

УДК 622.232

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРА ВНЕШНЕГО ВОЗМУЩЕНИЯ НА АКСИАЛЬНОЙ КОРОНКЕ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Семенченко А.К., докт. техн. наук, проф., Шабаев О.Е., канд. техн. наук, доц., Семенченко Д.А., канд. техн. наук, Хиценко Н.В., канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет

*Разработана математическая модель процесса пространственного разрушения массива аксиальной коронкой проходческого комбайна.*

*The mathematical model of three-dimensional process of face breaking by transverse cutting head of road-header is developed*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Технический уровень и эффективность работы проходческих комбайнов в значительной степени определяются параметрами коронки исполнительного органа и его привода.

Необходимость обеспечения высокой конкурентоспособности отечественных проходческих комбайнов делает актуальной задачу выбора на стадии их создания и модернизации оптимальных параметров аксиальной коронки, которой в настоящее время оснащаются многие комбайны. Успешное решение этой задачи может быть достигнуто на основе математической модели оптимизации режимных и конструктивных параметров коронки позволяющей широко использовать компьютерные технологии проектирования.

**Анализ исследований и публикаций.** Следует отметить, что изученность формирования вектора внешнего возмущения, обуславливающего динамическую нагруженность комбайнов, удельные энергозатраты на разрушение, а следовательно производительность и надежность машины, нельзя признать достаточной. Существующие методики задания вектора внешнего возмущения [1] не учитывают пространственного характера стружкообразования, а также изменения кинематических параметров резцов. В работах [2, 3] предложена и апробирована математическая модель формирования параметров разрушения забоя резцовым исполнительным органом, в соответствии с которой толщина среза на резце определяется с учетом предыдущих положений коронки, поверхность забоя аппроксимируется сферой.

При этом шаг резания принимается постоянным и не зависит от режимных параметров коронки. Вследствие того, что фактическая форма забоя из-за пространственного движения резцов отличается от геометрической формы боковой поверхности коронки модель [2, 3] требует уточнений.

Это обуславливает необходимость разработки математической модели формирования вектора внешнего возмущения на аксиальной коронке при ее взаимодействии с разрушаемым массивом во всех возможных режимах работы.

**Постановка задачи.** Для задания вектора внешнего возмущения требуется разработка математической модели определения толщины и ширины среза и изменений кинематических задних и боковых углов резцов аксиальной коронки, в процессе разрушения массива. При разработке этой модели были приняты следующие исходные положения:

- толщина среза резца определяется как расстояние до поверхности разрушаемого массива, формируемой резцами опережающей лопасти в сечении забоя плоскостью, проходящей через вершину резца и ось вращения коронки;

- ширина среза резца определяется как расстояние между вершиной резца и вершиной опережающего резца (находящегося на соседних линиях резания) в сечении забоя плоскостью проходящей через его вершину и ось вращения коронки.

**Изложение материала и результаты.** С учетом принятых положений была разработана расчетная схема для определения параметров среза и кинематических изменений углов резцов аксиальной коронки (рис. 1).

На схеме показаны:

$Oxyz$  - неподвижная система координат, жестко связанная с забоем;

$Ox'Y'Z'$  - неподвижная система координат, совпадающая с положением системы  $OXYZ$  при ее повороте вокруг оси  $OZ$  на угол поворота стрелы в горизонтальной плоскости  $\beta$ ;

$O_kxyz$  - система координат жестко связанная с осью вращения коронки, оси которой параллельны осям системы координат  $Ox'Y'Z'$ ;

$A_i-A_i$  - сечение забоя, в рассматриваемой момент времени, плоскостью, проходящей через вершину  $i$ -го резца и ось вращения коронки;



$O_{k,yr}$  - система координат, задаюча положення  $i$ -го резца и резцов формуючих поверхню забоя в сеченні  $a_i$ - $a_i$  и определяющих его параметры среза;

$L_i$  – лопасть на которой установлен  $i$ -ый резец и опережающий резец в соседней линии резания;

$L'_i$  – опережающая лопасть, на которой установлены резцы, формирующие поверхность забоя для  $i$ -го резца в сечении  $A_i$ - $A_i$ ;

$a_0$  и  $a_0', b_0'$  - положения в рассматриваемый момент времени вершины опережающего резца и резцов, формирующих поверхность забоя для этого резца;

$a$  и  $a', b'$  - положения вершин резцов, формирующих поверхность забоя для  $i$ -го резца в сечении  $A_i$ - $A_i$ ;

$r_i, R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}$  и  $y_i, y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}$  – координаты вершин  $i$ -го резца и резцов формирующих поверхность забоя в сечении  $A_i$ - $A_i$ ;

$h_i, t_i$  и  $\delta_i$  – толщина, ширина среза  $i$ -го резца и угол наклона поверхности забоя к оси  $og$  в сечении  $A_i$ - $A_i$ ;

$\Delta\alpha_{xi}, \Delta\alpha_{yi}$  и  $\Delta\alpha_{zi}$  - кинематическое уменьшение соответственно бокового, заднего и переднего углов  $i$ -того резца;

$\bar{n}_{xi}, \bar{n}_{yi}$  и  $\bar{n}_{zi}$  - единичные векторы противоположно направленные составляющим усилия резания на  $i$ -м резце (соответственно боковой, по задней грани и силы резания);

$\varphi_i$  и  $\Delta\varphi_{л}$  – углы положения  $i$ -го резца на  $k$ -ой лопасти и угол сдвига лопастей коронки;

$fr(y)$  и  $\psi(r)$  - зависимости для задания боковой поверхности коронки и углов смещения резцов на лопастях;

$\alpha$  и  $\beta$  – угол подъема стрелы и ее поворота в горизонтальной плоскости в рассматриваемый момент времени;

$Vv$  и  $\omega, \omega_\alpha, \omega_\beta$  – скорость выдвигания стрелы и, соответственно, угловые скорости вращения коронки и поворота стрелы в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

$V_p$  и  $V_{xi}, V_{yi}, V_{zi}$  - скорость резания и составляющие скорости подачи  $i$ -го резца в системы координат  $ox'y'z'$ , в рассматриваемый момент времени.

С учетом расчетной схемы была разработана математическая модель определения параметров реза и кинематических изменений углов резцов аксиальной коронки.

В интегрированном виде эта модель может быть представлена

$$\bar{Y}_p = \bar{F}_p(\bar{X}_p(\bar{Y}_{сн}, \bar{R}); \bar{P}_{сн}), \quad (1)$$

где

$\bar{Y}_p = (h_i, t_i, \Delta\alpha_{xi}, \Delta\alpha_{yi}, \Delta\alpha_{zi}, \bar{n}_{xi}, \bar{n}_{yi}, \bar{n}_{zi}, i = \bar{1}, \bar{N}_i)$  - выходной вектор параметров процесса разрушения массива резцами лопасти аксиальной коронки;

$\bar{F}_p$  - вектор функция определения параметров процесса разрушения массива резцами лопасти аксиальной коронки;

$\bar{X}_p(\bar{Y}_{сн}, \bar{R})$  - входной вектор, компонентами которого являются схема набора коронки  $\bar{Y}_{сн}$  и вектор параметров режима ее работы  $\bar{R}(L, \alpha, \beta, \omega, V_v, \omega_\alpha, \omega_\beta)$ ;

$\bar{P}_{сн}$  - вектор параметров системы подачи исполнительного органа.

Зависимости для определения параметров режима работы аксиальной коронки (составляющие вектора  $\bar{R}$ ) для различных технологических операций и зон разрушения массива приведены в таблице 1.

При известных значениях скорости подачи исполнительного органа  $V_{п}$ , высоте фрезерования  $H$ , величины расстояния до боковой поверхности выработки  $B$  на высоте  $H$  от продольной оси комбайна, величины заглубления коронки вдоль горизонтальной оси выработки  $B_3$ , шаге фрезерования  $\Delta H$  и числе положений коронки для описания технологических операций  $N_s$ , значение параметров необходимое для определения составляющих вектора  $\bar{R}$  определяются по зависимостям (2)

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{H - H_0}{L};$$

$$\beta_1 = \arcsin \frac{y_0}{L \cos \alpha_0 + L_0};$$

$$\beta_s = \arcsin \frac{B}{L \cos \alpha_0 + L_0} - \beta_1;$$

$$\Delta\beta_s = \arcsin \left( \frac{y_m}{L \cos \alpha_0 + L_0} \right). \quad (2)$$

Исходными данными определения вектора внешнего возмущения, формируемого на аксиальной коронке при разрушении массива, является:

вектор параметров разрушения массива резцами лопасти коронки  $\bar{Y}_{p_{ni}} = \{h_{ni}, t_{ni}, \Delta\alpha_{y_{ni}}, \Delta\alpha_{x_{ni}}, \bar{n}_{x_{ni}}, \bar{n}_{y_{ni}}, \bar{n}_{z_{ni}}, i = \bar{1}, \bar{N}_i, n = \bar{1}, \bar{N}_n\}$ , определяемый с использованием математической модели (1, 2);

Таблиця 1

Определение параметров режима работы аксиальной коронки для различных технологических операций и зон разрушения массива

№	Технологическая операция	зона разрушения*	Параметры режима					
			L	$\alpha$	$\beta$	$V_v$	$\omega_\alpha$	$\omega_\beta$
1	Фронтальная зарубка	1	$L_{ст} + \frac{sB_3}{N_s}$	$\alpha_0$	0	$\frac{V_{II}}{60}$	0	0
		2			$\beta_s/2$			
		3			$\beta_s$			
2,3	Зарубка вверх (вниз)	1	$L_{ст}$	$\alpha_0 + \arcsin(L \times \sin \alpha_0 + \frac{\Delta H}{N_s})$	0	0	$\frac{1000V_{II}}{60L}$	0
		2			$\beta_s/2$			
		3			$\beta_s$			
4,5,6	Боковой рез после фронтальной зарубки и зарубки вверх (вниз)	1	$L_{ст}$	$\alpha_0$	$s(\beta_1/2N_s)$	0	0	$\frac{1000V_{II}}{60L}$
		2			$\beta_1 + \frac{s(\beta_s - \beta_1 - \Delta\beta_s)}{N_s}$			
		3			$\beta_s - (N_s - s) \frac{\Delta\beta_s}{N_s}$ $\beta_s > \beta_1$			

\* зона разрушения характеризует угол поворота стрелы в горизонтальной плоскости ( $\beta$ )

вектор составляющих усилий резания на резцах лопасти  $\bar{P}_{p_{ni}} = \{PX_{ni}, PY_{ni}, PZ_{ni}, i = \overline{1, N_i}, n = \overline{1, N_n}\}$ ; число лопастей на коронке  $N_3$ .

При известной величине  $m$  (номера прослойка разрушаемого резцом) значения составляющих усилий резания на резцах определяются по зависимостям:

$$PX_{ni} = fx_m(\bar{Y}_{p_{ni}}); PY_{ni} = fy_m(\bar{Y}_{p_{ni}}); PZ_{ni} = fz_m(\bar{Y}_{p_{ni}}),$$

где

$PX_{ni}, PY_{ni}, PZ_{ni}$  - соответственно боковое усилие, сила подачи и сила резания на  $i$ -том резце лопасти при  $n$ -том положении коронки по углу ее поворота;

$fx_m(\bar{Y}_p), fy_m(\bar{Y}_p), fz_m(\bar{Y}_p)$  - зависимости определения составляющих силы разрушения  $\bar{P}_{p_{ni}}$  для прослойка массива, разрушаемого резцом.

В интегрированном виде математическая модель определения вектора внешнего возмущения и его основных параметров как ФЗЭ запишется

$$\bar{Y}_v \{M_n, F_{xn}, F_{yn}, F_{zn}; M, F_x, F_y, F_z; kM, kF_x, kF_y, kF_z\} = \bar{F}_v(\bar{Y}_{p_{ni}}, \bar{P}_{p_{ni}}, N_3). (3)$$

Здесь:

$\bar{Y}_v$  - выходной вектор, компонентами которого являются: составляющие вектора внешнего возмущения  $\bar{Y}_{vv}(M_n, F_{xn}, F_{yn}, F_{zn})$  и его параметры  $\bar{P}_{vv}(M, F_x, F_y, F_z; kM, kF_x, kF_y, kF_z)$ ;

$\bar{F}_v$  - вектор функция определения вектора внешнего возмущения, действующего на аксиальную коронку от разрушаемого массива;

$M'_n, FX_n, FY_n, FZ_n$  - вектор внешнего возмущения, действующий на коронку (при ее  $n$ -ом положении по углу поворота) от усилий разрушения массива резцами лопасти, компонентами которого являются момент сопротивления и составляющая главного вектора внешних сил с системе координат коронки;

$M_n, F_{xn}, F_{yn}, F_{zn}$  - вектор внешнего возмущения от разрушаемого массива, действующий на коронку в  $n$ -том положении;

$M, F_x, F_y, F_z$  и  $kM, kF_x, kF_y, kF_z$  - средняя величина и коэффициенты неравномерности составляющих вектора внешнего возмущения, действующего на коронку от разрушаемого массива за один ее оборот.

Модели (1, 2, 3) позволяют определить составляющие вектора внешнего возмущения, его основные характеристики в различных режимах работы коронки и может быть использована для анализа влияния параметров коронки на эффективность работы исполнительного органа и обоснования его рациональных параметров.

### **Выводы и направление дальнейших исследований:**

1. Разработана математическая модель определения параметров вектора внешнего возмущения, формируемого на исполнительном органе с аксиальными коронками в различных режимах его работы при обработке проходческого забоя. Модель представляет совокупность следующих взаимно увязанных математических моделей:

- разрушаемого массива и поверхности забоя в различных режимах его обработки для оценки контактирования резцов с этим массивом;

- определения параметров процесса разрушения массива резцами коронок;

- определения параметров вектора внешнего возмущения, действующего на аксиальные коронки при разрушении массива.

2. Разработанная математическая модель определения параметров процесса разрушения массива аксиальной коронкой позволяет определять толщину и ширину среза на резцах, а также кинематические изменения углов резцов и единичные векторы, противоположно направленные составляющим сил резания на резцах, для различных режимов работы исполнительного органа при различных положениях коронок по углу поворота по известным параметрам схемы набора режущего инструмента и системы подачи исполнительного органа.

### Список источников.

1. ОСТ 12.44.197-81. Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Расчет эксплуатационной нагруженности трансмиссии исполнительного органа. Методика. – М., 1981. – 48 с.
2. Семенченко А.К., Шабает О.Е., Витковский В.Л. и др. Математическая модель резцового исполнительного органа // Сб. научн. трудов НГА Украины. – Днепропетровск: РИК НГА Украины. - №3, Т.6. - С.53-57.
3. Гуляев В.Г., Семенченко Д.А. Определение удельных энергозатрат и вектора внешнего возмущения корончатого исполнительного органа проходческого комбайна в различных режимах обработки забоя. // Наукові праці ДонДТУ. Серія гірничо-електромеханічна. Донецьк - 2001. - Вип.35. - С.38-47.