© В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов, 2006

УДК 622.331

*В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов*

# *РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ УБОРКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА*

**Семинар № 16**

Пневматическая уборка торфа представляет собой уборку торфа из расстила в бункер турбулентным потоком воздуха, создаваемым пневматической установкой [1]. Применяется при добыче торфа для брикетирования и подстилки с пониженным содержанием влаги. Производится пневматическими уборочными машинами. Принципиальная схема машины с пневматическим сбором торфа из расстила показана на рис. 1.

С помощью мощного вентилятора из бункера пневмоуборочной машины выкачивается воздух. Бункер через воздуховод соединен с соплами, имеющими длинные узкие щели высотой 0,05–0,06 м, шириной 1,0–1,2 м. При движении машины сопла перемещаются непосредственно над расстилом фрезерной крошки. Через эти щели с большой скоростью всасывается воздух, который проходит через бункер и вентилятором выбрасывается в атмосферу. Турбулентный поток воздуха, имеющий скорость у входа в сопло 25–30 м/с, захватывает частицы торфа и увлекает их за собой. Для перемещения фрезерного торфа по трубопроводам необходима скорость движения воздуха, превышающая критическую (скорость витания). Скорость витания зависит от плотности и размеров частиц и приближенно определяется по формуле [2]

$$v_в = 4,7 \cdot \sqrt{d\gamma}, \qquad (1)$$

где $d$ – диаметр частиц (средний размер поперечника), м; $\gamma$ – плотность частиц, кг/м$^3$.

Скорость витания частиц фрезерной крошки при уборочной влажности 40–45 % обычно не превышает 10 м/с, поэтому скорость аэросмеси в трубопроводах принимают равной 15–18 м/с [2].

Для осаждения частиц торфа в бункере машины перед входом в бункер устанавливают циклон. В циклоне смесь получает винтовое движение; в конце пути скорость потока резко падает. Частицы торфа под действием центробежной силы прижимаются к наружным стенкам осадителя, постепенно теряя скорость и оседая в бункере. Унос мелких частиц торфа в пневматических уборочных машинах достигает 3–5 % собранного торфа. С повышением степени разложения торфа, способствующим уменьшению размеров частиц, и с понижением влажности унос торфа увеличива-

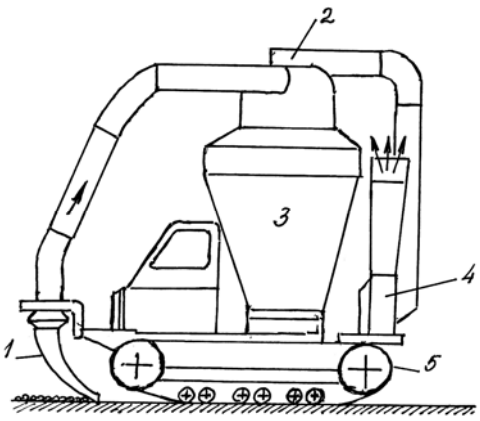



***Рис. 1. Принципиальная схема машины с пневматическим сбором торфа из расстила:*** *1* – сопло; *2* – циклон; *3* – бункер; *4* – вентилятор; *5* – гусеничный ход

ется.

Пневматическая уборка фрезерного торфа непосредственно из расстила имеет ряд преимуществ по сравнению с механической уборкой. За счет исключения операции валкования упрощается технологическая схема. Представляется возможность убирать торф кондиционной влажности даже при повышенной влажности сфрезерованного слоя. Увеличивается число уборочных циклов и сезонный сбор повышается на 40–50 %.

Впервые способ пневматической уборки торфа был применен в СССР в 1930 году (С.Г. Солопов, М.И. Сарматов, Е.В. Чарнко): в Институте торфа был создан пневматический комбайн КП-1. В 1950-е годы под руководством М.И. Сарматова была разработана первая модель прицепной к трактору ДТ-54 пневматической уборочной машины ПУМ [2]. В конце 1950-х годов Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП, г. Ленинград) разработал и сдал в производство самоходный бункерный комбайн БПФ. С момента появления пневматического комбайна БПФ в 1957 году до середины 1970-х годов промышленностью было выпущено несколько моделей этих машин (БПФ-1, БПФ-2, БПФ-2М, БПФ-2А, БПФ-3, БПФ-3М и др.). При совершенствовании пневмокомбайнов изменения касались лишь конструкций отдельных узлов. Пневмокомбайны состояли из двух отдельных агрегатов – самоходной бункерной пневмоуборочной машины с лобовым расположением сопел пневмосистемы и прицепного фрезера. Такая комбинация позволяла производить одновременно две операции: пневматическую уборку фрезерного торфа из расстила и фрезерование освободившейся поверхности залежи. На машине БПФ-3М установлен дизельный двигатель мощностью 158 кВт, позволяющий выполнять операции одновременно по уборке торфа и фрезерованию залежи. Основные части комбайна – четыре сопла, трубопроводы, два циклона-осадителя, бункер с разгрузочным устройством, вентилятор, двигатель, гусеничный ход и штифтовой фрезер. Шарнирная подвеска сопел позволяет им копировать поверхность рельефа полей сушки. При повороте и холостых ходах машины сопла с помощью гидравлического подъемника при-поднимаются над поверхностью залежи примерно на 350 мм. Центральный вентилятор обеспечивает расход воздуха через сопла до 10 м$^3$/с, благодаря чему скорость воздуха у входа в сопло достигает 30–35 м/с. В приемной коробке вентилятора помещены четыре лопатки направляющего аппарата, с помощью которых можно регулировать расход воздуха и скорость его поступления в сопла. Нижний пояс бункера одновременно является рамой конвейера, используемого для выгрузки фрезерной крошки из бункера на откосы штабелей – по такому же принципу, как и у скреперно-бункерных машин [2]. Во избежание чрезмерных прососов воздуха подвижная крышка разгрузочного люка и нижние кромки задней и боковых стенок бункера окантованы резиной. Во время сбора торфа крышка люка плотно прилегает к стенкам бункера и к ленте конвейера.

Размеры технологической площадки и схемы движения комбайнов БПФ показаны на рис. 2. Направление движения комбайнов (по часовой стрелке) определяется положением разгрузочного устройства: разгрузочное устройство на комбайне располагается слева по ходу движения.

Сезонная производительность пневмокомбайна рассчитывается по формуле [2]:

$$G_{сез} = 0,36 \cdot b \cdot v_{ср} \cdot k_b \cdot k \cdot_v k_ц \cdot k_t \cdot t_{сут} \cdot \tau_ц \cdot q_c,$$

где $b$ – рабочая ширина захвата сопел (для БПФ-3М $b$ = 4,8 м); $v_{ср}$ – средняя расчетная скорость пневмокомбайна (1,6 – 1,8 м/с); $k_b$ – коэффициент использования ширины захвата (0,95); $k_v$ – коэффициент использования скорости (0,95); $k_ц$ – коэффициент использования циклового времени (0,78); $k_t$ – коэффициент использования

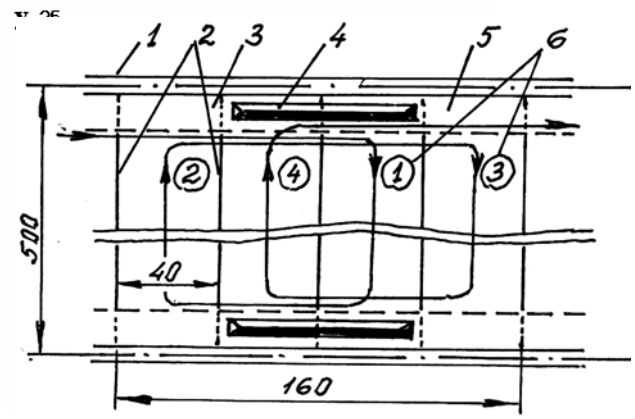



***Рис. 2. Схема технологической площадки для пневмоуборочных комбайнов БПФ на залежи низинного торфа:*** *1* – валовый канал; *2* – картовые каналы; *3* – подштабельная (кантовочная) полоса; *4* – штабель; *5* – карта; *6* – последовательность обработки карт при пневмоуборке

рабочего времени (0,81); $t_{сут}$ – число часов работы в сутки (16 ч); $\tau_ц$ – число дней в цикле ($\tau_ц$ = 1); $q_c$ – сезонный сбор торфа при пневмоуборке (в среднем от 270 до 720 т/га).

При этих условиях средняя расчетная производительность пневмокомбайна составляет от 4260 до 11350 т.

Наибольшее распространение на предприятиях торфяной промышленности пневмокомбайны БПФ получили в середине 1960-х и в 1970-х годах. По отчетным данным предприятий промышленности в 1978 году пневмокомбайны БПФ применялись на 22-х предприятиях (155 машин). Добыто торфа 813,8 тыс. т (в среднем на один комбайн 5250 т). В 1979 году на 19 предприятиях промышленности работали 135 комбайнов. Добыча торфа составила 1458 тыс. т (в среднем на один комбайн 10,8 тыс. т). Столь существенная разница в показателях добычи фрезерного торфа с применением пневмокомбайнов объясняется крайне неблагоприятными погодными условиями 1978 года (по сравнению с 1979-м).

Из-за сложностей применения пневмокомбайнов, особенно на залежах верхового типа, выпуск комбайнов БПФ в начале 1980-х годов был прекращен. Промышленности был предложен разработанный ВНИИТП высокопроизводительный пневмокомбайн КПФ-6,4 с увеличенным количеством сопел (6 вместо 4-х у БПФ), увеличенной мощностью двигателя (175 кВт). Объем бункера был увеличен до 29 м$^3$ (полезный объем – 23 м$^3$). Расчетная производительность пневмокомбайна возросла почти в два раза. Однако этот пневмокомбайн не получил столь широкого распространения, как его предшественник. Ограниченное применение в промышленности нашли и прицепные пневмоуборочные машины типа ППФ-3 (ППФ-5, ППФ-6) для уборки торфа в основном на подстилку, а также пневмовалкователи ПВП-8 [2].

Существенный вклад в развитие и совершенствование техники пневматической уборки фрезерного торфа внесли диссертационные исследования в этой области [3–21]. Поток диссертационных исследований в области пневматической уборки фрезерного торфа (рис. 3) может быть отображен моделью логистической кривой

$$y = 20 / (1 + 16{,}4 \exp(-0{,}255\, t)), \qquad (3)$$

где $t$ – время от начала защиты диссертаций в рассматриваемой научной области.

Подавляющая часть диссертационных исследований была посвящена исследованию работы сопла, аэродинамике всасывания торфяной крошки, активизации слоя фрезерной крошки воздушным потоком, механической активизацией (щеткой) [3, 6, 11, 12, 13, 19], исследованию процесса транспортирования, сопротивления движению с малой и высокой концентрациями, в поворотах трубопроводов [4, 9, 15, 16, 18, 21].

Значительно меньшая часть диссертаций была посвящена исследованию процессов отделения торфа от аэросмеси [7, 8,

14, 20], изучению физико-механических свойств торфяной крошки и расстила как объекта пневмоуборки [5, 17]. Особняком стоит работа, посвященная применению стеклопластиков в крупногабаритных узлах пневмокомбайнов [10].

В истории развития торфяной отрасли на долю пневматической уборки торфа приходилось не более 5 % количества убираемого торфа [1]. За рубежом (в Финляндии и в наши дни) используют пневматические торфоуборочные машины *малой производительности*, что связано с небольшими объемами добычи [1]. В России происходит осознание того, что «в современной ситуации не может быть и речи о крупной торфоперерабатывающей промышленности». Такое утверждение приводится в «Концепции рационального использования торфяных ресурсов России» (Томск, 2003). Учитывая эти обстоятельства, можно полагать, пневматические торфоуборочные машины будущего – это прицепные к гусеничным или колесным тракторам машины, обеспечивающие уборку не примятого ходовой частью машин торфа (при боковом расположении сопел такое невозможно), снабженные эффективно работающими соплами, циклонами-осади-телями и средствами быстрой разгрузки бункеров. Сезонная производительность таких машин может составлять 3–5 тыс. т.

***Рис. 3. Поток диссертационных исследований в области пневматической уборки фрезерного торфа***

## *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*


1. *Горная* энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский. – М.: Сов. энциклопедия. 1991. Том 4.
2. *Антонов В.Я., Копенкин В.Д.* Технология и комплексная механизация торфяного производства. – М.: Недра, 1983. – 287 с.
3. *Терпиловский К.Ф.* Исследование работы сопла при пневматической уборке переработанного фрезерного торфа: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1959. – 15 с.
4. *Горцакалян Л.О.* Исследование процесса транспортирования фрезерного торфа пневматическим способом: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КТИ, 1961. – 201 с.
5. *Кислов Н.В.* Исследование физико-механических и аэродинамических свойств переработанного фрезерного торфа: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1964. – 28 с.
6. *Аршавский М.П.* Аэродинамика всасывания торфяной фрезерной крошки из свободно лежащего слоя: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1967. – 182 с.
7. *Зальцман А.М.* Исследование пневматической сепарации торфяных частиц: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1967. – 21 с.
8. *Лиходиевский В.Л.* Совмещенный процесс сушки и пневматической классификации фрезерного торфа: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1967. – 244 с.
9. *Пономарев В.М.* Исследование сопротивлений плавных и сегментных отводов при пневматическом транспортировании фрезерного торфа с малой и высокой концентрациями аэросмеси: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1967. – 184 с.
10. *Телешев В.А.* Исследование вопросов применения стеклопластиков в крупногабаритных узлах торфяных машин (на примере комбайна БПФ-2МГ): Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1968. – 169 с.
11. *Никифоров А.С.* Исследование пневматической системы валкователя для уборки фрезерного торфа с активизацией расстила воздухом: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1969. – 212 с.
12. *Чернышев В.В.* Исследование процесса сбора торфяной фрезкрошки из расстила всасывающими соплами с активизацией слоя нагнетательным воздушным потоком: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1971. – 197 с.
13. *Волкус С.П.* Исследование работы сопел пневмоуборочных торфяных машин: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1971. – 23 с.
14. *Горбач Н.И.* Исследование очистки воздуха от торфяной пыли матерчатыми фильтрами и некоторые вопросы их аэродинамики: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1971. – 23 с.
15. *Савицкий В.П.* Исследование сопротивления движению торфовоздушной смеси в

поворотах трубопроводов: Авторе-ферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1972. – 20 с.

16. *Ильин В.Я.* Исследование процесса транспортирования фрезерного торфа пневматическим способом с различными концентрациями аэросмеси: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1973. – 242 с.

17. *Болтушкин А.Н.* Исследование параметров расстила фрезерного торфа с целью выявления рациональных режимов работы пневмокомбайнов: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1973. – 247 с.

18. *Бакшанский В.И.* Исследование пневматического транспортирования измельченного торфа при повышенных концентрациях аэросмеси: Автореферат дис… канд. техн. наук. – Минск: БПИ, 1978. – 21 с.

19. *Ворзонин В.А.* Исследование процесса пневматической уборки фрезерного торфа с применением щеточного активизатора: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1978. – 255 с.

20. *Кащенко Л.С.* Исследование отделения фрезерного торфа из торфовоздушной смеси в пневматических уборочных машинах и комбайнах: Дис… канд. техн. наук. – Калинин: КПИ, 1979. – 251 с.

21. *Кислов Н.В.* Разработка принципов перемещения измельченного торфа воздушным потоком в торфяном производстве: Автореферат дис… д-ра. техн. наук. – Минск: АН БССР, 1982. – 44 с.

## *Коротко об авторах*

*Копенкин В.Д.* – профессор кафедры технологии и комплексной механизации разработки торфяных месторождений,
*Копенкина Л.В.* – кандидат технических наук, доцент кафедры торфяных машин и оборудования,
*Самсонов Л.Н.* – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой торфяных машин и оборудования,

Тверской государственный технический университет.

**© П.А. Горбатов, Е.А. Воробьев, 2006**

УДК 622.232.72

***П.А. Горбатов, Е.А. Воробьев***

# *ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДЛЯ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ С ПОВОРОТНЫМИ БЛОКАМИ РЕЗАНИЯ*

**Семинар № 16**

Очистные комбайны с поворотными блоками резания (ПБР), созданные с учетом современных тенденций развития очистной техники, имеют ряд особенностей динамической структуры подсистем привода и подвески и перемещения исполнительного органа (соответственно подсистем ПИО и ППО). К этим особенностям можно отнести формирование подсистемы ПИО в виде ПБР с индивидуальным электродвигателем, как правило, выходным планетарным механизмом и короткой кинематической цепью редуктора и подсистемы ППО на основе ПБР и гидродомкрата подвески.

Наличие особенностей динамической структуры таких машин обусловливает необходимость установления закономерностей формирования динамической нагруженности их подсистем при разрушении пластов разного строения.

Для исследований динамического функционирования очистных комбайнов с ПБР была разработана замкнутая математическая модель [1], позволяющая реализовать различные режимы работы комбайна. С использованием этой модели были установлены закономерности формирования динамических процессов в рассматриваемых подсистемах ПИО и ППО при разрушении комбайном ГШ500 такого класса угольных пластов простого (*массив 1*) и сложного (*массив 2*) строения шнековыми исполнительными органами с $D_И$ = 1,25 м и $B_З$ = 0,63 м. Представительность принятых при имитационном моделировании значений мощности пластов $H_P$ = 2,04 м, сопротивляемости угля резания в неотжатой зоне $\overline{A_p}$ = 208 Н/мм, показателя степени хрупкости $E$ = 1,65, скорости подачи $V_П$ = 4,78 м/мин обоснована в [2]. Угол наклона пласта $\alpha = 0\,^{\circ}$.

Пласт сложного строения кроме трех угольных пачек с вышеуказанными характеристиками содержит два породных прослойка из аргиллита мощностью 245 мм, каждый из которых расположен на расстоянии 502,5 мм от соответствующей границы "уголь – вмещающие породы". Сопротивляемость резанию прослойков 350 Н/мм.

Основные результаты имитационного моделирования разрушения очистным комбайном пластов разного строения в установившемся режиме сведены в таблицу, а на рисунке приведены нормированные спектральные плотности *G(f)* некоторых динамических процессов при разрушении *массива 2*.

В таблице в числителе приведены данные с учетом внешних связей (кроме $M_{ЛД}$, $M_{ПД}$) при работе комбайна по разрушению *массива 1*, в знаменателе – *массива 2*. Два плюса указывают на доминирование в соответствующем процессе указанных колебательных составляющих, один плюс – на наличие сравнительно весомых выделяемых компонентов в спектральном составе процессов.

В таблице и на рисунке приняты следующие обозначения:

– индексы “Л” и “П” соответствуют подсистемам, относящимся к отстающему левому и опережающему правому исполнительному органу (ИО);

– $M_{ЛД}$, $M_{ПД}$ – детерминированные составляющие моментов внешней нагрузки на ИО, обусловленные кинематикой и расстановкой резцов на органе, разрушением неоднородного *массива 2* из-за разных физико-механи-ческих свойств слагающих массив слоев (определены при реализации гипотетического режима отсутствия колебательных процессов в подсистемах машины);

– $M_{ЛВН}$, $M_{ПВН}$ – полные моменты внешней нагрузки на ИО, обусловленные детерминированными, случайными и проявляющимися вследствие наличия внешних связей компонентами;

– $M_{ЛТР}$, $M_{ПТР}$ – моменты в редукторах подсистем ПИО;

– $M_{ЛЭД}$, $M_{ПЭД}$, – электромагнитные моменты приводных электродвигателей подсистем ПИО;

– $M_{ЛП}$, $M_{ПП}$ – моменты в подсистемах ППО;

– МО и КВ – математические ожидания и коэффициенты вариации процессов;

– ВС – внешние связи между комбайном и разрушаемым массивом, отражающие динамические взаимозависимости между колебаниями ИО в составе силовых подсистем машины и реакцией горного массива на эти колебания [3].

Значения собственных частот колебаний силовых подсистем: для подсистемы ПИО $f_H = 12.6$ Гц, $f_B = 49.8$ Гц; для подсистем подвески левого отстающего $f_{ЛП} = 19.4$ Гц и правого опережающего $f_{ПП} = 15.2$ Гц органов; для подсистемы перемещения с жестким тяговым органом $f_П = 4.8$ Гц.

Частота $f_{НВ} = 1.4$ Гц соответствует удвоенной частоте вращения ИО, равной *0.7* Гц.

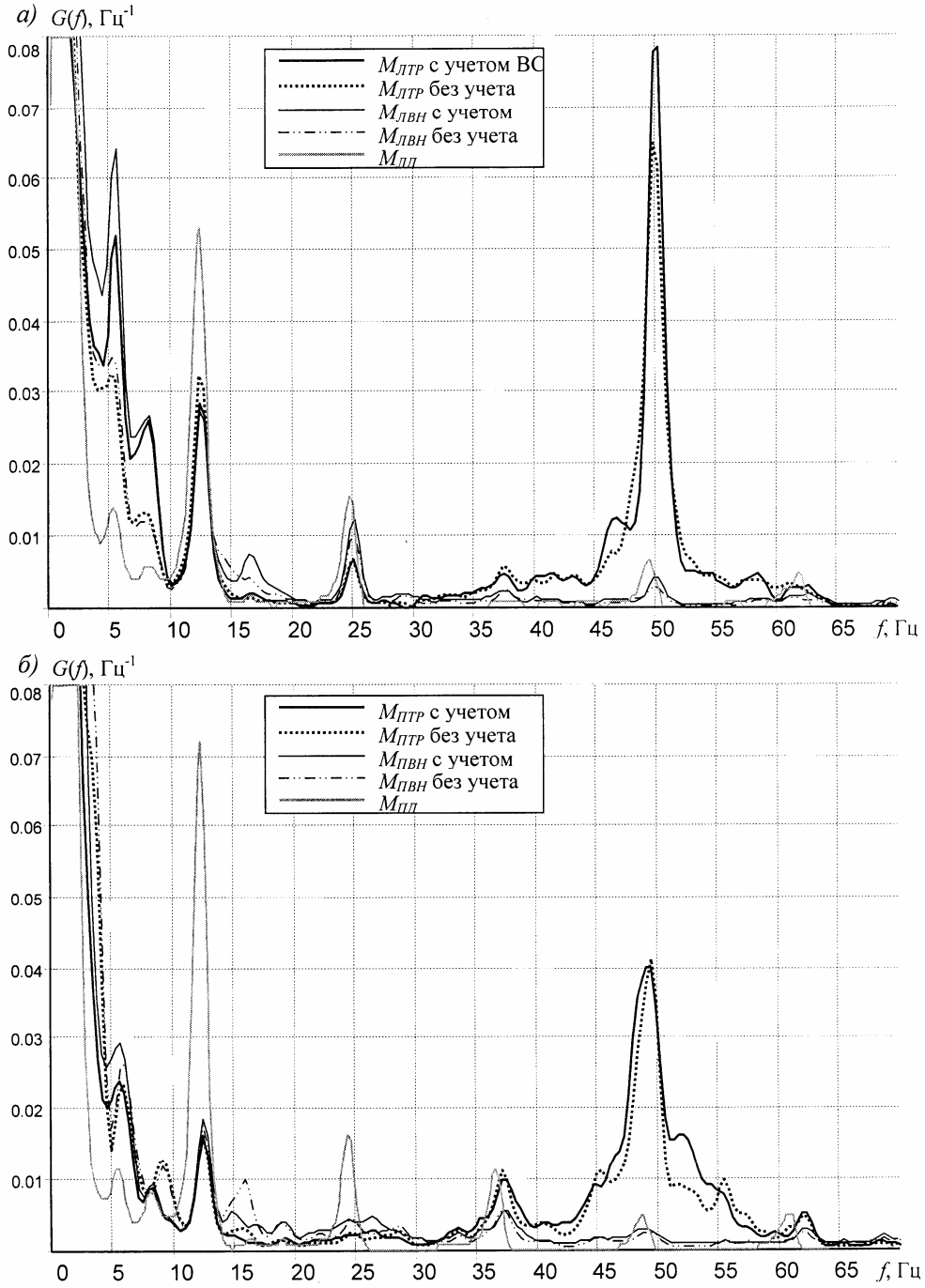
Анализ результатов имитационного моделирования (в том числе и не приведенных в таблице и на рисунке) позволяет сделать следующие основные выводы.

• Динамичность нагрузок в подсистемах комбайна с ПБР является высокой, особенно при разрушении *массива 2*, характеризуется широким спектральным составом и наличием достаточно большого числа составляющих с высокой относительной долей дисперсии. При этом КВ нагрузок в подсистеме ПИО для отстающего органа существенно выше, чем для опережающего для обоих опытов, а для подсистем ППО – наоборот.

• Значения коэффициентов вариации и распределение относительных дисперсий составляющих динамических процессов в значительной степени зависит от разрушаемого массива.

• В спектре детерминированных составляющих моментов внешней нагрузки на ИО при выемке обоих массивов доминируют низкочастотные составляющие с частотой 1,4 Гц, обусловленные прежде всего неоптимальностью схемы расстановки резцов на органе. Кроме того, при разрушении *массива 2* с породными прослойками с весомой долей дисперсии в этих процессах присутствуют составляющие с частотой 11 – 12 Гц, близкой к низшей собственной частоте подсистем ПИО; в процессах $M_{ЛД}$ и $M_{ПД}$ наблюдаются также компоненты с частотами порядка 5 – 6 Гц, 49 – 50 Гц и 24 – 25 Гц, близкими к собственным частотам подсистем перемещения и привода исполнительного органа, а также к частоте вращения ротора электродвигателя (около 25 Гц). Кроме того, в спектральном составе нагрузок $M_{ЛД}$ и $M_{ПД}$ выделяются другие составляющие (см. таблицу), что наиболее ярко проявляется при разрушении *массива 2*.

• В спектральном составе скорости подачи $V_П$ доминируют компоненты с частотой *4,5* Гц, близкой к собственной




***Нормированные спектральные плотности процессов $M_{ТР}$, $M_{ВН}$, $M_{Д}$ для подсистем привода левого (а) и правого (б) ИО***

частоте подсистемы перемещения, кроме того, при разрушении *массива1* выделяются также составляющие с $f = 1{,}4$ Гц.

• Спектральные плотности процессов $M_{ЛТР}$, $M_{ПТР}$ без учета и с учетом внешних связей по перемещениям (проявляются через колебания толщины стружки) и скоростям (проявляются через колебания заднего и резания углов и проекции площадок затупления на резцах) имеют отличия. Указанные отличия в большей степени проявляются при разрушении *массива 2*. Это отчетливо видно на рисунке, например, из рассмотрения частотных областей 3–10 Гц для процесса $M_{ЛТР}$ и 50–55 Гц для момента $M_{ПТР}$ и обусловлено в данном случае эффектами проявления внешних связей, эквивалентными возбуждению, дестабилизации колебаний [3].

• Спектральные плотности процессов в подсистемах ПИО и ППО определяются спектральным составом, в том числе детерминированными составляющими внешней нагрузки, динамическими характеристиками подсистем и воздействием внешних связей. При этом:

– наиболее мощные составляющие детерминированного характера с частотой *1.4* Гц входят в состав доминирующих компонентов для нагрузок-откликов $M_{ТР}$, $M_{ЭД}$, $M_{П}$ всех подсистем ПИО и ППО при разрушении массивов 1 и 2;

– нагрузки $M_{ЛТР}$, $M_{ЛЭД}$, $M_{ПТР}$ характеризуются более широким составом выделяемых составляющих детерминированного характера при разрушении *массива 2*;

– на механических участках подсистем ПИО доминирует высшая форма колебаний с частотой $f_B$, на участках электродвигателей – низшая с частотой $f_H$;

– практическое отсутствие авторезонансных составляющих с частотой $f_{ЛП}$ и $f_{ПП}$ в составе нагрузок $M_{ЛП}$ и $M_{ПП}$ обусловлено достаточно высокими зна-чениями диссипативных характеристик подсистем ППО [3].

Учитывая высокую динамическую нагруженность редукторов комбайнов с ПБР и высокую долю авторезонансных составляющих с частотами $f_B$, можно сделать вывод о необходимости размещения в подсистемах ПИО таких машин корректирующих динамических звеньев. Наличие таких устройств позволит снизить как долю высокочастотных составляющих, так и значение $f_B$, а, следовательно, и количество циклов действия нагрузок, что повысит ресурс элементов силовых подсистем и в целом надежность машины. Оптимизацию динамических свойств подсистем ПИО необходимо производить с учетом формирования детерминированных составляющих внешних нагрузок и внешних связей в системе "комбайн-забой".

## *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*


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-електромеха-нічна. – Донецьк: ДонДТУ, 2000. – С. 63 – 70.
2. *Горбатов П.А., Воробьев Е.А.* Закономерности формирования динамических процессов в подсистемах очистных комбайнов с различными структурными решениями //Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 27, серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонДТУ, 2001. – С. 123 – 128.
3. *Горбатов П.А.* Теория функционирования и совершенствование очистных комбайнов как нелинейных динамических систем: Дис. … докт. техн. наук. – Донецк, 1991. – 510 с.


## *Коротко об авторах*


*Горбатов П.А., Воробьев Е.А.* – Донецкий национальный технический университет.