

## ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 622.002.5

**В.В. Аксенов, Е.В. Резанова, В.Ю. Садовец**

### ОБЗОР УСТРОЙСТВ ПРОТИВОВРАЩЕНИЯ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Проведение горных выработок больших поперечных сечений в разнообразных горно-геологических условиях (сыпучих, крепких, обводненных породах) влечет за собой необходимость создания гаммы разнообразных по принципиальному и конструктивному строению проходческих систем.

Проведение горизонтальных и слабонаклонных горных выработок с помощью щитовых проходческих агрегатов имеет широкое распространение ввиду удобства размещения в агрегате основных операционных машин, возможности максимально механизировать и совместить во времени технологические операции проходческого цикла, автоматизировать управление и ведение щита по трассе выработки, возможности обеспечения высоких технико-экономических показателей и безопасности работ.

Проходческий щит представляет собой передвижную механизированную крепь и предназначен, в первую очередь, для защиты призабойной зоны от обрушения горных пород. Перемещение щитовых агрегатов на забой осуществляется, как правило, путем упора в ранее установленную крепь горных выработок, что требует ее возведения вслед за продвижением щита.

Движение щита по заданной траектории выработки неизбежно сопровождается смещениями в вертикальной и горизонтальной плоскостях и поворотом щита вокруг продольной оси (креном). Наличие и величина смещений зависят от реактивных моментов, правильности формы корпуса и установки в нем щитовых домкратов.

Поворот щита вокруг продольной оси приводит к неравномерному распределению усилий щитовых домкратов на крепь выработки и разрушению ее торцевой поверхности, к отклонению от заданного положения в пространстве функциональных машин системы, к отклонению от проектной траектории выработки.

Для предотвращения поворота щита вокруг продольной оси применяются различные технические решения – щиты оборудуются поворотными или сменными элеронами, распорами, грунтозацепами, отжимными поворотными плитами, продольными накладками и стабилизаторами. Механизированные щиты с роторным исполнительным

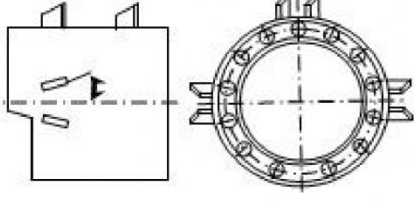
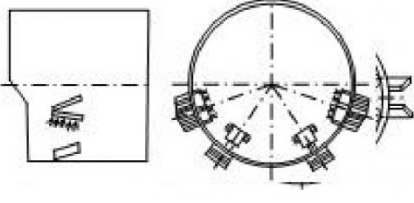
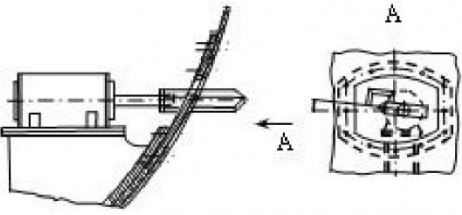
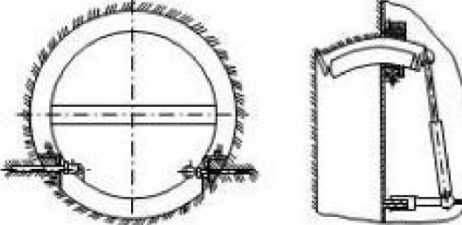
органом имеют реверсивный привод. Некоторые конструкции щитов оборудуются щитовыми домкратами, имеющими возможность устанавливаться под углом к продольной оси щита. При выполнении корпуса щита шарнирным по длине исправление положения агрегата достигается изменением геометрии щитового корпуса («C.S.M. Bessac», Франция) [1,2].

Из многообразия способов предотвращения поворота проходческих щитов вокруг продольной оси следует выделить способ применения устройств, осуществляющих работу за счет проводимой выработки и взаимодействующих с массивом пород. Конструкции таких устройств, принцип работы и характеристика приведены в табл. 1.

Так, для предотвращения закручивания проходческого щита на его корпусе в соответствующие проемы могут быть установлены диаметрально противоположные элероны бокового действия под углом к горизонтальной осевой плоскости щита с направлением их передних кромок в разные стороны. В верхние проемы корпуса устанавливаются элероны вертикального действия со смещением относительно вертикальной осевой плоскости щита. Для силового уравнивания необходимо, чтобы моменты сопротивления, возникающие на элеронах бокового и вертикального действия, были равны и противоположны по знаку, что достигается либо равенством углов расположения проемов либо подбором площадей элеронов. При соблюдении указанного условия при движении щита его закручивание исключается. Конструктивно элероны бокового и вертикального действия выполнены в виде пластин с ножевой кромкой и отверстиями под крепежный элемент и грузозахватный крюк и могут использоваться как элерон, грузовой крюк или заглушка [3].

Щиты могут снабжаться двоякими подвижными боковыми элеронами, расположенными под углом друг к другу и имеющими индивидуальные механизмы выдвижения. Дополнительно между элеронами устанавливаются лыжи, снабженные механизмом поворота. Такое выполнение улучшает управление щитом без его остановки на трассе проходки. В процессе проведения горной выработки механизмы управления элеро-

Таблица 1. Устройства противовращения проходческих щитов

Конструкция	Принцип работы	Достоинства	Недостатки
	Внедрение элеронов бокового и вертикального действия в породу при продольном перемещении щита	Закручивание щита исключается силовым уравниванием на элеронах. Элероны снабжены ножевой кромкой	Необходимость ручной переустановки элеронов. Высокие требования к точности монтажа
	Внедрение в породу двоящих выдвигаемых боковых элеронов при продольном перемещении щита	Применимы в широком диапазоне горно-геологических условий. Элероны имеют индивидуальные механизмы выдвигания. Исправление отклонений щита производится без остановки.	Расположение элеронов под углом друг к другу увеличивает сопротивление внедрению.
	Внедрение в породу выдвигаемых элеронов при продольном перемещении щита	Индивидуальный привод. Применимы для пород с низкой несущей способностью и для проходки выработок с отрицательным уклоном	Ослабление грунта при прохождении элерона.
	Внедрение в породу выдвигаемых элеронов при продольном перемещении щита	Индивидуальный гидроривод. Внешний сегмент элерона снабжен забурным носком. Управление щитом осуществляется путем изменения угла атаки элеронов.	Малая площадь контакта с породой. Сложность конструкции.

нами и лыжами включаются в различных комбинациях [4].

Усовершенствованная конструкция выдвигаемых элеронов, расположенных в нижней части корпуса и смещенных от горизонтальной плоскости, в которой лежит геометрическая ось щита, на угол  $30-45^\circ$  представлена в табл. 1. Корпус щита выполняется с разгрузочными окнами, размещенными над каждым элероном перед его режущей кромкой. Щит снабжается двумя парами элеронов, одна из которых установлена у ножевой части щита под углом  $\beta$  к горизонтальной плоскости и перпендикулярно вертикальной, а вторая – у хвостовой части щита и лежит в горизонтальной плоскости. При движении щита на забой через разгрузочные окна поступает порода, что существенно облегчает внедрение элеронов. Элероны, расположенные в хвостовой части щита, выдвигаются в том случае, если в почве выработки оказываются породы с низкой несущей способностью

или если выработка проводится с отрицательным уклоном. В последнем случае первая пара элеронов убирается. Рекомендуется  $\beta=5^\circ$  для глинистых пород и  $\beta=15^\circ$  для песков и суглинков. Изменение угла  $\beta$  обеспечивается сменной облоймой. Выдвижение элерона осуществляется с помощью домкратов [5].

Кроме того, щиты для проходки горных выработок могут быть снабжены выдвигаемыми элеронами, связанными с домкратами. В нижней ножевой части корпуса жестко закреплены направляющие, выполненные в виде двух сопряженных секторных прорезей. В каждой направляющей установлена облойма с винтовой нарезкой, имеющая прорезь, в которой размещены шаровые опоры, взаимодействующие с элероном. Элерон выполнен составным из двух сегментных пластин. Внешний сегмент элерона снабжен забурным носком, а внутренний – выступом, связанным через сферическую опору с гидродомкратом, установ-

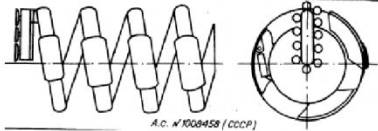
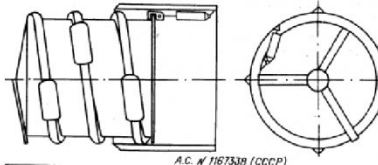
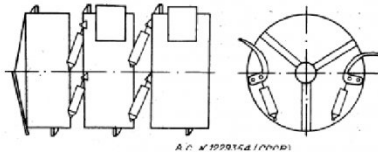
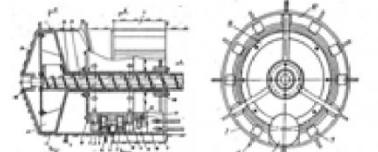
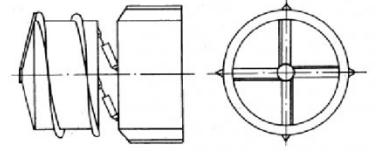
ленном на внутренней стороне корпусе. Внутренний сегмент снабжен упругой прокладкой. Под действием усилия гидродомкрата, элерон выдвигается за корпус щита. При этом забурный носок, взаимодействуя с окружающей породой, получает дополнительное усилие, вытягивающее его из щита. При задвижении внешний сегмент элерона забурным носком захватывает внутренний сегмент. Управление щитом осуществляется путем изменения угла атаки элеронов [6].

В целом, при проектировании устройств противовращения проходческих щитов изначально предполагается, что реактивный момент от работы

силового оборудования имеет малую величину и циклический, либо вероятностный, характер воздействия на устройства. Работают устройства противовращения по принципу вдавливания в массив пород, проектируются преимущественно с целью управления движением щита в профиле и плане и имеют малую площадь контакта с породой.

Геовинчестерная технология проведения выработок различного назначения и расположения в пространстве предопределяет вовлечение в технологический процесс проведения выработки приконтурного массива горных пород в качестве силового связующего звена [7].

Таблица 2. Устройства противовращения геолоходов

Конструктивная схема геолохода	Область применения	Устройство противовращения	Оценка
	Строительство тоннелей в устойчивых и не очень прочных горных породах	Опорные лыжи	Низкая удерживающая способность. Продавливание боковых пород опорными лыжами, просыпание и вывалы пород в межспиральное пространство. Не осуществляется формирование продольных каналов за контуром выработки.
	Строительство горных выработок, тоннелей и гидротехнических сооружений в мягких и неустойчивых породах	Стабилизаторы с проставками	Достаточная удерживающая способность. Дополнительные усилия на преодоление сил сопротивления внедрению стабилизаторов при формировании продольных каналов методом вдавливания.
	Строительство горных выработок, тоннелей и гидротехнических сооружений	Анкерные лыжи	Низкая удерживающая способность. Не осуществляется формирование продольных каналов за контуром выработки. Неприменимы при совмещенном режиме перемещения секций.
	Строительство тоннелей, горных выработок и гидротехнических сооружений в плотных глинах, сланцах, песках	Продольные пластины. Количество пластин 4 - 12	Достаточная удерживающая способность. Дополнительные усилия на преодоление сил сопротивления внедрению пластин при формировании продольных каналов методом вдавливания. Разрушение винтового канала.
	Строительство тоннелей, гидротехнических сооружений, горизонтальных и восстающих горных выработок	Стрингеры	Применимы при совмещенном и последовательном перемещении секций. Высокая удерживающая способность. Снабжены ножевой кромкой. Дополнительные усилия на преодоление сил сопротивления внедрению стрингеров.

Средством реализации геовинчестерной технологии проведения горных выработок являются геоходы – новый класс горнопроходческих машин, движущихся в подземном пространстве с использованием геосреды.

Отличительными особенностями геоходов являются вращательно-поступательное перемещение на забой по принципу винчивания, наличие новых функционально-конструктивных элементов, общая функционально-компоновочная схема, возможность реализации на исполнительном органе любых напорных усилий, качественно новые функциональные возможности [8].

Перемещение геохода в подземном пространстве осуществляется с помощью винтовой лопасти, расположенной на внешней поверхности головной секции.

Винтовая лопасть удерживает геоход в пространстве путем упора в массив пород и обеспечивает направленное движение по трассе выработки.

Одновременно при движении геохода посредством винтовой лопасти формируется винтовой канал за контуром выработки.

Вращение головной секции обеспечивается за счет расположенных по хордам гидроцилиндров поворота, цапфы штоков которых закреплены на головной секции, а цапфы корпусов крепятся к стабилизирующей секции.

При выдвигании штоков, за счет геометрической особенности расположения гидроцилиндров, создается мощный вращательный момент. При этом, являясь внутренним двигателем, гидроцилиндры поворота не только начинают вращать головную секцию, но и передают идентичный по величине момент, порядка 3500 – 3600 кН·м, на стабилизирующую секцию геохода.

Для обеспечения возможности работы геохода необходимо удерживать стабилизирующую секцию от реактивного проворота. В противном случае будет вращаться стабилизирующая, а не головная секция геохода.

Устройство противовращения является одним из основных функциональных устройств, обеспечивающих работоспособность геохода.

Функциональным назначением устройства противовращения геохода является предотвращение проворота стабилизирующей секции носителя вокруг продольной оси, восприятие и перераспределение реактивных составляющих на массив горных пород и формирование продольных каналов за контуром проводимой выработки [9].

Конструкции устройств противовращения геоходов, область применения и оценка, основанные на результатах патентных исследований, представлены в табл. 2.

Геоход [10], реализующий принцип винчивания в горную породу при продольном перемещении, снабжен опорными лыжами, расположенными на наружной поверхности трубчатой спирали и

закрепленными на цапфах штоков гидродомкратов. При выдвигании штоков опорные лыжи распираются в контур выработки, а сама трубчатая спираль опирается на возводимую вслед за продвижением постоянную крепь.

Поиски решений по расширению области применения и повышению надежности работы привели к разработке проходческого щитового агрегата ЭЛАНГ (аббревиатура авторского коллектива – Эллер А. Ф., Аксенов В. В., Нагорный В. Д., Горбунов В. Ф.). На внешней поверхности охватывающей спираль оболочки были расположены продольные стабилизаторы с проставками, воспринимающие реактивные усилия на оболочку от давления опорных лыж и препятствующие ее вращению вокруг продольной оси геохода. При продольном перемещении охватывающей оболочки стабилизаторы формируют продольные каналы за контуром выработки [11].

В трехсекционной конструкции геохода [12] обеспечена кинематическая взаимоувязка и возможность взаимного поворота секций носителя.

Устройство противовращения (анкерные лыжи) выполнено в виде секторов, шарнирно закрепленных на концевых секциях гидродомкратов перемещения и дополнительно связанных с ними посредством гидроцилиндров управления.

Конструктивно анкерные лыжи изогнуты под некоторым углом, обеспечивающим минимальный выступ внутри оболочки при втянутых штоках. Расположены анкерные лыжи по образующим в середине промежуточной и стабилизирующей секций.

Устройство противовращения геохода [13] расположено на внешней поверхности стабилизирующей секции и выполнено в виде плоских радиальных, прямоугольных в профиле пластин, большая ось которых ориентирована параллельно образующей. Количество пластин варьируется от 4 до 12.

По мере внедрения пластин в массив происходит восприятие и перераспределение реактивных усилий и формирование продольных каналов за контуром выработки.

Предотвращение реактивного проворота головной секции геохода для проведения восстающих и горизонтальных выработок [14] обеспечивается продольными стрингерами, которые одновременно перераспределяют нагрузку на массив горных пород и формируют продольные каналы за контуром выработки.

Отличительным признаком устройства противовращения является скошенная под некоторым углом режущая кромка пластины. В данном случае устройство противовращения инициируется как устройство, снабженное исполнительным органом ножевого типа.

В поперечном сечении устройство противовращения данной группы может иметь плоское или треугольное сечение.



В целом, устройства противовращения геоходов изначально проектировались для восприятия и перераспределения на массив горных пород значительного по величине момента от работы силового оборудования с целью предотвращения реактивного проворота стабилизирующей секции при продольно-винтовом перемещении головной. Ра-

ботают устройства противовращения по принципу вдавливания в массив пород в продольном или радиальном направлениях, проектируются с учетом необходимости формирования продольных каналов за контуром выработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клорикьян, В. Х. Горнопроходческие щиты и комплексы / В. Х. Клорикьян, В. В. Ходош. – М. : Недра, 1977. – 326 с.
- 2 Эткин, С. М. Сооружение подземных выработок проходческими щитами / С. М. Эткин, В. М. Симоненко. – М. : Недра, 1980. – 304 с.
- 3 Патент 2013555 РФ, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Способ управления движением проходческого щита / Н-техн. центр Асс. предпр. и орган. строит. комплекса "Мосинжстрой"; С. Н. Стогов [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1994.
- 4 А. с. 456907 СССР, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Щит для проходки горных выработок / ЦНИПКИ прох. маш. и компл. для угольной, горн. пром-ти и подз. стр-ва; Е. С. Поляков [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1975. – № 2.
- 5 А. с. 188433 СССР, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Щит для проведения горизонтальных горных выработок / Т. Г. Ширай [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1966. – № 22.
- 6 А. с. 1223701 СССР, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Щит для проходки горных выработок / А. Т. Шамуратов [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1984.
- 7 Аксенов, В. В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово : Институт угля и углехимии СО РАН, 2004. – 264 с.
- 8 Аксенов, В. В. Геовинчестерная технология и геоходы – наукоемкий и инновационный подход к освоению недр и формированию подземного пространства / В. В. Аксенов, А. Б. Ефременков // Уголь. – М., 2009. – № 2. – С. 26-29.
- 9 Аксенов, В. В. Пути развития устройств противовращения геоходов / В. В. Аксенов, Е. В. Резанова // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2008. – № 2. – С. 24-25.
- 10 А. с. 1008458 СССР, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Проходческий щитовой агрегат / Ин-т горного дела СО АН СССР; В. Ф. Горбунов [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1983. – № 12.
- 11 А. с. 1167338 СССР, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Проходческий щитовой агрегат ЭЛАНГ / Ин-т горного дела СО АН СССР; В. Ф. Горбунов [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1985. – № 26.
- 12 А. с. 1229354 СССР, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Проходческий щитовой агрегат / Ин-т горного дела СО АН СССР; В. Ф. Горбунов [и др.]. – Оpubл. в Б. И., 1986. – № 17.
- 13 Патент 2066762 РФ, МКИ<sup>2</sup> E21D 9/06. Проходческий щитовой агрегат / Рос. науч-иссл. ин-т горноспасательного дела; А. Ф. Эллер [и др.]. – Оpubл. в 1996.
- 14 United States Patent 5,072,992. /SHIELD UNIT Valery F. Gorbunov, Alexandr F. Eller, Alexandr Y. Tkachenko, Vladimir V. Axenov, Vladimir D. Nagorny. Date of Patent: Dec. 17, 1991.

□ Авторы статьи:

Аксенов  
Владимир Валерьевич  
- докт. техн. наук,  
ведущий научный сотрудник ИУУ  
СО РАН, профессор ЮТИ ТПУ  
т. 8-908-953-55-22  
[v.aksenov@icc.kemsc.ru](mailto:v.aksenov@icc.kemsc.ru)

Резанова  
Елена Викторовна  
ст. преп каф. приклад-  
ной механики КузГТУ  
Тел. 8-904-572-60-76  
[elen-rezanova@yandex.ru](mailto:elen-rezanova@yandex.ru)

Садовец  
Владимир Юрьевич  
канд.техн.наук, доц.  
каф. прикладной механики  
КузГТУ, доцент ЮТИ ТПУ  
Тел. 8-950-263-84-75  
[vsadovec@yandex.ru](mailto:vsadovec@yandex.ru)