

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДСИСТЕМАХ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ С РАЗНЫМИ СТРУКТУРНЫМИ РЕШЕНИЯМИ

Горбатов П.А., докт. тех. наук., проф., Воробьев Е.А. ассистент,
Донецкий государственный технический университет

Установлены закономерности формирования и отличительные особенности динамических процессов в подсистемах очистного комбайна с поворотными блоками резания.

Forming conformities to natural laws and distinctive peculiarities of dynamic processes in subsystems of cutting shearer with turning cutting blocks are established.

Современные очистные комбайны (ОК) с поворотными блоками резания (ПБР) имеют ряд отличительных особенностей динамической структуры подсистем привода и подвески, регулирования положения исполнительного органа (соответственно подсистем ПИО и ППО) по сравнению с одноименными подсистемами ранее созданных машин аналогичного типа. Вся подсистема ПИО таких машин в виде ПБР вместе с гидродомкратом подвески формирует подсистему ППО и обладает короткой кинематической цепью с обособленным приводным электродвигателем (ЭД) и выходным элементом в виде планетарной передачи.

Задачами настоящей работы являются: во-первых, установление основных закономерностей формирования динамических процессов в подсистемах ПИО и ППО ОК с ПБР (на примере ГШ 500); во-вторых, сравнительный анализ указанных закономерностей с ранее установленными для ОК с традиционными структурными решениями (на примере машины аналогичного класса РКУ 13).

Для исследования функционирования ОК была разработана замкнутая математическая модель [1], адекватность которой установлена целенаправленными исследованиями.

Для выбора горно-геологических условий и режимных параметров для моделирования работы указанных ОК использована методика ДонГТУ и ОАО ГМЗ [2], которая позволяет на основе вероятностного подхода установить представительные расчетные значения мощности пласта H_p , сопротивляемости пласта резанию \bar{A}_p и скорости подачи

V_{II} . При этом общая вероятность того, что случайные величины H_{Pi} , \bar{A}_{Pi} , и V_{II} при эксплуатации ОК типа ГШ 500 на шахтопластах стран СНГ не превысят расчетных значений $H_P = 2.04$ м., $\bar{A}_P = 208$ Н/мм, $V_{II} = 4.78$ м/мин, составляет $P = 0.91$. Показатель степени хрупкости угля E в соответствии с ОСТ 12.44.258-84 принят равным 1.65, пласт залегает горизонтально. Представительная жесткость тягового органа типа ЗБСП для моделирования на основе исследований кафедры "Горные машины" Дон ГТУ принята равной $C_{ТО} = 15.2$ МН/м. Обе машины оснащены своими серийными шнековыми исполнительными органами (ИО) с $D_{II} = 1.25$ м. и $B_3 = 0.63$ м.

Основные результаты имитационного моделирования работы комбайнов ГШ 500 и РКУ 13 в установившемся режиме сведены в таблицу, а на рис. 1, 2 приведены нормированные спектральные плотности $G(f)$ ряда динамических процессов.

Таблица – Результаты модельных исследований

Процесс	Величина	ГШ 500 с ПБР		РКУ 13	
		Значение	Частоты выделяемых составляющих процессов	Значение	Частоты выделяемых составляющих процессов
$M_{ЛТР}$	МО, Нм	427	50.2; 1.4; 52.8; 48.6; 55.5; 47.2;	481	1.3; 23.3; 19.5; 21.7; 4; 17.6;
	КВ	0.33	44.6; 58.5; 37.6; 12.8; 40.1; 25.1	0.31	15.3; 11.6; 5.7
$M_{ПТР}$	МО, Нм	808	52.1; 49.9; 45.7; 0.7; 47.5; 55; 57;	950	20; 0.6; 17.6; 22.3; 23.3; 15.8;
	КВ	0.25	2.8; 42.7; 10; 59.6; 40.5	0.2	24.8; 2.6; 10.8; 5.6
$\omega_{ШЛ}$	МО, с ⁻¹	4.35	52.1; 49.8; 45.7; 55.1; 47; 57;	4.05	20; 21.8; 18; 23.4; 25; 16.6;
	КВ	0.03	59.6; 43.1; 62.2; 41	0.07	27; 11.25
$\omega_{ШП}$	МО, с ⁻¹	4.37	50.3; 52.8; 55.5; 48.7; 47.3; 58.5;	4.05	23.3; 19.8; 22.1; 17.3; 15.3;
	КВ	0.02	44.7; 62.6; 40.2; 37.9	0.05	25.5; 11.7; 28.5; 7.8; 1.3
$M_{ЛП}$	МО, Нм	$3.97 \cdot 10^4$	1.4; 12.5; 2.6; 14; 17.3; 7.1	$2.78 \cdot 10^4$	1.3; 2.6; 11.6; 19.8; 23.2;
	КВ	0.13		0.28	21.8; 15.3; 7.8; 17.6
$M_{ПП}$	МО, Нм	$5.04 \cdot 10^4$	1.4; 3.8; 10.1; 14.6; 12.8; 16.5;	$4.56 \cdot 10^4$	1.3; 2.6; 23.3; 21.8; 25.2;
	КВ	0.26	7.5; 19.1	0.29	15.3; 19.8; 17.6; 11.2; 27
$M_{ЛД}$	МО, Нм	443	1.4; 12; 24.4; 4.8; 7.8; 36.7	448	1.3; 11.7; 23.3; 3.8; 8.2; 34.8
	КВ	0.14		0.18	
$M_{ПД}$	МО, Нм	925	1.4; 12; 18.7	978	1.3; 11.7; 5.6; 18.8
	КВ	0.06		0.06	
$M_{ЛВН}$	МО, Нм	313	1.4; 25.2; 12.8; 10.9; 14; 5; 8.3;	460	1.3; 12; 8; 15.7; 23.4; 19.8
	КВ	0.27	6.7; 37.9; 19.1; 50.2; 40	0.26	
$M_{ПВН}$	МО, Нм	677	1.4; 10.2; 8; 49.5; 14.6; 19.2;	928	1.3; 2.6; 17.5; 15.5; 19.8; 5.6;
	КВ	0.17	22.5; 31.2; 34; 37.5	0.15	10.5; 7.8
V_{II}	МО, м/мин	4.78	4.5; 1.4	4.78	5.3; 1.3
	КВ	0.11		0.13	
$M_{ЭД}$	МО, Нм	527	1.4; 12.8; 14.2; 11.3; 8.3; 16.3;	1432	1.3; 11.6; 18; 15.4; 5.3; 8.6;
	КВ	0.16	18; 5.1; 25.1	0.12	19.8; 21.7
$\omega_{ЭД}$	МО, с ⁻¹	156	12.8; 14.2; 1.4; 11.3; 16; 18; 25.2;	150	1.3; 18; 11.6; 19.8; 15.4; 21.3;
	КВ	$3.1 \cdot 10^{-3}$	50.3; 52.8; 7.9	$7.9 \cdot 10^{-3}$	5.25; 24

Принятые обозначения: индексы "Л" и "П" соответствуют подсистемам, относящимся к отстающему левому и опережающему правому ИО; $M_{ЛТР}$, $M_{ПТР}$ – моменты в редукторах подсистем ПИО; $\omega_{ШЛ}$, $\omega_{ШП}$ – угловые скорости ИО; $M_{ЛП}$, $M_{ПП}$ – моменты в подсистемах ППО; $M_{ЛД}$, $M_{ПД}$ – детерминированные составляющие моментов внешней нагрузки (ВН) на ИО, обусловленные прежде всего несовершенством схем набора и кинематикой резцов (определялись при реализации гипотетического режима отсутствия колебательных процессов во всех подсистемах машин); $M_{ЛВН}$, $M_{ПВН}$ – полные моменты ВН на ИО, обусловленные детерминированными, случайными и проявляющимися вследствие наличия [3] внешних связей (по перемещениям и скоростям) в системе "комбайн – горный массив" компонентами; $M_{Эд}$, $\omega_{Эд}$ – электромагнитный момент и угловая скорость приводного ЭД подсистем ПИО (для ГШ 500 – привода отстающего ИО); МО и КВ – математическое ожидание и коэффициент вариации процесса.

При заполнении таблицы применен метод ранжирования: частоты выделяемых составляющих приведены слева направо в порядке убывания их динамической значимости. При этом частоты наиболее значимых составляющих подчеркнуты.

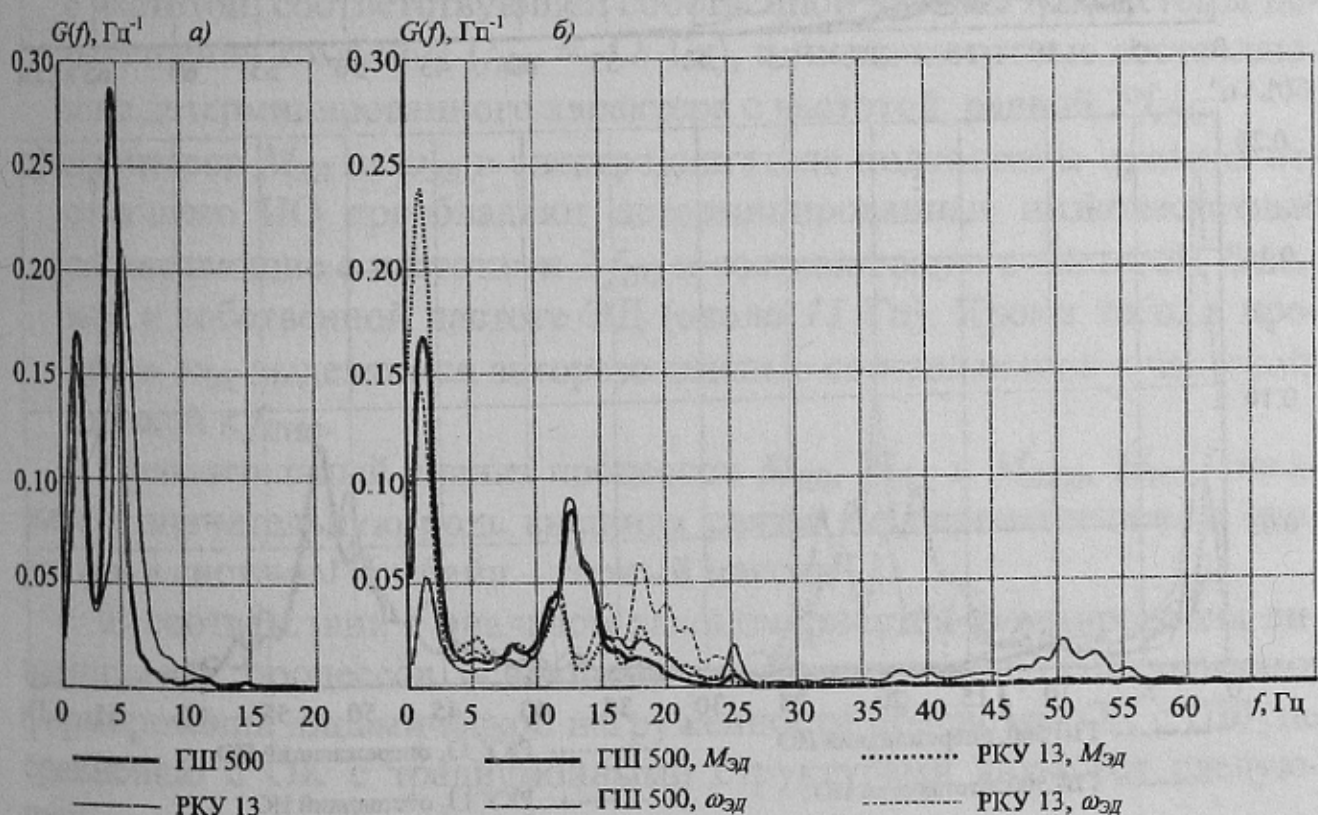


Рисунок 1 – Нормированные спектральные плотности процессов
 а) $V_{Л}$; б) $M_{Эд}$ и $\omega_{Эд}$

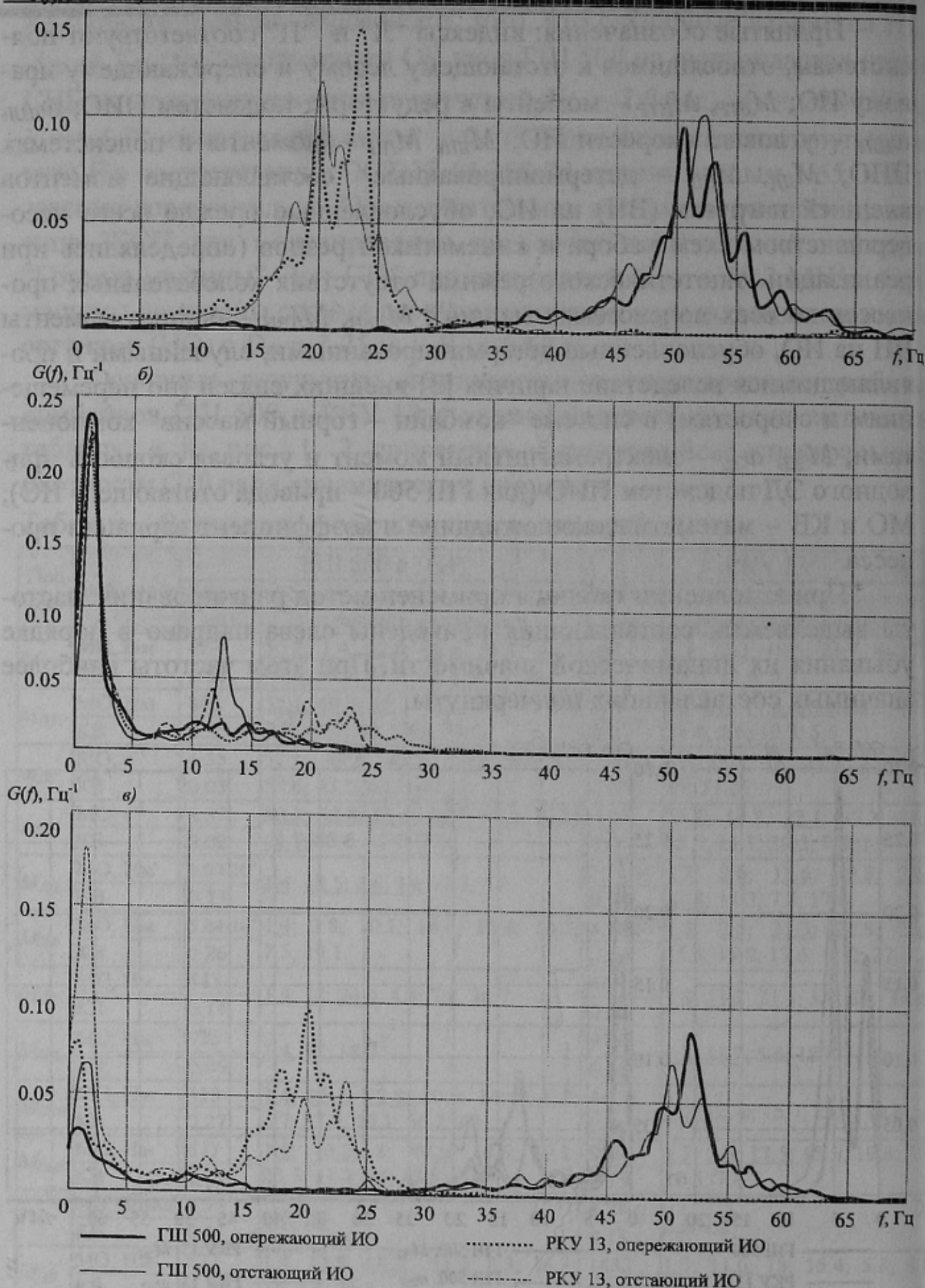


Рисунок 2 – Нормированные спектральные плотности процессов:
 а) $\omega_{ШЛ}$ и $\omega_{ШП}$; б) $M_{ЛП}$ и $M_{ПП}$; в) $M_{ЛТР}$ и $M_{ПТР}$

Из анализа таблицы следует, что нагрузки в силовых подсистемах в рассматриваемом режиме работы ОК с ПБР характеризуются высокой динамичностью. Причем КВ нагрузок в подсистемах ПИО для отстающего органа существенно выше, чем для опережающего.

Для комбайна ГШ 500 в спектральном составе:

- а) моментов $M_{ЛТР}$, $M_{ПТР}$ в редукторах подсистем ПИО выделяются авторезонансные составляющие с частотами, близкими к собственным частотам этих подсистем ($f_{ПИО} = 51.9$ Гц), и низкочастотные составляющие детерминированного характера с частотами $2f_{ИО} = 1.4$ Гц и $f_{ИО} = 0.7$ Гц ($f_{ИО}$ – частота вращения исполнительного органа);
- б) процессов $\omega_{ШЛ}$, $\omega_{ШП}$ доминируют авторезонансные составляющие с частотами, близкими с $f_{ПИО}$;
- в) нагрузок $M_{ЛП}$, $M_{ПП}$ в подсистемах ППО преобладают низкочастотные составляющие детерминированного характера с частотами $2f_{ИО}$, а также применительно к подсистеме подвески и регулирования положения отстающего ИО выделяются высокочастотные составляющие детерминированного характера с частотами около 12.5 Гц;
- г) скорости подачи $V_{П}$ доминируют авторезонансные составляющие с частотой, соответствующей собственной частоте подсистемы перемещения комбайна ($f_{МП} = 4.8$ Гц), и низкочастотные составляющие детерминированного характера с частотой, равной $2f_{ИО}$;
- д) процессов $M_{ЭД}$ и $\omega_{ЭД}$ в электродвигателе подсистемы привода отстающего ИО преобладают детерминированные низкочастотные составляющие с частотами $2f_{ИО}$ и составляющие с частотой, близкой к собственной частоте ЭД (около 11 Гц). Кроме того, в процессе $\omega_{ЭД}$ выделяются авторезонансные составляющие с частотой, близкой к $f_{ПИО}$.

Сравнительный анализ процессов $M_{ЛД}$, $M_{ПД}$ и $M_{ЛВН}$, $M_{ПВН}$ показывает значительную роль внешних связей по перемещениям и скоростям в системе “комбайн – горный массив”.

В соответствии с анализом закономерностей формирования динамических процессов основными отличительными особенностями формирования динамической нагруженности подсистем ОК с ПБР по сравнению с ОК с традиционными структурами являются следующие.

1. Доля низкочастотных детерминированных составляющих для процессов $M_{ЛТР}$, $M_{ПТР}$ в подсистемах ПИО ГШ 500 по сравнению с

- РКУ 13 меньше приблизительно в 2.5 раза, доля составляющих с частотами, близкими к $f_{\text{ППО}}$, не только больше, чем у РКУ 13, но и превышает долю низкочастотных составляющих.
2. Наличие в подсистеме ППО ГШ 500 внутренних источников возмущений: а) сателлитов планетарной передачи, зубцовая частота которых (21.15 Гц) близка к частоте 24.4 Гц детерминированной составляющей ВН на отстающем ИО; б) электродвигателя, частота вращения вала которого $f_{\text{ВЭД}} \approx 24.5$ Гц близка к указанной частоте 24.4 Гц.
 3. Вторая гармоника колебательной составляющей, обусловленной технологическими погрешностями при изготовлении электродвигателя, с частотой $2 f_{\text{ВЭД}}$ практически совпадает с частотой $f_{\text{ППО}}$, что может обуславливать активное возбуждение колебаний на этой резонансной частоте.
 4. В спектре процессов в подсистемах ППО ГШ 500 в отличие от РКУ 13 нет колебательных составляющих, соответствующих $f_{\text{ППО}}$, а для $G(f)$ $M_{\text{ДТР}}$ и $M_{\text{ПТР}}$ составляющих с частотами $f_{\text{ППОЛ}} = 19.4$ Гц и $f_{\text{ППОП}} = 15.2$ Гц, что обусловлено отсутствием упругих внутренних связей между этими подсистемами и высокой расстройкой $f_{\text{ППО}}$ и $f_{\text{ППО}}$.

По сравнению с серийно выпускаемыми очистными комбайнами актуальность проведения работ по созданию высокоэффективных и надежных виброзащитных устройств для подсистем ППО очистных комбайнов с ПБР повышается, так как доля составляющих с частотами, близкими к $f_{\text{ППО}}$, для таких машин гораздо выше, а наличие виброзащитных устройств в структуре подсистем позволит снизить не только долю высокочастотных составляющих, но и значение собственной частоты данной подсистемы, что благоприятно скажется на ресурсе ОК в целом.

Список источников.

1. Горбатов П.А., Воробьев Е.А. Математическая модель очистного комбайна с поворотными блоками резания для прогнозирования нагрузок в подсистемах привода и подвески исполнительных органов: // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 16, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонДТУ, 2000. С. 63.
2. Горбатов П.А., Потапов В.Г., Пальчак Н.И. Установление представительных средних уровней нагрузки для расчета трансмиссий // Уголь Украины. – 1990. - №5. – С. 35 – 36.
3. Горбатов П.А. Основы теории формирования внешних связей между горными комбайнами и разрушаемыми массивами // Известия вузов. Горный журнал. – 1996. - №1. – С. 83 – 87.