

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПРИНЯТИЯ ПРАВИЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ГОРНОРАБОЧИМИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

З використанням методів теорії управління досліджені механізми ухвалення правильного рішення гірниками очисного вибою. Визначено показники швидкодії та стійкості процесу прийняття рішень машиністом комбайна, машиністом струга, гірниками очисного вибою; оцінені спостерігаємість, керованість і мінімальність динамічних ланок гірників у процесі прийому інформації, формування та реалізації рішень.

RESEARCH THE MECHANISMS OF ACCEPTANCE THE EXACT SOLUTION BY THE STOPE COLLIERIES

With usage of control theory methods the mechanisms of acceptance the exact solution by the stope colliers are researched. The parameters of response and stability of decision-making process by the cutter-loader operator, planer operator, stope colliers are determined; are estimated an observability, controllability and minimality of dynamic links of the colliers during a process of information reception, formation and implementation of solutions.

Резервы повышения нагрузки на очистной забой напрямую зависят от качества системы управления процессом добычи угля. Основной составляющей такой системы является человек. Процесс добычи угля в комбайновой и струговой лавах можно представить как совокупность элементарных актов поступления различного рода информации к горнорабочим (ГРОЗ), ее переработки, формирования и реализации решений. Принятие единственно правильного в конкретной ситуации решения зависит от насыщенности человека знаниями, квалификации, умения и опыта. Рациональные пропорции между этими составляющими и определяет уровень готовности к принятию правильного решения. Несмотря на то, что изучению этого процесса уделяется большое внимание в различных областях науки [1-3], применительно к горному делу, исследования механизмов принятия правильного решения практически не проводились. Именно горная среда, требует от горнорабочих постоянной напряженности и принятия большого числа правильных решений, от которых зависит как производительность и эффективность процессов добычи, так и их безопасность. Наиболее пригодны для исследования механизмов принятия правильного решения горнорабочими методы психофизики и теории управления, которые хорошо зарекомендовали себя в различных областях знаний [4-6]. Тема приложения знаний в области психофизики и теории управления к горным процессам и технологии добычи угля является актуальной. В настоящей статье представлены результаты исследований механизма принятия единственно правильного решения, который является залогом безопасности горнорабочих [7].

В процессе выемки угля в комбайновой и струговой лавах основными функциями машиниста комбайна являются управление выемочной машиной, сопровождающееся перемещением по лаве, обработка информации, поступающей от горнорабочих, горного мастера, начальника смены, диспетчера, формирование

решений и выдача команд помощнику машиниста, ГРОЗ, занятым на передвижку секций, зачистке угля, креплении и оформлении ниш; машинист струга при управлении стругом выполняет подобные функции за исключением перемещения по лаве; остальные ГРОЗ управляют элементами комплекса, перемещаются по забою, исполняют команды машиниста, горного мастера, принимают решения, руководствуясь нормативами. При исследовании механизмов принятия правильного решения горнорабочими очистного забоя и выяснения их особенностей принято допущение, что один и тот же горнорабочий выступает в качестве машиниста комбайна, машиниста струга, горнорабочего, занятого на передвижке секций крепи, конвейера, зачистке угля, выдвигке верхняков, креплении и оформлении ниш, т.е. находится в различных ситуациях, определяемых технологией.

С точки зрения методологии теории управления процесс принятия решения во времени может быть представлен при помощи передаточных функций, характеризующих соотношение между выходной и входной величинами динамических звеньев [4,5]. Динамическое звено как элемент системы описывает действия памяти и опыта человека на практике при принятии решения; передаточная функция – математическая интерпретация реализации основ поведения – реакций на раздражители, оператор, позволяющий количественно описать механизм принятия решений. Для динамического звена, описывающего процесс принятия решения машинистом комбайна, такая функция задается произведением передаточных функций следующих последовательно соединенных звеньев: усилительного звена с запаздыванием, осуществляющего прием информации, дифференцирующего, осуществляющего формирование и принятие решений при достаточной тренировке и большом опыте, и апериодического 2-го порядка, отвечающего за исполнение принятого решения [6,8], и определяется выражением

$$W_{\text{мк}} = k_1 e^{-T_1 p} \times k_2 p \times \frac{k_3 k_4}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (1)$$

где $k = k_1 k_2 k_3 k_4$ - передаточный коэффициент (коэффициент усиления) человека; T_1 - время реакции человека, с; T_2, T_3 - постоянные времени, характеризующие инерцию в образовании исполнительного действия, соответственно, психофизический и биомеханический параметры, с. Согласно [6,8,9] параметры могут быть приняты $T_1 = 0,2$ с; $T_2 \approx 0,125$ с; T_3 - имеет нижний предел примерно 0,1 с; $k = 1,128-1,39$. Данные параметры зависят от индивидуальных особенностей горнорабочих: опыта, навыков, квалификации, возраста, физических кондиций, мотивированности, темперамента личности, эмоционального состояния и пр. и могут быть определены путем психофизического и физиологического тестирования горнорабочих [2,3].

Поскольку деятельность машиниста струга не предполагает постоянных физических нагрузок, а направлена на формирование решений и носит в основном

интеллектуальный характер, в передаточной функции (1) исключается одно инерционное звено, характеризующее инерцию в образовании механического действия (биомеханическая составляющая) при исполнении решений

$$W_{mc} = k_1 e^{-T_1 p} \times k_2 p \times \frac{k_3}{T_2 p + 1}.$$

Передаточная функция, описывающая процесс принятия решений горнорабочими очистного забоя, занятыми на передвижке секций крепи, конвейера, зачистке угля, выдвигке верхняков, креплении и оформлении ниш, содержит вместо дифференцирующего усилительное звено, поскольку в среднем ГРОЗ обладают меньшим опытом, чем машинист выемочной машины, не выполняют функции бригадира-лидера и при формировании решения им достаточно учитывать величину, но не скорость изменения ошибки

$$W_{гроз} = k_1 e^{-T_1 p} \times k_2 \times \frac{k_3 k_4}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}.$$

Оценка характеристик качества управления динамических звеньев для технологий комбайновой и струговой добычи при постоянных коэффициентах передаточных функций k , T_1 , T_2 , T_3 (при одинаковых индивидуальных особенностях горнорабочих, что позволяет указать на технологические отличия в специфике процессов приема-переработки информации, формирования и реализации решений горнорабочими в комбайновой и струговой лавах) производилась с использованием пакета моделирования MathLab с расширениями Control System Toolbox и Simulink [10,11].

Реакция передаточных функций звеньев машиниста комбайна, струга, горнорабочих на единичный скачок (переходная функция) - реакция на мгновенное изменение обстановки в забое: начало работы комбайна, изменение интенсивности процесса выемки, возникновение аварийной ситуации, начало поступления потока информации (команд, распоряжений) и пр. и на импульсное воздействие (функция веса) – реакция на «шумы», помехи: кратковременное изменение плотности потока информации, кратковременный единичный сигнал и пр. представлены на рис. 1.

Характеристики переходных процессов в звеньях при единичном скачке следующие. Время достижения первого максимума для звена машиниста комбайна составляет $t_{max} = 0,311$ с (максимальная амплитуда $A_{max} = 4,26$), для машиниста струга 0,2 с ($A_{max} = 10,4$) и горнорабочего $t_{max} = 1,35$ с ($A_{max} = 1,3$). Время регулирования (время переходного процесса) для звена машиниста комбайна составляет $t_p = 0,972$ с, для машиниста струга $t_p = 0,689$ с, горнорабочего $t_p = 0,86$ с. Время нарастания переходного процесса для звеньев машиниста комбайна и машиниста струга составляет $t_n = 0$ с, для горнорабочего $t_n = 0,379$ с. Установившееся значение амплитуды для звеньев машиниста комбайна и машиниста

струга составляет $A_{уст} = 0$, для горнорабочего $A_{уст} = 1,3$.

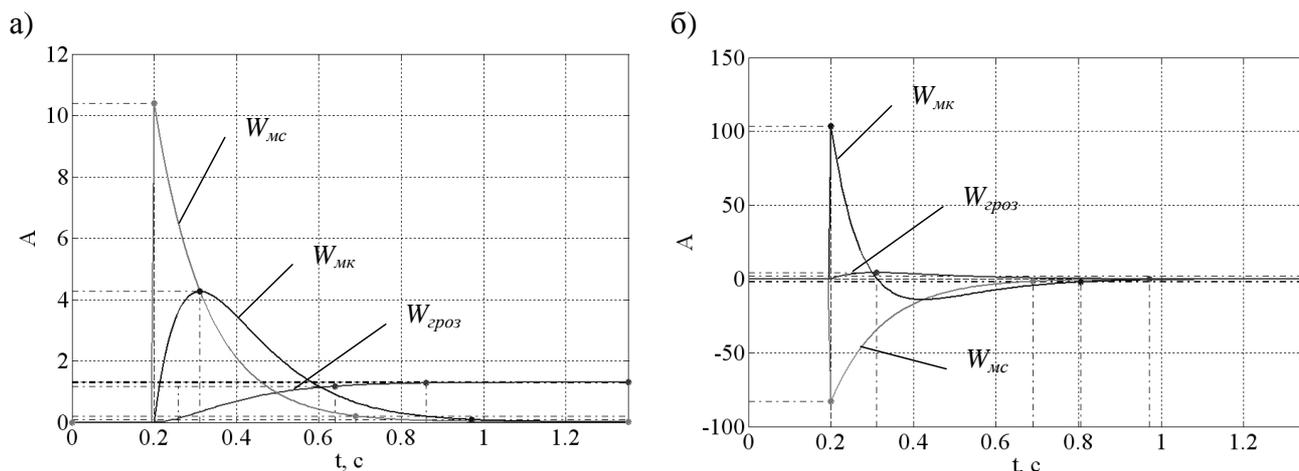


Рис. 1 – Переходные (а) и импульсные (б) функции динамических звеньев

Анализ временных характеристик переходных процессов в рассматриваемых динамических звеньях показывает, перерегулирование ($\sigma = (A_{макс} - A_{уст}) / A_{уст} \times 100\%$) для звена горнорабочего равно 0 %, т.е. переходной процесс протекает монотонно без перерегулирования, для звеньев машиниста комбайна и машиниста струга перерегулирование существенно. Присутствие в передаточной функции звеньев машиниста комбайна и горнорабочего апериодического звена 2-го порядка указывает на наличие колебательной составляющей; колебательные свойства будут иметь место при выполнении условия $2\sqrt{T_2 T_3} > (T_2 + T_3)$). Наименьшим быстродействием обладает звено машиниста комбайна ($t_p = 0,972$ с), немного большим быстродействием обладает звено горнорабочих ($t_p = 0,86$ с), наибольшее быстродействие у звена машиниста струга ($t_p = 0,689$ с).

Анализ переходных импульсных характеристик звеньев показывает следующее: время достижения первого максимума для звена машиниста комбайна составляет $t_{max} = 0,2$ с (максимальная амплитуда $A_{макс} = 103$), для машиниста струга $t_{max} = 0,2$ с ($A_{макс} = -83,1$) для горнорабочего $t_{max} = 0,311$ с ($A_{макс} = 4,26$); время регулирования для звена машиниста комбайна составляет $t_p = 0,805$ с, для машиниста струга $t_p = 0,689$ с и горнорабочего $t_p = 0,972$ с. При импульсном воздействии наибольшее перерегулирование (максимальная амплитуда) у звена машиниста комбайна, наименьшее у звена горнорабочих; наибольшим быстродействием обладает звено машиниста струга, наименьшим - звено горнорабочих.

Поскольку все рассматриваемые звенья имеют чистое запаздывание для исследования их устойчивости (способности звена возвращаться в исходное состояние при подаче на его вход возмущения) необходимо применять критерий Найквиста [4]. Графики логарифмических амплитудных и фазовых частотных характеристик (ЛЧХ) динамических звеньев представлены на рис. 2. Ампли-

тудные фазовые частотные характеристики (АФЧХ) динамических звеньев представлены на рис. 3.

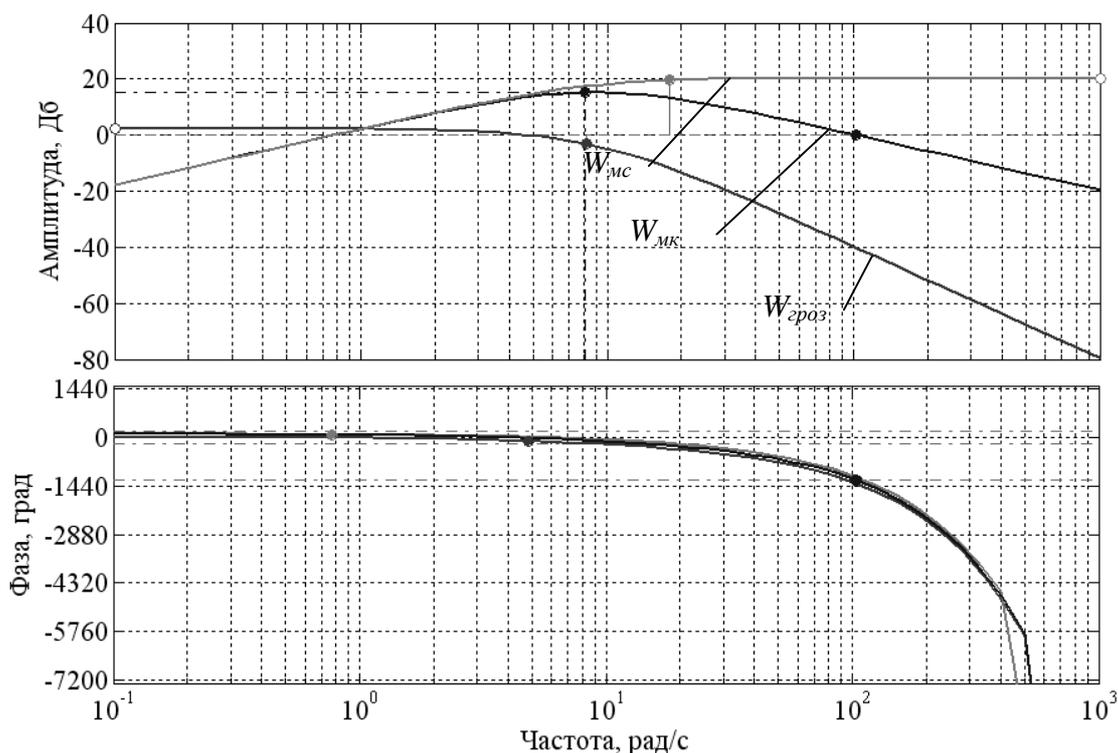


Рис. 2 – ЛЧХ динамических звеньев

Анализ ЛЧХ и АФЧХ динамических звеньев показывает, что максимальный отклик для звена машиниста комбайна ($A_{\max} = 15,2$ Дб) наблюдается при частоте $\omega = 8,11$ рад/с, для машиниста струга ($A_{\max} = 20,3$ Дб) при частоте $\omega = 4E+013$ рад/с и горнорабочего ($A_{\max} = 2,28$ Дб) при частоте $\omega = 1,6E-008$ рад/с. Анализ запаса устойчивости показывает, что стабильность по амплитуде наблюдается для звена машиниста комбайна (запас устойчивости по амплитуде $A = -0,0194$ Дб) на частоте $\omega = 103$ рад/с, для машиниста струга ($A = -19,5$ Дб) на частоте $\omega = 17,5$ рад/с, для горнорабочего ($A = 3,12$ Дб) на частоте $\omega = 8,25$ рад/с. Стабильность по фазе для звена машиниста комбайна наблюдается на частоте $\omega = 103$ рад/с (запас по фазе $\psi = -2,68$ град, с запаздыванием $-0,000454$ с), для звена машиниста струга $\omega = 0,773$ рад/с ($\psi = -104$ град, с запаздыванием $5,77$ с) и для звена горнорабочего $\omega = 4,85$ рад/с ($\psi = 67,3$ град, с запаздыванием $0,242$ с). Таким образом, наибольшим запасом устойчивости обладает звено горнорабочего, наименьшим - звено машиниста струга. В разомкнутом состоянии все звенья являются устойчивыми.

Годограф АФЧХ звеньев машиниста комбайна и машиниста струга с учетом запаздывания охватывает точку с координатами $(-1; j0)$, следовательно, данные звенья в замкнутом состоянии являются не устойчивым. Годограф АФЧХ звена горнорабочего не охватывают точку с координатами $(-1; j0)$, данное звено в замкнутом состоянии будет устойчивым. Следовательно, при замыкании звень-

ев обратной связи, что соответствует самоконтролю со стороны горнорабочих для снижения ошибки при формировании, принятии и реализации решений, для звеньев машиниста комбайна и машиниста струга будет существенно снижено быстродействие, переходной процесс будет расходящимся и звенья будут неустойчивыми.

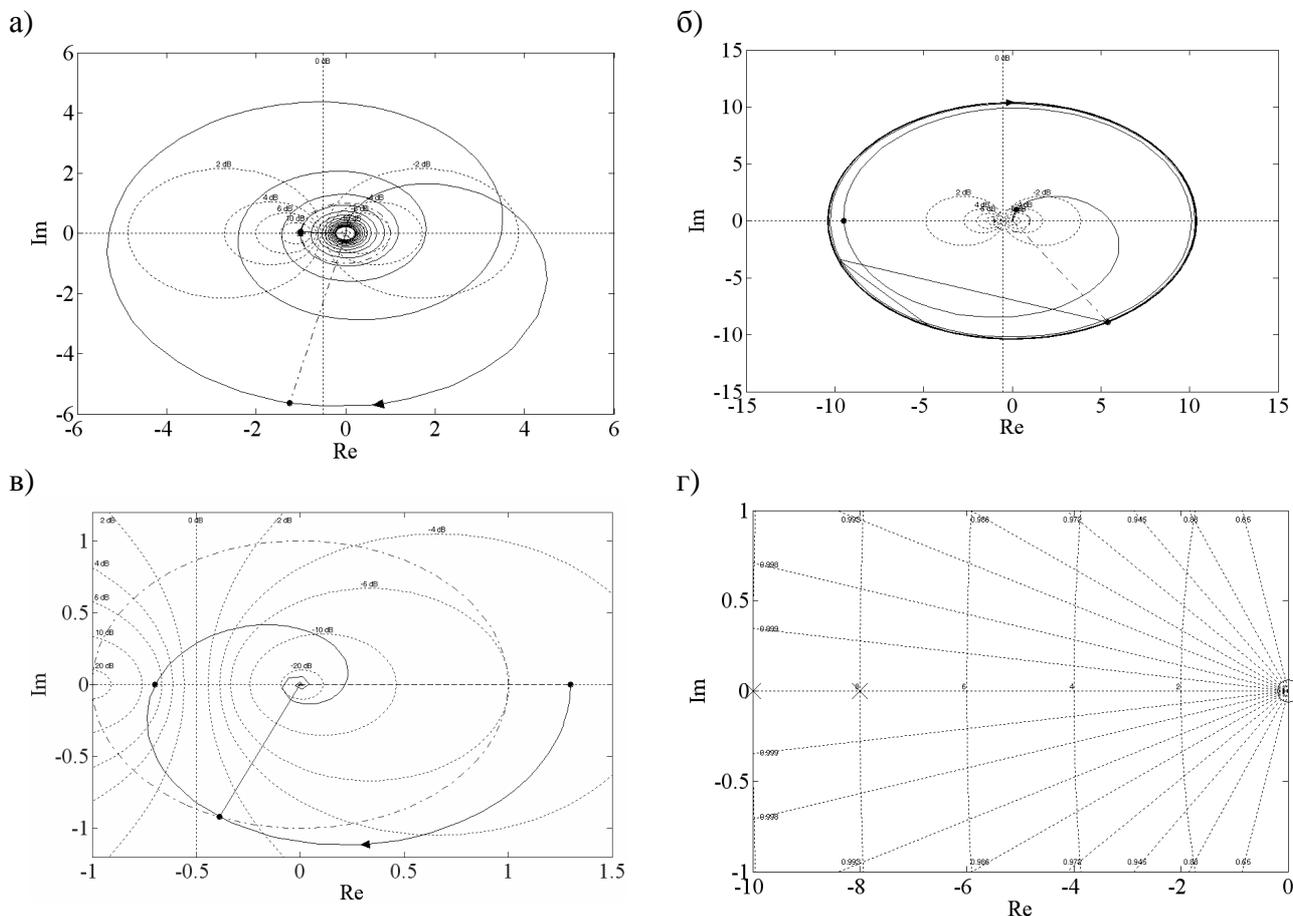


Рис. 3 – АФЧХ динамических звеньев: а) машиниста комбайна; б) машиниста струга; в) горнорабочего; г) расположение корней на комплексной плоскости

Корни числителя передаточной функции звеньев машиниста комбайна и машиниста струга (нули) равны 0, знаменателя (полюса) звеньев машиниста комбайна и горнорабочего -10 и -8 , звена машиниста струга -8 . Корни расположены в левой полуплоскости комплексной плоскости, следовательно, звенья являются минимально-фазовыми (рис. 3г).

Модели передаточных функций звеньев в пространстве состояний выглядят следующим образом (табл. 1). Анализа данных табл. 1 показывает, что для звеньев машиниста комбайна и горнорабочего ранг матриц управляемости и наблюдаемости четный, следовательно, данные звенья являются полностью управляемыми и наблюдаемыми. Таким образом, являясь объектом управления со стороны бригадира-диспетчера либо начальника смены данные звенья могут быть переведены из любого начального состояния в любое конечное состояние за конечное время T и любое их состояние можно восстановить по значениям входной и выходной величин, измеренным на интервале времени T .

Таблица 1 – Данные для анализа управляемости и наблюдаемости динамических звеньев

Динамическое звено	Модель в пространстве состояний	Матрица управляемости	Матрица наблюдаемости	Ранг матриц
Машинист комбайна	$a = \begin{bmatrix} -18 & -10 \\ 8 & 0 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 8 \\ 0 \end{bmatrix},$ $c = [13 \ 0], d = [0]$	$R = \begin{bmatrix} 8 & -144 \\ 0 & 64 \end{bmatrix}$	$D = \begin{bmatrix} 13 & 0 \\ -234 & -130 \end{bmatrix}$	2
Машинист струга	$a = [-8], b = [8],$ $c = [-10,4], d = [10,4]$	$R = [8]$	$D = [-10,4]$	1
Горнорабочий	$a = \begin{bmatrix} -18 & -2,5 \\ 32 & 0 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix},$ $c = [0 \ 1,625], d = [0]$	$R = \begin{bmatrix} 2 & -36 \\ 0 & 64 \end{bmatrix}$	$D = \begin{bmatrix} 0 & 1,625 \\ 52 & 0 \end{bmatrix}$	2

Для звена машиниста струга ранг матриц управляемости и наблюдаемости нечетный, следовательно, звено машиниста струга является неуправляемым и ненаблюдаемым. Звенья машиниста комбайна и горнорабочего также являются минимальными. Передаточная функция минимальной реализации звена машиниста струга равна

$$W(p) = e^{-0,2p} \times \frac{10,4p}{p + 8}.$$

В данном случае звено машиниста струга будет управляемым и наблюдаемым. Т.е. для машиниста струга важным является увеличение коэффициента передачи и уменьшение постоянной времени - психофизического параметра, характеризующего инерцию в образовании исполнительного действия за счет передачи части функций по формированию и реализации решений системе поддержки принятия решений либо бригадиру-диспетчеру очистного забоя.

Выводы.

1. В процессе выемки угля основными функциями машиниста комбайна являются управление выемочной машиной, сопровождающееся перемещением по лаве, обработка поступающей информации, формирование, реализация решений и выдача команд помощнику и горнорабочим; машинист струга выполняет подобные функции за исключением перемещения по лаве; горнорабочие управляют элементами комплекса, перемещаются по забою, исполняют команды, принимают решения, руководствуясь нормативами. Передаточная функция, характеризующая процесс принятия решения машинистом комбайна, задается произведением передаточных функций усилительного звена с запаздыванием, осуществляющего прием информации, дифференцирующего, осуществляющего формирование и принятие решений при достаточной тренировке и большом опыте и апериодического 2-го порядка, отвечающего за исполнение принятого решения; передаточная функция процесса принятия решения ГРОЗ, занятыми на передвижке секций крепи, конвейера, зачистке угля, выдвижке верхняков, креплении и оформлении ниш, определяется произведением передаточных

функций звена с запаздыванием, усилительного и апериодического 2-го порядка; машиниста струга – усилительного звена с запаздыванием, реального дифференцирующего и апериодического 1-го порядка.

2. Анализ основных характеристик переходных процессов динамических звеньев показывает:

- при реакции на мгновенное изменение обстановки в забое (начало работы комбайна, возникновение аварийной ситуации, начало поступления потока информации и пр.) наименьшим быстродействием обладает динамическое звено, характеризующее принятие решений машинистом комбайна (время переходного процесса $t_p=0,97$ с), большим быстродействием обладает звено, характеризующее принятие решений горнорабочими ($t_p=0,86$ с), наибольшее быстродействие у звена машиниста струга ($t_p=0,69$ с); переходной процесс для звена горнорабочего протекает монотонно без перерегулирования, для звеньев машиниста комбайна и машиниста струга перерегулирование существенно, звено машиниста комбайна также склонно к колебаниям;

- при реакции на «шумы», помехи, кратковременное изменение плотности потока информации, кратковременные единичный сигнал и пр. наибольшее перерегулирование (максимальная амплитуда) у звена машиниста комбайна, наименьшее у звена горнорабочих; наибольшим быстродействием обладает звено машиниста струга, наименьшим - звено горнорабочих.

3. Анализ запаса устойчивости показывает, что стабильность по амплитуде и фазе для звена машиниста комбайна наблюдается на высоких частотах ($\omega=103$ рад/с), для звеньев машиниста струга и горнорабочего на низких частотах ($\omega=17,5$, $\omega=8,3$, $\omega=4,9$, $\omega=0,8$ рад/с); наибольшим запасом устойчивости обладает звено горнорабочего, наименьшим звено машиниста струга. Данные звенья устойчивы в разомкнутом состоянии. Звено горнорабочего устойчиво также в замкнутом состоянии, звенья машиниста комбайна и машиниста струга в замкнутом состоянии не устойчивы: при охватывании звеньев обратной связью, что соответствует самоконтролю со стороны горнорабочих для снижения ошибки в формировании и принятии решения, для звеньев машиниста комбайна и струга переходной процесс будет расходящимся, звенья будут неустойчивыми.

4. Для звеньев машиниста комбайна и горнорабочего ранг матриц управляемости и наблюдаемости четный, следовательно, данные звенья, выступая в качестве объекта управления, регулируемого со стороны бригадира-диспетчера, являются полностью управляемым, наблюдаемым и обладают минимальностью. Для звена машиниста струга ранг матриц управляемости и наблюдаемости нечетный, данное звено является неуправляемым и ненаблюдаемым. При обеспечении минимальной реализации (наблюдаемости и управляемости) звена машиниста струга важным является увеличение коэффициента передачи и уменьшение постоянной времени - психофизического параметра, характеризующего инерцию в образовании исполнительного действия за счет передачи части функций по формированию и реализации решений системе поддержки принятия решений либо бригадиру-диспетчеру очистного забоя.

5. Проведенный с использованием методов теории управления анализ показателей качества динамических звеньев показал, что с точки зрения технологии каждое из рассмотренных звеньев имеет преимущества и недостатки. Резервы улучшения качества процесса принятия решений горнорабочими и системы управления процессом добычи угля в целом заключаются в следующем:

- машинисту комбайна важно обеспечить правильность принятия решения с первой попытки, поскольку опасение совершить ошибку и самоконтроль для проверки правильности решения приведет к увеличению общего времени принятия и реализации решения, снижению производительности труда и безопасности, что может быть обеспечено за счет возложения части функций на автоматическую систему поддержки (дублирования) принятия решений, либо на бригадира-диспетчера; также необходимо уменьшить время реакции на мгновенное изменение обстановки в забое за счет обучения машиниста реагированию на моментально возникающие нештатные ситуации, правильной интерпретации таких ситуаций;

- с целью обеспечения лучшей управляемости и наблюдаемости со стороны объекта регулирования - бригадира-диспетчера часть функций машиниста струга по переработке информации и принятию решений должны быть возложена на автоматизированную систему поддержки принятия решений; для повышения точности (правильности) решения время на переработку информации и принятие решения необходимо увеличить, а время на реализацию решения необходимо сократить, например, за счет использования более удобных эргономичных пультов управления, применения радиосвязи с рабочими бригады, бригадиром-диспетчером и пр.; как и для машиниста комбайна также является важным обеспечение правильности принятия решения с первой попытки;

- для горнорабочего важным является вопрос повышения быстроты реагирования на мгновенное кратковременное изменение обстановки, возникновение помех, случайных сигналов, наиболее важно также обеспечить правильность интерпретации таких помех-сигналов, что может быть достигнуто за счет обучения и тренировки поведения горнорабочего при возникновении мгновенных кратковременных помех;

- в реальных условиях конкретного забоя показатели качества управления динамических звеньев необходимо определять с учетом изменения коэффициентов уравнений передаточной функции – коэффициента усиления, времени реакции, психофизических и биомеханических параметров, характеризующих инерцию в образовании исполнительного действия, которые зависят от индивидуальных особенностей каждого горнорабочего: опыта, навыков, квалификации, возраста, физических кондиций, мотивированности, темперамента личности, эмоционального состояния и пр. для оценки которых необходимо проводить периодические тестирования психофизических и физиологических параметров горнорабочих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломов Б.Ф. Человек и техника / Ломов Б.Ф. – М.: Сов. радио, 1966. - 464 с.
2. Приснякова Л.М. Нестационарная психология / Приснякова Л.М. – К.: Днепро, 2002. – 255 с.
3. Приснякова Л.М. Системный синтез психофизических процессов: монография / Приснякова Л.М. – Днепропетровск-Киев, 2008. – 357 с.
4. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. - СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
5. Теория автоматического управления: Учеб. для машиностроит. спец. вузов / [Брюханов В.Н., Косов М.Г., Протопопов С.П. и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцева. - М.: Высш. школа, 2000. – 268 с.
6. 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.
7. Шевченко В.Г. К моделированию качества управления процессом добычи угля в лавах / В.Г. Шевченко // Геотехническая механика. – 2008. - Вып. 77. – С. 227-241.
8. Справочник проектировщика АСУ ТП / [Смилянский Г.Л., Амлинский Л.З., Баранов В.Я. и др.]; под ред. Г.Л. Смилянского. - М.: Машиностроение, 1983. – 527 с.
9. Ротач В.Я. К расчету оптимальных параметров ПИД регуляторов по экспертным критериям / В.Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. - № 11. - С. 5-9.
10. Мироновский Л. А Введение в MATLAB: учеб. пособие / Л. А. Мироновский, К. Ю. Петрова. – СПб.: ГУАП, 2006. – 164 с.
11. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадкова. - СПб.: Наука, 2000. – 475 с.