

УДК622.232.72

ФОРМИРОВАНИЕ АВТОРЕЗОНАНСНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИЛОВЫХ ПОДСИСТЕМАХ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

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

Установлены основные закономерности формирования динамических составляющих нагрузок в силовых подсистемах очистных комбайнов с частотными областями, соответствующими резонансным частотам этих подсистем

Basic conformities to the law of forming of the dynamic making loadings are set in the power subsystems of cleansing combines with frequency areas, proper frequencies of resonances of these subsystems

Проблема и связь с научными и практическими задачами. Повышение качества автоматизированного проектирования очистных комбайнов как динамических объектов является актуальной научно-технической проблемой. Решение этой проблемы позволит улучшить параметры надежности, повысить технико-экономический уровень рассматриваемых машин. Для этого необходимо решение ряда задач научного и практического характера. К числу таких задач относится задача установления новых закономерностей формирования динамически значимых составляющих колебательных процессов с частотными областями, соответствующими резонансным частотам силовых подсистем очистных комбайнов.

Анализ исследований и публикаций. В ряде работ ученых ДонНТУ, ИГД им. А.А. Скочинского и других организаций [1-4 и др.] показана достаточно высокая динамическая значимость составляющих нагрузок в элементах силовых подсистем очистных комбайнов, формирующихся при установившихся рабочих режимах в частотных областях, соответствующих резонансным частотам этих подсистем. Указанные составляющие формируются прежде всего вследствие усиления сравнительно слабо демпфированными динамическими подсистемами широкополосных (близких к «белому шуму») возмущающих внешних воздействий на исполнительные органы в частотных областях, расположенных в зонах резонансных частот подсистем. Вместе с тем, как показывает анализ [5-7], на рассматриваемые составляющие нагрузок также могут оказывать существенное влия-

ние и другие факторы, в первую очередь внешние связи по скоростям и перемещениям между очистными комбайнами и разрушаемыми массивами.

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является дальнейшее развитие физических представлений о закономерностях формирования динамических нагрузок очистных комбайнов с частотами, соответствующими резонансным частотам силовых подсистем этих машин.

Изложение материала и результаты. На рисунке представлены характерные графики оценок нормированных спектральных плотностей следующих динамических процессов, полученных при натурных экспериментальных исследованиях комбайна РКУ13 с жестким тяговым органом на стенде с углецементным блоком сотрудниками кафедры «Горные машины» ДонНТУ под руководством автора:

- M_n – крутящий момент на валу опережающего правого шнека;
- V_n – скорость подачи;
- $M_{кп}$ – крутящий момент на водиле правого планетарного редуктора подсистем подачи;
- Z_n – проекция на вертикальную ось усилия в правой забойной опоре комбайна.

Как видно из рисунка, при установившемся режиме в спектральном составе всех рассматриваемых динамических процессов доминируют прежде всего следующие составляющие:

1) с частотой $n_l f_{ио} = 1,3$ Гц, соответствующей удвоенной частоте вращения исполнительного органа ($f_{ио}$) с двумя погрузочными лопастями ($n_l = 2$);

2) с частотами областями, лежащими в зонах резонансных частот f_p силовых подсистем:

- для момента M_n 17-21 Гц и 9-12 Гц (для подсистемы привода оценки f_p составляют 10 Гц и 22 Гц);
- для скорости V_n и момента $M_{кп}$ 4-6 Гц (для подсистем подачи оценка $f_p = 5$ Гц);
- для усилия Z 4.5-6 Гц и 3,5-4,5 Гц (для корпусной подсистемы оценки f_p составляют 4,2 Гц, 6,4 Гц и 8,4 Гц).

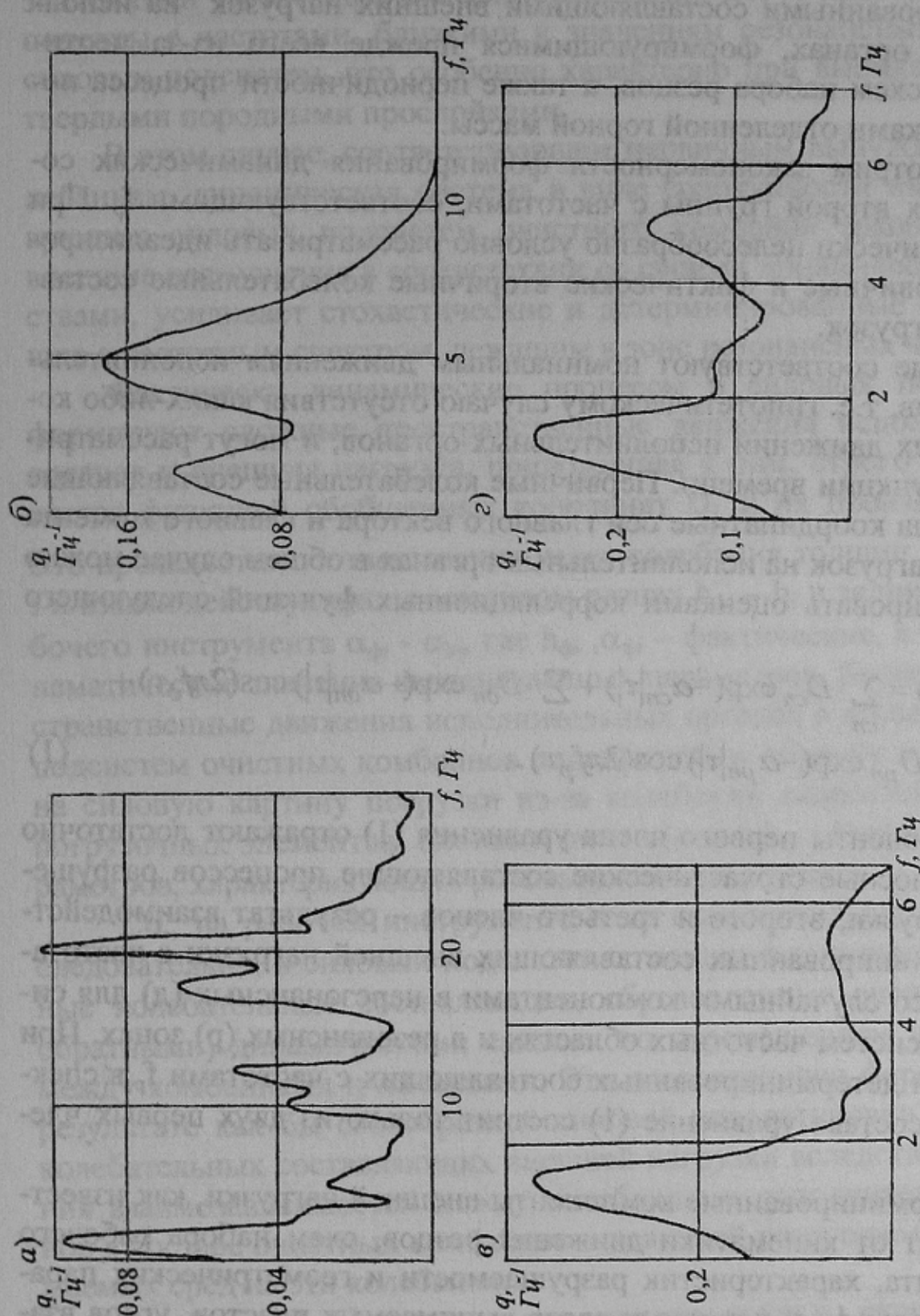


Рисунок – Графики оценок нормированных спектральных плотностей M_n (а), V_n (б), $M_{\text{кн}}(\epsilon)$, $Z_n(\epsilon)$ комбайна с жестким тяговым органом.

Низкочастотные колебательные составляющие с частотами $n_d f_{ио}$ (в ряде случаев также с частотами, равными $f_{ио}$ и $2n_d f_{ио}$) изучены достаточно хорошо [2-4,7 и др.]. Они обусловлены наиболее мощными детерминированными составляющими внешних нагрузок на исполнительных органах, формирующимися прежде всего из-за неотимальности схем набора резцов, а также периодичности процесса погрузки шнеками отделенной горной массы.

Рассмотрим закономерности формирования динамических составляющих второй группы с частотами, соответствующими f_p . При этом методически целесообразно условно рассматривать идеализированные первичные и фактические вторичные колебательные составляющие нагрузок.

Первые соответствуют номинальным движениям исполнительных органов, т.е. гипотетическому случаю отсутствия каких-либо колебательных движений исполнительных органов, и могут рассматриваться в функции времени. Первичные колебательные составляющие проекций на координатные оси главного вектора и главного момента внешних нагрузок на исполнительных органах в общем случае можно аппроксимировать оценками корреляционных функций следующего вида:

$$K_n(\tau) = \sum_{cn} D_{cn} \exp(-\alpha_{cn}|\tau|) + \sum_{dn} D_{dn} \exp(-\alpha_{dn}|\tau|) \cos(2\pi f_d \tau) + \\ + \sum_{pn} D_{pn} \exp(-\alpha_{pn}|\tau|) \cos(2\pi f_p \tau). \quad (1)$$

Компоненты первого члена уравнения (1) отражают достаточно широкополосные стохастические составляющие процессов разрушения и погрузки, второго и третьего членов – результат взаимодействия детерминированных составляющих внешней нагрузки с частотами f_d и f_p со случайными компонентами в нерезонансных (д) для силовых подсистем частотных областях и в резонансных (р) зонах. При отсутствии детерминированных составляющих с частотами f_p в спектральном составе уравнение (1) состоит только из двух первых членов.

Детерминированные компоненты внешней нагрузки, как известно, зависят от кинематики движения резцов, схем набора рабочего инструмента, характеристик разрушаемости и геометрических параметров угольных и породных слоев вынимаемых пластов, углов взаимного расположения шнеков на машине, а также других факторов. В работе [7] показано, что наряду с вышеуказанными мощными низкочастотными (как правило, до 3 Гц) составляющими детерминирован-

ного характера, в спектральном составе первичных колебательных составляющих внешних нагрузок также весьма вероятно наличие менее значимых, но достаточно весомых компонентов с более высокими значениями частот. Причем среди последних могут проявляться компоненты с частотами, близкими к значениям резонансных частот f_p силовых подсистем, что особенно характерно при выемке пластов с твердыми породными прослойками.

В этом случае, соответствующем первичным вынужденным колебаниям, динамическая система в виде совокупности взаимодействующих силовых подсистем очистного комбайна трансформирует внешние возмущения в соответствии со своими динамическими свойствами, усиливает стохастические и детерминированные составляющие с частотным спектром, лежащим в зоне резонансных частот f_p .

Фактически динамические процессы в силовых подсистемах формируют сложные пространственные движения исполнительных органов и внешняя нагрузка, приложенная к ним, строго говоря, является функцией обобщенных координат U_j и их производных $\dot{U}_j$. Это проявляется соответственно через колебания толщин стружек на i -х взаимодействующих с массивом резцах $h_{\phi i} - h_i$ и задних углов рабочего инструмента $\alpha_{\phi i} - \alpha_{ki}$, где $h_{\phi i}, \alpha_{\phi i}$ — фактические, а h_i, α_{ki} — кинематические значения вышеназванных параметров. Кроме того, пространственные движения исполнительных органов в составе силовых подсистем очистных комбайнов определенным образом могут влиять на силовую картину погрузки из-за колебаний скоростей движения погрузочных элементов, площади окна выгрузки, а также других параметров, характеризующих рассматриваемый процесс.

Т.о., на рабочем инструменте и на исполнительных органах и, следовательно, в силовых подсистемах машин формируются вторичные колебательные составляющие, обусловленные внешними (или обратными) динамическими связями по перемещениям и скоростям между комбайнами и массивами. Эти составляющие формируются в результате как бы своеобразной силовой корректировки первичных колебательных составляющих внешней нагрузки вследствие проявления взаимозависимостей между колебаниями исполнительных органов в составе очистных комбайнов и реакцией разрушаемых и погружаемых сред на эти колебания.

В работах [5, 6] показано, что внешние связи по скоростям и перемещениям приводят к реализации в различных частотных областях эффектов, эквивалентных:

- дополнительному демпфированию (знак работы W корректирующих нагрузок за период колебаний с рассматриваемыми частотами отрицательный) или возбуждению колебаний (знак W положительный). При этом под возбуждением колебаний понимается частичная компенсация диссипативных сил, присущих машине, силами типа «отрицательное сопротивление», обусловленными проявлением внешних связей по скоростям;

- стабилизации (уменьшению амплитуд вторичных колебательных составляющих по сравнению с амплитудами первичных) или дестабилизации колебаний (увеличению амплитуд вторичных составляющих). Установлены условия реализации вышеуказанных эффектов. Показано, что механизмы, обуславливающие эти эффекты, носят сложный характер, существуя в органически неразрывной взаимосвязи. Выявлено, что учет внешних связей при прогнозировании оценок статистических характеристик (спектральных плотностей, дисперсий, взаимных статистик) динамических нагрузок в силовых подсистемах очистных комбайнов может приводить к существенным погрешностям. Рассматриваемые погрешности при определении дисперсий нагрузок в разных силовых подсистемах могут составлять 40-80% [6].

Вторичные колебательные составляющие внешней нагрузки на исполнительных органах можно аппроксимировать оценками корреляционных функций, структурное построение выражения для которых аналогично уравнению (1).

Следует еще раз подчеркнуть, что дисперсии D и параметры затухания корреляционной функции α для вторичных колебательных составляющих внешней нагрузки отличаются от значений соответствующих параметров в уравнении (1), что обусловлено воздействием внешних связей по скоростям и перемещениям.

В работах [5, 6] установлено, что рассматриваемые силовые воздействия, корректирующие первичные составляющие нагрузок и обусловленные проявлением внешних связей по скоростям и перемещениям, могут проявляться в достаточно широких частотных диапазонах. При этом наиболее сильные влияния на уровень корректирующих нагрузок имеют место в зонах резонансных частот f_p силовых подсистем за счет формирования внешних автосвязей по скоростям, т.е. по производным собственных обобщенных координат $\dot{U}_j$.

Т.о. отклики – фактические динамические нагрузки в силовых подсистемах комбайна можно описать оценками корреляционных функций следующего вида:

$$K_o(\tau) = \sum_{co} D_{co} \exp(-\alpha_{co}|\tau|) + \sum_{po} D_{po} \exp(-\alpha_{po}|\tau|) \cos(2\pi f_p \tau) + \sum_{do} D_{do} \exp(-\alpha_{do}|\tau|) \cos(2\pi f_d \tau). \quad (2)$$

Здесь индексы «с», «р» и «д» указывают, что рассматриваются случайные, авторезонансные и детерминированные компоненты.

Как видно из рисунка, роль авторезонансных процессов в силовых подсистемах в частотах f_p может быть достаточно существенна.

В работе [8] рассмотрено состояние вопроса по исследованиям взаимодействий с колебательными системами неидеальных источников возмущения, когда создаваемые указанными источниками силы зависят от возбуждаемых ими колебаний, отмечено, что этот сравнительно новый раздел теории колебаний «далеко еще не завершен» и в задачах этого класса для вынужденных колебаний «чаще всего целесообразно исследовать автономные управления движения».

Используя основные подходы работы [8] применительно к рассматриваемым объектам, под неидеальностью источников возмущений следует понимать существенную зависимость внешней нагрузки от пространственных колебаний исполнительных органов в составе силовых подсистем, проявляющуюся через формирование внешних связей по скоростям и перемещениям. Т.о. фактические вторичные динамические процессы необходимо отнести к классу вынужденных колебаний с неидеальными источниками возмущений.

Используя подходы и терминологию работы [9] для описываемых автономными уравнениями движения динамических систем, когда система сама порождает действующие на нее силы с частотами f_p , и учитывая, что для очистных комбайнов параметры составляющих внешней нагрузки с частотами f_p весомо зависят не только от собственных динамических свойств силовых подсистем, но и от формирования внешних автосвязей по скоростям, фактические колебательные компоненты на исполнительных органах и в подсистемах с частотами f_p целесообразно отнести к классу авторезонансных процессов.

При наличии достаточной близости частот основных гармоник внутренних источников возмущений (зубчатые передачи, электрические и гидравлические машины) к резонансным частотам f_p роль авторезонансных процессов может повышаться.

Выводы и направление дальнейших исследований. Установлены общие закономерности формирования авторезонансных составляющих нагрузок с частотными областями, соответствующими резонансным частотам силовых подсистем очистных комбайнов. Решение этой задачи позволит более корректно решать задачи анализа и синтеза очистных комбайнов и выполнить дальнейшие работы по совершенствованию методов оптимального проектирования этих машин как нелинейных динамических систем.

Список источников.

- 1 Гуляев В. Г., Горбатов П. А., Кондрахин В. П. Оптимизация динамических свойств очистных комбайнов демпфирующими устройствами в силовых системах // Изв. вузов. Горн. журн. – 1981.- №5. -с. 79-83.
- 2 Бойко Н. Г. Динамика очистных комбайнов – Донецк : РИА ДонНТУ, 2004.-206с.
- 3 Семенченко А. К., Кравченко В. М., Шабаев О. Е. Теоретические основы анализа и синтеза горных машин и процесса их восстановления как динамических систем – Донецк: РИА ДонНТУ, 2002.-302 с.
- 4 Докукин А. В., Красников Ю. Д., Хургин З. Я. Статистическая динамика горных машин. - М.: Машиностроение, 1978.-239 с.
- 5 Горбатов П. А. Теория формирования внешних связей с разрушаемыми массивами при функционировании выемочных комбайнов.//Горное оборудование и электромеханика. - М.: Новые технологии. 2006. - №9.
- 6 Горбатов П. А. Влияние внешних связей на формирование динамических процессов в силовых подсистемах выемочных комбайнов //Научные труды ДонНТУ.Серия горно-электромеханическая. Выпуск 99.- Донецк : ДонНТУ, 2005. –С.27-33.
- 7 Горбатов П.А., Кривченко Ю.А., Марченко И.Н., Плюнгин А.В. Закономерности формирования детерминированных составляющих внешней нагрузки на шнековых исполнительных органах очистных комбайнов //Изв. Вузов. Горн. журн. –1993.-№7.-С.86-90.
- 8 Вибрации в технике: Справочник: В 6 т /Ред. совет: В.Н. Челомей (предс.).-М.: Машиностроение, 1978 – 1981.-Т.2: Колебания нелинейных механических систем /Под ред. И.И. Блехмана. 1979.-351с.
- 9 Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний.-М.:ГИФМЛ.1959.-915с.

Дата поступления статьи в редакцию: 01.11.06