

УДК 622.232

В.В. Аксенов, В.Ю. Садовец

## СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НОЖЕВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ГЕОХОДА

По оценке Академии менеджмента и рынка, а также Агентства международного развития приоритетных технологий на 2000-2020 гг. способы и решения в части сооружения подземных магистралей, автотрасс и железных дорог являются особо важными по группе «Использование подземного пространства».

Сооружение подземных магистралей, а также проведение подготовительных горных выработок, на небольших глубинах ведутся в сложных горно-геологических условиях – слабых, неустойчивых, обводненных породах.

Для проходки подземных выработок на малых глубинах в неустойчивых породах традиционно применяются проходческие щиты, которые, в силу специфики своей работы, способа перемещения и конструктивных особенностей, обладают рядом существенных недостатков:

- высокая металлоемкость оборудования;
- высокая трудоемкость монтажно-демонтажных работ;
- низкая маневренность, трудоемкость операций по выравниванию курса щита;
- сложность, а чаще и невозможность применения при проходке наклонных выработок;
- невозможность ведения непрерывной работы по проходке (только шаговое перемещение);
- необходимость возведения мощной постоянной крепи, вслед за подвижанием щита и, как следствие, низкая скорость проходки;
- загроможденность призабойного пространства (рамы, станины и т.п.);
- в некоторых конструкциях

щитов нет устройств по удержанию поверхности забоя.

Создание технических средств для работы в сложных горно-геологических условиях на протяжении уже ряда десятилетий является актуальной научно-технической проблемой.

Перспективным направлением в решении проблемы проведения выработок в неустойчивых породах, является развитие нового класса горнопроходческой техники – геоходов. В этих машинах (аппаратах) реализуется принципиально новая идея использования окружающего массива горных пород – включение геосреды в процесс движения проходческого оборудования. Следует отметить, что основой проходки горных выработок, по нашему мнению, является процесс движения твердого тела (проходческого оборудования) в твердой среде.

Геоходы, вбирая в себя основные преимущества щитового способа проходки:

- корпус щита (геохода) выполняет функцию временной проходческой крепи,
- защищенность призабойной зоны от вывалов и, как следствие, безопасность проведения горных работ,
- возведение постоянной крепи под защитой щитовой оболочки,
- возможность проведения выработок в сложных горно-геологических условиях, обладают перед ними следующими основными преимуществами:
- перемещение по трассе выработки осуществляется без упора в постоянную крепь, обделку подземных сооружений;
- подача на забой осуществляется в режиме – на сколько переместились столько и закрешили;

- низкая металлоемкость (масса геоходов в 3-4 раза меньше массы щитов);

- возможность движения в любом направлении подземного пространства;

- совмещение операций проходческого цикла;

- возможность создания больших напорных усилий на исполнительном органе (ИО);

- ожидаемая высокая скорость проходки;

- более высокая маневренность.

В настоящее время ведутся работы по разработке опытных образцов геоходов. Сдерживающим фактором в создании геоходов для проходки в неустойчивых породах является отсутствие исполнительных органов (ИО), адаптивных для работы в сложных горно-геологических условиях – слабых и неустойчивых породах.

На пути создания ИО геоходов для неустойчивых пород на начальном этапе необходимо решить следующие задачи:

- 1) с учетом особенностей работы геоходов определить требования к ИО для неустойчивых пород;

- 2) разработать компоновочные и технические решения ИО геохода;

- 3) определить для последующего моделирования работы ИО и их конструкторской проработки первоочередные компоновочные схемы и технические решения.

Традиционно в практике горных и строительных работ для разрушения пород крепостью  $f < 1$  по шкале проф. М.М. Протодьяконова используются ножевые ИО. Поэтому при разработке компоновочных и технических решений ИО геохода за основной конструктивный элемент принят ножевой ИО.

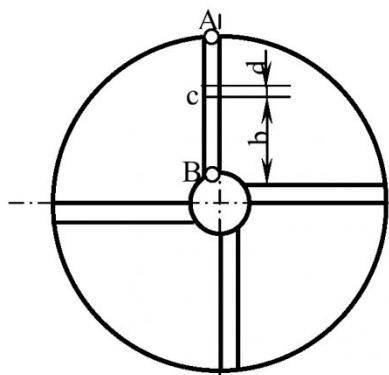
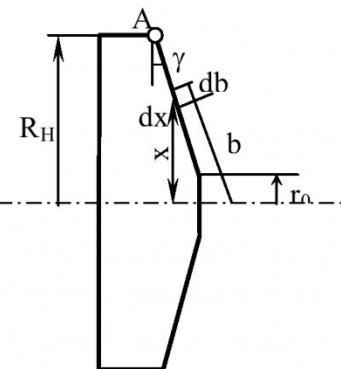


Рис. 1 Схема ножевого исполнительного органа



Своебордный характер перемещения геохода на забой [1] обуславливает формирование сложной формы поверхности не только самого забоя, но и ИО. Поверхность забоя, при разрушении его ИО геохода, имеет вид нескольких геликоидных поверхностей с уступами. Для доказательства этого положения рассмотрим ножевой ИО, использовавшийся на геоходе ЭЛАНГ – 3.

Точка  $A$ , расположенная на периферии ножа, при заданном шаге винтовой лопасти  $h_B$  внешнего движителя, проходя за один полный оборот по окружности путь  $2\pi R$ , перемещается на забой под углом  $\beta_1$  к плоскости перпендикулярной оси вращения геохода [1], при чем

$$\beta_1 = \arctg \frac{h_B}{2\pi R_H}$$

где  $R_H$  – радиус ножевого ИО.

Точки ножа, расположенная ближе к оси вращения геохода, допустим, точка  $B$ , при том же шаге винтовой лопасти внешнего движителя перемещаются на забой под углом  $\beta_2$  к плоскости перпендикулярной оси вращения геохода [1], при чем

$$\beta_2 = \arctg \frac{h_B}{2\pi r_0}$$

где  $r_0$  – расстояние от оси вращения геохода до точки  $B$ .

Любая точка ножа расположенная на расстоянии  $x$  (рис. 1) от оси вращения геохода, пере-

мещается на забой под углом  $\beta_1$  к плоскости перпендикулярной оси вращения геохода:

$$h = \frac{h_B}{n}$$

где  $n$  – количество ножей исполнительном модуле.

Количество радиальных ножей определяет число взаимосопрягаемых участков с геликоидной поверхностью на забое. Между двумя взаимосопрягаемыми винтовыми поверхностями образуется уступ, который постоянно формируют

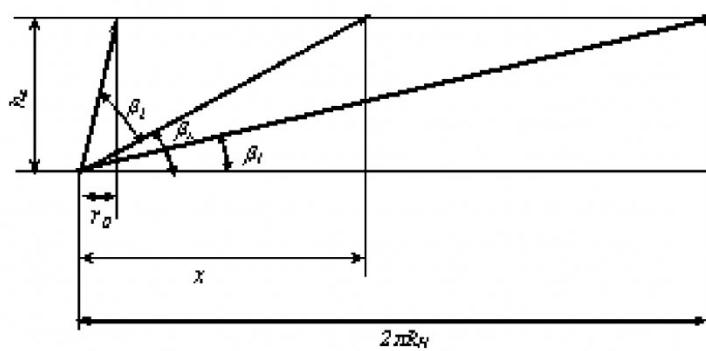


Рис. 2. Направление движения точек ножа ИО геохода

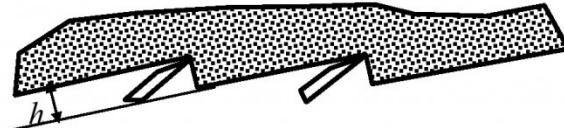


Рис. 3. Образование уступа ножевым ИО геохода

местится на забой под углом [1]:

$$\beta_x = \arctg \frac{h_B}{2\pi x}$$

Точки ножа, находящиеся ближе к оси вращения геохода перемещаются на забой под большим углом, чем точки находящиеся на периферии ножа (рис. 2). Таким образом, при винтовом перемещении ножевого исполнительного модуля на забой точки радиального ножа образуют геликоидную (винтовую) поверхность. Следовательно, участок поверхности забоя в секторе между смежными радиальными ножами после их прохода принимает вид винтовой поверхности.

Высота формируемого уступа  $h$  зависит от шага винтовой лопасти и количества ради-

и разрушают ножи ИО по мере их подачи на забой (рис 3) [1].

Сложная геликоидная поверхность забоя определяется только характером перемещения геохода, поэтому винтовая

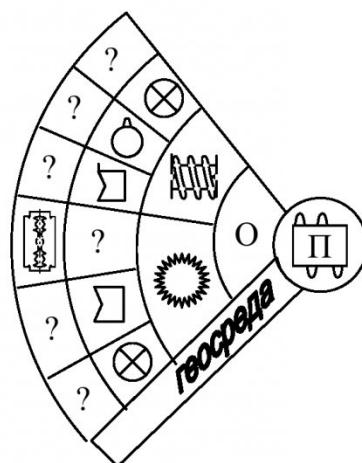


Рис.4. Фрагмент структурного портрета

поверхность образуется при работе любого радиального ИО, независимо от его конструкции

и применяемого инструмента.

Учитывая своеобразный характер перемещения геохода,

его функционально-конструктивные отличия, образование специфической формы забоя

Таблица 1

## Основные конструктивные схемы ножевого ИО геохода

№ пп	Фрагмент структурно- го портрета	Принципиальная схема	Особенности Область применения
1	2	3	4
1			Четырехлучевой ножевой ИО. Один винторез. Не имеет собственного привода. Угловые скорости движения инструмента и головной секции геохода равны. Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью $f < 1$ по шкале проф. Протодьяконова
2			Четырехлучевой ножевой ИО. Два винтореза. Ножи установлены под обратным конусом к оси геохода. Не имеет собственного привода, и усилие на забое создается механизмом подачи геохода. Угловые скорости движения инструмента и головной секции геохода равны. Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью $f < 1$ по шкале проф. Протодьяконова
3			Двухлучевой ножевой ИО. Один винторез. На каждом луче два ножа. Ножи установлены под прямым конусом к оси геохода. В центре установлен скальватель. Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью $f < 1$ по шкале проф. Протодьяконова
4			Трехлучевой ножевой ИО. Три винтореза. Ножи установлены под прямым конусом к оси геохода. В центре установлен скальватель. Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью $f < 1$ по шкале проф. Протодьяконова
5			Двухшнековый ножевой ИО. Один винторез. Имеем свой собственный привод. Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью $f < 1$ по шкале проф. Протодьяконова

Таблица 1(оконч.)

## Основные конструктивные схемы ножевого ИО геохода

1	2	3	4
6			<p>Трехшнековый ножевой ИО. Один винторез. ИО активного действия - имеет свой собственный привод. Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью <math>f&lt;1</math> по шкале проф. Протодьяконова</p>
7			<p>Четырехблочевой ИО с резцами. Один винторез. Область применения. Слабые и мягкие породы крепостью <math>f&lt;1,5</math> по шкале проф. Протодьяконова</p>
8			<p>Двухфрезерный ИО. Один винторез. Возможность транспортировки отдельной горной массы. Фрезы установлены под обратным конусом к оси геохода. Относится к семейству активных ножевых ИО. Область применения. Породы крепостью <math>f&lt;2</math> по шкале проф. Протодьяконова.</p>

получаемой при работе ИО, а также основываясь на ранее накопленном опыте и проведенных исследованиях [2], сформулированы основные требования к ИО геохода ножевого типа.

1. ИО должен обеспечивать процесс разрушения пород  $f<1$  по шкале проф. М.М. Протодьяконова.

2. В неустойчивых породах должно обеспечиваться перемещение ИО геохода на забой.

3. Работа ИО должна осуществляться в строгом соответствии с характером и параметрами подачи геохода на забой:

- ИО должен обеспечивать продвижение геохода на один оборот на шаг винтовой лопасти;

- ИО должен разрушать забой на полное сечение прово-

димой выработки за один полный оборот головной секции

4. Должна обеспечиваться возможность непрерывного перемещения геохода на забой.

5. Должно быть обеспечено одновременное формирование и разрушение уступов на поверхности забоя выработки.

6. Должна быть обеспечена возможность замены (перехода) ножевого ИО на ИО для разрушения более крепких пород.

7. Для предотвращения вывалов, перепуска породы из кровли и бортов выработки из груди забоя должна быть предусмотрена возможность монтажа ограждающей оболочки (диафрагмы) непосредственно у поверхности забоя.

8. Геометрическая форма ножей ИО должна соответствовать геликоиду (винто-

вой поверхности).

9. Геометрическая форма диафрагмы должна соответствовать поверхности забоя, и так же иметь вид геликоида.

10. Параметры геликоидных поверхностей ножей ИО и диафрагмы должны быть согласованы между собой, и соответствовать параметрам внешнего движителя геохода.

11. ИО должен обеспечивать маневренность геохода на трассе выработки.

12. Должно быть обеспечено нарезание винтового канала за контуром проводимой выработки.

13. Нарезание винтового канала должно осуществляться одновременно с разрушением пород забоя

Существующие породоотделяющие органы проходческих машин ни конструктивно, ни функционально не соответст-

вуют предъявляемым к ИО геоходов требованиям, что обуславливает необходимость разработки принципиально новых компоновочных и технических решений ИО геохода.

При разработке новых решений ножевых ИО геоходов воспользуемся уже апробированным, при разработке общих компоновочных решений по новому классу горнодобывающего оборудования, подходом.

Для синтеза новых технических и компоновочных решений по ИО геохода, рассмотрим технологическую операцию отделения горной массы.

В структурном портрете геохода под операцию отделения выделен соответствующий сектор, фрагмент структурного портрета, с набором функциональных устройств и функционально-конструктивных элементов (рис. 4). Для полного и наглядного представления структуры ИО выделим и введем символическое обозначение конструктивных элементов последнего.

В структуре ножевого ИО геохода выделены следующие признаки классификации:

- по количеству радиальных

ножей;

- по геометрии расположения радиальных ножей относительно оси геохода;
- по наличию или отсутствию привода: активный или пассивный;
- по количеству винторезов;
- по количеству лезвий.

На основе сформированных фрагментов структурного портрета, основанных на интеграционном подходе, были разработаны компоновочные и технические решения ножевого ИО геохода, некоторые из которых представлены в табл. 1.

Следует отметить, что благодаря использованию интеграционного подхода, наработано около 280 конструктивных схем ножевого ИО геохода.

В настоящее время разработана концепция инвестиционного проекта «Геоходостроение – создание научно-технической базы машиностроения в России». Одним из направлений этого проекта является разработка опытных образцов геоходов.

#### *Выводы*

1. Анализ работы геохода позволил:

- выделить особенности функционирования ножевого

ИО геохода;

- выработать основные требования к ножевым ИО геохода.

2. Использование функционально-конструктивного подхода позволило:

- создать инструмент для синтеза новых технических решений ИО геохода и апробировать его при разработке технических решений ножевых ИО.

- наработать более 280 вариантов конструктивных решений ИО геохода;

- выявить большое поле деятельности и широкие возможности в направлении создания ИО геохода ножевого типа.

3. Исходя из программы создания опытных образцов геоходов, основополагающей стратегической линией которой является путь «от простого к сложному», определен порядок дальнейшей проработки аналитических и конструктивных вариантов ножевых ИО геохода:

- без собственного привода (пассивный ИО);

- ножевой с резцами (пассивный ИО);

- шnekовый (активный ИО);

- барабанно-фрезерный (активный ИО).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винтовые проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. – 192 с.
2. Аксенов В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтовых агрегатов: Дис. на соискание уч. спер. док. техн. наук. – Кемерово, 2004, 307 с.

□ Автор статьи:

Аксенов

Владимир Валерьевич  
- докт. техн. наук, старший научный  
сотрудник ИУУ СО РАН

Садовец

Владимир Юрьевич  
- соискатель каф. стационарных и  
транспортных машин

УДК 622.232

**В.В. Аксенов, В.Ю. Садовец**

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КИНЕМАТИКИ ГЕОХОДА

Привод геохода содержит  $k$  силовых домкратов, каждый из которых обеспечивает поворот агрегата на угол  $\psi = 2\pi/k$ , создавая среднюю угловую скорость  $\Omega = 2\pi/T$ . Неуравнове-

шленность привода и наличие кинематических особенностей (для краткости именуемых дефектами) приводит к формированию в спектре колебаний с высшими частотами  $m\Omega$  и  $n\Omega$ .

Пусть для определенности  $m < n$ ;  $m, n = 2, 3, \dots$ . Диагностика особенностей режимов и распознавание моделей нагружения агрегата возможны, если дополнительные колебания имеют