



## ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
**«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015»**,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

15-25 АПРЕЛЯ 2015 Г.

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Сборник материалов  
Международной конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых  
«Перспектив Свободный-2015»,  
посвященной 70-летию Великой Победы

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2015 г.

Красноярск, 2015.

## **«Горные машины»**



**ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2015**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2015 г.

## МЕХАНИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-5А

Абрамов В. В.

научный руководитель профессор д.т.н. Гилёв А.В.

*Сибирский федеральный университет*

Экскаваторы ЭКГ-5А принадлежат к классу тяжёлой спецтехники, которая используется в горнодобывающей промышленности при разработке месторождений полезных ископаемых и строительстве на скалистом грунте. Повышенные нагрузки на механизм этих машин делают необходимым регулярный капитальный ремонт ЭКГ.

Качественный ремонт ЭКГ-5А должен осуществляться в строгом соответствии с руководством по ремонту экскаватора. Чаще всего в ходе ремонтных работ осуществляется замена узла, агрегата и наладка пусковой системы машины. При профессиональном подходе к ремонту ЭКГ-5А, не отходя от руководства по ремонту экскаватора, разработанного производителем, можно добиться полного восстановления техники и продления срока её службы дольше норматива.

Экскаватор ЭКГ-5А карьерный гусеничный с ковшем вместимостью 5 м<sup>3</sup> - предназначен для выемки и погрузки в транспортные средства полезных ископаемых и вскрышных пород, в том числе тяжелых скальных, предварительно разрыхленных взрывом, а также в угольной промышленности.

Экскаватор ЭКГ-5А состоит из следующих составных частей: ковш, двухбалочная рукоять, вал, стрела, кузов и др.

Гусеничный ход открытого малоопорного типа с отдельным приводом каждой гусеницы обеспечивает доступность для осмотра и ремонтов. Ведущие колеса («звездочки»), имеющие сменные кулаки, подняты и освобождены от опорных реакций.

Ведущее колесо (рис.1) предназначено для передачи усилия от ведущего вала ходового редуктора звену гусеничной цепи.

Колесо представляет собой отливку, имеющую ступицу, в которой проточено отверстие  $O = 320$  мм., снаружи имеется обод, на котором находятся – 10 выступов – кулачков. Наружный диаметр – 1044 мм, толщина – 233 мм, масса – 520 кг. Материал – ст. 40Х ГОСТ.4543-78.НВ-197-258.

Ведущее колесо - одна из наиболее часто выходящих из строя деталей.

В процессе работы кулачки изнашиваются или выламываются при износе гребня трака и износе проушин, при этом шаг ведущего колеса не совпадает с гребнями траков. Когда кулачок ведущего колеса наезжает на гребень трака, а т.к. шаг не совпадает, кулачок срывается с гребня трака и происходит удар.





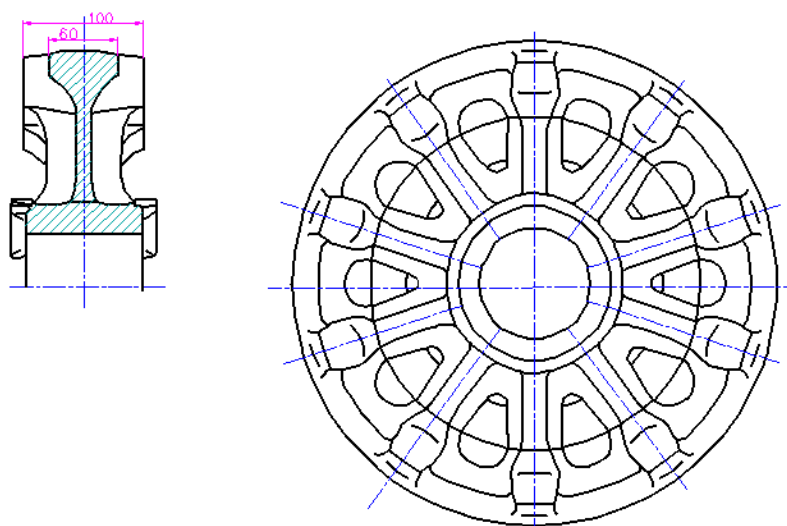
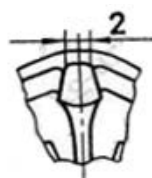


Рисунок 1. Ведущее колесо экскаватора ЭКГ-5



| Наименование детали или сборочной единицы |                   | Обозначение по чертежу                                |             | Количество на машину                                |                       |  |
|---|-------------------|---|-------------|---|-----------------------|--|
| <u>Колесо ведущее</u>                     |                   | <u>1080.33.58</u>                                     |             | 2   |                       |  |
| Материал                                  |                   | Твёрдость   |             | Масса, кг   |                       |  |
| Сталь 38ХНЛ                               |                   | НВ ≥ 352  |             | 520,0   |                       |  |
| № позиции на эскизе                       | Возможные дефекты | Способ установления дефектов и контрольный инструмент | Размеры, мм |   |                       | Заключение и рекомендуемый способ восстановления             |
|   |                   |   | номинальный | допустимый без ремонта в сопряжении с деталью новой | бывшей в эксплуатации |  |
|   | Трещины           | Осмотр  | -           | -   | -                     | Браковать  |
| 2   | Износ кулачков    | Замер. Штангенциркуль 0-125 мм. Шаблон                | 60,00       | 50,00   | -                     | Менее 50,00 мм. Наплавить и обработать до размера по чертежу |

Рисунок 2. Карта дефектации ведущего колеса

Наиболее широко применяемым методом ремонта ведущих колес является наплавка изношенных поверхностей последующей их обработках на токарных станках.

Нами разработана технология восстановления изношенных поверхностей ведущего колеса ЭКГ-5А (рис. 2). Она состоит из следующих основных операций.

1. Контроль изношенной поверхности кулачков и определение толщины наплавляемого слоя.

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = 60 - 50 = 10 \text{ мм}, (1)$$

где  $\Delta$  – общая толщина наплавляемого слоя (толщина на сторону равна:  $10/2=5$ мм) мм;

$\Delta_1$  – номинальный размер, мм;

$\Delta_2$  – допустимый, предельный размер в сопряжении с деталью, образуемой в процессе эксплуатации мм.

В качестве наплавочной проволоки используются Св08ГА и флюс АН-378А. После наплавки колесо обрабатывается на номинальные размеры и подвергается термической обработке[1].

С учетом необходимости последующей обработки наплавочного слоя (шлифовки) толщина наплавки на сторону определится следующим образом:

$$5 + 0,5 = 5,5 \text{ мм}, (2)$$

где 5 – слой наплавочной головки на одну сторону кулачка мм;

0,5 – шлифовка, мм.

2. Установка детали на специальное устройство, позволяющее механизировать процесс наплавки.

3. Наплавка изношенных участков детали с помощью наплавочной головки.

4. Обработка наплавочной поверхности до номинального размера ( $\Delta_1$ )

Вывод: предложенные технологическая карта и специальное оборудование позволяет механизировать процесс наплавки, ускорить восстановление ведущего колеса и сократить время простоя экскаватора.

#### Список литературы

1. Кох, П.И. Производство, монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. – Киев 1977. – 352с.



**БАЛАНСИРОВКА МЕТОДОМ РАЗВОРОТА РОТОРОВ В МУФТЕ**

Ачикасов Д.Ю.

научный руководитель ст. преподаватель Мигунов В.И.

Сибирский федеральный университет

Существует несколько видов балансировок (статическая, динамическая). Но ниже описанный вид балансировки учитывает не только дефекты муфты, но и любые другие дефекты роторов, вызывающие повышенную вибрацию оборотной частоты, например неблагоприятное взаимное расположение дисбалансов на роторах. Разворот роторов в муфте применяется обычно тогда, когда источник вибрации неизвестен, либо когда он располагается на обоих роторах.

Описанная ниже технология взаимного разворота роторов в муфте достаточно универсальна: она применяется для вибродиагностики, а так может быть распространена на непосредственное снижение вибрации. Для двухроторных агрегатов с подвижными муфтами можно найти наилучшее взаимное положение роторов, при котором вибрация на подшипниках минимальна. Для этого при исходном пуске следует измерить оборотную составляющую вибрации опор, после этого развернуть роторы друг относительно друга на  $180^\circ$  путем разборки и сборки муфты, затем выполнить пуск агрегата и вновь измерить вибрацию опор. По измерениям вибрации следует выбрать точку, в которых вибрация максимальна, и по ее значениям при двух упомянутых пусках рассчитать наилучшее взаимное положение роторов.

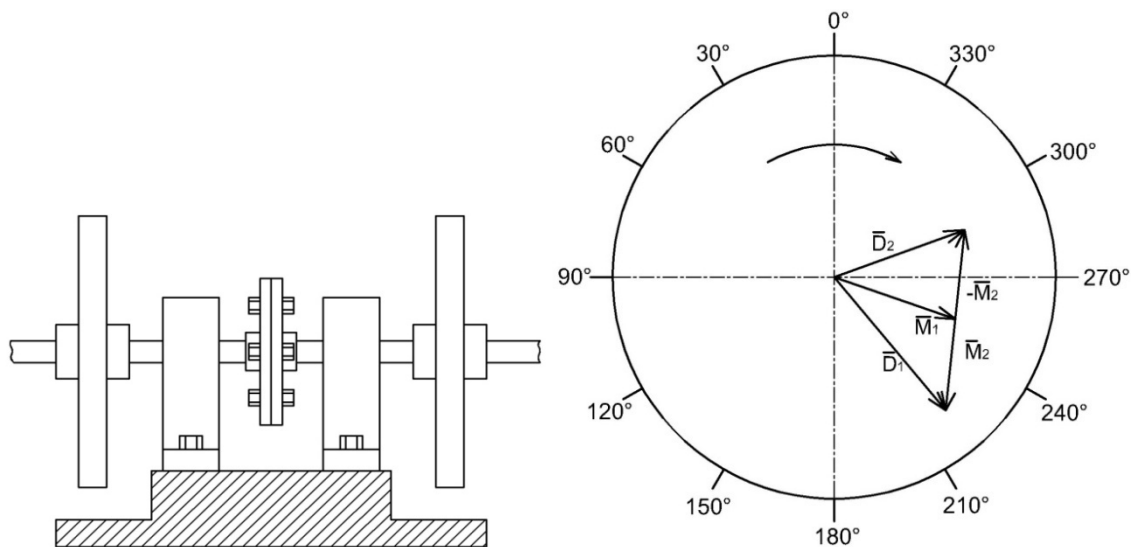


Рисунок 1. Расчет наилучшего взаимного положения полумуфт

**Пример применения метода:**

Отметим, что процедура компенсации возможна в том случае, если несоосность венцов имеется на обеих полумуфтах. Это возможно в большинстве практических случаев.

Предполагается, что на муфте четное количество болтов (зубьев и т.п.), что допускает переворот на  $180^\circ$ . Однако при нечетном количестве болтов можно развернуть на угол, возможно более близкий к  $180^\circ$ , а затем соответственно учесть эту неточность в расчете болтов.

Следует учесть, что дефект ротора может располагаться и на его полумуфте.

Данная технология позволяет так же определить взаимное положение роторов, при котором дефекты соединяемых роторов наилучшим образом компенсируют друг друга.

Градусная разметка на роторе 1. При первом измерении найдена величина максимального дисбаланса  $0,50 \text{ мм/с}$  на  $\angle 220^0$ ;  $\square_1=0,50 \angle 220^0$ . После взаимного разворота роторов на  $180$  величина максимального дисбаланса равна соответственно  $0,40 \text{ мм/с}$  на  $\angle 290^0$ ;  $\square_2=0,40 \angle 290^0$ . Графическое построение приведено на рис. 1.

Как видно из построения на диаграмме (рис.1), дисбаланс венца полумуфты ротора 1  $M_1=0,37 \angle 251^0$ , а дисбаланс венца полумуфты ротора 2  $M_2=0,26 \angle 174^0$ . При взаимном развороте роторов дисбаланс венца полумуфты ротора 2 поменял знак, что и привело к изменению дисбаланса.

Можно установить роторы в такое положение, при котором дисбаланс венцов полумуфт друг друга компенсируют. Для этого, как видно из диаграммы, ротор 2 следует повернуть относительно ротора 1 на угол  $\alpha=75^0$  от положения, соответствующего второму измерению, в направлении увеличения углов (против вращения). При оптимальном взаимном положении роторов величина максимального дисбаланса, равна разности дисбалансов, будет уменьшена до величины  $0,37-0,26=0,11 \text{ мм/с}$ .

Технология применима для муфт, имеющих строгую круговую симметрию, для которых при любом взаимном положении роторов условия работы соединительных и подвижных элементов идентичны. Как правило, это новые и малоработавшие муфты. При измерении взаимного положения роторов с приработанными муфтами возникает дополнительное возмущение от муфты, препятствующее правильному диагнозу. Опыт использования этой технологии показывает, что данное обстоятельство в большинстве случаев препятствие не является.

Если взаимное двух роторов, соединенных муфтой, велико, то по измерениям вибрации невозможно непосредственно определить ротор, на котором имеется дефект, возбуждающий повышенную вибрацию. Ревизия и ремонт и привода, и механизма связаны с неоправданными затратами, в связи с чем целесообразно выявить дефектный ротор и ограничить объем ремонтных работ. Описываемая процедура позволяет определить ротор, который является источником повышенной вибрации оборотной частоты. Опыт показывает, что описанный способ компенсации вибрации прекрасно работает на разнообразных двухроторных агрегатах (насосах), у которых роторы привода и механизма соединены пальцевой муфтой. При такой технологии, виброналадка занимает короткое время и требует минимальных затрат.



## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И СОРТИРОВКИ УГЛЯ

Бобров В.В. Сыромятников М.А.

научный руководитель старший преподаватель Волков Е.С.

Сибирский Федеральный Университет

В настоящее время на угольных предприятиях Российской Федерации сортировка угля производится с помощью следующих машин грохочения:

1) Рессорный вибрационный грохот[1](рис. 1)

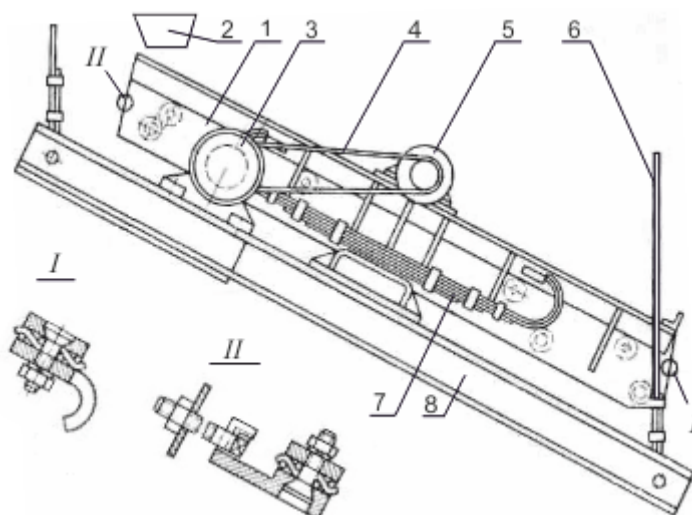


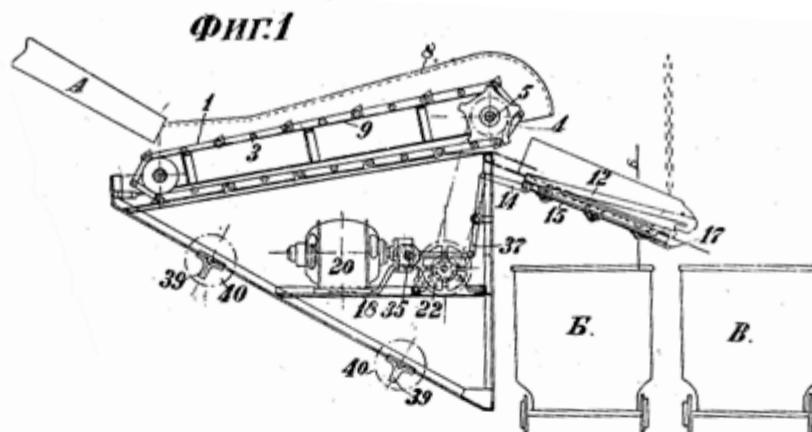
Рисунок 1. Рессорный вибрационный грохот:

1 – короб; 2 – загрузочная воронка; 3 – электродвигатель; 4 – клиноременная передача; 5 – шкив эксцентрикового вала; 6 – тяги (подвески); 7 – рессоры; 8 – рама

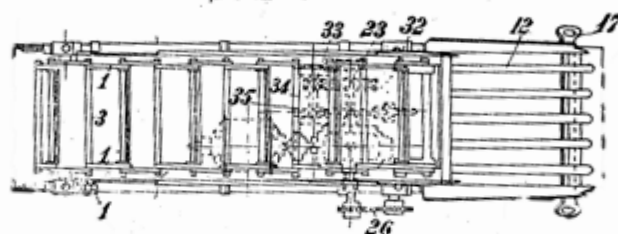
Принцип действия машины заключается в колебаниях грохота происходящих за счёт центробежной силы, вызванной неуравновешенностью вала вибратора, так как в средней части вал имеет выточку и приводной шкив, на валу насажен с небольшим эксцентриситетом. Жёсткость опор вдоль рессор на два порядка больше, чем поперёк, поэтому направление колебания грохота перпендикулярно направлению рессор. Электродвигатель привода установлен таким образом, что ось клиноременной передачи близка к направлению рессор в связи с чем, растяжение приводных ремней, вызванное колебанием корпуса – минимальное.

Преимуществом вибрационных грохотов является то, что на них можно обеспечить достаточно высокую эффективность процесса классификации. Вибрационные грохоты имеют ряд недостатков: они частично разбрасывают сортируемый материал, являются источником повышенного шума и вибраций, требуют внимания обслуживающего персонала.

2) Машины для сортировки и погрузки угля[2](рис. 2)



Фиг. 2



Фиг. 3

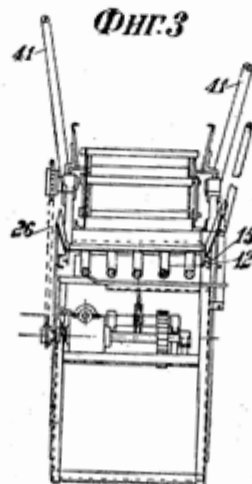


Рисунок 2. Машина для сортировки и погрузки угля

Машина состоит из рамы в виде треугольной фермы, на одной стороне которой расположен скребковый транспортер, состоящий из ведущей цепи 1, скребков и соединительных тяг 3. Цепи 1 приводятся в движение помощью двух звездочек 4, насаженных на вал 5, связанный с двигателем 20. Для удержания угля от выпадания, по бокам транспортера устроены направляющие стенки 8 с горизонтальным листом 9. Впереди машины в направляющей раме 15 установлен качающийся грохот с колосниками 12. К передней планке 17 рамы 15 прикреплены поддерживающие конец рамы цепи. Двигатель 20 и передаточные механизмы помещаются в рамемашину на площадке 18. Передаточные механизмы состоят фиг. 1 и 2 из червячной передачи 22, вал 28 которой связан цепью

Уголь, накладываемый в желоб А, передается транспортером в качающийся грохот, при



чем мелкий уголь проходит через его колосники 12 и высыпается в вагон Б, а крупный уголь (плита) продвигается по колосникам далее и сваливается в вагон В, стоящий рядом на соседнем пути.

Недостатком данной схемы является её сложность при эксплуатации и повышенные затраты на обслуживание.

Существующие устройства имеют недостатки, ограничивающие их эффективность, что создает платформу для разработки более нового усовершенствованного устройства, включающего в себя преимущества выше указанных установок, в конструкции которого предусмотрено отсутствие большинства их недостатков. В рамках данной работы планируется разработка конструкции устройства для сортировки угля фракцией до 35 мм. Принципиальная схема которого представлена на рисунке 3.

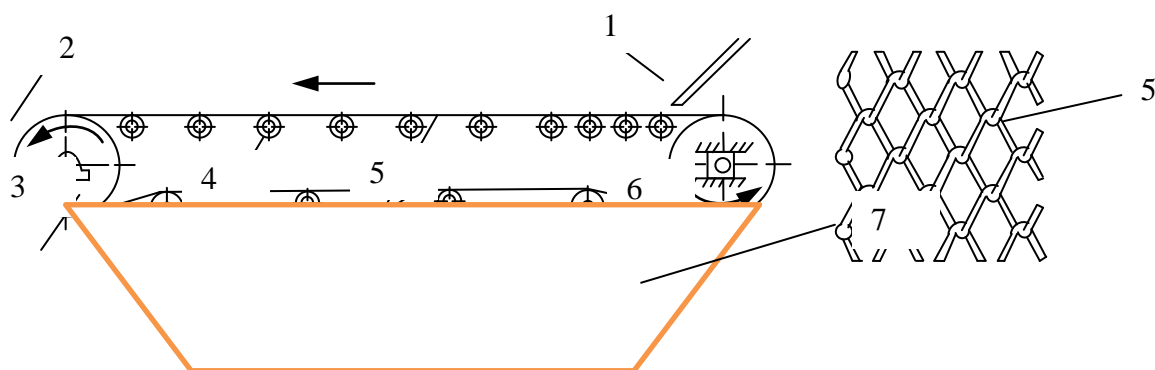


Рисунок 3. Схема сортировочного конвейера:

1 – загрузочный желоб, 2 – разгрузка; 3 – натяжная станция; 4 – роликоопоры; 5 – сортировочная сетка; 6 – приводная станция; 7 – бункер

Предлагаемое устройство разработано на базе ленточного конвейера. Вместо конвейерной ленты используется стальная сетка с ячейкой размером 35×35 мм для отсева угля фракцией 35 мм и барабаны, футерованные шипами. Принцип действия устройства основан на сортировке угля за счет отсева через несущую сетку, качество сортировки будет повышаться за счет прохождения сетки через роликоопоры таким образом будет достигнут эффект вибрации. Куски угля, отсеявшиеся с верхней ветки конвейера и застрявшие на нижней (за счет своей геометрии) будут измельчены путем продавливания шипами барабана через сетку.

Преимуществами данной модели является её компактность, простота конструкции. Предполагается высокая производительность.

### Список литературы

1. Студопедия. Грохота. Технические характеристики. <http://studopedia.org/1-114616.html>
2. Машина для сортировки и погрузки в вагоны угля. // номер патента: 23227.30.09.1931 <http://patentdb.su/2-23227-mashina-dlya-sortirovki-i-pogruzki-v-vagony-uglya.html>
3. Пономарев, И.В. Дробление и грохочение углей. – М.: Росгортехиздат, 1960. – 169 с.



## АНАЛИЗ ПРОХОДКИ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ В УСЛОВИЯХ ОЛИМПИАДИНСКОГО ГОК ЗАО ПОЛЮС

Бовин К.А., Шигин А.О., Белозёров И.Р.

научный руководитель д-р техн. наук, профессор Гилёв А.В.

Сибирский Федеральный Университет

Разработка золотоносного месторождения в Олимпиадинском ГОК ЗАО "Полюс" осуществляется открытым способом с применением технологии бурения взрывных скважин. Бурение взрывных скважин в России и за рубежом в основном осуществляется при помощи станков шарошечного бурения. Существенная доля затрат в стоимости проходки 1 погонного метра скважины приходится на шарошечные долота. Их стоимость варьируется в пределах 30 – 50 т.р. для отечественных и 100 – 150 т.р. для зарубежных долот. В связи с этим актуальной проблемой остается исследование ресурса высоконагруженных узлов и деталей бурового станка и шарошечного бурового инструмента.

Основываясь на сведениях по эксплуатации шарошечных долот в 2014 г. в условиях карьеров Олимпиадинского ГОКа ЗАО "Полюс" были получены зависимости проходки шарошечных долот в зависимости от крепости горных пород (по шкале проф. Протоdjяконова) при бурении взрывных скважин отдельными станками ГОКа (рис. 1).

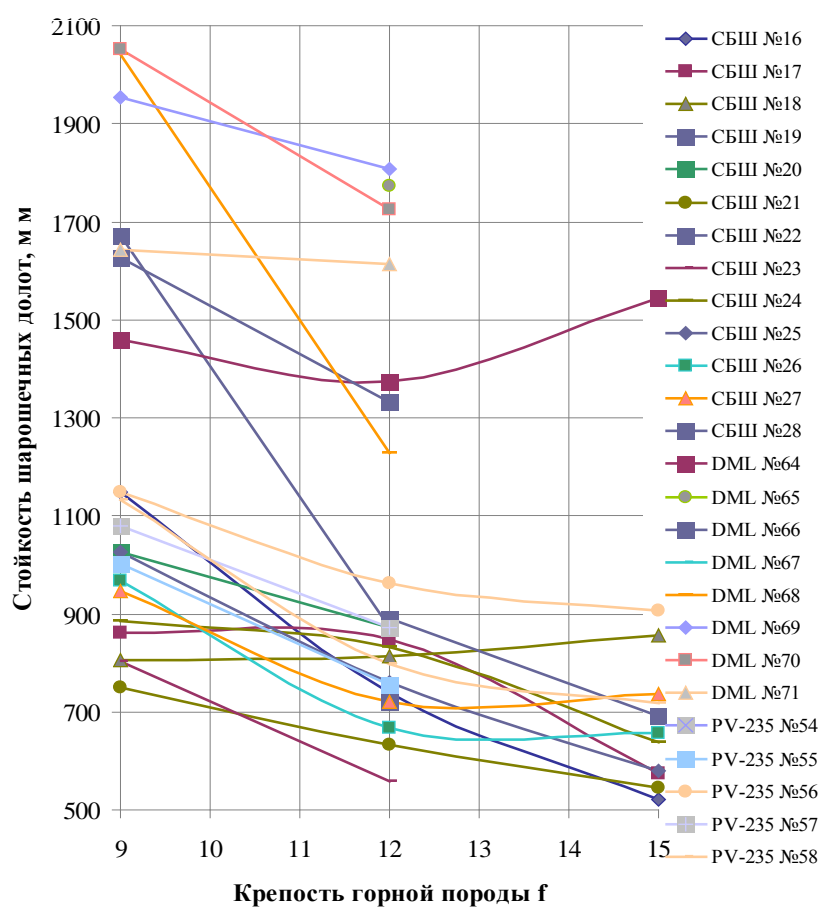


Рис. 1. Зависимости проходки шарошечных долот в зависимости от крепости горных пород (по шкале проф. Протоdjяконова) при бурении взрывных скважин отдельными станками ГОКа





Проведенный анализ показал, что более легкий станок при формировании ударных нагрузок создает менее жесткую подачу рабочего органа. В результате этого снижается коэффициент ударных нагрузок и ударная реакция. Это может привести к увеличению стойкости долот, что отражено на рис. 1. Так для бурения сложноструктурных массивов горных пород, в случае отсутствия адаптивных механизмов и адаптивной системы автоматизации бурения [1], рекомендуется применять более легкие станки.

Кроме того был проведен анализ проходки отдельных марок шарошечных долот диаметром 244,5 мм, производства заводов Белгородский, Волгобурмаш, Глубур, (рис .2) Уралбурмаш.

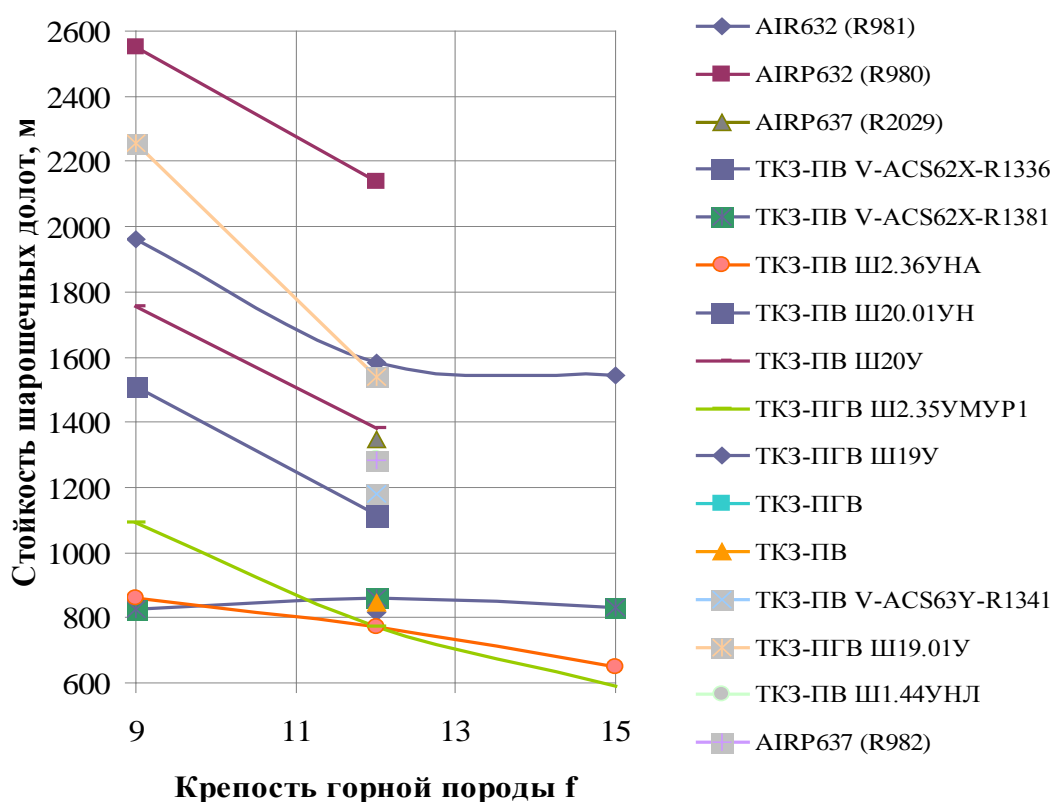


Рис. 2. Зависимости проходки шарошечных долот от крепости горных пород (по шкале проф. Протодьяконова) при бурении взрывных скважин отдельными типами долот

На рис. 2 видно, что при увеличении крепости горных пород стойкость шарошечных долот уменьшается. При этом наибольшую величину проходки имеют долота AIRP632(R980), ТКЗ-ПГВ Ш19У, ТКЗ-ПГВ Ш19.01У, а наименьшую долота ТКЗ-ПГВ, ТКЗ-ПВ V-ACS62X-R1381, ТКЗ-ПВ Ш2.36УНА.

### Список литературы

1. Шигин А.О. Адаптивный вращательно-подающий механизм бурового станка для снижения непрогнозируемых нагрузок при бурении сложноструктурных пород// Горный журнал. - 2013. - №7. С. 79-83



## ВИБРОЗАЩИТА ФУНДАМЕНТОВ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ДРОБИЛОК

Бовин К.А.

научный руководитель кад. техн. наук, доцент Дьяконова В.Я.

*Сибирский федеральный университет*

Для переработки рудных материалов широко используют конусные и щековые дробилки. Рабочий режим этих машин сопряжен с большими горизонтальными динамическими нагрузками, приводящими в ряде случаев к недопустимому уровню колебаний фундаментов. Совершенствование дробильного оборудования связано с увеличением динамических нагрузок на фундамент. Эффективным способом уменьшения динамических нагрузок на фундаменты является виброизоляция. Однако для низкочастотных щековых дробилок, практическое осуществление виброизоляции вызывает серьезные затруднения.

Точный расчет колебаний фундаментов усложняется в связи с участием в колебаниях прилегающего к нему грунта, что приводит к снижению частот собственных колебаний и, в связи с этим, увеличением колеблющейся массы, увеличением демпфирования, связанным с уходом энергии колебаний в грунт и с внутренним трением.

Пренебрегая инерцией грунта, можно рассматривать фундамент как упруго закрепленное жесткое тело. Центр тяжести массивного фундамента вместе со смонтированной на ней машиной располагается в точке  $O$  (рис.1).

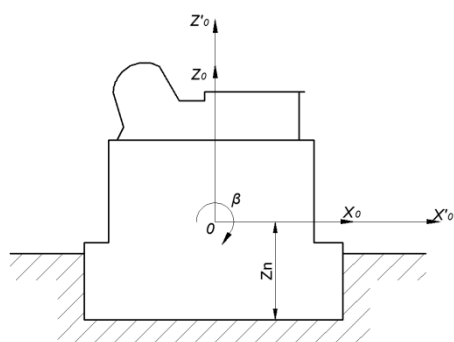


Рис. 1. Расчетная схема фундамента с дробилкой

Жесткостные свойства системы характеризуются величинами:

$$K_z = C_z F; \quad K_\beta = C_\beta J; \quad K_x = C_x F \quad (1)$$

где  $C_x$ ,  $C_z$  - коэффициенты упругого равномерного сжатия и сдвига основания;  $C_\beta$  - коэффициент упругого неравномерного сжатия основания;  $J$  - момент инерции площади подошвы фундамента относительно оси  $Y_0$ .

Частота собственных вертикальных колебаний:

$$\omega_z = \sqrt{K_z/m} \quad (2)$$

где  $m$  - масса системы (фундамента и машины).

Частота собственных поступательно-вращательных колебаний:

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{K_x}{m} + \frac{K_x Z_n^2 + K_\beta}{J_{oy}} \pm \sqrt{\left(\frac{K_x}{m} + \frac{K_x Z_n^2 + K_\beta}{J_{oy}}\right)^2 - \frac{4K_x K_\beta}{m J_{oy}}} \quad (3)$$

где  $J_{oy}$  - момент инерции системы относительно оси  $Y_0$ .

Амплитуда вертикальных колебаний:

$$a_{0z} = \frac{P_z}{m(-\Omega^2 + \omega_z^2)} \quad (4)$$



где  $P_z$  - амплитуда вертикальной гармонической силы;  $\Omega$  - круговая частота возмущения.

Для уменьшения амплитуд колебаний надо стремиться к тому, чтобы частоты собственных колебаний фундамента с дробилкой возможно больше отличались от частоты возмущения. Расчеты показали, что желательно, чтобы частоты собственных колебаний фундамента с укрепленной на нем дробилкой были выше или ниже частоты возмущения на 30%. Для уменьшения колебаний фундамента следует увеличивать коэффициент жесткости его основания так, чтобы частота собственных колебаний фундамента повысилась.

Уменьшение горизонтальных колебаний может быть достигнуто посредством шарнирного присоединения к фундаменту массивной бетонной плиты, располагаемой рядом с ним на верхнем слое грунта. При таком устройстве горизонтальные колебания фундамента вызывают горизонтальные перемещения плиты по грунту. Достоинством этого способа является возможность выносить плиту за пределы стен здания.

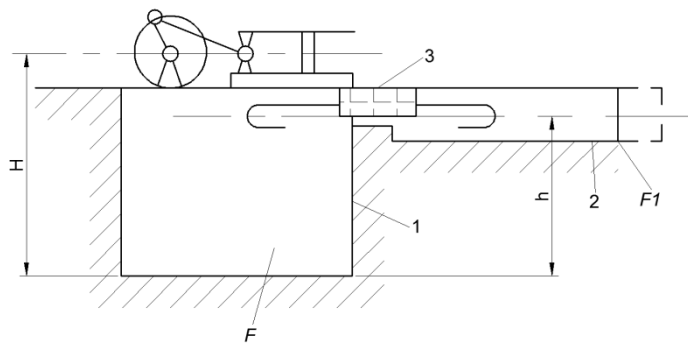


Рис. 2. Схема фундамента с шарнирно присоединенной к нему плитой: 1 - фундамент, 2 - плита, 3 - шарнирное звено

Тогда площадь подошвы, присоединяемой к фундаменту плиты (рис. 2):

$$= \frac{F_1}{C_x} \frac{(n-1)F}{(1-A-B)} \quad (5)$$

$$= \frac{C_x^* F h^2}{C_\beta J} \quad (6)$$

$$= \frac{B}{\frac{H}{h} + \frac{C_\beta^* J}{C_x^* F h^2}} \quad (7)$$

где  $n$  - число, показывающее, во сколько раз амплитуда колебаний фундамента уменьшается в связи с присоединением плиты;  $\square_{\square}^*$  и  $\square_{\square}^*$  - величины коэффициентов упругого равномерного и упругого неравномерного сжатия основания фундамента;  $F$  - площадь подошвы фундамента;  $J$  - момент инерции подошвы фундамента относительно оси, проходящей через центр тяжести его подошвы перпендикулярно к плоскости колебаний.

В практике встречаются случаи появления повышенных вибраций отдельных элементов самого фундамента. В этом случае уменьшение колебаний достигается изменением их массы и жесткости. Как показывает расчет, необходимо, чтобы собственные частоты элементов отличались от рабочей частоты установки не менее чем в 1.5 раза.

При работе щековых дробилок возникают большие значения сил инерции, которые можно уменьшить статической и динамической балансировкой механизмов, а так же удалением в них избыточных связей. Уравновешивание механизмов дробилки сводим к подбору величин и расположения дополнительных масс так, чтобы модуль главного вектора сил инерции уменьшился или стал равным нулю.

Проведенные исследования способов уравновешивания показали, что для этих целей наиболее эффективным является метод *функциональных цепей*, являющийся

универсальным для статического уравнивания сложных механизмов любого класса и порядка как с симметричными, так и несимметричными звеньями.

Поэтому для статического уравнивания механизма дробилки (рис. 3). необходимо и достаточно статически уравновесить его функциональную цепь (рис. 3б). Последняя получается из механизма дробилки (рис. 3а) путем отделения от него одного или нескольких невесомых звеньев. В нашем случае за невесомое звено принимаем звено 4. Чтобы сделать шатун  $BD$  невесомым, его сначала заменяем статической моделью с двумя точечными массами  $m_{4D}$  и  $m_{4B}$ , затем переносим эти массы со звена  $BD$  соответственно на смежные звенья 5 и 3 и отсоединяем от механизма невесомый стержень 4. В результате получаем функциональную цепь (рис. 3б) механизма дробилки.

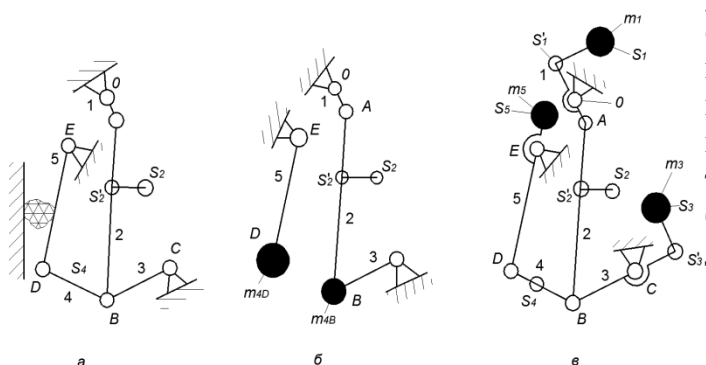


Рис. 3. Структурная схема механизма дробилки до и после уравнивания методом функциональных цепей: 1 - кривошип; 2, 4 - шатун; 3, 5 - коромысло

Для уравнивания функциональной цепи используя метод подобия, придаем звеньям 3 и 1 такие формы, чтобы центры их масс оказались соответственно в точках  $S_3$  и  $S_1$  (рис. 4в). звено 5 будет уравновешенным, если его дисбаланс будет равен:

$$D_5 = m_5 SE = -m_{4D} DE \quad (8)$$

Восстановив звено 4 в схеме уравновешенной функциональной цепи, получаем структурную схему исходного механизма дробилки, уравновешенной методом функциональных цепей в сочетании с методом подобия.

После уравнивания звеньев удаляем избыточные связи в механизме дробилки. Избыточными связями называют такие связи, устранение которых не увеличивает подвижности механизма. Кинематические пары должны выбираться такими, чтобы механизм был статически определимым (т.е. не имел бы избыточных связей). Такие механизмы называются самоустанавливающимися.

Число избыточных связей определяем по формуле Малышева:

$$q = W - 6n + 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1 \quad (9)$$

где:  $W$  — число обобщенных координат механизма, равное числу степеней свободы;

$n$  — число подвижных звеньев;  $p_5$  — количество кинематических пар 5 класса;  $p_4$  — количество кинематических пар 4 класса;  $p_3$  — количество кинематических пар 3 класса;  $p_2$  — количество кинематических пар 2 класса;  $p_1$  — количество кинематических пар 1 класса;

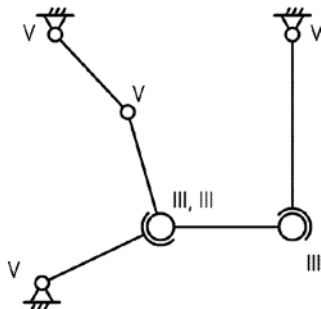


Рис. 4. Механизм камнедробилки без избыточных связей

Например, механизм щековой камнедробилки (рис. 4) имеет количество избыточных связей:

$$q = 1 - 6 \cdot 5 + 5 \cdot 7 = 6.$$

Чтобы сделать конструкцию камнедробилки статически определимой, необходимо заменить 3 вращательные кинематические пары на шатуне на сферические, тогда

$$q = 1 - 6 \cdot 5 + 5 \cdot 4 + 3 \cdot 3 = 0 \text{ (рис. 4).}$$

Механизмы без избыточных связей значительно уменьшают динамические нагрузки, действующие на фундамент.

Для защиты поддерживающих конструкций от нагрузок, возникающих при работе конусных дробилок, схему виброизоляции принимаем подвесной. При этом дробилка устанавливается на платформе, закрепленной на тросах к несущим конструкциям (рис. 5). Количество тросов должно быть с использованием не менее 4-х.

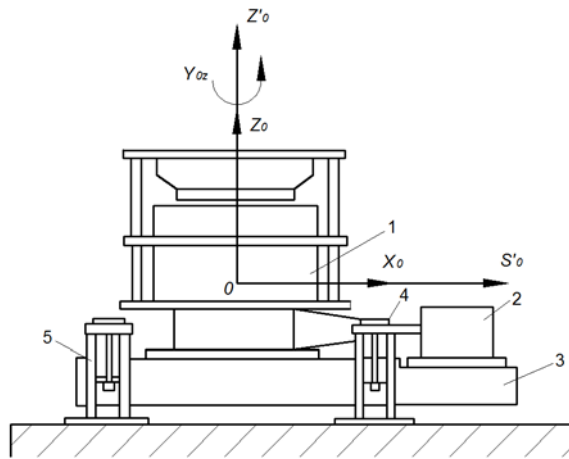


Рис. 5. Подвесная схема виброизоляции: 1 - дробилка, 2 - двигатель, 3 - платформа, 4 - трос, 5 - поддерживающая конструкция.

В результате образуется маятниковая схема виброизоляции, позволяющая при достаточной длине подвесок, получить низкие частоты собственных колебаний  $\omega_x, \omega_y$ , а также частоты собственных вращательных колебаний  $\omega_{yz}$ . Частота собственных поступательных колебаний  $\omega_z$ , получается выше частоты возмущающего действия. Расположение подвесок нужно назначать с учетом удобства их монтажа, замены и возможности наблюдения за ними. Натяжение подвесок должно быть равномерным.

При осуществлении амортизации на основе подвесной схемы виброизоляции с использованием

подвесок из тросов, симметрично расположенных относительно вертикальной оси установки, амплитуды горизонтальных поступательных и вращательных колебаний определяем по:

а) при колебаниях вдоль осей  $X'_0, Y'_0, Z'_0$ :

$$a_{0x} = \frac{P_x}{m(\Omega^2 - \omega_x^2)}; \quad a_{0y} = \frac{P_y}{m(\Omega^2 - \omega_y^2)}; \quad a_{0z} = \frac{P_z}{m(\Omega^2 - \omega_z^2)} \quad (10)$$

б) при вращательных колебаниях относительно осей:  $X'_0, Y'_0, Z'_0$

$$\varphi_{0z} = \frac{M_{0x}}{m(\Omega^2 - \omega_{\varphi x}^2)}; \quad \varphi_{0y} = \frac{M_{0y}}{J_{0y}(\Omega^2 - \omega_{\varphi y}^2)}; \quad \varphi_{0z} = \frac{M_{0z}}{J_{0y}(\Omega^2 - \omega_{\varphi z}^2)} \quad (11)$$



где  $P_x, P_y, P_z$  - амплитуды возмущающих сил по направлению неподвижных осей, совпадающих с осями  $X_0, Y_0, Z_0$ ;  $M_{0x}, M_{0y}; M_{0z}$  - амплитуды возмущающих моментов относительно осей  $X_0, Y_0, Z_0$ .

Анализ подвесных схем виброизоляции показал, что для получения низкочастотной виброизоляции в горизонтальном направлении, кроме рассмотренной подвесной схемы (рис. 5) амортизацию конусной дробилки можно выполнить по схеме опрокинутого маятника с боковыми упругими опорами.

Проведенные исследования показали, что виброзащиту необходимо проводить комплексно. При проектировании камнедробилок необходимо производить уравнивание звеньев и освобождать механизм дробилки от избыточных связей, производить анализ влияния собственных и вынужденных колебаний системы и с учетом перечисленных рекомендаций выбирать параметры фундамента.







УДК 622.233

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРОВ

Бовин К.А., Прокопчук В.А.

научный руководитель доктор техн. наук, профессор Гилёв А.В.

Сибирский Федеральный университет

Современный уровень техники и технологии бурения взрывных скважин на открытых горных работах сложился во второй половине XX в. При этом преобладающее применение получило шарошечное бурение, которым выполняется более 80% всех объемов буровых работ [1].

В ближайшее десятилетие в России ожидаемые годовые объемы бурения на открытых горных, земляных и строительных работах превысят 60 млн м скважин. Ежегодные эксплуатационные затраты на бурение взрывных скважин могут достигнуть 6 млрд рублей (причем примерно 60 - 65% из них составят затраты на буровой инструмент) [2].

Столь большие затраты на буровой инструмент объясняются преимущественным применением на карьерах ресурсоемких и сложных шарошечных долот, стоимость которых непрерывно растет.

Серийно изготавливаемые шарошечные долота имеют следующие недостатки:

- дороговизна;
- низкая надежность;
- неразборность конструкции.

При бурении взрывных скважин на карьерах по породам небольшой и средней крепости дорогостоящие и ненадежные серийные шарошечные долота могут быть заменены режущими долотами, оснащенными съемными породными резами.

Усилиями кафедры Горные машины и комплексы ГУЦМиЗ [3] разработаны и исследованы некоторые модели режущих буровых долот с зубчато-дисковыми шарошками (рис. 1).

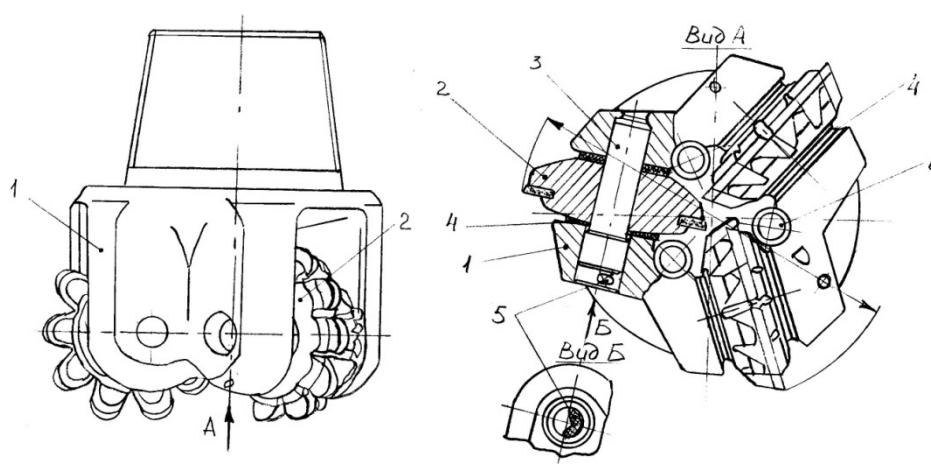


Рис. 1. Режущее боровое долото с зубчато-дисковыми шарошками (разборное): 1 - корпус, 2 - зубчато-дисковые шарошки, 3 - ось, 4 - шайба, 5 - шплинт, 6 - продувочные каналы

Проведены промышленные испытания разборных буровых долот режущего типа с однорядным вооружением, которые показали свою большую эффективность в



породах крепостью до  $f = 6$  по шкале М.М. Протодяконова, по сравнению с серийными шарошечными долотами.

При бурении горных пород небольшой и средней и средней крепости со встречающимися пропластками крепких пород с  $f = 10 - 12$ , режущие долота имеют низкую стойкость вооружения [4].

Учитывая опыт эксплуатации режущего бурового инструмента, кафедрой Горные машины и комплексы СФУ, разработано разборное шарошечно-дисковое долото с двумя рядами вооружения (рис. 2).

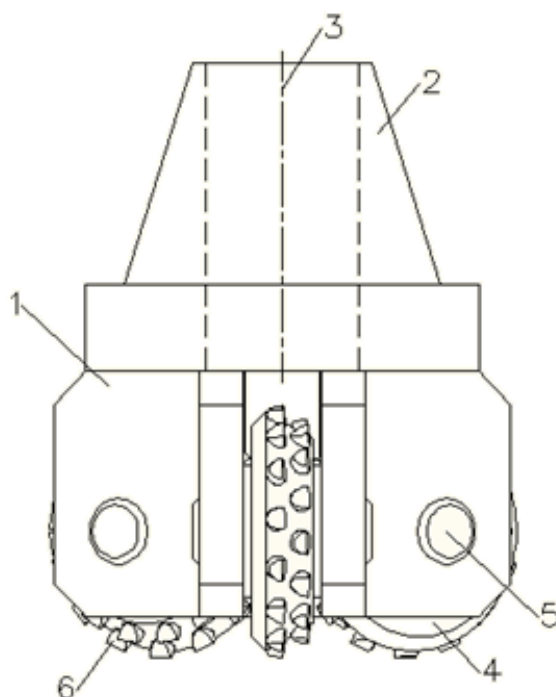


Рис. 2. Долото ДРДФ-244,5-2: 1 - корпус; 2 - ниппель, 3 - продувочные каналы, 4 - дисковая фреза, 5 - ось дисковой фрезы, 6 - твердосплавные зубки

Схему расположения зубков, их необходимый тип с определенной рабочей поверхностью и расстояние между твердосплавными зубками (рис. 3) рекомендовано определять в зависимости от назначения и условий использования бурового долота [5].

Расстояние между двумя ближайшими зубками в ряду (рис. 3) определяется отношением:

$$h_1 = 2 \cdot h_1 = \frac{P \cdot n \cdot K_x}{f \cdot D_1} \cdot K_{п1} \quad (1)$$

где  $h_1$  - проекция расстояния на ось ОУ между двумя ближайшими зубками в рядах (рис. 3),  $P$  - осевое усилие, Н;  $n$  - частота вращения, об/мин;  $K_x$  - коэффициент хрупкости породы,  $f$  - коэффициент крепости породы;  $D_1$  - диаметр долота, мм;  $K_{п1}$  - конструктивный коэффициент.



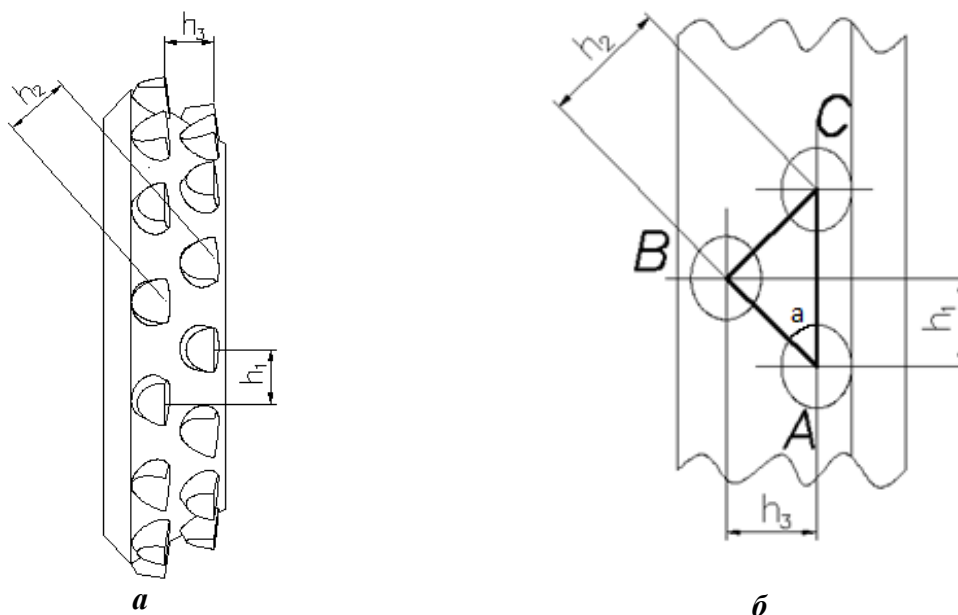


Рис. 3. Диск долота ДРДФ-244,5-2: а - общий вид, б - расчетная схема

Конструктивный коэффициент  $K_{п1}$  определяется функцией:

$$K_{п1} = F(d_d) \quad (2)$$

где  $d_d$  - диаметр диска, мм.

Расстояние между двумя рядами твердосплавного вооружения (рис.3), определяется отношением:

$$h_3 = \frac{P \cdot n \cdot K_x \cdot D_1}{f} \cdot K_{п2} \quad (3)$$

Конструктивный коэффициент  $K_{п2}$  определяется функцией:

$$K_2 = F(h_d, n_p) \quad (4)$$

где  $h_d$  - ширина диска, мм;  $n_p$  - число рядов твердосплавных зубков.

Расстояние между двумя ближайшими зубками в рядах (рис. 3) определяется отношением:

$$h_2 = \frac{P \cdot n \cdot K_x}{f} \cdot \sqrt{\left(\frac{K_{п1}}{D_1}\right)^2 + (K_{п2} \cdot D_1)^2} \quad (5)$$

Здесь  $h_1$  и  $h_3$  находятся в прямой зависимости от  $P$  и  $n$ , поскольку более широкое расположение зубьев в каждом ряду и между рядами требует большего количества передаваемой мощности в единицу времени.  $K_x$  обеспечивает большую крупность частиц бурового шлама, поэтому конструктивно твердосплавные зубки должны быть разнесены пропорционально размерам этих частиц.

$h_1$  и  $h_2$  находятся в обратной зависимости от  $f$ , поскольку более прочные породы при одинаковых режимных параметрах в процессе бурения образуют более мелкие частицы бурового шлама, и требуется сближение зубьев для образования сплошного забоя.  $h_1$  находится в обратной зависимости от  $D_1$ , поскольку при больших диаметрах долота и одинаковых режимных параметрах получается большая окружная скорость, а  $h_3$  – в прямой зависимости от  $D_1$  из конструктивных соображений.

Преимущества предлагаемого бурового долота заключаются в невысокой стоимости по сравнению с серийно изготавливаемыми шарошечными долотами, высокая надежность и разборность конструкции, что позволяет многократно использовать дорогостоящий корпус до полного износа.

### Список литературы

1. Шигин А.О., Гилев А.В. Методика расчета усталостной прочности как основного фактора стойкости шарошечных долот // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 3 (62). С. 22-27.
2. Буткин, В.Д. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах / В.Д. Буткин, А.В. Гилев и [др.]. – М.: Макс Пресс, 2005. – 313 с.
3. Гилёв А.В. Научно технические основы создания специализированных буровых инструментов и технологий их применения на карьерах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук/ Гилёв Анатолий Владимирович. – Красноярск 2005. – 385 с.;
4. Шигин А.О., Гилёв А.В. Разработка идеализированной модели бурения горных пород с различными физико-механическими свойствами // Фундаментальные исследования. -2012. -№ 3 (Ч. 3). -С. 665-667.
5. Гилев А.В., Шигин А.О. и др. Методы расчетов прочности при проектировании рабочих органов буровых станков // Современные наукоемкие технологии. -2011. -№ 1. -3 с.



## РАЗРАБОТКА ОПОРЫ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА

Бовин К.А., Миранов А.И.

научный руководитель доктор техн. наук, профессор Гилёв А.В.

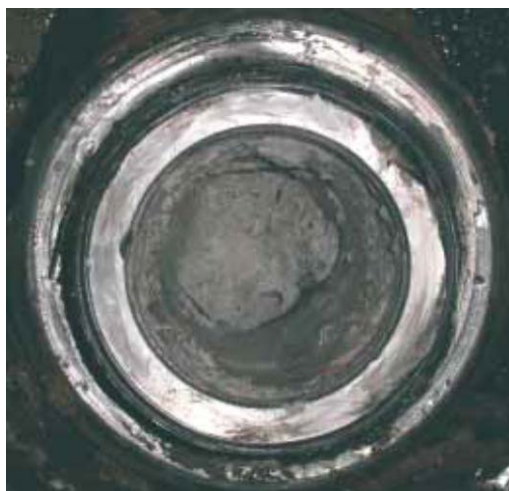
Сибирский Федеральный Университет

Современный уровень техники и технологии бурения взрывных скважин на открытых горных работах сложился во второй половине XX в. При этом преобладающее применение получило шарошечное бурение. Было освоено серийное производство шарошечных долот и производство тяжелых станков вращательного бурения (СБШ).

В настоящее время основным видом породоразрушающего бурового инструмента являются шарошечные долота, которыми выполняется более 80% всех объемов буровых работ[1].

Шарошечное долото состоит из сваренных между собой секций, на цапфах лап которых вращаются смонтированные шарошки и являются, таким образом, неразборными конструкциями, в следствие чего при выходе из строя одной шарошки или ее опоры бракуется все долото.

Основные причины выхода из строя опор - проникновение породной мелочи через зазор между шарошкой и лапой в полость подшипников, что приводит к зашламовыванию опоры (рис. 1), повышенному износу подшипников, снижению стойкости опоры и ее заклиниванию[2].



*а*



*б*

*Рис. 1. Зашламовывание долота: а - износ цапфы по причине усталостного износа или зашламовывания подшипника качения шарошечного долота, б - зашламовывание вооружения*

Срок службы шарошечных долот практически определяется стойкостью опор. Заклинивание опоры шарошки вызывает прекращение ее вращения, следствием чего является износ зубьев ее вооружения, т.к. значительная часть крутящего момента и осевого усилия, приложенных к долоту, воспринимаются невращающейся шарошкой.

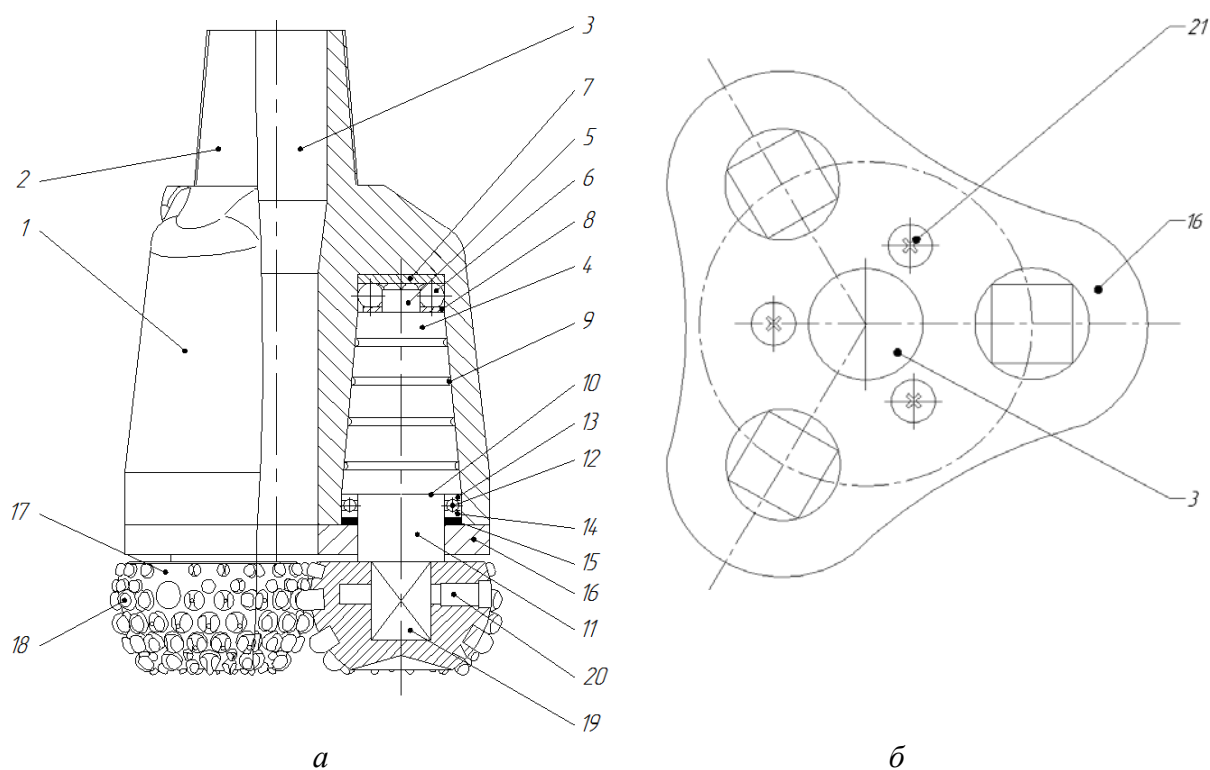
Долота, вышедшие из строя из-за износа вооружения, имеют колебания по величине проходки на долото от двух до пяти раз. Это связано с тем, что износ вооружения не является характерной причиной отказа, а только косвенно отражает

процессы взаимодействия долота с буримым горным массивом. Когда долота заменяют вследствие износа элементов опоры шарошек, колебания их по стойкости достигают 10 раз [2]. Процесс прохождения шарошечным долотом трещин, несплошностей, границ между породами с разной крепостью вызывает существенные ударные нагрузки и приводит к значительной разнице в циклической стойкости опор качения [3].

В этой связи весьма актуально создание долот со съемными шарошками, что позволит, заменяя вышедшую из строя шарошку, значительно (в 1,5-2 раза) продлить срок службы дорогостоящего корпуса.

Разработаны и исследованы некоторые модели разборных буровых долот [4].

Кафедрой "Горные машины и комплексы" СФУ разработано шарошечно-дисковое долото (рис. 2), содержащее встраиваемый в опору упорный шарикоподшипник (УПШ), позволяющее избежать выше перечисленных причин выхода из строя опор.



*Рис. 2. Буровое шарошечное долото: а - общий вид; б - съемная крышка:*  
 1 - корпус, 2 - ниппель, 3 - продувочные каналы, 4 - опорный вал, 5 - пята,  
 6- бескольцевой упорный подшипник, 7 - твердосплавная пластина,  
 8 - передаточная шайба, 9 - выточки, 10 - основание усеченного конуса,  
 11 - примыкающая часть опорного вала, 12 - упорный подшипник, 13 - верхнее кольцо упорного подшипника, 14 - нижнее кольцо упорного подшипника,  
 15 - уплотнительные элементы, 16 - неразъемная съемная крышка, 17 - шарошки,  
 18 - твердосплавные зубки, 19 - конец опорного вала, 20 - стопорный стержень,  
 21 - крепежные винты.

Для производительного бурения крепких пород назначаются большие осевые нагрузки на долото [5], возможные благодаря оснащению примыкающей части опорного вала к нижнему основанию усеченного конуса и кольцевому упорному шарикоподшипнику.

Предлагаемое долото работает следующим образом. При бурении горной породы шарошка, вращаясь вокруг своей оси, передает вращающий момент опорному валу, который установлен на упорный шарикоподшипник. Нижнее основание усеченного конуса опорного вала передает вращательный момент верхнему кольцу, вследствие чего упорный шарикоподшипник обеспечивает вращение опорного вала за счет верхнего кольца и передачу осевого усилия на шарошку за счет нижнего кольца.

Таким образом, можно сделать вывод, что перечисленные особенности построения и работы предлагаемого шарошечного долота решают проблему увеличения стойкости опор шарошечных долот.

В целом промышленное применение предложенного долота с новым устройством опор обеспечивает значительный экономический и технологический эффект за счет применения кольцевого шарикоподшипника, обеспечивающего возможность увеличения осевого усилия на долото и повышения скорости бурения взрывных скважин.

### Список литературы

1. Буткин, В.Д. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах / В.Д. Буткин, А.В. Гилев и [др.]. – М.: Макс Пресс, 2005. – 304 с.
2. Катанов Б.А. Основные причины износа шарошечных долот и пути его снижения. Горные машины и автоматика, № 2, 2003, с. 13-14;
3. Шигин А. О. Напряжения и стойкость шарошечных долот при бурении сложноструктурных массивов горных пород / А. О. Шигин, А. В. Гилёв, А.А. Шигина // Горный информ.-аналит. бюл. Mining informational and analytical bulletin. -2013. -№ 4. – С. 325-333;
4. Гилёв А.В. Научно технические основы создания специализированных буровых инструментов и технологий их применения на карьерах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук/ Гилёв Анатолий Владимирович. – Красноярск 2005. – 385 с.;
5. Гилев А.В., Шигин А.О. и др. Методы расчетов прочности при проектировании рабочих органов буровых станков // Современные наукоемкие технологии. -2011. -№ 1. - 3 с.



## РАСЧЕТ БЕРМ НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА ОАО «ГОРЕВСКОГО ГОКа»

Бровина Т.А.

научный руководитель Демченко И.И.

Сибирский Федеральный университет

Горевское свинцово-цинковое месторождение расположено в Мотыгинском районе Красноярского края на левом берегу реки Ангары в 38 км от ее устья. Сложность разработки месторождения связана с необходимостью защиты его от вод реки Ангары, протекающей над значительной частью рудных тел.

Согласно проекта развития карьера ОАО «Горевский ГОК» прогнозная динамика добычи руды до 2021 г представлена на рис.1.

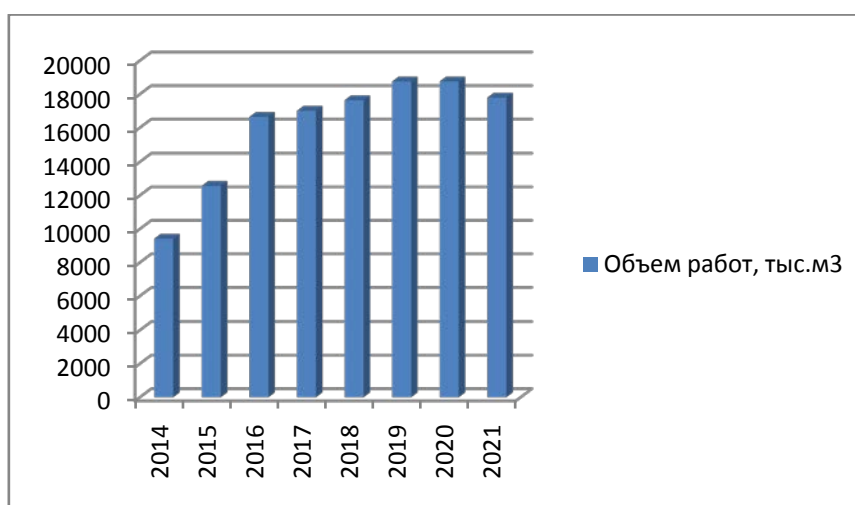


Рис. 1. Прогнозная динамика добычи руды по годам

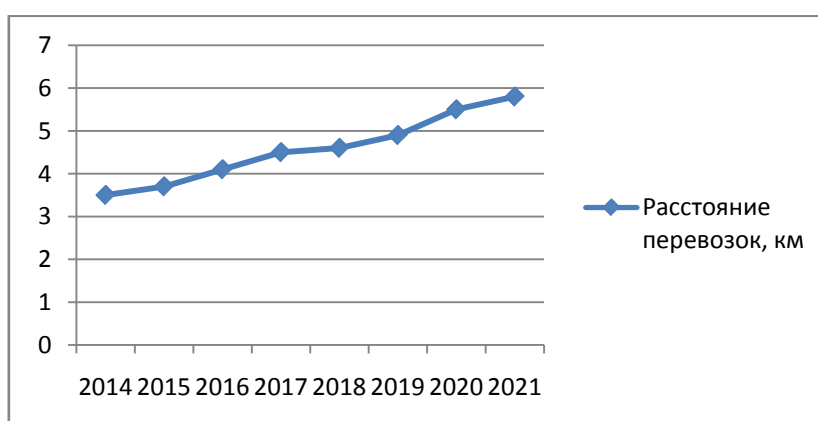


Рис. 2. Сценарий прогнозного расстояния перевозок

В настоящее время транспортирование горной массы на карьере ОАО "Горевский ГОК" осуществляется автосамосвалами БелАЗ-7555 с грузоподъемностью 55 т.

В связи с вводом большегрузных самосвалов грузоподъемностью 90 ÷ 130 т (Komatsu HD785, БелАЗ-75131), увеличивается ширина дорог, вскрывающих траншей, транспортных берм и съездов, т.к. параметры дорог, обочин, породных валов зависят от технических характеристик автосамосвалов.

Введение более мощных выемочно-погрузочных комплексов обусловлено их большей производительностью и меньшей удельной себестоимостью транспортирования горной массы по сравнению с используемыми автосамосвалами, завершением срока эксплуатации части парка используемых автосамосвалов, а так же перспективой начала строительства карьера II очереди и комплексным переходом на использование оборудования большей производительности.

В этих условиях автомобильные дороги должны обеспечивать безопасные условия эксплуатации карьерного транспорта и высокую эффективность его работы.

В связи с вводом автосамосвалов больших габаритов, увеличилась ширина транспортных берм на 7-8 м и уменьшился угол откоса бортов южного и западного бортов карьера.

### **Расчеты параметров дорог, ширины транспортных берм для БелАЗ-75131.**

Ширина транспортной бермы при двухполосном движении может быть определена из выражения.

$$Ш_{РП} = П_{СО} + П_{ВК} + П_{ОВ} + П_{П} + П_{ОН} + П_{ОВ} + П_{В}, \text{ м(1)}$$

$$Ш_{РП} = 1,0 + 0,5 + 2,5 + 21 + 1,5 + 4,0 + 2,0 = 32,5 \text{ м}$$

где  $П_{СО}$  - ширина площадки для сбора осыпи, м (СП 37.13330.2012, п 7.5.2);  
 $П_{ВК}$  - ширина водоотводной канавы-лотка, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 24);  
 $П_{ОВ}$  - ширина обочины со стороны вышележащего уступа, м (СП 37.13330.2012, таблица 7.9);

$П_{П}$  - ширина проезжей части, (СП 37.13330.2012, таблица 7.9);

$П_{ОН}$  - ширина обочины со стороны нижележащего уступа, м (ПБ 03-498-02, п. 378);

$П_{ОВ}$  - ширина ориентирующего породного вала, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 23);

$П_{В}$  - ширина полосы выветривания от края уступа до ориентирующего вала, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 24).

2. Ширина площадки для петлевого поворота автосамосвалов при двухполосном движении.

$$Ш_{ПП} = П_{СО} + П_{ВК} + П_{ОВ} + 2 \times П_{П} + П_{ОН} + П_{ОВ} + П_{В}, \text{ м(2)}$$

$$Ш_{ПП} = 1 + 0,5 + 2,5 + 2 \times 21 + 1,5 + 4,0 + 2,0 = 53,5 \text{ м}$$

где  $П_{СО}$  - ширина площадки для сбора осыпи, м (СП 37.13330.2012, п 7.5.2);  
 $П_{ВК}$  - ширина водоотводной канавы-лотка, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 24);  
 $П_{ОВ}$  - ширина обочины со стороны вышележащего уступа, м (СП 37.13330.2012, таблица 7.9);

$П_{П}$  - ширина проезжей части, (СП 37.13330.2012, п 7.4.9);

$П_{ОН}$  - ширина обочины со стороны нижележащего уступа, м (ПБ 03-498-02, п. 378);





ПОВ - ширина ориентирующего породного вала, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 23);

ПВ - ширина полосы выветривания от края уступа до ориентирующего вала, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 24).

### 3. Ширина основания траншеи при тупиковой подаче транспорта

$$\text{ШТР} = 2 \times \text{ПСО} + 2 \times \text{ПВК} + 2 \times \text{ПОВ} + \text{ПП}, \text{ м(3)}$$

$$\text{ШТР} = 2 \times 1 + 2 \times 0,5 + 2 \times 1,5 + 19 = 25 \text{ м}$$

где: ПСО - ширина площадки для сбора осыпи, м (СП 37.13330.2012, п 7.5.2);

ПВК - ширина водоотводной канавы-лотка, м (ВНТП 35-86, п. 16.7, таблица 24);

ПОВ - ширина обочины со стороны вышележащего уступа, м (СП 37.13330.2012, таблица 7.9);

ПП - ширина проезжей части при тупиковом развороте автомобиля.

Затраты на сооружение и содержание технологических автодорог карьеров составляют в основном в пределах 5 ÷ 8 % от затрат на транспортирование горной массы автотранспортом, или 1,5 ÷ 4,0 % от полной стоимости открытой добычи. Причем не менее двух третей от них идет на содержание и ремонт.





## АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРЬЕРНОЙ ПЫЛИ

Бровина Т.А.

научный руководитель Морин А.С.

Сибирский Федеральный университет

Современный уровень открытых горных работ характеризуется большой мощностью используемого оборудования и высокой интенсивностью технологических процессов на глубинах до 300÷600 м. Работа машин и механизмов (буровые станки, экскаваторы, автотранспорт и др.) в карьере сопровождается выделением большого количества пыли (рис. 1). При этом её концентрация в воздухе рабочих зон может изменяться от 0,5 до 10000 мг/м<sup>3</sup>. В ветреную погоду на динамику запылённости атмосферы карьера существенное влияние способны оказывать внешние факторы, обычно связанные с переносом в карьер пыли, сдуваемой ветром с поверхности прилегающих отвалов. Известны случаи, когда при скорости ветра 8 м/с в результате срыва поверхностного слоя с внешних отвалов запылённость воздуха в карьере в периоды прекращения горных работ достигала 5 мг/м<sup>3</sup> [1].

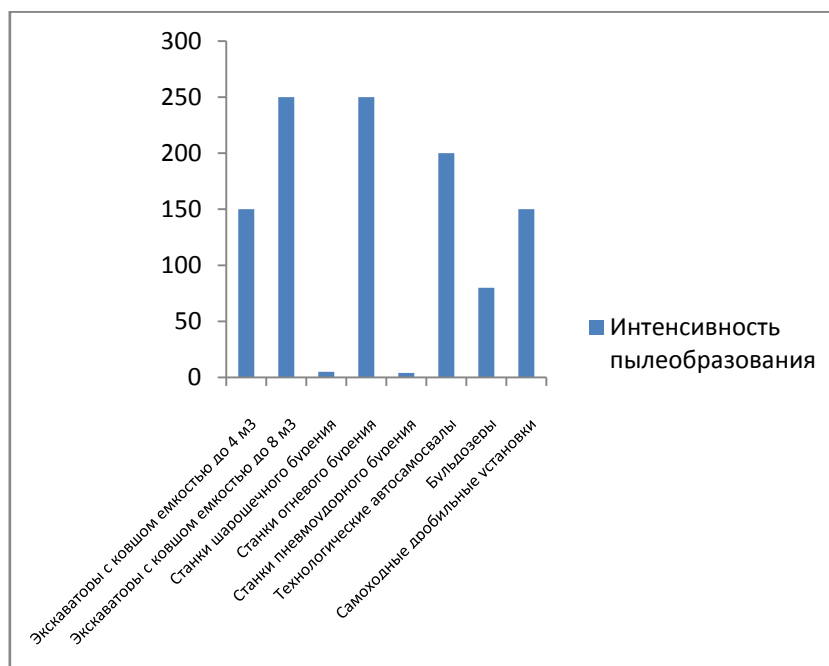


Рис. 1. Интенсивность пылеобразования при работе горнодобывающего оборудования

В настоящее время проблема сверхнормативного загрязнения атмосферы особо остро проявляется на российских глубоких карьерах, расположенных в районах Урала, Восточной Сибири и Западной Якутии, где вынужденные простои производства по причине значительной запыленности и загазованности превышают 15÷20 % времени года. Пылевая нагрузка отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях горного оборудования, ускоряет износ трущихся деталей машин (особенно двигателей и компрессоров), приводит к росту числа профессиональных заболеваний и к снижению трудоспособности персонала (вследствие неудовлетворительной видимости и дискомфорта).

та при осаждении на слизистую оболочку органов дыхания и внутренние поверхности глазных век и слуховых проходов).

Геометрия глубоких карьеров предполагает наличие внутренних зон рециркуляции воздуха значительного объёма и малую инсоляцию дна и бортов. Высокая степень изоляции выработанного пространства от внешней среды в глубоких карьерах восточной части нашей страны усугубляется действием холодного климата, когда при дефиците тепла увеличиваются продолжительность и частота периодов с инверсионной стратификацией внутрикарьерной атмосферы. В результате ослабления или прекращения естественного воздухообмена запылённость воздуха на рабочих местах в таких карьерах часто превышает ПДК в сотни и тысячи раз. Задача борьбы с пылью в этих условиях требует особенно больших затрат, в основном по причине невозможности применения в течение значительной части времени года сравнительно недорогих методов мокрого пылеулавливания.

Известно, что степень вредного воздействия пыли на оборудование и персонал карьера определяется её физико-химическими свойствами и её концентрацией в воздухе. В свою очередь, свойства пылевых частиц в основном зависят от их минералогического и химического состава и от их крупности.

В зависимости от крупности частиц различают:

- крупную пыль (100÷500 мкм), которая легко выпадает из потоков газа;
- мелкую пыль (10÷100 мкм), которая оседает в спокойной среде;
- тонкую пыль – туманы (0,1÷10 мкм), которая трудно оседает даже в спокойной газовой среде;
- весьма тонкую пыль – думы (< 0,1 мкм), находящуюся в броуновском движении и неоседаемую в обычных условиях.

Более подробная характеристика изменения свойств пыли в зависимости от крупности частиц приведена в табл. 1 [2].

Дисперсность витающей пыли в карьерах чрезвычайно высока. Так, в атмосфере Сибайского карьера при экскаваторных работах, на дорогах при движении автосамосвалов вся пыль имеет размеры до 5 мкм, в том числе 98 % частичек – 2 мкм и меньше. В кабинах экскаваторов Высокогорского, Гороблагодатского и Лебединского железнорудных, Гайского серно-обогатительного и Сорского молибденового карьеров число пылинок до 3 мкм составляет 75÷80 %. Частички пыли до 2 мкм на различных рабочих местах в Коркинских и Богословских карьерах составляют 71÷73 %.

Таблица 1. Свойства пыли в зависимости от размера частиц

| Показатель                     | Размер частиц, мкм    |                        |                              |              |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|--------------|
|                                | >5                    | 0,1÷5                  | 0,001÷0,1                    | <0,001       |
| Характеристика частиц          | Грубодисперсные       | Тонкодисперсные        | Коллоидные                   | Молекулярные |
| Видимость при наблюдении       | Видимы простым глазом | Видимы под микроскопом | Видимы под ультрамикроскопом | Не видимы    |
| Способность к диффузии         | Не способны           | Почти не способны      | Способны с малой скоростью   | Способны     |
| Способность к коагуляции       | Не способны           | Способны               | Способны                     | Не способны  |
| Участие в броуновском движении | Не участвуют          | Небольшое участие      | Участвуют                    | Участвуют    |



Максимальный размер отдельных пылинок, попадающих в легкие человека, обычно не превышает 10 мкм, основное количество частиц имеет размер 5 мкм и ниже. Наиболее опасными считаются частицы размеры которых не превышают 2 мкм.

Дисперсный состав пыли можно представить в виде содержания по числу или по массе частиц различных фракций. Фракцией называют относительную долю частиц, размеры которых находятся в определенном интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов.

Большинство промышленных пылей подчиняется нормально-логарифмическому закону распределения частиц по размерам. В этом случае интегральная кривая распределения частиц по размерам может быть выражена аналитически [3, 4]

$$D(d_q) = \frac{100}{\lg \sigma_q \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2\lg^2 \sigma_q}} d \lg d_q, \quad (1)$$

где  $D(d_q)$  – относительное содержание частиц меньше данного размера  $d_q$ , %;  $\lg(\sigma_q)$  – среднее квадратичное отклонение в функции данного распределения;  $\lg(d_q/d_m)$  – логарифм отношения текущего размера  $d_q$  к медианному для данного распределения размеру  $d_m$ , который представляет собой такой размер, при котором число частиц крупнее  $d_m$  равно числу частиц мельче  $d_m$ .

Наиболее удобным для отображения результатов анализа дисперсного состава пыли является их графическое представление в виде интегральных кривых. Изображённые на рис. 2 кривые распределения частичек пыли в атмосфере Ангреноского разреза [3], указывают на то, что витающая в разрезе пыль полидисперсна и содержит до 95 % частиц с размерами не более 10 мкм.

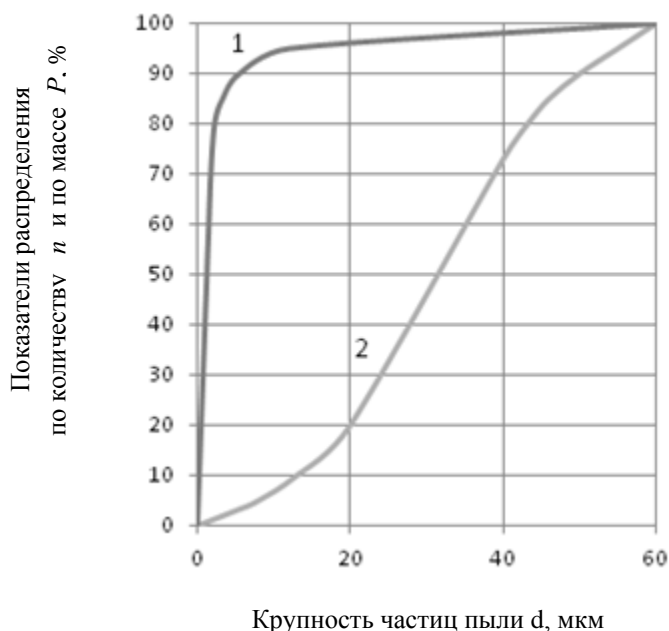


Рис. 2. Интегральные кривые распределения частичек витающей пыли по количеству (1) и по массе (2) в общей атмосфере Ангреноского разреза

Токсичность пыли в карьерах возрастает вследствие адсорбции на её поверхности ряда ядовитых газов. Исследования, проведенные в карьерах Кривбасса, показали, что пыль, образующаяся при массовых взрывах, содержит следы окиси углерода, до

0,219 мг/г окислов азота и до 0,475 мг/г акролеина. Пыль экскаваторных забоев, кроме следов окиси углерода, содержит до 0,0018 мг/г двуокиси азота и до 0,325 мг/г акролеина. Пыль сухих карьерных и отвальных дорог содержит до 0,58 мг/г акролеина, а орошенных – до 0,075 мг/г [1].

Опасность лёгочных заболеваний возрастает с увеличением содержания в пылевой аэрозоли свободной двуокиси кремния. При этом отмечено, что удельная доля двуокиси кремния в составе пыли на железорудных карьерах изменяется от 5,5 до 16,7 %, а на карьерах, добывающих руды цветных металлов, она может достигать 60 %.

Особую опасность представляют пылевые образования в атмосфере карьеров, добывающих радиоактивные руды. Вдыхание пылей, содержащих уран, радий, радиоактивный свинец, соединения тория, полоний и другие изотопы, а также пыли с адсорбируемыми на ней из воздуха короткоживущими продуктами распада радона, активность которых на четыре-пять порядков превышает активность указанных выше веществ, приводит к внутреннему облучению и раку лёгких.

#### **Библиографический список**

1. Филатов С.С. Вентиляция карьеров. –М.: Недра, 1981. – 206 с.
2. Руденко К.Г., Калмыков А.В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1987. – 264 с.
3. Никитин В.С., Битколов Н.З. Проветривание карьеров. –М.: Недра, 1975. – 256 с.
4. Исследование процесса улавливания твердых частиц в высокоэффективных скрубберах вихревого типа. / Каз. гос. технол. ун-т; сост. А.А.Овчинников, Н.З.Дубкова, М.Г.Кузнецов, А.О.Панков, А.Н. Николаев. Казань: КГТУ, 2009. -77 с.



**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОДОБИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АДАПТИВНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ  
РАБОЧЕГО ОРГАНА БУРОВОГО СТАНКА**

**Волков А.А. Шигин А.О**

**научный руководитель д-р техн. наук, профессор, заведующий  
кафедрой А.В Гилев**

*Сибирский федеральный университет*

Исследования процессов, протекающих в технологических установках, установление закономерностей их протекания, нахождение зависимостей, необходимых для их анализа и расчета, можно проводить методом подобия.

Метод подобия позволяет с достаточной для практики точностью изучать сложные процессы на более простых моделях, обобщать результаты опытов и получать закономерности, справедливые не только для данного процесса, но и для всей группы подобных процессов. При моделировании процессов можно вместо дорогостоящих трудоемких опытов на промышленных установках проводить исследования на моделях значительно меньших размеров, а вместо зачастую опасных и вредных веществ использовать безопасные модельные вещества, опыты проводить в условиях, отличных от производственных. Кроме того, материальную модель можно заменить физической схемой (моделью), отражающей существенные особенности данного процесса [1].

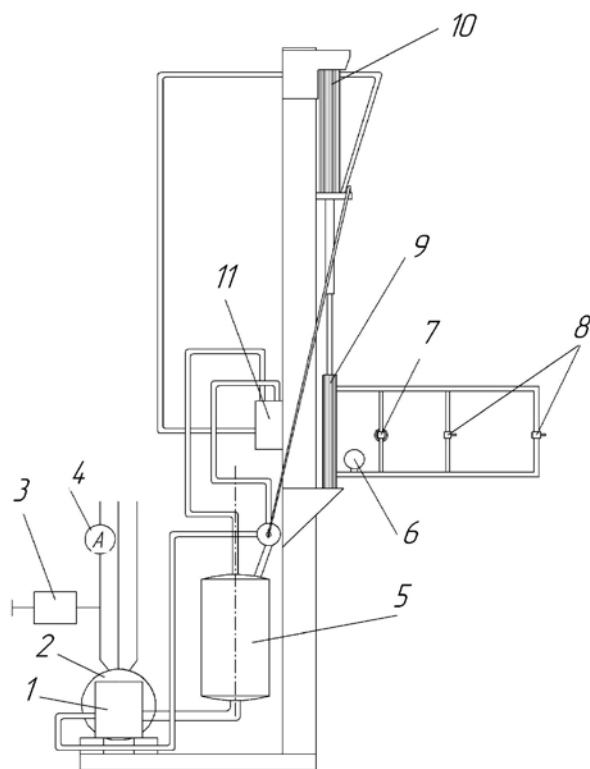
Различают следующие виды подобия: геометрическое; временное; физических величин; начальных и граничных условий.

Для исследования ударных нагрузок на созданном нами стенде (рисунок 1), «Исследовательский стенд для моделирования ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных пород», был использован вид подобия физических величин.

Проведение эксперимента заключается в следующем. Стенд имеет один регулировочный кран и три крана сброса давления в гидросистеме. На штоке гидроцилиндра через каждый сантиметр нанесены риски необходимые для определения величины, на которую опускается шток гидроцилиндра. Регулировочный кран также имеет шкалу деления в процентах от угла открытия и закрытия крана, который составляет 90 градусов.

Степень открытия регулировочного крана характеризует жесткость удара рабочего органа бурового става о поверхность забоя. Таким образом, полностью закрытый регулировочный кран (положение 0°) моделирует абсолютно жесткий удар, который смягчается только упругим сжатием жидкости в гидроцилиндре системы подачи. Такой режим работы моделирует работу гидромеханической системы подачи рабочего органа бурового станка, то есть, это соответствует резкому изменению линейной скорости движения бурового става. Частично открытый регулировочный кран моделирует определенную жесткость горной породы, характеризующую уменьшение скорости бурения в результате увеличения показателя буримости горной породы и преждевременный износ бурового инструмента. Полностью открытый регулировочный кран (положение 90°) характеризует отсутствие сопротивления движению бурового става.





*Рисунок.1. Схема исследовательского стенда для моделирования ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных массивов. 1 – насос шестеренчатый Г11-22; 2 – трехфазный асинхронный электродвигатель; 3 – осциллограф; 4 – амперметр; 5 – масляный бак; 6 – манометр; 7 – кран шаровый рабочий; 8 – краны шаровые, регулировочные; 9 – гидроцилиндр измерительный; 10 – гидроцилиндр рабочий; 11 – золотник.*

В лабораторном стенде имеется рабочий гидроцилиндр по подобию, как и на буровом станке, но меньших размеров, в который подается рабочая жидкость при помощи насоса объемного действия, исключающего обратное перетекание жидкости в камере насоса в случае гидроудара. Это необходимо для обеспечения жесткой связи между создаваемыми скачками давления в измерительном гидроцилиндре и скачками тока в обмотке двигателя, вращающего вал насоса. Двигатель лабораторного стенда имеет такую же конструкцию, как и на рабочем буровом станке. Моделируемые в стенде ударные нагрузки фиксируются в виде скачков тока в обмотке двигателя 2 при помощи осциллографа 3 и амперметра 4.

В результате проведения экспериментов была условно установлена степень открывания регулировочного крана и соотнесена с показателем буримости Пб. Было установлено, что он меняется от 0 до 25. Кроме того, получены и другие показатели, характеризующие специфику работы гидропривода. Например, при резком перепаде давления в гидросистеме обнаруживается запаздывание реагирования на этот перепад шестеренного насоса.

Проведя аналогию между работами стенда и системой подачи рабочего органа бурового станка, следует сделать вывод о том, что запаздывание регулирования режимов работы гидросистемы приводит к несвоевременному управлению режимами бурения скважин, в том числе осевого усилия на рабочий орган. Именно в этот период запаздывания буровой инструмент работает в режиме перегрузки, что и приводит к его преждевременному выходу из строя.



**СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МОНОМИНЕРАЛЬНОГО  
МИКРОНИЗИРОВАННОГО ТАЛЬКОВОГО КОНЦЕНТРАТА  
ИЗ ТАЛЬК-МАГНЕЗИТОВЫХ РУД.**

**Губкин С.В. Наилов Э. Э.**

**научный руководитель старший преподаватель Шипко. Е. М.**  
*Сибирский федеральный университет*

Изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано в производстве мономинерального микронизированного талькового концентрата из тальк-магнезитовых руд. Технический результат - увеличение объемов производства высококачественного талькового концентрата, доступного для многих потребителей. Способ включает дробление, дезинтеграцию и упаковку. Дополнительно включает избирательную стадийную флотацию тальковых минералов микронного уровня пузырьками воздуха или кислорода, сгущение, сушку. Процессы дезинтеграции и избирательной флотации осуществляют одновременно. Процесс дезинтеграции осуществляют с использованием сил механического удара, трения между минеральными частицами, явления резонанса и кавитации. 2 ил.

Предлагаемое изобретение относится к горной промышленности и может использоваться в производстве мономинерального микронизированного талькового концентрата из тальк-магнезитовых руд. Месторождения тальк-магнезитовых руд по Б. П. Уральскому связаны с ультраосновными изверженными породами. Месторождения этого типа имеют широкое распространение и служат основным источником талька, однако качество талькитов серпентинитового типа невысокое. По своим запасам и масштабам залежей тальк-магнезитового камня значительно больше, чем месторождений талькитов, расположенных в Восточных районах РФ. Запасы тальк-магнезитовых руд Уральских месторождений исчисляются миллионами, а в некоторых месторождениях десятками миллионов тонн.

Мировое потребление талькового концентрата в 1999-2000 гг. достигло 6410 тыс.т. Основные потребители - бумажная, лакокрасочная, пластмассовая, косметическая отрасли промышленности. Растущая важность очистки загрязненных сточных вод породила новую область применения талька: он помогает увеличить плотность скопления бактерий (флоков), позволяя эффективно идентифицировать их и тем самым облегчает их удаление из очищаемой воды.

Минерал тальк  $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$  представляет собой гидросиликат магнезия, промышленность использует его в качестве наполнителя. Требования промышленности к качеству талькового концентрата определяется ГОСТами и ТУ. В производстве бумаги, пластмассы, парфюмерии, косметики, медицинской и пищевой отраслях промышленности требуется мономинеральный микронизированный тальковый концентрат.

В настоящее время в РФ качественный тальковый концентрат производят из талькитов (Аршинов и др., 1945; Романович 1963), т.е., исходной чистой руды, методами сухого и мокрого обогащения.

В промышленных масштабах применяют мокрую технологическую схему обогащения тальк-магнезитовых руд на Шабровской флотационной фабрике, Свердловской области РФ, фиг. 1.

Общие признаки: крупное дробление, среднее дробление, флотация, обезвоживание, сушка. Исходная руда после крупного и среднего дробления



измельчается в мельницах до фракции -0,21 мм, которая затем подвергается флотации во флотомашинах. Камерный продукт, после первой перемешивающей флотации, измельчают до фракции - 0,15 мм и флотируют. Технологическая схема включает стадийное измельчение в мельницах, стадийную флотацию, очистные операции флотации талька. Флотацию талька осуществляют во флотомашинах с применением химических реагентов.

Недостатки приведенной технологической схемы - это необходимость стадийного измельчения, флотация талька с помощью химических реагентов, сложное и энергоемкое технологическое оборудование, невысокое качество товарной продукции, поскольку в процессе стадийного измельчения, минералы, входящие в состав тальк-магнезитовой руды измельчают совместно с тальком, и в процессе флотации во флотомашине одновременно с тальком они химическими реагентами поднимаются в пенный продукт, поэтому требуются очистные операции флотации талька, которые однако не позволяют получать мономинеральный концентрат. Химические реагенты также загрязняют конечную товарную продукцию и ухудшают его качество, а в конечном итоге товарная продукция имеет высокую себестоимость.

Приведенная технологическая схема обогащения не позволяет из тальк-магнезитовых руд производить товарную продукцию высокого качества, поэтому для производства высококачественной товарной продукции талькиты завозят из Восточных районов РФ (Красноярского края, Иркутской и Кемеровской областей). Миасская и Шабровская тальковые фабрики построены на месторождениях тальк-магнезитового камня, запасы которого десятки миллионов тонн, однако качественную продукцию они производят из привозных высококачественных талькитов.

В качестве аналога, прототипа, принят "Способ производства мономинерального микронизированного талькового концентрата из тальк-магнезитовых руд" включающий дробление, дезинтеграцию, упаковку. Недостаток прототипа - невозможность получить высококачественный тальковый концентрат из тальк-магнезитовых руд.

Отличием предлагаемого изобретения является то, что способ дополнительно включает флотацию тальковых минералов пузырьками воздуха или кислорода, сгущение, сушку, при этом процессы дезинтеграции и флотации осуществляют одновременно, и процесс дезинтеграции осуществляют с использованием силы механического удара, трения между минеральными частицами, явлений резонанса и кавитации.

Технический результат предлагаемого изобретения - производство мономинерального микронизированного талькового концентрата из тальк-магнезитовых руд путем использования природных ярко выраженных особенностей минерала, это: естественная высокая гидрофобность, совершенная спайность, низкая твердость по шкале Мооса. Производство высококачественного талькового наполнителя по доступной основным потребителям цене позволит значительно увеличить сектор применения талькового концентрата. По своим технологическим свойствам тальковый концентрат значительно превосходит мел и каолин, следовательно, и конечная продукция (бумага, пластмассы, косметика, лаки, краски) будут высокого качества, по доступной цене для потребителей. Поставленный результат достигают следующим путем: исходную тальк-магнезитовую руду дробят до фракции -10 + 0 мм (фиг.1), затем дезинтегрируют, флотируют, сгущают, сушат и упаковывают.

Технологическая схема на фиг. 1 позволяет не переизмельчать попутные минералы (хлорит, магнезит, магнетит, серпентинит и др.), процессы дезинтеграции и флотации осуществлять одновременно, стадийную флотацию талька осуществить





пузырьками воздуха или кислорода и получать несколько сортов талькового концентрата высокого качества.

Процессы дезинтеграции и флотации осуществляют одновременно в машине специальной конструкции, в которой для дезинтеграции используются: - сила механического удара; - сила трения между минеральными частицами; - явления - резонанс и кавитация.

Сила механического удара возникает при столкновении минеральных агрегатов с металлическими препятствиями.

Сила трения между минеральными частицами возникает в момент внезапного торможения переднего фронта движущегося потока пульпы, которое сопровождается резким повышением давления.

Явления резонанс и кавитация возникают в результате наложения пульсаций потока пульпы и в момент прохождения пульпой внезапно расширяющегося канала (диффузора).

Под воздействием силы механического удара минеральные агрегаты дробятся на более мелкие; под воздействием силы трения, явления резонанса и кавитации осуществляется дезинтеграция и перетирание талькового минерала до микронного уровня.

Элементарный акт флотации пузырьками воздуха осуществляется в момент внезапного торможения потока пульпы и в момент прохождения пульпы внезапно расширяющегося канала (диффузора).

По А. Н. Фрумкину, процесс закрепления воздушного пузырька на твердой поверхности происходит в такой последовательности: 1) сближение частицы и пузырька воздуха до расстояния  $h_3$  (толщина гидратной пленки); 2) разрыв гидратного слоя; 3) закрепление частицы на воздушном пузырьке и образование остаточного гидратного слоя толщиной  $h_4$ .

При сближении частицы и воздушного пузырька до толщины остаточной гидратной пленки, процесс идет вследствие возрастания свободной энергии (от точки а до точки б) при толщине водной прослойки  $h_1$ , фиг.2. При сближении частицы и воздушного пузырька до толщины остаточной гидратной прослойки  $h_3$ , пленка воды становится тонкой и крайне неустойчивой, с этого момента пузырек скачкообразно слипается с частицей по площади контакта.

Кинетика разрушения прослойки воды определяет кинетику их слипания. Частица и пузырек должны столкнуться в пульпе с некоторой силой, необходимой для преодоления сопротивления водной прослойки разрушению.

Вышеприведенные условия, необходимые для закрепления воздушного пузырька на твердой поверхности, создаются и регулируются в машине специальной конструкции, одновременная аэрация пульпы тонко дисперсными пузырьками воздуха (кислорода) ускоряет и скорость флотации и позволяет вести избирательную флотацию тальковых минералов микронного уровня.

Способ производства мономинерального микронизированного талькового концентрата из тальк-магнезитовых руд, включающий дробление, дезинтеграцию, упаковку, отличающийся тем, что способ дополнительно включает избирательную стадийную флотацию тальковых минералов микронного уровня пузырьками воздуха или кислорода, сгущение, сушку, при этом процессы дезинтеграции и избирательной флотации осуществляют одновременно, и процесс дезинтеграции осуществляют с использованием сил механического удара, трения между минеральными частицами, явлений резонанса и кавитации.

Способ производства мономинерального микронизированного талькового концентрата из тальк-магнезитовых руд.



## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СТРУННОГО ГРОХОТА

Игнатова О. С., Кригер А. И.,

научный руководитель д-р техн. наук Демченко И. И.

Сибирский федеральный университет

Для сортировки угля (грохочения) по классам крупности применяют сортировочные машины. Однако существующие сортировочные машины (инерционные, самобалансные грохота (ГИЛ, ГИС) и др.) имеют привод и обладают большой массой. В известных конструкциях движение сортируемого материала по просеивающей поверхности грохота ведет к измельчению продукта, износу сит, при этом одновременное разделение материала на фракции становится проблематичным.

В струнном грохоте (СГ) применен гравитационный метод сортировки, основанный на энергии скользящего и перекатывающего сортируемого материала на наклонной просеивающей плоскости. Данная конструкция (рис. 1), которая в настоящее время патентуется в патентном ведомстве РФ, отличается простотой, отсутствием привода, меньшей по сравнению с применяемыми грохотами массой и позволяет применять ее на угольных разрезах и шахтах любой производительности. Грохот обеспечивает получение классов 0...13, 13...25, 25...50, 50...100, 100...200, 200...300.

Для проектирования СГ с требуемой производительностью необходимо выбрать и обосновать его конструктивные и режимные параметры, которые можно определить после детального анализа его рабочих процессов. Комплекс параметров, полученный в результате анализа, представлен в виде схемы на рис. 2.



Рис. 1. Действующая модель струнного грохота: 1 - загрузочный бункер, 2 передняя стенка (из оргстекла), 3 - просеивающие секции, 4 - ворошители, 5 - струны просеивающих секций, 6 - приемные бункеры



Рис. 2. Схема параметров, влияющих на работу струнного грохота:  $Q_{тр}$  – требуемая производительность,  $м^3/ч$ ;  $Q_{з.б.}$ ,  $Q_{п.б.}$  – пропускные способности загрузочного и приемных бункеров,  $м^3/ч$ ;  $C_n$  – способ подачи сортируемого материала;  $v_{дв.м}$  – скорость движения горной массы по рабочей поверхности грохота,  $м/с$ ;  $P_{с.м.}$  – характеристика сортируемого материала ( $\gamma$  – плотность,  $кг/м^3$ ;  $w$  – влажность, %;  $a$  – гранулометрический состав,  $мм$ ;  $\delta$  – абразивность,  $мг$ ;  $k_p$  – коэффициент работы грохота;  $t_э$  – время эксплуатации,  $ч$ ;  $t_p$  – время, затрачиваемое на ремонт,  $ч$ ;  $t_n$  – время простоев,  $ч$ ; габариты грохота ( $L_э$  – длина,  $B_э$  – ширина,  $H_э$  – высота грохота),  $мм$ ;  $M_э$  – масса грохота,  $кг$ ;  $L_{з.б.}$ ,  $L_{п.б.}$  – длина загрузочного и приемных бункеров,  $мм$ ;  $B_{з.б.}$ ,  $B_{п.б.}$  – ши-

рина загрузочного и приемных бункеров, мм;  $H_{з.б.}$ ,  $H_{п.б.}$  – высота загрузочного и приемных бункеров, мм;  $N$  – количество ворошителей, шт;  $K$  – количество лопаток ворошителя, шт.;  $l_n$  – длина лопатки ворошителя, мм;  $b_n$  – ширина лопатки ворошителя, мм;  $l_{м.в.}$  – расстояние между ворошителями по длине просеивающей секции, мм;  $l_{д.с.}$  – расстояние от оси ворошителя до струн просеивающей секции, мм,  $l_в$  – величина выступа лопатки ворошителя над просеивающей секцией, мм;  $L_{п.с.}$ ,  $B_{п.с.}$  – соответственно, длина и ширина передней стенки, мм;  $\beta$  – угол наклона передней стенки, град;  $n$  – количество просеивающих секций, шт;  $b_i$  – расстояние между струнами, мм;  $z$  – количество струн на просеивающей секции, шт;  $d_c$  – диаметр струн, мм;  $P_n$  – натяжное усилие струн, Н;  $l_{п.с.}$ ,  $b_{п.с.}$  – соответственно, длина и ширина просеивающей секции, мм;  $\alpha$  – угол наклона просеивающей секции, град

Выбор и обоснование параметров струнного грохота осуществляется с учетом его конструктивных особенностей, эксплуатационных показателей и свойств сортируемого материала при обеспечении требуемой производительности. Поэтому все параметры объединены в четыре группы: 1 – производительность грохота; 2 – конструктивные; 3 – эксплуатационные; 4 – характеристика сортируемого материала.

1. Требуемая производительность  $Q_{пр}$  является одним из основных параметров. Его значения задаются и в дальнейшем расчет остальных параметров ведется так, чтобы обеспечить заданную производительность. Производительность также зависит от скорости движения сортируемого материала по рабочим поверхностям  $v_{дв.м}$ , м/с; способа подачи материала  $C_n$  на грохот (равномерный или неравномерный грузопоток); пропускной способности загрузочного  $Q_{з.б.}$  и приемных  $Q_{п.б.}$  бункеров, м<sup>3</sup>/ч.

2. К конструктивным параметрам относятся: габариты грохота ( $L$  – длина,  $B$  – ширина,  $H$  – высота грохота, мм);  $M_{г}$  – масса грохота, кг;  $L_{п.с.}$ ,  $B_{п.с.}$  – длина и ширина передней стенки, мм;  $\beta$  – угол наклона передней стенки грохота, град;  $l_{п.с.}$ ,  $b_{п.с.}$  – длина и ширина просеивающей секции, мм;  $\alpha$  – угол наклона просеивающей секции, град;  $n$  – количество просеивающих секций, шт;  $d_c$  – диаметр струн (канатов), мм;  $b_i$  – расстояние между струнами, задаваемое в зависимости от требуемого получения гранулометрического состава рассортированной горной массы, мм;  $P_n$  – натяжное усилие струн, Н; параметры загрузочного и приемных бункеров ( $L_{з.б.}$ ,  $L_{п.б.}$  – длина загрузочного и приемных бункеров, мм;  $B_{з.б.}$ ,  $B_{п.б.}$  – ширина загрузочного и приемных бункеров, мм;  $H_{з.б.}$ ,  $H_{п.б.}$  – высота загрузочного и приемных бункеров, мм).

Для повышения эффективности сортировки в конструкции струнного грохота применены ворошители, задача которых заключается в обеспечении переворачивания кусочков горной массы и сбрасывания с них более мелких частиц и пыли. Поэтому конструктивные параметры самих ворошителей также отнесены к конструктивным параметрам грохота. К ним относятся:  $N$  – количество рядов ворошителей на просеивающей секции, шт.;  $K$  – количество лопаток ворошителя, шт.;  $\varphi$  – угол установки лопаток ворошителя относительно друг друга, град;  $l_n$  – длина лопатки ворошителя, мм;  $l_{м.в.}$  – расстояние между ворошителями по длине просеивающей секции, мм.;  $l_{д.с.}$  – расстояние от оси ворошителя до струн просеивающей секции, мм,  $l_в$  – величина выступа лопатки ворошителя над просеивающей секцией, мм.

3. Эксплуатационные показатели струнного грохота учитывают режим работы грохота (сменность)  $k_p$ ; время эксплуатации  $t_э$ , ч; время, затрачиваемое на ремонт  $t_{рем}$  (включает в себя время на капитальный и текущий ремонты), ч; время простоев  $t_n$  (в выходные и праздничные дни), ч, которые влияют на эксплуатационную производительность.

4. Характеристика сортируемого материала  $P_{с.м.}$ . Основные свойства сортируемой горной массы (угля):  $\gamma$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – влажность, %;  $a$  – гранулометриче-



ский состав, поступающий на грохот для сортировки и получаемый в зависимости от типа добывающего оборудования или предварительного дробления, мм;  $\delta$  – абразивность, мг.

Таким образом, можно выделить следующие основные параметры, рассчитываемые при проектировании СГ:

- пропускная способность бункера  $Q_b$ , м<sup>3</sup>/ч;
- габариты грохота ( $L$  – длина,  $B$  – ширина,  $H$  – высота), м;
- масса грохота  $M_g$ , кг;
- длина передней стенки  $L_{н.с.}$ , м;
- ширина передней стенки  $B_{н.с.}$ , м;
- угол наклона передней стенки грохота  $\beta$ , град;
- длина просеивающей секции  $l_{пр.с.}$ , м;
- ширина просеивающей секции  $b_{пр.с.}$ , м;
- угол наклона струн просеивающих секций  $\alpha$ , град;
- диаметр струн  $d_c$ , мм;
- натяжное усилие струн  $P_n$ , Н;
- количество рядов ворошителей на просеивающей секции  $N$ , шт;
- количество лопаток ворошителя  $K$ , шт;
- длина лопатки ворошителя  $l_l$ , мм;
- расстояние между ворошителями по длине просеивающей секции  $l_{м.в.}$ , м;
- расстояние от оси ворошителя до струн просеивающей секции  $l_{о.с.}$ , мм;
- величина выступа лопатки ворошителя над просеивающей секцией  $l_в$ , мм.

Предложенная схема позволяет наглядно оценить влияние различных параметров СГ друг на друга при заданной производительности, провести их расчет и оптимизацию.





## **КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ СТРУННОГО ГРОХОТА**

**Игнатова О. С., Кригер А. И.,**

**научный руководитель д-р техн. наук Демченко И. И.**

*Сибирский федеральный университет*

На данный момент используется огромное количество различных по конструкции и назначению сортировочных машин, которые осуществляют следующие типы грохочения [1, 2]:

- 1) предварительное (для отделения крупного класса и направления его в дробилку);
- 2) вспомогательное (отделение мелкого класса от дробленого материала);
- 3) совмещенное;
- 4) подготовительное (получение продуктов различных классов с целью дальнейшего обогащения);
- 5) окончательное (в угольной промышленности – получение угля или антрацита, отвечающего требованиям стандарта по крупности);
- 6) обезвоживающее (удаление воды, содержащейся в исходном продукте);
- 7) избирательное (в угольной промышленности – разделение угля не только по крупности, но и по качеству).

Схема предлагаемого струнного грохота представлена на рис. 1, 2. Его конструкция позволяет за счет шарниров и раздвижных приемных бункеров изменять угол наклона передней стенки и просеивающих секций, что расширяет границы сортировки материала различного гранулометрического состава.



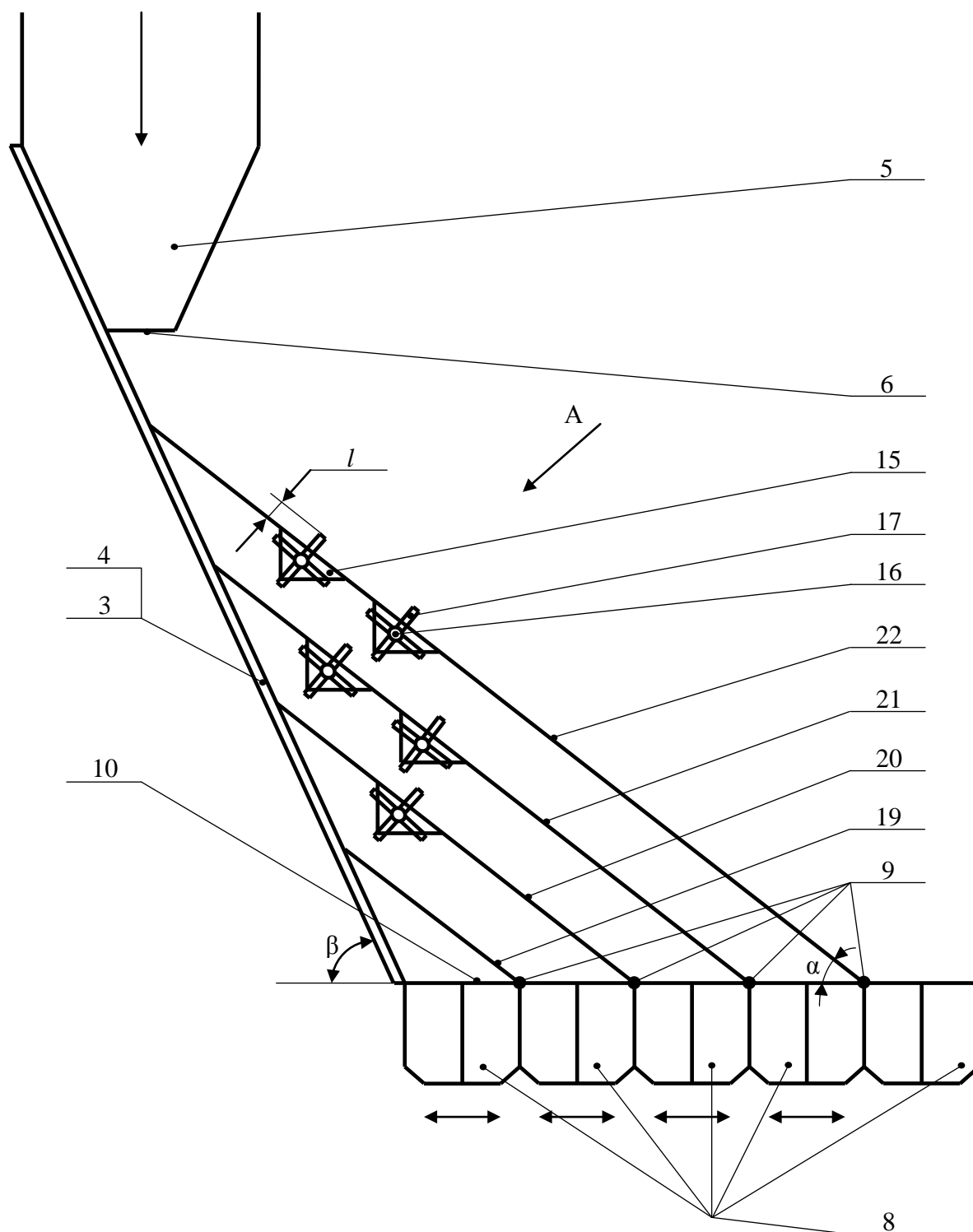


Рис. 1. Схема струнного грохота: 3 – передняя стенка; 4 – борт; 5 – загрузочный бункер; 6 – шиберный затвор; 8 – приемные бункеры; 9 – шарниры; 10 – горизонтальные направляющие; 15 – уголки; 16 – поперечные струны; 17 – ворошители; 19 – первая просеивающая секция; 20 – вторая просеивающая секция; 21 – третья просеивающая секция; 22 – четвертая просеивающая секция



Вид А

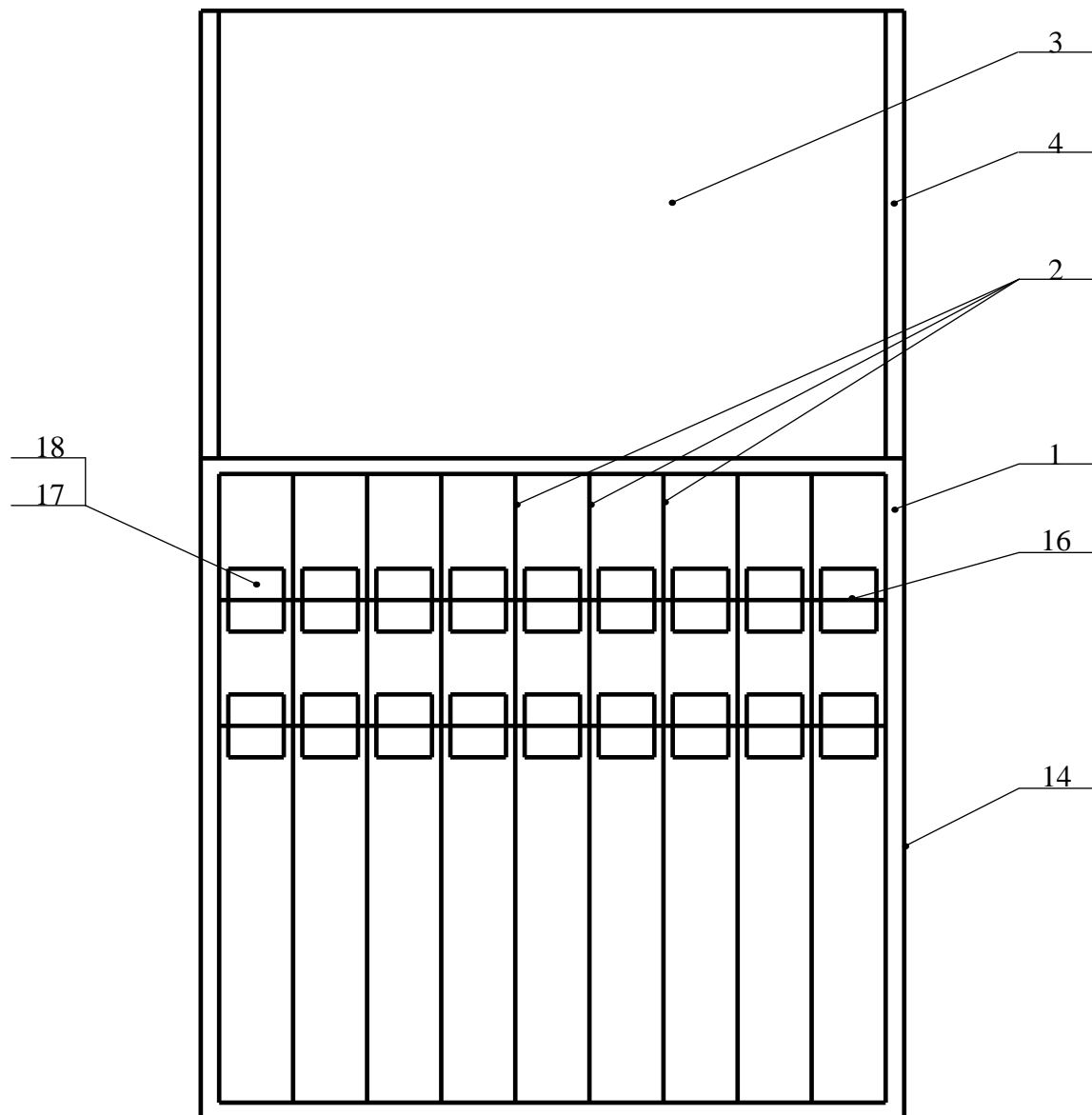


Рис. 2. Вид А рис. 1 струнного грохота: 1 – рама; 2 – струны; 3 – передняя стенка; 4 – борт; 14 – боковая кромка; 16 – поперечные струны; 17 – ворошители; 18 – лопатки ворошителя

В струнном грохоте используется гравитационный метод, сортировки материала (предпочтительно угля) суть которого заключается в следующем. При выходе куска угля 1 (рис. 3) из загрузочного бункера грохота он попадает на поверхность передней стенки 2, имеющей определенный угол наклона  $\beta$ . Передняя стенка обеспечивает подачу сортирующего материала на просеивающие секции «мягким», нетравмирующим способом. При этом обеспечивает наращивание кинетической энергии сортируемых кусков, необходимой для движения по просеивающим поверхностям и переворачивания, ворошения этих кусков, для стряхивания с них более мелких фракций и пыли. Скатываясь по этой поверхности, кусок приобретает некоторую силу инерции, равную

$$F_{ul} = m \cdot a_1, \quad (1)$$



где  $m$  – масса угля, кг;

$a_1$  – ускорение на поверхности передней стенки,  $\text{м/с}^2$ .

После окончания поверхности стенки движение продолжается на просеивающем струнном поле 3 с углом наклона  $\alpha$ , на котором возникает суммарная сила инерции, равная

$$F_{u.об.} = F_{u1} + F_{u2}. (2)$$

Силу инерции на струнном поле определим по формуле:

$$F_{u2} = m \cdot a_2, (3)$$

где  $a_2$  – ускорение на струнном поле,  $\text{м/с}^2$ .

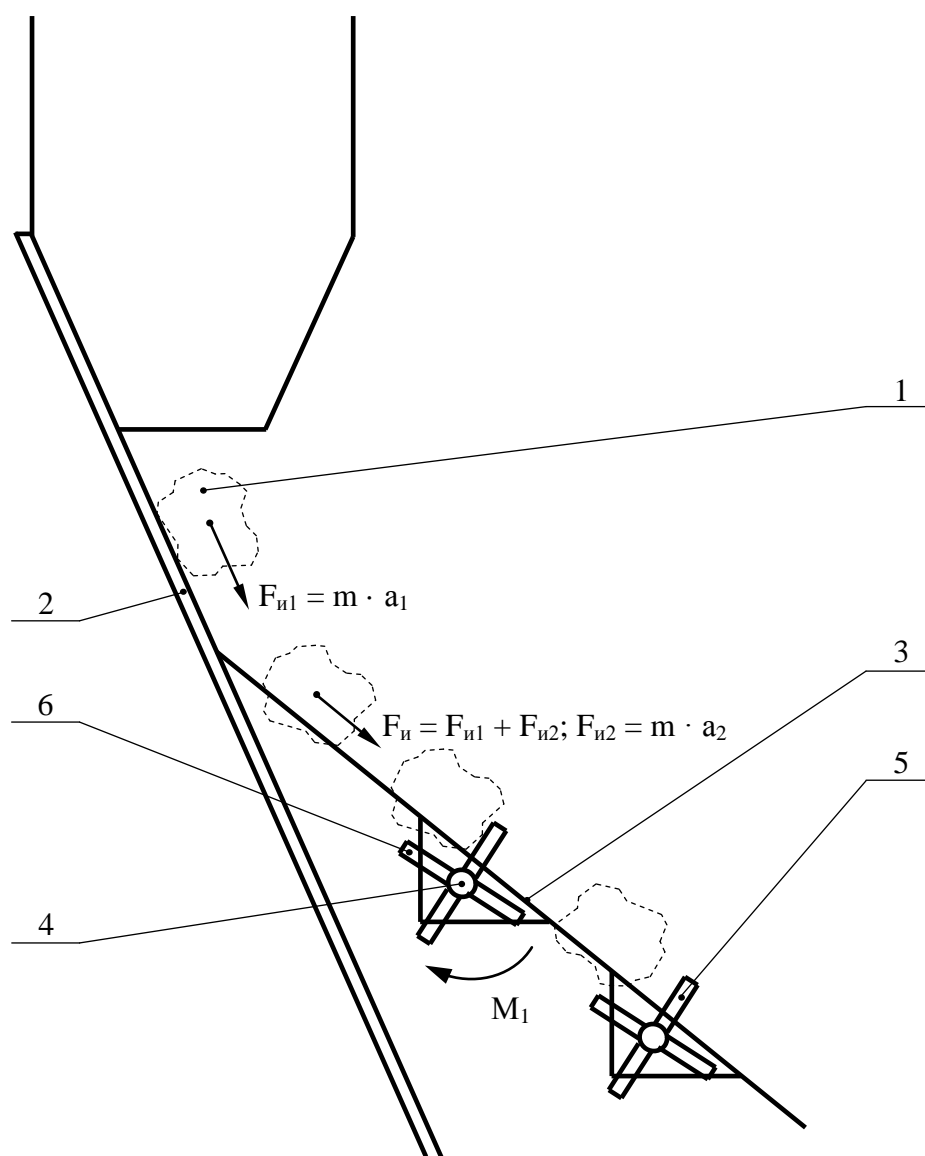


Рис. 3. Схема движения куска угля в струнном грохоте: 1 – кусок угля определенной фракции; 2 – передняя стенка; 3 – струнное поле; 4 – ворошитель; 5 – передняя лопатка ворошителя; 6 – задняя лопатка ворошителя



При подходе к ворошителю 4 кусок соприкасается с его передней лопаткой 5 и за счет силы инерции начинает ее толкать, в результате чего происходит вращение и возникает крутящий момент  $M_1$ . По мере вращения ворошитель 4 своей задней лопаткой 6 начинает приподнимать кусок угля, стремясь его опрокинуть. В некоторый момент времени возникает точка равновесия, при котором кусок угля может либо перевернуться, либо остаться на месте. Когда центр тяжести куска перемещается за эту точку, то происходит опрокидывание с крутящим моментом  $M_2$ . После этого движение вновь продолжается до следующего ворошителя и процесс переворачивания повторяется.

Представленная схема струнного грохота осуществляет сортировку угля без использования электродвигателя, что влечет за собой значительное снижение затрат при эксплуатации. Следовательно, по сравнению с применяемыми в настоящее время сортирующими устройствами, предлагаемый струнный грохот будет значительно экономичнее, а значит, снизится себестоимость конечного продукта (сортового угля).

### Список литературы

1. Грохот // mining-enc.ru: горная энциклопедия он-лайн. URL: <http://www.mining-enc.ru/g/grohot/> (дата обращения 08.08.2014).
2. Лиандов, К.К. Грохочение полезных ископаемых / К.К. Лиандов, М. –Л.: Металлургиздат, 1948. – 160 с.



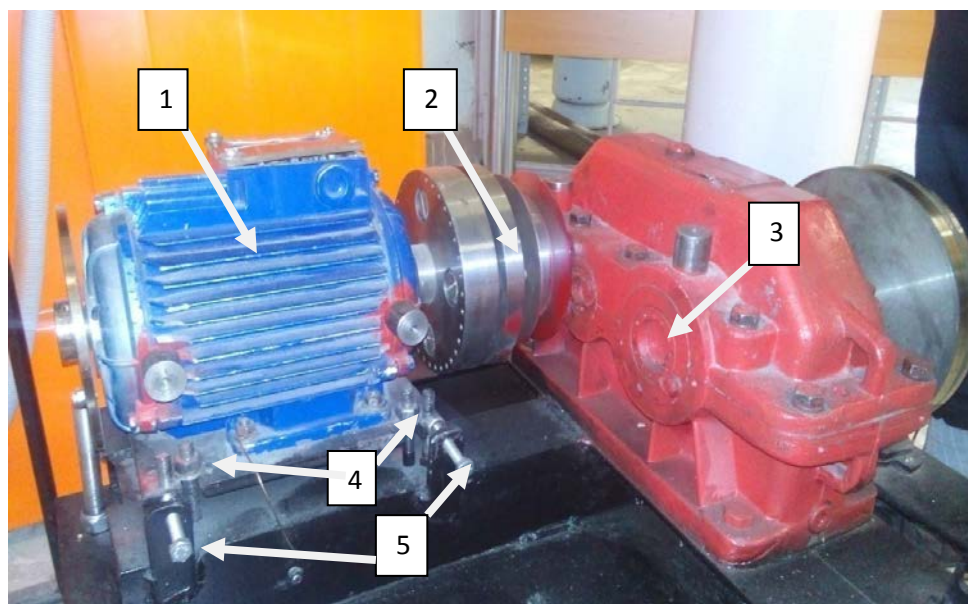
## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НЕСООСНОСТИ ВАЛОВ МЕТОДОМ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ

**Ковалев А.Г., Мигунов В.И.**

**научный руководитель: ст. преподаватель Мигунов В.И.**

*Сибирский Федеральный Университет*

Тепловизионное обследование является одним из основных направлений развития системы технической диагностики, которое обеспечивает возможность контроля теплового состояния оборудования и сооружений без вывода их из эксплуатации, выявления дефектов на ранней стадии развития, сокращение затрат на техническое обследование и выявление дефекта. Такая диагностика объективна, информативна, экономична и удобна. Данный эксперимент был проведен с помощью тепловизора модели №928+ и экспериментальной установки показанной на рисунке 1.



*Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки:*

*1-редуктор; 2-муфта; 3-электродвигатель;*

*4-вертикальный регулировочный болт, 4шт;*

*5-горизонтальный регулировочный болт, 4шт.*

Эксперимент заключается в следующем: регулируя расцентровку муфты на установке с помощью регулировочных болтов 4, 5, задавая разные значения коленчатости и углового излома производили измерение изменений температуры в течении определенного промежутка времени, в данном случае 24 минуты. Каждые 2 минуты снимаемая показания с помощью тепловизора.

Таблица 1. Допуски на несоосность валов при заданной угловой скорости.

| Угловая скорость, об/мин | Коленчатость, мм | Угловой излом, мм/100мм |
|--------------------------|------------------|-------------------------|
| 0-1000                   | 0,13             | 0,10                    |
| 1000-2000                | 0,10             | 0,08                    |
| 2000-3000                | 0,07             | 0,07                    |

Первый опыт при колленчатости равной 0,00 мм и углового излома равным 0,00 мм показал, что происходит нагрев с 20 градусов до 24 градусов в течении 10 минут, далее температура не изменяется.

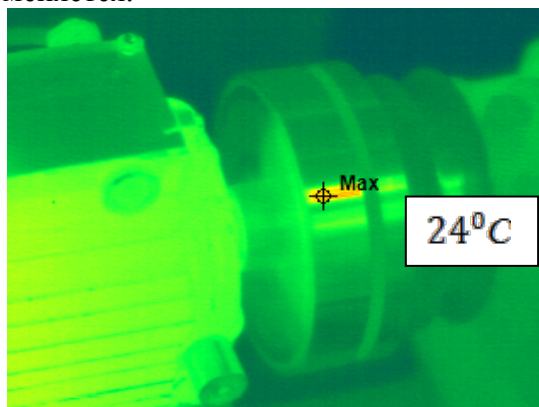


Рисунок 2. Снимок 1-го опыта.

Второй опыт при колленчатости согласно допуску: равной 0,07 мм и углового излома равным 0,07 мм, показал что происходит нагрев с 20 градусов до 37 градусов в течении 14 минут, далее температура не изменяется.

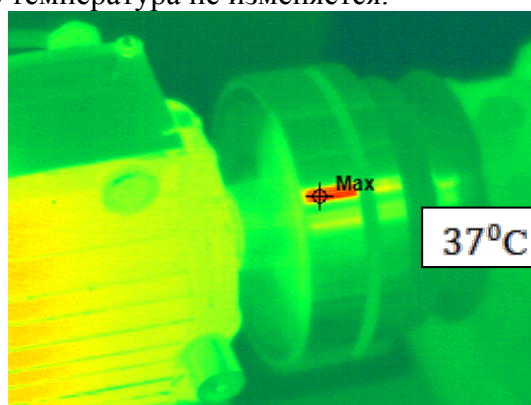


Рисунок 3. Снимок 2-го опыта.

Третий опыт при колленчатости превышающий допуск в 2 раза: равной 0,14 мм и углового излома равным 0,14 мм, показал что происходит нагрев с 20 градусов до 48 градусов в течении 18 минут, далее температура не изменяется.

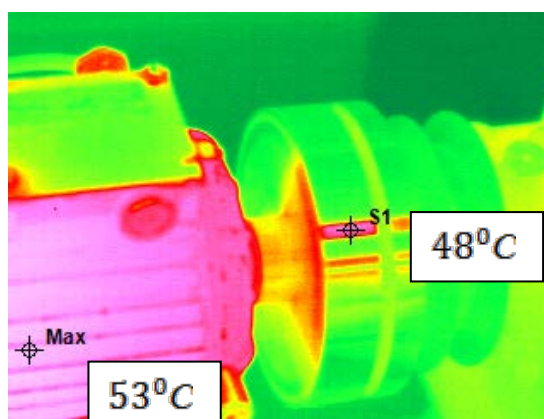


Рисунок 4. Снимок 3-го опыта.

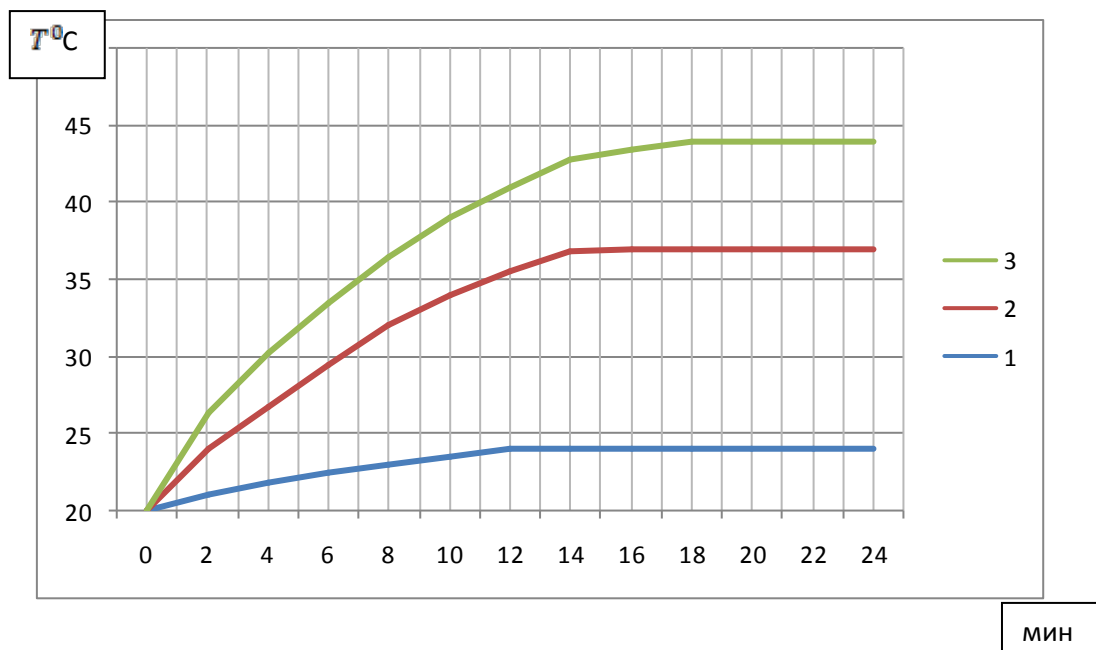


Рисунок 5. График изменения температуры при расцентровке муфты.

1- график изменение температуры муфты при колленчатости 0,00 мм и углового излома 0,00 мм;

2- график изменение температуры муфты при колленчатости 0,7 мм и при угле излома 0,7 мм;

3- график изменение температуры муфты при колленчатости 1,4 мм и при угле излома 1,4 мм.

Исходя из полученных данным представленным на графике можно сделать следующий вывод: зная значение температуры муфты, можно определить значение несоосности валов для однотипных муфт работающих в одинаковых условиях (например: насосная станция, привода конвейеров).

Этот метод диагностирования расцентровки не требует специальных условий и без вывода объекта контроля из эксплуатации; безконтактность, возможность контроля опасных объектов без подвержения риску дефектоскописта (проводящего диагностику); наглядность (полная тепловая картина всего объекта) и высокая информативность; контроль объектов любых форм и размеров; высокая производительность контроля; высокая скорость обработки результатов; независимость от других методов контроля; высокая чувствительность (до 0,01 °C); позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях развития.

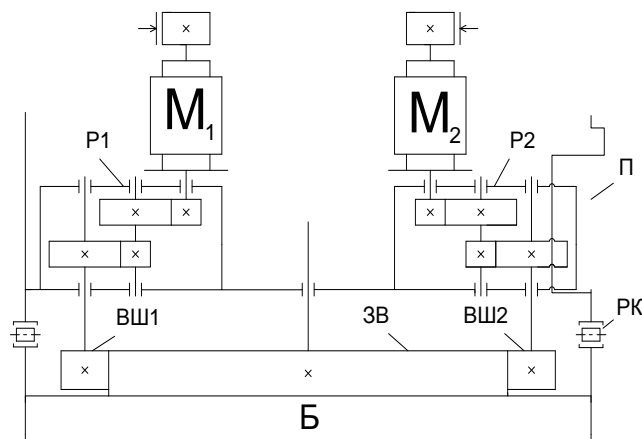
**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК  
МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАРЬЕРНОГО  
ЭКСКАВАТОРА В ПАКЕТЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ МАТЛАВ**

**Курочкин Н.С., Кравченко И.Е.,  
научный руководитель д.т.н., проф., Кочетков В.П.  
ХТИ – филиал СФУ, Абакан**

В работе рассмотрен многодвигательный экскаваторный электропривод. В электроприводе поворота, в большей части определяющем производительность экскаватора, наибольшее значение имеют пуско- тормозные режимы, т.к. большое влияние на динамические нагрузки оказывает зазор в передачах (внутреннее возмущающее воздействие), величина которого достигает 1-2 радиана в зависимости от износа. Зазоры при этом могут быть разными в каждом редукторе. При выборе зазоров возникают колебания упругих моментов, превышающие в 2-3 раза допустимые, что приводит к разрушению венцовой шестерни, которая составляет примерно 30 % стоимости всего экскаватора. Наиболее распространенным на экскаваторах в настоящее время является электропривод с вращающимся преобразователем по системе тиристорный возбудитель - генератор-двигатель (ТВ-Г-Д).

Главной задачей электропривода является высокое быстродействие при наибольшем ограничении динамических нагрузок в механической части электропривода. Этим требованиям отвечают системы подчиненного регулирования (СПР) координат электропривода.

Рассмотрим кинематическую схему электропривода поворота экскаватора ЭКГ-8 (рис.1). Аналогичную схему будут иметь экскаваторы ЭКГ-4.6, ЭКГ-5 и др. Здесь двигатели М1 и М2 через индивидуальные редукторы Р1 и Р2 приводят во вращение валы-шестерни ВШ1 и ВШ2, которые находятся в зацеплении с зубчатым венцом ЗВ, неподвижно закрепленным на базе Б(или на гусеничной тележке экскаватора). Валы-шестерни, обегая зубчатый венец, приводят во вращение поворотную платформу экскаватора П, опирающуюся на роликовый круг РК.



*Рис. 1. Кинематическая схема электропривода поворота экскаватора ЭКГ-8.*

Заметим, что при исследовании бросков упругого момента в СПР, зачастую используют двухмассовую модель электромеханической системы (Рис. 3.) с



использованием понятия эквивалентного двигателя. На практике же объект управления является трёхмассовой электромеханической системой (Рис. 2.).

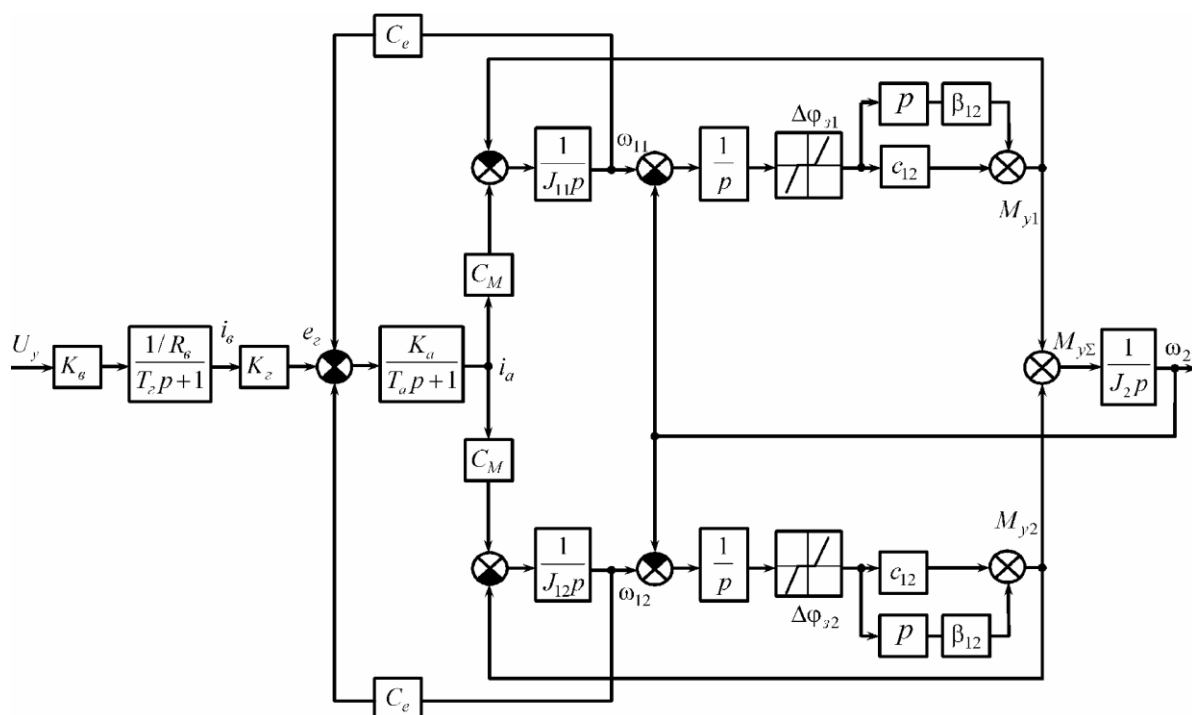


Рис. 2. Структурная схема трёхмассовой ЭМС.

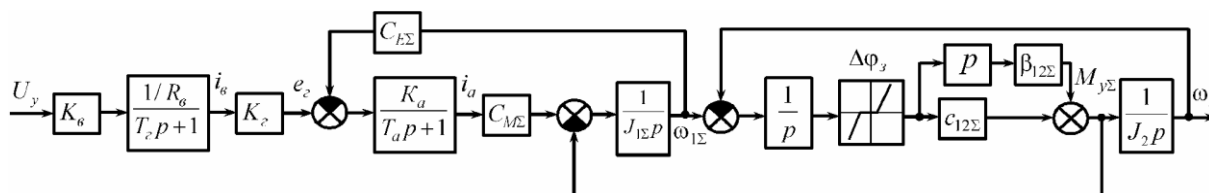


Рис. 3. Структурная схема двухмассовой ЭМС.

При исследовании трёхмассовой электромеханической системы (Рис. 4.) и при моделировании её в пакете SIMULINK (Рис. 5.), сравним полученные результаты при моделировании двухмассовой и трёхмассовой электромеханических систем при условии равенства зазоров ( $d_1 = d_2 = 2$  Рис. 6.) в первом случае, и при условии их отличия на 0.5 радиан ( $d_1 = 2, d_2 = 1.5$  Рис. 5.), и 1 радиан соответственно в других случаях ( $d_1 = 1.5, d_2 = 2.5$  Рис. 7.).

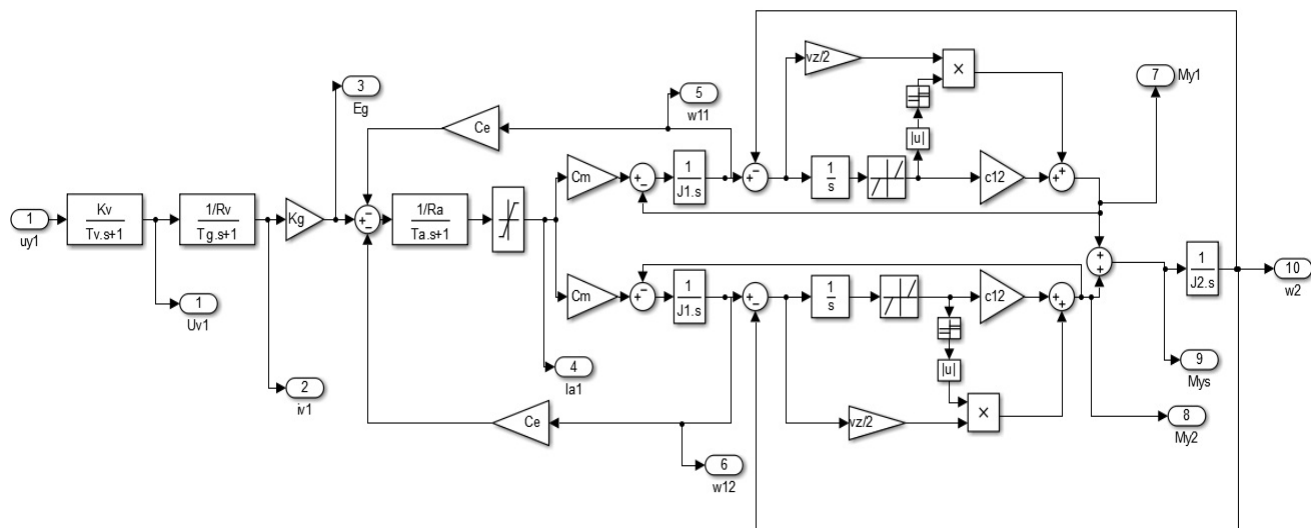


Рис. 4. Объект управления трехконтурной СПР с двумя двигателями.

В системе с двумя двигателями графики переходного процесса выглядят следующим образом:

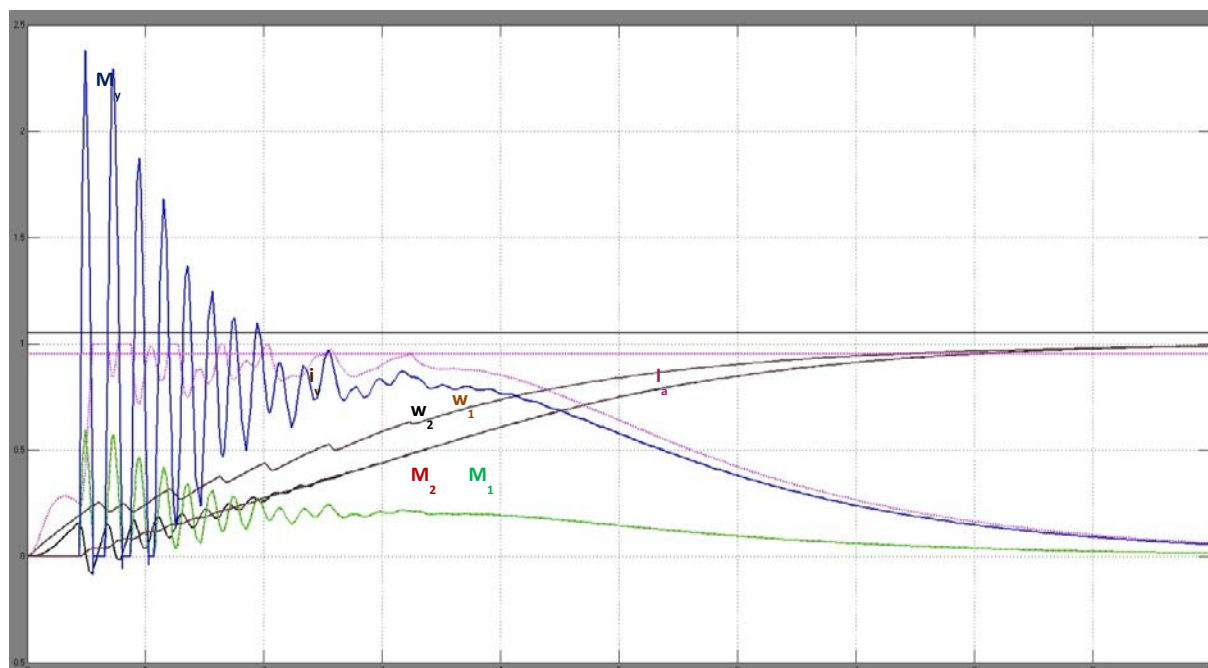


Рис. 5. Характеристика переходного процесса трехконтурной СПР с двумя двигателями при величине зазоров  $d1=2$  рад и  $d2=2$  рад.

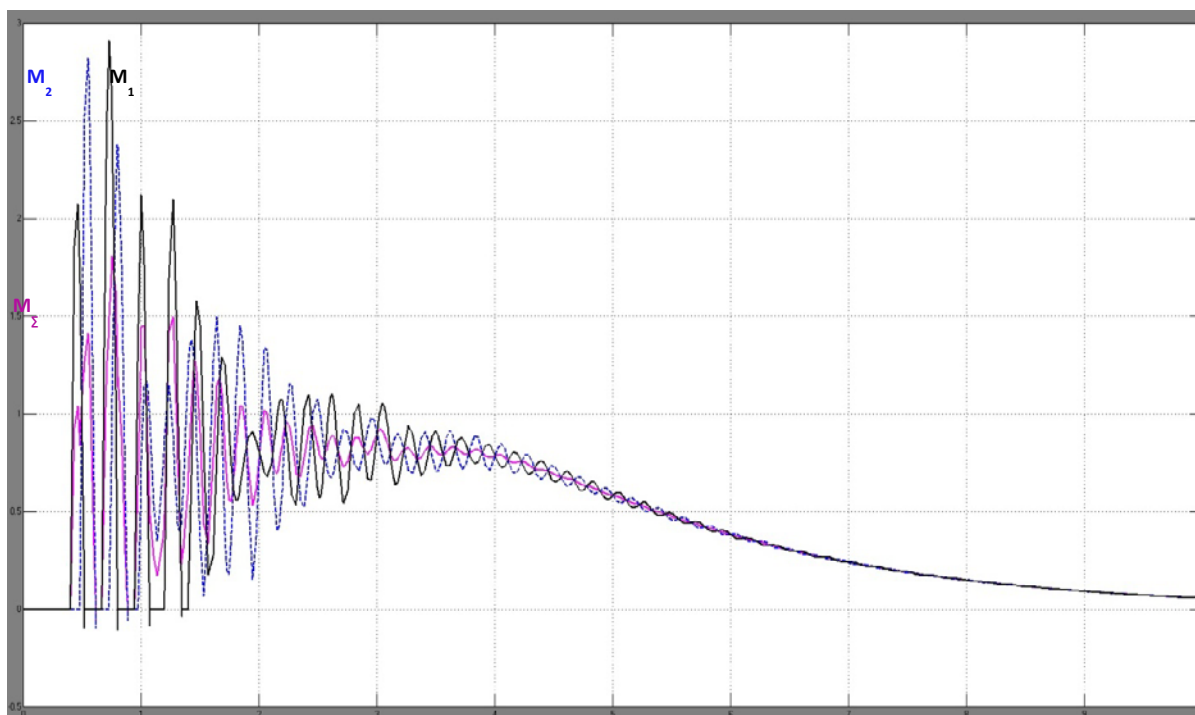


Рис. 6. Графики моментов при величине зазоров величине зазоров  $d1=2$  рад  $d2=1.5$  рад.

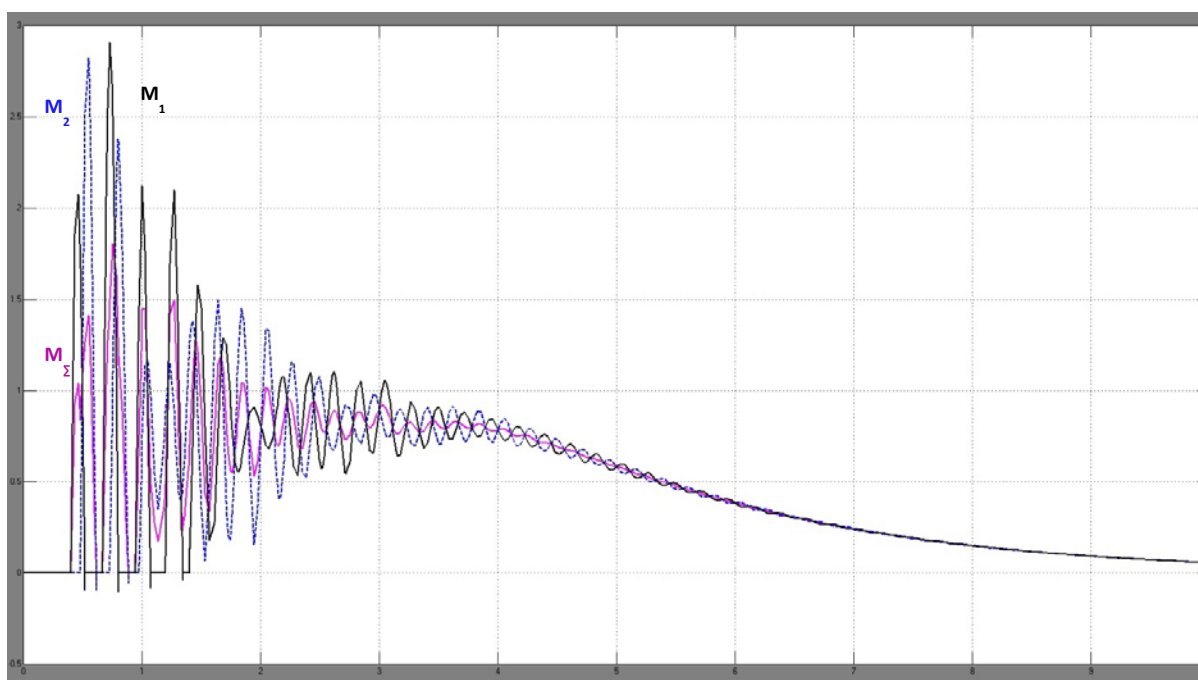


Рис. 7. Графики моментов при величине зазоров величине зазоров  $d1=2.5$  рад  $d2=1.5$  рад.

Как видно из графиков, полученных при моделировании трёхмассовой ЭМС, броски моментов в относительных единицах превышают допустимые значения, чего невозможно наблюдать при моделировании двухмассовой ЭМС привода поворота экскаватора. На данных моделях хорошо видны причины возникновения поломок и аварий в электроприводе поворота экскаватора, стачивание зубцов шестерни и выход

её из строя следствии превышения допустимых нагрузок при бросках момента упругого.

#### Список литературы

1. Кочетков, В.П. Основы теории управления / В.П. Кочетков - Ростов н/Д : Феникс, 2012. – 411 с. – (Высшее образование).
2. Кочетков, В.П., Багаутинов, Г.А. Теория автоматизированного электропривода: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1992. – 328 с.
3. Ключев, В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В.И. Ключев. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
4. Рудаков, В.В., Мартикайнен, Р.П. Синтез электроприводов с последовательной коррекцией. – Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1972. – 120 с.



## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ И ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ШТАНГОВЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Мешков Д.Д.,

научный руководитель доцент, канд. техн. наук Бухтояров В.В.

*Сибирский федеральный университет*

В России более 70% всего фонда нефтяных скважин эксплуатируется штанговыми нефтяными установками (ШНУ), в которых электродвигатель через редуктор и клиноременную передачу приводит в движение кривошипно-шатунный механизм, соединенный с балансиром, установленным на неподвижной стойке и сообщающим возвратно-поступательное движение колонне штанг, опущенных в скважину. Нижний конец колонны штанг соединен с поршнем двухклапанного нефтяного насоса. Тяжелые условия эксплуатации штанговых насосов (высокие температура и давление, наличие песка, парафина или газа в откачиваемой жидкости), как правило вызывают неисправности в различных узлах ШНУ, приводящие к авариям.

Диагностирование ШНУ позволяет: уменьшить простой скважины до ремонта и время ее работы с неисправным оборудованием, прогнозировать состояние ШНУ по техническому состоянию в анализируемый момент времени, предсказывать неисправности в различных элементах ШНУ. Повышение качественных показателей АСУТП тормозится недостаточной изученностью реальных условий их работы, что затрудняет объективную оценку методов и средств, используемых для диагностирования технологического оборудования вновь создаваемых систем. Так в нефтедобывающей отрасли серьезной проблемой является низкое быстродействие и недостаточно высокая точность диагностирования технологического оборудования из-за большой временной протяженности технологического цикла (от 4с до 12с в зависимости от типа привода).

В связи с этим в настоящее время особую актуальность приобрели вопросы создания эффективных методов и средств технического диагностирования ШНУ с использованием «эталонных» моделей технологического процесса в составе адаптивных АСУТП. Адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ) состоит из основного контура управления, эталонной модели и устройства адаптации. Эталонная модель отражает требуемые статические и динамические свойства основного контура. Поведение замкнутого основного контура управления сравнивается с поведением эталонной модели, и задача устройства адаптации заключается в минимизации некоторой функции рассогласования их состояний (выходов) путем перестройки параметров основного контура (параметрическая адаптация) либо формирование дополнительного сигнала на его вход (сигнальная адаптация). Процесс адаптации необходим для компенсации параметрических и координатных возмущений (действующих) на объект управления (технологический процесс). С помощью АСЭМ удается решать многие задачи управления технологическими процессами и прежде всего - задачу слежения за эталонной моделью. Информацию о техническом состоянии подземной части ШНУ получают в виде сигналов усилия  $P(t)$  и хода  $S(t)$  с выходов индуктивных датчиков, устанавливаемых на балансире станка-качалки (СК). Форма замкнутой кривой  $P-f(S)$ , представляющей собой зависимость усилия от перемещения точки подвеса штанг, так называемой динамограммы, соответствует определенному состоянию ШНУ, Однако из-за наличия колебательного процесса упругой системы «штанги-жидкость-трубы», интенсивность которого растет с увеличением



глубины  $S$  спуска насоса и числа качаний  $n$  балансира форма динамограммы может искажаться, что затрудняет ее визуальную интерпретацию. Это заставляет использовать аналитические методы расчета динамограммы на плунжере насоса, т.к. они не подвержены влиянию колебательного процесса упругой системы «штанги-жидкость-трубы». Наиболее предпочтительным из известных алгоритмов распознавания сложных динамограмм является спектральный, как обеспечивающий минимум среднеквадратичной погрешности аппроксимации и не требующий восстановления формы плунжерной динамограммы. Однако определение классификационных признаков амплитудного и фазового спектров требуют больших объемов вычислений, в связи с чем аппаратная реализация спектрального алгоритма до настоящего времени не решена.

Совмещение графических зависимостей  $P(t)$  и для шести состояний ШНУ с целью их сравнения, приведенное на рисунке, позволило установить, что:

- в режиме нормальной работы амплитуды и длительности импульсов трапецеидальной формы, соответствующих фронтам нарастания и спада  $P_m(0 > 0)$  примерно равны;

- в режиме утечки в нагнетательном клапане амплитуда положительных трапецеидальных импульсов, соответствующих фронту нарастающего  $P_m(1)$ , превышает амплитуду аналогичных по форме импульсов отрицательной полярности, соответствующих фронту спада  $P_a$ , а длительность импульсов положительной полярности меньше импульсов отрицательной полярности;

- в режиме утечки в приемном клапане амплитуда трапецеидальных импульсов положительной полярности, соответствующих фронту нарастания  $P_t(0)$  меньше амплитуды трапецеидальных импульсов отрицательной полярности, соответствующих фронту спада  $P_p^*(0 > 0)$  а длительность импульсов положительной полярности значительно больше длительности импульсов отрицательной полярности;

- в режиме откачки с газом амплитуда трапецеидальных импульсов положительной полярности, соответствующих фронту нарастания  $P_{y}((0))$ , значительно превышает амплитуду отрицательных импульсов ниспадающей экспоненциальной формы, соответствующих фронту спада  $P_{p,,(1)}$ . а длительность импульсов положительной полярности меньше длительности импульсов отрицательной полярности;

- в режиме низкой посадки плунжера амплитуды трапецеидальных импульсов положительной и отрицательной полярности, соответствующих вышеназванным участкам изменения  $P_{ш}(\$ > 0)$  примерно равны, а длительность импульсов положительной полярности больше длительности импульсов отрицательной полярности.

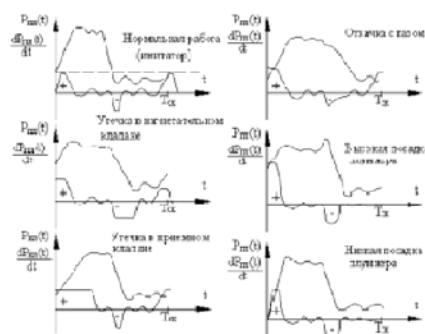


Рисунок 1. Совмещение графических зависимостей  $P(t)$  и для шести состояний ШНУ



## ЛАЗЕРНАЯ ЦЕНТРОВКА ВАЛОВ

Мироманов И.Г.

научный руководитель ст. преподаватель, Мигунов В. И.

Сибирский федеральный университет

Отсутствие центровки валов – основная причина возрастания вибрации агрегатов (электродвигателей, редукторов, насосов и т.п.), что приводит к повышенному потреблению электроэнергии, к поломке подшипников, повреждению приводных муфт и шестерней, к выходу из строя всего двигателя. В результате снижается производительность оборудования, возрастает стоимость обслуживания и количество простоев.

Центровка - операция, выполняемая с целью обеспечения заданной точности сопряжения осей составных частей машин и агрегатов.

Различают три вида отклонений от номинального расположения валов:

- продольное смещение;
- радиальное смещение или эксцентриситет;
- угловое смещение или перекосяк.

На практике чаще всего встречается комбинация указанных отклонений.

Как известно, задача центровки - установить оси валов так, чтобы они составляли одну прямую линию.

Исследования показывали, что центровка за пределами приемлемых допусков является причиной почти 50% всех дефектов на вращающихся машинных узлах.

Центровка считается правильной, если значения угловой и радиальной расцентровок (отклонений от соосности) не превышают допустимых значений. Допускаемые отклонения от соосности во многом зависят от конструкции используемой муфты и угловой скорости вращения роторов.

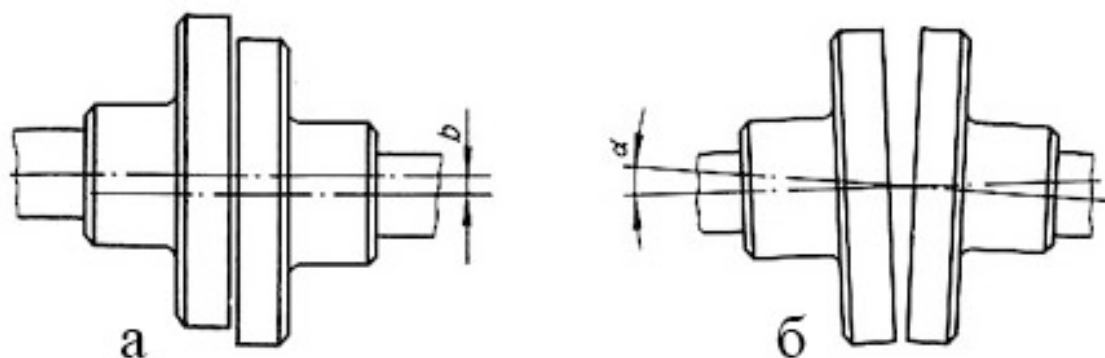


Рисунок 1. Типы несоосности. а – параллельная, б – угловая.

Во всех методах центровки измерения выполняются на валах или полумуфтах. Несоосность корректируется на лапах подвижной машины.

Методики центровки:

### 1. Механические

#### 1.1 Метод с использованием линейки и щупов

Достоинства: простота, применение в любых условиях

Недостатки: работы занимают большое количество времени, низкая точность.



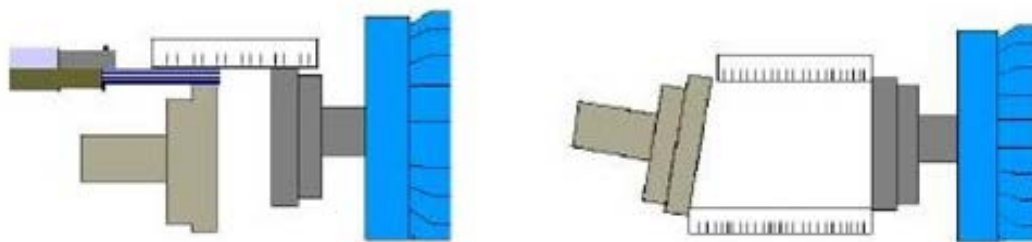


Рисунок 2. Метод с использованием линейки и щупов

## 1.2 Индикаторные методы

### 1.2.1 Радиально осевой метод

Радиальный индикатор измеряет смещение, осевой индикатор измеряет угловое раскрытие.

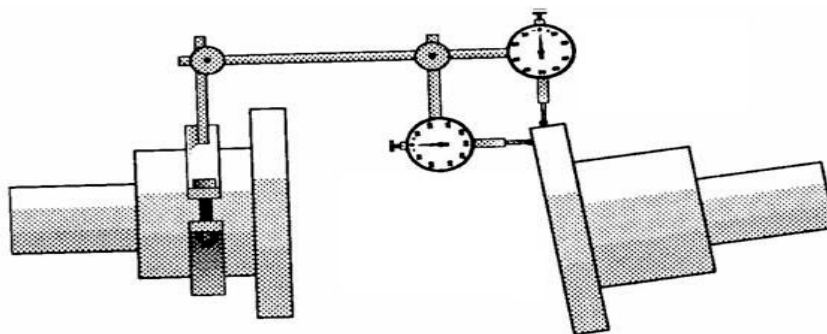


Рисунок 3. Радиально осевой метод

### 1.2.2 Метод обратных индикаторов

Широко известен как предпочтительный метод центровки валов. Оба индикатора измеряют смещение в радиальном направлении. Угловая несоосность – тангенс угла, полученный из разницы двух смещений. Прост в графическом представлении и расчете корректировок на лапах.

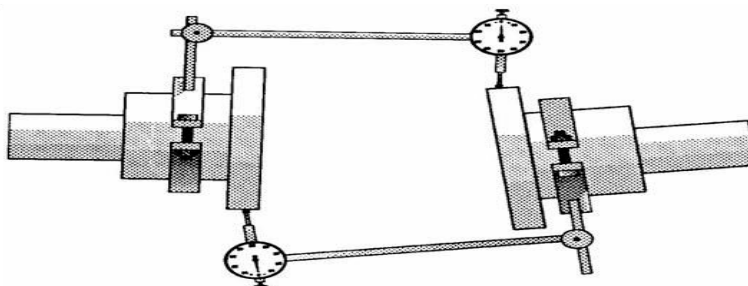


Рисунок 4. Метод обратных индикаторов

Достоинства: Высокая точность центровки (с учетом погрешностей)

Недостатки:

- Прогиб выносных элементов ограничивает расстояние применимости этой технологии.

- Конструкция муфтового соединения иногда препятствует доступу к плоскости фланца и в этом случае необходимо сочетать его с другими методами, например, щупами.

- Процесс корректировки становится многоэтапным, сначала исключаящим параллелизм, а затем концентричность. Поскольку существуют горизонтальные и

вертикальные составляющие для каждого компонента, в действительности будет четыре этапа, каждый из которых, если потребуется, может быть повторен.

- Чтобы оценить результат перемещения, необходимо повторное измерение.
- Осевые перемещения вала напрямую влияют на результат измерений

## 2. Лазерные

Несколько типов лазерных систем центровки доступно для решения задач центровки валов:

### 1.1 Системы с одним лазером и одним или двумя приемниками

Этот тип системы использует автоколлимацию для измерения смещения и угла с помощью отражающей призмы или пяти осевой мишени. Мишень измеряет и вертикальные и горизонтальные компоненты одновременно с углом. Этот метод точен в угловых измерениях на коротких дистанциях.

При этом нельзя определить боковые перемещения самим устройством или независимые повороты каждого вала. Для преодоления такого ограничения необходимо каким-либо образом соединить валы, чтобы заставить их поворачиваться синхронно. Данный тип используется в импортных лазерных системах.



Рисунок 5. Системы с одним лазером и одним или двумя приемниками

### 1.2 Системы с двумя лазерами, использующие метод обратных индикаторов.

Этот тип системы использует главные преимущества метода обратных индикаторов. Две измерительные системы объединяют лазер и приемник в одном блоке. Техника позволяет отображать текущие значения компонент несоосности и непрерывно обновляет показания при перемещении машины.

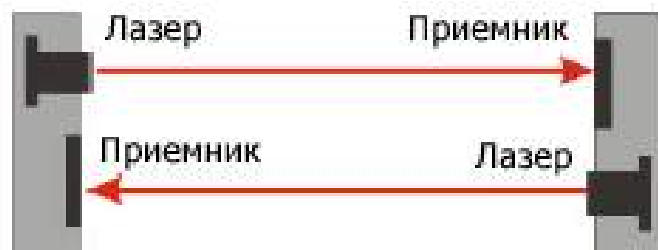


Рисунок 6. Системы с двумя лазерами, использующие метод обратных индикаторов

Достоинства:

Одно из главных преимуществ лазерного луча - то, что нет потери точности измерений, вызванной прогибом выносных штанг. Все лазерные системы, включают в себя лазерные излучатели, приемники и электронный блок, который производит расчеты центровки.

Для центровки достаточно поворота вала на  $180^\circ$  градусов.



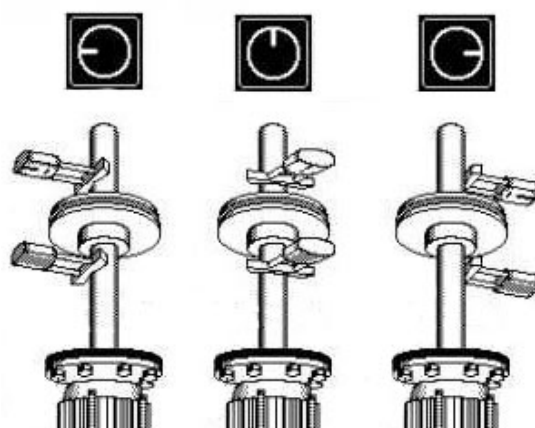


Рисунок 7. Пример разворота вала при центровке валов

Процедура выполнения центровки:

- выполнить предварительные проверки и определить корректировки;
- смонтировать приспособление или систему центровки;
- проверить и устранить "мягкую лапу";
- измерить несоосность;
- оценить состояние центровки оборудования;
- выполнить точную центровку;
- повторно измерить центровку и задокументировать результаты работы.

Польза от центровки валов:

- снижение вибрации;
- снижение износа механических частей (сальники, муфты, подшипники);
- экономия энергии.

Пример экономии:

Привод центробежного насоса: 50 Гц, 380 В, 60 А,  $\cos(\varphi)=0.92$

Условия работы: 6000 часов в год (2.50 руб. за кВт/ч)

Потребляемый ток: до проведения центровки – 54 А

после устранения несоосности – 49 А

Расчет мощности:  $\text{кВт} = (\text{В} * \text{А} * \cos(\varphi) * 1.732) / 1000$

До центровки:  $(380 \text{ В} * 54 \text{ А} * 0.92 * 1.732) / 1000 = 32.7 \text{ кВт}$

После центровки:  $(380 \text{ В} * 49 \text{ А} * 0.92 * 1.732) / 1000 = 29.7 \text{ кВт}$

Экономия в год:  $(32.7 - 29.7) * 2.50 * 6000 = 45\ 000 \text{ руб.}$

Заключение: Проанализировав все вышесказанное, можно прийти к выводу, что для устранения несоосности валов наиболее высокоэффективным способом является применение систем с двумя лазерами, использующие метод обратных индикаторов.

Применение которых:

- снижает время на проведение точной центровки (монтаж установки, измерение несоосности, расчет центровки);
- позволит исключить дополнительные нагрузки на подшипники агрегатов и, как следствие, увеличение межремонтных сроков;
- снижает экономические затраты на электроэнергию.



## **МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БУРОВЫХ СТАНКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

**Мироманов И.Г., Мигунов В.И.**

**научный руководитель ст. преподаватель Мигунов В.И.**

*Сибирский федеральный университет*

Буровой станок СБШ-250-32МНА состоит из множества взаимосвязанных узлов, агрегатов, сборочных единиц и деталей, имеющих разный ресурс, степень надежности износостойкости. Техническая готовность бурового станка зависит от надежности всех, без исключения, входящих в него компонентов и отказ любой детали станка, как правило, влечет за собой экономические потери, связанные с его внеплановым простоем. В связи с этим, разработка методов прогнозирования отказов буровых станков, базирующихся на использовании технического контроля его текущего состояния с применением средств неразрушающего контроля, представляет собой весьма актуальную задачу.



*Рисунок 1. Общий вид бурового станка СБШ-250-32МНА*

При проведении технического аудита буровых станков наибольшее распространение получили следующие методы технической диагностики и средств неразрушающего контроля: визуально-инструментальный, вибродиагностический, тепловой, а также ультразвуковая дефектоскопия.

**Визуально-инструментальный контроль (ВИК)** используется для оперативного определения наиболее явных дефектов, в том числе на фазе их зарождения и дальнейшего развития.

С этого вида контроля начинается любое диагностическое мероприятие, начиная с ежесменного и ежесуточного осмотра, и оно подразумевает применение простейших приборов визуального наблюдения, фоторегистрации, волоконно-оптических эндоскопов, различного измерительного инструментария, входящего, например в отечественный комплект ВИК «Аршин-Эксперт» (с эндоскопом «Томь»).

**Вибродиагностический контроль** применяется преимущественно для контроля агрегатов с вращающимися частями (электродвигателей, редукторов и др.).

Для оценки вибрации агрегатов с вращающимся ротором на буровых станках, наиболее удобен и информативен виброакустический метод их диагностики.

Процесс диагностирования осуществляется следующим образом: оператор, обходя объекты диагностирования, выбирает точки замера, производит измерения и оценку спектров, зафиксированных в оперативной памяти виброанализатора.

Основой для определения текущего состояния оборудования служат измерения среднеквадратичного значения виброскорости (СКЗ) объекта в диапазоне от 10 до 1000 Гц в трех взаимноперпендикулярных направлениях.

Виброакустический метод позволяет определить и оценить, с достаточной точностью, дефекты узлов и агрегатов в частности: дисбалансы вращающихся масс; несоосность сочлененных валов привода и редуктора; эллипсность цапф, дефекты установки и износ вкладышей в подшипниках скольжения; дефекты сборки и монтажа зацеплений зубчатых передач; некачественную сборку редукторов; не закрепленность агрегатов на платформе; дефекты муфт; резонансы систем «ротор-опора»; загустевание или недостаточность смазки; а также многие другие дефекты.

На рис. 2 в качестве примера представлена картина вибрационного состояния основных подшипников на главных валах компрессора бурового станка СБШ-250-32МНА.

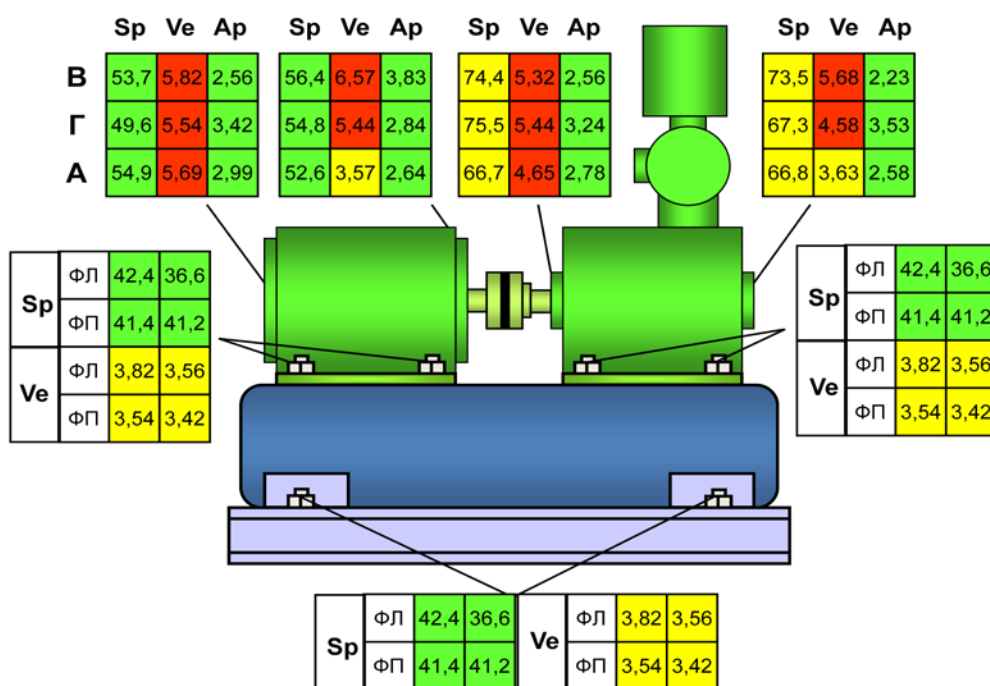


Рисунок 2. Компрессор бурового станка СБШ-250-32МНА



Здесь, помимо стандартных замеров, были приведены замеры вибрации опор машин, дающие сведения о состоянии дисбаланса всей системы агрегатов и основных крепежных деталей (шпилек, болтов и др.) Красным цветом отмечены значения параметров, которые являются недопустимыми при дальнейшей эксплуатации агрегата.

**Примечание:** буквенные обозначения в идентификаторах точек обозначают ориентацию датчика (В – вертикально, Г – горизонтально, А – аксиально – вдоль оси вращения вала машины, Ф – фундаментная точка, Р – радиально на корпусе, Т – тангенциально на корпусе, Л, П – левая и правая сторона машины соответственно (согласно схемы). Sp, мкм – пиковое значение виброперемещения; Ve, мм/с – СКЗ виброскорости; Ap, м/с\*2 – пиковое значение виброускорения.

**Тепловой метод диагностирования** (с использованием тепловизоров) основан на регистрации инфракрасного излучения, исходящего от поверхности нагретого тела или его теплового поля. Особенности метода являются: высокая чувствительность к температурным сигналам (от 0.1 до 0.001°C); высокое разрешение по углу зрения; высокое быстродействие; зависимость выходного сигнала от свойств контролируемой поверхности и канала передачи инфракрасного излучения.

Сущность метода – после нагрева исследуемой поверхности, однородный (качественный) участок интенсивно отводит тепло и его температура ниже, а неоднородный (дефектный) участок отводит тепло слабо и его температура выше. Тепловой приемник фиксирует эту разницу температур.

Тепловизор позволяет фиксировать скрытые дефекты и динамику развития износа подшипников редукторов и электрооборудования вследствие способности, например, первых изменять свою температуру при возникновении малейшего дефекта, в частности, при увеличении зазора в деталях, что ведет к повышению трения и нагрева; началу разрушения сепаратора и тел качения.

Представлен образец тепловой диаграммы состояния электрического оборудования, полученного с помощью тепловизора.

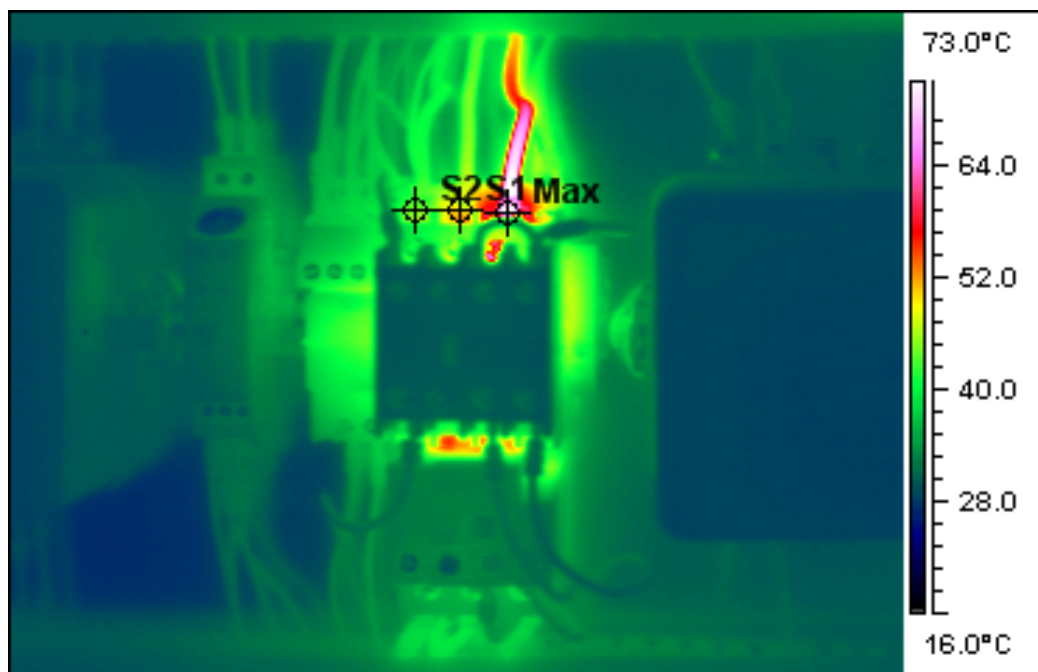


Рисунок 3. Пускатель в шкафу управления бурового станка СБШ-250-32МНА

Таблица 1. Диагностирование оборудования

| Параметры объекта | Значение | Превышение температуры | Комментарии   |
|-------------------|----------|------------------------|---|
| S1                | 53,9°С   | 5,6°С                  | Дефектов не обнаружено  |
| S2                | 48,3°С   | 0,0°С                  | Дефектов не обнаружено  |
| Max               | 84,5°С   | 36,2°С                 | <b>Аварийный дефект.</b><br>(избыточная температура более 30°С) |

**Заключение: дефект (в точке Max) требует немедленного устранения.**

Виден наиболее распространенный дефект, проявляющийся в электрических системах управления при незатянутых контактных соединениях. Этот дефект сборки порождает интенсивный нагрев плохо затянутых контактных частей электрических деталей, который легко фиксируется тепловизором. Для исследования дефектного участка используют его способность одновременно снимать исследуемый участок, как в обычном видео-фото режиме, так и в тепловом поле.

Успешному применению тепловизоров способствует легкий дистанционный доступ к объекту контроля при работающем буровом станке; минимальное потребное время для съема информации; возможность мгновенного установления диагноза текущего реального состояния объекта.

**Ультразвуковая дефектоскопия** основывается на способности ультразвука распространяться в материале контролируемого изделия и отражаться от внутренних дефектов и границ материала. Наиболее широкое применение нашли такие ультразвуковые методы контроля, как импульсные - «эхо-метод» и «метод звуковой тени (теневой метод)». Реже применяются методы - резонансный, акустического импеданса, свободных колебаний и акустической эмиссии. Для контроля сварных соединений металлоконструкций бурового станка наиболее удобно использовать ультразвуковую дефектоскопию (УЗД).

Другие реже применяемые методы неразрушающего контроля: капиллярный, магнитный, электромагнитный (вихретоковый), радиационный, радиоволновой, оптический.

Из многообразия существующих методов диагностики и средств неразрушающего контроля наиболее приемлемыми и эффективными для мониторинга технического состояния карьерного оборудования являются методы вибродиагностики и теплового контроля. Вибрационный метод диагностики является наиболее достоверным при контроле технического состояния главных приводов и их элементов (вал шестерен, колес зубчатых, муфт и тормозов) и машин генераторных групп. Тепловой метод обладает доступностью, высокой оперативностью при съеме информации, точностью и низкой себестоимостью проведения диагностических операций.





## СТЕНД ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

Москвичев А.Э. Бянкин С.А.

научный руководитель д-р техн. наук, профессор Гилев А.В.

Сибирский Федеральный Университет

В настоящее время на разрезах и карьерах применяется в основном вращательное бурение шарошечными и режущими долотами. До 85% объема бурения осуществляется шарошечным буровым инструментом.

Буровой инструмент является самым высоконагружаемым и ответственным элементом бурового станка.

Выход из строя шарошечных долот [1,2] происходит при изнашивании опор и вооружения (что составляет примерно 80% всех причин выхода из строя конусных шарошечных долот).

В связи с этим предлагаем исследование на вибрацию опор шарошек.

Для исследования используем стенд (рис. 1), который предназначен для передачи шарошке момента вращения, с заданной скоростью.

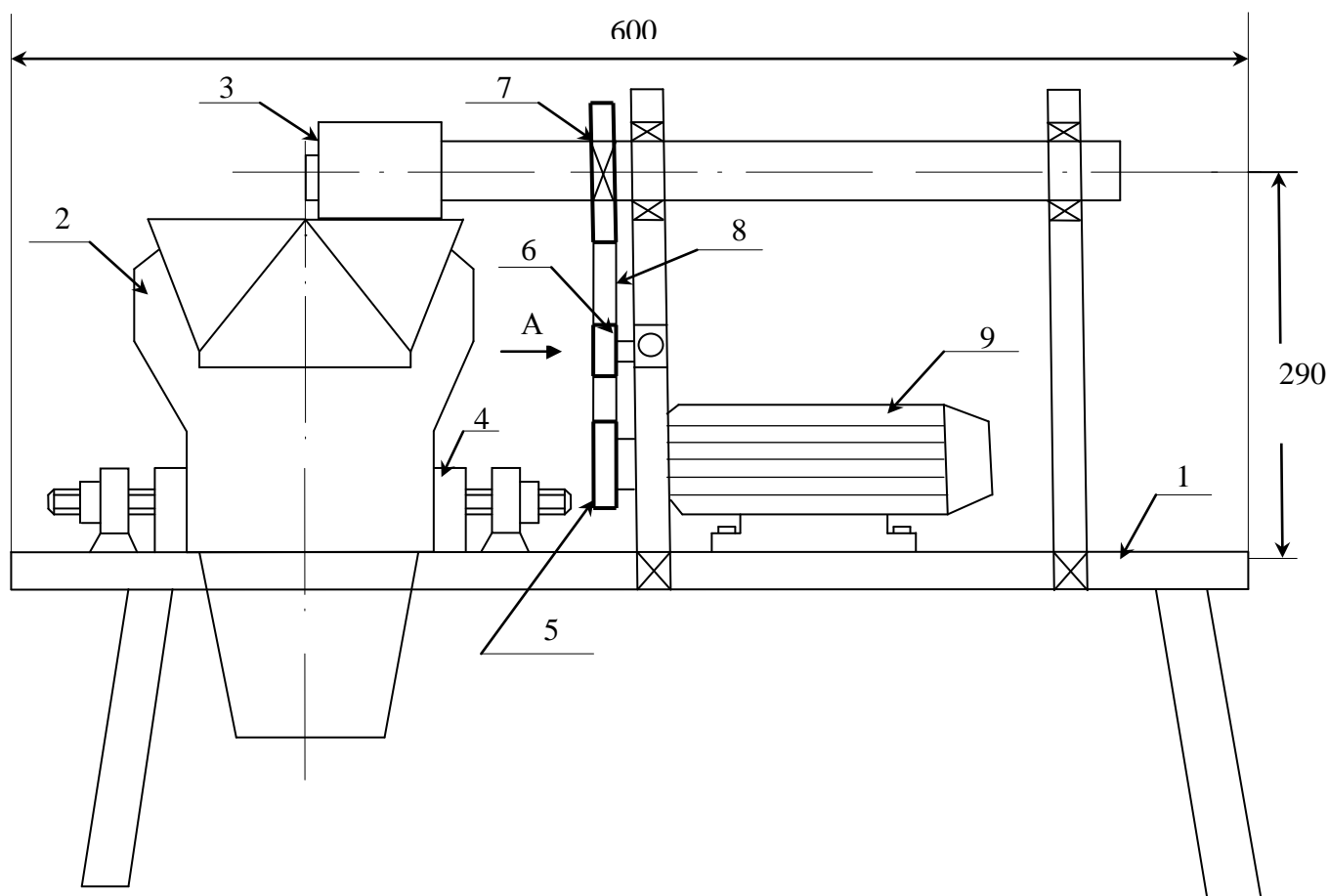
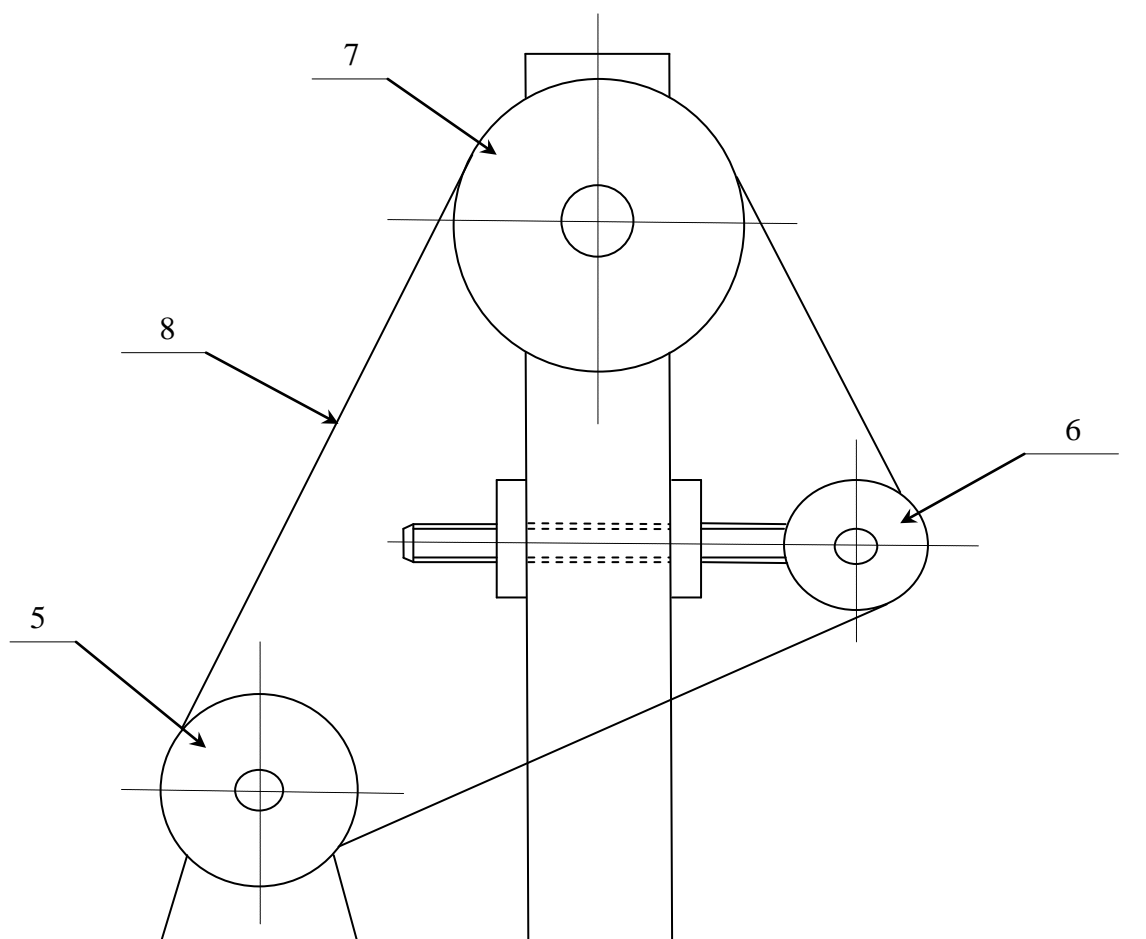


Рисунок 1. Стенд для диагностики шарошечных долот

1 – стол; 2 – шарошечное долото; 3 – резиновое колесо; 4 – крепежное устройство; 5 – ведущий шкив; 6 – ведомый шкив; 7 – ведомый шкив; 8 – ремень натяжения; 9 – асинхронный двигатель



*Рисунок 2. Ременная передача (вид А)*

Принцип действия: шарошечное долото 2 закрепляется с помощью крепежного устройства 4 на столе 1. С помощью ведомого шкива 6 регулируется натяжение ременной передачи. Асинхронный двигатель 9 передает момент вращения испытуемой шарошке, через ременную передачу и резиновое колесо 3. С помощью приборов вибродиагностирования измеряются необходимые параметры (скорость, перемещение и ускорение).

Полученные измерения помогут определить, через какое пройденное расстояние шарошечное долото подлежит техническому обслуживанию и техническому ремонту. Это приведет к уменьшению затрат на покупку новых долот и продлению срока эксплуатации уже эксплуатируемых долот.

В связи с этим предлагается организовать участок по техническому обслуживанию и техническому ремонту шарошечных долот (в комплекс которого входят работы по визуальному осмотру, промывки, продувке и смазке шарошек долота).

### Список литературы

1. Проектирование буровых инструментов для открытых горных, земляных и строительных работ: монография / Буткин В.Д., Гилев А.В., Доронин С.В. [ и др. ] – М.: МАКС Пресс, 2005. – 240 с.
2. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах: монография / Буткин В.Д., Гилев А.В., Чесноков В.Т. [ и др. ]. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 304 с.



## МЕХАНИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ ШТАНГ СТАНКОВ СБШ 250-МНА

Пятков А.В.

научный руководитель: профессор, д.т.н. Гилев А.В.

Сибирский Федеральный Университет

Современное состояние проблемы буровой штанги является быстрый износ резьбы при закручивании и скручивании буровой муфты. Переходная муфта используется для присоединения буровых штанг с резьбой международного стандарта.

На предприятии данный вид проблемы решается с помощью физического труда и технологического оборудования. Для этого необходимо иметь автокран или стационарный кран, четыре подставки под буровую штангу, два рабочих, сварочный аппарат. При таком способе устранения проблемы обуславливается низкая надежность, используется большое количество времени, электродов, электроэнергии.

Устранения данной проблемы, а именно, уменьшения времени и повышения производительности мы предлагаем буровую штангу и переходную муфту сваривать между собой с помощью специального оборудования, на котором установлена сварочная аппаратура (рис. 1).

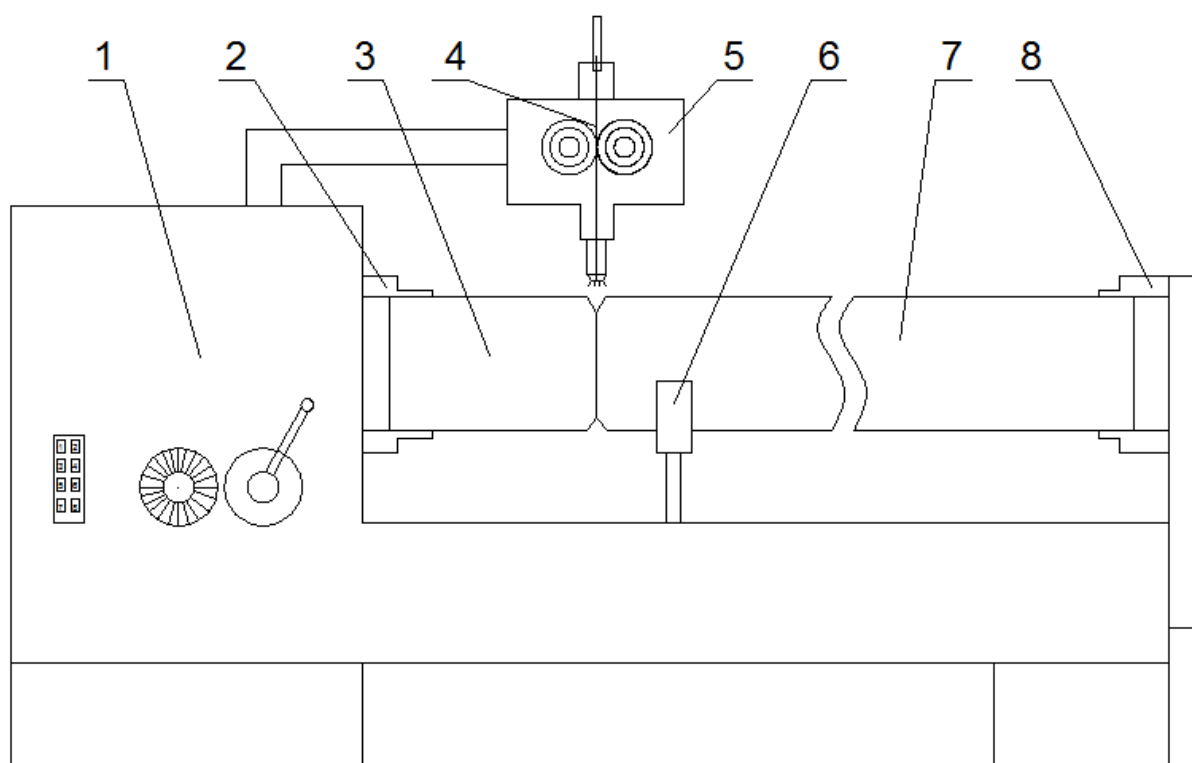


Рисунок 1. Сварочная установка

1 – передняя бабка от станка 16К40; 2 – патрон; 3 – муфта буровой штанги; 4 – проволока для сварки; 5 – сварочная головка П-1600; 6 – поддержка буровой штанги; 7 – буровая штанга; 8 – задняя бабка.

Для восстановления бурового оборудования разработана следующая технология:

- подготовить торцы буровой штанги и муфты для уменьшения зазора между ними;

- снять фаски;
- установить муфту и буровую штангу в патрон 2 и заднюю бабку 8;
- установить проволоку марки MIG Ø 2 мм в сварочную головку марки П-1600;
- выставить частоту вращения шпинделя  $n=3$  об/мин;
- выставить подачу проволоки 2,36 м/мин;
- установить ток сварки 300А;
- произвести сварку буровой штанги и муфты;
- сваривать детали в течение 10 минут;
- по окончании сварки зачистить поверхность от шлака и выпуклостей;
- проверить сварной шов с помощью ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) на сплошность деталей;

Таким образом, предполагаемое оборудование позволит снизить затраты по восстановлению буровой штанги, увеличить надежность буровой штанги, уменьшить время на восстановление и количества рабочего персонала.



## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ФАЗОВЫХ УГЛОВ В ПРИВОДАХ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ситников Д.В., Мигунов В.И.

научный руководитель ст. преподаватель Мигунов В.И.

Сибирский федеральный университет

Одним из главных факторов диагностики является повышение экономической эффективности использования оборудования в горной промышленности. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, внедрение новых и усовершенствованных методов диагностирования значительно облегчает выявление и предупреждение отказов и неисправностей поддержание эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирование состояния в целях полного использования до ремонтного и межремонтного ресурса.

Исходя из вышесказанного, была разработана и изготовлена экспериментальная установка для моделирования дефектов приводов горного оборудования. Также была создана методика диагностирования дефектов по данным анализа фазовых углов.

Данная установка представляет собой обычный привод, который состоит из трехфазного электродвигателя, двухступенчатого цилиндрического редуктора (рис. 1).

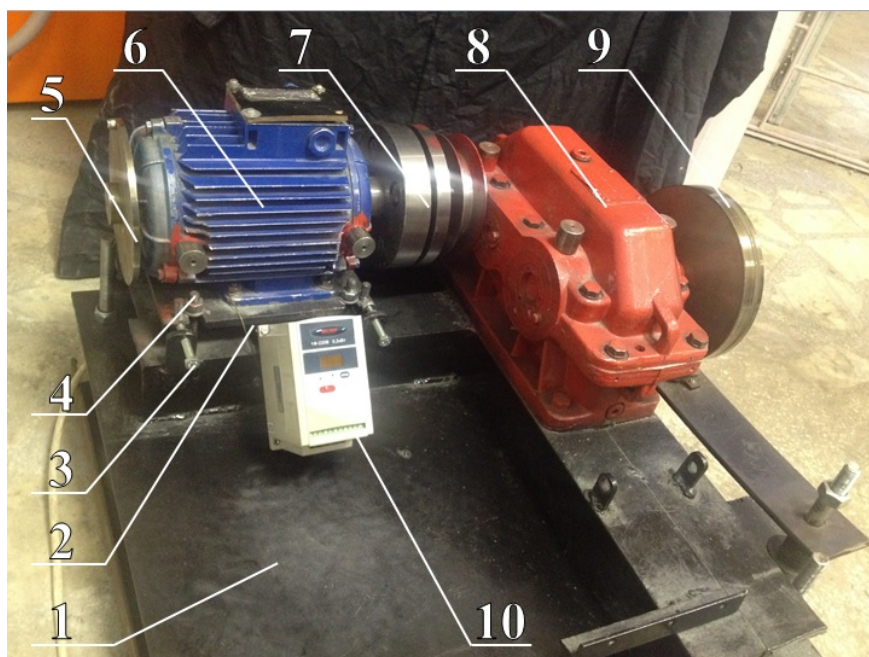


Рисунок 1. Общий вид установки

- 1 - рама; 2 - подвижная платформа; 3 – горизонтальный регулировочный болт;  
4 - вертикальный регулировочный болт; 5 - перфорированный диск;  
6 - электродвигатель; 7 - муфта; 8 - редуктор; 9 – нагрузочный диск;  
10 – преобразователь частоты.

Для изменения частоты вращения электродвигателя (моделирование резонанса) в схему электроснабжения установлен преобразователь частоты.

На валах электродвигателя располагаются диски с просверленными в них отверстиями для моделирования дисбаланса, с помощью установки в них грузов (в одной или двух плоскостях).

На данной установке были произведены измерения фазы при нормальном состоянии, расцентровке (угловая, параллельная), дисбалансе (динамический, статический) и резонансе. На рис. 2 приведена схема направлений измерений.

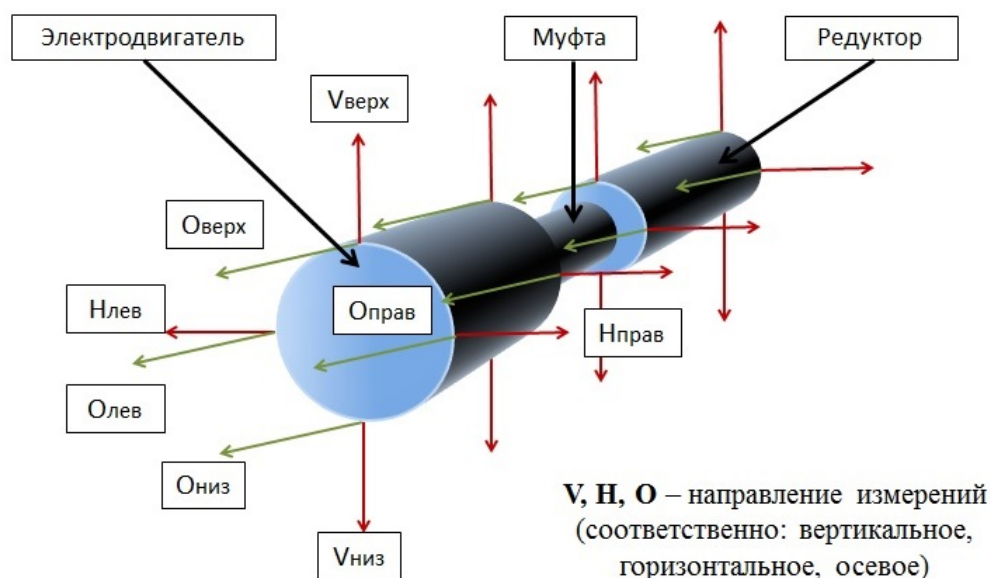


Рисунок 2. Схема направлений измерений

Фаза - это величина, которая характеризует состояние колеблющегося тела в некоторый момент времени - его положение и направление движения.

Проанализировав данные, получили следующие закономерности, в результате которых были выведены правила. Эти правила впоследствии были применены к роторной машине, результаты приведены ниже:

| Направл. оси датчика | Электродвигатель |           |                    |           |                                     | Редуктор         |           |
|----------------------|------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------------------------|------------------|-----------|
|                      | Задний подшипник |           | Передний подшипник |           | Разница фазы<br>На концах вала град | Задний подшипник |           |
|                      | Вибрация мм/с    | Фаза град | Вибрация мм/с      | Фаза град |                                     | Вибрация мм/с    | Фаза град |
| V <sub>верх</sub>    | 2.38             | 303       | 1.52               | 114       | 189                                 | 0.48             | 188       |
| V <sub>низ</sub>     | 2.14             | 102       | 1.87               | 318       | 216                                 | 0.54             | 35        |
| $\Delta V$           | 0.24             | 201       | 0.35               | 204       |                                     | 0.06             | 153       |
| H <sub>лев</sub>     | 2.34             | 216       | 1.21               | 158       | 58                                  | 0.67             | 222       |
| H <sub>прав</sub>    | 2.69             | 352       | 0.92               | 35        | 317                                 | 0.74             | 46        |
| $\Delta H$           | 0.35             | 136       | 0.29               | 123       |                                     | 0.07             | 176       |
| O <sub>верх</sub>    | 3.45             | 105       | 3.33               | 286       | 181                                 |                  |           |
| O <sub>низ</sub>     | 0.37             | 297       | 0.12               | 210       | 87                                  |                  |           |
| $\Delta O_v$         | 3.08             | 192       | 3.21               | 76        |                                     |                  |           |
| O <sub>лев</sub>     | 1.85             | 87        | 2.15               | 277       | 190                                 |                  |           |
| O <sub>прав</sub>    | 2.54             | 129       | 1.72               | 307       | 178                                 |                  |           |
| $\Delta O_H$         | 0.69             | 42        | 0.43               | 30        |                                     |                  |           |



Значения  $\Delta V$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta O_v, \Delta O_h$  – это разность фаз, соответственно в вертикальной, горизонтальной, осевой вертикальной и осевой горизонтальной плоскостях.

#### Правило 1. Расцентровка.

Расцентровкой является нарушение соосности двух валов, т.е. их отклонение от общей оси. Различают угловую расцентровку (излом оси в месте сочленения валов на некоторый угол при хорошем совмещении центров валов в районе их торцов) и параллельную расцентровку валов (параллельное взаимное смещение осей соседних центрируемых роторов друг относительно друга).

1) В этом правиле разница фаз в горизонтальном направлении должна быть больше  $150^\circ$  и не быть равным разнице фаз в вертикальном направлении.

| Правило                  | Электродвигатель |                |
|--------------------------|------------------|----------------|
|                          | 2                | 3              |
| $\Delta H \geq 150$      | $123 < 150$      | $176 > 150$    |
| $\Delta H \neq \Delta V$ | $123 \neq 204$   | $176 \neq 153$ |

По результатам возможна расцентровка.

#### Правило 2. Дисбаланс.

Дисбаланс - векторная величина, характеризующая неуравновешенность вращающихся частей машин. Как было сказано выше, опыт проводился при статическом и динамическом дисбалансе. Статический дисбаланс возникает, когда основная ось инерции смещена параллельно оси вращения. При динамическом дисбалансе центральная ось инерции не является ни параллельной, ни пересекается с осью вращения.

1) В этом правиле контрольным числом является  $170^\circ$ , т.к. в ходе эксперимента данные не превышали результирующее значение.  $\Delta O_v$  и  $\Delta O_h$  соответственно, разница фаз в осевом вертикальном и осевом горизонтальном направлениях.

| Правило               | Электродвигатель |    |
|-----------------------|------------------|----|
|                       | 1                | 2  |
| $\Delta O_v \leq 170$ | $192 > 170$      | 78 |
| $\Delta O_h \leq 170$ | 42               | 30 |

2) Разница фаз между концами вала 1 и 2 не должна быть больше контрольного числа  $170^\circ$ .

| Направл. оси датчика | $\Delta < 170$ |
|----------------------|----------------|
| $V_{\text{верх}}$    | 189            |
| $V_{\text{низ}}$     | 216            |
| $H_{\text{лев}}$     | 58             |
| $H_{\text{прав}}$    | 317            |



|                   |     |
|-------------------|-----|
| О <sub>верх</sub> | 181 |
| О <sub>низ</sub>  | 87  |
| О <sub>лев</sub>  | 190 |
| О <sub>прав</sub> | 178 |

3) Значения  $\Delta V$  и  $\Delta H$  это разница фаз в вертикальном и горизонтальном направлениях.

| Правило                          | Электродвигатель |     |
|----------------------------------|------------------|-----|
|                                  | 1                | 2   |
| $\Delta V \neq 0$                | 201              | 204 |
| $\Delta V \neq 180 \pm 10^\circ$ |                  |     |
| $\Delta H \neq 0$                | 136              | 123 |
| $\Delta H \neq 180 \pm 10^\circ$ |                  |     |

По результатам имеется дисбаланс.

Правило 3. Резонанс.

Резонанс — явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний, которое наступает при совпадении частоты внешнего воздействия с некоторыми значениями, определяемым свойствами системы.

Значения  $\Delta V$  и  $\Delta H$  соответственно, разница фаз в вертикальном и горизонтальном направлениях должны быть равны нулю или  $180^\circ \pm 10^\circ$ .

| Правило                       | Электродвигатель |     |
|-------------------------------|------------------|-----|
|                               | 1                | 2   |
| $\Delta V = 0$                | 201              | 204 |
| $\Delta V = 180 \pm 10^\circ$ |                  |     |
| $\Delta H = 0$                | 136              | 123 |
| $\Delta H = 180 \pm 10^\circ$ |                  |     |

В этом опыте, как видно из данных, резонанс маловероятен.

Подводя итог, можно сказать, что использование данной методики значительно облегчит работу технического персонала по выявлению дефектов приводов горного оборудования (дисбаланс, расцентровка, резонанс).



## СТЕНД ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРО-МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Филатов П.А., Петровский А.А.

научный руководитель ст. преподаватель Мигунов В.И.

Сибирский федеральный университет

В процессе эксплуатации горных машин желательно при проведении их диагностирования определять причины вызывающие вибрации и определяющие их параметры. Поэтому необходимы методики и стенды, позволяющие моделировать и изучать влияние различных дефектов на работу машин.

Для моделирования различных электро-механических дефектов связанных с обмотками якоря, щеточно-коллекторным узлом и несимметрией питания, была создана установка, которая представляет собой привод состоящий из асинхронного двигателя и генератора постоянного тока, соединённых между собой с помощью муфты и закрепленных на раме, два реостата, трансформатора и пульта управления (рис. 1).

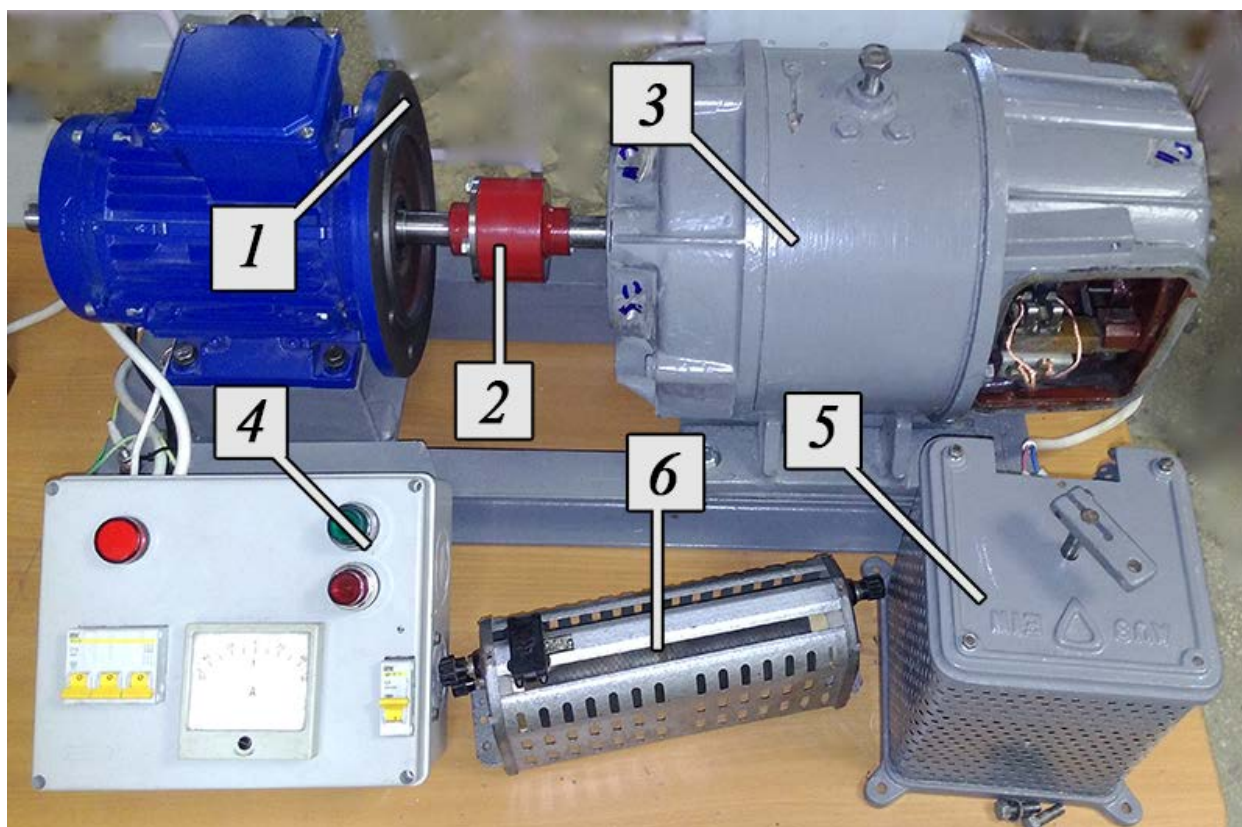


Рисунок 1. Общий вид стенда.

1-электродвигатель; 2-муфта; 3-генератор; 4-пусковое устройство, 5-секторный реостат, 6-реостат РСТ.

Пусковое устройство представляет собой пульт управления, состоящий из вводного автомата, пускателя и световых индикаторов, а так же автомата для моделирования обрыва одной из фаз питания. Секторный реостат используется для моделирования перегрузок генератора.

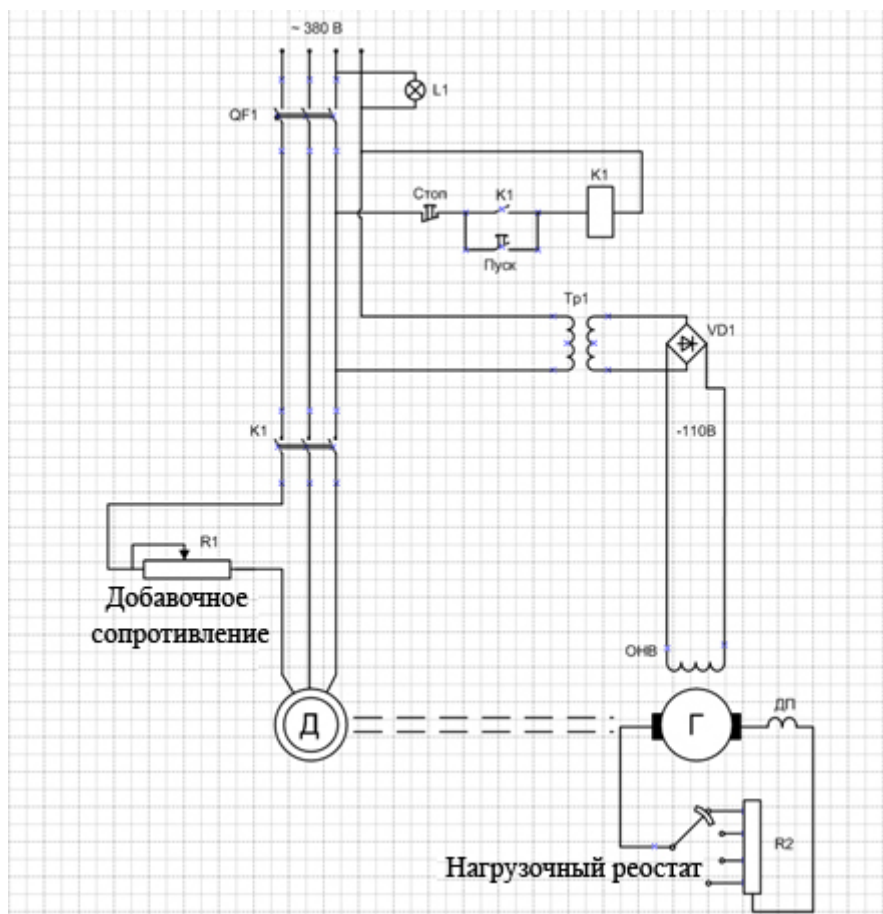


Рисунок 2. Принципиальная схема стенда.

Первым рассматриваемым дефектом будет несимметрия нарушения питания для АД. В процессе эксплуатации асинхронных двигателей довольно часто возникают аварийные ситуации, связанные с обрывом цепи одной из фаз обмотки статора. Когда такой обрыв происходит у работающего двигателя, то он будет продолжать работать, но уже в режиме однофазного асинхронного двигателя. Такой дефект моделируется с помощью введения добавочного сопротивления в одну из фаз статорной обмотки АД.

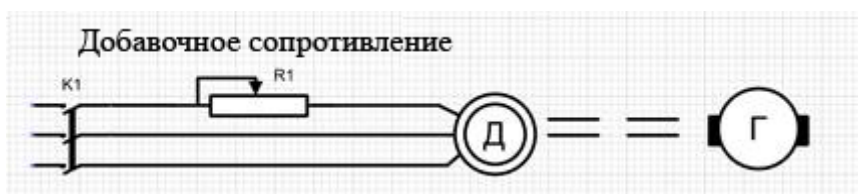


Рисунок 3. Схема включения добавочного сопротивления в фазу статорной обмотки асинхронного двигателя

Также нередки случаи возникновения дефектов щеточно-коллекторного узла. Щетки генератора подвержены износу во время работы, более того, зачастую происходит загрязнение коллектора, а как итог отсутствие выходного напряжения генератора либо его искажение. Для моделирования этого дефекта убирается одна из щеток установленных на траверсе генератора, тем самым увеличивая плотность тока проходящего через одну щетку.

Ещё одним дефектом связанным с щеточно-коллекторным узлом генератора является смещение щеток с нейтрали по ходу вращения, они могут быть сдвинуты на какой-то угол. При смещении щеточной траверсы относительно геометрической нейтрали даже у полностью исправной машины при работе будут наблюдаться внешние признаки дефектов и неисправностей. Поэтому проверка и установка щеточной траверсы машины относительно ее геометрической нейтрали, т. е. линии, проходящей посередине между соседними главными полюсами, имеют важное значение в работе электрической машины.

На наличие смещения щеточной траверсы указывают такие признаки: при ее сдвиге по направлению вращения якоря напряжение генератора снижается; если сдвиг траверсы против направления вращения, то напряжение генератора повышается, частота вращения электродвигателя возрастает. Дефект моделируется с помощью смещения траверсы с щетками с нейтрали генератора.

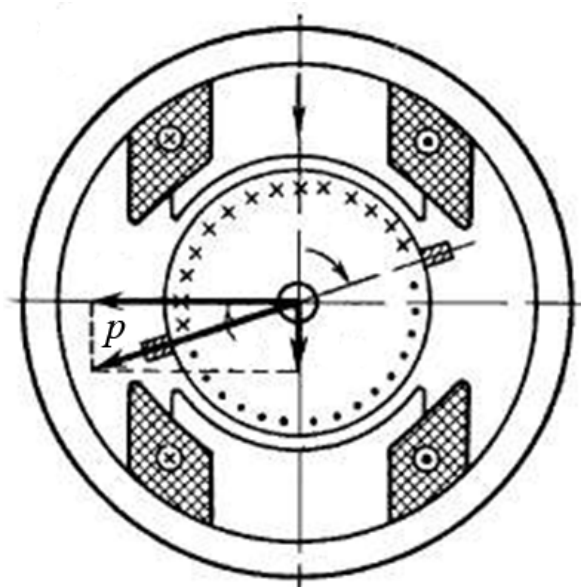


Рисунок 4. Смещение щеток с нейтрали генератора

Также стоит отметить, что КПД генератора напрямую зависит от его режима работы, КПД максимален при нормальной нагрузке, поэтому генератор всегда нужно нагружать полностью, однако перегрузка генератора выражается резким падением КПД и будет уменьшаться всё больше и больше из-за возрастающих потерь на нагрев якорной обмотки.

Дефект моделируется с помощью секторного реостата описанного выше, во время работы машины увеличением силы тока в электрической цепи.



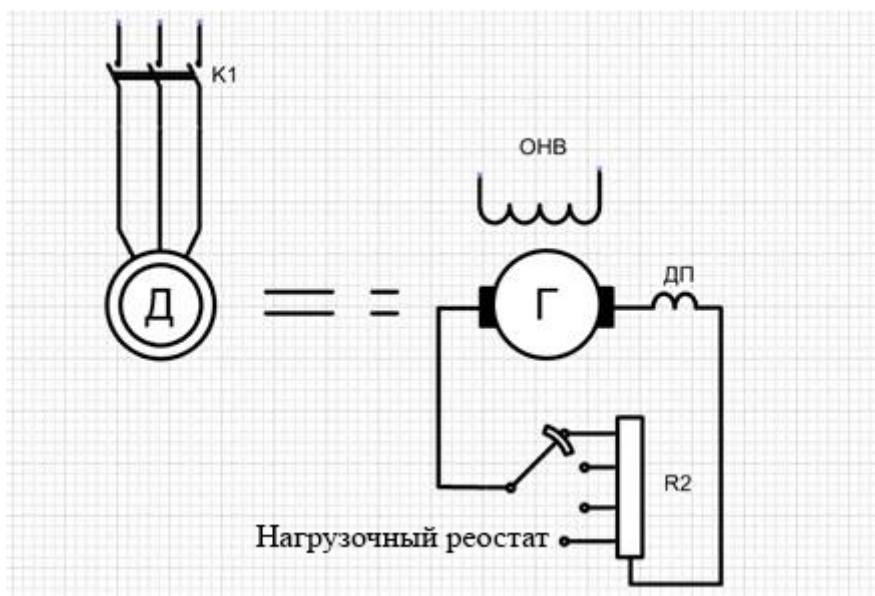


Рисунок 5. Схема создания тока якорной цепи выше номинального

Ещё одним дефектом, относящимся к коллекторному узлу, является замыкание пластин коллектора друг с другом. Обычно происходит после длительного использования машины в результате накопления в канавке между пластинами проводящей ток угольной или металлической пыли. Дефект моделируется с помощью установки замыкающего шунта между двумя пластинами коллектора.

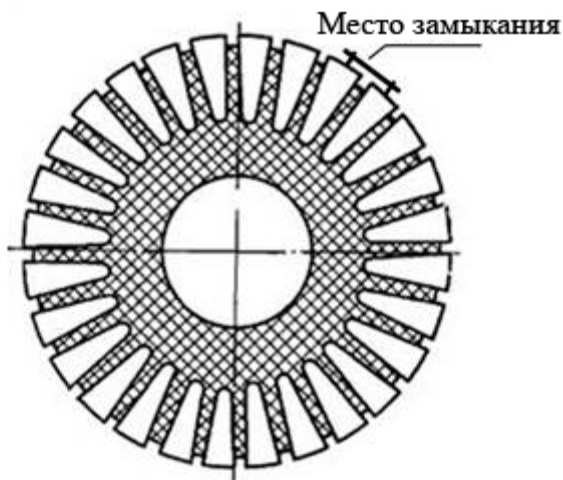
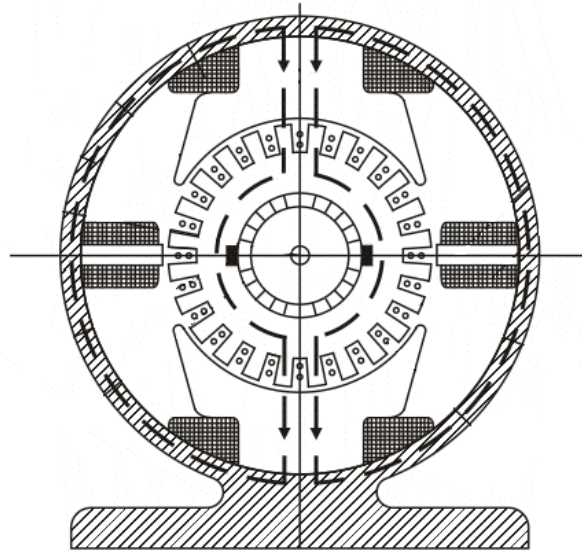


Рисунок 6. Схема замыкания пластин коллектора

Последний рассматриваемый дефект - это изменение воздушного зазора между якорем и одним из основных полюсов обмотки возбуждения. Итогом появления воздушного зазора является искажение магнитного поля, оно распределяется не симметрично относительно продольной оси и в итоге нарушается режим работы генератора. Дефект моделируется с помощью добавления прокладок между корпусом машины и основанием полюса, то есть с помощью уменьшения воздушного зазора. Изменение воздушного зазора между якорем и одним из основных полюсов возбуждения. Моделируется с помощью добавления прокладок между корпусом машины и основанием полюса.





*Рисунок 7. Пример симметричного воздушного зазора между якорем и полюсами машины*

Как видно, в лабораторных условиях мы можем воспроизвести большое количество дефектов для их дальнейшего изучения и снятия показаний специальными приборами. Ведь своевременное обнаружение подобных дефектов в условиях реального производства поможет снизить вероятность отказов электрических машин и повысить рабочие показатели машин, тем самым повысив экономические показатели предприятия.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРО-МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

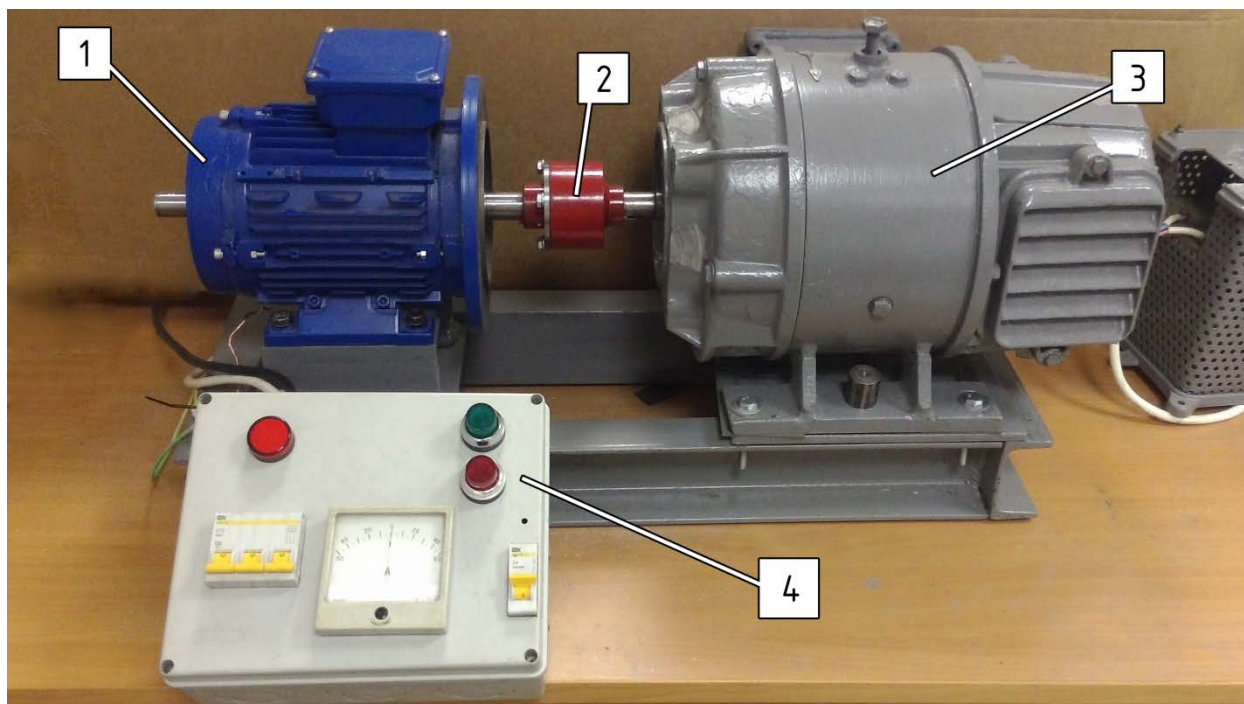
Филатов П.А., Мигунов В.И.

научный руководитель ст. преподаватель Мигунов В.И.

*Сибирский федеральный университет*

В процессе эксплуатации горных машин желательно при проведении их диагностирования определять причины вызывающие вибрации и определяющие их параметры. Поэтому необходимы методики и стенды, позволяющие моделировать и изучать влияние различных дефектов на работу машин.

Для изучения влияния таких электро-механических дефектов, как вибрации корпуса, динамический эксцентриситет зазора и подобных, была создана установка, которая представляет собой привод состоящий из асинхронного двигателя и генератора постоянного тока, соединённых между собой с помощью муфты и закрепленных на раме (рис. 1).



*Рисунок 1. Общий вид установки.*

*1-электродвигатель; 2-муфта; 3-генератор; 4-пусковое устройство.*

Асинхронный двигатель питается от трехфазной сети переменного тока через пусковое устройство, состоящее из активных сопротивлений и позволяющее менять напряжение питания отдельно по фазам двигателя.

Машина постоянного тока работает в режиме генератора и нагружена на реостат, позволяющий менять нагрузку на асинхронный двигатель в широких пределах.

Некоторые виды дефектов, диагностические признаки которых связаны с появлением амплитудной или частотной модуляции составляющих вибрации электромагнитного происхождения в АД, могут быть обнаружены и идентифицированы по однократному измерению вибрации. При этом следует учесть,

что многие составляющие вибрации на частотах, кратных частоте вращения ротора, могут иметь компоненты и механического, и электромагнитного происхождения, и их модуляция может относиться лишь к одной из компонент.

В качестве примера рассмотрены 3 спектра вибрации асинхронного двигателя. Под рисунками спектров приведены значения низкочастотных компонент вибрации, амплитуда которых изменяется (растет) при появлении (росте) дефектов, и частоты зубцовых составляющих вибрации, структура которых изменяется при появлении ранее рассмотренных дефектов.

Таблица 1. Частоты составляющих вибрации и тока как диагностических признаков дефектов АД и напряжения питания[1, с.45].

| Название дефекта                             | Рост НЧ вибрации            |
|--|-----------------------------|
| Несимметрия напряжения питания               | $2f_1$                      |
| Статический эксцентриситет зазора генератора | $4f_1$                      |
| Износщеточно-коллекторного узла              | $k_1 f_{zv} \pm k_2 f_{rt}$ |

Для моделирования дефекта типа: несимметрия напряжения питания, обрываем питание одной фазы через выключатель на пусковом устройстве. Согласно исходным данным из табл. 1, рост низкочастотной вибрации будет заметен на 100 Гц.

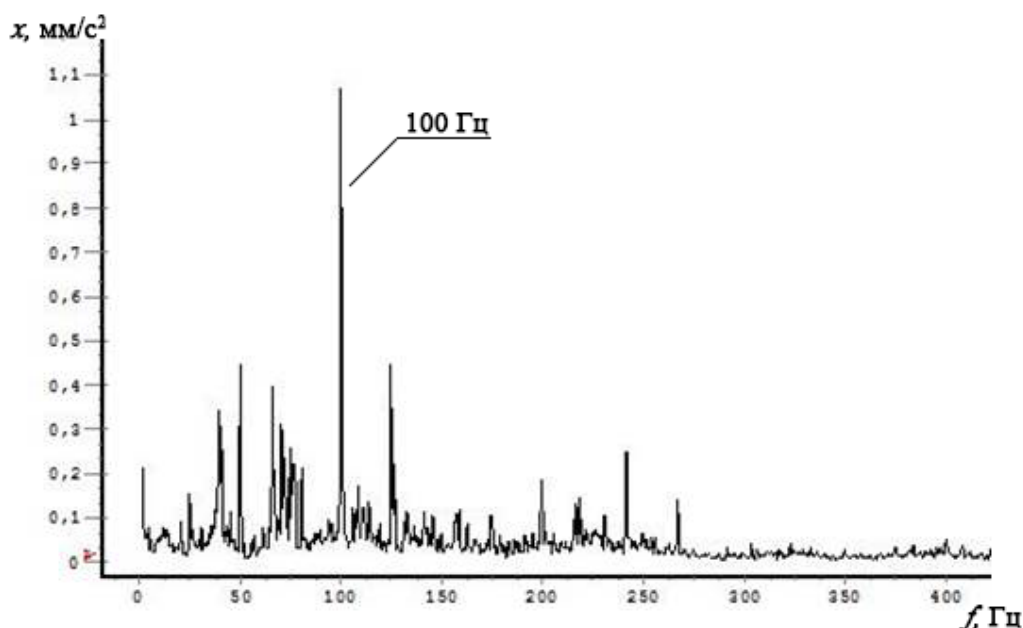


Рисунок 2. Несимметрия напряжения питания

Для моделирования дефекта типа: статический эксцентриситет зазора генератора, изменяем зазор между статором и ротором с помощью регулировочных болтов на корпусе машины. Согласно исходным данным из табл. 1, рост низкочастотной вибрации будет заметен на 200 Гц.

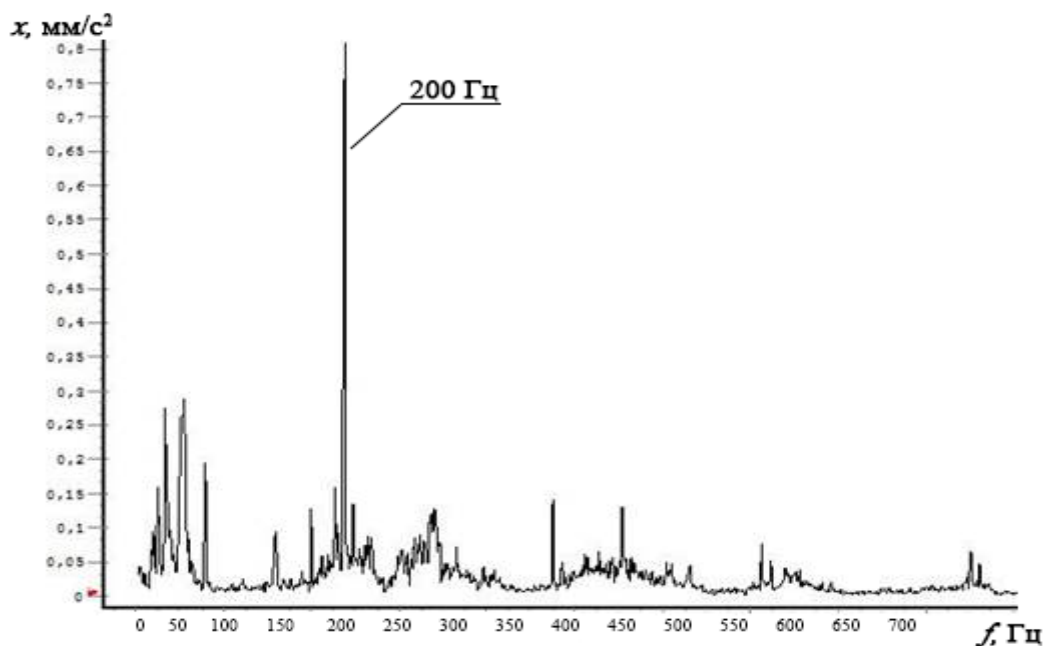


Рисунок 3. Статический эксцентриситет зазора

Для моделирования дефекта типа: износ щеточно-коллекторного узла, изменяем силу прижима щеток к коллектору. Согласно исходным данным из табл. 1, рост низкочастотной вибрации будет заметен на промежутке от 800 до 1000 Гц.

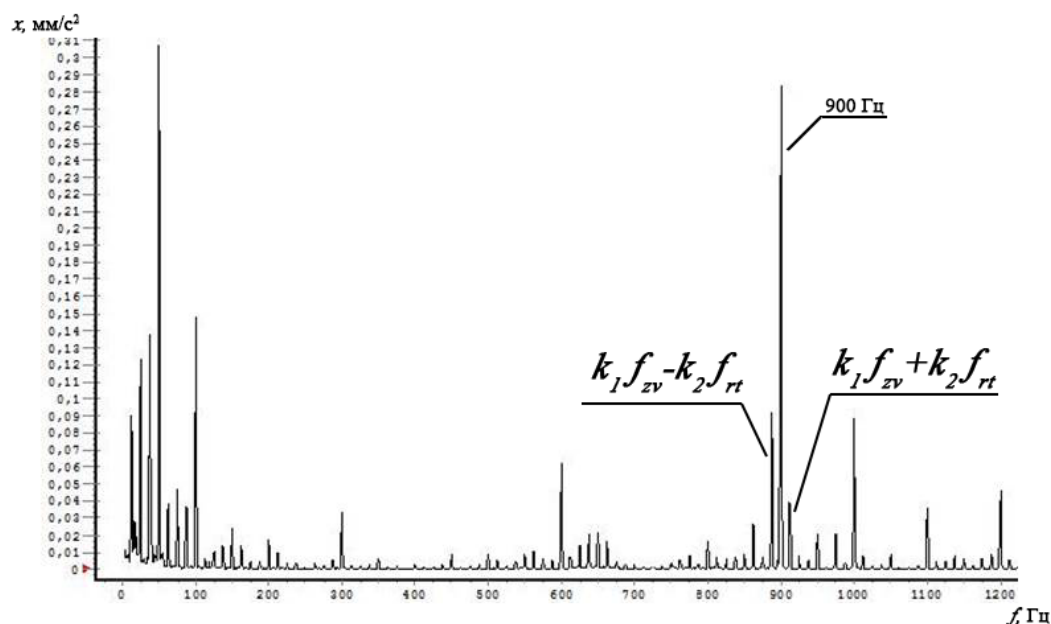


Рисунок 4. Износ щеточно-коллекторного узла

В заключение стоит сказать, что моделирование различных дефектов и обработка результатов измерений позволяют нам понять, как влияют те или иные дефекты на вибрацию машин. Как следствие, в условиях реального производства по полученным данным мы можем установить причину возникновения неполадок и устранить дефекты, которые их вызвали.



УДК 622.271.002.5

## МЕХАНИЗАЦИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ ШТАНГ СТАНКА СБР-160-24

Хаустов П.С.

научный руководитель проф. д.т.н. Гилев А.В.

Сибирский федеральный университет

Станок буровой СБР(рис.1) предназначен для вращательного бурения резцовыми коронками вертикальных и наклонных взрывных скважин при разработке месторождений открытым способом по углю и породам с коэффициентом крепости до  $f=6$  по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова, кроме пород, содержащих гравий размером свыше 20 мм.

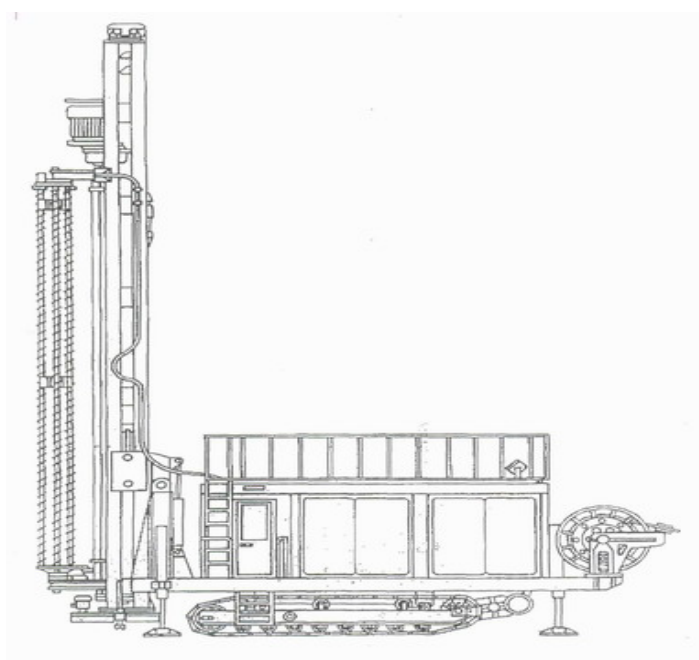


Рисунок 1. Станок СБР-160-24

Шнек буровой( рис.2) предназначен для транспортировки породы при бурении скважин в мягких и рыхлых породах специальными колонками лопастного типа. Основные элементы буровой штанги это труба, диаметром 70 мм. и навивка лопастей шириной 42,5мм.

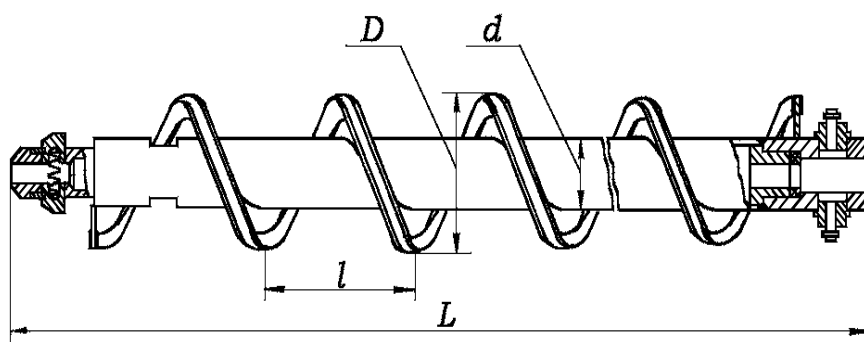


Рисунок 2. Буровой шнек станка СБР-160

При работе станка лопасти подвергаются абразивному износу в следствии чего уменьшается ширина лопастей. Допустимый износ 10 мм. на сторону, после чего шнек необходимо заменить, т.к. стоимость шнека очень высокая рационально его восстанавливать путем наплавки твердосплавной проволоки. На предприятиях это делается в ручную, тем самым очень тяжело добиться высокой производительности и высокого качества восстановленной поверхности.

Для повышения производительности и качества восстановленной поверхности нами предложена установка (рис.3) для механизации восстановления витков(лопастей) штанги.

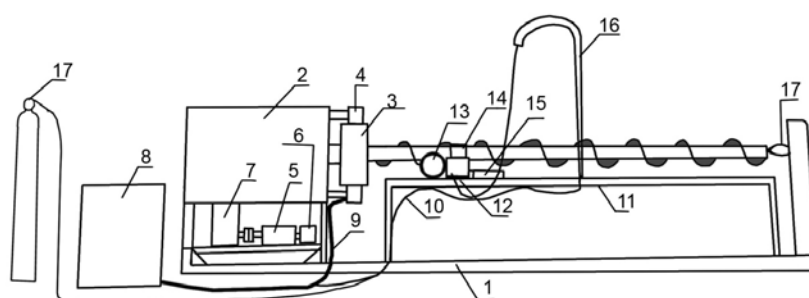


Рисунок 3. Установка для восстановления буровых штанг станка СБР-160-24

1). Рама. 2). Передняя бабка 16к20. 3). Патрон. 4). щеточный узел. 5). Электродвигатель 4AM100S4. 6). частотно регулируемый привод. 7). редуктор 1/10. 8). сварочный аппарат ВДУ-50ВС. 9). сварочный кабель полярность (-). 10). сварочный кабель полярность (+), шланг для подачи СО. 11). направляющая рельса для сварочной головки. 12). платформа.

13). сварочная головка ESAB A2 S GMAW. 14). подающее устройство сварочной головки вдоль штанги. 15). охлаждающая станция. 16). гусак для силового кабеля. 17). болон с углекислотой.

Наплавка осуществляется при помощи сварочного аппарата ВДУ-50ВС в среде углекислоты проволокой для наплавки ГОСТ 10543-98, диаметром 3 мм. при сварочном токе в 500А и напряжении 30В. Шнек наплавляется за 2 прохода, каждый равен 10мм. Для обеспечения данной толщины наплавляемого слоя необходимые обороты вращения шнека 4 об./мин. и подачи проволоки 2 м./мин.

Вывод: таким образом наша установка поможет повысить производительность , качество наплавляемой поверхности и позволит снизить экономические затраты.