

УДК 622.232

РАЗРАБОТКА МЕХАТРОНИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПРИВОДА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ДЛЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА КПД

Горбатов П.А., проф., д.т.н., Полозов А.Г., студент

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

В настоящей работе объектом модернизации явилась подсистема привода исполнительного органа (подсистема ПИО) проходческого комбайна КПД стреловидного типа. В состав указанной подсистемы с традиционной структурой входит нерегулируемый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, редуктор и исполнительный орган в виде двухкорпусной поперечно-осевой фрезы.

Предлагаемое направление совершенствования подсистемы ПИО для соответствующего исполнения комбайна КПД заключается в использовании частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя с аппаратурой автоматизации, что позволяет автоматизировать управление скоростью резания V_p как основным режимным параметром для исполнительного органа. В этом случае подсистема ПИО становится мехатронической, т.к. должна создаваться в виде органически целостного электро-механо-электронного технического объекта, включающего в качестве изначально одинаково важных, технически равноправных не только электрические и механические структурные единицы, но и аппаратуру автоматизации. Такое построение рассматриваемой подсистемы позволит повысить ее технико-экономический уровень за счет упрощения конструкции и улучшения параметров надежности редуктора, являющегося тяжело нагруженным структурным элементом, что особенно актуально при эксплуатации комбайна в проходческих забоях с крепкими породами.

В качестве рационального алгоритма автоматизированного управления предлагается вариант стабилизации среднего уровня момента M_p на валу исполнительного органа (ИО) при постоянной теоретической производительности $Q = \text{const}$ путем однопараметрического регулирования режимного параметра V_p . В этом случае при реализации современных технологических схем последовательной обработки забоя на основе доминирующих поворотных перемещений стрелы комбайна в горизонтальной плоскости скорость перемещения ИО V_n можно считать постоянной¹⁾, значения толщин стружки на резцах $h = \text{var}$, средний уровень мощности электропривода на резание $P_p = \text{var}$.

Рассмотрим отличительные особенности установления исходных данных и проектирования соответствующего исполнения комбайна КПД.

¹⁾ Некоторые кинетические изменения V_n и Q (порядка до 10-20%) при поворотных перемещениях стрелы в настоящей работе в первом приближении не рассматриваются.

1. Максимальное значение предела прочности разрушаемых пород при одноосном сжатии $\sigma_{сжв}$.

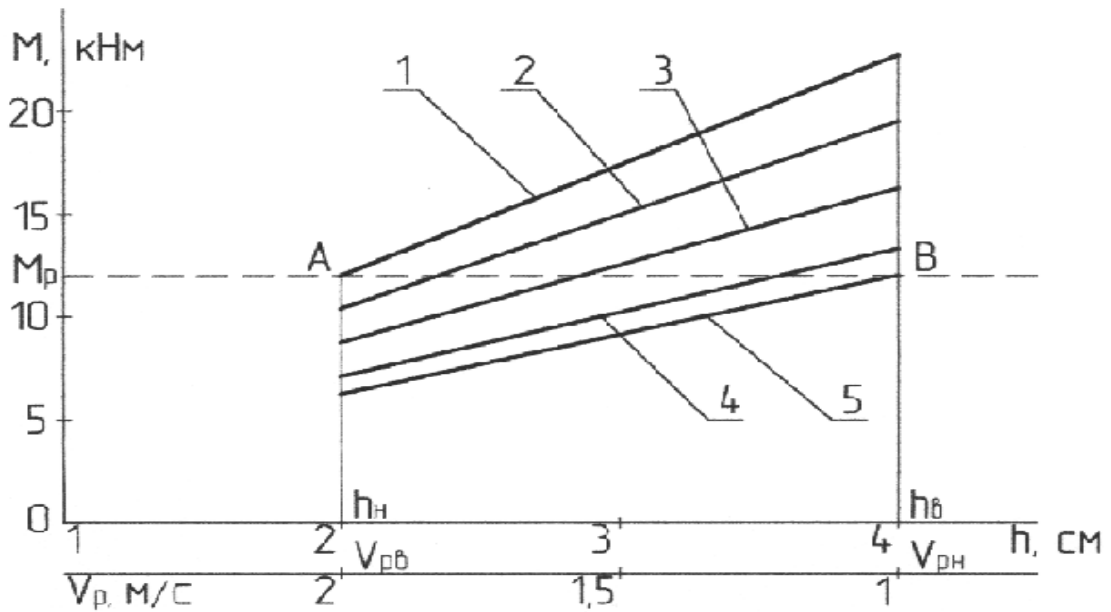


Рисунок – Установление основных параметров подсистемы ПИО

В настоящее время для комбайна КПД в технической характеристике указывается значение $\sigma_{сжв} = 80$ МПа. Учитывая желательность расширения области применения комбайна по этому фактору и наличие автоматизированной подсистемы ПИО, обеспечивающей стабилизацию M_p , для рассматриваемого исполнения принимаем $\sigma_{сжв} = 100$ МПа.

2. Диапазон автоматизированного регулирования скорости резания $V_p \in [V_{рн}; V_{рв}]$.

В соответствии с рекомендациями Донгипроуглемаша приняты следующие граничные значения основного режимного параметра: $V_{рв} = 2$ м/с, т.к. при выемке крепких пород при более высоких значениях V_p резко интенсифицируется износ резцов; $V_{рн} = 1$ м/с¹⁾.

Далее находится требуемый диапазон автоматизированного регулирования частоты вращения ИО $n_{об} \in [n_{обн}; n_{обв}]$, соответствующий области изменения скорости резания $V_p \in [V_{рн}; V_{рв}]$.

3. Значения толщины стружек h_n и h_b при автоматизированном управлении, соответствующие $V_{рв}$ и $V_{рн}$ при $V_n = \text{const}$.

Наибольшее значение толщины стружки принято равным $h_b = 4$ см, исходя из ограничения по радиальному вылету резцов, а наименьшее - $h_n = 2$ см, что можно считать приемлемым с позиций значений удельных энергозатрат при разрушении крепких пород.

¹⁾ Параметр V_p предлагается при решении поставленных задач относить к резцам со средним диаметром $D_{ср}$ расположения на поперечно-осевой фрезе.

Далее можно определить значение рабочей скорости подачи V_n , соответствующее реализации параметров h_n и $V_{рв}$ или h_b и $V_{рн}$ (m – число резцов в линиях резания):

$$V_n = \frac{0,6h_i V_{pa} m}{\pi D_{\dot{\sigma}}} = 2,3i / i\dot{\sigma} .$$

4. Задание значений параметров, которые также относятся к управляемым режимным: величины заглубления в массив B_3 и толщины разрушаемого слоя H_c .

С учетом конструктивных особенностей ИО, рекомендаций ОСТ 12.44.197-81 и разработчиков комбайна – ведущих специалистов Донгипроуглемаша приняты следующие значения: $B_3 = 200$ мм, $H_c = 480$ мм.

5. Построение зависимости средних за оборот ИО значений момента \overline{M}_B на валу ИО при $\sigma_{сжв} = 100$ МПа от толщины стружки $\overline{M}_B = \overline{M}_B(h)$.

На рисунке представлена оценочная линейная зависимость $1 \overline{M}_B = \overline{M}_B(h)$, построенная применительно к серийному ИО комбайна КПД и вышеуказанным значениям параметров B_3 и H_c по результатам расчетов \overline{M}_B в соответствии с ОСТ 12.44.197-81 при $h_n = 2$ см и $h_b = 4$ см.

6. Определение среднего уровня момента M_p на валу ИО, который аппаратурой автоматизации должен поддерживаться стабильным в процессе эксплуатации комбайна.

Указанное значение, определенное как ордината точки А, см. рисунок, составляет $M_p = 12,1$ кНм.

7. Установление нижнего значения предела прочности разрушаемых пород при одноосном сжатии $\sigma_{сжн}$, обеспечиваемого рассматриваемым исполнением подсистемы ПИО.

Путем построения промежуточных зависимостей 2, 3, 4 и 5 (см. рисунок) средних за оборот ИО значений момента на валу ИО от толщины стружки $\overline{M} = \overline{M}(h)$ при понижающихся значениях $\sigma_{сж}$ (соответственно 90, 80, 70 и 65 МПа) установлено $\sigma_{сжн}$, соответствующее оценочной прямой $5 \overline{M}_n = \overline{M}_n(h)$, проходящий через точку В.

Т.о. определена область применения исполнения проходческого комбайна КПД с мехатронической подсистемой ПИО по пределу прочности разрушаемых пород $\sigma_{сж} \in [\sigma_{сжн}; \sigma_{сжв}]$.

8. Выполнение эскизного проекта редуктора на основе следующих подходов:

а) электродвигатель размещается таким образом, чтобы его ось была параллельной оси ИО; это позволило избавиться от имеющихся в редукторе подсистемы ПИО базового комбайна КПД конических зубчатых колес, которые, как известно, обладают многими весьма существенными недостатками по сравнению с цилиндрическими колесами;

б) реализована более короткая кинематическая цепь на основе цилиндрических зубчатых колес с минимально возможными (в пределах компоновочных и габаритных ограничений) количеством силовых элементов и передаточным числом ($I_p = 2,92$);

в) конструкторскими и технологическими решениями обеспечены требуемые прочностные запасы наименее жизнестойких структурных элементов редуктора (зубчатых колес, валов и т.д.), исходя из реализации при автоматизированном управлении среднего уровня момента на валу ИО $M_p = 12,1$ кНм.

9. Выбор асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором для подсистемы ПИО осуществлялся прежде всего с учетом следующих условий:

а) габариты двигателя должны обеспечивать его вписываемость в имеющееся свободное пространство в корпусе стрелы;

б) реализация момента $M_p = 12,1$ кНм должна соответствовать области устойчивой работы электродвигателя, т.е. должно выполняться условие:

$$M_{уст} > M_p (I_p \eta_p)^{-1},$$

где $M_{уст}$ - устойчивый момент двигателя; η_p - КПД редуктора.

Указанным условиям отвечает электродвигатель типа 2ЭКВ 3,5-100У5, который и был принят в настоящей работе.

10. Аппаратура автоматизации должна обеспечивать формирование искусственных статических механических характеристик электродвигателя для реализации управляющего алгоритма в соответствии с правилом М.П.Костенко:

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_2}{f_2} = \dots = \text{const},$$

где U и f – соответственно величина действующего значения и частота питающего напряжения.

При этом регулирование f и U должно осуществляться вниз от номинальных значений этих параметров, т.е. $f < f_c$ и $U < U_n$, где $f_c = 50$ Гц и $U_n = 660$ В – номинальные значения рассматриваемых параметров.

В соответствии с вышеизложенным сценарием можно проектировать мехатронические подсистемы ПИО современных проходческих комбайнов для конкретных условий их эксплуатации.