

УДК 622.232.72

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ СВЯЗЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ ПОДСИСТЕМАХ ВЫЕМОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Горбатов П.А., докт. техн. наук, профессор,
Донецкий национальный технический университет

На основе имитационного моделирования и предложенной частотной статистической характеристики исследованы особенности проявления внешних связей по скоростям и перемещениям между колебаниями исполнительных органов в составе силовых подсистем комбайнов и реакцией разрушаемых массивов на эти колебания.

On the basis of imitating modelling and the suggested frequency statistical characteristic features of display of external communications in the speeds and movings between fluctuations of agencies are investigated in structure of power subsystems of combines and reaction of destroyed files to these fluctuations.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Повышение качества прогнозирования динамических процессов на стадии проектирования очистных и проходческих комбайнов с использованием компьютерных технологий является актуальной научно-технической проблемой. Решение этой проблемы позволит улучшить параметры надежности тяжело нагруженных элементов силовых подсистем, повысить технико-экономический уровень рассматриваемых машин. Для этого необходимо решение ряда задач научного и практического характера. К числу таких задач относится установление особенностей и степени воздействия внешних связей на динамические нагрузки, формирующиеся в силовых подсистемах комбайнов при стационарных режимах их нагружения.

Анализ исследований и публикаций. В работе [1] изложены основы теории формирования внешних связей по скоростям и перемещениям между выемочными комбайнами и горными массивами, проявляющихся из-за взаимозависимостей между колебаниями исполнительных органов и реакцией разрушаемых сред на эти колебания. Установлены механизмы, обуславливающие реализацию эффектов, эквивалентных демпфированию, стабилизации или возбуждению, дестабилизации колебательных процессов.

В работе [2] предложены математические модели, позволяющие прогнозировать динамические нагрузки в силовых подсистемах очистных комбайнов, функционирующих в автономных системах «комбайн-массив-конвейер». Для этих моделей после их соответствующей калибровки на основе обширного материала натуральных экспериментов, выполненных ДонНТУ совместно с другими организациями на машинах РКУ13, РКУ10, 1ГШ68, установлена достаточная степень корректности. При этом в программном обеспечении имитационного моделирования было предусмотрено три уровня фактора «формирование внешних связей»: проявляются все внешние связи (ВС), отсутствуют все ВС, ВС формируются, но не по всем обобщенным координатам и их производным.

Постановка задач. В настоящей работе решаются следующие взаимосвязанные задачи:

- разработка методики учета влияния ВС на внешнюю нагрузку на исполнительных органах в представляющем практический интерес частотном диапазоне;
- установление основных особенностей проявления и степени необходимости учета ВС при прогнозировании динамических нагрузок в силовых подсистемах комбайнов на основе вычислительного эксперимента.

Изложение материала и результаты. Как известно [3], особенностью функционирования очистных и проходческих комбайнов является то, что их поведение носит ярко выраженный динамический характер. Поэтому исполнительные органы (ИО) этих машин, входящие одновременно в состав подсистем их привода, подвески и перемещения и в состав корпусных подсистем, совершают вместе с этими подсистемами сложные пространственные колебательные движения. Эти движения приводят к колебаниям толщины стружки и заднего угла (α , следовательно, угла резания и проекции площадки затупления) на каждом резце, что обуславливает соответствующие колебания усилий на всех резцах.

Следует также отметить, что для очистных комбайнов со шнеками с малыми значениями номинального диаметра D_n динамические процессы в силовых подсистемах также могут оказывать влияние на силовую картину погрузки из-за колебаний скоростей движения погрузочных элементов и площади окна выгрузки.

Рассмотрим особенности проявления внешних связей на примере широко распространенных очистных комбайнов со шнековыми

ИО с $D_{И} \geq 1$ м и проходческих комбайнов стреловидного типа с фрезерными исполнительными органами.

Итак, в составе проекции F_K и M_K на координатные оси К (X, Y, Z) главного вектора \vec{F} и главного момента \vec{M} внешней нагрузки на ИО формируются составляющие, обусловленные внешними (или обратными) связями между выемочным комбайном и горным массивом из-за взаимозависимостей между колебаниями ИО в составе силовых подсистем машины и реакцией разрушаемых сред на эти колебательные движения. Эти взаимозависимости обусловлены двумя видами связей – по перемещениям (проявляются через колебания толщин стружек) и по скоростям (проявляются через колебания фактических углов резцов).

Для исследования влияния динамических взаимодействий комбайнов с разрушаемыми массивами целесообразно рассматривать идеализированные первичные $F_{КП}$ и $M_{КП}$ значения проекций F_K и M_K , соответствующие гипотетическому случаю отсутствия колебаний ИО, и фактические вторичные $F_{КВ}$ и $M_{КВ}$ значения проекций векторов \vec{F} и \vec{M} на координатные оси К.

Интегральная оценка влияния ВС на внешнюю нагрузку при разрушении комбайном массива может быть выполнена на основе анализа предложенной частотной статистической характеристики $K_{ВС}(f)$, численно равной для каждой частоты f отношению амплитуд $R_{ВА}$ к $R_{ПА}$:

$$K_{ВС}(f) = R_{ВА}(f) \cdot R_{ПА}^{-1}(f).$$

Здесь $R_{ВА}(f)$ и $R_{ПА}(f)$ - зависимости эквивалентных амплитуд составляющих главного вектора \vec{F} и главного момента \vec{M} внешней нагрузки от частоты f соответственно при учете и неучете внешних связей между комбайном и разрушаемым массивом.

Для определения оценок амплитуд первичных $R_{ПА}(f)$ и вторичных $R_{ВА}(f)$ составляющих внешней нагрузки использована известная зависимость, предполагающая равенство дисперсий фактического узкополосного случайного процесса и эквивалентного гармонического процесса с рассматриваемой частотой f_p :

$$R_{ПА}(f) = \sqrt{2D_{П}(f_p)},$$

$$R_{ВА}(f) = \sqrt{2D_{В}(f_p)}.$$

Здесь: $D_{П}(f_p) = G_{П}(f_p) \cdot \Delta f$ и $D_{В}(f_p) = G_{В}(f_p) \cdot \Delta f$ - дисперсии соответствующих узкополосных (диапазон частот от $(f_p - 0,5\Delta f)$ до $(f_p + 0,5\Delta f)$) случайных процессов F_K и M_K при отсутствии формирования

внешних связей по скоростям и перемещениям (индекс «п») и при их наличии (индекс «в»); $G_{П}(f_p)$ и $G_{В}(f_p)$ - значения оценок спектральных плотностей соответствующих случайных процессов на частоте f_p ; Δf - разрешающая способность оценки спектральной плотности, полученной в результате статистической обработки (в настоящей работе принято $\Delta f=0,3-0,5$ Гц); $R_{ПА}(f_p)$ и $R_{ВА}(f_p)$ - оценки амплитуд соответствующих гармонических процессов с частотой f_p , эквивалентных (по дисперсии) фактическим узкополосным случайным процессам.

Для сравнительного анализа случайных процессов – первичных и вторичных составляющих внешней нагрузки на исполнительных органах выполнены вычислительные эксперименты на основе имитационных математических моделей [2], описывающих при разрушении угольного пласта динамическое функционирование автономной системы «очистной комбайн-разрушаемый массив-конвейер».

Таблица - Краткая характеристика параметров при вычислительных экспериментах

Параметры	Марка комбайна		
	РКУ10	РКУ13	РКУ16
1	2	3	4
Диаметр ИО $D_{и}$, м	1,0	1,25	1,6
Тип жесткого тягового органа	ЗБСП		2УКП
Вынимаемая мощность пласта, м	1,55	2,0	2,5
Число и мощность, м, прослойков	1 0,25	1 0,2	2 0,3 и 0,3
Значения собственных частот колебаний, Гц, для силовых подсистем:			
- привода ИО	13,5; 22,2	12,3; 22,2	
- подвески опережающего ИО	22,6	26,0	
- подвески отстающего ИО		22,7	
- перемещения	6,1	5,5-6,5;10	6,0
- корпусной			5,1;5,7;8,4
Исследуемые параметры	$M_{Y1}; F_{Z1}$	$F_{X1}+F_{X2}$	$F_{Z1}+F_{Z2}; M_{Г}; M_{П}$

В таблице обозначены: M_{Y1} – момент сил сопротивления на опережающем ИО; F_{Z1} - проекция главного вектора внешней нагрузки на опережающем ИО на ось, перпендикулярную почве пласта; $(F_{X1}+F_{X2})$ - сумма проекции главных векторов внешней нагрузки на обоих ИО

на ось, параллельную почве пласта; $(F_{Z1} + F_{Z2})$ сумма проекций главных векторов внешней нагрузки на обоих ИО на ось, перпендикулярную почве пласта; $M_{Г}$, $M_{П}$ - моменты, воздействующие на корпусную подсистему комбайна от сил резания по обобщенным координатам «галопирование» (индекс «г») и «потаптывание» (индекс «п»).

Для всех трех вариантов при вычислительных экспериментах принято: сопротивляемость резанию 240 кН/м и показатель степени хрупкости 1,65 для угля марки Г; сопротивляемость резанию 350 кН/м для прослойков из аргиллита; ширина захвата ИО 0,63м; тип резцов ЗР4.80 (резцы затуплены); скорость подачи комбайнов 5м/мин.

На рисунке представлены графики оценок частотных статистических характеристик $K_{BC}(f)$ для вышеуказанных исследуемых параметров применительно к комбайнам РКУ10(а,б), РКУ13 (в) и РКУ16 (г,д,е).

Как видно из рисунка, учет ВС по скоростям и перемещениям приводит к значительным искажениям всех рассматриваемых параметров внешней нагрузки и, как следствие, откликов – динамических процессов в силовых подсистемах. Довольно весомо проявились ВС прежде всего (см. также таблицу) для параметров:

- M_{Y1} и F_{Z1} в зоне собственных частот подсистем привода (22,2Гц) и подвески и перемещения (22,6Гц) опережающего ИО;
- $(F_{X1}+F_{X2})$ в области собственной частоты подсистемы перемещения (5,5 – 6,5Гц);
- $(F_{Z1}+F_{Z2})$, $M_{Г}$, $M_{П}$ в зоне собственных частот корпусной подсистемы (5,1Гц; 5,7Гц).

Это подтверждает разработанные в [1] теоретические положения о том, что для составляющих внешней нагрузки с частотами, соответствующими резонансным частотам исследуемых объектов, как правило, имеют место довольно сильные эффекты воздействия связей с точки зрения их влияния на коррекцию первичных составляющих нагрузок в виде эффектов, адекватных демпфированию, стабилизации колебаний.

В целом же механизмы, обуславливающие в определенных частотных областях эффекты, эквивалентные демпфированию, стабилизации ($K_{BC}(f)<1$) и возбуждению, дестабилизации ($K_{BC}(f)>1$) колебательных процессов, как показано в [1] носят исключительно сложный характер, существуя в органически неразрывной связи.

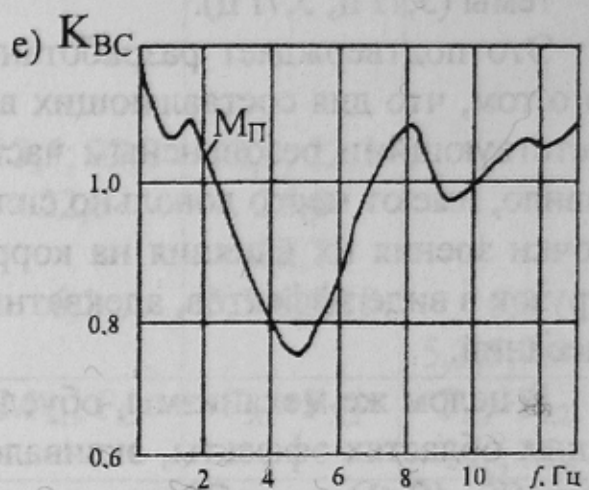
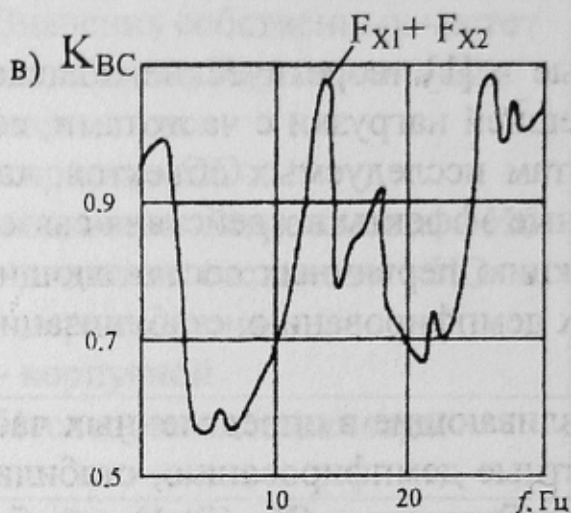
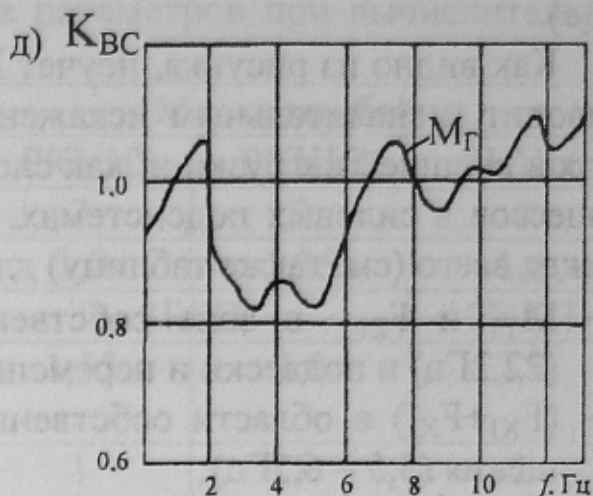
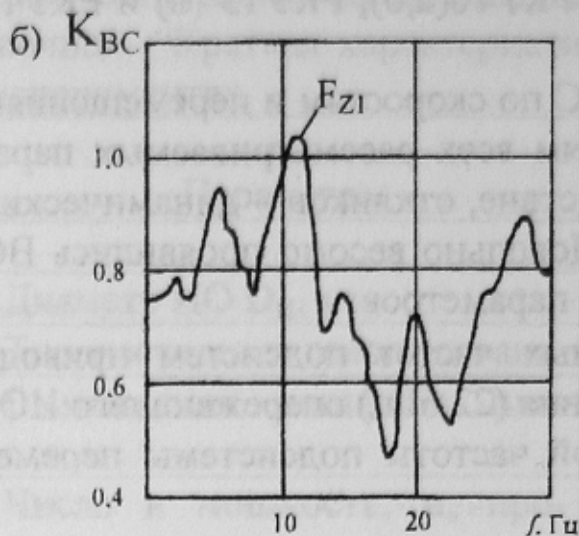
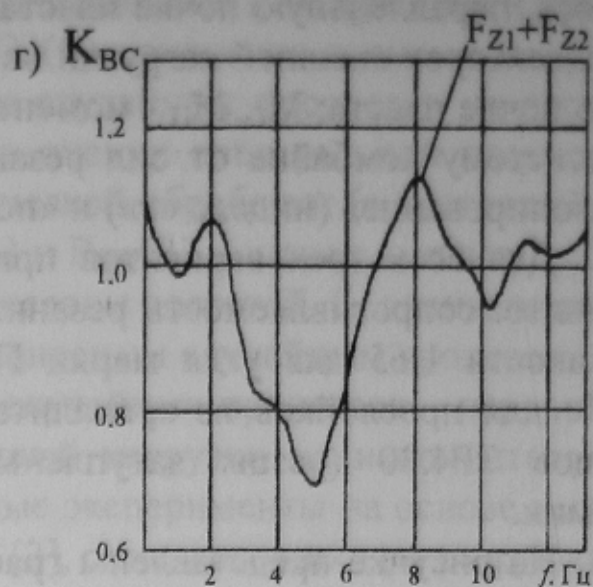
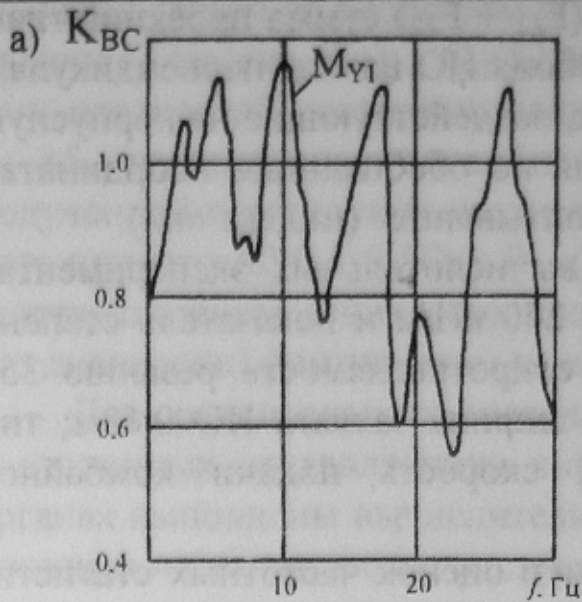


Рисунок – Графіки оценок $K_{BC}(f)$

Спектральные плотности нагрузок (входов и откликов) при сравнении вторичных и первичных динамических составляющих преобладают весомую трансформацию под воздействием ВС в соответствии с направленностью действия частотных характеристик для тех или иных компонентов внешних нагрузок.

Неучет ВС может обуславливать существенные погрешности при прогнозировании статистических характеристик динамических процессов. Так, например, как установлено в результате имитационного моделирования неучет ВС оценочно дает следующие искажения прогнозируемых дисперсий:

- для комбайна РКУ10 – в 1,4 раза для моментов в редукторе подсистемы привода и в подсистеме подвески опережающего ИО;
- для комбайна РКУ13 – в 1,7- 1,9 раза для усилия в тяговом органе и крутящих моментов в редукторах подсистемы перемещения;
- для комбайна РКУ16 – в 1,3-1,4 раза для усилий, действующих на опорные механизмы машины.

Выводы и направление дальнейших исследований. На стадии автоматизированного проектирования на основе компьютерных технологий очистных и проходческих комбайнов для повышения качества прогнозирования динамических нагрузок необходимо проводить вычислительные эксперименты с использованием математических моделей, в достаточной мере отражающих ВС по скоростям и перемещениям. В дальнейшем предполагается получение дополнительного материала с целью углубления исследований в области формирования внешних связей для выемочных комбайнов.

Список источников.

1. Горбатов П.А. Основы теории формирования внешних связей между горными комбайнами и разрушаемыми массивами//Изв. вузов. Горн. журн.-1996.-№1.-С83-87.
2. Горбатов П.А. Математические модели для прогнозирования динамических процессов в очистных комбайнах, функционирующих в автономных системах «комбайн-массив-конвейер»// Механизация горных работ: Сб. науч. тр. /Кузбасский политехн. ин-т.-Кемерово,1990.-С.19-28.
3. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов/Малеев Г.В., Гуляев В.Г., Бойко Н.Г., Горбатов П.А., Межаков В.А.- М.:Недра,1988.-368с.