УДК 622.23.037.008

***А.В.ШАЛЫГИН***
Горно-электромеханический факультет,
студент группы ГМ-97-1, ассистент профессора

# ПОДВОДНАЯ ДОБЫЧНАЯ МАШИНА С ГИДРОТУРБИННЫМ ПРИВОДОМ

Подводная добычная машина предназначена для сбора конкреций с поверхности морского дна на глубине 60-80 м. Технологический процесс подводной разработки обычно содержит независимые действия: выделение из массы, сбор и транспортировку полезного ископаемого.

Управляемый привод исполнительного органа подводной добычной машины не гарантирует одновременности вращения и перемещения, однако он работает с высокой устойчивостью. Рабочая устойчивость такого привода повышается путем введения жесткой кинематической связи между подающей и режущей частями, когда твердая механическая характеристика режущей части не меньше, чем подающей части. Введение жесткой кинематической связи позволяет гидротурбине не останавливаться в случае появления массива с другим сопротивлением. Такое условие не выполняется, если в качестве основного используется привод гидротурбины, но гарантируется при применении объемного гидропривода. При сочетании мягкой механической характеристики режущей части и жесткой механической характеристики подающей части происходит остановка гидротурбины (привод объемного насоса перемещения гидропривода вращается с постоянной угловой скоростью).

Для стабилизации рабочей энергии при максимальной мощности необходимо обеспечивать регулирование гидропривода механизма подачи.

A submerged winning machine is designed for collecting concretions from the seabed at the depths of 60-80 metres. The technology of underwater mining usually includes separate stages: selection from rock, collecting and mucking the mineral.

The controlled drive of the working part of submerged mining machine does not provide synchronous rotation and advance, but it operates very steadily. Working stability of the drive can be obtained by introducing a firm kinetic joint between advancing and cutting parts, when hard mechanical characterization of cutting part is not less than one of an advancing part. Introduction of the firm kinetic joint does not allow hydraulic turbine to stop in case of changing of rock resistance. That cannot be achieved if the turbine drive is the main one, but is guaranteed when the volume hydraulic drive is used. When mechanical characterization of the cutting part is soft and the one of the advancing part is hard the hydraulic turbine usually stops (the drive of the volume pump of the hydraulic drive moves at constant angular velocity).

To stabilize working energy at maximum power it is necessary to set up turning of the advancing device hydraulic drive.

Анализ современного состояния и перспектив добычи полезных ископаемых показывает, что ресурсы известных материковых месторождений непрерывно сокращаются, а по отдельным видам руд наблюдается общее сокращение разведанных запасов. На общем состоянии сырьевой базы отразился распад СССР, который привел к исключению из экономического потенциала России значительной части месторождений руд цветных металлов. В этих условиях все большее значение приобретает решение проблемы дефицита полезных ископаемых со дна мирового океана, где только в пределах шельфа разведанные запасы уже сегодня представляют промышленный интерес. В настоящее время к наиболее доступным из морских месторождений твердых полезных ископаемых относятся подводные россыпи полиметаллических песков, конкреций и илов на шельфе.

Специальные комплексы оборудования для разработки подводных месторождений должны включать в себя: подводную горную машину, обеспечивающую отделение полезного ископаемого и собственное ее перемещение, гибкий трубопровод с закрепленным на нем землесосом для транспорти-

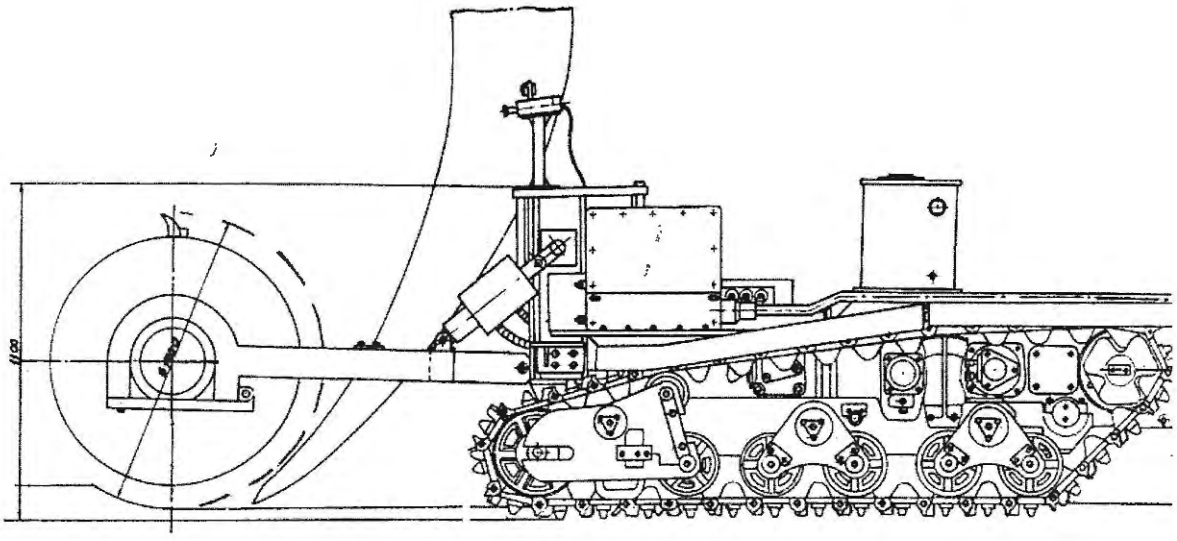


Рис.1. Машина для сбора конкреций

рования пульпы и поверхностное плавсредство для энергоснабжения комплекса и транспортирования полезного ископаемого к пункту назначения.

Предложенный в работе [1] комплекс предназначен для добычи железомарганцевых конкреций, полиметаллических песков и илов со дна морей в пределах шельфа, т.е. на глубине свыше 200 м.

Горная машина, входящая в состав комплекса (рис.1), состоит из барабанного исполнительного органа, подвешенного перед гусеничной ходовой тележкой. Между исполнительным органом и тележкой устанавливается пульпозаборное щелевое сопло. Исполнительный орган машины представляет собой вращающийся барабан с радиальными резцами.

Привод машин может обеспечиваться прямоточной многоступенчатой гидротурбиной, прототипом которой является турбина турбобуров. Такой гидротурбинный двигатель может быть встроен в барабан исполнительного органа машины. Барабан катится по донной поверхности с буксованием. Буксование создается за счет снижения линейной скорости движения барабана по поверхности морского дна в сравнении с той, которую он мог бы иметь за счет угловой скорости и движения без проскальзывания. Притормаживание движения обеспечивается самоходной гусеничной тележкой, которая также поддерживает постоянную скорость движения вне зависимости от прочности грунта и профиля донной поверхности, упрощает процессы маневрирования и повышает устойчивость.

При пробуксовывании конкреции вместе с вмещающим грунтом отбрасываются назад и захватываются пульпозаборным соплом в смеси с морской водой. Далее полученная пульпа поступает в гидроподъемный трубопровод, по которому доставляется в подводный модуль. Трубопровод состоит из шарнирно сочлененных звеньев, что дает горной машине необходимую свободу для маневров, и имеет наполненные воздухом полости. Будучи полностью заполненным пульпой трубопровод обладал положительной плавучестью.

Основные преимущества многоступенчатых прямоточных гидротурбин состоят в том, что с ростом числа ступеней их КПД и мощность увеличиваются, а скорость вращения уменьшается. Кроме того, водная среда является естественной для таких двигателей, что способствует повышению их надежности и долговечности. Энергоснабжение гидротурбины осуществляется при безнасосном исполнении непосредственно из окружающей среды, при этом слив потока осуществляется в гидроподъемный тру-

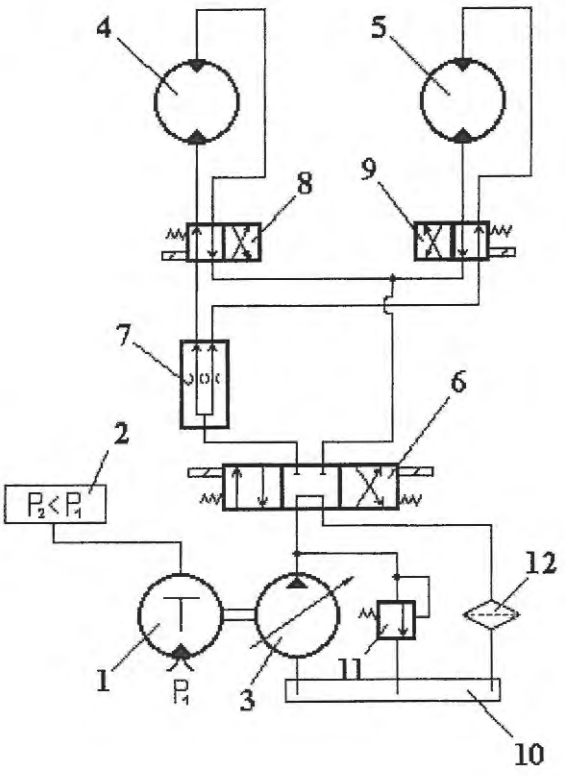



Рис.2. Гидросистема привода ходовой части подводной добычной машины

бопровод с внутренним давлением меньшим, чем в окружающей среде моря.

Подачу исполнительного органа в такой машине целесообразно осуществлять при помощи гусеничной тележки, приводимой объемным гидроприводом. Энергия для перемещения тележки отбирается от гидротурбины 1 (рис.2) при помощи мультипликатора, встроенного в исполнительный орган машины. Привод мультипликатора осуществляется за счет зубчатого зацепления исполнительного органа и непосредственно мультипликатора. Вращающий момент от мультипликатора через муфту передается на насос, который обеспечивает питание гидравлической схемы ходовой части добычной машины, сливной поток которой поступает в камеру 2 гидроподъемного трубопровода. Часть мощности отбирается объемным насосом 3 через жесткую кинематическую связь. Поток от насоса направляется к гидродвигателям левой 4 и правой 5 гусениц через золотник реверсирования хода 6 и делитель расхода 7. Разворот машины вправо и влево осуществляется при помощи золотников 8 и 9. Все золотники оснащены электромагнитным управлением. Рабочая жидкость объемного гидропривода залита в закрытый резервуар 10. Предохранение гидравлической схемы осуществляется при помощи клапана 11. Очистка рабочей жидкости производится фильтром 12, установленным на выходе сливного трубопровода.

Опыт применения аналогичных гидротурбинных приводов в механогидравлических горных машинах подземной гидродобычи на угольных шахтах [2] показал, что получаемое в этом случае сочетание мягкой механической характеристики на режущей части и жесткой – на подающей (когда двигатель объемного насоса системы гидропривода подачи вращается с частотой вращения $n = \text{const}$) приводит к неустойчивости работы привода. Это выражается в остановках турбины при перегрузках, что связано с тем, что механическая характеристика описанной гидротурбины $M = M(\omega)$ близка по своему виду к наклонной прямой, а нагрузочная характеристика исполнительного органа состоит из двух составляющих: детерминированной, определяемой режимом работы (скоростью подачи и резания), сопротивлением массива резанию и конструкцией барабана; и стохастической, определяемой конечным числом резцов, свойствами массива и особенностями расположения конкреций на поверхности. Детерминированная составляющая нагрузки описывается формулой вида

$$M = Cv/\omega,$$

где $v$ – скорость подачи исполнительного органа по поверхности массива породы; $\omega$ – угловая скорость гидротурбины; $C$ – параметр, определяемый конструкцией исполнительного органа, крепостью горных пород и степенью затупления резцов.

Для барабанного исполнительного органа подводной горной машины [3], предназначенной для сбора конкреций с поверхности морского дна, параметр $C$ выражается формулой

$$C = \frac{\pi}{m} q_p R b \sin\theta_o,$$

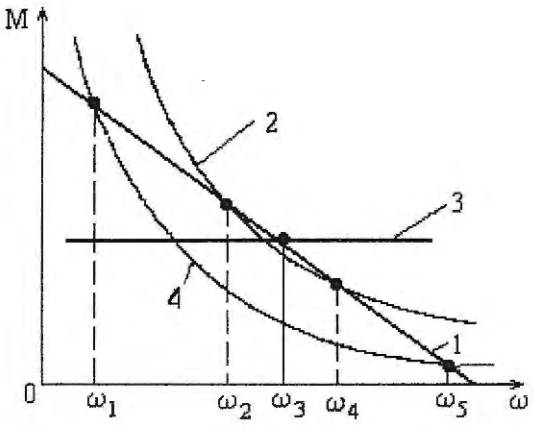



Рис.3. Сочетание механической 1 и нагрузочных 2 или 3, 4 характеристик гидротурбинного привода исполнительного органа машины

где $m$ – число резцов; $b$ – ширина резца; $R$ – радиус исполнительного органа; $q_р$ – сопротивление грунта резанию; $\theta_o$ – угловая координата точки входа режущей кромки резца в контакт с породой.

При постоянных значениях v и C нагрузочная характеристика представляет собой гиперболу, а рабочий режим – точка пересечения прямой 1 и гиперболы 2 (рис.3). Отсюда следует, что запас устойчивости такого привода очень мал и незначительное изменение сопротивляемости массива приводит к остановке гидротурбины.

Для повышения устойчивости работы такого привода необходимо обеспечить жесткую связь подающей и режущей частей, что можно математически представить выражением $v/\omega = \text{const}$. В этом случае при разных значениях сопротивляемости пород нагрузочные характеристики 2 и 4 будут иметь вид $M = \text{const}$. Величина момента сопротивления, сохраняя вид $M = \text{const}$, при разных сопротивляемостях массива изменяется (рис.3).

Гидросистема, приведенная на рис.2, позволяет реализовать привод ходовой части подводной добычной машины, несущей на себе барабанный исполнительный орган с встроенной многоступенчатой прямоточной гидротурбиной. Отбор части мощности от гидротурбины позволяет при заданной форме ее механической характеристики обеспечить устойчивую работу привода. Оснащение его насосом с регулятором мощности, обеспечивающим внешнюю характеристику в виде зависимости $pQ = \text{const}$, позволяет поддерживать максимумы мощности в режущей и подающей частях. Настройка объемного гидропривода на оптимальный режим работы может быть обеспечена за счет встраивания в систему параллельно двигателю дросселя с регулятором.

В этом случае достигается и максимальная производительность подводного добычного комплекса.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Маховиков Б.С.* Комплексы оборудования для подводной разработки россыпей на шельфе // Горный журнал. 1997. № 11.

2. *Маховиков Б.С.* Гидротурбинный привод горных машин. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.

3. *Маховиков Б.С.* Расчет механических характеристик прямоточных многоступенчатых турбин / Б.С.Маховиков, В.В.Шорников // Машиностроение и автоматизация производства: Межвуз. сб. / Северо-Западный политехн. ин-т. СПб, 1999. Вып. 13.

Научный руководитель профессор, д. т. н. *Б.С.Маховиков*