

УДК [622.272.004.6:658.382.3]001.57

В.Г. Шевченко

## О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗВЕНА ГОРНОРАБОЧИХ В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Процесс добычи угля представляет сложную систему регулирования, главными элементами которой являются руководство шахты (директор, главный инженер, начальники смен), бригадиры-диспетчеры, машинисты выемочных машин, горнорабочие (ГРОЗ), функционирующие в условиях влияния внешних возмущающих воздействий: горно-геологические условия (тектонические нарушения, размыв угольного пласта, включения, породные прослойки, выделение газа и пр.), факторы аварийности (случайные отказы элементов очистного комплекса, газодинамические явления, загазованность, затопление выработок, обрушения пород и пр.), человеческий фактор (ошибочные действия горнорабочих, физическое нервное утомление, ошибки руководства, неверные решения и пр.). От правильности выбора схемы и параметров регулирования работы звена горнорабочих зависит производительность, эффективность и безопасность процессов угледобычи, протекающих в экстремальных условиях, приводящих к нелинейному поведению человека. Однако управление этими процессами является как сложным, так и высокоэффективным. Актуальной является задача выбора наиболее рациональной схемы и расчета оптимальных параметров регулирования работы звена горнорабочих в комбайновой и струговой лавах при возникновении аварийной ситуации.

В качестве регулятора в системе управления процессом добычи угля выступают машинист выемочной машины по отношению к объекту регулирования очистной комбайн (струг), бригадир-диспетчер по отношению к звену горнорабочих, начальник смены, главный инженер, директор по отношению к группе высоконагруженных лав. Назначение регулятора в системе управления процессом добычи угля заключается в коррекции динамических свойств объекта управления с помощью управляющего сигнала  $u(t)$  так, чтобы реальный

выходной сигнал  $y(t)$ , обусловленный как текущей обстановкой в забое, так и индивидуальными особенностями горнорабочих, как можно меньше отличался от желаемого выходного сигнала  $g(t)$ , обусловленного нормативами ведения горных работ [1,2].

Стандартным видом регулирования в процессе добычи является пропорциональное, при котором учитывается величина отклонения регулируемой величины от заданного нормативного значения. Такое управление определяется технологией и организацией процессов угледобычи и обуславливается нормативами ведения горных работ.

Однако если человек является высококвалифицированным работником-интеллектуалом, то он учитывает как отклонение регулируемой величины, так и интеграл, скорость и ускорение ее изменения, т.е. выполняет функцию пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора, а его передаточная функция имеет вид [3]:

$$W(p) = k \left( 1 + \frac{1}{T_1 p} + T_2 p \right) \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент передачи;  $T_1$ ,  $T_2$  - постоянные времени, соответственно, интегрирования (степень ввода интеграла в закон регулирования - время изодрома) и дифференцирования (время предварения регулятора).

Человек, учитывающий отклонение регулируемой величины и дающий интегральную оценку параметрам системы управления, может быть представлен в виде пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора, с передаточной функцией, определяемой выражением [3]:

$$W(p) = k \left( 1 + \frac{1}{T_1 p} \right) \quad (2)$$

Передаточная функция бригадира-диспетчера, как высококвалифицированного опытного оператора-интеллектуала, будет определяться выражением (1), руководящего персонала шахты начальника смены, главного инженера и директора - выражением (2). Критерием оптимальной настройки регуляторов (1) и (2) служит соотношение  $k/T_1 \rightarrow \max$  [4,5].

Передаточная функция подсистемы «бригадир (диспетчер)-звено ГРОЗ», определяется как передаточная функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью (сигнал на выходе звена контура

обратной связи вычитается из сигнала на входе звена бригадира (диспетчера):

$$W_{БР-ГРОЗ} = \frac{W_{МК(МС)-ГРОЗ} W_{БР}}{1 - W_{МК(МС)-ГРОЗ} W_{БР}} \quad (3)$$

где  $W_{БР}$ , - передаточные функции соответственно регулятора - бригадира (диспетчера), определяемая выражением (1), и объекта управления - системы «машинист комбайна (струга) – звено ГРОЗ», определяемые выражениями [6]

$$W_{МК-ГРОЗ} = W_{МК} \times W_{ГРОЗ} = e^{-T_{1МК}p} \frac{pk_{МК}}{(T_{2МК}p + 1)(T_{3МК}p + 1)} \times \sum_{i=1}^n e^{-T_{1ГРОЗi}p} \frac{k_{ГРОЗi}}{(T_{2ГРОЗi}p + 1)(T_{3ГРОЗi}p + 1)} \quad (4)$$

$$W_{МС-ГРОЗ} = W_{МС} \times W_{ГРОЗ} = e^{-T_{1МС}p} \frac{pk_{МС}}{T_{2МС}p + 1} \times \sum_{i=1}^n e^{-T_{1ГРОЗi}p} \frac{k_{ГРОЗi}}{(T_{2ГРОЗi}p + 1)(T_{3ГРОЗi}p + 1)} \quad (5)$$

где  $k_{МК}$ ,  $k_{МС}$ ,  $k_{ГРОЗi}$  - коэффициенты усиления;  $T_{1МК}$ ,  $T_{1МС}$ ,  $T_{1ГРОЗi}$  - время реакции, с;  $T_{2МК}$ ,  $T_{2МС}$ ,  $T_{2ГРОЗi}$  - постоянные времени, характеризующие инерцию в образовании исполнительного действия, психофизический параметр, с, соответственно машиниста комбайна, машиниста струга, горнорабочего;  $T_{3МК}$ ,  $T_{3ГРОЗi}$  - постоянные времени, характеризующие инерцию в образовании исполнительного действия, биомеханический параметр, с, соответственно машиниста комбайна и горнорабочего,  $n$  - число горнорабочих комплексной бригады. Согласно исследованиям [7-10] параметры изменяются в следующих диапазонах:  $k=0,1-2,6$ ;  $T_1=0,01-0,4$  с;  $T_2=0,01-0,25$  с;  $T_3=0,01-0,2$  с.

На рис. 1 представлены основные качественные характеристики динамических звеньев (4), (5) при варьировании параметров  $k$ ;  $T_1$ ;  $T_2$ ;  $T_3$  на трех уровнях – при нижних ( $k=0,1$ ;  $T_1=0,01$  с;  $T_2=0,01$  с;  $T_3=0,01$  с), средних ( $k=1,3$ ;  $T_1=0,2$  с;  $T_2=0,125$  с;  $T_3=0,1$  с) и верхних ( $k=2,6$ ;  $T_1=0,4$  с;  $T_2=0,25$  с;  $T_3=0,2$  с) их значениях. Данные диапазоны соответствуют высокой, средней и низкой скорости реагирования на поступающую информацию, скорости ее переработки, принятия и реализации решений, которые определяются соответственно высокой, средней и низкой квалификацией, опытом, мотивированностью, физическими кондициями горнорабочих.

Анализ данных показывает, что динамическое звено «машинист струга – звено ГРОЗ» обладает большим быстродействием, чем звено

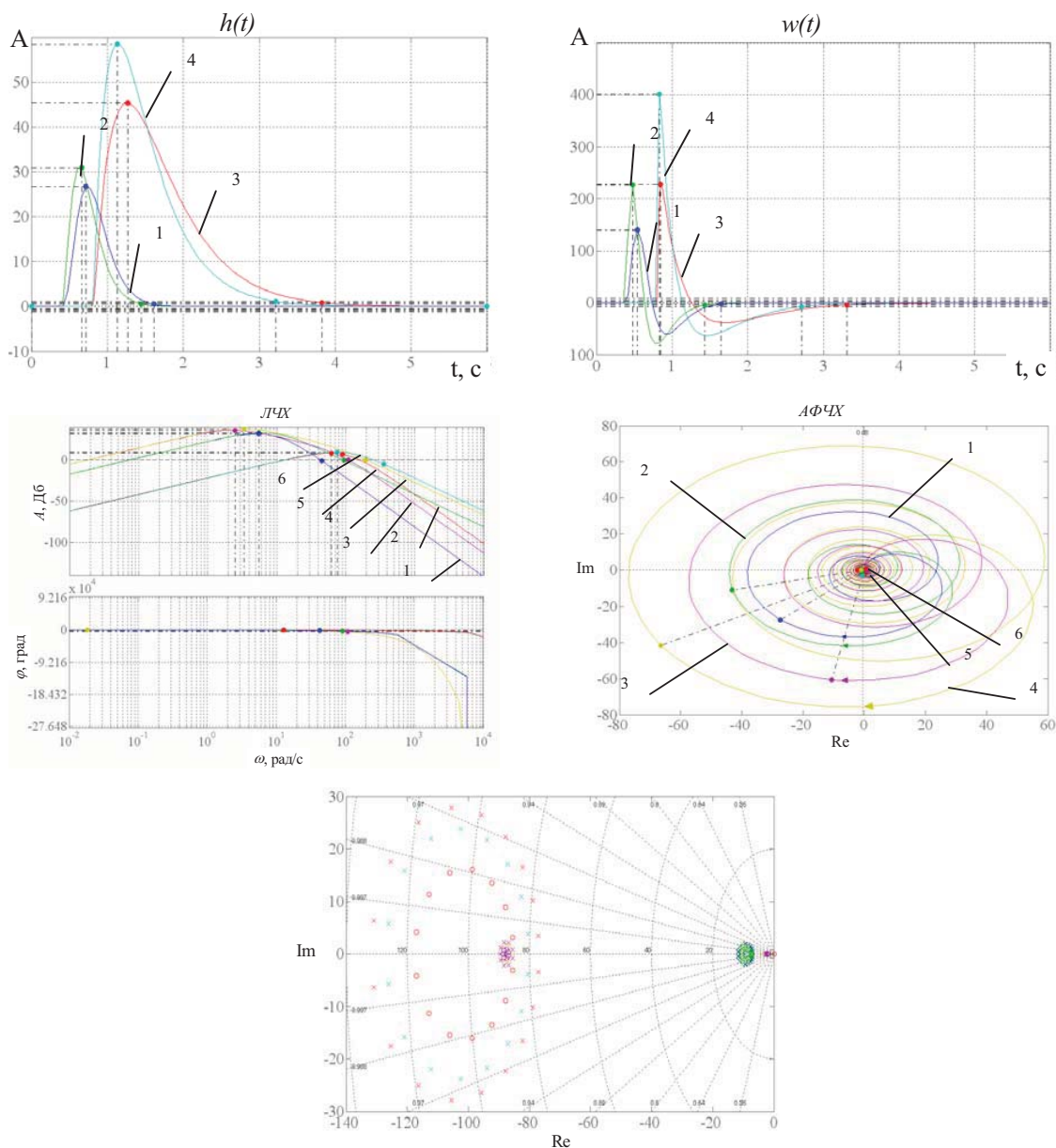
«машинист комбайна – звено ГРОЗ». При всех значениях параметров передаточных функций данные звенья устойчивы в разомкнутом состоянии, в замкнутом состоянии все звенья не устойчивы. Характерной особенностью таких систем является то, что в разомкнутом состоянии для некоторых корней передаточных функций при нижних и средних диапазонах параметров наблюдается одинаковый запас устойчивости.

Для улучшения показателей качества управления необходим выбор оптимальной схемы и параметров регулирования. Так, наиболее распространенным типовым воздействием в процессе добычи угля является единичный скачок. Такой вид воздействия возникает при мгновенном изменении обстановки: начало работы выемочной машины, изменение интенсивности процесса выемки, возникновение нештатной (аварийной) ситуации, начало поступления потока информации (команд, распоряжений) и пр. Основной задачей исследования являлся выбор такой схемы регулирования работы звена ГРОЗ и параметров настройки регуляторов, которые обеспечивали бы наилучшие показатели качества переходного процесса в системе при возникновении аварийной ситуации, при которых ошибка управления  $e(t) = g(t) - y(t)$  была бы минимальной.

Были заданы следующие границы параметров переходного процесса: время регулирования - 6 с, время нарастания - 2 с, перерегулирование - 20 %, установившаяся ошибка - 5 %, ошибка регулирования - 1 %, что соответствует монотонному переходному процессу без существенных колебаний и перерегулирования. Расчет параметров регулятора производился в системе Matlab Simulink с использованием пакета Nonlinear Control Design. Расчеты производились для нижних, средних и верхних значений параметров передаточных функций (4), (5). Исследовалась реакция на единичный скачок, имитирующий внезапное возникновение и развитие аварийной ситуации.

В результате предварительных расчетов установлено, что использование в качестве регулятора отдельно П-, Д- и И-регуляторов не позволяет достичь заданных границ переходного процесса. При использовании ПИ- или ПИД-законов регулирования переходной процесс попадает в заданные границы лишь при средних значениях параметров передаточных функций (4), (5). Для

комбайновой лавы при использовании ПИД-регулятора пропорциональная составляющая всегда меньше, чем для струговой, интегральная и дифференциальная – больше.



1,3,5 - для динамического звена «машинист комбайна – звено ГРОЗ»;  
 2,4,6 - для динамического звена «машинист струга – звено ГРОЗ»,  
 соответственно при средних, верхних и нижних значениях  
 параметров

Рисунок 1 - Временные, частотные характеристики, расположение корней на комплексной плоскости

При использовании ПИ-регулятора для нижних значений параметров передаточной функции наблюдается та же картина, для средних и верхних диапазонов пропорциональная и интегральная составляющие для комбайновой лавы больше, чем для струговой. Таким образом, для комбайновой лавы в наибольшей степени подходит нелинейное управление, при котором наиболее важным является снижение статических ошибок управления, повышение быстродействия и прогноз будущего протекания процесса.

На рис. 2 представлена схема нелинейного управления работой звена горнорабочих в комбайновой лаве с двумя последовательными ПИ- и ПИД- регуляторами. Полученные значения критерия оптимальной настройки регуляторов приведены в табл. 1, примеры процесса оптимизации параметров регуляторов приведены на рис. 3.

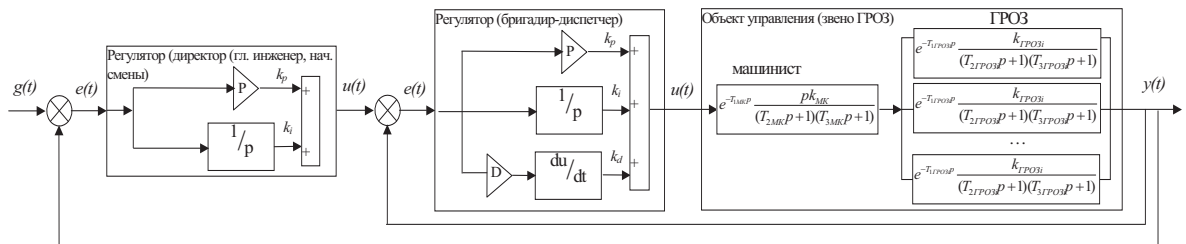


Рисунок 2 - Схема нелинейного управления работой звена горнорабочих в комбайновой лаве

Таблица 1

Значения критерия оптимальной настройки регуляторов

Схема регулирования	Значения соотношения $k/T_1$ регуляторов для различных диапазонов параметров передаточных функций «машинист – звено ГРОЗ»					
	ПИ- регулятор			ПИД- регулятор		
	нижние	средние	верхние	нижние	средние	верхние
ПИ - ПИД «машинист комбайна – бригада ГРОЗ»	0,0402	0,1575	0,2695	0,0970	0,3183	0,6185
ПИ - ПИД «машинист струга – бригада ГРОЗ»	0,0315	0,5132	0,5187	0,0267	0,1256	0,7040
ПИД - ПИ «машинист комбайна – бригада ГРОЗ»	0,0182	0,2632	0,9912	0,1590	0,2610	0,4947
ПИД - ПИ «машинист струга – бригада ГРОЗ»	0,1528	0,1529	0,7086	0,1566	0,2931	0,4721



Анализ данных свидетельствует, что критерий возрастает от нижних к верхним значениям параметров передаточных функций (4), (5). В тоже время данный критерий не зависит ни от последовательности регуляторов, ни от технологии выемки.

Таким образом, при возникновении аварийной ситуации наиболее оптимальной схемой регулирования является каскадная схема с двумя регуляторами, а все недостатки и отличия между комбайновой и струговой выемкой, а также негативное влияние индивидуальных параметров ГРОЗ могут быть сглажены реализацией нелинейного управления и правильным подбором параметров ПИ- и ПИД- регуляторов – бригадиров-диспетчеров, руководящего персонала шахты (начальников смен, гл. инженера, директора).

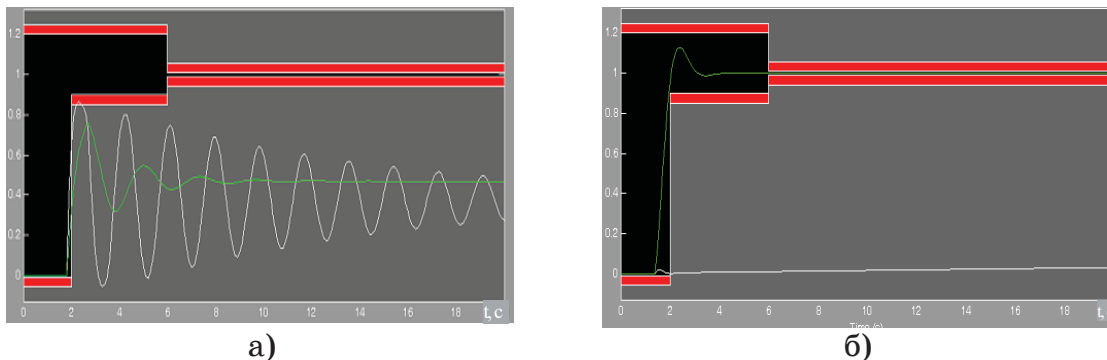


Рисунок 3 - Примеры процесса оптимизации параметров регуляторов  
 а) ПИ-регулятора для верхних значений параметров передаточной функции «машинист струга – звено ГРОЗ», б) схемы с использованием ПИ-ПИД-регуляторов для средних значений параметров передаточной функции «машинист комбайна – звено ГРОЗ»

#### Выводы:

- анализ качественных характеристик динамических звеньев-элементов системы управления процессом добычи угля показал, что звено «машинист струга – звено ГРОЗ» обладает большим быстродействием, чем звено «машинист комбайна – звено ГРОЗ»; при всех значениях параметров передаточных функций данные звенья устойчивы в разомкнутом состоянии, в замкнутом состоянии звенья не устойчивы; характерной особенностью таких систем является то, что в разомкнутом состоянии для некоторых корней передаточных функций при нижних и средних диапазонах параметров наблюдается одинаковый запас устойчивости. Для улучшения качественных

характеристик при мгновенном изменении обстановки в забое необходимо регулирование работы звена горнорабочих, выбор оптимальной схемы и параметров регуляторов, обеспечивающих предотвращение развития аварийной ситуации;

- схемы управления работой звена горнорабочих, основанные на пропорциональном законе регулирования, который определяется технологией, организацией и нормативами ведения горных работ являются малоэффективными в экстремальных условиях: при мгновенном изменении обстановке в забое, нештатных ситуациях и авариях;

- наиболее оптимальной схемой управления работой звена ГРОЗ является каскадная схема с двумя регуляторами, такая схема инвариантна к применяемой технологии добычи угля (струговая или комбайновая выемка), а негативное влияние индивидуальных параметров ГРОЗ может быть сглажено реализацией нелинейного управления и правильным подбором параметров ПИ- и ПИД-регуляторов – бригадиров-диспетчеров, руководящего персонала шахты (начальников смен, гл. инженера, директора). Такая схема обеспечивает как реализацию пропорционального управления, обусловленного нормативами ведения горных работ, так и повышение быстродействия и точности процесса регулирования, прогноз будущего протекания процесса угледобычи, т.е. работает на упреждение возникновения и развития нештатных и аварийных ситуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-05: – К., 2005.
2. Единые нормы выработки на очистные работы для шахт Донецкого и Львовско-Волинского угольных бассейнов. – Донецк: Минуглепром Украины, 1993. – 448 с.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. - СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учеб. для вузов / Ротач В.Я. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.



5. Ротач В.Я. К расчету оптимальных параметров ПИД регуляторов по экспертным критериям / В.Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. - № 11. - С. 5-9.
6. Шевченко В.Г. К моделированию качества управления процессом добычи угля в лавах / В.Г. Шевченко // Геотехническая механика. – 2008. - Вып. 77. – С. 227-241.
7. Ломов Б.Ф. Человек и техника / Ломов Б.Ф. – М.: Сов. радио, 1966. - 464 с.
8. Душков Б. А. Основы инженерной психологии / Душков Б.А., Ломов Б.Ф., Рубахин В.Ю.; под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. школа, 1986. – 448 с.
9. Приснякова Л.М. Нестационарная психология / Приснякова Л.М. – К.: Днипро, 2002. – 255 с.
10. Приснякова Л.М. Системный синтез психофизических процессов: монография / Приснякова Л.М. – Днепропетровск-Киев, 2008. – 357 с.

Получено 10.02.2009г.