

Разработка мероприятий по совершенствованию вращательно-падающего механизма бурового станка

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>

МУМИНОВ Р.О.

Доктор техн. наук, доцент
кафедры «Технология машиностроения»
Навоийского государственного
горно-технологического университета,
210100, г. Навои, Узбекистан,
e-mail: rashid_81@mail.ru

РУЗИБАЕВ А.Н.

Канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технология машиностроения»
Навоийского государственного
горно-технологического университета,
210100, г. Навои, Узбекистан,
e-mail: ruzibaev_alisher@mail.ru

ЖУРАЕВ Н.Н.

Канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технология машиностроения»
Навоийского государственного
горно-технологического университета,
210100, г. Навои, Узбекистан,
e-mail: Nodirjura@mail.ru

РАВШАНОВ Ж.Р.

Канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технология машиностроения»
Навоийского государственного
горно-технологического университета,
210100, г. Навои, Узбекистан,
e-mail: ravshanov.zhamshib@mail.ru

КУЗИЕВ Д.А.

Канд. техн. наук, доцент
кафедры горного оборудования,
транспорта и машиностроения
Горного института НИТУ «МИСИС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: da.kuziev@misis.ru

В настоящей статье обоснованы и описаны конструкция и принцип действия электро-гидромеханического вращателя, приведены результаты экспериментальных исследований опытного образца, методика и программа исследований, подготовка аппаратуры, цель исследований, обработка и анализ результатов экспериментальных исследований бурового станка типа СБШ-250МНА-32.

Ключевые слова: пневмогидравлический аккумулятор, долговечность, электрогидромеханический вращатель бурового става, вибрация, эффективность, работоспособность, виброизмерительная аппаратура.

Для цитирования: Разработка мероприятий по совершенствованию вращательно-падающего механизма бурового станка / Р.О. Муминов, А.Н. Рузибаев, Н.Н. Жураев и др. // Уголь. 2024. № 1. С. 94-99. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-94-99.

ВВЕДЕНИЕ

Основным направлением экономического и социального развития Республики Узбекистан предусматривается обеспечение дальнейшего укрепления и расширения минерально-сырьевой базы страны. Опережающими темпами необходимо развивать добычу угля и золота прогрессивным открытым способом, чтобы повысить его долю в общей добыче не менее чем на 50%. Это позволит снизить себестоимость продукции и работ в промышленности на 4-5% [1].

Основным и весьма трудоемким производственным процессом на разрезах страны является бурение скважин. До 40% общих затрат при добыче полезного ископаемого приходится на буровые работы [2, 3].

Многолетние наблюдения за работой буровых станков, изучение критических мнений горнодобывающих предприятий и проведение ряда исследований показывают, что одним из основных недостатков бурения скважин в сложных структурных массивах является высокая вибрация буровой штанги [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Вибрации вызывают появление трещин и поломок элементов конструкции, пагубно влияют на обслуживающий персонал и увеличивают стоимость эксплуатации машин. По мере увеличения источника энергии и динамической нагрузки движения увеличивается и потребление энергии. Например, при сильных вибрациях буровых станков доля энергии, затрачиваемой на создание полез-

ного вращательного момента, составляет 30-50%. В результате большая часть установленной мощности прихода машины остается неиспользованной [10]. В карьере «Урталик», расположенном на руднике «Зармитан» Навоийского горно-металлургического комбината, применяется усовершенствованная конструкция электрогидромеханического вращательно-падающего механизма бурового станка СБШ-250МНА-32.

Данная работа направлена на дальнейшее совершенствование данного электрогидромеханического вращательно-передающего механизма, служит повышению его надежности и долговечности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для наиболее полного гашения колебаний металлоконструкции станка, вызванных в основном вертикальными перемещениями бурового става, совместно с использованием электрогидромеханического вращателя предусмотрена установка модернизированных подающих цилиндров.

Снижение вибрации достигается путем устранения недостатков конструкции подающего механизма [2, 3, 11], следствием которых являются:

- значительная сила трения в уплотнениях поршня и штока гидроцилиндров подачи, суммарная сила трения в уплотнениях двух гидроцилиндров подачи при давлении 10 МПа колеблется в пределах 6-9 кН;

- отсутствие возможности перемещения поршня гидроцилиндра в сторону, противоположную его рабочему движению при импульсном нагружении бурового става в вертикальной плоскости. В настоящее время эксплуатация буровых станков типа СБШ-250МНА-32 показывает, что в удовлетворительных условиях работают только узлы уплотнений поршня. Уплотняемые поверхности штока гидроцилиндров не отвечают предъявля-

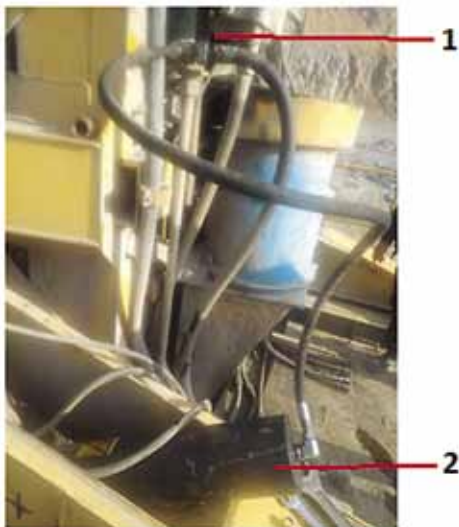


Рис. 1. Подключение пневмогидравлического аккумулятора к магистрали модернизированных цилиндров подачи бурового станка СБШ-250МНА-32

Fig. 1. Connection of a hydro-pneumatic accumulator to the main line of upgraded feed cylinders of the SBSH-250MNA-32 drilling machine

емым требованиям и через незначительное время эксплуатации покрываются сетью продольных царапин глубиной до 0,5 мм.

Свободное перемещение линии поршня цилиндра 1 достигается подключением к его полостям пневмогидравлических аккумуляторов 2 (рис. 1).

Аккумуляторы могут быть как поршневые, так и с гибким разделителем. Последним следует отдать предпочтение. В поршневых аккумуляторах силы трения в уплотнениях поршня, а также его масса ограничивают область их применения по сравнению с аккумуляторами с гибким разделителем. Заполнение аккумуляторов производится азотом для обеспечения взрывобезопасности, а также для уменьшения процесса коррозии стенок.

Наибольший эффект снижения вибраций в вертикальной плоскости достигается путем установки пневмогидравлических аккумуляторов с гибким разделителем (емкость – 2,5 л и более и зарядное давление $P_{\text{раб}} = 0,7-0,8$ МПа) в комплексе с модернизированными гидроцилиндрами подачи [2, 12].

При подключении аккумуляторов к базовым цилиндрам подачи их эффективность будет занижена.

Таким образом, подключение аккумулятора к штоковой полости гидроцилиндра снижает жесткость механизма подачи бурового станка более чем на 25% и не зависит от глубины бурения (числа штанг).

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Промышленные испытания позволили выявить недостатки в конструкции вращателя, которые требуют проведения следующих мероприятий:

- установка дополнительных уплотнений в крышке гидромашин;
- обеспечение принудительной смазки в планетарной вставке редуктора-вращателя;
- обеспечение автономной подпитки гидромашин;
- разработка гидроблока управления, обеспечивающего работу привода на всех режимах;
- установка гидроблока управления в машинном отделении станка;
- установка пневмогидравлических аккумуляторов на задней стенке мачты станка и подключение их к поршневой и штоковой полости цилиндров подачи;
- модернизация гидроцилиндров подачи с уплотнениями малого трения.

МЕТОДИКА И ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОДГОТОВКА АППАРАТУРЫ

Цель исследований

Целью экспериментальных исследований бурового станка СБШ-250МНА-32 с электрогидромеханическим вращателем является;

- определение эффективности снижения уровня вибрации станка и динамических нагрузок в трансмиссии вращателя;
- установление возможности интенсификации режимов бурения при использовании электрогидромеханического вращателя и определение области рациональных режимных параметров;

– оценка влияния крутильных колебаний трансмиссии вращателя на вертикальные колебания станка.

Результатом экспериментальных исследований должны стать рекомендации по расчету, проектированию вращателей и вращательно-подающих механизмов, а также по выбору объемов и зарядных давлений гидропневмоаккумуляторов [2, 4].

Программа испытаний

I этап – Работа станка без электрогидромеханического вращателя (чисто механическая передача).

II этап – Установка электрогидромеханического вращателя.

III этап – Установка модернизированных гидроцилиндров механизма подачи.

На каждом этапе испытаний проводятся следующие работы:

1. Производятся испытания станка вхолостую с целью проверки действия всех механических узлов, гидропривода и гидропередачи, пневматической системы, установки пылеулавливания, электрооборудования, автоматизированного электропривода и правильности их сборки и наладки после монтажа на разрезе.

2. Производятся испытания станка под нагрузкой и определяются:

- работоспособность вращательно-подающего механизма (ВПМ) и станка в целом, причем с полной нагрузкой;
- производительность станка (максимально возможная);
- стойкость бурового инструмента;
- энергетические затраты и расход материалов на бурение скважин;
- затраты времени (трудоемкость) на выполнение основных и вспомогательных операций в процессе бурения и их удельный вес в общем балансе рабочего времени;
- соответствие принятых в станке конструктивных решений правилам безопасности;
- соответствие техники и технологии бурения действующим нормам промсанитарии и гигиены труда;
- конструктивные недостатки станка и мероприятия по их устранению.

Методика испытаний

За основные критерии оценки эффективности работы электрогидромеханического вращателя приняты: уровень динамических ускорений бурового станка, скорость бурения и производительность, на основании чего определен комплекс параметров, подлежащих измерению и регистрации:

- наименование и крепость разрабатываемых пород;
- амплитуда ускорения станка в вертикальной плоскости;
- амплитуда ускорения станка и горизонтальной плоскости, по продольной и поперечной осям станка;
- ток приводного электродвигателя;
- напряжение приводного электродвигателя;
- давление в магистрали высокого давления гидромашины;
- частота вращения бурового става или элемента трансмиссии, расположенного в кинематической цепи после планетарной передачи;

– давление в поршневых полостях гидроцилиндров подачи бурового става;

- стойкость шарошечных долот и характер износа;
- производительность станка.

Все проводимые измерения выполняются с использованием аппаратуры аналогового контрольно-измерительного комплекса, эффективность применения данной аппаратуры и методик измерения рассмотрены в работах [12, 13, 14, 15].

1. Регистрация всех параметров производится приборами VIBXPERT II, Топаз и Кварц.

2. Электрические параметры приводного двигателя измеряются и фиксируются по общепринятым схемам без применения специальных датчиков.

3. Частота вращения бурового става и скорость его подачи измеряются при помощи приборов VIBXPERT II, Топаз и Кварц.

4. Давление в магистралях измеряется с помощью телеметрических датчиков давления ТМД-100, ТМД-150, ТМД-250.

Контроль за изменением параметров $I_{ab}, V_{CT}, V_{ab}, P_{oc}$ осуществляется по стрелочным приборам, установленным в кабине машиниста бурового станка, а за изменением давления в магистралях гидромашины – по манометрам МН1, МН2, установленным на гидроблоке.

Изменяемыми параметрами при проведении эксперимента являются:

- частота вращения става. Диапазон изменения – 50-150 об./мин;
- осевое усилие. Диапазон изменения – 10-24 кН;
- зарядное давление гидропневмоаккумулятора, установленного в магистрали высокого давления гидромашины. Диапазон изменения – 0,3-0,9 $P_{НОМ}$.

Наибольшее количество замеров следует производить при скорости вращения става более 100 об./мин и осевом давлении более 20 кН для достоверного обоснования возможности бурения на форсированных режимах.

Порядок выполнения программы исследований

Программа исследований включает работы, выполняемые в заводских условиях.

В заводских (лабораторных) условиях выполняются следующие работы:

- подготовка и тарировка телеметрических датчиков давления и изготовление соответствующей гидравлической арматуры;
- статическая тарировка комплекта виброизмерительной аппаратуры VIBXPERT II;
- монтаж и тарировка схем для измерения и регистрации напряжения и тока электродвигателя привода вращателя и скорости подачи бурового става;
- тарировка VIBXPERT II для измерения частоты вращения бурового става;
- разработка и изготовление узлов крепления VIBXPERT II и датчиков ДУС-5.

Первый этап проведения испытаний в условиях карьера предусматривает инструментальные испытания станка со штатным вращателем и цилиндрами подачи; установку VIBXPERT II, датчиков ускорений и датчиков дав-

ления; подключение измерительной и регистрирующей аппаратуры к электросхеме пульта управления станком; проверку и окончательную тарировку измерительной и регистрирующей аппаратуры.

На втором этапе проведения испытаний предусматривается выполнение следующих работ:

- монтаж вращателя и гидроблока на станке СБШ-250МНА-32;
- присоединение гидроблока и гидромотора IMP2,5 к гидросистеме станка.

На каждом этапе на станке устанавливаются модернизированные цилиндры подачи и подключают к поршневым полостям цилиндров аккумуляторы ГЦ-1.

На каждом этапе на одном из выбранных режимов производится в соответствии с общепринятой методикой регистрация параметров вибрации.

Порядок выполнения экспериментов:

замеры и запись параметров в процессе бурения одной скважины производятся:

- при забурировании;
- при бурении на второй штанге;
- в конце бурения на полную длину става;

в процессе записи одной реализации VIBXPERT II (осциллографом) осуществляется запись в дневник наблюдений контрольных показаний стрелочных приборов в кабине машиниста и на гидроблоке, а также сменной производительности бурового станка [3, 15].

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Запись показаний датчиков на VIBXPERT II производилась во время бурения на глубинах 5-7 м, 9-11 м, 14-17 м, 19-24 м как со штатным, так и с модернизированным вращательно-подающим механизмом. За время испытаний был записан 21 режим: 9 со штатным и 12 с модернизированным вращательно-подающим механизмом.

Анализ показаний VIBXPERT II, фрагменты которых приведены на рис. 2, установил, что введение в трансмиссию вращателя гидромашины, работающей в тормозном режиме, в магистрали высокого давления которой установлен гидропневмоаккумулятор, с зарядным давлением, рассчитанным в соответствии с нагрузкой двигателя вращателя, позволяет значительно снизить уровень динамических нагрузок в приводе, передаваемых металлоконструкции станка.

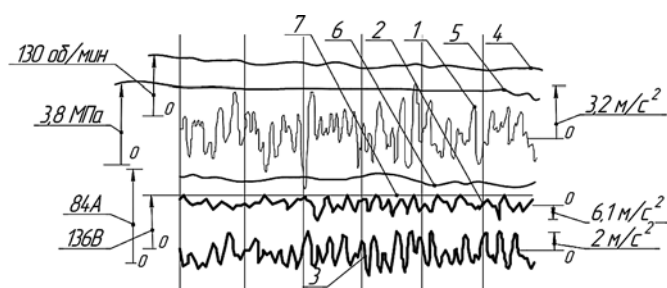
Особенно ощутимым является снижение виброускорений в горизонтальной плоскости вдоль поперечной оси рамы станка (кривая 1).

Так, если до установки гидромашины максимальные значения виброускорений A_x составляли 3-3,5 м/с², то после установки они снижаются до 2,1-2,4 м/с², причем большее снижение значений приходится на низкие частоты, что объясняется рассогласованием собственной и возмущающей частот в этой зоне (2,2; 6,4 Гц). Аналогично отмечено снижение максимальных значений виброускорений A_y в горизонтальной плоскости вдоль продольной оси рамы станка с 1,8-2,2 до 1,35-1,6 м/с², в вертикальной плоскости виброускорения A_z снизились с 3,9-7,8 до 3,6-5,7 м/с². Все указанные значения получены при одинаковых крутящих моментах ($I_{ав} = 70-80$ А), частотах вращения ($n = 120-140$ об./мин) и усилиях подачи ($P_{ос} = 14-18$ кН).

При бурении без гидромашины ярко выражены колебания с частотами 2,18-2,21 Гц; 6,4-6,6 Гц; 13,1 Гц; 77-80 Гц, причем первые две из данных частот присутствуют как в записи виброускорений, так и в записи тока якоря двигателя.

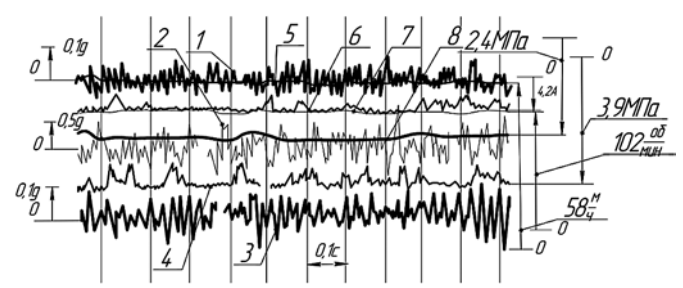
Установлено, что основным источником возникновения колебаний являются взаимодействие шарошечного долота с забоем, а также отклонения от геометрии буровых штанг:

- частота 2,18-2,21 Гц соответствует оборотам бурового става;



Работы бурового станка до подключения электрогидромеханического вращателя:

- 1 – ускорение в горизонтальной плоскости (поперек рамы);
- 2 – ускорение в вертикальной плоскости;
- 3 – ускорение в горизонтальной плоскости (вдоль рамы);
- 4 – частота вращения става; 5 – давление в магистрали высокого давления гидромашины; 6 – ток двигателя;
- 7 – напряжение двигателя



Работа бурового станка после установки электрогидромеханического вращателя:

- 1 – ускорение в горизонтальной плоскости (вдоль рамы);
- 2 – ускорение в вертикальной плоскости; 3 – ускорение в горизонтальной плоскости (поперек рамы); 4 – давление в поршневой полости гидроцилиндров подачи; 5 – скорость бурения; 6 – ток двигателя; 7 – частота вращения става; 8 – давление в подпиточной магистрали гидромашины

Рис. 2. Фрагменты показаний универсального анализатора вибраций VIBXPERT II

Fig. 2. Fragments of readings of the VIBXPERT II universal vibration analyzer

- частота 6,4-6,6 Гц соответствует взаимодействию шарошки с трехволновой поверхностью забоя;
- частота 13,1 Гц, кратная частоте взаимодействия с трехволновой поверхностью забоя.

Частоты порядка 77-80 Гц, вызванные взаимодействием зубцов шарошки с забоем, оказывают незначительное влияние на формирование колебаний металлоконструкций станка, их вклад в дисперсию процесса не превышает 15-20%.

В ходе испытаний были опробованы режимы интенсификации процесса бурения, во время которых производилось увеличение частоты вращения, нагрузки на двигатель и усилия подачи модернизированного электромеханического вращательно-подающего механизма до достижения значений виброускорений, полученных при испытаниях без гидромашины. При этом отмечено увеличение частоты вращения бурового става на 13-15% (до 150-160 об./мин) и увеличение усилия подачи на 11-18% (до 17-20 кН), что приводит к увеличению скорости бурения на 12-15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований сделаны следующие заключения:

- разработана модернизированная конструкция вращательно-падающего механизма бурового станка шарошечного бурения, позволяющая снизить динамические нагрузки в рабочем оборудовании и металлоконструкции бурового станка, уменьшить амплитуды колебаний на 20%, а также улучшить использование установочной мощности и, следовательно, при бурении увеличить производительность на 18% и надежность на 12-16%;
- проведенные комплексные испытания электрогидромеханического вращательно-подающего механизма подтвердили работоспособность предложенной конструкции, обеспечивающей эффективное снижение вибраций, повышение надежности и возможность интенсификации режимов бурения, а следовательно, и увеличение производительности станка при бурении твердых пород.

Список литературы

1. Анализ рынка буровых станков для открытых горных работ горнодобывающих предприятий России / К.Ю. Анистратов, Т.В. Донченко, П.И. Опанасенко и др. // Горная промышленность. 2018. № 2. С. 84-89.
2. Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: A case-study / D.A. Kuziev, V.V. Zotov, E.S. Sazankovaa et al. // Eurasian Mining, 2022. No 37. P. 76-80. DOI: 10.17580/em.2022.01.16.
3. Муминов Р.О., Райханова Г.Е., Кузиев Д.А. Повышение надежности и долговечности буровых станков за счет понижения динамических нагрузок // Уголь. 2021. № 5. С. 32-36. DOI: 10.18796/0041-5790-2021- 5-32-36.
4. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index / S. Kahraman, C. Balci, S. Yazici et al. // Int J Rock Mech Min. 2000. No 37. P. 729-743.
5. Kahraman S. Performance analysis of drilling machines using rock modulus ratio // J S Afr I Min Metall. 2003. No 103. P. 515-522.
6. Keropyan A.M., Kuziev D.A., Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines. Traction Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020. P. 703-709. DOI:10.1007/978-3-030-22063-1-75.
7. Sensing of dynamic loads in the open-cast mine combine / D. Kouziyev, A. Krivenko, D. Chezganova et al. // E3S Web of Conferences. 2019. 105(2):03014. DOI:10.1051/e3sconf/201910503014.
8. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index / S. Kahraman, C. Balci, S. Yazici et al. // Int J Rock Mech Min 37 (2000), pp. 729-743.
9. Кантович Л.И., Подэрни Р.Ю., Муминов Р.О. Влияние параметров вращательно-подающего механизма бурового станка на его производительность // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 11. С. 396-399.
10. Малиновский Ю.А., Учитель А.Д., Лялюк В.П. Причины возникновения вибрации става при работе станков шарошечного бурения // Черная металлургия. Бюллетень научнотехнической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 9. С. 897-904.
11. Шигин А.О. Адаптивный вращательно-подающий механизм бурового станка для снижения непрогнозируемых нагрузок при бурении сложноструктурных пород // Горный журнал. 2013. № 7. С. 79-83.
12. Юнгмейстер Д.А., Крупенский И., Лавренко С.А. Анализ вариантов модернизации станков шарошечного бурения с погружным пневмоударником // Записки горного института. 2018. Т. 231. С. 321. DOI: 10.25515/pmi.2018.3.321.
13. Rahimdel M.J., Ataei M., Ghodrati B. Modeling and Simulation Approaches for Reliability Analysis of Drilling Machines // Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2020. No 101. P. 125-133.
14. Алгоритм определения максимальной мощности привода подачи карьерного бурового станка / Д.А. Кузиев, И.Ю. Пятова, И.Н. Клементьева и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 1. С. 128-133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.
15. Герике П.Б. Некоторые результаты диагностирования оборудования буровых станков // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 4. С. 74-79.

Original Paper

UDC 622.24.05 © R.O. Muminov, A.N. Ruzibaev, N.N. Juraev, J.R. Ravshanov, D.A. Kuziev, 2024
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 1, pp. 94-99
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>

Title**DEVELOPMENT OF MEASURES TO ENHANCE THE ROTATION AND FEED MECHANISM OF A DRILL RIG****Authors**

Muminov R.O.¹, Ruzibaev A.N.¹, Juraev N.N.¹, Ravshanov J.R.¹, Kuziev D.A.²

¹ Navoi State University of Mining and Technology, Navoi, 210100, Uzbekistan

² National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation

Authors Information

Muminov R.O., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, e-mail: rashid_81@mail.ru

Ruzibaev A.N., PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, e-mail: ruzibaev_alisher@mail.ru

Juraev N.N., PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, e-mail: Nodirjura@mail.ru

Ravshanov J.R., PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, e-mail: ravshanov.zhamshib@mail.ru

Kuziev D.A., PhD (Engineering), Associate Professor of Mining Equipment, Transport and Mechanical Engineering Department of Mining Institute, e-mail: da.kuziev@misis.ru

Abstract
 This paper justifies and describes the design and operating principle of an electro-hydraulic rotation unit, presents the results of experimental studies of the prototype, methodology and research program, preparation of the equipment, the purpose of the research, as well as processing and analysis of the experimental results of the SBSH-250MNA-32 type drill rig.

Keywords

Hydropneumatic accumulator, Durability, Electro-hydraulic rotation unit of the drill rig, Vibration, Efficiency, Operating capacity, Vibration measuring instruments.

References

1. Anistratov K.Yu., Donchenko T.V., Opanasenko P.I. & Strict I.B. Analysis of the market of drilling rigs for open pit mining of mining enterprises in Russia. *Gornaya promyshlennost*, 2018, (2), pp. 84-89. (In Russ.).

2. Kuziev D.A., Zotov V.V., Sazankovaa E.S. & Muminov R.O. Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: A case-study. *Eurasian Mining*, 2022, (37), pp. 76-80. DOI: 10.17580/em.2022.01.16.

3. Muminov R.O., Rayhanova G.E. & Kuziev D.A. Experimental research and analysis of a quarry drilling rig. *Ugol'*, 2021, (5), pp. 32-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-32-36.

4. Kahraman S., Balci C., Yazici S. & Bilgin N. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index. *Int J Rock Mech Min*, 2000, (37), pp. 729-743.

5. Kahraman S. Performance analysis of drilling machines using rock modulus ratio. *J S Afr I Min Metall*, 2003, (103), pp. 515-522.

6. Keropyan A.M., Kuziev D.A. & Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines. Traction Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2020, pp. 703-709. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1-75.

7. Kouziyev D., Krivenko A., Chezganova D. & Blumensteiun V. Sensing of dynamic loads in the open-cast mine combine. *E3S Web of Conferences*, 2019:105(2):03014. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503014.

8. Kahraman S., Balci C., Yazici S. & Bilgin N. Prediction of the penetration rate of rotary blast hole drills using a new drillability index. *Int J Rock Mech Min.*, 2000, (37), pp. 729-743.

9. Kantovich L.I., Poderni R.Yu. & Muminov R.O. Influence of the parameters of the rotational-feeding mechanism of the drilling rig on its performance. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2010, (11), pp. 396-399. (In Russ.).

10. Malinovsky Yu.A., Teacher A.D. & Lyaluk V.P. The reasons for the vibration of the stave during the operation of cone drilling machines. *Ferrous metallurgy. Bulletin nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii*, 2020, Vol. 76, (9), pp. 897-904. (In Russ.).

11. Shigin A.O. Adaptive rotary-feed mechanism of a drilling rig to reduce unpredictable loads when drilling complex structures. *Gornyj zhurnal*, 2013, (7), pp. 79-83. (In Russ.).

12. Jungmeister D.A., Krupensky I. & Lavrenko S.A. Analysis of options for the modernization of roller drilling machines with a down-the-hole pneumatic hammer. *Zapiski gornogo instituta*, 2018, (231), pp. 321. (In Russ.). DOI: 10.25515/pmi.2018.3.321.

13. Rahimdel M.J., & Ghodrati B. Modeling and Simulation Approaches for Reliability Analysis of Drilling Machines. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 2020, (101), pp. 125-133.

14. Kuziev D.A., Pyatova I.Yu., Klementieva I.N. & Pikhtorinsky D. Algorithm for determining the maximum power of the feed drive of a mining drilling rig. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2019, (1), pp. 128-133. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.

15. Gerike P.B. Some results of diagnostics of equipment of drilling rigs. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti ugolnoj promyshlennosti*, 2018, (4), pp. 74-79. (In Russ.).

For citation

Muminov R.O., Ruzibaev A.N., Juraev N.N., Ravshanov J.R. & Kuziev D.A. Development of measures to enhance the rotation and feed mechanism of a drill rig. *Ugol'*, 2024, (1), pp. 94-99. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-1-94-99.

Paper info

Received September 16, 2023

Reviewed November 10, 2023

Accepted December 7, 2023