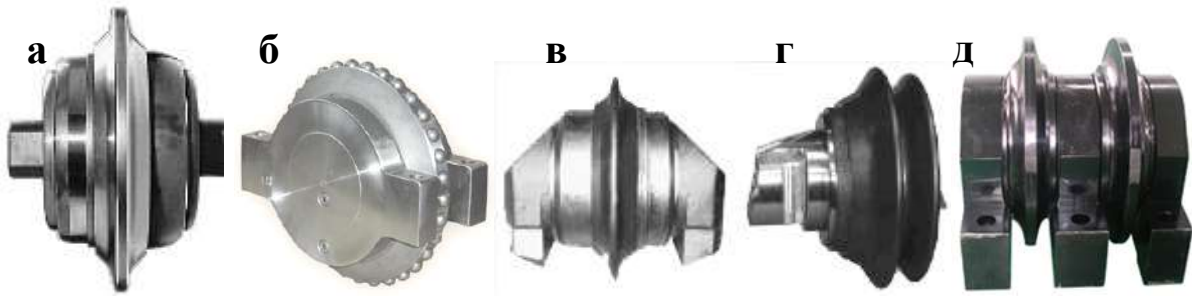


Рис. 5.2. Общий вид шарошек:
 а – «Herrenknecht AG»; б, в, г – «Wirth»; д – «Guangzhou
 Jiansui Machinery Co., Ltd»



Рис. 5.3. Схемы расстановки рабочего инструмента:
 а, б – шарошки; в – резцы

6. Погрузочное оборудование

Прходческие щиты оборудуются механизмами, обеспечивающими отбор разработанной в забое породы и погрузку ее на конвейеры или непосредственно в вагонетки. В механизированных щитах погрузочные органы выполняют в виде различных конструкций роторных грузчиков, нагребавших, шнековых механизмов или пластинчатых питателей.

В щитах с роторным исполнительным органом погрузку породы на конвейер осуществляют непосредственно вращающимся ротором, внутри которого имеются лопасти, подающие породу по направляющим течкам на конвейер (рис. 6.1, а). Внутри ротора разработанная порода попадает через окна в его лобовой части 1, вырезанные сзади породоразрушающего инструмента, а в нижней части забоя захватывается скребками 2 и грузится на конвейер.

В большинстве щитов с роторным исполнительным органом для выдачи разработанной породы из забоя применяют вместо скребков ковши.

В целом ряде конструкций щитов со стреловым исполнительным органом находят применение шнековые погрузочные органы (рис. 6.1, б) или органы с нагребующими лапами (рис. 6.1, в). Последние выполняют в основном двух типов – с двумя лапами, каждая из которых закреплена на консольной оси, эксцентрично расположенной относительно центра вращения, или в виде совершающей возвратно-поступательное движение рамы с двумя шарнирами, вокруг которых принудительно поворачиваются лапы (рис. 6.1, г). В обоих случаях погрузочные органы устанавливаются в ножевой части щита под углом к горизонту, причем лапы движутся по плоским «постелям». Шнеки или лапы перемещают породу на конвейер.

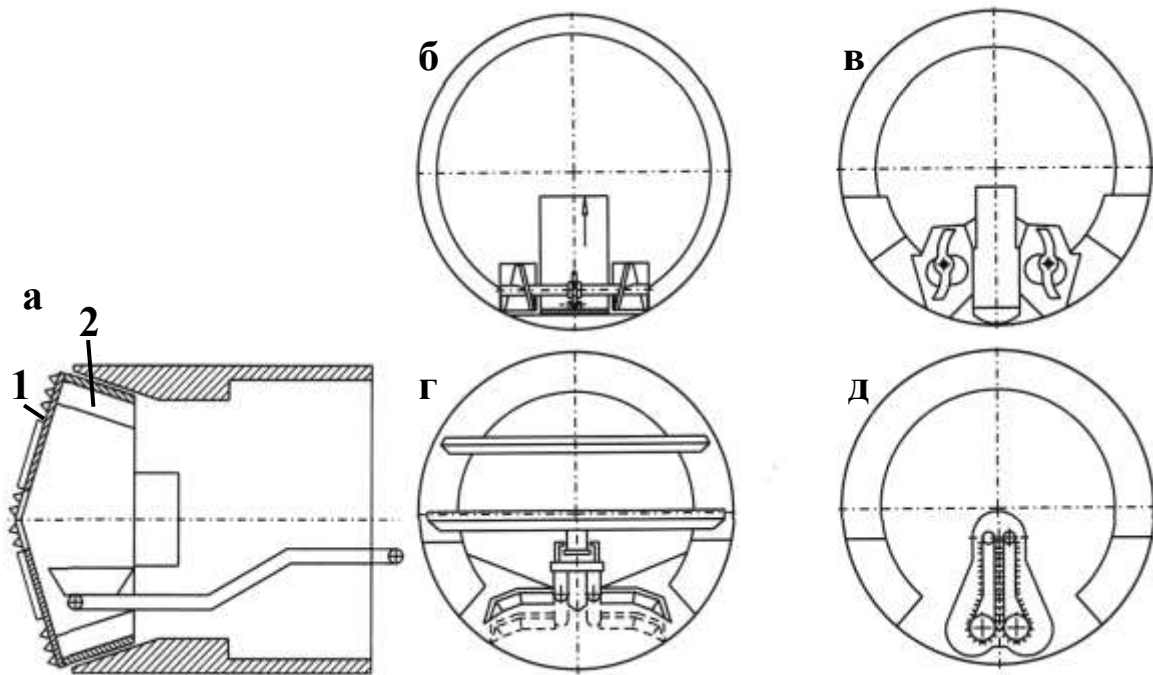


Рис. 6.1. Конструктивные схемы погрузочных устройств

При проходке тоннелей в обводненных условиях хорошо зарекомендовали себя пластинчатые питатели (см. рис. 6.1, д), выполненные в виде двух бесконечных цепей с пластинами, огибающих приводные звездочки в плоскости движения породы. Такие питатели позволяют регулировать угол сектора погрузки породы в плоскости разрушения забоя.

Для приема породы от погрузочных органов щиты оборудуют ленточными или скребковыми конвейерами, которые перегружают ее на конвейеры проходческого комплекса за щитом, а те, в свою очередь, грузят в нерасцепленные составы вагонеток. Предпочтительнее в щитах устанавливать ленточные конвейеры, особенно для транспортирования песчаных пород. Однако при больших углах наклона тоннеля (более 18°) в щитах устанавливают скребковые конвейеры.

На рис. 6.2 показана *конструкция погрузочного органа* с попеременно действующими нагребующими лапами, закрепленными на эксцентриках. Лапы 4 закреплены на осях 6, жестко соединенных с поворотными кругами 5, крутящий момент на которые передается от мотор-редукторов 3 карданной передачей 2 и коническим редуктором 1. Синхронизация работы лап со смещением положения их консольных осей на 180° осуществляется с помощью редуктора 9, соединяющего звездочки 7 и 11 на валах мотор-редукторов через цепные передачи 8 и 10.

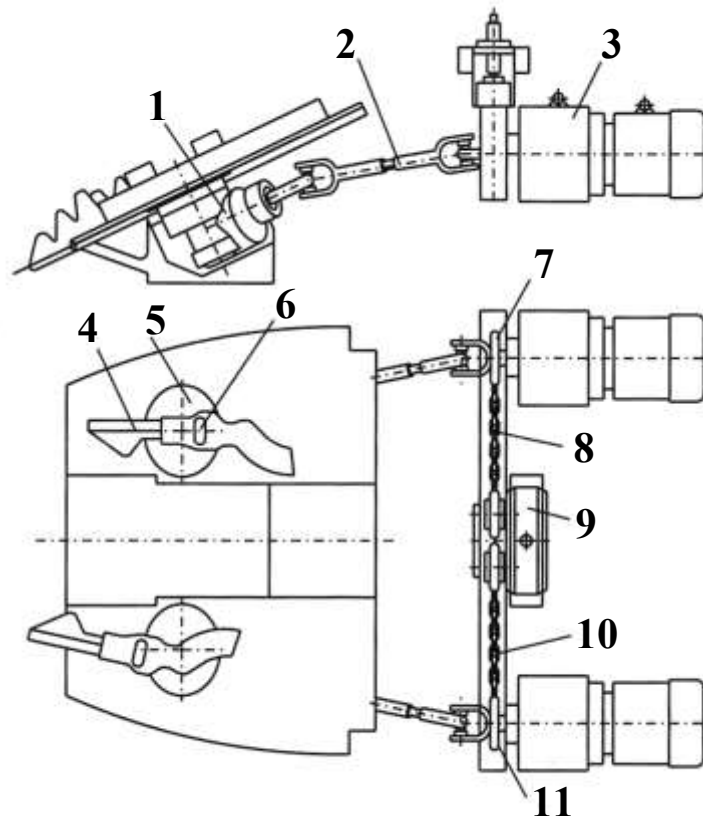


Рис. 6.2. Погрузочный орган с нагребующими лапами

Для погрузки на конвейер песчаной и глинисто-песчаной породы более совершенной конструкцией является *орган че-*

13 с роликовыми сферическими подшипниками к нагребавшим лапам 10. Поворот лап осуществляется домкратами 14, соединенными с лапами и с опорными рычагами через съемные головки 7, также оборудованные роликовыми сферическими подшипниками. На внешней стороне лап установлены сменные зубья 11 для рыхления породы.

Для самостоятельного изучения назначения, области применения, классификации, принципа работы и конструкции щитовых проходческих комплексов и проходческих щитов, включая их рабочий инструмент для строительства горных выработок различного назначения и формы поперечного сечения; тенденции и перспективы развития щитовых проходческих комплексов, а также для подготовки к защите работы, рекомендуется использовать предлагаемый ниже список литературы.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щитовые проходческие комплексы : учебное пособие / В. А. Бреннер, А. Б. Жабин, М. М. Щеголевский [и др.]. – Москва : Изд-во «Горная книга», Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2009. – 447 с.
2. Самойлов, В. П. Новейшая японская техника щитовой проходки тоннелей : справочно-информационное издание / В. П. Самойлов, В. С. Малицкий. – Москва : Империиум Пресс, 2004. – 232 с.
3. Современные щитовые машины с активным пригрузом забоя для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях : справочное издание / А. Г. Валиев, С. Н. Власов, В. П. Самойлов; под ред. В. П. Самойлова. – Москва : ТА Инжиниринг, 2003. – 70 с.
4. Шахтное и подземное строительство : учебник для вузов : в 2 т. / Б. А. Картозия, Б. И. Федунец, М. Н. Шуплик [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2003. – Т. 2. – 815 с.
5. Клорикьян, В. Х. Горнопроходческие щиты и комплексы / В. Х. Клорикьян, В. А. Ходош. – Москва : Недра, 1977. – 326 с.

6. Крапивин, М. Г. Горные инструменты / М. Г. Крапивин, И. Я. Раков, Н. И. Сысоев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1990. – 256 с.

7. Худин, Ю. Л. Разрушение горных пород комбинированными исполнительными органами / Ю. Л. Худин, Л. Д. Маркман, Ж. П. Вареха. – Москва : Недра, 1978. – 224 с.

8. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение агрегированными инструментами : коллективная монография / Л. И. Барон, Л. Б. Глатман, Ю. Н. Козлов [и др.]. – Москва : Наука, 1977. – 160 с.

9. Барон, Л. И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Разрушение шарошками / Л. И. Барон, Л. Б. Глатман, С. Л. Загорский. – Москва : Наука, 1969. – 152 с.

10. Разрушение горных пород шарошечным инструментом / Л. И. Барон, Л. Б. Глатман, С. Л. Загорский [и др.]. – Москва : Наука, 1966. – 139 с.

11. Укшебаев, М. Т. Сооружение тоннелей метрополитена г. Алматы тоннелепроходческим комплексом с активным грунтовым пригрузом / М. Т. Укшебаев, И. О. Акатов, В. Л. Коротков // Подземное пространство мира. – 2006. – № 4–5. – С. 3–7.

Составители

Леонид Евгеньевич Маметьев
Алексей Алексеевич Хорешок
Александр Михайлович Цехин
Андрей Юрьевич Борисов

ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ЩИТОВЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Методические указания к практическим работам
по дисциплине «**Горные машины, комплексы и оборудование**»
для обучающихся технических специальностей и направлений

Рецензент *Буялич Геннадий Данилович*

Подписано в печать 11.05.2021. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 2,0.

Тираж 36 экз. Заказ .

Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр Кузбасского государственного технического универ-
ситета имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.