

УДК 622.232.72

**Н.И. Сысоев**, д-р техн. наук, проф.,**А.С. Кожевников**, ассистент,Южно – Российский государственный технический  
университет (Новочеркасский политехнический институт)**АЛГОРИТМ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
МЕХАТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМНЫМИ  
ПАРАМЕТРАМИ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА**

*Предлагается алгоритм и новое устройство регулирования частоты вращения исполнительного органа очистного комбайна, позволяющие в сочетании с микропроцессорной системой управления поддерживать оптимальные режимы работы комбайна.*

**очистной комбайн, режимные параметры, алгоритм управления, устройство регулирования частоты вращения шнека, мехатронный модуль управления**

***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Анализ исследований.*** Обычное исполнение очистного комбайна предусматривает наличие системы подачи с плавным регулированием скорости подачи и нерегулируемый привод режущей части. Это позволяет реализовать, так называемый минимальный вариант регулирования - изменение скорости подачи ( $V_n$ ) при неизменной скорости резания ( $V_p$ ) [1]. Согласованное изменение скоростей резания и подачи, при котором их соотношение остается неизменным за весь период работы машины (параметрическая стабилизация), тем более регулирование скоростей резания и подачи с поддержанием их оптимального отношения (максимальный вариант) требуют не только регулируемого привода режущей части, но и системы управления, основанной на применении микропроцессорной техники.

При выемке угля очистным комбайном состояние системы “забой-комбайн” постоянно изменяется. Обусловлено это тем, что в процессе работы изменяются как горно-геологические параметры (сопротивляемость угля резанию  $A_p$ , степень хрупкости угля  $E$ , мощность пласта  $H$  и т.д.) так и технические, вызванные затуплением и поломками резцов. Это приводит в конечном счете к снижению теоретической производительности машины и (или) повышению удельных затрат энергии на разрушение пласта (энергоемкости).

Поскольку удельные энергозатраты добычи угля при заданных условиях работы, зависят от отношения ширины стружки  $t$  к толщине стружки  $h$ , а шаг между резами нерегулируем, то его значения устанавливаются при конструировании исходя из предполагаемой толщины стружки  $h$  [2].

**Постановка задачи.** Среднее значение оптимальной толщины стружки  $t_{opt}$  ( см ) определяется по эмпирической формуле

$$t_{opt} = \left( \frac{5h}{0,5h + 4,5} + 0,7h \right) \cdot \frac{1,47E}{E + 1,2} + b_p,$$

где:  $h$ - средняя толщина серповидной стружки, см;  $E$ - степень хрупкости угля;  $b_p$  - ширина режущей части резца, см;

Средняя толщина серповидной стружки определяется по формуле

$$h = \frac{2}{\pi} \cdot h_{max},$$

где  $h_{max}$  - максимальная толщина стружки, см

$$h_{max} = \frac{100V_n}{m \cdot n_{об}},$$

где  $V_n$  - скорость подачи комбайна, м/мин;  $m$  - число резцов в линии резания;  $n_{об}$  - частота вращения шнека, об/мин.

Следовательно, обеспечение режима работы очистного комбайна, при котором достигаются минимальные удельные энергозатраты, требует постоянного поддержания толщины стружки  $h$  соответствующей оптимальному шагу резания  $t_{opt}$ . Это соотношение все же целесообразно находить периодически с минимально возможной частотой настройки в автоматическом режиме без прекращения работы комбайна.

**Изложение материала и результаты.** На рис. 1 представлен алгоритм управления режимом работы комбайна для достижения максимальной производительности.

На участке I микропроцессор задает плавное повышение отношения между частотой вращения исполнительного органа и скоростью подачи (коэффициента пропорциональности  $k_{сч}$ ) от минимального значения до максимального. При этом скорость подачи  $V_n$  может изменяться и микропроцессор определяет значение коэффициента, при котором достигается максимальная производительность. Если

скорость подачи во всем диапазоне изменения коэффициента  $k_{ск}$  остается постоянной (ограниченной максимальной величиной), то оптимизация будет выполняться по критерию минимальных удельных энергозатрат. После этого устанавливается оптимальное значение коэффициента пропорциональности, остающееся неизменной до следующей настройки. Следует, однако, отметить, что при относительно большой протяженности зоны II максимальный вариант поддержания нагрузки двигателя по мере изменения состояния системы «комбайн – забой» будет переходить в режим параметрической стабилизации

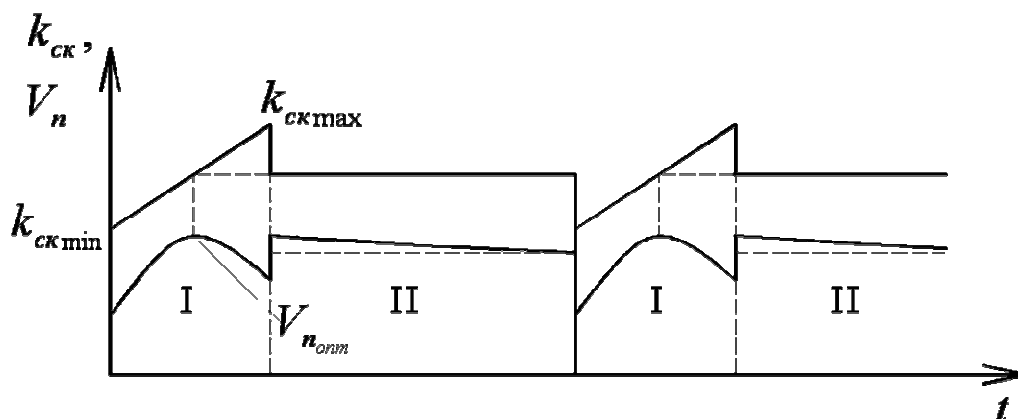


Рисунок 1. Алгоритм управления режимом работы комбайна для достижения максимальной производительности:

- I – зона настройки параметров на оптимальный режим,
- II – зона работы комбайна в режиме параметрической стабилизации

Таким образом, значения  $V_n$  и  $n_{об}$ , при которых обеспечивался бы оптимальный режим работы комбайна, можно устанавливать, если комбайн будет оснащен регулируемыми приводами подачи и резания. Проблема состоит в разработке регулируемого привода резания. Мощности, подводимые к шнекам современных очистных комбайнов достигают 300 КВт. Малогабаритных устройств, передающих эту мощность и обеспечивающих плавное регулирование частоты вращения по линейному закону во всем диапазоне регулирования не создано.

Для обеспечения плавного регулирования частоты вращения шнека без значительных потерь мощности нами было предложено устройство [3], принципиальная схема которого изображена на рисунке 2. Работа устройства основана на использовании эффекта циркуляции доли мощности, передаваемой объемной гидромеханической передачей [4].

Момент двигателя 1 при помощи планетарного редуктора 2 разделяется на два потока, один из которых идет на исполнительный ор-

ган 7, а второй, через гидросистему тормоза, состоящую из насоса 3 и гидромотора 4, возвращается на вал электродвигателя. За счет циркуляции энергии производится регулирование привода практически без потерь мощности. Другими словами, планетарный редуктор, используемый в данном случае как механический дифференциал в сочетании с гидравлическим тормозом, представляет собой вариатор частоты вращения. Диапазон изменения передаточного числа зависит от

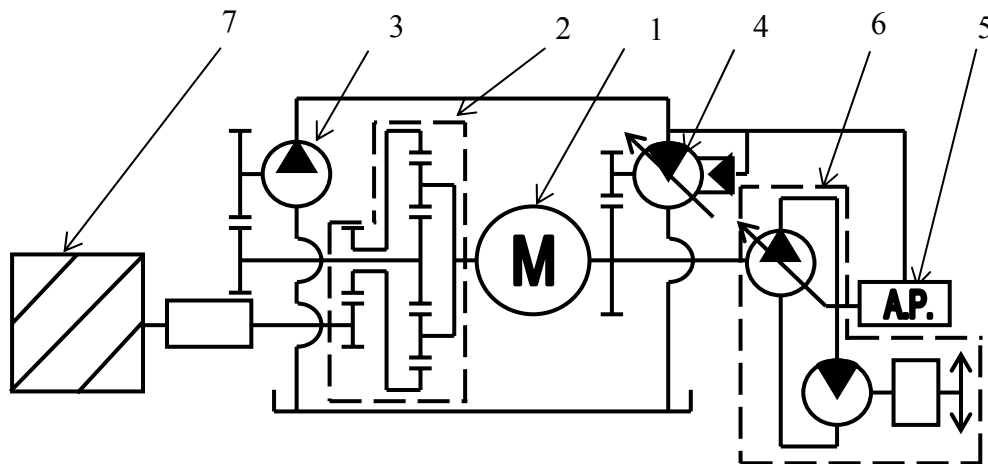


Рисунок 2. Гидрокинематическая схема устройства регулирования частоты вращения шнека : 1 – электродвигатель, 2 – планетарный редуктор, 3 – гидронасос системы тормоза, 4 – регулируемый гидромотор системы тормоза, 5 – автоматический регулятор, 6 – система подачи, 7 – исполнительный орган

параметров системы «насос 3 – двигатель 4». Автоматический регулятор 5 позволяет добиться согласования скорости подачи с частотой вращения исполнительного органа. Основная идея решения заключается в регулировании привода исполнительного органа только в средней части диапазона скоростей подачи, что позволит сократить циркулирующую мощность максимум до 0,4 от общего уровня и, соответственно, уменьшить габариты гидромашин и вписать их в ограниченные габариты корпуса очистного комбайна. Обуславливается это тем, что минимальная частота вращения исполнительного органа  $n_{об\ min}$  ограничена погрузочной способностью, а максимальная  $n_{об\ max}$  - скоростью резания резца по углям (рис. 3).

В тоже время это позволит добиться использования параметрической стабилизации в наиболее вероятном диапазоне изменения скорости подачи (от  $V_{n1}$  до  $V_{n2}$ ).

Предлагаемое устройство обеспечивает реализацию всех возможных вариантов автоматического регулирования нагрузки очистных комбайнов.

Для реализации минимального варианта достаточно заблокировать вал гидронасоса системы тормоза. При этом у планетарного редуктора будет постоянное передаточное число, т.е.  $V_p = \text{const}$ .

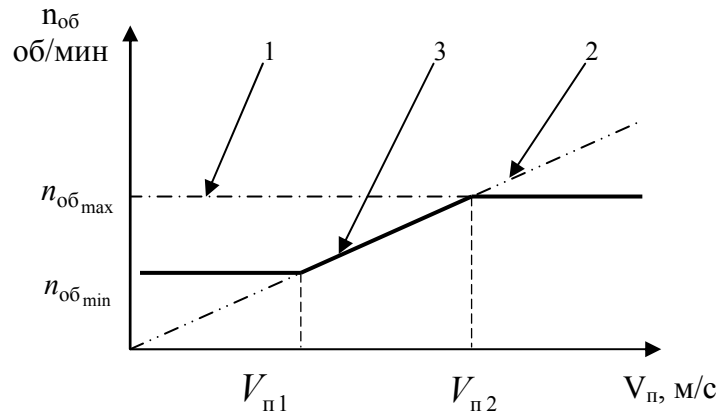


Рисунок 3. Изменение частоты вращения  $n_{об}$  от скорости подачи  $V_n$   
1 – минимальный вариант, 2 – параметрическая стабилизация, 3 – комбинированный вариант

Для реализации максимального варианта регулирования устройство должно быть оснащено бортовым компьютером, датчиками скорости подачи и мощности, потребляемой двигателем  $P$ . По критерию оптимальности  $\frac{P}{V_n} \rightarrow \min$ , компьютером периодически подбираются значения  $V_n$  и  $n_{об}$  и поддерживается уровень мощности, потребляемой двигателем, близким к устойчивой мощности.

На рис. 4 приведена гидрокинематическая схема очистного комбайна типовой компоновки с мехатронным модулем управления, в основу которой положен принцип регулирования режимов резания изложенный выше.

Два симметрично расположенных шнека 4 приводятся во вращение от асинхронного электродвигателя 1 через соответствующие планетарные 2 и поворотные 3 редукторы. Солнечные колеса планетарных редукторов соединены согласующим валом и образуют общую трансмиссию режущей части. На этом валу имеется шестерня для отбора мощности гидравлическим насосом 5 и тормозное устройство 12. Гидромотор 6 механически соединен с валом электродвигателя, а гидравлически с насосом 5. Особенность гидродвигателя состоит в том, что его рабочий объем автоматически подстраивается к

подаче насоса, за счет чего постоянно обеспечивается «натяг» между валом этого гидромотора и электродвигателем. Подающая часть с гидравлическим вариатором скорости подачи управляется автомати-

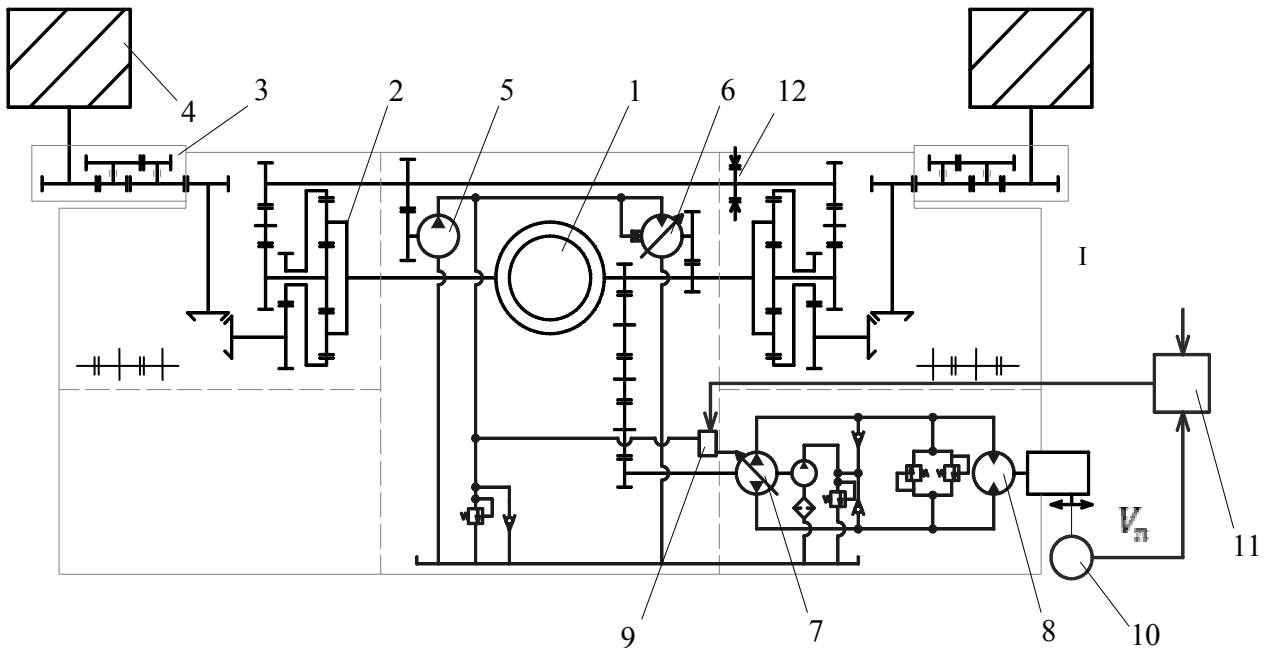


Рисунок 4. Гидрокинематическая схема очистного комбайна с мехатронным модулем управления: 1- электродвигатель, 2- планетарный редуктор, 3- поворотный редуктор, 4- исполнительный орган, 5- насос системы тормоза, 6- гидромотор системы тормоза, 7- насос системы подачи, 8- гидромотор системы подачи, 9- автоматический регулятор, 10- датчик скорости подачи комбайна, 11- микропроцессор, 12- тормоз согласующего вала

ческим 9 или ручным регулятором (на рисунке не показано). Комбайн оснащен датчиком скорости подачи  $V_n$  10, датчиком тока  $I$  статора двигателя и микропроцессором 11.

При работе комбайна в режиме минимального (обычного) варианта регулирования нагруженности привода, согласующий вал блокируется тормозом 12. В этом случае планетарные редукторы 2 имеют постоянное (минимально-возможное) передаточное отношение. Если вал 12 не заторможен, комбайн может работать в режиме параметрической стабилизации (при отсутствии или отключении микропроцессора 11) или в режиме максимального варианта регулирования.

Посредством бортового компьютера (микропроцессор 11) по соответствующей программе определяется оптимальное значение коэффициента скоростей  $k_{сн}$  (соотношение между частотой вращения исполнительного органа и скорости подачи) и с помощью автоматического регулятора 5 этот коэффициент устанавливается на время пока комбайн не выйдет из заданного режима.

**Выводы.** Таким образом, применение в системе привода режущей части очистного комбайна дифференциальной гидромеханической передачи, обеспечивающей циркуляцию не более 40% мощности двигателя передаваемой шнеку, позволяет в сочетании с бортовым компьютером и двумя датчиками скорости подачи и мощности (тока), осуществить максимальный вариант регулирования нагрузки, т.е. достижение максимума производительности, при минимуме удельных энергозатрат. Другие возможные варианты регулирования реализуются более просто. В случае отказа системы управления, предусматривается блокировка планетарных редукторов и управление нагрузкой осуществляется в обычном режиме (минимальный вариант).

Список источников:

1. Картавый Н.Г. и др. Автоматическое регулирование режимов работы горных машин / Н.Г. Картавый, В.В. Глушко, В.А. Ульшин. – М.: Недра, 1970. – 140 с.
2. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
3. Пат. 2186214 РФ, МПК С1 7 Е21 С 35/24, 27/00, 31/02 Устройство для автоматического регулирования нагрузки угольного комбайна / А. С. Кожевников, Н. И. Сысоев, Г. М. Водяник, А. И. Бутов (РФ). – 2000130966/03; Заявлено 09.12.2000; Опубликовано 27.07.2002, Бюл. 21. – С.2.
4. Бабаев О.М., Игнатов Л.Н., Кисточкин Е.С и др.; Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / под общ. ред. Е.С. Кисточкина. Л.: Машиностроение, 1987. 256 с.

**Н.И.Сисоев, А.С.Кожевников.** Алгоритм і технічна реалізація мехатронного керування режимними параметрами очисного комбайна. *Пропонується алгоритм і новий пристрій регулювання частоти обертання виконавчого органа очисного комбайна, що дозволяють у сполученні з мікропроцесорною системою керування підтримувати оптимальні режими роботи комбайна.*

**очисний комбайн, режимні параметри, алгоритм керування, пристрій регулювання частоти обертання шнека, мехатронний модуль керування**

**N.Sysoev, A.Kogevnikov.** Algorithm and technical realization of mechatronic control operational parameters of the coal-plow machine. *An algorithm and a new device to control the frequency of rotation of the executive body of the coal-plow machine, allowing combined with microprocessor control system to maintain optimum operation of the combine.*

**the coal-plow machine, control algorithm, device speed control screw, mechatronic control module**

*Стаття надійшла до редколегії 07.07.2010*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.А.Глебов*

© Н.И.Сисоев, А.С.Кожевников, 2010