

ВЫВОДЫ

Как видим, получается достаточно наглядная картина *прогнозирования поведения интенсивности потока отказов*. В общем случае, следует количественно оценить изменения $\alpha(t)$ на прогнозируемом (в нашем случае, 9-м -10 - м) участке времени. Полученный прогноз может послужить основой для установления срока t_3 на два шага. В нашем случае, когда имеется тенденции изменения показателя ω в большую сторону, сроки ТО могут гибко изменяться (в сторону уменьшения t_3).

Таким образом, может быть решена задача оптимального технического обслуживания в условиях старения оборудования. При этом учитывается реальная функция распределения времени наработки на отказ. Следующим шагом в данных исследованиях могут служить различного рода методы моделирования поведения потока отказов на нестационарном участке.

Список литературы: 1. Программа внедрения риск – ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС // ГП НАЭК "Энергоатом" – ГКЯРУ – 2003. 2. Шишенок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники М.: Советское радио, 1965.-265 с. 3. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введено вперше.-К.: 1994.- 89 с. 4. Белый Д.В., Васильченко В.Н., Васильченко С.В., Власенко Н.И., Скалозубов В.И. . Основы оптимизации плановых ремонтов и испытаний систем безопасности для повышения эффективности производства АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. – 2004. – Т.7, Вып.1. – С. 90-95. 5. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ.- М.: Мир, 1989.- 540 с. 6. НД 306.711-96 Надежность АЭС и оборудования. Продление ресурса средств контроля и управления, входящих в системы, важные для безопасности. Общие требования к порядку и содержанию работ.- Введ. 15.03.96.-Изд-во Мин. Охраны окр. среды и ядерной безопасности Украины, 1996.-7 с. 7. ДСТУ 3004-95 Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. - Введен впервые.- К.: Изд-во госстандарта, 1995.-122 с. 8. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: Справ. Изд./ С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна.- М.: Финансы и статистика, 1985.-487 с. 9. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ. Пер. с англ. - М.: Мир, 1980.- 456 с. 10. Боровиков В.П., Боровиков И.П.. STATISTICA® - Статистический анализ и обработка данных в среде Windows.-М.: Филин, 1998. – 608 с.

Сдано в редакцию 22.03.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Пругяну О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСИСТЕМЫ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Зензеров В.И., Павлыш В.Н. (*ДонНТУ, Донецк, Украина*)

The complex mathematical model of action of hydraulic system of mechanized mine timber and the results of modeling are considered.

Гидросистема является весьма важной составляющей механизированных крепей. Исследованию и расчету параметров крепей посвящены работы многих авторов [1...5]. Разрабатываемые методы расчета основываются либо на эмпирических зависимостях, либо на упрощенных уравнениях, позволяющих получить аналитическое решение.

Целью настоящей работы является разработка комплексной детерминированной математической модели процесса функционирования гидросистемы и основанного на ней метода расчета параметров механизированных крепей с помощью ЭВМ.

На рис.1 представлена гидромеханическая схема типовой гидросистемы механизированной крепи. При составлении схемы использованы исследования и графические обозначения, приведенные в работах [1-3].

На основании правила узлов и ветвей [3] составим математическую модель каждого из участков гидросистемы.

Движение рабочей жидкости от насоса до гидрораспределителя секции крепи описывается системой трех нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_H \frac{dP_H}{dt} &= q(P_H) - q_H \\ \frac{m_H}{(f_H)^2} \cdot \frac{dq_H}{dt} &= P_H - \xi_H (q_H)^2 - P_1 \\ C_\Sigma \frac{dP_1}{dt} &= q_H - \sum_{i=1}^N q_{1i} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где P_H - давление жидкости в напорной магистрали у насосной станции;

P_1 - давление жидкости на входе гидрораспределителя;

$q(P_H)$ - расходная характеристика насосной станции;

q_H - расход жидкости в напорной гидромагистрали;

q_{1i} - расход жидкости в рукаве высокого давления, соединяющего гидрораспределитель с напорной полостью i -го гидроцилиндра;

C_H - коэффициент упругости напорной гидромагистрали;

C_Σ - суммарный коэффициент упругости рукавов высокого давления, соединяющих гидрораспределитель с напорными полостями гидроцилиндров;

ξ_H - коэффициент гидравлического сопротивления напорной гидромагистрали;

m_H - масса жидкости в напорной гидромагистрали;

f_H - площадь сечения напорной гидромагистрали;

N - количество одновременно работающих гидроцилиндров.

Математическая модель работы каждого гидроцилиндра состоит из системы шести дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_{1i}}{(f_{PBДi}^H)^2} \cdot \frac{dq_{1i}}{dt} &= P_1 - \xi_{1i} (q_{1i})^2 - P_{2i} \\ C_{2i} \frac{dP_{2i}}{dt} &= q_{1i} - q_{2i} \\ \frac{m_{2i}}{(F_{1i})^2} \cdot \frac{dq_{2i}}{dt} &= P_{2i} - \beta_i R_i (X_{2i}, \dot{X}_{2i}) - \alpha_i P_{3i} \\ \frac{dX_{2i}}{dt} &= \beta_i q_{2i} \\ C_{3i} \frac{dP_{3i}}{dt} &= \alpha_i q_{2i} - q_{4i} \\ \frac{m_{3i}}{(f_{PBДi}^C)^2} \cdot \frac{dq_{4i}}{dt} &= P_{3i} - \xi_{2i} (q_{4i})^2 - P_C \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

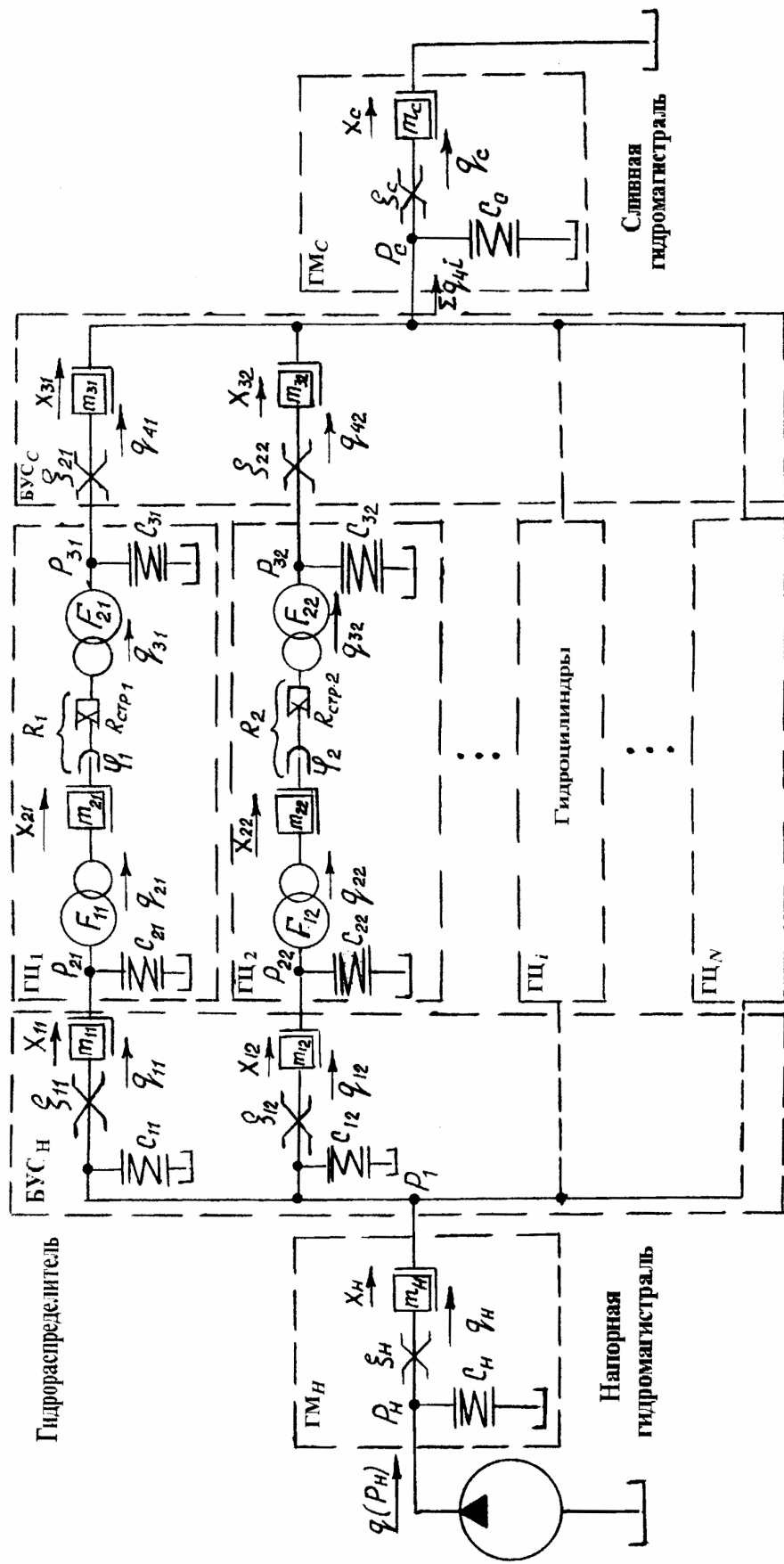


Рис. 1. Гидромеханическая схема системы механизированной крепи

где P_{2i} - давление жидкости в напорной полости i -го гидроцилиндра;
 P_{3i} - давление жидкости в сливной полости i -го гидроцилиндра;
 P_C - давление жидкости в сливной гидромагистрале на выходе из гидрораспределителя;
 q_{2i} - расход жидкости в напорную полость i -го гидроцилиндра;
 q_{4i} - расход жидкости в рукаве высокого давления, соединяющего сливную полость i -го гидроцилиндра с гидрораспределителем;
 C_{2i}, C_{3i} - соответственно коэффициенты упругости напорной и сливной полостей i -го гидроцилиндра;
 ξ_{1i}, ξ_{2i} - соответственно коэффициенты гидравлических сопротивлений каналов подключения i -го гидроцилиндра к напорной и сливной гидромагистралям;
 m_{1i}, m_{3i} - соответственно массы жидкости в рукавах высокого давления, соединяющих напорную и сливную полости i -го гидроцилиндра с гидрораспределителем;
 m_{2i} - масса, перемещаемая i -м гидроцилиндром;
 X_{2i} - величина перемещения поршня i -го гидроцилиндра;
 $f_{PBД_i}^H, f_{PBД_i}^C$ - площади сечений рукавов, соединяющих напорную и сливную полости i -го гидроцилиндра с гидрораспределителем;
 F_{1i}, F_{2i} - площади напорной и сливной полостей i -го гидроцилиндра:

$$\alpha_i = \frac{F_{1i}}{F_{2i}}; \quad \beta_i = \frac{1}{F_{1i}},$$

α_i - коэффициент мультипликации i -го гидроцилиндра;
 $R_i(X_{2i}, \dot{X}_{2i})$ - сопротивление перемещению i -го гидроцилиндра, зависящее от самой величины перемещения X_{2i} и от скорости перемещения \dot{X}_{2i}

Течение жидкости по сливной гидромагистрали от секции крепи в бак гидронасоса описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_C \frac{dP_C}{dt} &= \sum_{i=1}^N q_{4i} - q_C \\ \frac{m_C}{(f_C)^2} \cdot \frac{dq_C}{dt} &= P_C - \xi_C (q_C)^2 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где q_C - расход жидкости в сливной гидромагистрали;
 C_C, ξ_C - соответственно коэффициенты упругости и гидравлического сопротивления сливной гидромагистрали;
 m_C - масса жидкости в сливной гидромагистрали;
 f_C - площадь сечения сливной гидромагистрали.

Системы дифференциальных уравнений (1), (2) и (3) образуют математическую модель гидросистемы механизированной крепи. Количество уравнений n математической модели зависит от количества одновременно работающих N гидроцилиндров при моделировании технологических операций разгрузки, передвижки, распора секции крепи и выдвижки конвейера на забой и определяется по формуле:

$$n = 6N + 5, \quad (5)$$

В математическую модель гидросистемы механизированной крепи входят семь групп параметров: давления жидкости в характерных точках гидросистемы; расходы жидкости на отдельных участках гидросистемы; коэффициенты упругости элементов гидроси-

стемы; коэффициенты гидравлических сопротивлений участков гидросистемы; массы жидкости, перемещаемые на отдельных участках гидросистемы; площади поперечных сечений элементов гидросистемы; сопротивления перемещению гидроцилиндров.

Первые две группы параметров образуют вектор начальных значений, а в процессе моделирования - результирующий вектор зависимых переменных. Коэффициенты упругости определяют расход на деформацию элементов гидросистемы и сжимаемость жидкости, заполняющей ее под давлением.

При перемещении поршня гидроцилиндра объем напорной и сливной полостей меняется. Следовательно, в процессе моделирования величины коэффициентов упругости полостей гидроцилиндров будут изменяться в зависимости от величины перемещения поршня X_{2i} и их необходимо рассчитывать по формулам:

для напорной полости i -го гидроцилиндра:

$$C_{2i} = (H_{oi} + X_{2i}) \left(\frac{1 - \chi}{2} \cdot \frac{F_{1i} D_i}{E_{TP} S_{\psi i}^H} + \frac{F_{1i}}{E_{Ж}} \right), \quad (6)$$

где H_{oi} - начальное расстояние от торца до поршня i -го гидроцилиндра;
 $D_i, S_{\psi i}^H$ - диаметр и толщина стенок напорной полости i -го гидроцилиндра.

для сливной полости i -го гидроцилиндра:

$$C_{3i} = (H_{max i} - X_{2i}) \left(\frac{1 - \chi}{2} \cdot \frac{F_{2i} d_i}{E_{TP} S_{\psi i}^C} + \frac{F_{2i}}{E_{Ж}} \right), \quad (7)$$

где $H_{max i}$ - величина хода поршня i -го гидроцилиндра;
 $d_i, S_{\psi i}^C$ - диаметр и толщина стенок сливной полости i -го гидроцилиндра.

Все элементы и узлы гидросистемы, по которым протекает жидкость, характеризуются гидравлическими сопротивлениями как местными (в заделках и ответвлениях, в сужениях, расширениях и поворотах потока), так и линейными, зависящими от протяженности каналов.

Так как поток жидкости проходит по трубопроводам и каналам разного сечения, то при определении коэффициента гидравлического сопротивления участка гидросистемы все коэффициенты различных местных сопротивлений приводятся к выбранной площади поперечного сечения участка по формуле:

$$\xi_i = \xi'_i \frac{\rho}{2 f_i^2}, \quad (8)$$

где ξ'_i - безразмерный коэффициент местного гидравлического сопротивления, который определяется на основании экспериментальных и справочных данных для конкретного характера местного сопротивления;

ρ - плотность рабочей жидкости;

f_i - площадь поперечного сечения, по которому рассчитывается коэффициент гидравлического сопротивления.

Моделирование работы гидросистемы секций механизированной крепи заключается в моделировании совместной работы N гидроцилиндров, количество которых зависит как от конструкции и технологии работы комплекса, так и от моделируемой технологической операции.

Как отмечалось выше, выполнение даже статических расчетов гидравлических схем механизированных крепей является задачей весьма трудоемкой. К тому же, получаемые

результаты значительно отличаются от фактических данных и могут быть использованы только на начальной стадии проектирования для прикидочного выбора гидроэлементов гидросистемы секции крепи. Для окончательного анализа на стадии проектирования различных вариантов гидросистем, определения их быстродействия по выполнению операций секцией, а также получения информации о динамических явлениях в гидросистеме для дальнейшей оценки надежности работы регулирующей и распределительной аппаратуры гидропривода, очевидна необходимость выполнения динамического расчета гидросистемы механизированных крепей.

Специфичность гидропривода механизированных крепей определяет особенности и сложность математического описания процессов, протекающих в его гидроэлементах. Системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка (1), (2) и (4) образуют математическую модель гидросистемы механизированных крепей. На основании формулы (5) определяется суммарное количество уравнений, входящих в эти системы, которое зависит от числа моделируемых одновременно работающих гидроцилиндров. Для примера, при расчете гидросистемы четырехстоечной секции крепи МТ во время выполнения операции передвижки с одновременной разгрузкой необходимо моделирование одновременной работы шести гидроцилиндров, что соответствует решению системы сорока одного дифференциального нелинейного уравнения. Число уравнений может изменяться в процессе моделирования в результате разного времени начала и окончания выполнения работы различными гидроцилиндрами. Перечисленные выше особенности расчетов показывают необходимость разработки алгоритмов и программ для ПЭВМ, позволяющих получить необходимый объем данных о динамике работы проектируемой гидросистемы, что позволит автоматизировать процесс проектирования и сократить объем и трудоемкость экспериментальных и доводочных работ.

На рис.2 приведен укрупненный алгоритм математического моделирования динамики работы гидросистемы механизированных крепей.

Алгоритм позволяет промоделировать как выполнение отдельной технологической операции, так и последовательности операций, заданных пользователем. Так как работа гидросистемы сводится к попеременной подаче давления либо в штоковую, либо в поршневую полости определенного количества гидроцилиндров, то подготовка моделирования сводится к заданию исходных данных (конструктивных параметров гидроцилиндров и элементов гидросистемы, коэффициентов упругости и гидравлических сопротивлений участков гидросистемы и сопротивления перемещению каждого гидроцилиндра) и заданию последовательности подключения полостей гидроцилиндров к напорной и сливной гидромагистралям (блоки 1 и 2 рис.2). Здесь же вводится и количество одновременно работающих гидроцилиндров при выполнении j -й операции.

В блоках 3 и 12 определяется номер текущей операции, в зависимости от которого в блоке 4 вычисляются коэффициенты при производных от расходов жидкости и давлений в гидросистеме для систем дифференциальных уравнений (1), (2) и (4) и формируется массив коэффициентов A_{ij} . До начала решения системы дифференциальных уравнений задается вектор начальных значений и параметров интегрирования (блок 5) и обнуляется счетчик количества закончивших работу гидроцилиндров в j -й операции (блок 6).

Блок 8 проверяет окончание моделирования j -й операции. В случае, если не все гидроцилиндры закончили работу (величина перемещения какого-либо гидроцилиндра меньше заданной), то моделирование операции продолжается после восстановления входного вектора весовых коэффициентов погрешности и вектора начальных условий, исключая параметры, относящиеся к закончившим работу гидроцилиндрам (блок 9), а также после вычисления нового количества дифференциальных уравнений, оставшихся в системе (блок 10).

Моделирование прекращается, если расчеты выполнены для всей заданной после-

довательности операций технологического цикла (блок 11).

Приближенное решение системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка (имеются в виду объединенные в общую систему уравнения (1), (2) и (4)) осуществляется по методу Рунге-Кутты. Метод имеет четвертый порядок точности, устойчив и для получения решения в следующей точке требует значения решения только в одной предыдущей точке.

Разработанный алгоритм является основой для создания системы автоматизированного проектирования гидропривода механизированных крепей (САПГМК).

В качестве контрольного примера был выполнен процесс моделирования операции перемещения секции крепи 1М88 с одновременной разгрузкой гидростоек (параллельная работа трех гидроцилиндров).

Исходные данные:

- количество гидроцилиндров – 3
- давление жидкости в напорной гидромагистрале – 20 МПа
- величина перемещения секции крепи – 0,68 м
- максимальный расход рабочей жидкости – $1,32 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$
- площади напорной и сливной полостей гидроцилиндров:
- гидростойки:
 - напорная – $0,13 \text{ м}^2$;
 - сливная – $0,05 \text{ м}^2$;
- гидродомкрат:
 - напорная – $0,08 \text{ м}^2$;
 - сливная – $0,03 \text{ м}^2$;

Результаты моделирования перемещения секции крепи 1М88Н с одновременной разгрузкой гидростоек приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные параметры гидросистемы

Значение времени, с	Перемещение ГС1, ГС2, м	Перемещение секции крепи, м	Давление в напорной гидромагистрале, МПа	Расход жидкости в напорной гидромагистрале, $\times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	Давление в поршневой полости гидростоек, Мпа	Давление в штоковой полости гидростоек, Мпа	Давление в штоковой полости гидродомкрата, Мпа	Давление в поршневой полости гидродомкрата, Мпа
0	0,000	0,00	20,0	0	20,0	0,0	0,0	0,0
1	0,001	0,00	19,5	0,85	3,2	19,4	18,6	7,2
2	0,005	0,00	17,3	0,21	3,0	17,1	17,2	2,5
3	0,010	0,05	17,1	0,32	3,1	16,9	17,1	2,9
4	0,012	0,10	16,5	0,37	3,1	16,4	16,5	3,1
5	0,014	0,17	16,8	0,41	3,5	16,5	16,7	3,4
6	0,017	0,26	17,2	0,45	3,7	16,8	17,1	3,8
7	0,020	0,39	17,9	0,48	3,9	17,1	17,7	4,2
8	0,021	0,49	18,1	0,48	4,1	17,3	18,0	4,9
9	0,025	0,55	18,1	0,48	4,5	17,6	18,1	5,0
10	0,025	0,62	18,2	0,48	4,5	18,1	18,1	5,0
11	0,025	0,68	18,5	0,01	4,5	18,2	18,4	5,1

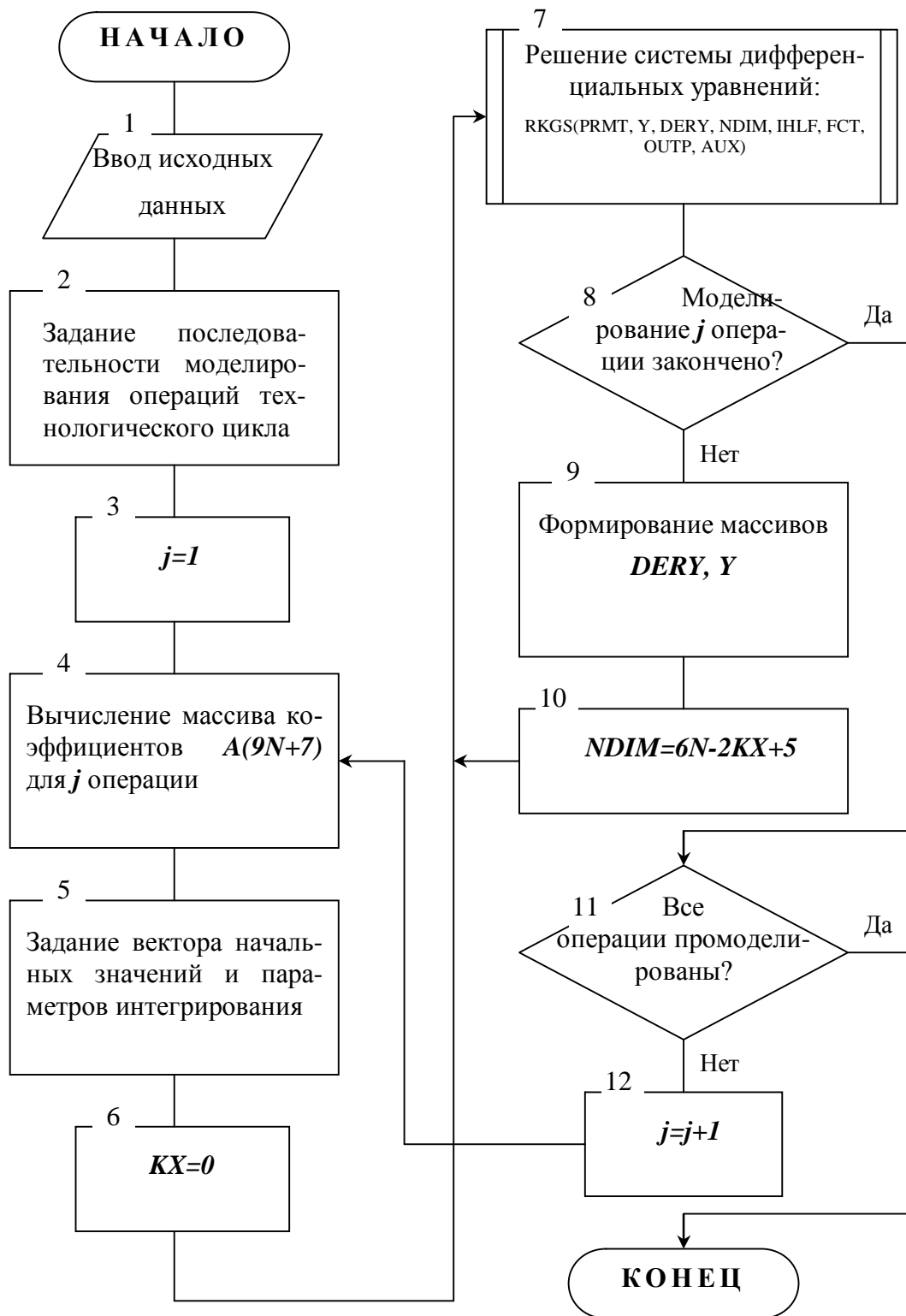


Рис.2. Блок-схема алгоритма моделирования гидросистемы крепи.

На рис. 3 приведен пример графического представления результатов моделирования.

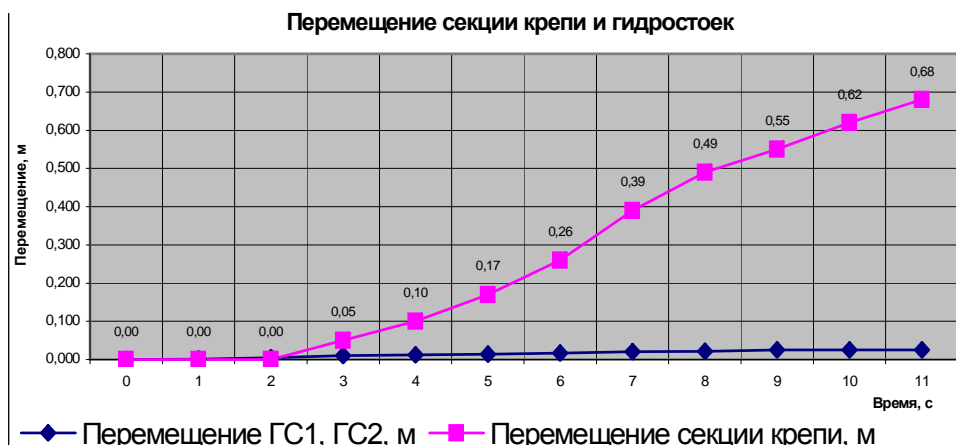


Рис. 3. Графическое представление моделирования перемещения секций крепи и гидростоек

Выводы.

Выполненные расчеты показали работоспособность приведенного алгоритма и разработанной программы. Результаты моделирования могут быть положены в основу определения рациональных значений конструктивных параметров гидравлических элементов гидросистемы крепи и анализа динамических процессов в выбранной схеме.

Полученная в результате исследований математическая модель позволяет решать задачи как прямых гидравлических расчетов, при которых известно потокораспределение в системе и требуется определить рациональные значения конструктивных параметров гидравлических элементов, так и обратных - известны конструктивные и технологические параметры механизированной крепи, а необходимо промоделировать динамические процессы в гидросистеме и определить время выполнения различных операций. Исследование статических и динамических характеристик отдельных гидроэлементов и гидросистем в целом позволит выявить факторы, оказывающие решающее влияние на режим работы крепи, и обосновать допущения, которые могут быть приняты в инженерных расчетах. Результатом исследований являются также модели гидроэлементов механизированной крепи, которые в различных сочетаниях и перестановках используются для расчета на ПЭВМ вариантов гидросистем крепей и являются математической базой для разработки систем управления гидроприводом механизированных крепей автоматизированных комплексов, обеспечивающих повышение скорости крепления лавы в различных горно-геологических условиях эксплуатации.

Список литературы: 1. Расчет и конструирование гидроприводов механизированных крепей/ Ю.Ф.Пономаренко, А.А.Баландин, Н.Т.Богатырев и др. Под общ. ред. Ю.Ф.Пономаренко. - М.: Машиностроение, 1981, 327 с. 2. Пономаренко Ю.Ф., Баландин А.А. Инженерная методика проектного расчета параметров гидросистемы механизированных крепей. - М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1981, 22 с. 3. Хандрос А.Х., Молчановский Е.Г. Динамика и моделирование гидроприводов станков. - М.: Машиностроение, 1969, 156 с. 4. Технология подземной разработки и процессы горных работ в очистных забоях крутых и крутонаклонных угольных пластов. / Под ред С.С. Гребенкина: Донецк, КП «Регион», 2000. – 506с. 5. Численный метод расчета переходных процессов в длинных трансмиссиях буровых машин /Г.Г. Бойко, П.А. Горбатов, В.Г. Гуляев, В.Н. Павлыш, И.В. Шавлак //Сб. науч. тр. НГА Украины. - Днепропетровск, 1998. - № 3. - Том 6. - С.47-53.

Сдано в редакцию 17.05.06
Рекомендовано д.т.н. Параскив Д.