

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.002.5

В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, А.Ю. Дугина

ТРЕБОВАНИЯ К ВНЕШНЕМУ ДВИЖИТЕЛЮ ГЕОХОДА

При проведении горных выработок в условиях подземного пространства перемещение горнопроходческих машин традиционного исполнения на забой осуществляется внешними движителями (гусеничный или колесный ход, распорные устройства), которые были, изначально, разработаны для машин, выполняющих различные строительные и землеройные работы на поверхности. То есть, по сути, они предназначены для работы только на контакте твердой и воздушной сред.

Работа геохода принципиально отличается от работы всех известных горнопроходческих систем [1], а его перемещение на забой, основанное на использовании приконтурного массива горных пород, рассматривается как движение твердого тела в твердой среде. Такой подход обуславливает необходимость создания специальных, адаптивных к работе геохода внешних движителей.

Внешний движитель один из основных функциональных элементов геохода, определяющий его работоспособность. Его основным функциональным назначением является обеспечение перемещения геохода на забой за счет взаимодействия с геосредой.

При выполнении процесса перемещения геохода его внешний движитель осуществляет следующие действия.

- Преобразует инициируемое силовым оборудованием вращательное движение в винтовое (вращательно-поступательное) перемещение головной секции геохода на забой.
- Создает достаточную для перемещения геохода силу тяги.
- Воспринимает нагрузки от сил горного давления.
- Обеспечивает работу геохода при различных углах его расположения в подземном пространстве.

Таблица 1. Основные технические характеристики внешнего движителя геоходов ЭЛАНГ-3 и ЭЛАНГ-4

№ п/п	Наименование параметров	Геоход	
		ЭЛАНГ-3	ЭЛАНГ-4
1	Схема геоходов. 1 – внешний движитель, 2 – гидродомкраты хода, 3 – ИО геохода, 4 – корпус геохода.		
2	Диаметр геохода (по винтовой лопасти), мм	3400	4200
3	Длина секций, мм		
	головной	1230	1750
	хвостовой	-	1230
4	Количество секций, шт.	3	2
5	Количество секций, на которых смонтирована винтовая лопасть	3	1
6	Тип внешнего движителя	винтовая лопасть	винтовая лопасть
7	Профиль	плоский прямоугольный	треугольный
8	Шаг винтовой лопасти, мм	615	615
9	Высота винтовой лопасти, мм	180	250
10	Угол подъема винтовой лопасти, град.	3	3

- Перераспределяет нагрузки от силового оборудования на окружающую геосреду.

- Формирует винтовые каналы за контуром проводимой выработки.

Отсутствие требований к внешнему движителю геохода, обоснованных конструктивных решений, методик расчета силовых, прочностных и конструктивных параметров внешнего движителя геохода сдерживают создание новых образцов геоходов[2].

На первых экспериментальных образцах геоходов ЭЛАНГ-3 и ЭЛАНГ-4 в качестве внешнего движителя использовался движитель, выполненный в виде винтовой лопасти смонтированной на внешней поверхности корпуса геохода. Технические характеристики винтовой лопасти геоходов ЭЛАНГ-3 и ЭЛАНГ-4 приведены в табл. 1.

Стендовые и шахтные испытания экспериментальных образцов геоходов доказали работоспособность нового вида горнопроходческой техники и показали, что благодаря наличию винтовой лопасти, проходческий аппарат имеет возможность перемещаться на забой с использованием геосреды – приконтурного массива пород. Использование геосреды для перемещения подземного аппарата на забой является принципиальным отличием нового класса горнопроходческой техники – геоходов от всех других классов, включая все виды проходческих комбайнов и проходческих щитов различного исполнения. Особо необходимо отметить, что в отличие от проходческих щитов традиционного исполнения, которые перемещаются на забой отталкиваясь от ранее возведенной постоянной крепи, перемещение геоходов не связано с необходимостью возведения постоянной крепи. Все традиционное горнопроходческое оборудование: комбайны и проходческие щиты могут работать только при горизонтальных и слабонаклонных горных выработках.

Важнейшими параметрами при разработке компоновочных и конструктивных решений схем геохода и выборе силового оборудования являются требуемая для перемещения геохода сила тяги (P) и реакция породы на винтовую лопасть ($R_{\text{гнав}}$). Эти параметры при винтовом перемещении агрегата в массиве горных пород, описываемом жесткопластической моделью среды, являются взаимовлияющими, поэтому для их однозначного расчета следует решить систему уравнений, в каждое из которых входят эти параметры [3].

Система уравнений для головной секции геохода ЭЛАНГ-3 имеет вид:

$$\begin{aligned} A_1 P_{\text{гд}} + B_1 R_{\text{гнав}} - C_1 |R_{\text{гнав}}| &= \Delta_1 \\ A_2 P_{\text{гд}} - B_2 R_{\text{гнав}} - C_2 |R_{\text{гнав}}| &= \Delta_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= \sin \gamma_e; A_2 = r_{\text{гд}} \cos \gamma_e; \\ B_1 &= \cos \beta; B_2 \sin \beta (r_e + \frac{h_{\text{лг}}}{2}); \end{aligned}$$

$$C_1 = \operatorname{tg} \varphi_{\text{тр}} \sin \beta;$$

$$C_2 = \operatorname{tg} \varphi_{\text{тр}} \cos \beta (r_e + \frac{h_e}{2});$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= P_o + (G_e + G_{\text{гм}}) \sin \alpha + \\ &+ T_{\text{гоб}} \sin \beta + T_{\text{ИО}} \sin \Theta_{\text{л}}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= M_{\text{ИО}} + T_{\text{гоб}} \cos \beta r_e + \\ &+ M_{\text{гм}} \cos \alpha + M_{\text{мИО}} \cos \Theta_{\text{л}} \end{aligned}$$

Здесь γ_e – угол между направлением линии действия домкратов перемещения головной, промежуточной, хвостовой секции, соответственно, и плоскостью, перпендикулярной оси вращения, град; β – угол подъема винтовой лопасти, град; $\varphi_{\text{тр}} |R_{\text{гнав}}|$ – трение винтовой лопасти по вмещающей породе, Н; $\varphi_{\text{тр}}$ – угол трения между породой и сталью, град; $\varphi_{\text{тр}} = \arctg f_{\text{тр}}$, $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения стали о вмещающую породу; $\theta_{\text{л}}$ – средний угол между плоскостью перекрытия исполнительного органа и плоскостью, перпендикулярной оси вращения, град; r_e – внешний радиус головной, промежуточной, хвостовой секции, соответственно м; $r_{\text{гд}}$ – расстояние между линией действия домкратов перемещения головной, промежуточной, хвостовой секции, соответственно, и осью вращения, м; $r_{\text{плат}}$ – расстояние между осью катков перекатной платформы и осью вращения промежуточной секции, м; $h_{\text{л}}$ – высота винтовой лопасти на головной секции, м; $M_{\text{гм}}$ – момент, необходимый для перемещения разрушенной породы из нижней части щита вверх, Н·м; $M_{\text{мИО}}$ – момент сопротивления, создаваемый трением исполнительного органа по породе, Н·м.

Решение полученной системы уравнений сводится, как известно, к решению двух систем уравнений

$$\begin{aligned} A_1 P_{\text{гд}} + (B_1 - C_1) R_{\text{гнав}} &= \Delta_1; \\ A_1 P_{\text{гд}} + (B_1 + C_1) R_{\text{гнав}} &= \Delta_1; \\ A_2 P_{\text{гд}} - (B_2 + C_2) R_{\text{гнав}} &= \Delta_2; \\ A_2 P_{\text{гд}} - (B_2 - C_2) R_{\text{гнав}} &= \Delta_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Решая системы относительно $P_{\text{гд}}$ и $R_{\text{гнав}}$, получим:

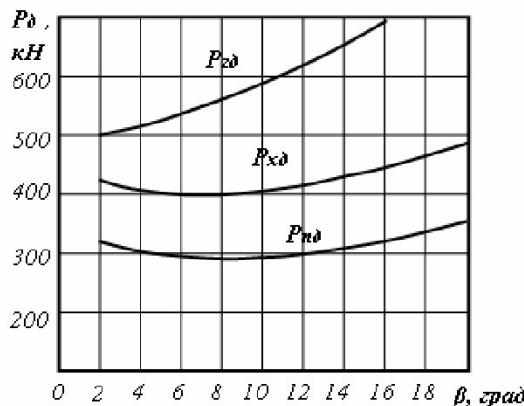
для первой системы

$$P_{\text{гд}} = \frac{\Delta_1 (B_2 + C_2) + \Delta_2 (B_1 - C_1)}{A_1 (B_2 + C_2) + A_2 (B_1 - C_1)}, \quad (4)$$

$$R_{\text{гнав}} = \frac{A_2 \Delta_1 - A_1 \Delta_2}{A_1 (B_2 + C_2) + A_2 (B_1 - C_1)}. \quad (5)$$

для второй системы

$$P_{\text{гд}} = \frac{\Delta_1 (B_2 - C_2) + \Delta_2 (B_1 + C_1)}{A_1 (B_2 - C_2) + A_2 (B_1 + C_1)}, \quad (6)$$



$P_{\text{гд}}$ – необходимое усилие перемещение головной секции
 $P_{\text{пд}}$ – необходимое усилие перемещение промежуточной секции
 $P_{\text{хд}}$ – необходимое усилие перемещение хвостовой секции

Рис. 1. Зависимости необходимых усилий перемещения секций трехсекционного геохода от угла подъема винтовой лопасти

$$R_{\text{гнав}} = \frac{A_2 D_1 - A_1 D_2}{A_1(B_2 - C_2) + A_2(B_1 + C_1)}. \quad (7)$$

Одно из полученных значений $P_{\text{гд}}$ и $R_{\text{гнав}}$ является решением системы уравнений (1).

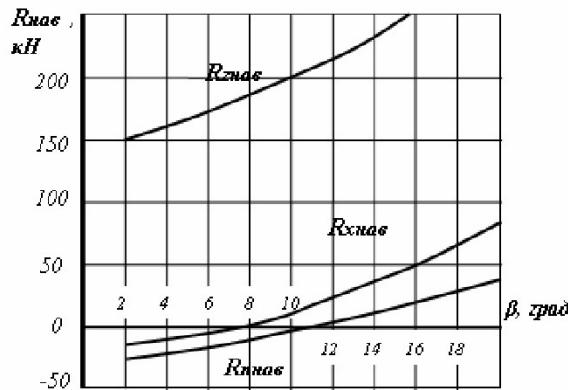
Из представленных выражений следует, что достаточно большое влияние на величину требуемой силы тяги и реакции породы контура на винтовую лопасть оказывают конструктивные параметры внешнего двигателя

- геометрическая форма;
- угол подъема;
- высота винтовой лопасти;
- заходность.

На рис.1 и 2 показаны, соответственно, зависимости необходимых усилий перемещения и зависимости реакции породы на винтовую лопасть секций геохода ЭЛАНГ-3 от угла подъема винтовой лопасти.

При определенном радиусе геохода за один полный оборот секции он перемещается на величину шага винтовой лопасти. Чем больше угол подъема винтовой лопасти и, соответственно, шаг винтовой лопасти, тем на большее расстояние переместятся секции геохода за один оборот. Т.о., увеличение угла подъема винтовой лопасти является одним из возможных путей повышения производительности геоходов. Но, с другой стороны, увеличение угла подъема винтовой лопасти ведет к росту сил сопротивления движению секций геохода.

На рис. 3 показаны зависимости необходимых усилий перемещения головной секции геохода ЭЛАНГ-3 от угла наклона проводимой выработки и, для сравнения, зависимости необходимых усилий

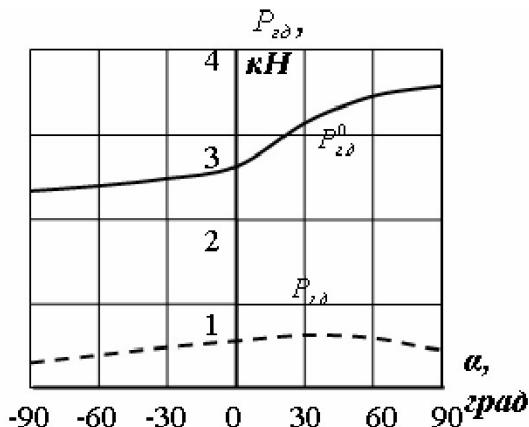


$R_{\text{гнав}}$ – реакции окружающей породы на винтовую лопасть на головной секции
 $R_{\text{гнав}}$ – реакции окружающей породы на винтовую лопасть на промежуточной секции
 $R_{\text{гнав}}$ – реакции окружающей породы на винтовую лопасть на хвостовой секции

Рис. 2. Зависимости реакции окружающей породы на винтовую лопасть секций геохода от угла подъема винтовой лопасти

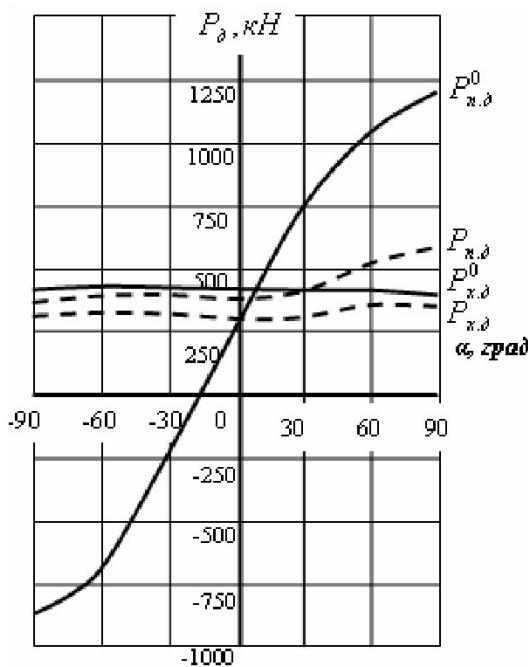
лий перемещения головной секции геохода без винтовой лопасти от угла наклона выработки. Аналогичные зависимости усилий перемещения для промежуточной и хвостовой секций геохода показаны на рис. 4.

Анализ зависимостей, показанных на рис.3 позволяет делать вывод, что исходя из числовых значений необходимых усилий перемещения головной секции, наличие винтовой лопасти на этой секции ведет к уменьшению необходимых усилий перемещения до 550 %. И, наоборот, отсутствие



$P_{\text{гд}}^0$ – усилия перемещения секций геохода без винтовой лопасти;
 $P_{\text{гд}}$ – усилия перемещения секций геохода, оснащенного винтовой лопастью

Рис. 3. Зависимости необходимых усилий перемещения головной секции геохода ЭЛАНГ-3 без винтовой лопасти и с винтовой лопастью от угла наклона проводимой выработки



P_{nd}^0 , P_{xd}^0 - усилия перемещения, соответственно, промежуточной и хвостовой секций геохода без винтовой лопасти;

P_{nd} , P_{xd} - усилия перемещения промежуточной и хвостовой секций геохода, оснащенного винтовой лопастью

Рис.4. Зависимости необходимых усилий перемещения промежуточной и головной секции секций геохода ЭЛАНГ-3 без винтовой лопасти и с винтовой лопастью от угла наклона проводимой выработки

винтовой лопасти на головной секции ведет к необходимости подвода к головной секции усилий, достигающих 4 МН, при диаметре проходческого щита 3 м. Реализация таких усилий, во-первых, к необходимости монтажа в проходческом щите мощного силового оборудования, во-вторых, к необходимости увеличения прочности секций агрегата, и, как следствие, к увеличению веса геохода [1].

Анализ зависимостей, показанных на рис. 4 позволяет сделать вывод о том, что, исходя из числовых значений необходимых усилий перемещения, для промежуточной и хвостовой секций отсутствие винтовой лопасти на этих секциях оправдано в небольшом диапазоне углов наклона проводимых выработок, при $-18^\circ < \alpha < 0^\circ$. Во всех остальных случаях наличие винтовой лопасти на промежуточной и хвостовой секциях ведет к уменьшению необходимых усилий перемещения: до 250 % для промежуточной и до 40% для хвостовой секций.

Таким образом, наличие винтовой лопасти на внешней поверхности оболочки секций агрегата обеспечивает:

- гарантированное удержание секций агрегата

от самопроизвольного опускания и, особенно, падения при проходке наклонных и вертикальных горных выработок;

- стабильное движение без перекосов секций по трассе проводимой выработки;

- проведение горных выработок при любом их расположении в пространстве;

- значительное (до 550 %) снижение величины необходимых усилий перемещения секций агрегата, особенно при проведении восстающих выработок снизу вверх.

Представленные зависимости получены для трехсекционной компоновочной схемы геохода ЭЛАНГ-3 диаметром 3 м.

На данном этапе разрабатываются образцы геоходов нового поколения. Мы считаем, что внешний двигатель, с учетом выполняемых им функций, на новых образцах геоходов необходимо рассматривать как систему, состоящую из нескольких, как минимум трех, функциональных элементов (рис.5):

- 1) корпус внешнего двигателя;
- 2) исполнительный орган внешнего двигателя;
- 3) средство уборки и транспортирования горной массы.

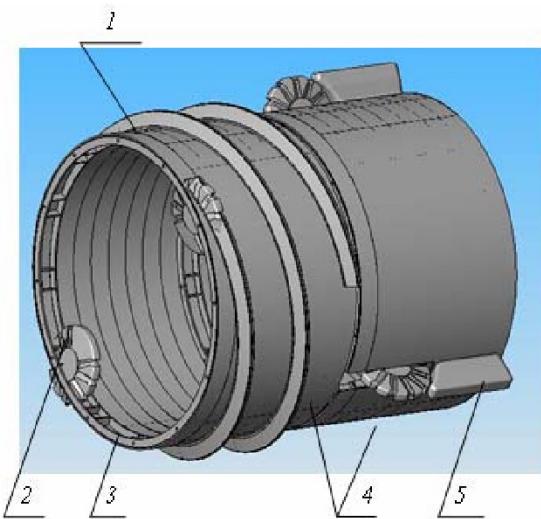
Назначение и основные особенности по каждому функциональному элементу внешнего двигателя геохода приведены в табл. 2.

Выявленные особенности, а также накопленный опыт разработки функциональных устройств геоходов [1], позволяет сформулировать требования к каждому функциональному элементу внешнего двигателя геохода.

1 Требования к корпусу внешнего двигателя

Корпус внешнего двигателя должен:

- 1) создавать необходимую для перемещения геохода на забой силу тяги;
- 2) взаимодействуя с геосредой, воспринимать нагрузки от сил горного давления и реакцию породы в винтовых каналах;
- 3) перераспределять нагрузку от силового оборудования на окружающую среду;
- 4) обеспечивать непрерывное перемещение на забой;
- 5) обеспечивать возможность изменения направления движения геохода;
- 6) оказывать минимальное сопротивление движению геохода;
- 7) удерживать геоход от несанкционированного изменения положения при проходке наклонных выработок;
- 8) иметь минимальные из условия прочности массово-габаритные характеристики;
- 9) прочность элементов крепления корпуса внешнего двигателя к головной секции геохода должна быть достаточной для восприятия действующих на него нагрузок;



- 1 – корпус внешнего движителя,
 2 – ИО внешнего движителя,
 3 – средство уборки и транспортирования горной массы из винтовой лопасти,
 4 – корпус геохода,
 5 – устройство противовращения.

Рис.5. Конструктивная схема и общий вид геохода (без исполнительного органа)

10) должна быть обеспечена возможность ремонта и замены корпуса внешнего движителя.

2 Требования к исполнительному органу внешнего движителя.

- 1) Разрушая породу, формировать винтовые каналы за контуром выработки.
- 2) Соответствовать ИО, разрабатывающему забой.
- 3) Иметь возможность работы в непрерывном режиме.
- 4) Прочность элементов крепления исполнительного органа к головной секции геохода должна быть достаточной с учетом действующих нагрузок.
- 5) Должна быть обеспечена возможность ремонта и замены исполнительного органа внешнего движителя.

3 Требования к средствам уборки и транспортирования.

1) Должна быть обеспечена уборка отделенной горной массы из нарезаемых винтовых каналов.

2) Должна производиться погрузка отделенной горной массы из винтовых каналов в средство транспортирования.

3) Прочность элементов крепления средств транспортирования и уборки должна быть достаточной с учетом действующих нагрузок.

4) Должна быть возможность ремонта и замены средств транспортирования и уборки отделенной горной массы.

Оригинальность компоновки ВД должна оправдываться логикой рационального подхода к разработке конструкции, имеющего целью повышение эксплуатационных свойств геохода.

Энергетические, экономические и требования безопасности на данном этапе работ не рассматриваются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Аксенов В. В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004 г.
2. Обоснование необходимости разработки внешнего движителя геохода / Аксенов В.В., Дугина А.Ю./ Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2007. №6. С. 46-48.

Авторы статьи:

Аксенов
 Владимир Валерьевич
 - докт. техн. наук, ведущий научный
 сотрудник ИУУ СО РАН,
 профессор Юргинского технологиче-
 ского института (филиала) ТПУ
 email: v.aksenov@kemsc.ru

Дугина
 Анастасия Юрьевна
 - аспирант Института угля и углехимии
 СО РАН

Ефременков
 Андрей Борисович
 -канд. техн. наук, директор
 Юргинского технологическо-
 го института (филиала) ТПУ
 email: ytitpu@tpu.ru