

УДК 622.261

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ, ОТВОДИМОЙ ГИДРОБАКАМИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ГЕОХОДА

<sup>1</sup>Чернухин Р.В., <sup>1</sup>Блащук М.Ю., <sup>2</sup>Буялич Г.Д., <sup>1</sup>Богодаев А.А.

<sup>1</sup>Юргинский технологический институт, филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Юрга, e-mail: rv\_81@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт угля СО РАН», Кемерово

Одним из направлений по увеличению скорости проведения вспомогательных и подготовительных выработок при добыче полезных ископаемых и строительстве тоннелей является совершенствование горнопроходческой техники. В статье рассмотрен новый класс горнопроходческих машин – геоходы. Создание геоходов связано с попыткой увеличить скорость проведения проходки и, в конечном счете, ускорить освоение подземного пространства. Одной из ключевых систем геохода является насосная станция. При определении параметров гидропривода необходимым этапом является определение коэффициента полезного действия гидропривода и проведение тепловых расчетов. Поддержание теплового режима на необходимом уровне базируется на способности элементов насосной станции отводить избыточную тепловую мощность. Первостепенным элементом в этом процессе является гидробак. В работе определена тепловая мощность, которая отводится гидробаками насосной станции геохода, при условии, что элементы насосной станции размещены в корпусе геохода, а именно – в его хвостовой секции. Площадь поверхности определялась для гидробаков, имеющих сечение в виде сегмента и кольцевого сектора. Проведено сравнение отводимой тепловой мощности для гидробаков данных форм и различной вместимости. Установлено преимущество гидробаков типа «сегмент». Выявлены эффективные способы увеличения отводимого теплового потока. Намечены пути по дальнейшему сокращению геометрических размеров гидробаков насосной станции геохода.

**Ключевые слова:** геоход, гидропривод, насосная станция, тепловая мощность, площадь поверхности, гидробак

## THE DETERMINATION OF THERMAL POWER, WHICH RADIATED ON HYDROTANKS OF PUMPING STATION OF GEOKHOD

<sup>1</sup>Chernukhin R.V., <sup>1</sup>Blashchuk M.Y., <sup>2</sup>Buyalich G.D., <sup>1</sup>Bogodaev A.A.

<sup>1</sup>Yurga Technological Institute of National research Tomsk Polytechnic University, Yurga, e-mail: rv\_81@mail.ru;

<sup>2</sup>Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS, Kemerovo

One of the directions on increase in speed of carrying out auxiliary and preparatory developments during the mining and construction of tunnels is improvement of tunneling equipment. In article the new class of tunneling cars – the geokhods is considered. Creation of the geokhods is connected with attempt to increase the speed of carrying out a driving and, eventually, to accelerate development of underground space. One of key systems of the geokhod is the pump station. At determination of parameters of a hydraulic actuator a necessary stage is determination of efficiency of a hydraulic actuator and carrying out thermal calculations. Maintenance of the thermal mode at the necessary level is based on ability of elements of pump station to take away excess thermal power. A paramount element in this process is the hydrotank. In work the thermal power which is taken away by hydrotanks of pump station of the geokhods provided that elements of pump station are placed in the geokhods case, namely – in its tail section is determined. Surface area was defined for the hydrotanks having section in the form of a segment and ring sector. Comparison of the taken-away thermal power for hydrotanks of these forms and various capacity is carried out. Advantage of hydrotanks like «segment» is established. Effective ways of increase in the taken-away thermal stream are revealed. Ways on further reduction of the geometrical sizes of hydrotanks of pump station of the geokhodes are planned.

**Keywords:** geokhod, hydraulic drive, pump station, heat power, surface area, hydraulic tank

На сегодняшний день ожидаемые темпы проведения подземных выработок с помощью проходческих комбайнов составляют 600-800 м/мес [1]. Мировой рекорд скорости проходки тоннелей проходческими щитами составляет 1240 метров в месяц. Геоход представляет собой машину нового технического уровня, способную побить данный рекорд. Геоход по своей сути является горнопроходческой машиной, предназначенной для проведения проходки тоннелей различного назначения, в том числе и для проведения аварийно спасательных работ [2]. В отличие от проходческих щитов,

принципиальным преимуществом геохода, является одновременное разрушение забоя исполнительными органами и продвижение корпуса геохода на забой. Подробно конструкции геоходов и особенности его производства рассмотрены в работах [3,4].

Для обеспечения работы основных систем горнопроходческих машин эффективно применяется гидропривод, который к тому же часто имеет запас по модернизации [5]. Системой, обеспечивающей функционирование гидропривода геохода, является насосная станция (НС). К основным требованиям, предъявляемым к насосным

станциям геохода, относится наличие таких габаритных характеристик, которые позволят разместить элементы насосной станции в условиях ограниченного пространства [6]. Насосная станция геохода может размещаться за геоходом или в его хвостовой секции. Во втором случае пространство для размещения элементов насосной станции геометрически ограничено внешним диаметром геохода, длиной хвостовой секции и принятым габаритом рабочего пространства. При размещении насосной станции внутри геохода также необходимо учитывать тип конструкции хвостовой части [7] и то, что в хвостовой секции кроме элементов насосной станции размещены приводы исполнительных органов элементов противовращения, основные требования к которым описаны в работе [8].

Самым громоздким элементом насосной станции является гидробак [9], поэтому одним из направлений по сокращению размеров насосной станции и её массы является научно обоснованное уменьшение объема гидробака. Поскольку помимо хранения рабочей жидкости гидробаки выполняют функцию ее охлаждения, то уменьшение вместимости гидробаков неизбежно повлияет на процессы охлаждения рабочей жидкости гидропривода. Таким образом, возникает необходимость в определении тепловой мощности, отводимой гидробаками, при их разной вместимости.

Теоретическая часть. Отводимая стенками гидробаков тепловая мощность определяется из выражения:

$$G = S_{ГБ} \cdot \alpha_T \cdot (t_{жс} - t_{oc}), \quad (1)$$

где  $\alpha_T$  – коэффициент теплопередачи, кВт/(м<sup>2</sup>·°C);  $S_{ГБ}$  – площадь охлаждаемой поверхности, м<sup>2</sup>;  $t_{жс}$  – температура рабочей жидкости, °C;  $t_{oc}$  – температура окружающей среды °C.

Важным параметром в выражении (1) является площадь охлаждаемой поверхности, которая определяется как сумма всех граней по известным формулам. В работе [10] предложено использовать в качестве резервуаров рабочей жидкости гидропривода геохода гидробаки, имеющие в сечении форму параллелепипеда, сегмента и кольцевого сектора. Площадь поверхности гидробака типа «параллелепипед» определяется из выражения:

$$S_{III} = 2B_{III}H_{III} + 2H_{III}L_{III} + 2B_{III}L_{III}, \quad (2)$$

где  $B_{III}$  – ширина гидробака, м;  $H_{III}$  – высота гидробака, м;  $L_{III}$  – длина гидробака, м.

Размеры гидробаков типа «сегмент» и «кольцевой сектор» (рис. 1) ограничены конструктивными параметрами геохода: радиусом геохода  $R_{Г}$ , принятым габаритом внутреннего пространства  $R_{ВП}$ , длиной хвостовой секции геохода  $L_{ХС}$ .

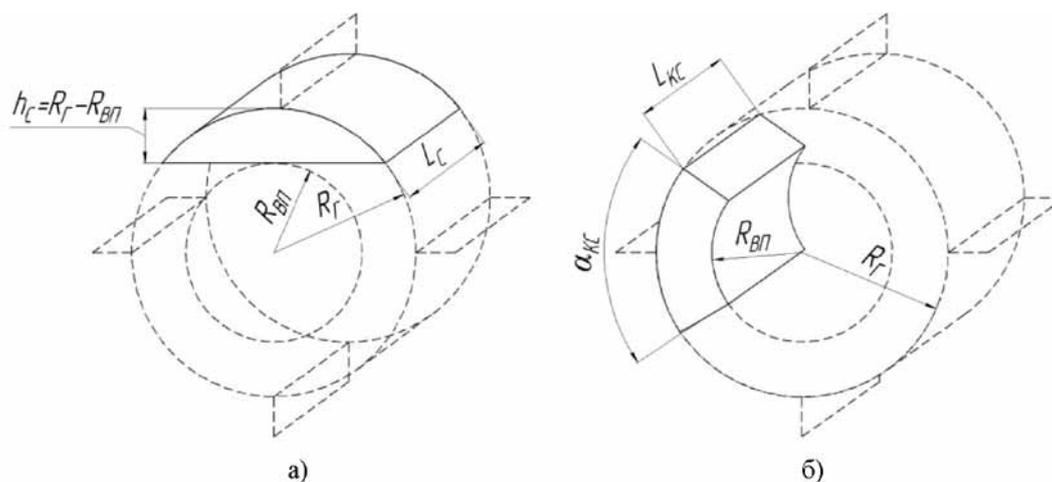


Рис. 1. Геометрические параметры гидробаков типов «сегмент» (а) и «кольцевой сектор» (б)

Общая площадь поверхности гидробаков типа «сегмент» и «кольцевой сектор» также складывается из площадей поверхностей, образующих резервуар:

– для гидробака типа «сегмент»

$$S_C = 2 S_{сегм} + S_{цил} + S_{осн}, \quad (3)$$

где  $S_{сегм}$  – площадь сегментной части гидробака,  $m^2$ ;  $S_{цил}$  – площадь цилиндрической поверхности гидробака,  $m^2$ ;  $S_{осн}$  – площадь основания гидробака,  $m^2$ .

Площадь сегментной части гидробака через высоту  $h$  сегмента и радиус геохода  $R_\Gamma$  определяется из выражения:

$$S_{сегм} = R_\Gamma \cdot \arccos \left( 1 - \frac{h}{R_\Gamma} \right) - (R_\Gamma - h) \cdot \sqrt{2 \cdot R_\Gamma \cdot h - h^2}, \quad (4)$$

где  $h$  – высота сегментной части гидробака,

$$h = R_\Gamma - R_{ВП}, \quad (5)$$

Площадь цилиндрической поверхности гидробака через радиус, высоту сегмента и длину хвостовой секции:

$$S_{цил} = 2 \cdot R_\Gamma \cdot \arccos \left( 1 - \frac{h}{R_\Gamma} \right) \cdot L_C, \quad (6)$$

где  $L_C$  – длина гидробака типа «сегмент», м.

Площадь основания гидробака через те же конструктивные параметры геохода выражаются как:

$$S_{осн} = 2 \cdot L_C \cdot \sqrt{2 \cdot R_\Gamma \cdot h - h^2}, \quad (7)$$

Подставляя в (3) выражения для определения площадей поверхностей, образующих резервуар (4), (6) и (7), а также с учетом выражения (5) после преобразований получим:

$$S_C = 2 \left( R_\Gamma^2 \cdot \arccos \left( \frac{R_{ВП}}{R_\Gamma} \right) - R_{ВП} \cdot \sqrt{R_\Gamma^2 - R_{ВП}^2} \right) + 2 \cdot R_\Gamma \cdot L_C \cdot \arccos \left( \frac{R_{ВП}}{R_\Gamma} \right) + 2 \cdot L_C \cdot \sqrt{R_\Gamma^2 - R_{ВП}^2} \quad (8)$$

Площадь поверхности гидробака типа «кольцевой сектор» определяется из выражения:

$$S_C = 2 \cdot S_{КС} + S_{вн.цил} + S_{внешн.цил} + 2 \cdot S_{торц}, \quad (9)$$

где  $S_{КС}$  – площадь кольцевого сектора,  $m^2$ ;  $S_{вн.цил}$  – площадь внутренней поверхности гидробака,  $m^2$ ;  $S_{внешн.цил}$  – площадь внешней поверхности гидробака,  $m^2$ ;  $S_{торц}$  – площадь торцевой части гидробака,  $m^2$ .

Составляющие выражения (9) определяются из формул:

$$S_{КС} = \alpha_{КС} \cdot (R_\Gamma^2 - R_{ВП}^2), \quad (10)$$

$$S_{вн.цил} = \alpha_{КС} \cdot R_{ВП} \cdot L_{КС}, \quad (11)$$

$$S_{внешн.цил} = \alpha_{КС} \cdot R_\Gamma \cdot L_{КС}, \quad (12)$$

$$S_{торц} = L_{КС} \cdot (R_\Gamma - R_{ВП}), \quad (13)$$

где  $\alpha_{КС}$  – центральный угол гидробака типа «кольцевой сектор», рад;  $L_{КС}$  – длина гидробака типа кольцевой сектор, м.

С учетом (10)-(13) и после преобразований выражение (9) для определения общей площади поверхности гидробака типа «кольцевой сектор» примет вид:

$$S_{КС} = 2 \cdot \alpha_{КС} \cdot (R_\Gamma^2 - R_{ВП}^2) + \alpha_{КС} \cdot L_{КС} \cdot (R_\Gamma + R_{ВП}) + 2 \cdot L_{КС} \cdot (R_\Gamma - R_{ВП}). \quad (14)$$

Подставив выражения (8) и (14) в выражение (1) можно построить график зависимости отводимой тепловой мощности от площади поверхности гидробаков рассматриваемых форм  $G = f(S_{ГБ})$  для геоходов типоразмерного ряда. Однако для практических целей удобнее воспользоваться графиком зависимости вида  $G = f(V_{ГБ})$ .

**Результаты и обсуждение.** Для сравнения эффективности охлаждения того или иного типа гидробака построены диаграммы (рисунки 2, 3, 4), которые позволяют сравнить гидробаки разной формы и вместительности по отводимой тепловой мощности.

При построении диаграмм приняты следующие параметры и допущения: коэффициент теплопередачи  $\alpha_T$  постоянен; вся поверхность гидробаков участвует в процессе теплопередачи; разность температур составляет  $\Delta t = 40^\circ\text{C}$  ( $t_{ж} = 60^\circ\text{C}$ ,  $t_{oc} = 20^\circ\text{C}$ ); коэффициент внутреннего пространства равен  $R_{вп}/R_T = 0,8$ . Графики построены для объемов гидробаков, принятых равными соответственно одной ( $V_{ГБ} = V_Q$ ), двум ( $V_{ГБ} = V_{2Q}$ ) и трем ( $V_{ГБ} = V_{3Q}$ ) суммарным минутным подачам всех насосов. Увеличение объемов гидробаков достигается изменением их длины.

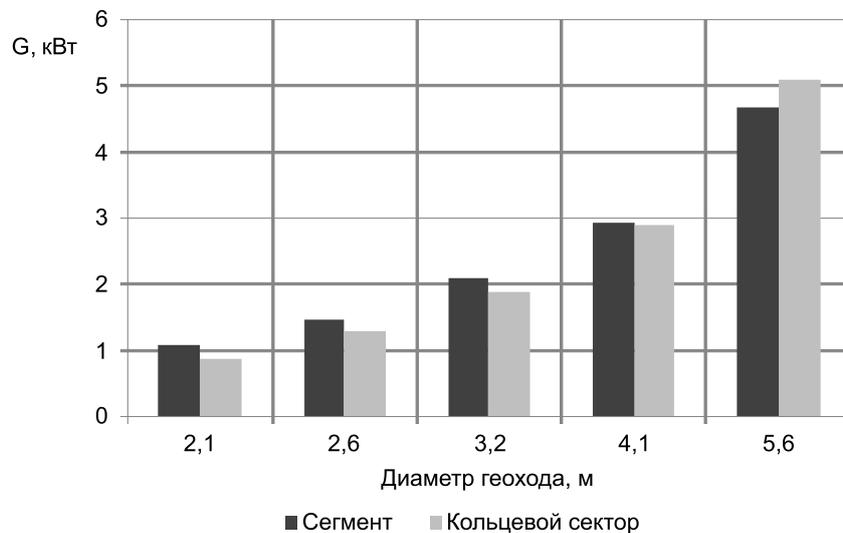


Рис. 2. Сравнение отводимой тепловой мощности гидробаками типа «сегмент» и кольцевой сектор» при объеме гидробака  $V_{ГБ} = V_Q$

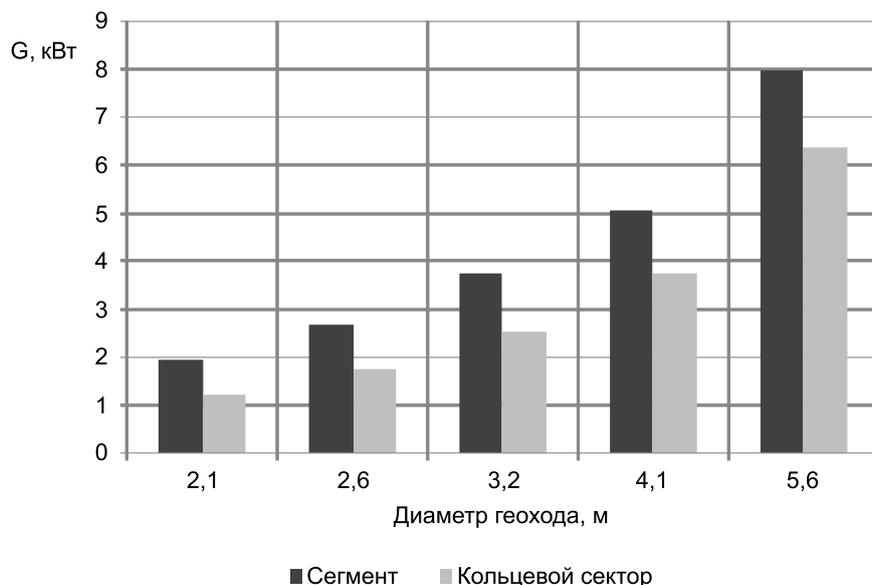


Рис. 3. Сравнение отводимой тепловой мощности гидробаками типа «сегмент» и кольцевой сектор» при объеме гидробака  $V_{ГБ} = V_{2Q}$

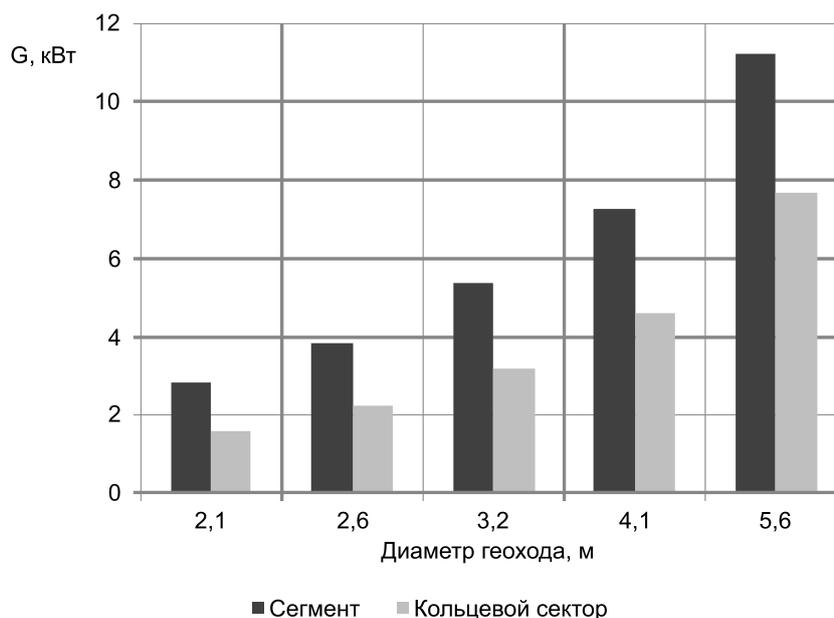


Рис. 4. Сравнение отводимой тепловой мощности гидробаками типа «сегмент» и кольцевой сектор» при объеме гидробака  $V_{ГБ} = V_{3Q}$

При вместимости  $V_{ГБ} = V_{Q}$  (рис. 2) площадь поверхности и тепловой поток гидробаков типа «сегмент» и «кольцевой сектор» отличаются незначительно, однако с увеличением вместимости до  $V_{ГБ} = V_{2Q}$  (рис. 3) и далее до  $V_{ГБ} = V_{3Q}$  (рис. 4) из-за увеличения площади поверхности теплоотдача гидробака типа «сегмент» при прочих равных условиях выше, чем у гидробаков типа «кольцевой сектор».

Следует отметить, что увеличение вместимости гидробаков с  $V_{Q}$  до  $V_{2Q}$  и  $V_{3Q}$  (в 2 и в 3 раза) приводит к увеличению площади поверхности гидробаков лишь в 1,5 и 1,7 раза соответственно.

Выводы. Таким образом, для обеспечения необходимого теплового режима эффективнее не увеличивать объем гидробака, а проводить дополнительные мероприятия по увеличению теплоотдачи. Такими мероприятиями являются применение теплообменных устройств, увеличение охлаждающей поверхности гидробака с помощью его оребрения и применение принудительного обдува, который позволяет значительно увеличить коэффициент теплопередачи  $\alpha_T$ .

Дальнейшей задачей является оценка достаточности отводимой тепловой мощности для поддержания теплового режима, для чего необходимо определение мощности потерь гидропривода.

**Список литературы**

1. Маметьев Л.Е., Цехин А.М., Борисов А.Ю. Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шах-

тах Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 14-16.

2. Аксенов В.В., Тимофеев В.Ю. Разработка концептуального варианта схемного решения привода технического средства проведения аварийно-спасательных выработок на базе геохода // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S6. – С. 115-122.

3. Аксенов В.В., Ефременков А.Б. Геовинчестерная технология и геоходы – наукоемкий и инновационный подход к освоению недр и формированию подземного пространства // Уголь. – 2009. – №2. – С.26-29.

4. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. – 2014. – № 8-3. – С. 945-950.

5. Совершенствование гидросистемы проходческого комбайна / Ю.А. Антонов, В.А. Ковалев, В.И. Нестеров, Г.Д. Буялич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4. – С. 11-13.

6. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Чернухин Р.В. Формирование требований к энергосиловой установке геохода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S7. – С. 263-267.

7. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Капустин А.Н. Анализ несущих конструкций (корпусов) известных технических систем применимых в качестве корпуса (носителя) геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 6. (106) – С. 34-36.

8. Обоснование требований к исполнительным органам формирования законтурных каналов геохода / Ермаков А.Н., Аксёнов В.В., Хорешок А.А., Ананьев К.А. // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. – 2014. – № 2 (102). – С. 5-7.

9. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Чернухин Р.В. О возможности размещения гидробаков энергосиловой установки геохода в его внутреннем пространстве // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 6 (106). – С. 37-39.

10. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Чернухин Р.В. Компонентные схемы энергосиловой установки геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – №. 3(103). – С. 33-38.