Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т. 106

УДК 622-5:(622.232.83:622.363.2)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКЛАДЧАТОСТИ НА ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ КОМБАЙНОМ

А.А.ПОЛЬЩАК

Комбайн бурового типа (ПК-8М, Урал-10КС, Урал-20КС) может быть представлен кинематической схемой (рис.1). На гусеничном ходу с опорной поверхностью AB размещена консоль, с которой жестко связаны главный исполнительный орган, формирующий кровлю и стенки выработки и бермовые фрезы, осуществляющие обработку почвы. Консоль вокруг оси O поворачивается на угол β относительно ходовой части с помощью гидродомкратов. Изменение профиля почвы выработки вызывает изменение угла α наклона комбайна относительно горизонтали. Положительная обратная связь, охватывающая систему выработка – комбайн, является запаздывающей, причем время запаздывания τ, определяемое средней скоростью v подачи комбайна на забой, не является постоянным, а распределено в интервале от $\tau_{min} = d/v$ до $\tau_{max} = f/v$ и зависит от удаления $e + d$ центра тяжести комбайна от образующей точки C бермовых фрез (d и f – расстояния от точки C до переднего и заднего катков гусеницы соответственно).

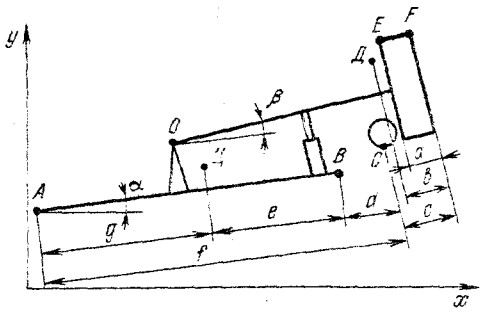


Рис.1. Кинематическая схема комбайна

Рассмотрение кинематической схемы позволяет получить ограничения на длину складок, которые целесообразно повторять при наличии транспортного запаздывания в канале получения информации о положении комбайна в профиле пласта. Пусть датчик расположен на расстоянии b от груди забоя (точка $Д$), а комбайн проходит складку длиной l и амплитудой A, форму которой будем считать синусоидальной (кривая I на рис.2). Если не учитывать ошибки управления, то траектория выработки повторит форму складки со смещением, равным b (кривая 2).

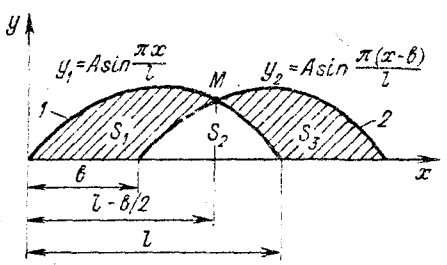


Рис.2. Влияние транспортного запаздывания на потери и разубоживание руды
1 – профиль пласта; 2 – профиль выработки

В этом случае в заштрихованной зоне площадью S_1, происходят потери, а в зоне S_3 - разубоживание руды. Будем считать, что экономические убытки от потерь и разубоживания примерно одинаковы, тогда площадь $S_1 + S_3$ характеризует суммарный ущерб. Ясно, что если $S_1 + S_3 \geq S_2$, то складки соответствующей длины повторять экономически не выгодно и необходимо предусматривать меры по фильтрации высокочастотной составляющей складчатости. Путем элементарных вычислений несложно найти приближенную оценку $l \geq 3b/2$. Под величиной b транспортного запаздывания в данном случае понимается расстояние вдоль оси комбайна между местом установки датчика и той точкой исполнительного органа, в которой осуществляется окончательная отделка профиля выработки. Учитывая, что вертикальные смещения образующих точек E и F больше, чем смещения датчика, жестко связанного с исполнительным органом на величину $\Delta y \sim \Delta\beta b$, а также инерционность комбайна, оценку l следует рассматривать как нижнюю границу.

Анализ геологического строения пластов калийных месторождений и устройств контроля положения комбайна в профиле калийного пласта [2] показывает, что метод контроля относительно границы раздела слоев сильвинита и каменной соли с использованием радиометрического датчика позволяет увеличить представительность получаемой информации благодаря высокой проникающей способности γ-излучения калия. Проведенные исследования [3] позволили оптимизировать параметры чувствительного элемента (в качестве которого применялся направленный сцинтилляционный радиометр) с учетом требуемого быстродействия и точности, а также определить геометрию измерений, обеспечивающую уменьшение влияния складок с размером до 0,8 м и неоднородностей строения пласта на показания датчика.

Однако при наличии умеренной и интенсивной складчатости контроль положения комбайна с помощью одного чувствительного элемента является недостаточным, так как положения границ пласта на противоположных боковых стенках могут значительно отличаться как вследствие общего наклона пласта, так и из-за высокочастотной складчатости. В этих условиях целесообразно применить датчик, содержащий два чувствительных элемента, расположенных у противоположных боковых стенок выработки напротив одной и той же границы раздела слоев и сумматора, усредняющего сигналы с чувствительных элементов. При таком построении датчика выходной сигнал будет точнее характеризовать положение комбайна, позволит косвенным путем измерять отклонение свода выработки от кровли пласта, что важно для обеспечения безопасных условий труда и позволит осуществить пространственную фильтрацию сигналов высокочастотной составляющей складчатости.

Рассмотрим, к какому преобразованию спектра выходных сигналов приведет оснащение датчика вторым чувствительным элементом. Если считать, что высокочастотная складчатость с длиной складок порядка ширины выработки изотропна, то задачу с расположением чувствительных элементов перпендикулярно оси проходимой выработки можно свести к анализу динамических свойств звена с запаздыванием (рис.3,а), где временной сдвиг θ соответствует расстоянию z между чувствительными элементами. Амплитудно-частот-

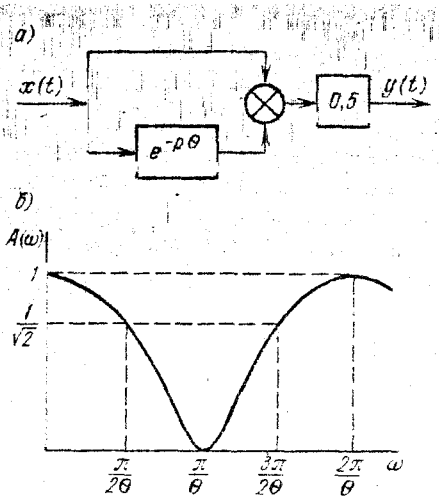


Рис.3. Расчет параметров датчика с двумя чувствительными элементами: а – эквивалентная структурная схема; б – амплитудно-частотная характеристика

ная функция этого звена имеет вид (рис.3,б): $A(\omega) = \sqrt{(1+\cos\omega\theta)/2}$. Из рис.3,б видно, что складки длиной $l_n = z/(2n+1)$ ($n = 0, 1, 2$) ослабляются полностью, а амплитуда складок с длиной $l_m = z/2m$ ($m = 1, 2, \ldots$) не изменяется. Интегрируя выражение для $A(\omega)$ на длине одного периода для $n, m \geq 2$, получим, что сигналы высокочастотной составляющей складчатости ослабятся в среднем в $\sqrt{2}/2$ раз. При этом важно, что фильтрация осуществляется без увеличения транспортного запаздывания. Если фильтрацию производить путем усреднения сигналов одного чувствительного элемента по отрезку пути проходимой выработки, то это приведет к увеличению транспортного запаздывания, что потребует в свою очередь увеличения отрезка усреднения и увеличит погрешности управления.

При выборе алгоритма управления комбайном примем, что критерием качества пройденной выработки является минимум среднеквадратичного отклонения выработки от заданного положения в профиле пласта при выполнении ограничений технологического характера. Следует уточнить термин «заданное положение комбайна в профиле пласта". Так, если датчик расположен над бермовыми фрезами, то траектория движения датчика и бермовых фрез при движении комбайна являются параллельными. Учет транспортного запаздывания при цилиндрической форме главного исполнительного органа ПК-8М приводит к тому, что при ненулевых углах α и β траектории кровли и почвы не параллельны и дисперсия отклонений кровли выработки будет больше дисперсии отклонений почвы.

Требование минимума управляющих воздействий приводит к необходимости введения зоны нечувствительности системы управления, величину которой можно определить из требований на точность вождения. Привязка к существующей гидравлической схеме комбайна обуславливает выбор импульсного закона регулирования, а технологическое ограничение на величину единичного управляющего воздействия, исключающее пробуксовку гусениц, приводит к релейному виду нелинейности, обеспечивающему максимальное быстродействие системы. Флуктуации сигнала на выходе радиометрического датчика требуют введения гистерезиса.

Для исключения аварий, связанных с неисправностями датчика или гидравлики комбайна, в систему управления необходимо ввести технологическую защиту, срабатывание которой происходит при появлении ошибки, превышающей заданную величину. Целью технологической защиты является цепь отключения

подачи комбайна, ее срабатывание потребует участия машиниста в управлении. При наличии сжатой складчатости (Верхнекамское месторождение) складки могут иметь большую амплитуду, но малую ширину. Если в таких горно-геологических условиях отключать подачу комбайна каждый раз при возникновении больших отклонений, то это резко снизит эффективность применения автоматического управления. Целесообразно в таких случаях дополнительно осуществлять контроль угла проходимой складки [I] и включать защиту немедленно, если угол проходимой складки меньше заданного. В случае прохождения сжатой складки необходимо блокировать подачу управляющих импульсов на время прохождения сжатой складки, после чего, если отклонение не стало меньше предельно допустимого, отключать подачу. Такой алгоритм управления позволяет проходить участки сжатой складчатости без участия машиниста.

По предложенной кинематической схеме была построена математическая модель, реализованная в виде программы для ЭВМ, позволяющая изучать параметры движения комбайна в вертикальной плоскости с учетом ограничений и геометрических параметров комбайна. В модели использовано приближение «гибкой гусеницы", учитывающее разрушение кромок ступеней на почве выработки, подсыпку руды, люфты в опорных катках, деформацию поверхности гусеницы. В этом приближении угол α рассчитывался по разности координат двух опорных точек, одна из которых расположена до (отрезок $AЩ$ на рис.I), а другая за (отрезок $ЩB$) проекцией центра тяжести комбайна на опорную поверхность AB. Распределенный характер опоры учитывался тем, что координаты опорных точек находились усреднением по участкам опорной поверхности.

Расчеты на модели показали, что при зоне нечувствительности, равной $\pm$I см, и нулевых начальных условиях реакция комбайна на ступенчатые воздействия разной величины, определяемая как траектория движения точки C, проявляется в виде переходного процесса с одним-двумя перерегулированиями и последующими незатухающими колебаниями. Амплитуда колебательного процесса равна размеру зоны нечувствительности, а период – 5 м. Величина перерегулирования при условии, что величина ступенчатого воздействия меньше 0,3 м, не превышала 20 %. В то же время величина перерегулирования для профиля кровли выработки достигала 80 %, а амплитуда колебательного процесса $\pm$5 см.

Использовать модель для оценки влияния складчатости на точность автоматического вождения комбайна станет возможным после получения количественных амплитудно-частотных характеристик профилей пластов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1084441 (СССР). Способ автоматического управления комбайном и устройство для его осуществления / А.А.Польщак, Е.С.Кричевский, В.Ф.Муравьев. – Опубл. в Б.И., 1984, № 13.

2. Гвоздев А.В., Кричевский Е.С., Шокин Ю.П. Датчик для определения границы раздела „сильвинит – порода". – Безопасность труда в промышленности. 1981, № 10.

3. Польщак А.А. Экспериментальные исследования радиометрического датчика положения комбайна в профиле калийного пласта. – Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Минск, изд. БФ ВНИИГ, 1982.