

УДК 622.232.7

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОДСИСТЕМЫ "ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН" ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА КСП-32

Кондрахин В.П., докт. техн. наук, проф.,

Тарасенко В.А., канд. техн. наук, доц., Хиценко А.И., науч. сотр.

Донецкий национальный технический университет

Предложена методика оптимизации параметров исполнительного органа проходческого комбайна. Методика учитывает влияние динамических процессов при разрушении забоя на нагрузку на исполнительном органе

The method of optimization of parameters of the working unit of the roadheader is proposed. This method discounts effect of the stochastic processes to the load on the working unit

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами. Оптимизация параметров исполнительного органа (ИО) является важной составляющей частью проблемы структурно-параметрической оптимизации проходческого комбайна (ПК). Решение этой проблемы позволяет повысить его производительность, надежность и эффективность работы.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время разработано большое количество методик выбора рациональных параметров ИО ПК. В работе к.т.н. Петрушкина Г.В. [1] предложена методика, позволяющая снизить коэффициент вариации момента сопротивления на ИО за счет изменения углов установки резцов. Методика предусматривает обеспечение равномерного углового шага между резцами, что позволяет уменьшить колебания количества резцов, одновременно находящихся в контакте с забоем. Недостаток методики – неучет механизма формирования параметров среза на резцах. В работе [2] получены зависимости для определения параметров режима разрушения забоя резцами продольно-осевой коронки и реализованы в виде программного пакета CoronCAD. Данный пакет может быть использован для анализа, но не синтеза проектных решений. В работе к.т.н. Семенченко Д.А. [3] раскрыты закономерности разрушения забоя поперечно-осевыми коронками и предложена математическая модель (ММ) и методика оптимизации параметров этих ИО. Существ-

венным недостатком работ [2, 3] является неполный учет динамических процессов в системе "комбайн – забой" при определении силовых и энергетических характеристик процесса разрушения забоя.

Постановка задачи. Цель работы – разработать методику оптимизации параметров ИО ПК, обеспечивающую:

- возможность автоматической генерации проектных решений;
- проверку возможности установки резцедержателей;
- учет влияния динамических процессов при разрушении забоя на нагрузку на ИО.

Для достижения цели необходимо решить задачи:

- получить зависимости для проверки возможности установки резцедержателей;
- разработать методику оптимизации параметров ИО ПК;
- опробовать ее на примере ИО ПК КСП-32.

Изложение материала и результаты. Оптимизируемыми параметрами подсистемы ИО являются: диаметр и длина ИО; угол установки резцов; шаг резания; количество резцов в линии резания; количество погрузочных лопастей и др. В настоящей работе в качестве примера рассмотрена оптимизация схемы набора резцов родольно-осевого ИО ПК, причем оптимизируемыми параметрами являлись углы установки резцов. Изменение угла установки резца осуществлялось путем перемещения его вершины вдоль принятой линии резания.

Для комбайна КСП-32 на ИО, предназначенном для разрушения для крепких пород предназначено число резцов $N_p=39$. При таком количестве оптимизируемых параметров использование существующих методов (покоординатного спуска, случайного поиска и т.д.) весьма затруднительно. Одним из приемов сокращения временных затрат на решение задач оптимизации является декомпозиция пространства параметров [4]. При этом оптимизация параметров отдельных подсистем может быть осуществлена по частным критериям с использованием частных ММ с последующей оценкой полученного результата по обобщенному критерию с применением ММ рабочего процесса ПК.

При решении задачи оптимизации следует учитывать функциональные, параметрические и критериальные ограничения.

Функциональные ограничения представляют собой условия работоспособности комбайна, которые не учитываются ММ динамики: скорость резания не должна превышать допустимую по износу рез-

цов; максимальная толщина стружки не более радиального вылета резца за корпус ИО; различные соотношения между геометрическими размерами, отражающие условия собираемости и т.д.

К параметрическим ограничениям можно отнести следующие условия: параметры некоторых элементов конструкции стандартизованы; геометрические размеры неотрицательны и выбираются, как правило, из ряда предпочтительных значений; габариты ПК обусловлены параметрами выработки.

Критериальные ограничения оговорены в техническом задании в виде допустимых значений единичных критериев (масса не более допустимой, производительность не менее допустимой, коэффициент вариации не более допустимого и т. д.).

В качестве обобщенного критерия оптимизации была принята безразмерная величина, равная сумме отношений среднеквадратических отклонений (СКО) нагрузок для базового и оптимизированного ИО с учетом их значимости:

$$v = \sum_{i=1}^{N_{ч.к.}} k_i \frac{\sigma_{i \text{ опт}}}{\sigma_{i \text{ баз}}},$$

где $N_{ч.к.}$ – количество частных критериев;

k_i – весовой коэффициент. Весовые коэффициенты принимаются, исходя из значимости того или иного частного критерия;

$\sigma_{i \text{ опт}}$ $\sigma_{i \text{ баз}}$ – СКО составляющих нагрузок (частных критериев) при оптимизированном и базовом ИО соответственно.

Проверка отсутствия наложения резцедержателей друг на друга осуществляется следующим образом:

1. Поиск координат точек 1 – 6 (рис. 1) в системе координат i -го резцедержателя \bar{r}_{ji} (табл. 1):

Величины $c_1, b_1, d_1, b_2, d_2, b_3, d_3$ – параметры резцедержателя.

2) Перевод точек 1 – 6 в систему координат ИО:

$$\bar{r}_{ji} = \bar{r}_{oi} + c_1 \bar{r}_{ji},$$

где \bar{r}_{oi} – радиус-вектор вершины i -того резца в системе координат ИО:

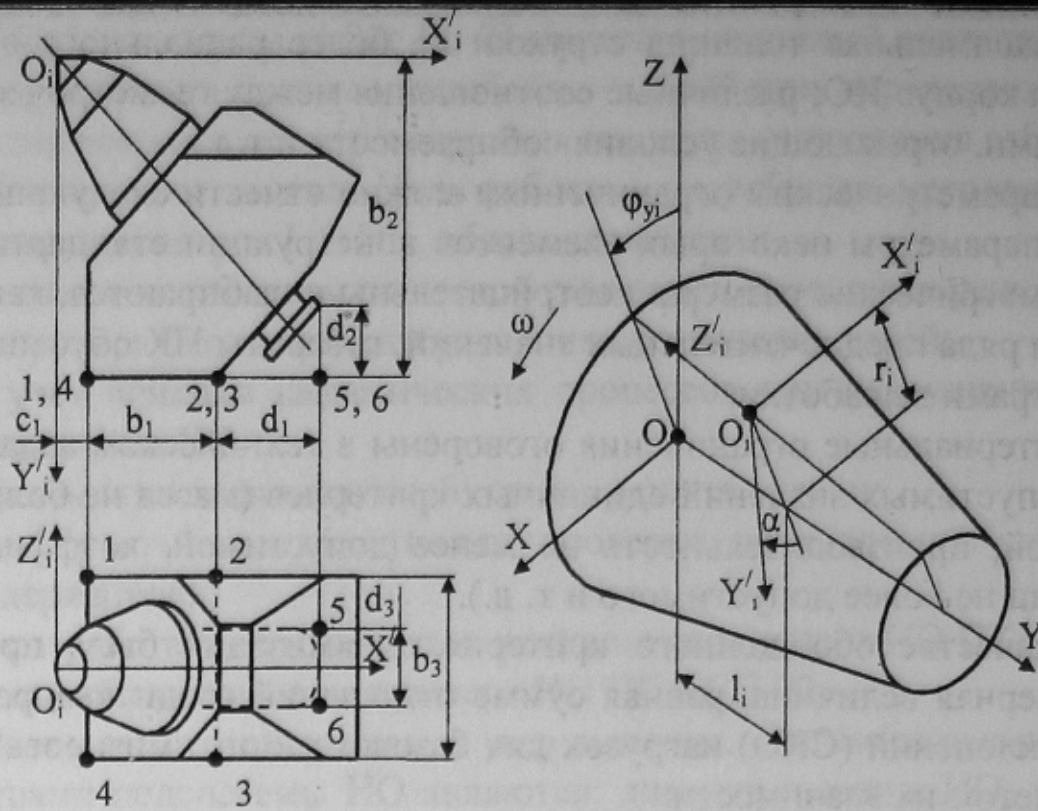


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения условия пересечения резцедержателей

Таблица 1 – Определение координат точек 1 – 6 в системе координат i -го резцедержателя \bar{r}_{ji}

j	x'_{ji}	y'_{ji}	z'_{ji}
1	c_1	b_2	$b_3/2$
2	c_1+b_1	b_2	$b_3/2$
3	c_1+b_1	b_2	$-b_3/2$
4	c_1	b_2	$-b_3/2$
5	$c_1+b_1+d_1$	b_2-d_2	$d_3/2$
6	$c_1+b_1+d_1$	b_2-d_2	$-d_3/2$

$$\bar{r}_{oi} = \begin{Bmatrix} r_i \sin \varphi_{yi} \\ l_i \\ r_i \cos \varphi_{yi} \end{Bmatrix},$$

где r_i – радиус установки i -того резца (рис. 1);

l_i – расстояние от торца коронки до вершины i -того резца;

φ_i – угол установки i -того резца;

c_i – матрица направляющих косинусов системы координат $O_i X_i Y_i Z_i$ в системе координат ИО $OXYZ$:

$$c_i = \begin{pmatrix} \mp \cos \varphi_{yi} & -\sin \varphi_{yi} \cos \alpha_i & \pm \sin \varphi_{yi} \sin \alpha_i \\ 0 & -\sin \alpha_i & \mp \cos \alpha_i \\ \pm \sin \varphi_{yi} & -\cos \varphi_{yi} \cos \alpha_i & \pm \cos \varphi_{yi} \sin \alpha_i \end{pmatrix}.$$

Верхний знак соответствует вращению ИО по часовой стрелке, нижний – против часовой стрелки.

3) Перевод точек 1 – 6 i-го резцедержателя в систему координат k-го резцедержателя:

$$\bar{r}_{ji} = c_k^{(m)} (\bar{r}_{ji} - \bar{r}_{ok}).$$

Резцедержатели накладываются друг на друга, если выполняется следующее условие:

$$\begin{cases} c_1 \leq x_{ji} \leq c_1 + b_1; \\ y_{ji} - b_2 < \frac{b_2}{2}; \\ -\frac{b_3}{2} \leq z_{ji} \leq \frac{b_3}{2}. \end{cases}$$

Оптимизация углов установки резцов производится методом последовательных приближений от исходной схемы набора к оптимальной. При этом на каждом последующем приближении делается расчет обобщенного критерия качества при значениях углов установки всех резцов, равных базовым (полученных на предыдущем приближении), а для одного резца – при базовом значении и значениях слева и справа от базового, отстоящих на малый угол $\Delta\varphi$. Из полученных трех значений угла установки на данном приближении принимается то, которое обеспечивает наилучшее значение обобщенного критерия качества. При этом применяется последовательный перебор резцов, шаг изменения углов установки $\Delta\varphi$ принимается постоянным.

Оптимизацию схемы набора резцов целесообразно производить в два этапа. На первом этапе в качестве частных критериев принимаются СКО проекции главного момента M_c относительно оси OY и проекций главного вектора внешней нагрузки на оси F_x, F_y, F_z . При этом используется упрощенная ММ подсистемы ИО, которая не учитывает обратные связи в системе «комбайн – забой» и случайные составляющие нагрузки на резцах.

На втором этапе в качестве частных критериев принимались СКО нагрузок в подсистемах комбайна: СКО давления в напорной линии гидросистемы подачи ИО p , СКО момента в трансмиссии M , СКО мощности ЭД привода ИО N ; СКО реакции опоры комбайна R_{on} и СКО реакции гидродомкрата подъема при повороте ИО или реакции гидродомкрата поворота при подъеме ИО R_d . При этом полученная на первом этапе схема набора резцов принимается за исходную и подвергается дальнейшей оптимизации.

На первом этапе схема набора оптимизировалась при равномерных вращении и подаче ИО на породный забой (контактная прочность – 700 МПа). Значения весовых коэффициентов принимались следующими: $k_{M_c}=1$; $k_{F_x}=0,7$; $k_{F_y}=0,7$; $k_{F_z}=1$. Результаты сравнения исходной схемы набора с результатами первого этапа оптимизации представлены в таблице 2, в которой даны значения СКО главного момента на ось ОУ M_c и проекций F_x , F_y , F_z для двух схем набора при работе комбайна с различными значениями толщины реза и заглабления в массив.

Как видно из таблицы 2, уже на первом этапе оптимизации достигнуто снижение СКО проекции главного момента и проекций F_x и F_z . Так, для базового режима работы СКО проекции M_c снизился на 21 %, что ведет к снижению динамичности нагрузки; СКО проекций F_x и F_z для этого режима уменьшились соответственно на 18 % и 45 %, что дает возможность повысить устойчивость комбайна.

Вместе с тем, значение СКО проекции F_y для оптимизированной схемы набора увеличивается по сравнению с исходной во всех режимах. Так, в среднем его увеличение составило 23 %. Увеличение СКО можно признать допустимым, так как эта проекция дает меньший вклад по сравнению с другими проекциями главного вектора в формирование нагруженности силовых подсистем ПК. При неполном заглаблении в массив возможно увеличение СКО всех показателей. Однако такие режимы не являются типичными для работы комбайна.

Наиболее нестабильным режимом с точки зрения устойчивости комбайна является горизонтальный рез у почвы выработки при толщине реза 0,4 – 0,6 м при попутном фрезеровании. Оптимизированная схема набора при этом режиме работы имеет следующие значения СКО по сравнению с исходной (табл. 3).

Таблица 2 – Сравнение исходной схемы набора резцов ИО комбайна КСП 32 и результатов первого этапа оптимизации

Толщина реза H, м	СКО				Схема набора
	σ_{M_c} , кНм	σ_{F_x} , кН	σ_{F_y} , кН	σ_{F_z} , кН	
0,4D	5,00	10,7	4,64	13,9	исходная
	4,47	10,1	5,86	11,8	I этап
0,6D	4,56	14,2	3,54	9,50	исходная
	3,59	11,7	4,34	5,27	I этап
0,8D	3,11	12,9	2,45	7,86	исходная
	2,68	8,56	2,22	3,05	I этап
D	1,61	7,24	2,34	7,71	исходная
	0,73	2,51	1,67	2,86	I этап
Заглубление в массив L, м					
0,6L _к	3,74	12,9	3,27	8,42	исходная
	3,42	11,0	4,20	8,24	I этап
0,8L _к	4,35	12,8	3,58	10,1	исходная
	6,06	20,0	5,46	13,1	I этап
L _к	4,56	14,2	3,54	9,50	исходная
	3,59	11,7	4,34	5,27	I этап

Примечание: D – максимальный диаметр ИО; L_к – длина ИО

Таблица 3 – Сравнение исходной и оптимизированной схем набора при подрезании нижнего слоя

H _н , м	СКО				Схема набора
	σ_{M_c} , кНм	σ_{F_x} , кН	σ_{F_y} , кН	σ_{F_z} , кН	
0,4	5,24	11,2	4,78	14,2	исходная
	4,51	10,1	3,34	11,5	оптимизированная
0,6	4,48	13,7	3,34	9,13	исходная
	3,80	11,7	4,06	4,89	оптимизированная

Как видно из таблицы, при этом режиме работы оптимизированная схема набора также имеет лучшие показатели для проекции M_c (в среднем на 8 и 15 % для нижнего и верхнего пределов толщины реза соответственно), СКО проекций F_x и F_z для этого режима уменьшились соответственно на 9 и 14 % и на 18 и 46 %.

При этом СКО проекции F_y , не оказывающей существенного влияния на потерю устойчивости, несколько увеличился.

Существенным отличием второго этапа является использование в процессе оптимизации комплексной имитационной ММ рабочего процесса ПК [5], позволяющей с учетом обратных связей в системе «комбайн – забой» и случайных составляющих нагрузок на резцах в ходе вычислительных экспериментов определять нагрузки в силовых подсистемах комбайна. Значения весовых коэффициентов принимались следующими: $k_p=1$; $k_{R_d}=1$; $k_{R_{оп}}=1$; $k_N=1$; $k_M=1$.

В таблице 4 представлены результаты моделирования рабочего процесса ПК с исходной и оптимизированной на втором этапе схемами набора резцов в виде абсолютных значений СКО нагрузок в подсистемах комбайна и их относительных изменений. Моделирование производилось в четырех основных режимах: с горизонтальной и вертикальной подачей ИО и с попутным и встречным направлением фрезерования.

Анализ результатов (табл. 4) показывает, что оптимизированная схема набора обеспечивает снижение СКО практически всех нагрузок. Незначительное увеличение СКО некоторых показателей по-видимому объясняется разбросом результатов моделирования вследствие случайного фактора. Наиболее значительно изменяется СКО давления (34 % – 47 %) и реакции опоры (13 % – 25 %), а меньшим изменениям подверглось СКО момента в трансмиссии. Наибольшие снижения СКО получены при работе комбайна со встречным фрезерованием.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, предложенная методика оптимизации позволяет обосновать рациональные по критерию минимума СКО нагрузок в подсистемах комбайна параметры схемы набора ИО. СКО нагрузки в трансмиссии привода ИО уменьшаются до 4 %, мгновенной мощности ЭД - до 14 %, давлений в подсистеме перемещения ИО - до 47 %, нагрузки на гидродомкраты подвески ИО – до 20 %, нагрузок в опорах - до 25 %. Предложенная методика оптимизации параметров схемы набора резцов ИО может быть включена в комплексную модель оптимизации параметров ПК.

Таблица 4 – Сравнение исходной схемы набора резцов ИО комбайна КСП 32 и результатов второго этапа оптимизации

Параметр	Горизонтальный рез попутное фрезерование		Горизонтальный рез встречное фрезерование		Вертикальный рез попутное фрезерование		Вертикальный рез встречное фрезерование		Схема набора
	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО	
P, МПа	13,8	0,28	6,81	0,76	14,9	0,52	8,73	0,47	исходная
		0,17		0,40		0,32		0,31	II этап
		39		47		38		34	%
N, кВт	163	13,7	219	15,0	164	12,3	171	13,3	исходная
		14,0		13,3		12,2		11,4	II этап
		-2		11		1		14	%
M, Нм	984	194	1348	233	988	179	1034	180	исходная
		186		237		177		173	II этап
		4		-2		1		4	%
R _д , кН	102	9,03	117	13,6	64,1	8,96	154	11,5	исходная
		8,77		12,2		8,68		9,21	II этап
		3		10		3		20	%
R _{оп} , кН	158	3,71	1,60	5,15	169	3,45	119	4,20	исходная
		3,24		3,85		2,92		3,23	II этап
		13		25		15		23	%

Список источников.

- Петрушкин Г.В. Исследование и выбор параметров привода стреловидного исполнительного органа высокопроизводительного проходческого комбайна. Дис. ... канд. техн. наук. – Донецк: ДПИ, 1976. – 179 с.
- Крыловский А.Л. Исследование и определение нагруженности трансмиссий исполнительного органа проходческих комбайнов избирательного действия. Авт. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1983. – 17 с.
- Семенченко Д.А. Обоснование параметров исполнительного органа проходческого комбайна с аксиальными коронками. Дис. ... канд. техн. наук. - Донецк: ДонНТУ, 2003. – 158 с.
- Семенченко А.К., Кравченко В.М., Шабаев О.Е. Многокритериальный синтез горных машин и процесса их восстановления как динамических систем. – Донецк: ДонНТУ, 2002 – 312 с.
- Кондрахин В.П., Хиценко А.И. Имитационное математическое моделирование процесса функционирования проходческого комбайна // Труды международной научно-технической конференции "Горная электромеханика и автоматика". – Донецк: ДонНТУ, 2003. - С. 128 - 138.