

железородного бассейна // Кривой Рог: Изд-во Криворожского технического университета, 1999.– 70 с.

7. Медведева О.А. Восстановление аккумулирующей емкости хранилищ отходов обогащения методами гидротранспорта / О.А. Медведева // Материалы международной научной конференции «Математические проблемы технической механики – 2012», Днепропетровск – Днепродзержинск, 16-19 апреля 2012г.- Том 2. – С. 66-68.

8. Методические рекомендации по расчету технологических параметров намыва хвостов и их технологические характеристики. -Киев: НИИСП Госстроя УССР, 1972. -78 с.

9. Акиншин Л.П., Неялин И.И. Определение фильтрационных потерь из хвостохранилищ методом моделирования.- В кн.: Гидрогеологические прогнозы при разработке месторождений полезных ископаемых. - Белгород: ВИОГЕМ, 1982, с.27-30.

10. Голяк С.А., Мельников Т.И., Бильченко В.Ф., Давлетова Р.М. Опыт проектирования и эксплуатации хвостового хозяйства Лисаковского горно-обогатительного комбината. – Горный журнал, 1984, N5, с.41-43.

11. Гальперин А.М., Крячко О.Ю., Дергилев М.А. Геотехническое обслуживание гидроотвальных работ на карьерах. - М.: ЦНИЭИугля, 1970. - 148 с.

12. Нурок, Г.А., Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ [Текст] / Г.А. Нурок. – М.: Недра, 1985. – 583 с.

13. Ялтанец, И.М. Рабочие параметры грунто-заборочных устройств плавучих землесосных снарядов и их конструктивные особенности [Текст] / И.М. Ялтанец, Н.И. Леванов, И.Т. Мельников, В.М. Дятлов. – М.: МГГУ, 2005. – 236 с.

14. Блюсс, Б.А. Совершенствование технологий предобогащения ильменитовых руд / Б.А. Блюсс, Н.А. Головач – Днепропетровск: Полиграфист, 1999. – 126 с.

15. Дэвидсон, И.Ф. Псевдооживление твердых частиц. / И.Ф. Дэвидсон, Д. Харрисон. М.: Химия, 1965.- 184 с.

16. Уоллис, Г.Б. Одномерные двухфазные течения. /Г.Б. Уоллис. М.: Мир, 1972.- 440 с.

УДК 681.518.54

Д-р техн. наук Л.И. Мещеряков,
инж. С.Д. Приходченко

(ГБУЗ «Национальный горный университет»)

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АСУ СИСТЕМЫ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА СИММЕТРИИ

У статті розглянуто структурний синтез автоматичної системи управління внутрі-
фабричної гідротранспортної мережі, заснований на принципі симетрії.

STRUCTURAL SYNTESIS OF ACS HYDROTRANSPORT SYSTEM BASED ON A SYMMETRY PRINCIPLES

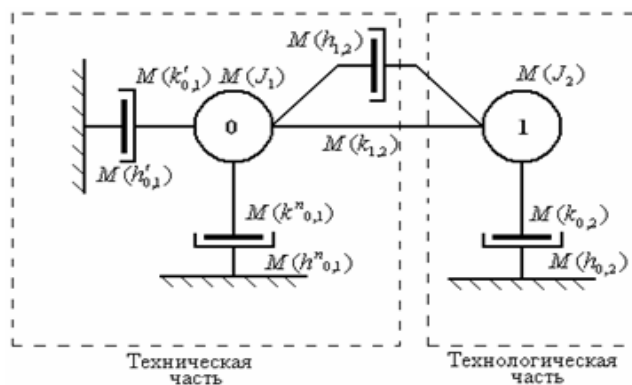
In this article the structural synthesis of automatic control system factory-indoor hydro transport network, based on the principle of symmetry has described.

В настоящее время в качестве математических моделей горных электромеханических комплексов применяются модели, основанные на использовании систем дифференциальных уравнений. В то же время, операторная форма метода цепных дробей позволяет по эквивалентным схемам, пропустив этапы создания и расчета дифференциальных уравнений, определить значения передаточных функций. Сформированные этим методом передаточные функции, описывающие динамику исследовательского комплекса, могут быть использованы как диагностические математические модели.

Ограничением этого метода является то, что все взаимодействия в модели должны быть сведены к крутящим моментам [1].

Методология структурно-алгоритмического синтеза САУ на основе принципа симметрии [2], актуальна и в случае автоматизации систем гидротранс-

порта, а, значит, базовая структура системы внутризаводского гидротранспорта может быть представлена следующим образом (рис. 1).



$M(J_{1,2})$ – моменты инерции сосредоточенной массы; h_{ij} – коэффициент внутреннего трения соединения ij ; k_{ij} – коэффициент жесткости соединения ij

Рис. 1 – Базовая структура системы внутризаводского гидротранспорта

При этом, важным требованием к системе управления является компенсация собственной динамики горного электромеханического комплекса с обеспечением наилучшего воспроизведения по среднеквадратичному критерию заданного ступенчатого управляющего воздействия.

При решении задач управления применительно к системам гидротранспортирования, развивая модели систем горных и горно-металлургических агрегатов [1], допустимо описание динамики внутризаводской гидротранспортной сети в виде системы уравнений четвертого порядка, при которых возбужденное движение описывается системой дифференциальных уравнений вида

$$\begin{cases} p\eta_1 = b_{11}\eta_1 + b_{12}\eta_2 + b_{13}\eta_3 + b_{14}\eta_4; \\ p\eta_2 = b_{21}\eta_1 + b_{22}\eta_2 + b_{23}\eta_3 + b_{24}\eta_4; \\ p\eta_3 = b_{31}\eta_1 + b_{32}\eta_2 + b_{33}\eta_3 + b_{34}\eta_4; \\ p\eta_4 = b_{41}\eta_1 + b_{42}\eta_2 + b_{43}\eta_3 + b_{44}\eta_4 + m_4U, \end{cases} \quad (1)$$

где η_i , b_{ij} , m_i , U – результаты преобразования координат реальных переменных состояния электромеханических систем по методике Садового[2].

Тогда для системы гидротранспортирования управляющие воздействия, например, по напору (H) или изменению частоты вращения (ω), для системы четвертого порядка минимизации функционала

$$\hat{I}_4 = \int_0^{\infty} \left(\sum_{i,k=0}^{\infty} \hat{w}_{ik} \hat{\eta}_i \hat{\eta}_k + cU^2 \right) dt, \quad w_{ik} = w_{ki} \quad (2)$$

могут быть представлены как

$$U = -\frac{M_4}{c} \left(\frac{\hat{v}_{04}}{p} + \hat{v}_{14} + \hat{v}_{24}p + \hat{v}_{34}p^2 + \hat{v}_{44}p^3 \right) \eta_1, \quad (3)$$

где $v_{44}=1$, $v_{34}=a_4$, $v_{24}=a_3$, $v_{14}=a_2$, $v_{04}=a_1$, определяются из системы (1), в форме Фробениуса, расширенной до вида

$$\begin{cases} p\eta_0 = \eta_1; p\eta_1 = \hat{\eta}_2; \\ p\hat{\eta}_2 = \hat{\eta}_3; p\hat{\eta}_3 = \hat{\eta}_4; \\ p\hat{\eta}_4 = -a_1\eta_1 - a_2\hat{\eta}_2 - a_3\hat{\eta}_3 - a_4\hat{\eta}_4 + M_4U, \end{cases} \quad (4)$$

Функция Ляпунова в этом случае описывается как

$$\begin{aligned} \hat{V}(\eta) = & \sum_{i,k=0}^{n=4} \hat{v}_{ik} \eta_i \eta_k = \hat{v}_{00} \eta_0^2 + 2\hat{v}_{01} \eta_0 \eta_1 + 2\hat{v}_{02} \eta_0 \eta_2 + 2\hat{v}_{03} \eta_0 \eta_3 + 2\hat{v}_{04} \eta_0 \eta_4 + \\ & + \hat{v}_{11} \eta_1^2 + 2\hat{v}_{12} \eta_1 \eta_2 + 2\hat{v}_{13} \eta_1 \eta_3 + 2\hat{v}_{14} \eta_1 \eta_4 + \hat{v}_{22} \eta_2^2 + 2\hat{v}_{23} \eta_2 \eta_3 + 2\hat{v}_{24} \eta_2 \eta_4 + \\ & + \hat{v}_{33} \eta_3^2 + 2\hat{v}_{34} \eta_3 \eta_4 + \hat{v}_{44} \eta_4^2 \end{aligned} \quad (5)$$

где \hat{v}_{ij} – коэффициенты функции Ляпунова после перехода в координатный базис $(\hat{v}_1 \dots \hat{v}_n, \hat{U})$ [2].

Вычислив коэффициенты функции Ляпунова и коэффициенты интегранта функционала \hat{I}_4 , можно прийти к конечному отображению управляющего воздействия U , формирующегося в виде выражения

$$U = -\frac{m_4}{c} (\hat{v}_{04} \eta_0 + \hat{v}_{14} \eta_1 + \hat{v}_{24} \eta_2 + \hat{v}_{34} \eta_3 + \hat{v}_{44} \eta_4), \quad (6)$$

Тогда дробно-рациональное выражение передаточной функции для системы гидротранспортирования, отражающее структуру рис. 1, формализуется в виде

$$W(B_n^{[0]}(j\omega)) = \frac{c_{5,1}\omega^5 + c_{4,1}\omega^4 + c_{3,1}\omega^3 + c_{2,1}\omega^2 + c_{1,1}\omega - c_{0,1}}{c_{10,2}\omega^{10} + c_{9,2}\omega^9 + c_{8,2}\omega^8 + c_{7,2}\omega^7 + c_{6,2}\omega^6 + c_{5,2}\omega^5 + c_{4,2}\omega^4 + c_{3,2}\omega^3 + c_{2,2}\omega^2 - c_{1,2}\omega + c_{0,2}}, \quad (7)$$

где c_{ij} – постоянные однозначно определяющие исходное состояние системы.

Принимая за основу данную модель, а также модель системы гидротранспорта, предложенную в [3] для системы внутрифабричного гидротранспорта, можно перейти к схеме, представленной на рис. 2.

Цифровое моделирование данной схемы представлено на рис. 3.

На рис. 4 представлены амплитудно-частотные характеристики передаточных функций элементов интегрированной структуры системы гидротранспортирования

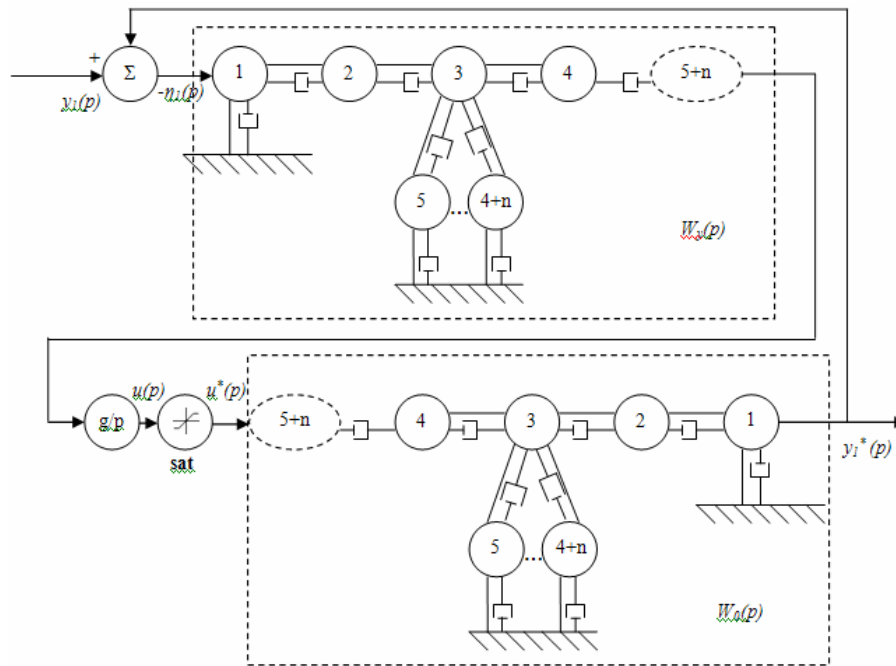


Рис 2 – Структурная интегрированная технологическая и техническая схема системы гидротранспортирования, отображенная через цепные приведенные схемы динамических моделей.

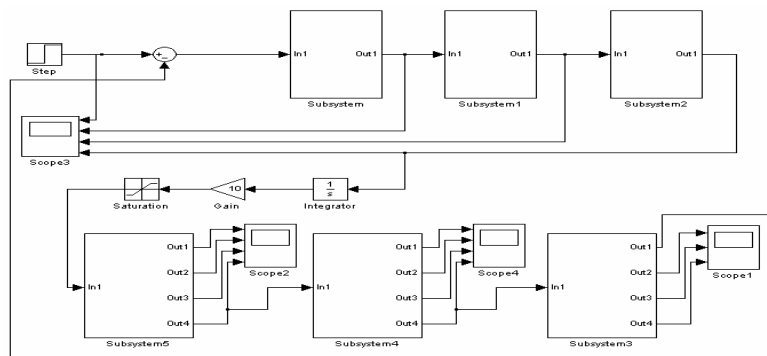
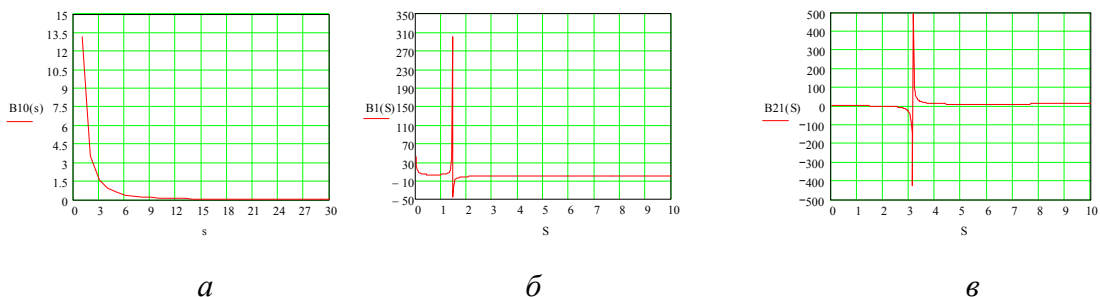


Рис. 3 – Базовая модифицированная структурная схема замкнутой системы управления



а – $B10(S)$ – упругое соединение Ротор-Статор; б – $B1(S)$ – упругое соединение Ротор-Муфта; в – $B1(S)$ – упругое соединение Муфта-Вал

Рис. 4 – Математически ожидаемые амплитудно-частотные характеристики цепных приведенных схем динамической модели структурных элементов ШН 5-ГРк8

При моделировании реакции системы управления на ступенчатое управ-

ляющее воздействие получены следующие зависимости (рис. 5)

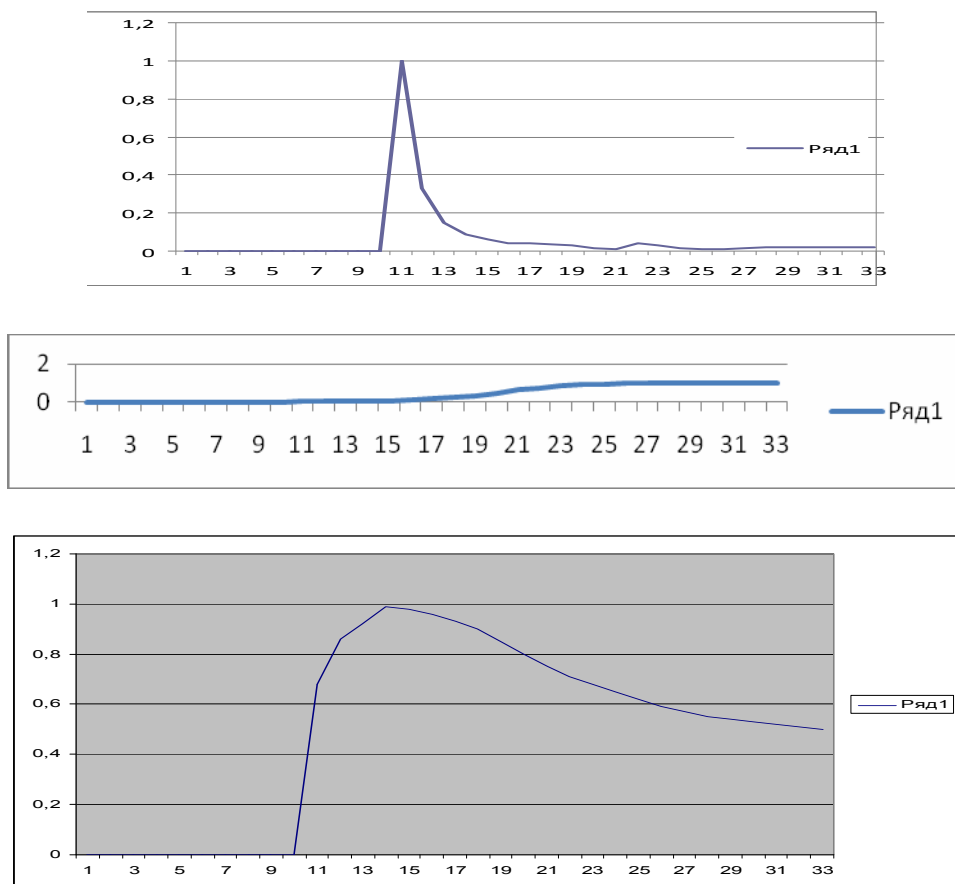


Рис. 5 – Реакции системы управления на ступенчатое управляющее воздействие

По результатам структурного синтеза автоматизированной системы управления процессом внутрифабричного гидротранспортирования были получены позитивные результаты, которые могут быть положены в основу эффективной системы управления с оптимальными параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Мещеряков Л. І. Методи і моделі ідентифікації та управління гірничими технологічними комплексами / Л. І. Мещеряков // Д. Національний гірничий університет, 2009. – 263 с.
- Садовой А. В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами / А. В. Садовой, Б. В. Сухинин, Ю. В. Сохина.: под. Ред. А. В. Садового. – К.: ИКСМО, 1996. – 298 с., ил.
- Приходченко С. Д. Построение математической модели шламового насоса и исследование ее динамических характеристик / С. Д. Приходченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины им. Н.С. Полякова. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 77. – С. 159-166

Академик НАН Украины А.Ф.Булат
канд. техн. наук И.Ф. Чемерис
инж. Д.Н. Пимоненко
(ИГТМ НАН Украины)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ГИДРОПАРОВОЙ
ТУРБИНЫ СО ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО
ТЕЛА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО
НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА**

Розглянута можливість утилізації низькопотенціального тепла у гідропаровій турбіні з радіальним каналом, що описується рівнянням гвинтової лінії із зміною напрямку руху робочого тіла. Пропоноване технічне рішення забезпечує збільшення крутильного моменту і, отже, потужності турбіни.

**THEORETICAL BASES OF DEVELOPMENT THE HYDROSTEAM
TURBINE WITH SIGN-VARIABLE MOVEMENT OF REACTION MASS
FOR UTILIZATION REDUNDANT LOW-POTENTIAL HEAT**

The considered possibility utilization low-potential heat in hydrosteam turbine with radial channel, described by equation to screw line with change direction movement of reaction mass. The offered technical decision provides increase twisting moment and, hence, power of the turbine.

В настоящее время особую важность получила задача увеличения доли электроэнергии, вырабатываемой за счет нетрадиционных и возобновляемых видов энергоресурсов. Это связано, во-первых, с растущей стоимостью добываемого углеводородного топлива, и, во-вторых, с ратификацией нашей страной в 2004 году Киотского протокола по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу. Существенной составляющей комплексного решения данной задачи может быть полезное использование источников низкопотенциальной теплоты, например в виде воды с температурой $90 \div 150$ °С при реализации гидропарового цикла.

Одним из возможных вариантов практической реализации гидропарового цикла является гидропаровая турбина (ГПТ), работающая по принципу сегнэрова колеса, которая отличается простотой схемы и конструкции [1-2]. В работе ГПТ реализуются два основных физических явления. Первое – вращение ГПТ за счет действия реактивных сил (моментов) струй вытекающей двухфазной смеси. Второе – образование двухфазной смеси в потоке недогретой до насыщения воды при падении давления горячей воды в потоке до давления насыщенных паров. Именно явление парообразования воды в потоке позволяет в установке с ГПТ полезно утилизировать энтальпию, запасенную в нагретой воде, путем выработки электроэнергии при помощи электрического генератора, размещенного на валу турбины [3].

При разработке гидропаровых турбин следует учитывать действие инерционных сил (центробежных и кориолисовых), которые в зависимости от конфигурации радиального канала могут оказывать как позитивное, так и негативное влияние на крутящий момент турбины. Для полезного использования кориолисовых и центробежных сил предложена турбина с радиальным каналом, описы-