

УДК 622.232

П.А. Горбатов, д-р техн. наук, проф., Н.М. Лысенко, канд. техн. наук, доц.,
Н.И. Подобедов, студент, Донецкий национальный технический универси-
тет, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМ ПОДВЕСКИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ МЕХАТРОННОГО КЛАССА

Предложены методика установления рациональных параметров, математическая и структурная модели для оптимального проектирования подсистем подвески и перемещения исполнительного органа в составе проходческих комбайнов следующего поколения на основе дальнейшего развития разработок в этой области. Такие подсистемы призваны обеспечить автоматизированную стабилизацию среднего уровня мощности электродвигателя подсистем привода исполнительного органа, что позволит повысить технический уровень рассматриваемых машин.

Ключевые слова: проходческий комбайн, мехатроника, оптимальное проектирование, методика, математическая модель, рациональные параметры

P.A. Gorbatov, Doctor of Technical Sciences, Prof., N.M. Lysenko, Candidate Technical Sciences, N.I. Podobedov, Student, Donetsk National Technical University, Ukraine.

MATHEMATICAL AND STRUCTURAL MODEL FOR OPTIMUM DESIGN OF SUBSYSTEMS SUSPENSION AND MOVEMENTS OF THE EXECUTIVE BODY HEADING MACHINES MECHATRONIC CLASS

Offered method of establishment of rational parameters, mathematical and structural models for the optimum planning of subsystems of pendant and moving of executive branch in composition the helldrivers of next generation on the basis of further development of developments in this area. Such subsystems are called to provide the automated stabilizing of middle power-level electric motor of subsystems of drive of executive branch, that will allow to promote the technical level of the examined machines.

Main words: continuous miner, mechatronics, optimal design, methodology, mathematical model, rational parameters

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В числе основных причин имеющего место снижения темпов проведения подготовительных выработок комбайновым способом в Украине - недостаточный уровень интеллектуализации процессов управления функциональными движениями этих сложных технических объектов, что не позволяет в полной мере реализовать их потенциальные возможности. В этой связи дальнейшее совершенствование проходческих комбайнов на основе реализации автоматизированных режимов работы и современного мехатронного подхода при проектировании, направленное на решение проблемы повышения темпов проходческих работ, представляется актуальной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. В стандарте Украины [1] для проходческих комбайнов (ПК) стреловидного типа указывается на необходимость обеспечения режимов автоматизированной стабилизации на заданном соответствующими уставками уровне нагрузки электродвигателя (ЭД) подсистем привода исполнительного органа (ИО) путем бесступенчатого регулирования для этих органов рабочей (по выемке) скорости перемещения V_{II} (режим стабилизации среднего значения мощности P ЭД) или частоты вращения ротора n ЭД (режим стабилизации среднего уровня момента M на валу ИО).

Рассмотрим первый из указанных режимов, называемый также минимальным вариантом, который характеризуется следующими особенностями: $V_{II}=var$, $n=const$, скорость резания $V_p=const$, средняя толщина стружки на резцах $h=var$, теоретическая производительность $Q=var$, $P=const$.

Перемещения ИО со скоростью V_{II} обеспечивает подсистема подвески и перемещения ИО (подсистема ППО), которая в соответствии с сис-

темным представлением ПК [2, с. 81-85] включает (см. рис.1): турель 1; раму стрелы 4 и расположенные в ней корпусные узлы ЭД и редуктора подсистемы привода исполнительного органа (ПИО); гидропривод регулирования положения ИО на основе пар гидродомкратов 2, 3 и 6, 7, а также пары гидродомкратов телескопирования (на рис.1 условно не показаны), обеспечивающих 3 степени свободы при перемещении ИО; сам исполнительный орган с диаметром $D_{ио}$ и частотой вращения $n_{об}$.

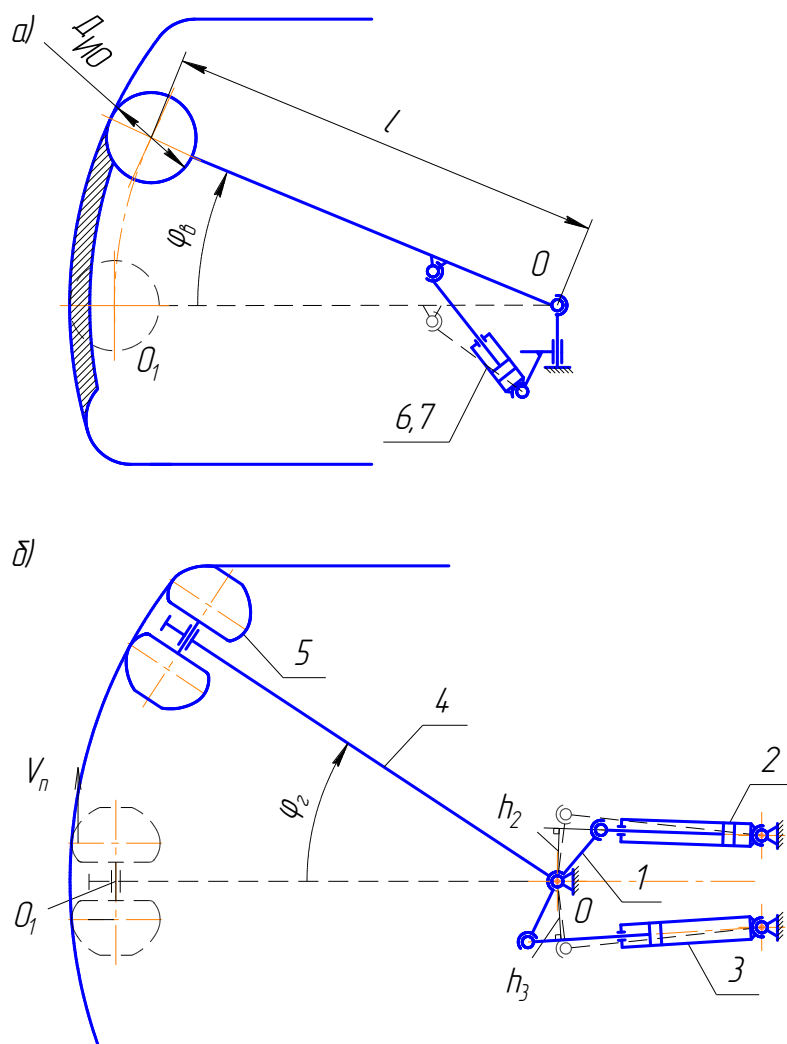


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения параметров подсистемы ППО (на примере комбайна КПД): а) $\varphi_2 = 0$, б) $\varphi_6 = 0$

Минимальный вариант применительно к очистным комбайнам достаточно давно исследован и реализован на практике, см. например, [3 - 5].

Для ПК стреловидного типа также еще в 70 годах XX века были выполнены разработки электрогидравлического регулятора режимов работы, обеспечивающего стабилизацию мощности P ЭД подсистемы ПИО машин ПК9рА и 4ПП2 [3]. При этом общие принципы регулирования были заложены аналогичными минимальному варианту для очистных комбайнов [2, с. 296-297]. Однако рассматриваемый режим на практике не был реализован, в.т.ч. и для ПК нового поколения КП и КСП.

Применительно к новым разработкам для ПК мехатронного класса следует отметить работы [6,7].

В работе [6]: предложена математическая модель регулятора мощности P в составе ПК; выполнены модельные исследования разрушения горного массива с разными значениями скоростного параметра регулирования подачи насоса, обеспечивающего изменение скорости V_n ; проведена оценка влияния указанного параметра на снижение нагрузок и увеличение ресурса (в качестве критерия его оценки принята накопленная повреждаемость за цикл работы) в ответственных элементах конструкции машины.

В работе [7] впервые предложена структура ПК с интеллектуальной системой «управление-подача» исполнительного органа. Указанная перспективная система отличается возможностью прогноза и опережающего изменения V_n до начала перехода ИО на разрушение участка забоя с другими прочностными параметрами породы. Здесь обоснован основной критерий эффективности работы системы – ресурс ответственных элементов конструкции ПК, на основе модельных исследований установлены её возможности значительного увеличения ресурсного показателя.

Постановка задачи. Целью настоящих исследований является разработка методики установления рациональных параметров, математической и структурной моделей для оптимального, итерационного характера, проектирования подсистем подвески и перемещения ИО в составе ПК мехатронного класса на основе дальнейшего дополнения и развития разрабо-

ток в рассматриваемой области.

Изложение материала и результаты. В качестве объекта исследований в настоящей работе рассматриваются ПК, оснащенные аксиальными фрезерными ИО, при использовании эффективных схем обработки забая на основе доминирующих горизонтальных (боковых) резов.

Для реализации минимального варианта в составе подсистемы ППО необходимо иметь гидropередачу «насос с регулируемой подачей – исполнительные гидродомкраты» с соответствующей гидроаппаратурой.

Альтернативный вариант дроссельного регулирования гидropередачи путем отвода определенной части подачи нерегулируемого насоса в бак обладает весьма низким КПД и существенным нагревом рабочей жидкости и потому не может считаться перспективным. Регулировать V_{II} можно и с помощью гидropередачи с нерегулируемым насосом при наличии частотно-регулируемого электродвигателя его привода, но этот вариант представляется более сложным, чем вариант использования гидropередачи с регулируемой подачей насоса.

Математическая модель и методика выбора рациональных режимных параметров для оптимального проектирования подсистем ППО мехатронного класса.

Для удобства формализованной записи параметров и характеристик в составе обобщенной математической модели (ММ) при оптимальном проектировании подсистем ППО, неразрывно взаимодействующих при выемке с подсистемами ПИО, воспользуемся основными подходами и векторной формой представления в интегрированной форме, предложенными при решении подобных задач оптимизации сложных объектов в работе [8].

С учетом указанного, ММ в общем виде можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} \vec{F}(\vec{Y}_y, S_y, \vec{L}_y, \vec{C}) \rightarrow \min(\Delta P - \Delta P_3); \\ V_n \in [V_{nn}; V_{nv}] \end{cases},$$

$$\text{при} \begin{cases} \sigma_{сжэ} \in [\sigma_{сжн}; \sigma_{сжв}]; \\ S_c(\Delta\varphi_\theta, B_3) \cdot V_{nn} \geq \begin{cases} Q_3(\sigma_{сжв}); \\ \frac{P_3}{60 \cdot W_3(\sigma_{сжв})} \end{cases} \end{cases}$$

Здесь приняты следующие обозначения:

\vec{F} - вектор-функция цели; y – номер рационального варианта;

\vec{Y}_y (рациональная схема обработки забоя; $S_c = f(\Delta\varphi_\theta, B_3)$;

$V_n \in [V_{nn}; V_{nv}]$) – вектор управляющих воздействий на ПК при реализации технологического цикла; здесь и ниже индексы «н» и «в» соответствуют нижним и верхним границам рассматриваемых параметров;

$S_c, \Delta\varphi_\theta, B_3$ - соответственно поперечные площади вынимаемых слоев породы, угловой шаг поворота стрелы подсистемы ППО в вертикальной плоскости и величина заглубления ИО в массив;

S_y - структурная модель (S-модель) взаимодействующих подсистем ППО и ПИО в составе ПК;

$\vec{L}_y(\vec{L}_{эв}, \vec{L}_{гп}, \vec{L}_{рр})$ - вектор параметров электротехнических – С_э, гидравлических - С_г и информационно-электронных – ИЭ компонент проектируемого объекта: электропривода (индекс «эв») и гидропривода («гп») подсистемы ППО и регулятора режимов работы («рр»);

\vec{C} (геометрические параметры выработки; свойства вынимаемых пород как объектов разрушения; $Q_3, W_3, \vec{C}_{эр}, \vec{C}_{ио}, \vec{C}_{мк}$) - вектор постоянных проектирования, задаваемых при создании исполнений ПК, максимально адаптированных к конкретным условиям эксплуатации машины;

Q_3, W_3 - заданные заказчиком или ТЗ значения минимально допускаемой теоретической производительности и максимально допускаемых удельных энергзатрат при разрушении пород с максимальным пределом прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сжв}$;

$\vec{C}_{эр}, \vec{C}_{ио}, \vec{C}_{мк}$ - векторы параметров электродвигателя с питающей электросетью и редуктора подсистемы ПИО (индекс «эр»), исполнительного органа с рабочим инструментом («ио») и основных элементов металлоконструкций подсистемы ППО – турели, рамы стрелы и др. («мк»);

$$\Delta P = \frac{P_в - P_з}{P_з} = \frac{P_з - P_н}{P_з} \text{ и } \Delta P_з - \text{соответственно критерий стабилизации}$$

заданного среднего уровня мощности P электродвигателя подсистемы ПИО и его заданное значение; $P_н, P_в$ - границы «коридора» автоматизированного поддержания заданного среднего уровня $P_з$.

Учитывая известные ограничения объема публикации, в настоящей работе рассмотрен вариант, когда подсистема ПИО с исполнительным органом и основные элементы металлоконструкции подсистемы ППО уже спроектированы и решается задача оптимального проектирования гидропривода регулирования скорости V_n подсистемы ППО в составе комбайна. Вследствие этого векторы параметров $\vec{C}_{эр}, \vec{C}_{ио}, \vec{C}_{мк}$ введены в состав вектора постоянных проектирования \vec{C} .

Однако, если в процессе выполнения итерационных процедур проектирования выяснится, что значения ранее установленных параметров вышеуказанных составляющих вектора \vec{C} применительно к электротехническим – С_э (электродвигателю, пусковой аппаратуре) и (или) механическим – М (ИО и редуктору подсистемы ПИО, основным элементам металлоконструкций подсистемы ППО) компонентам не являются рациональными, то должна выполняться задача их корректирующего проектирования. В этом случае указанные структурные единицы должны включаться в состав вектора \vec{L}_y параметров компонент проектируемого объекта. При этом необходимо, безусловно, в состав вектор-функции цели \vec{F} ввести дополнительно критерии, отражающие, например, ресурсные показатели механических компонент подсистем ПИО и ППО, металлоемкость металлоконструкций

подсистемы ППО и др.

Здесь и в дальнейшем, учитывая наличие известных кинематических изменений V_n и S_c , будем рассматривать соответствующие параметры, зависящие от этих величин, при номинальном положении ИО, соответствующем нулевым значениям углов поворота турели влево-вправо (φ_z) и рамы стрелы вверх-вниз (φ_e), см. рис.1.

Предлагается следующая итерационного характера методика установления рациональных значений управляемых режимных параметров V_n и S_c , определяющих производительность ПК Q при известном значении параметра подсистемы ППО – скорости резания V_p , см. рис.2, где P – средний уровень мощности ЭД подсистемы ППО.

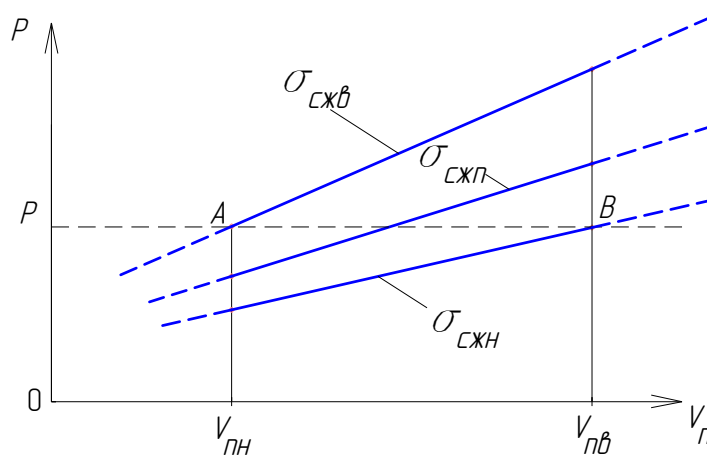


Рисунок 2 – К установлению параметров $V_n \in [V_{пн}; V_{пв}]$ и $\sigma_{сжн}$

Значение заданного среднего уровня мощности P_s определяется, исходя из параметров подсистемы ППО, которые должны быть гармонизированы с функциональными ограничениями $\Phi_{эр}(P_{уст}, P_{ном}(SN), H_a)$. Здесь: $P_{уст}$ - устойчивая мощность ЭД в составе подсистемы привода; $P_{ном}(SN)$ - номинальная тепловая мощность ЭД в режиме работы SN ; $H_a(K_n \geq [K_n], K_e \geq [K_e]$ при заданной долговечности) – параметры, характеризующие надежность редуктора, K – запасы прочности («п») и выносливости («в») расчетные и требуемые (в квадратных скобках).

Далее необходимо, исходя из опыта эксплуатации ПК подобного типа, задаться представительным применительно к разрушению породного массива с $\sigma_{сжв}$ значением $S_c = f(\Delta\varphi_\theta, B_3)$ и по имеющимся методикам выполнить построение оценочной зависимости средних уровней мощности $P = P(V_n)$ при выемке пород с $\sigma_{сжв}$. Абсцисса точки А на рис.2 определяет нижнюю границу регулирования скорости подачи V_{nn} при $\sigma_{сжс} = \sigma_{сжв}$. При

этом должны выполняться условия:

$$S_c \cdot V_{nn} \geq \begin{cases} Q_3 \\ P_3 (60W_3)^{-1} \end{cases}$$

Если указанные условия не выполняются, то необходимо произвести соответствующие проектные итерации.

Далее применительно к установленному значению S_c путем построения промежуточных зависимостей $P = P(V_n)$ при снижающихся значениях $\sigma_{сжс}$ (на рис.2 показана зависимость при промежуточном значении $\sigma_{сжс} = \sigma_{сжп}$) находится предел прочности $\sigma_{сжп}$, соответствующий оценочной прямой, проходящей через точку В с координатами $(V_{ng}; P_3)$.

Здесь верхнее значение скорости V_{ng} применительно к фрезерному исполнительному органу аксиального типа при боковых резах определяется, исходя из существующего функционального ограничения (см. рис. 3) максимальной толщины стружки h_g по радиальному вылету резца $l_p = l_k \cdot \sin \theta$ используемого инструмента:

$$V_{ng} = \frac{0,6 \cdot V_p \cdot m \cdot l_k \cdot \sin \theta}{\pi \cdot D_{cp} \cdot \cos \gamma},$$

где m – количество резцов в одной линии резания; l_k – конструктивный вылет резца; D_{cp} – средневзвешенный диаметр расположения вершин резцов на ИО; θ - угол установки резца на ИО; γ - угловая координата вершины резца (см. рис. 3), участвующего в разрушении массива с минимальным радиусом установки на ИО.

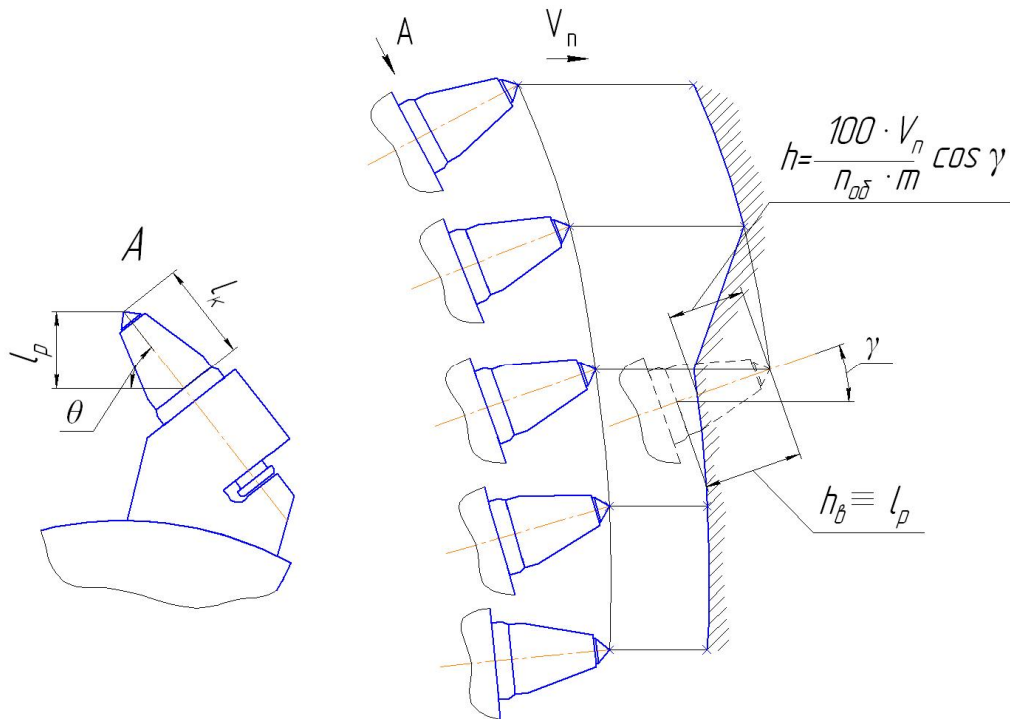


Рисунок 3 – Формирование h на резцах фрезерного ИО аксиального типа

Т.о., устанавливается диапазон регулирования $V_n \in [V_{nn}; V_{nv}]$ и соответствующий ему диапазон толщин стружки $h \in [h_n; h_g]$ при реализации режима стабилизации мощности P при выемке пород с $\sigma_{сжс} \in [\sigma_{сжсн}; \sigma_{сжсв}]$.

Рассмотрим формирование вектора \vec{L}_y основных параметров проектируемых традиционных гидравлических C_r (гидропередача «насос с регулируемой подачей – исполнительные гидродомкраты» с соответствующей гидроаппаратурой), электротехнических C_3 (ЭД для привода насоса, пусковая аппаратура) компонент подсистем ППО и интеллектуального характера информационно-электронных ИЭ (регулятор режимов работы - РР) структурных единиц в составе ПК.

Вектор \vec{L}_{zn} при выборе основных параметров C_r компонент подсистемы ППО можно записать следующим образом: $\vec{L}_{zn}(Q_{nm}, p_{уст}, S_p)$,

где: Q_{nm} - максимальное значение подачи насоса Q_n ; $p_{уст}$ - устойчивое

давление рабочей жидкости в нагнетательной гидролинии; S_p - площади рабочих полостей гидродомкратов (поршневой S_n и штоковой $S_{ш}$).

Устойчивое давление $p_{уст}$ соответствует максимальному среднему уровню давления $\bar{p}_{нм}$ в нагнетательной гидролинии, при котором гидропередача еще работает устойчиво [2, с. 211-213].

При проектировании гидропередачи применительно к доминирующим боковым резам должны выполняться следующие условия (на примере технического решения подсистем ППО, представленного на рис.1):

$$Q_{нм} \geq \frac{V_{нв}(h_2 S_{ш} + h_3 S_n)}{l + 0,5(D_{ио} - B_3)}; \quad p_{уст} \geq \frac{[(l + 0,5(D_{ио} - B_3))Y_{н.макс}}{h_2 S_{ш} + h_3 S_n}.$$

Здесь: h_2, h_3 – плечи гидродомкратов 2 и 3 для поворота рамы стрелы в горизонтальном направлении; l – расстояние между осью поворота рамы стрелы O и осью ИО O_I ; $Y_{н.макс}$ - максимальное значение усилия Y_n , необходимое для перемещения ИО в горизонтальной плоскости при выемке породного массива.

В качестве функционального ограничения для $p_{уст}$ выступает наименьшее из предельных давлений, допускаемых прочностными свойствами гидромашин и других элементов гидропривода $p_{пр.н}$. Значение $p_{пр.н}$ определяет уровень давления настройки предохранительного клапана p_k :

$$p_k \leq \frac{p_{пр.н}}{\Pi_y},$$

где Π_y - показатель динамичности давления p_n , формирующегося в нагнетательной гидролинии в режиме сброса рабочей жидкости через предохранительный клапан.

Устойчивое давление можно определить по зависимости:

$$p_{уст} \equiv \bar{p}_{нм} \leq \frac{p_{пр.н}}{\Pi_y \cdot \Pi},$$

где Π – показатель динамичности давления p_n , формирующегося в нагнетательной гидролинии при запорном предохранительном клапане.

Если для маневровых перемещений ИО целесообразно значение скорости $V_{nm} > V_{ng}$, то в зависимости для определения Q_{nm} необходимо вместо V_{ng} подставлять V_{nm} .

Вектор $\vec{L}_{эв}$ при выборе основных параметров $C_э$ – компонент подсистемы ППО выглядит следующим образом:

$$\vec{L}_{эв} = (P_{ном.в}(SN), n_{ном.в}),$$

где $P_{ном.в}(SN)$ – номинальная тепловая мощность ЭД для привода насоса с регулируемой подачей в режиме работы SN; $n_{ном.в}$ – номинальное значение частоты вращения ротора электродвигателя.

При этом необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

$$P_{ном.в} \geq P_v \text{ (функциональное ограничение)}, \quad n_{ном.в} = n_{ном},$$

где P_v – требуемое значение мощности на перемещение ИО; $n_{ном}$ – номинальная частота вращения ротора насоса.

При выполнении 2-го условия согласующий редуктор между ЭД и насосом не требуется (принцип минимизации числа структурных блоков).

Функциональная и структурная модели подсистем ППО и ПИО в составе ПК мехатронного класса.

Рассматриваемая подсистема ППО совместно с подсистемой ПИО в составе ПК предназначены для выемки горных пород с граничными значениями предела прочности $\sigma_{сж} \in [\sigma_{сжн}; \sigma_{сжв}]$ при реализации режима стабилизации мощности ЭД подсистемы привода $P \in [P_n; P_e]$ на основе автоматизированного управления скоростью $V_n \in [V_{nn}; V_{ng}]$.

Для реализации указанной функциональной модели минимально необходимы следующие структурные блоки с собственным функциональным назначением, см. предлагаемую структурную модель (S-модель) на рис.4.

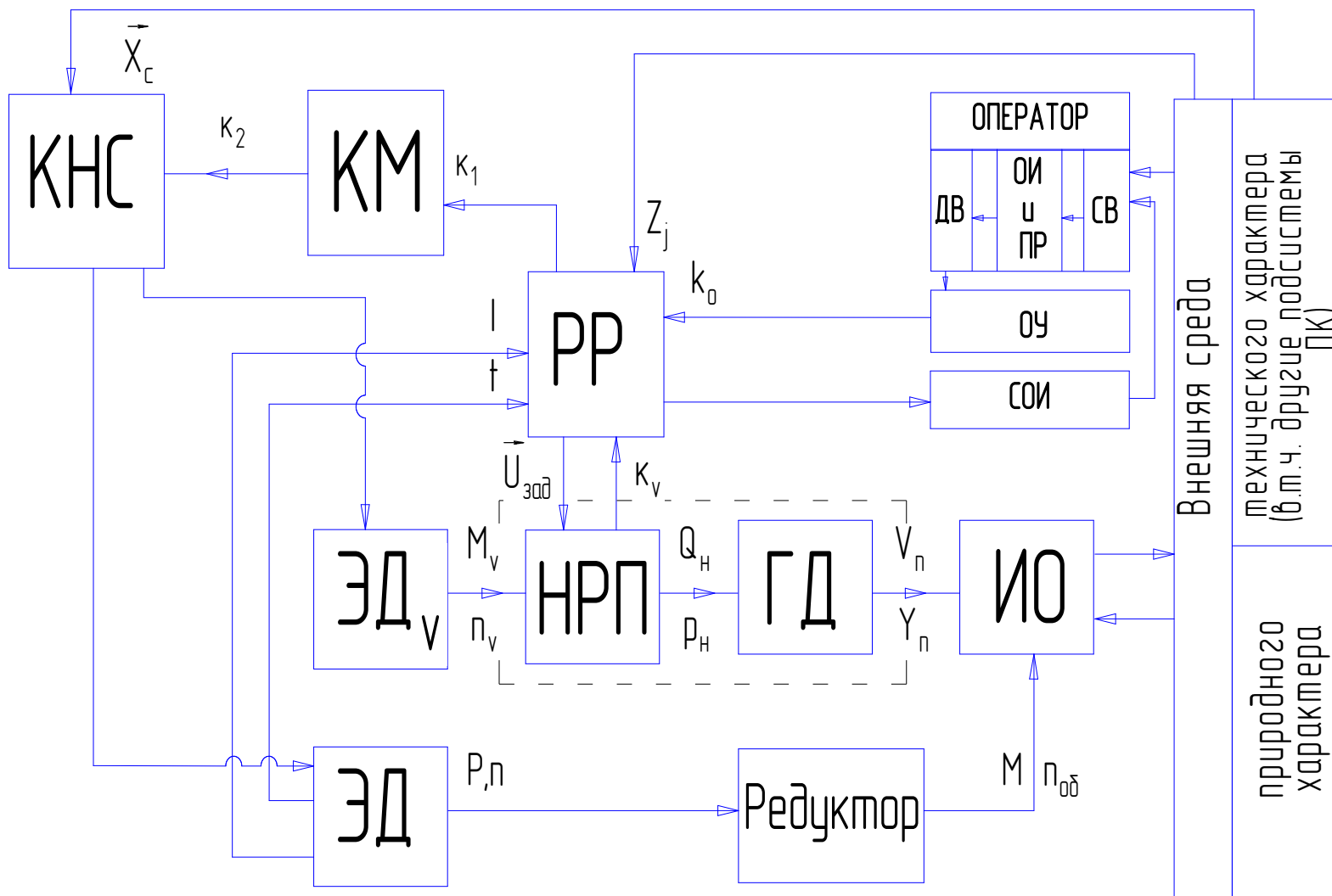


Рисунок 4 – S модель подсистем ППО и ПИО проходческого комбайна мехатронного класса, взаимодействующих с оператором и внешней средой

1. ЭД и редуктор подсистемы ПИО.

2. ИО, входящий одновременно в состав подсистем ППО и ПИО для обеспечения выемки породы при реализации режимных параметров – скоростей резания $V_p = \frac{\pi D_{cp} n_{об}}{60} = const$ и подачи $V_n = var$, поперечных площадей вынимаемых слоев породы $S_c = f(\Delta\varphi_e, B_3)$.

3. Электродвигатель ($ЭД_v$), обеспечивающий передачу крутящего момента M_v для привода насоса с регулируемой подачей (НРП) с частотой вращения n_v .

4. Гидропередача «нанос (НРП) – исполнительные гидродомкраты (ГД)».

5. Регулятор режимов работы (РР), как управляющий модуль для формирования управляющего сигнала, например, в виде напряжения постоянного тока $\vec{U}_{зад}$, подаваемого на катушки электромагнитов электрогидрораспределителя. В этом случае электрогидрораспределитель может входить в состав соответствующего гидроблока и его функцией является управление подачей Q_n путем регулирования эксцентриситета e радиально-плунжерного насоса или угла наклона чашки α_n аксиально-плунжерного насоса.

Управляющий сигнал $\vec{U}_{зад}$ формируется РР в результате сравнения тока I статора ЭД подсистемы ПИО и тока уставки I_y , а также в зависимости от величины температуры t обмотки статора ЭД и сигналов Z_j , характеризующих состояние внешней среды (расход и давление в подсистеме пылеподавления и охлаждения; содержание метана в шахтной атмосфере и др.). РР должен также обеспечивать реализацию режима стабилизации заданной скорости перемещения ИО $V_{нз}$, значение и направление которой определяется оператором с помощью задатчика скорости. Этот режим предназначен для маневровых перемещений ИО и может использоваться

при возможных нештатных ситуациях, а также (в случае необходимости) при самозарубке и выполнении не доминирующих вертикальных резов.

Для обеспечения работы РР необходима информация о фактических значениях скорости V_n в виде сигналов обратной связи k_v , вырабатываемых, например, с помощью индукционного датчика эксцентриситета e или угла α_n НРП.

Математическую модель РР можно представить следующим образом:

$$\vec{U}_{зад} = \varphi_p(\vec{X}_{вп}; \vec{P}_p).$$

Здесь $\vec{U}_{зад}$ - выходной вектор; $\vec{X}_{вп}(k_0, I, k_v, t, Z_j)$ - входной вектор; k_0 - управляющее воздействие оператора (включить-выключить, задать режим стабилизации P или $V_{нз}$, установить рациональное значение I_y или $V_{нз}$), k_0 также входит в состав вектора управляющих воздействий \vec{Y}_y ; $I \in [I_n; I_в]$ - ток статора ЭД подсистемы ПИО, принятый в качестве основного мониторингового сигнала о нагрузке двигателя, граничные значения которого $(I_n, I_в)$ должны соответствовать «коридору» автоматизированного поддержания заданного уровня мощности $P \in [P_n; P_в]$; $\vec{L}_{pp}(I_y, \tau, V_{нз}, [t], [z_j])$ - вектор основных параметров РР; τ - параметр, характеризующий быстродействие регулятора режимов, величина τ должна обеспечивать реализацию заданного критерия стабилизации ΔP_3 при формировании прогнозируемого представительного значения скорости изменения нагрузки P (с учетом инерционных свойств подсистемы ППО); $[t]$ и $[z_j]$ - допускаемые значения (функциональные ограничения) t и z_j .

6. Интерфейс КНС в виде коммутатора силового напряжения – пускателя для подачи или отключения напряжения шахтной электросети $\vec{X}_c(U_c, f_c)$ с действующим значением U_c и частотой f_c по сигналу управления K_2 .

7. Интерфейс КМ в виде коммутационного модуля, преобразующего управляющий кодовый сигнал k_1 от РР в сигнал k_2 управления КНС.

На рис.4 применительно к структурному представлению человека-оператора, взаимодействующего с объектом управления в условиях проходческого забоя, обозначены: СВ – сенсорный вход, обеспечивающий получение соответствующих сведений от средств отображения информации (СОИ); ОИ и ПР – блок обработки информации и принятия решений; ДВ – двигательный выход для реализации управляющих воздействий на органы управления (ОУ).

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработанные методика установления рациональных параметров, математическая и структурная модели предназначены для оптимального, итерационного характера, проектирования подсистем подвески и перемещения исполнительного органа в составе проходческих комбайнов мехатронного класса с высокими макроуровневыми показателями для конкретных условий эксплуатации.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на структурно-конструктивный (СК) анализ и СК – интеграцию синергетического характера применительно к рассматриваемым объектам, обеспечивающим автоматизированную стабилизацию среднего уровня нагрузки ЭД подсистем привода исполнительного органа.

Список литературы

1. ДСТУ 4520:2006. Комбайни шахтні прохідницькі зі стріловидним виконавчим органом. Загальні технічні умови. Чинний від 01.07.2007.- Київ: Держспоживстандарт України, 2007.- 19с.
2. Горные машины для подземной добычи угля / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 669с.
3. Автоматизация и автоматизированные системы управления в угольной промышленности/ Под общей ред. Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1976. -383с.
4. Стариков Б.Я., Азарх В.Л., Рабинович З.М. Асинхронный электропривод очистных комбайнов. – М.:Недра, 1981.-288с.

5. Стадник Н.И., Сергеев А.В., Кондрахин В.П. Мехатроника в угольном машиностроении // Горное оборудование и электромеханика. –М.: Новые технологии, №4, 2007. – С.20-29.

6. Повышение ресурса проходческих комбайнов с аксиальными коронками на основе регулятора нагрузки в системе подачи исполнительного органа / О.Е. Шабаев, А.К. Семенченко, Н.В. Хиценко и др. // Научные труды ДонНТУ. Выпуск 16(142), серия горно-электромеханическая. –Донецк: ДонНТУ, 2008. – С.264-273.

7. Оценка эффективности проходческого комбайна с интеллектуальной системой «управление-подача» исполнительного органа / О.Е. Шабаев, А.К. Семенченко, Е.Ю. Степаненко, Н.В. Хиценко // Вісті Донецького гірничого інституту. Випуск 1. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С.207-218.

8. Семенченко А.К. Научные основы многокритериального синтеза горных машин как пространственных многомассовых динамических систем переменной структуры. Автореф. дис....докт. техн. наук.-Донецк: ДонГТУ, 1997.-33с.

Горное оборудование и электромеханика. – М.: Новые технологии, №7, 2010. – С 9 – 15.