

УДК 622.232.72

В.Г. Гуляев (д-р техн. наук, проф.)**С.Ю. Харламов** (магістрант)

Донецкий национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ЭНЕРГОВОООРУЖЕННОСТИ

Рассмотрены закономерности формирования динамических нагрузок привода и влияние неравномерности перемещения на эксплуатационные характеристики двухдвигательного очистного комбайна с различным уровнем энерговооруженности.

Ключевые слова: очистной комбайн, неравномерность скорости перемещения комбайна, динамика нагрузок привода, эксплуатационные характеристики

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Создание эффективных очистных комбайнов с высоким уровнем энерговооруженности для интенсивных режимов работы является важной научно-технической проблемой и требует решения ряда многофакторных задач. К их числу относится задача обоснования структуры и параметров двухдвигательных комбайнов с упругим (цепным) и жестким (реечным) тяговым органом с учетом ряда основных факторов, определяющих их эксплуатационные характеристики.

Анализ исследований и публикаций. В решении указанной проблемы большой вклад внесли ученые и конструкторы ИГД им. А.А. Скочинского, институтов «Гипроуглемаш» и «Донгипроуглемаш», ученые кафедры горных машин ДПИ–ДонНТУ, конструкторы Горловского машзавода. Однако объектами этих разработок были в основном узкозахватные комбайны с однодвигательным приводом ограниченной мощности. В настоящее время, наряду с новыми энергонасыщенными комбайнами типа КДК-400, КДК-500, для интенсивных режимов работы могут применяться комбайны с упругим (1ГШ68) и жестким (2ГШ68Б) тяговым органом с мощностью 2х-двигательного привода 2×140 , 2×160 и 2×315 , а также комбайны типа РКУ13 с БСП. Под руководством проф. Гуляева В.Г. [1] и проф. Горбатова П.А. выполнены комплексные исследования рабочих процессов с учетом динамических свойств указанных типов комбайнов.

Результаты исследований [1, 2] могут служить базой для развития математического моделирования с целью определения на стадии проектирования рациональных параметров двухдвигательных комбайнов для заданных условий их эксплуатации.

Постановка задачи. Задачами данной работы являются:

- анализ и обобщение результатов моделирования;
- установление зависимостей удельных энергозатрат от средней скорости подачи ;
- установление зависимостей показателей неравномерности перемещения комбайна от средней скорости подачи и характеристик тягового органа.

На базе исследований планируется разработка выводов и рекомендаций для решения основной задачи магистерской работы.

Изложение материала и результаты. Для определения закономерностей формирования эксплуатационных характеристик очистного комбайна с высоким уровнем энерговооруженности был составлен план вычислительного эксперимента и проведены модельные исследования. Исследовалось влияние следующих факторов: 1) мощность приводных электродвигателей (ЭД); 2) мощность механизма подачи и средняя скорость подачи ОК (средние уровни – 5, 10 и 15 м/мин); 3) сопротивляемость пласта резанию в неотжатой зоне (180 и 300 Н/мм); 4) показатель степени хрупкости угольного пласта (показатель хрупкости $E=2,8$ и $1,65$); 5) жесткость тягового органа (4 уровня); 6) строение пласта (простое и сложное). Мощность пласта принималась равной 1,9 м, ширина захвата шнека – 0,63 м.

На рисунке 1 представлены аппроксимированные по результатам модельных экспериментов зависимости удельных энергозатрат от средней скорости подачи (а), среднего сечения стружки на опережающем шнеке (б), а также от характеристик угольного пласта. Характеристики удельных энергозатрат от средней скорости подачи и характеристик разрушаемости пласта на рассматриваемом интервале скорости подачи аппроксимируются зависимостями (индекс при H_W соответствует номеру кривой на рис. 1а):

$$H_{W1}(V_n) = 0,798 - 4,4 \cdot 10^{-2} \cdot V_n + 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot V_n^2;$$

$$H_{W2}(V_n) = 0,981 - 4,9 \cdot 10^{-2} \cdot V_n + 1,62 \cdot 10^{-3} \cdot V_n^2;$$

$$H_{W3}(V_n) = 1,092 - 7,0 \cdot 10^{-2} \cdot V_n + 2,61 \cdot 10^{-3} \cdot V_n^2;$$

$$H_{W4}(V_n) = 1,276 - 10,4 \cdot 10^{-2} \cdot V_n + 5,05 \cdot 10^{-3} \cdot V_n^2$$

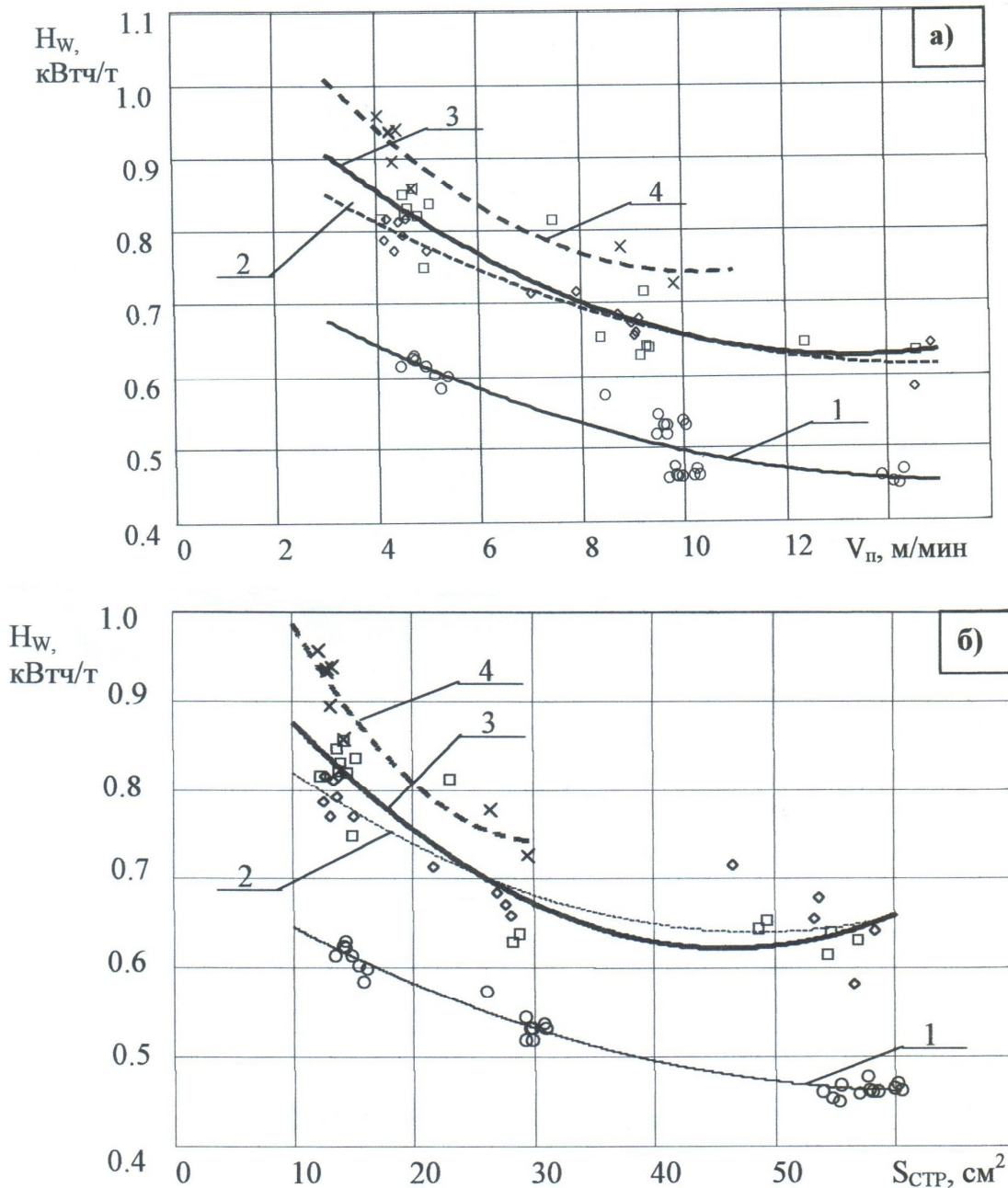


Рис. 1 – Зависимость удельных энергозатрат от средней скорости подачи (а), среднего сечения стружки на опережающем шнеке (б) и характеристик угольного пласта (1 – $A_p = 180$ Н/мм, $E = 2,8$; 2 – $A_p = 180$ Н/мм, $E = 1,65$; 3 – $A_p = 300$ Н/мм, $E = 2,8$; 4 – $A_p = 300$ Н/мм, $E = 1,65$)

Необходимо отметить, что при моделировании принимались 4 схемы расстановки резцов режущего инструмента на ИО, среди которых стандартная, а также синтезированные для высоких режимных параметров для двухзаходного и трехзаходного шнеков диаметром 1,25 м.

Все характеристики удельных энергозатрат, как от скорости подачи в интервале 5-15 м/мин, так и от среднего сечения стружки на опережающем шнеке в пределах 15-60 см², являются падающими. С увеличением средней скорости подачи с 5 до 10 м/мин удельные энергозатраты снижаются на 16-19 %, а с 5 до 15 м/мин – на 21-26 %. Этот факт объясняется форсированными режимами разрушения угольного массива – увеличением скорости подачи и увеличением сечения стружки от 12-15 см² до 25-30 см² при средней скорости ОК около 10 м/мин и трехзаходном шнеке и до 50-60 см² при средней скорости ОК около 10 м/мин и двухзаходном шнеке, а также при средней скорости ОК около 15 м/мин и трехзаходном шнеке. Теоретические минутные производительности для трех уровней средней скорости подачи изменяются, соответственно, в интервалах 6,7-8,5 т/мин, 11,7-17,1 т/мин, 21,8-25,1 т/мин, при этом потребляемая электрическая мощность изменяется, соответственно, в интервалах 275-425 кВт, 450-720 кВт, 645-690 кВт.

Доказано, что очистной комбайн при взаимодействии с массивом движется крайне неравномерно. Это обстоятельство оказывает влияние на неравномерность формирования на исполнительных органах (ИО) вектора внешнего возмущения, неравномерность которого, в свою очередь, существенно влияет на эксплуатационные характеристики [1, 2].

Динамика перемещения ОК в направлении подачи является наиболее весомым фактором, влияющим на уровень реализуемой устойчивой мощности привода, на динамичность нагруженности всех силовых подсистем, а следовательно на производительность [3, 4].

Для ОК с цепным тяговым органом (ЦТО) характерно перемещение в режиме релаксационных колебаний с этапами движения и остановки. Отношение продолжительности движения ОК к периоду колебаний назовем коэффициентом прерывности движения ОК. Отношение максимальных (пиковых) значений к средним значениям скорости подачи, наряду с коэффициентом прерывности движения ОК, характеризует ускорения ОК в направлении подачи, которые, в свою очередь, сказываются на динамичности нагрузок в силовых подсистемах. На рисунке 2а представлены аппроксимированные по результатам модельных экспериментов зависимости коэффициентов прерывности движения ОК от средней скорости подачи, а также типа и жесткости тягового органа.

Для ОК с жестким (реечным) тяговым органом коэффициент прерывности движения при рассматриваемых скоростях подачи равен

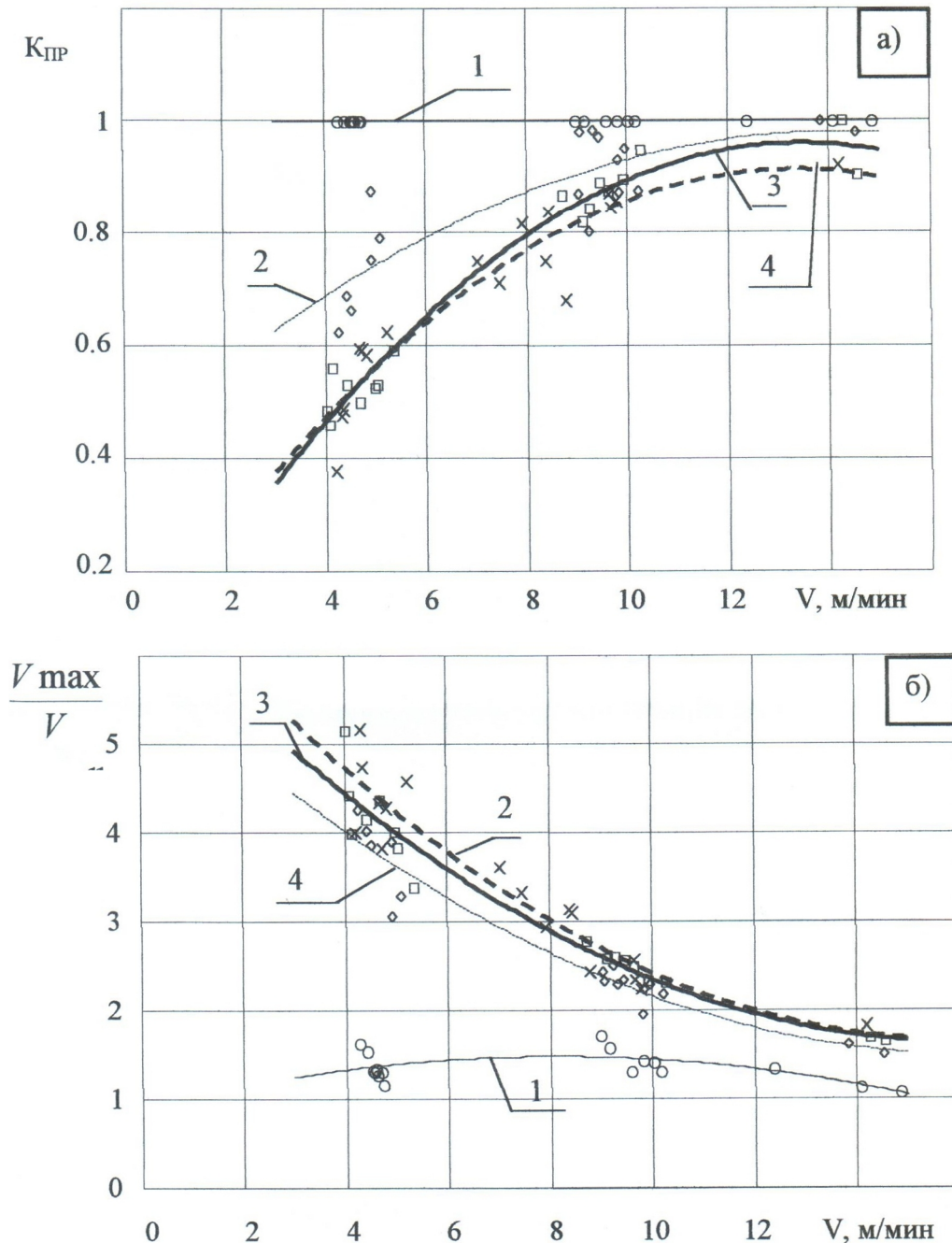


Рис. 2 – Зависимость коэффициента прерывности движения (а) и отношения максимального значения к среднему значению скорости подачи (б) от средней скорости подачи, длины и типа тягового органа (1 – ЖТО; 2 – ЦТО, $L_{ц} = 30$ м; 3 – ЦТО, $L_{ц} = 80$ м; 4 – ЦТО, $L_{ц} = 200$ м)

единице, т. е. колебания ОК близки к гармоническим. Движение ОК при наличии ЦТО в большинстве случаев носит характер разрывных релаксационных колебаний; зависимость коэффициента прерывности от скорости подачи является возрастающей. Из полученных результатов моделирования [3, 4] рабочего процесса ОК с ЦТО видно, что при

средней скорости $V_{\Pi} = 5$ м/мин отмечается существенное различие характера движения ОК в направлении подачи в зависимости от длины (жесткости) ЦТО. Это отражается повышением веса низкочастотной составляющей в дисперсии нагруженности силовых подсистем при увеличении длины рабочего участка цепи. С увеличением средней скорости значимость этой зависимости падает, и, если при $V_{\Pi} = 5$ м/мин и длине цепи $L_{\text{ц}} = 30 - 200$ м диапазон изменения коэффициентов прерывности движения изменяется на промежутке $0,564...0,743$, т. е. возрастает на 32%, то при $V_{\Pi} = 15$ м/мин этот диапазон $0,9 - 0,978$, т. е. увеличивается на 8,6%. Из этого можно сделать предварительный вывод, что при скоростях подачи 10–15 м/мин длина ЦТО не будет вносить существенного веса в дисперсию низкочастотной составляющей нагруженности силовых подсистем.

На рисунке 2б представлены аппроксимированные по результатам модельных экспериментов зависимости кратности максимального к среднему значению скорости перемещения комбайна от средней скорости его подачи, а также типа и жесткости тягового органа. Для ОК с ЖТО этот показатель практически не зависит от средней скорости подачи и изменяется на интервале $1,1...1,7$.

Данная характеристика для ОК с ЦТО является падающей и зависит от коэффициента жесткости ЦТО. На интервале скорости подачи $V_{\Pi} = 5 - 15$ м/мин зависимость коэффициента прерывности движения от скорости подачи может быть аппроксимирована выражениями (индекс при $K_{\text{пр}}$ соответствует номеру кривой на рис. 2а):

$$K_{\text{пр}1}(V_{\Pi}) = 1;$$

$$K_{\text{пр}2}(V_{\Pi}) = 0,414 + 8,0 \cdot 10^{-2} V_{\Pi} - 2,82 \cdot 10^{-3} V_{\Pi}^2;$$

$$K_{\text{пр}3}(V_{\Pi}) = -0,04 + 15,0 \cdot 10^{-2} V_{\Pi} - 5,54 \cdot 10^{-3} V_{\Pi}^2;$$

$$K_{\text{пр}4}(V_{\Pi}) = 0,02 + 13,4 \cdot 10^{-2} V_{\Pi} - 5,02 \cdot 10^{-3} V_{\Pi}^2;$$

Динамичность нагруженности трансмиссий привода исполнительных органов характеризуют коэффициенты вариации крутящего момента в трансмиссии опережающего (рисунок 3 а) и отстающего (рисунок 3 б) шнеков, а также нормированные спектральные плотности крутящих моментов.

Из рисунка 3 следует, что для ОК с ЦТО с длиной $L_{\text{ц}} = 80 - 200$ м характерно уменьшение коэффициента вариации крутящих моментов

в трансмиссиях к опережающему и отстающему шнекам при увеличении скорости подачи.

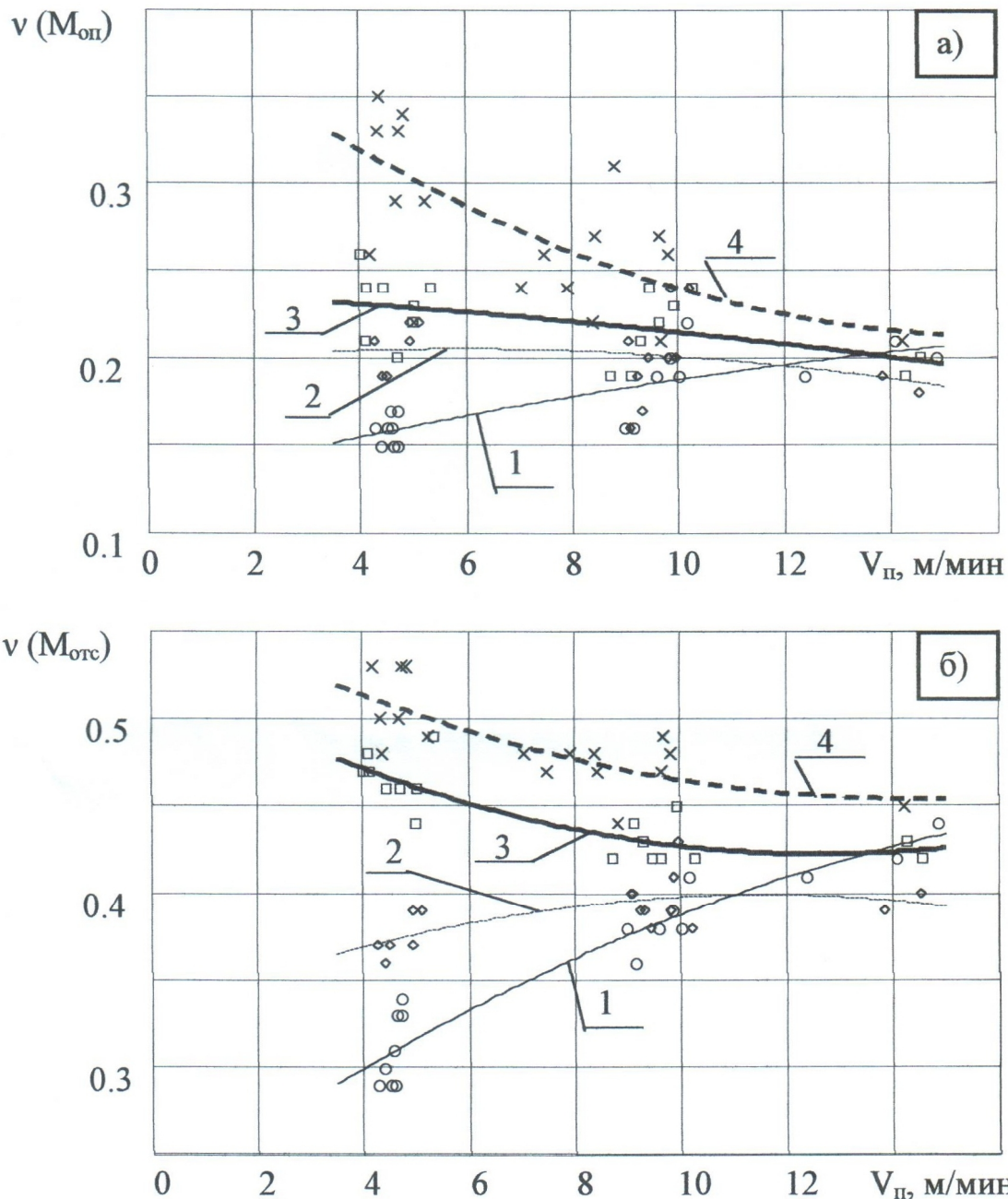


Рис. 3 – Зависимость коэффициента вариации крутящего момента в трансмиссии опережающего (а) и отстающего (б) шнека от средней скорости, длины и типа тягового органа (1 – ЖТО; 2 – ЦТО, $L_{ц} = 30$ м; 3 – ЦТО, $L_{ц} = 80$ м; 4 – ЦТО, $L_{ц} = 200$ м)

Для короткой цепи ($L_{ц} = 30$ м) характерны примерно постоянные его значения, а для ОК с ЖТО – рост $v(M)$ при увеличении средней скорости подачи в интервале 5–15 м/мин. В частотном спектре крутящих моментов в трансмиссиях к шнекам ОК с ЦТО с увели-

чением средней скорости подачи происходит перераспределение суммарной дисперсии. Уменьшается доля низкочастотной составляющей, вызванной неравномерностью перемещения ОК в направлении подачи, и увеличивается доля высокочастотной составляющей колебательного процесса, что можно объяснить увеличением сечения стружки. Для ОК с ЖТО увеличение скорости подачи приводит также к увеличению доли дисперсии высокочастотной составляющей в общей дисперсии крутящих моментов.

На рисунке 4 в качестве примера представлены нормированные спектральные плотности крутящих моментов в трансмиссиях опережающего и отстающего шнеков.

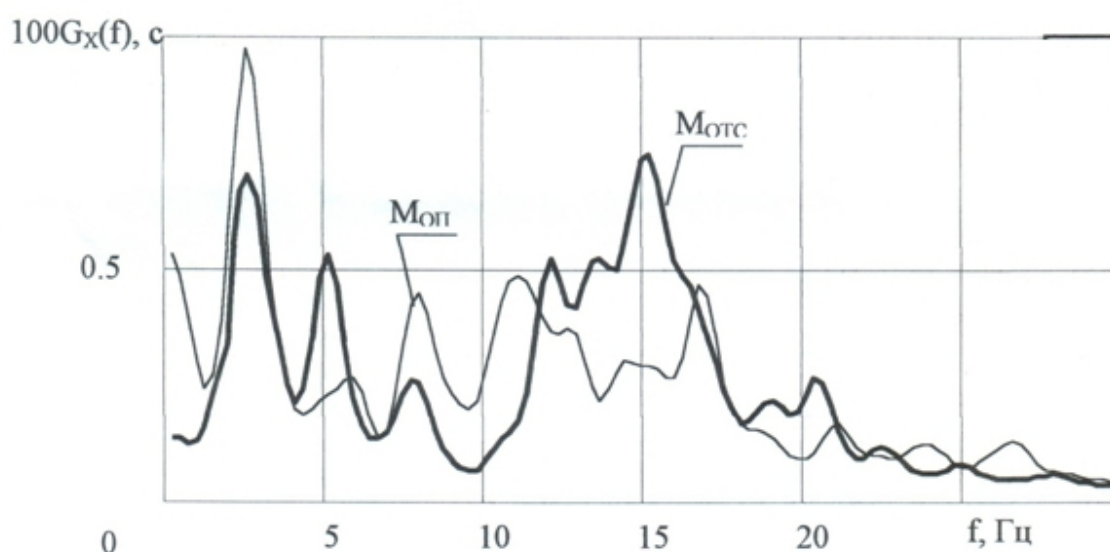


Рис. 4 – Нормированные спектральные плотности крутящих моментов в трансмиссии опережающего (M_{on}) и отстающего (M_{ots}) исполнительных органов

Анализ полученных спектральных плотностей показывает, что доли низкочастотных и высокочастотных составляющих в общей дисперсии крутящих моментов примерно одинаковы. В спектре частот 0 – 25 Гц присутствуют также колебательные составляющие с весомой дисперсией на частотах, равных примерно 2,5 Гц, 15 Гц, а также некоторых других, см. рис. 4.

Выводы и направления дальнейших исследований. Использование полученных результатов позволяет на стадии проектирования определять:

1) рациональные уровни энерговооруженности двухдвигательных комбайнов для заданных условий эксплуатации с учетом физико-механических свойств угольных пластов (A, E) и параметров стружкообразования (S) по критериям $Q_m \rightarrow \max$ и $H_w \rightarrow \min$;

2) тип и параметры двигателей из условия минимизации характеристик неравномерности скорости перемещения комбайна с целью повышения реализуемого уровня устойчивого момента привода и производительности;

3) рациональные характеристики виброзащитных устройств по критериям их эффективности по снижению дисперсий высокочастотных (случайных) и детерминированных составляющих крутящих моментов в трансмиссиях исполнительных органов комбайна.

Список литературы

1. Гуляев В.Г. Исследование горных комбайнов на базе системного подхода / В.Г.Гуляев // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1983. – Вып. 64. – С. 3-15.
2. Горбатов П.А. Имитационное моделирование динамических процессов в очистных комбайнах, функционирующих в автономных системах "комбайн – массив – конвейер" / П.А. Горбатов // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научно-техн. сб. – 1991. – Вып. 88. – С. 26-31.
3. Гуляев В.Г. Некоторые результаты имитационного моделирования функционирования системы «очистной комбайн-забой» / В.Г.Гуляев, К.В.Жуков // Наук. пр. Донец. держ. техн. ун-ту. Серія: гірничо-електромеханічна. – 2000. – Вип. 16. – С. 84-91.
4. Гуляев В.Г. Прогнозирование эксплуатационных характеристик очистного комбайна с высоким уровнем энерговооруженности / В.Г.Гуляев, К.В.Жуков // Горные машины и автоматика. – 2001. – №6. – С. 14-17.

Стаття надійшла до редакції 01.10.2012

В.Г. Гуляев, С.Ю. Харламов. Донецький національний технічний університет

Дослідження експлуатаційних характеристик очисного комбайна з високим рівнем енергоозброєності

Розглянуто закономірності формування динамічних навантажень привода і вплив нерівномірності переміщення на експлуатаційні характеристики дводвигунового очисного комбайна з різним рівнем енергоозброєності.

Ключові слова: очисний комбайн, нерівномірність швидкості переміщення комбайна, динаміка навантажень привода, експлуатаційні характеристики.

V. Gulyaev, S. Kharlamov. Donetsk National Technical University

Performance Characteristics of a Combine with High Level of Available Power.

The paper considers the laws of the drive's dynamic load formation and discusses the influence of motion nonuniformity on the performance of a two-engine combine with different levels of available power.

Keywords: combine, motion nonuniformity, drive load dynamics, performance characteristics.