



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Гидравлика, гидропневмоавтоматика и тепловые
процессы»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы

«Исследование рабочего цикла пневматического позиционного привода с управлением ПЛК»

Авторы
Дао Тхе Ань,
Полешкин М.С.

Ростов-на-Дону, 2016

Аннотация

Методические указания содержат основные сведения по исследованию характеристик позиционного пневмопривода с заданием цикла от ПЛК. Приведены аналитические выражения, используемые при постановки эксперимента, дана методика исследования с применением современных средств сбора, визуализации и обработки информации.

Пособие рекомендовано студентам 3 и 4 курса очной формы нормативного и сокращенного срока обучения по направлениям: 27.03.05 «Инноватика» и 13.03.03 «Энергетическое машиностроение».

Авторы:



Аспирант Дао Тхе Ань



доцент, к.т.н. Полешкин М.С.





Оглавление

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	4
2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	4
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА	7
4. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА	10
5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	14
6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРОГРАММА ПЛК ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЦИКЛА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОКНО ЭЛЕМЕНТОВ ПРОГРАММЫ POWERGRAPH	19
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	20



1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное определение параметров быстродействия и точности позиционирования пневмопривода линейного перемещения руки-схвата робота в заданном рабочем цикле

Проведение таких исследований, позволяет спланировать и осуществить многофакторный эксперимент для определения оптимальных по быстродействию и точности параметров настройки пневмопривода.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Развитие отрасли машиностроения определяется степенью автоматизации и производительностью применяемого технологического оборудования. Широкое применение в технологическом оборудовании нашли пневматические приводы, обеспечивающие рабочие движения, транспортировку и переориентацию заготовки или инструмента в зоне технологической операции. Зачастую, к таким приводам предъявляются жесткие требования по точности и быстродействию перемещений [1].

Позиционный пневмопривод (рис.2) применяется в технологическом оборудовании для обеспечения жестких, редко перенастраиваемых рабочих циклов, что характерно для серийного и массового производства. Основное преимущество таких приводов – простота и экономичность, недостаток – необходимость переналадки, невысокая точность позиционирования, в связи с чем рекомендуется применять для менее сложных систем.

Высокое быстродействие пневмопривода, обуславливает проблему его точности останова $\cdot L$ в заданной координате (B). Рассматривая траекторию перемещения: O-A-C-B (рис.1), можно разделить его движение на участки разгона и торможения с выходом непосредственно в заданную точку [2]. При этом в автоматизированных программных пневмоприводах используют датчики положений, расположенные по ходу перемещения выходного звена в местах переключения скорости (A-C-D).

Гидрофицированное технологическое оборудование

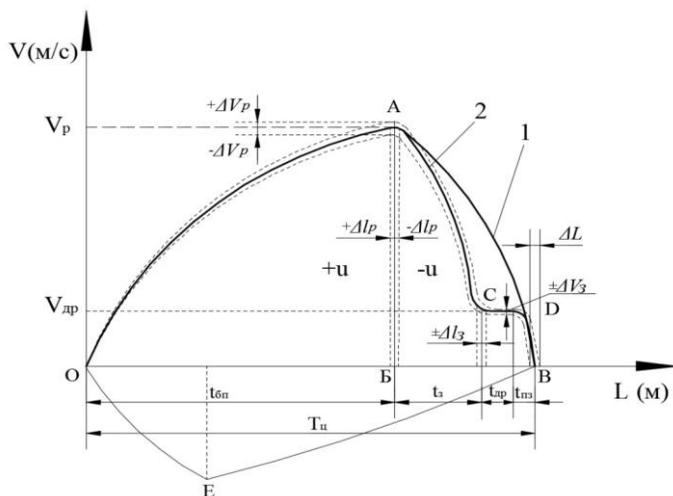


Рис.1 Типовые траектории движения целевого механизма:
 1- обобщенная траектория движения исполнительных механизмов
 2- оптимальная траектория движения; 3- траектория движения исполнительных механизмов в назад.

Исследование таких систем, связано с определенными трудностями и требует специализированного оборудования и методик эксперимента [3]. Специальное стендовое оборудование помогло решить следующие задачи:

- провести предварительные испытания на правильность и устойчивость функционирования в организации рабочего цикла с управлением ПЛК;
- исследовать процесс останова предлагаемых схемотехнических решений автоматизированного пневмомеханического привода с внешним тормозным устройством;
- оценить влияние кинематических, силовых и гидравлических параметров на быстродействие и точность позиционирования привода.

Гидрофицированное технологическое оборудование

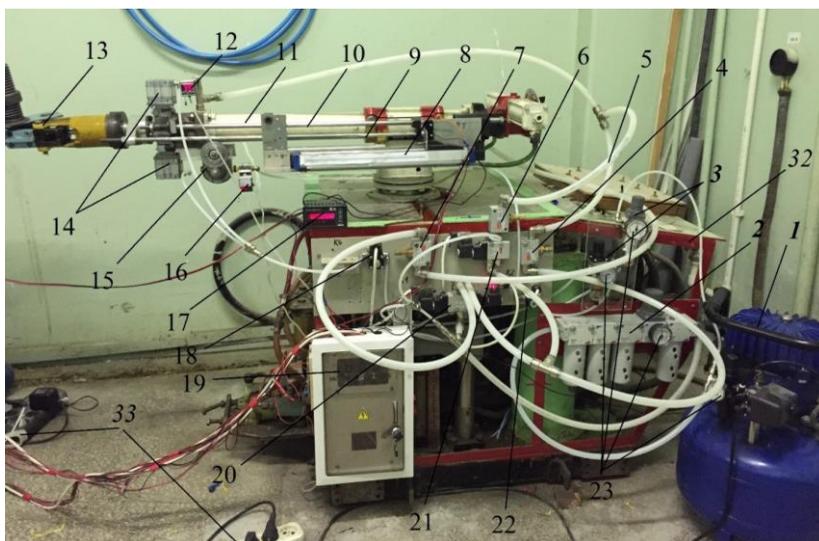


Рис.2 Стенд-модель для исследования автоматизированного позиционного пневмопривода: 1- компрессор; 2- блок заготовки воздуха; 3- регуляторы давления; 4, 6, 7- дросселируемые с обратным клапаном; 5- труба TRN14/12; 8- датчик перемещения; 9- зубчатая рейка; 10- направляющая рейка; 11- силовой пневмоцилиндр; 12, 16- датчики давления; 13- масса; 14- тормозные пневмоцилиндры; 15- многопараметрический пневмомеханический датчик; 17- счётчик импульсов; 18, 20, 21, 22- пневматические распределители; 19- электрический шкаф; 23- манометры; 33- электрические усилители.

На рис. 3 представлен общий вид контрольно-измерительного комплекса и управляющих устройств позиционного пневмомеханического привода, позволяющий смоделировать позиционный АПП. Комплекс предназначен для визуализации значений основных кинематических, гидравлических и силовых параметров и задания исходных данных эксперимента.

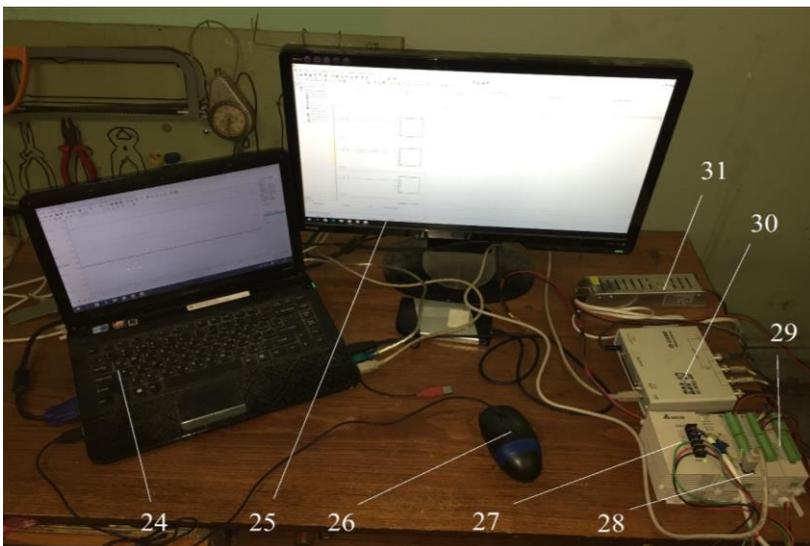


Рис.3 Контрольно-измерительный комплекс для исследования пневмопривода: 24- компьютер; 25- внешний монитор; 26- мышь; 27- блок питания ПЛК; 28- ПЛК; 29- модуль аналогового расширения; 30- аналого-цифровой преобразователь E20-10; 31- блок питания 24В; 32- рамка.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальный стенд, базируется на пневмоаппаратуре компании Samozzi и позволяет исследовать большинство кинематических характеристик линейного позиционного пневмопривода руки-схвата: скорости $V(t)$; перемещения $L(t)$; нагрузки $F(V)$ и др.

Взаимосвязи элементов образующих механическую, пневматическую и управляющую подсистемы стенда, поясняются принципиальной схемой представленной на рис.4.

Гидрофицированное технологическое оборудование

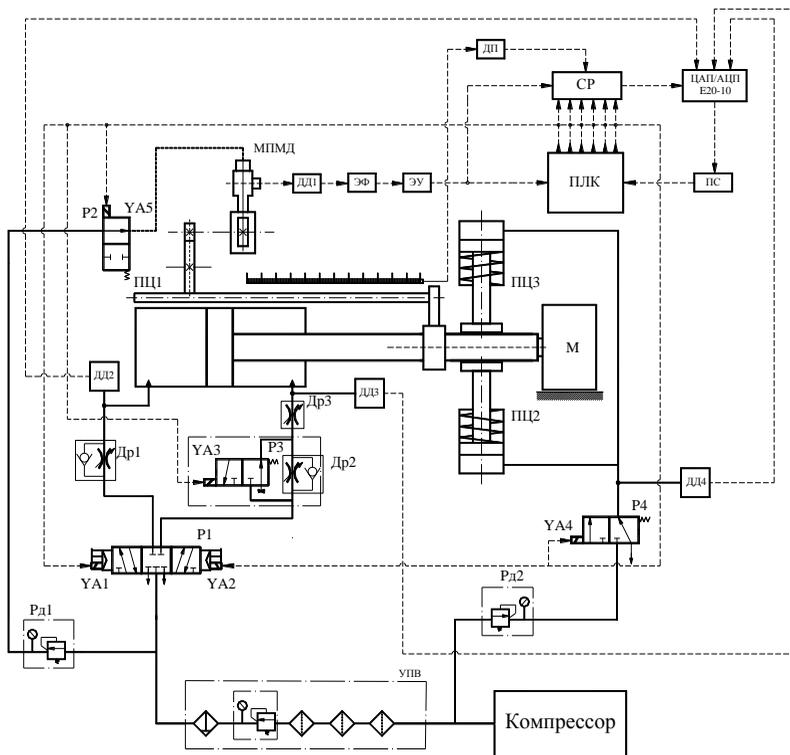


Рис.4 Принципиальная пневматическая схема экспериментального стенда

Стенд оснащен дополнительными функциональными модулями: программируемый логический контроллер (ПЛК) - служит для задания координаты перемещения (замедление и остановка) и формирования управляющих сигналов на электромагнитах (YA1-YA5) пневмораспределителей (P1-P4) в соответствии с заложенным алгоритмом управления позиционным циклом привода. Информация о перемещении исполнительного механизма стенда поступает от многопараметрического пневмомеханического датчика (МПМД), позволяющего преобразовать перемещение пневмоцилиндра ПЦ1 в импульсный электрический сигнал.

Гидравлические и кинематические характеристики пневмоцилиндра измерялись МПМД. Выбег пневмоцилиндра определялся МПМД при преобразовании перемещения L в число импульсов давлений МПМД. Давление в напорной p_1 , сливной p_2 линиях и

цилиндры торможения в динамическом режиме определяли датчиками давления ДД2- ДД4 (SWCN- P10- P3- 2).

Контроллер ПЛК Delta (DVP-28SV) формирует управляющие сигналы на электромагнитах (YA1-YA4) пневмораспределителей. Для сопряжения платы ЦАП-АЦП (L-Card E20-10), поскольку требуется напряжение $\pm 3\text{В}$ и входное сопротивление аналогового входа $\leq 5\text{ мОм}$, используется преобразующее устройство, функциональная схема которого приведена на рис.5.

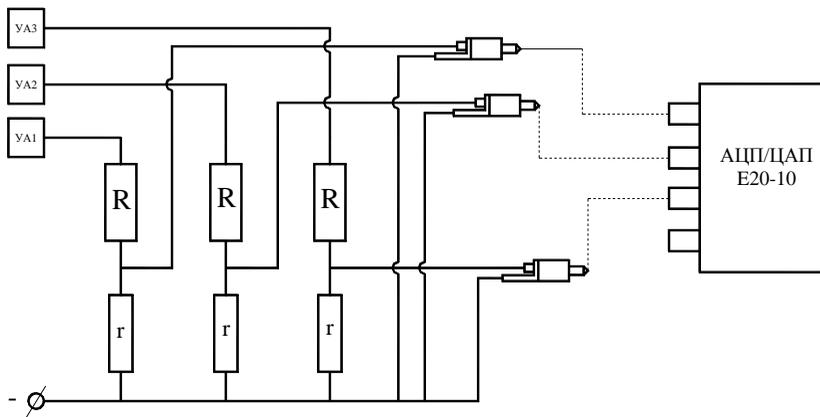


Рис. 5 Схема подключения электромагнитов стенда АПП:
 YA1- YA3 – электромагниты пневмораспределитель P1, P3, P4;
 R = 100 кОм, r = 10кОм – резисторы; ЦАП/АЦП E20-10- ана-
 лого-цифровой преобразователь.

Аппаратно-программный преобразователь ЦАП-АЦП «E20-10» представляет автоматизированную систему, обеспечивающую управление процессом испытаний, сбор и обработку результатов измерений. ЦАП-АЦП «E20-10» обеспечивает программную поддержку натурального эксперимента, корректную обработку измерений в реальном времени пакета PowerGraph v.3.8.

Аппаратно-программный преобразователь включает аппаратную плату ЦАП-АЦП «L-Card E20-10» интерфейса ввода и вывода аналогово-цифровой информации с использованием встроенного процессора цифровой обработки сигналов и позволяет выполнять:

- преобразование аналоговых сигналов гидрокинематического датчика в цифровую последовательность для дальнейшей компьютерной обработки;



Гидрофицированное технологическое оборудование

- управление распределителями P1, P2, P3 и P4;
- управление приводом и порошковым тормозом по перемещению.

Энергосиловая установка станда реализована на базе одноступенчатого поршневого компрессора JUN-AIROF302-25B производительностью 35 н.л/мин и узла подготовки воздуха (УПВ) (рис.4).

Экспериментальный стенд позволяет выполнить исследования:

- процесса разгона, замедления и останова пневмомеханической системы АПП, траектории движения, изменения скорости, ускорения, давления на входе и выходе пневмоцилиндров;
- быстродействия пневмомеханической системы АПП и его составляющих: времени разгона, длительности участков замедления; определения выбега силового пневмоцилиндра при включении программы управления пневмопривода (ISPSOft Delta2.04) в режиме онлайн.
- влияния перемещаемых масс, скорости позиционирования и усилий при торможении, на точность позиционирования привода, определяемую величиной выбега L_B и его рассеиванием ΔL_B при повторных перемещениях:

$$\Delta L_{\text{поз}} = L_B + \Delta L_B. \quad (1)$$

где L_B – положительный выбег гидроцилиндра, мм;
 ΔL_B – рассеяние выбега, мкм.

Пневмомеханическая части станда позволяют исследовать позиционный пневмопривод в определенном диапазоне значений параметров (табл.1), и в дальнейшем применяя методы масштабирования, проецировать результаты на больший диапазон параметров.

4. Проведение эксперимента

В соответствии со схемой на рис.4, управление циклом экспериментального станда производится при помощи панели управления.

Для начала экспериментального исследования, необходимо выполнить следующие подготовительные действия:

4.1. Проверить подключения электронных компонентов системы: датчиков (ДД2-ДД4), ЦАП-АЦП (Е20-10), электромагнитов



Гидрофицированное технологическое оборудование

(УА1-УА3) и блока питания.

4.2. Включить компрессор, предварительно настроив его клапан-регулятор на рабочее давление 6 Бар.

4.3. Нажав кнопку «ВКЛ», включить систему электронную систему управления и измерительный комплекс.

4.4. Запустить программу PowerGraph v3.8, выбрав в качестве выходного устройства плату E20-10 и создать новый файл (Файл – Создать – Новый) для записи осциллограммы эксперимента.

4.5. Убедиться что шток пневмоцилиндра втянут до упора и стэнд находится в исходном положении. В случае, если шток выдвинут, нажать кнопку «Обратный ход» на пульте управления стендом.

4.6. Запустить программу PowerGraph v3.8, нажав кнопку «Пуск» и начать проведение эксперимента.

4.7. Включить программу ISPSOft и установить значение переменной Lz в программе ПЛК (строка Network 8, см. приложение 1) на значение заданное преподавателем.

4.8. По указанию преподавателя установить давление P1 P2 в напорной и сливной полостях пневмоцилиндра по показаниям датчиков давления ДД2, ДД3. Настроить дроссели ДР1, ДР2 на заданные скорости V_{рп}, V_{бо} движения выходного звена (см.рис.4). При снятии параметров пневмопривода настройка дросселей не изменяется.

Варьирование параметров гидропривода при исследовании задается в пределах значений указанных в табл.1. При этом, необходимо провести серию экспериментов в интервале: 4-10 раз (задается преподавателем). Систематические погрешности оценивать по точности измерительных приборов и принятого метода измерений [5].

Таблица 1. Диапазоны параметров позиционного пневмопривода

№ ПП	НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ	ДИАПАЗОН
1	Скорость позиционирования, мм/с	10 - 100
2	Рабочее давление в пневмосистеме, бар	2 - 8
3	Перемещаемая масса, кг	5 - 17
4	Координата точки позиционирования, мм	80 - 300
5	Температура в пневмосистеме, К	273 - 310
6	Максимальная скорость привода м/с	До 0,4



Гидрофицированное технологическое оборудование

4.9. Исследование времени позиционирования T_z выходного звена пневмопривода в зависимости от перемещаемых масс $M_{пр}$ производится при помощи установки на полку пневмосхвата 13 (рис.1) грузов различной массы (задается преподавателем). Исследуется работа пневмоцилиндра при выдвигении, т.е. процесс разгона и останова АПП в точке позиционирования заданной программно. При включении режима движения кнопкой «ВКЛ Цикл1» автоматически срабатывает счетчик времени, отсчет которого заканчивается при останове пневмоцилиндра.

Показания счетчика времени T_z и перемещаемой массы $M_{пр}$, записываются в соответствующие колонки таблицы 2. Рекомендуемое количество повторений опытов 4-10 раз.

Таблица 2. Результаты эксперимента

№	Масса груза, $M_{пр}$, кг	Время, T_z , с						Время среднее, $T_{ср}$, с	Давление управления P_y , бар
		Количество повторений опытов							
1	10								
2	10.5								
3	11								
4	11.5								
5	12								
6	12.75								
7	13.5								
8	14.25								
9	15								
10	15.5								

4.10. Исследование точности позиционирования ΔL_z выходного звена пневмопривода в зависимости от перемещаемых масс $M_{пр}$ и выполняется в соотв. с п.8. При этом, исследуется работа гидроцилиндра в прямом направлении, т.е. процесс разгона и останова АПП в точке позиционирования заданной программно.

При включении режима движения кнопкой «ВКЛ Цикл 2» автоматически записывается осциллограмма перемещения штока гидроцилиндра, по средствам линейного датчика положения ДП (рис.4), значения которого выводятся на экран программы



Гидрофицированное технологическое оборудование

PowerGraph.

Автоматически численные значения координаты появляется в программе ISPSOft в строке Network как переменная D0. Показания счетчика времени $TЭ$ и перемещаемой массы $M_{пр}$, записываются в соответствующие колонки таблицы 2. Рекомендуемое количество повторений опытов 4-10 раз.

Таблица 3. Результаты эксперимента

№	Масса груза, $M_{пр}$, кг	Координата, $\Delta Lэ$, мм						Координата средняя, $\Delta L_{ср}$, с	Давление управления P_u , бар
		Количество повторений опытов							
1	10								
2	10.5								
3	11								
4	11.5								
5	12								
6	12.75								
7	13.5								
8	14.25								
9	15								
10	15.5								

Точность позиционирования при экспериментальном исследовании $\Delta Lэ$ определяется выражением:

$$\Delta Lэ = L_A - L_K ; \quad (2)$$

где L_A – заданное положение координаты выходного звена, мм;

L_K – действительное (экспериментальное) положение координаты выходного звена, мм;

Для дальнейших расчетов, в п.8 и п.9 определяем среднее арифметическое значение величин $TЭ$ и $\Delta L_{ср}$ записываем в соответствующие колонки таблицы 2 и таблицы 3.



5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Обработка полученных экспериментальных данных проводится с применением программного пакета Microsoft Excel, куда импортируются полученные значения из программы PowerGraph[4]. Данные с программы ISPSoft вводятся вручную. Для подтверждения адекватности эксперимента, используем метод визуализирующий нормальное распределение полученных результатов, для этого:

5.1.1 Определяем числовые выражения методом наименьших квадратов для этого возводим значение M_{np} , в степень, записав результат в соответствующую колонку таблицы 4.

5.1.2 Для определения функции зависимости M_{np} от параметров $T_{\text{э}}$ и $\Delta L_{\text{э}}$, зададимся выражением для создания и решения матрицы:

$$U * Z_1 = V_1 \rightarrow Z_1 = U^{-1} * V_1 \quad (3)$$

5.1.3 Поставив в столбцы и строки степенные значения M_{np} из таблицы 4, создадим матрицу вида, решив которую определим коэффициентов функции:

$$U = \begin{bmatrix} \sum M_{np}^4 & \sum M_{np}^3 & \sum M_{np}^2 \\ \sum M_{np}^3 & \sum M_{np}^2 & \sum M_{np} \\ \sum M_{np}^2 & \sum M_{np} & n \end{bmatrix}, V_1 = \begin{bmatrix} \sum M_{np}^2 * T_{\text{э}} \\ \sum M_{np} * T_{\text{э}} \\ \sum T_{\text{э}} \end{bmatrix}, Z_1 = \begin{bmatrix} z_{12} \\ z_{11} \\ z_{10} \end{bmatrix} \quad (4)$$

При решении матрицы, рекомендуется использовать вычислительные пакеты Excel или MatchCad, результаты решения примера приведены далее.

$$U = \begin{bmatrix} 507420,2578 & 34764,1875 & 2437,875 \\ 34764,1875 & 2437,875 & 175,5 \\ 2437,875 & 175,5 & 13 \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} 1024,74625 \\ 71,345 \\ 5,095 \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} 0,00044974 \\ 0,025197627 \\ -0,032584198 \end{bmatrix} \quad (5)$$

5.1.4 Составляем аппроксимированную функцию в зависимости от перемещаемой массы, используя найденные коэффициенты z_{10} , z_{11} , z_{12} :

$$F_1(M_{np}) = z_{10} + z_{11} * M_{np} + z_{12} * M_{np}^2 \rightarrow F_1(M_{np}) = -0,032584198 + 0,025197627 * M_{np} - 0,00044974 * M_{np}^2 \quad (6)$$



Таблица 4. Результаты обработки данных эксперимента

№ опыта	M_{np}	$Tэ$	M_{np}^2	M_{np}^3	M_{np}^4	$M_{np}^2 * Tэ$	$M_{np} * Tэ$
1	10	0.26	100	1000	10000	26	2.6
2	10.5	0.28	110.25	1157.62	12155.06	30.87	2.94
3	11	0.3	121	1331	14641	36.3	3.3
4	11.5	0.32	132.25	1520.87	17490.06	42.32	3.68
5	12	0.34	144	1728	20736	48.96	4.08
6	12.75	0.36	162.56	2072.67	26426.56	59.33	4.65
7	13.5	0.39	182.25	2460.37	33215.06	71.07	5.26
8	14.25	0.41	203.06	2893.64	41234.37	84.27	5.91
9	15	0.44	225	3375	50625	99	6.6
10	15.5	0.46	240.25	3723.87	57720.06	111.11	7.16
Сумма	175.5	5.095	2437.87	34764.18	507420.25	1024.74	71.34

5.2.1 Определяем числовые выражения методом наименьших квадратов [5] для этого возводим значение M_{np} , в степень, записав результат в соответствующую колонку таблицы 5.

5.2.2 Для определения функции зависимости M_{np} от параметров $Tэ$ и $\Delta Lэ$, зададимся выражением для решения матрицы значений:

$$U * Z_2 = V_2 \rightarrow Z_2 = U^{-1} * V_2 \quad (7)$$

5.2.3 Поставив в столбцы и строки степенные значения M_{np} из таблицы 4, создадим матрицу вида, решив которую определим коэффициентов функции:

$$U = \begin{bmatrix} \sum M_{np}^4 & \sum M_{np}^3 & \sum M_{np}^2 \\ \sum M_{np}^3 & \sum M_{np}^2 & \sum M_{np} \\ \sum M_{np}^2 & \sum M_{np} & n \end{bmatrix}, \quad V_2 = \begin{bmatrix} \sum M_{np}^2 * \Delta Lэ \\ \sum M_{np} * \Delta Lэ \\ \sum \Delta Lэ \end{bmatrix}, \quad Z_2 = \begin{bmatrix} z_{22} \\ z_{21} \\ z_{20} \end{bmatrix} \quad (8)$$

При решении матрицы, рекомендуется использовать вычислительные пакеты Excel или MathCad, результаты решения примера приведены далее.



Гидрофицированное технологическое оборудование

$$U = \begin{bmatrix} 507420,2578 & 34764,1875 & 2437,875 \\ 34764,1875 & 2437,875 & 175,5 \\ 2437,875 & 175,5 & 13 \end{bmatrix}, V_2 = \begin{bmatrix} 112,0665313 \\ 7,9181875 \\ 0,5745 \end{bmatrix}, Z_2 = \begin{bmatrix} -0,000247357 \\ 0,00904567 \\ -0,031537667 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Таблица 5. Результаты обработки данных эксперимента

№	M _{np}	ΔLэ	M _{np} ²	M _{np} ³	M _{np} ⁴	M _{np} *ΔLэ	M _{np} ² *ΔLэ
1	10	0.034	100	1000	10000	0.34	3.4
2	10.5	0.036	110.25	1157.62	12155.06	0.37	3.96
3	11	0.038	121	1331	14641	0.41	4.59
4	11.5	0.04	132.25	1520.87	17490.06	0.46	5.29
5	12	0.042	144	1728	20736	0.50	6.04
6	12.75	0.043	162.56	2072.67	26426.56	0.55	7.09
7	13.5	0.04	182.25	2460.37	33215.06	0.61	8.24
8	14.25	0.04	203.06	2893.64	41234.37	0.66	9.51
9	15	0.04	225	3375	50625	0.72	10.91
10	15.5	0.04	240.25	3723.87	57720.06	0.76	11.80
Сумма	175.5	0.57	2437.87	34764.18	507420.25	7.91	112.06

5.2.4 Составляем аппроксимированную функцию в зависимости от перемещаемой массы, используя найденные коэффициенты Z₁₀, Z₁₁, Z₁₂:

$$F_2(M_{np}) = Z_{20} + Z_{21} * M_{np} + Z_{22} * M_{np}^2 \rightarrow F_2(M_{np}) = -0,031537667 + 0,00904567 * M_{np} - 0,000247357 * M_{np}^2 \quad (10)$$

Полученные в результате расчета значения, заносятся в табл.4 и табл.5. На основании выполненного экспериментального исследования необходимо:

1. Построить диаграммы зависимостей: $M_{np} = f(\Delta Lэ)$; $M_{np} = f(Tэ)$.
2. Сделать выводы о степени влияния параметра M_{np}, на точность и быстрдействие позиционного цикла;
3. Дать рекомендации о рациональных режимах функционирования пневмопривода руки робота.



6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Какова структура и принцип действия программного позиционного пневмопривода руки робота?

6.2 Назовите преимущества и недостатки позиционного пневмопривода с внешними тормозными устройствами?

6.3 Объясните работу системы управления позиционным циклом пневмопривода линейного перемещения руки робота?

6.4 Дайте определение точности позиционирования, каким способом происходит контроль точности?

6.5 Объясните влияние нагружающих сил на точность и быстродействие при позиционировании выходного звена пневмопривода?



ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Программа ПЛК для выполнения цикла позиционирования

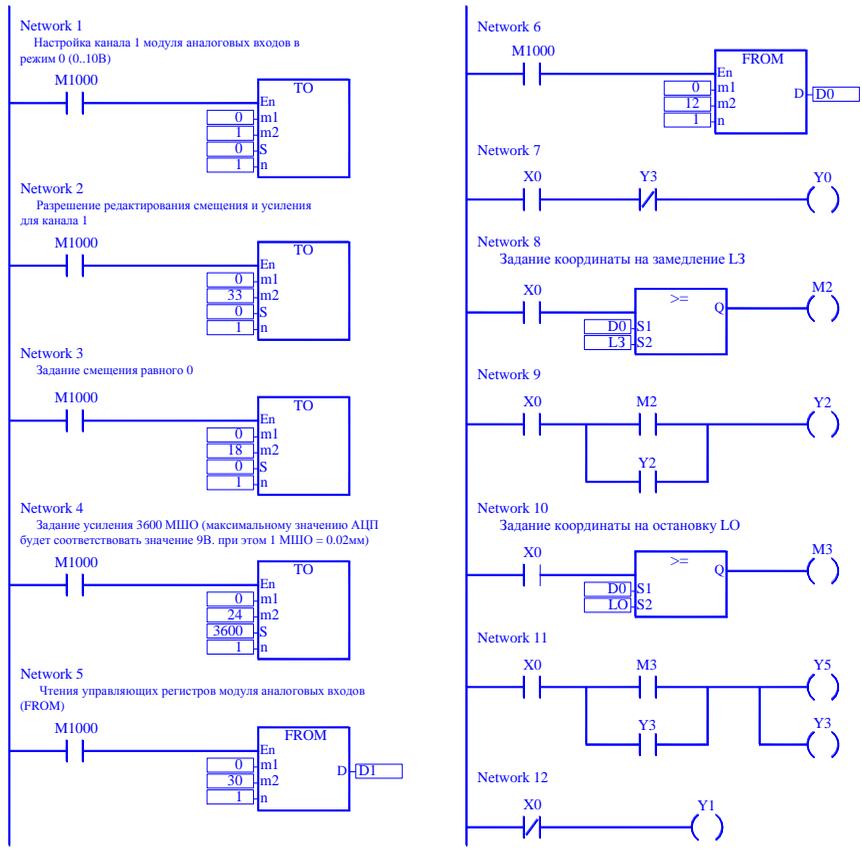


Рис. 6 Программа для автоматического цикла пневмопривода

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Окно элементов программы Power-Graph

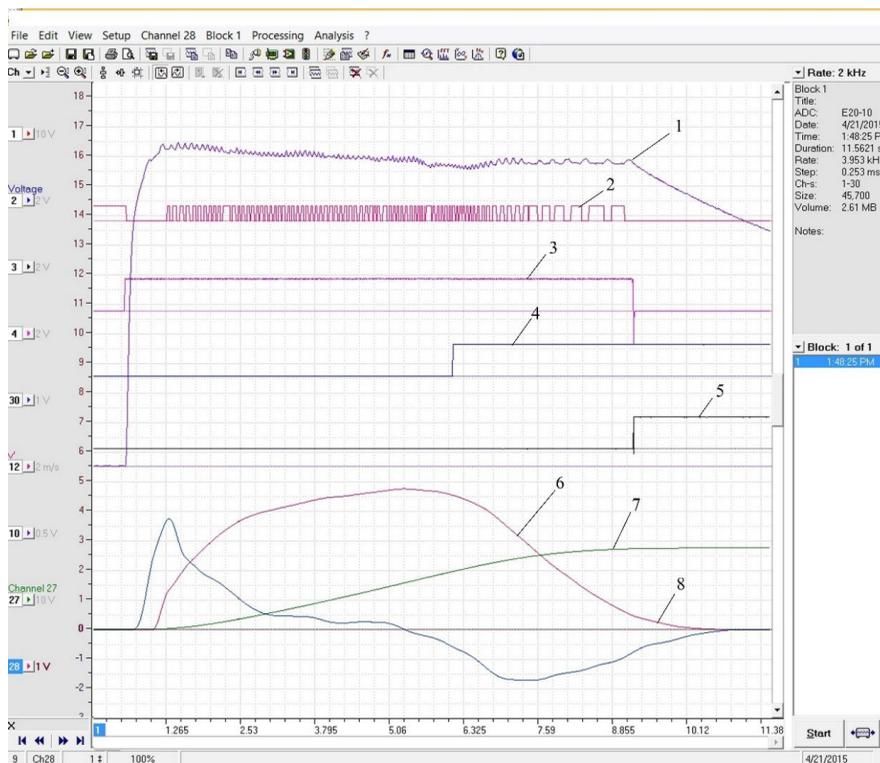


Рис.7 Пример результатов полученных в программе Power-Graph в реальном времени: 1- давление от ПМД; 2- импульсный сигнал; 3- сигнал управления u_1 ; 4- сигнал управления u_2 на замедление; 5- сигнал управления u_3 на остановки; 6- скорость; 7- перемещение; 8- ускорение.



Список литературы

1. Трифонов О.Н. Приводы автоматизированного оборудования / Трифонов О.Н., Иванов В.И., Трифонова Г.О. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
2. Сидоренко В.С. Структурно-параметрическое управление гидромеханическими позиционерами механизмов машин / Сидоренко В.С., Полешкин М.С. // Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин: сб. докл. Междунар. Науч.- техн. конф./ БНТУ. – Минск, 2010. – С.221-227.
3. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: учеб. для студентов вузов по спец. «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / К.Л. Навроцкий.- М.: Машиностроение, 1991.- 384 с.
4. Измайлов Д.Ю. «PowerGraph». Справочник по функциям обработки сигналов / Измайлов Д.Ю. // ПИКАД. 2009, № 1,2. - С. 36-39; 26-28.
5. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. /Л.З. Румшинский/ Главная редакция физико-математической литературы, – М.: Наука, 1971. – 192 с.