

**Т. Е. Ермаков**, д.т.н., **М. И. Арпабеков**, д.т.н., **Г. К. Каптагаева**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦОВЫХ КОРОНОК ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГОРНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЕМОЧНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

---

---

Разработаны способ и устройство закладки, которые позволяют обеспечить повышение эффективности, безотходную технологию, а также безопасность ведения горных работ, так как в этом случае при селективной выемке с легкообрущающейся кровлей не требуются затраты по выдаче на поверхность шахты.

**Ключевые слова:** роботизированный комплекс, фронтально-фланговая выемка, горный автоматический манипулятор, селективная выемка.



Бұл мақалада бірнеше ықшамды керту манипуляторлардың (КМ) әртүрлі әдістерімен забойды бірқалыпты режимдерінде бірнеше қозғалысты біріктіріп автоматтандырылған және бейімделген бағдарлама арқылы көмірді кесу процестерінің теориялық жалпыламау және тәжірибе жүзіне заңдылығы анықталады.

**Түйінді сөздер:** роботтандырылған кешен, фронтальды-флангалы ойып алу, автоматтандырылған тау-кен манипуляторы, селективті ойып алу.



Having used different methods of coal face mining by automatic removal manipulators (RM) the natural phenomena of coal breaking by cutting were established theoretically and experimentally. Both manoeuvrability and steadyness of some combined manipulators working under automatic and adaptive programming control were taken into consideration. Local coal seams were mined by robotorised complexes.

**Key words:** the robotized complex, the frontally-boundary extraction, the mining automatic manipulator, the selective extraction.

Выемочные манипуляторы ВМФ-5 работают в сложных горно-геологических условиях, и в процессе работы манипулятора они изменяются в широком диапазоне. Поэтому очень важно иметь вычислительную программу устойчивости, рассматривающую равновесие манипуляторов с учетом всевозможных силовых факторов, действующих на расчетную схему. При этом алгоритм расчета должен позволять варьировать всевозможными угловыми параметрами поворачивающихся органов в процессе работы, а также горно-геологическими условиями пласта [1,2].

Горный автоматический выемочный манипулятор ВМФ-5 имеет стреловидный исполнительный орган с резцовой конической коронкой в качестве органа разрушения. Бесцепная автоматическая система подачи шагающего типа обеспечивает передвижение манипуляторов вдоль забоя по ставу контейнера со скоростью  $v_{с.к}$ , м/с.

С учетом способности конструкции типов ВМФ-5 к достоинствам и недостаткам механизмов перемещения предъявлены следующие требования:

- осуществление четкой фиксации ВМФ-5 на любом участке забоя при отработке селективной выемки;
- механизм зацепления падающей должен быть в постоянном контакте с направляющей и с ползуном;
- должен быть приспособлен к прохождению ВМФ-5 криволинейных участков бесприводной транспортирующей системы;
- рабочая поверхность тягового органа не должна быть гладкой;
- должен быть приспособлен к автоматизации процесса перемещения.

При совмещении вертикального и горизонтального качания согласование линейных скоростей  $v_{\varphi}$  и  $v_{\alpha}$ , (м/с) определяется тем, что за время одного горизонтального качка на ширину захвата вертикальное перемещение коронки равно  $v_{нб}$ . В силу условия оплошности обработки фронтальной поверхности забоя:

$$v_{\alpha} = \omega_{\alpha} \cdot (R_{\alpha} - 0,5 \cdot H_{\alpha}) = 2j_{\alpha} \cdot v_{y} \quad (1)$$

В качестве измерительного элемента нагрузки двигателя резания используется датчик тока, сигнал которого сравнивается с заданной величиной нагрузки. Разность сигналов подается на усилитель, который управляет ключами переменного тока, осуществляющими подачу напряжения на электрогидравлические следящие золотника. В зависимости от нагрузки двигателя резания регулятор изменяет скорость подачи исполнительного органа с целью поддержания заданной нагрузки.

Для моделирования передаточной функции замкнутой подсистемы регулирования в вертикальной плоскости воспользуемся следующими командами:

$$W_3'(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{10,5}{0,041 p^3 + 0,0041 p^2 + p + 10,51} \quad (2)$$

Согласно критерию Гурвица данная система неустойчива. Проверим реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие:  $\gg \text{step}(W2)$ .

График переходного процесса замкнутой системы показывает, что замкнутая система (рис. 1а) является неустойчивой [3,4]. Для подтверждения того, что система неустойчива, получим расположение корней характеристического уравнения замкнутой системы.

Пара комплексно-сопряженных корней (рис. 1б) расположена в правой полуплоскости комплексной плоскости, следовательно, замкнутая система управления неустойчива по Ляпунову. Исследуем поведение системы в частотной области.

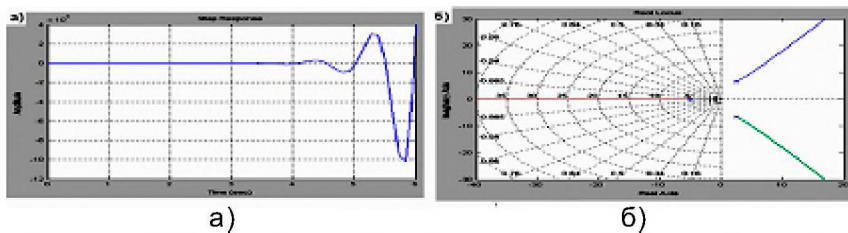


Рис. 1. Проверка на устойчивость по критерию Гурвица: а) переходной процесс замкнутой системы; б) расположение корней замкнутой системы

На рис. 2а представлена амплитудно-фазовая характеристика системы управления. График (рис. 2б) также показывает, что система (2) при заданных значениях параметров неустойчива, так как логарифмическая амплитудно-фазовая характеристика (ЛАХЧ) пересекает уровень 0 децибел в то время, когда логарифмическая фазочастотная характеристика имеет уровень, меньший  $-180^\circ$ .

Для полноты анализа скорректированной системы получим логарифмические амплитудно- и фазочастотные характеристики.

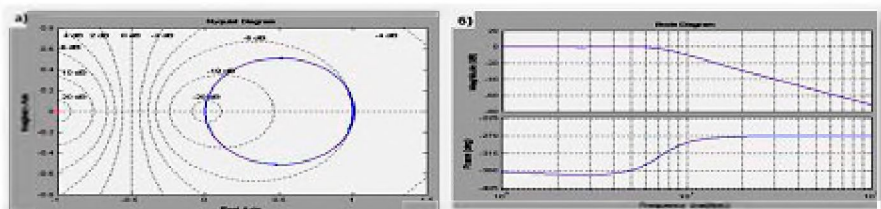


Рис. 2. График переходного процесса на устойчивость по критерию Гурвица: а) амплитудно-фазовая характеристика системы управления; б) логарифмические амплитудно- и фазочастотные характеристики

Желаемая передаточная функция системы имеет вид:

$$K(p) = K_{нп}(Z_p) = \frac{(Z_p)^4 + 4(Z_p)^3 + 6(Z_p)^2 + 4Z_p}{(Z_p)^4 + 4(Z_p)^3 + 6(Z_p)^2 + 4Z_p + 1} = \frac{p^4 + 74p^3 + 111p^2 + 1471p}{p^4 + 74p^3 + 111p^2 + 1471p + 7142}. \quad (3)$$

Для получения реакции системы на единичное ступенчатое воздействие, т. е. график переходного процесса, используем команду: `>> step(W3)`. На рис. 3а показан переходной процесс замкнутой системы.

Для исследования реакции системы на гармонический сигнал получим амплитудно-фазовую характеристику замкнутой системы. На рис. 4а представлена амплитудно-фазовая характеристика системы управления.

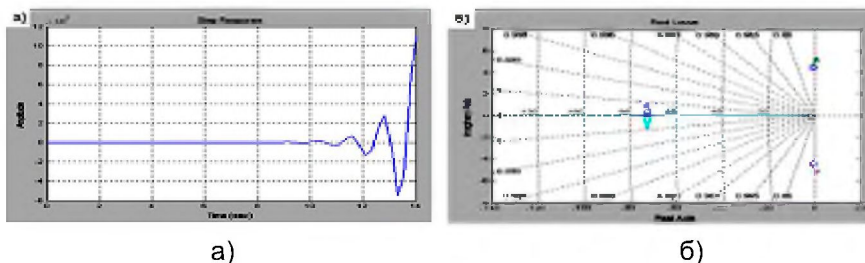


Рис. 3. Переходные процессы замкнутой системы: а) переходной процесс замкнутой системы; б) расположение корней характеристического уравнения замкнутой системы

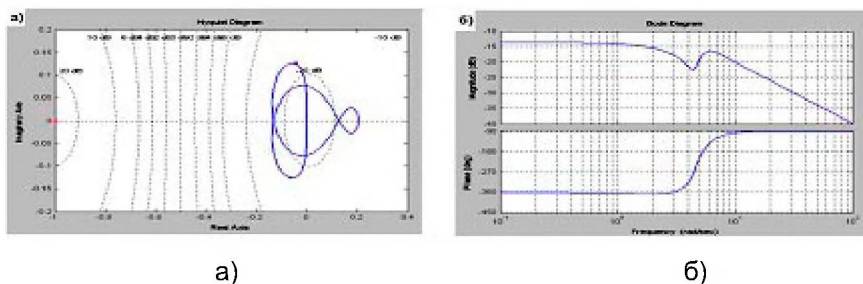


Рис. 4. Графики амплитудно-фазовой характеристики системы управления: а) амплитудно-фазовая характеристика системы управления; б) графики логарифмических амплитудно- и фазочастотной характеристик

Получены результаты имитационного моделирования и численных экспериментов с помощью МатЛаб. На основе приведенных графиков можно заключить, что выемочный манипулятор в нерабочем режиме при всех положениях исполнительного органа и сложностях горно-геологических условий находится в устойчивом положении, что полностью обеспечивает монтаж, пробное маневрирование и проверку функционирования всех рабочих узлов. В рабочем режиме при движении коронки исполнительного органа снизу вверх при всех реальных диапазонах изменения углов  $\beta_x$ ,  $\beta_y$  и  $\alpha_2$  устойчивость ВМФ-5 обеспечивает

ся при значениях угла  $\alpha_1$  0-55° и 125-180°. Предельный угол крена колеи конвейерной линии составляет около 10°. При этом приведены зоны неустойчивых положений манипулятора при заданной ширине колеи конвейерной линии: в сторону разработки - 43 см; в сторону завала - 45 см.

Опыт работы горных автоматических выемочных манипуляторов флангово-фронтально-избирательного действия ВМФ-5, ВМФ-6 обеспечивает щелевой способ отбойки угля с удельными энергозатратами на 1 т добычи в пределах 0,20-0,45 кВт·ч, нагрузку на лаву - до 30 000 т/сут. за счет применения 5 и более автоматических манипуляторов без постоянного присутствия в очистном забое.

## Литература

1 *Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И.* Научные основы решения, а также обоснование параметров горных и строительных робототехнологических комплексов. - Алматы: Эверо, 2009. - 272 с.

2 *Арпабеков М.И.* Исследование и создание горных робототехнологических комплексов с адаптивно-программным управлением: дис. ... докт.тех.наук: 05.02.05. - Алматы: ИММаш им. акад У.А. Джолдасбекова МОН РК и КазНТУ, 2010. - 327 с.

3 *Шоланов К.С., Ермеков Т.Е., Тазабеков И.И., Арпабеков М.И.* Исследование скорости движения отбойной коронки выемочного манипулятора // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. - 2010. - № 1(77). - С. 100-105.

4 *Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И.* Основы создания роботизированных комплексов для селективной выемки локальных и забалансовых участков угольных пластов. - Астана: ИИО ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2013. - 255 с.