

П.А. Горбатов, проф., д.т.н.,
ДонГТУ

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ И В СИЛОВЫХ ПОДСИСТЕМАХ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

Формирование главных векторов \vec{F} и главных моментов \vec{M} внешних нагрузок на исполнительные органы очистных комбайнов обусловлено выполнением этими органами своих функций – отделения ископаемого от массива и погрузки отделенной массы на конвейер.

Векторы \vec{F} и \vec{M} при установившихся рабочих режимах методически целесообразно представить в виде геометрической суммы четырех характерных составляющих:

$$\vec{F} = \vec{F}_m + \vec{F}_g + \vec{F}_c + \vec{F}_b,$$

$$\vec{M} = \vec{M}_m + \vec{M}_g + \vec{M}_c + \vec{M}_b$$

Средние составляющие \vec{F}_m и \vec{M}_m с проекциями на координатные оси $K(X, Y, Z)$ F_{mk} и M_{mk} отражают средний уровень нагружения исполнительного органа (ИО) при выполнении им своих функций.

Детерминированные колебательные составляющие \vec{F}_g и \vec{M}_g с проекциями F_{gk} и M_{gk} отражают изменения внешней нагрузки в функции времени при номинальных (без каких-либо колебаний) движениях ИО. Они обусловлены:

а) детерминированными составляющими усилий на каждом i -м резце, наложенными на их средний уровень вследствие: присущих кинематике резцов для шнековых и барабанных ИО изменений толщины стружки h_i , кинематических углов – заднего α_{ki} и резания δ_{ki} , а также проекции площадки затупления S_{zi} ; разрушения органом неоднородного массива из-за разных физико-механических свойств слагающих массив пачек; периодического изменения расстояния от обнаженной поверхности забоя до резца и, следовательно, колебаний коэффициента отжима (для барабанов с вертикальной осью);

б) остаточной неуравновешенностью схем расстановки резцов на ИО;

в) периодичностью процесса погрузки горной массы погрузочными лопастями на шнеках или в нижней части барабанов с вертикальной осью.

Случайные составляющие \vec{F}_c и \vec{M}_c с проекциями F_{ck} и M_{ck} отражают колебания внешней нагрузки в функции времени при номинальных движениях ИО, достаточно хорошо могут быть описаны экспоненциальной корреляционной функцией и обусловлены слу-

чайным характером: формирования элементарных сколов, а также изменения сопротивляемости и степени хрупкости при резании массива каждым резцом; распределения сортности, влажности и других свойств для погружаемой среды, с которой взаимодействуют погрузочные элементы.

Как известно, особенностью функционирования очистных комбайнов (ОК) является то, что их поведение носит ярко выраженный динамический характер. Поэтому выемочно-погрузочные ИО, входящие одновременно в состав подсистем их привода и подвески и корпусных подсистем, совершают вместе с этими подсистемами сложные пространственные колебательные движения. Эти движения: приводят к колебаниям отклонений $h_{\phi i} - h_i$, $b_{\phi i} - b_{ki}$, $d_{\phi} - d_{ki}$, $S_{z\phi i} - S_{zi}$ ($h_{\phi i}$, $b_{\phi i}$, $d_{\phi i}$, $S_{z\phi i}$ – фактические значения вышеназванных параметров), что обуславливает соответствующие колебания усилий на всех резцах; оказывают влияние на силовую картину погрузки из-за колебаний скоростей движения погрузочных элементов, площади окна выгрузки и т.д.

Т.о., формируются составляющие \vec{F}_b и \vec{M}_b с проекциями F_{bk} и M_{bk} , обусловленные внешними динамическими связями между ОК и разрушаемым и погружаемым массивами и носящие в целом характер случайных колебаний. Эти составляющие как бы выполняют своеобразную корректировку составляющих

$\vec{F}_g + \vec{F}_c$ главного вектора и $\vec{M}_g + \vec{M}_c$ главного момента внешней нагрузки вследствие проявления взаимодействий между колебаниями ИО в составе ОК, и реакцией разрушаемых и погружаемых сред на эти колебания. При этом коррекция обусловлена двумя видами внешних связей – по перемещениям U_n , проявляющимся через колебания $h_{\phi i} - h_i$ и площади окна выгрузки, и по скоростям \dot{U}_n , проявляющимся через колебания $\alpha_{\phi i} - b_{ki}$, $d_{\phi i} - d_{ki}$, $S_{z\phi i} - S_{zi}$ и скоростей движения погрузочных элементов. Поэтому $\vec{F}_b = \vec{F}_{bl} + \vec{F}_{bv}$ и $\vec{M}_b = \vec{M}_{bl} + \vec{M}_{bv}$, где составляющие с индексами l и v отражают соответственно влияние на внешнюю нагрузку внешних связей по перемещениям и скоростям.

Ниже рассмотрены основные закономерности формирования детерминированных и обусловленных внешними связями составляющих внешней нагрузки (ВН) от сил резания на распространенных шнековых ИО с достаточно высокими значениями номинальных диаметров D_n , у которых объем свободного межлопас-

ного пространства значительно превышает объем угля, поступившего за время одного оборота органа, и векторы \vec{F} и \vec{M} формируются главным образом за счет усилий на резцах.

В [1,2] приведены характерные результаты исследований спектрального состава детерминированных составляющих ВН с частотами $f_{гц}$, Гц, при разрушении пластов разных строений серийными шнеками в составе машин типа РКУ. Выявлено, что наряду с наиболее мощными низкочастотными компонентами с частотами, как правило, равными $n_{об}/30$ или $n_{об}/60$ для двухлопастных и $n_{об}/20$ для трехлопастных шнеков ($n_{об}$ – частота вращения ИО, об/мин), формируются также динамически значимые высокочастотные компоненты, в т.ч. с частотами (для рассмотренных примеров 15-17Гц, 5-5,5Гц), близкими к резонансным частотам $f_{рг}$ силовых подсистем (19-20Гц, 5,1-6,5Гц), что особенно проявляется при обработке пластов с твердыми породными прослойками.

Поэтому при проектировании ОК на стадии создания уравновешенных ИО с целью отстройки подсистем от резонансных или близких к ним режимов необходимо стремиться к максимальному снижению дисперсии не только наиболее весомых низкочастотных, но и динамически значимых детерминированных составляющих с частотами, близкими к $f_{рг}$, для чего следует решать соответствующие задачи динамического анализа и синтеза комбайнов как органически целостной совокупности взаимодействующих силовых подсистем – привода исполнительных органов и их подвески, корпусных и подачи.

В [1,3,4] изложены основы созданной теории формирования внешних связей (ВС) между комбайнами и разрушаемыми массивами, выявлены механизмы проявления этих связей.

Установлено, что составляющие $F_{вн}$ и $M_{вн}$, являющиеся функциями координат U_n , отражающих движения ИО, формируют в различных частотных областях эффекты, эквивалентные стабилизации (уменьшение амплитуд ВН по сравнению со случаями гипотетического отсутствия ВС по перемещениям) или дестабилизации колебаний (увеличение амплитуд ВН).

Установлено также, что составляющие $F_{вн}$ и $M_{вн}$, являющиеся функциями приводных, формируют в различных частотных областях эффекты, эквивалентные дополнительному демпфированию (знак работы W этих нагрузок за период колебаний с рассматриваемыми частотами отрицательный) или возбуждению (знак W положительны) колебаний. Под возбуждением колебаний понимается частичная компенсация диссипативных сил, присущих ОК, силами типа «отрицательное сопротивление», обусловленными проявлением ВС по скоростям.

В [1,3,4] приведены условия реализации эффектов, эквивалентных дополнительному демпфированию, стабилизации и возбуждению, дестабилизации колебаний, показано, что механизмы, обуславливающие

эти эффекты, носят исключительно сложный характер, существуя в органически неразрывной взаимосвязи, подчеркнуто, что составляющие $F_{вн}$ и $M_{вн}$ и, следовательно, векторы \vec{F} и \vec{M} являются функциями обобщенных координат U_n и их приводных \dot{U}_n .

Наиболее информативно влияние ВС на внешнюю нагрузку отражает предложенная в [1,4,5] частотная статистическая характеристика $K_{вс}(f)$, численно равная для каждого частотного представителя отношению оценки эквивалентной амплитуды проекций главного вектора и главного момента при учете составляющих

$F_{вн}$ и $M_{вн}$ к аналогичным оценкам для одноименных проекций без учета указанных составляющих.

В [1,4] изложена методика определения, а в [1,5] приведены характерные количественные примеры оценок $K_{вс}(f)$ для разных проекций главного вектора и главного момента. Для исследуемых машин типа РКУ и разрушаемых массивов выявлены частотные области, где проявляются свойства, адекватные дополнительному демпфированию, стабилизации ($K_{вс}(f) < 1$) или возбуждению, дестабилизации ($K_{вс}(f) > 1$) колебаний. При этом значения $K_{вс}(f)$ находятся в достаточно широких пределах (0,5-1,2).

Установлено [1], что оценки корреляционных функций проекций \vec{F} и \vec{M} достаточно хорошо описываются зависимостью:

$$K_{вн}(\tau) = \sum_v D_{cv} \exp(-\alpha_{cv} / \tau) + \sum_j D_{гц} \exp(-\alpha_{гц} / \tau) \cdot \cos(2\pi f_{гц} \tau)$$

Здесь первый член отражает широкополосные случайные компоненты, являющиеся результатом коррекции F_c и M_c внешними связями, второй член – узкополосные колебательные компоненты, являющиеся результатом коррекции внешними связями F_g и M_g .

Поскольку внешние связи могут оказывать весомое влияние на ВН в области резонансных частот подсистем с явно выраженными резонансными свойствами, то на графиках оценок спектральных плотностей проекций \vec{F} и \vec{M} в областях частот $f_{рг}$ могут выделяться [1,6]:

♦ «впадины» – при доминировании эффектов, эквивалентных дополнительному демпфированию, стабилизации колебаний;

♦ «горбы» – при наличии достаточно сильных эффектов, эквивалентных возбуждению, дестабилизации колебаний, несмотря на отсутствие детерминированных составляющих с частотами $f_{гц}$, близкими к $f_{рг}$.

В последнем случае в состав $K_{вн}$ следует добавить компоненты, описываемые выражением

$$\sum_r D_{рг} \exp(-\alpha_{рг} / \tau) \cdot \cos(2\pi f_{рг} \tau)$$

ВН трансформируется в соответствии с динамическими свойствами ОК [1,6], в результате формируются

отклики – динамические процессы в силовых подсистемах с корреляционными функциями:

Динамические составляющие нагрузок в силовых подсистемах относятся к классу вынужденных колебаний, поскольку поддерживающие колебательные движения элементов подсистем внешние нагрузки на ИО остаются даже в том гипотетическом случае, если колебательные движения прекращаются. Однако, учитывая, что колебания ИО в составе ОК через механизмы внешних связей оказывают воздействие на формирование переменных составляющих \bar{F} и \bar{M} , динамические составляющие нагрузок – откликов следует отнести к классу вынужденных колебаний с неидеальными источниками возмущений. При этом под неидеальностью источников возмущений следует понимать наличие внешних связей между ИО в составе ОК и горным массивом. Для таких систем целесообразно использовать автономные уравнения движения.

Установлено, что в спектральном составе нагрузок-откликов, как правило, высока динамическая значимость компонентов с частотами f_{rg} и f_{gj} , причем распределение дисперсий между указанными компонентами достаточно сильно зависит от строения разрушаемого массива и структуры подсистем. При этом, поскольку динамичность компонентов с частотами f_{rg} зависит не только от динамических свойств ОК, но и от проявления внешних связей, порождаемых движениями самих подсистем, методически целесообразно колебательные компоненты с частотами f_{rg} отнести к классу авторезонансных процессов.

При наличии достаточной близости частот детерминированных составляющих ВН и основных гармоник внутренних возмущений (от зубчатых передач и муфт, электро- и гидромашин и др.) роль авторезонансных процессов может ощутимо повышаться.

Следует отметить, что для ОК с цепным тяговым органом на формирование внешних связей могут оказывать влияние автоколебательный характер подачи машин. При этом на основном участке движения этих ОК во многих случаях имеет место принудительная синхронизация частоты основной гармоники автоколебаний скорости подачи с частотой наиболее сильной

низкочастотной составляющей ВН детерминированного характера.

В целом роль ВС в формировании динамических процессов – откликов в подсистемах ОК значительна. Установлено [1,4], что учет этих связей может приводить к существенным погрешностям при прогнозировании общих дисперсий процессов в подсистемах (могут достигать 70-90 %) и доли дисперсий доминирующих компонентов в составе тех или иных нагрузок методом имитационного моделирования.

Настоящие разработки базируются на результатах многофакторных натуральных и вычислительных экспериментов, в т.ч. уникальных натуральных экспериментальных исследований \bar{F} и \bar{M} [1,6], проведенных ДонГТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатов П.А. Теория функционирования и совершенствование очистных комбайнов как нелинейных динамических систем: Дис. докт. техн. наук.-Донецк, 1991.-510с.
2. Закономерности формирования детерминированных составляющих внешней нагрузки на шнековых исполнительных органах очистных комбайнов /П.А. Горбатов, Ю.А. Кривченко, И.Н. Марченко, А.В. Плюнгин//Изв. Вузов. Горн. журн.-1993.-№7.-С.86-90.
3. Горбатов П.А. Анализ возможностей демпфирования или возбуждения колебаний силовых подсистем очистных комбайнов за счет взаимодействия с массивом//Разработка месторождений полезных ископаемых: Республ. межвед. научно-техн. сб.-Киев: Техника, 1991.-Вып. 88.-С.20-25.
4. Горбатов П.А. Основы теории формирования внешних связей между горными комбайнами и разрушаемыми массивами// Изв. Вузов. Горн. журн.-1996.-№1.-С.83-87.
5. Горбатов П.А. Имитационное моделирование динамических процессов в очистных комбайнах, функционирующих в автономных системах «комбайн-массив-конвейер»// Разработка месторождений полезных ископаемых: Республ. межвед. научно-техн. сб.-Киев: Техника, 1991.-Вып.88.-С.26-31.
6. Горбатов П.А., Кондрахин В.П. Закономерности формирования внешней нагрузки на исполнительном органе и динамические характеристики горного комбайна// Изв. Вузов. Горн. журн.-1991.-№3.-С.81-85.

© П.А. Горбатов