

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания к лабораторным работам

Составители:
В.Ф. КОРОСТЕЛЕВ
Н.Г. РАССКАЗЧИКОВ
А.А. ГЛУШКОВ

Владимир 2003

УДК 621.311.6(075.32)

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
Е.Н. Петухов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Автоматизация производственных процессов: методические указания к лабораторным работам / Сост.: В.Ф. Коростелев и др.; Владим. гос. ун.-т. Владимир, 2003. 48с.

Содержат методические указания к лабораторным работам по изучению методов и средств, обеспечивающих автоматическое выполнение отдельных производственных процессов, движений рабочих органов станков и робототехнических комплексов.

Предназначены для студентов специальности 210200 дневной и заочной форм обучения.

Табл. 1 Ил. 22 Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.311.6(075.32)

Правила охраны труда и техники безопасности при проведении лабораторных работ

1. К работе допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, знакомые с принципом работы и конструкцией лабораторной установки.

2. Перед началом работы из рабочей зоны необходимо убрать все посторонние предметы.

3. Запрещается работать на незаземленном оборудовании.

4. Все работы по наладке лабораторной установки производятся только после отключения ее от питающей сети и при отсутствии давления в ней.

5. Запрещается замерять исследуемые параметры без указаний преподавателя, загромождать рабочие места и проходы посторонними предметами.

Лабораторная работа 1 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Цель работы

1. Изучить программно-аппаратный комплекс для литья с кристаллизацией под давлением.

2. Изучить способы задания линейных перемещений исполнительных органов с помощью упоров и конечных выключателей.

Описание лабораторного стенда для исследования процессов литья с кристаллизацией под давлением

Программно-аппаратный комплекс предназначен для изучения, использования и исследования процесса литья с кристаллизацией под давлением.

Комплекс (рис. 1.1) состоит:

- из пресса ПЛД-300 (1);
- вакуумной системы (2);
- информационно-измерительной системы (3);
- управляющей ЭВМ (IBM Pentium) (4);
- устройства связи с объектом управления (5), а также специальной экспериментальной технологической оснастки.

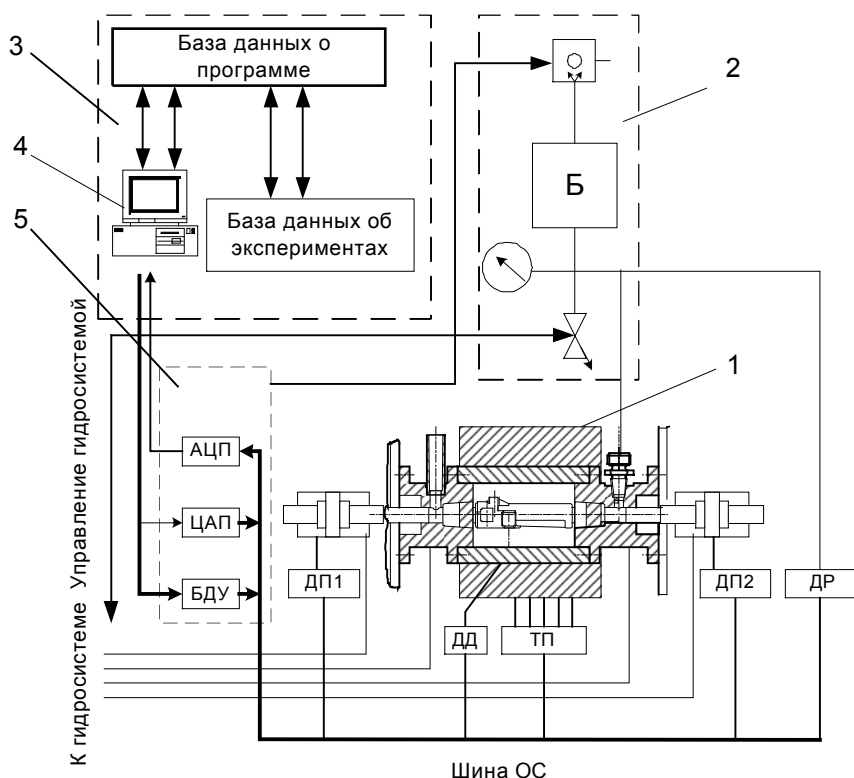


Рис. 1.1. Структурная схема комплекса:

ДП – датчик положения; ДД – датчик давления; ДР – датчик разряжения;
ТП – термопары

Пресс представляет собой гидравлическую машину для литья с кристаллизацией под давлением, с горизонтальным расположением основных силовых агрегатов.

Основные характеристики пресса ПЛД-300.

Максимальное усилие пресса, развиваемое подвижной плитой ...	3 МН (300 тс)
Ход плиты пресса на открывание формы.....	250 мм
Скорость холостого хода плиты пресса.....	50 мм/с
Рабочее усилие гидроцилиндра для наложения давления.....	0,3 МН
Число гидроцилиндров.....	2
Расположение гидроцилиндров	соосное
Скорость холостого хода.....	60 мм/с

Пресс скомпонован как силовой агрегат, состоящий

- из двух соосных встречно-расположенных гидроцилиндров 8 и 13 (рис. 1.2), развивающих каждый в отдельности усилие 0,3 МН и рассчитанных на перемещение пресс-плунжеров на 150 мм, для непосредственного наложения давления на кристаллизующийся металл;
- гидроцилиндра замыкания формы с мультипликатором давления и клапаном высокого давления 3, причем развиваемое гидроцилиндром 2 усилие - 3 МН, ход - 250 мм.

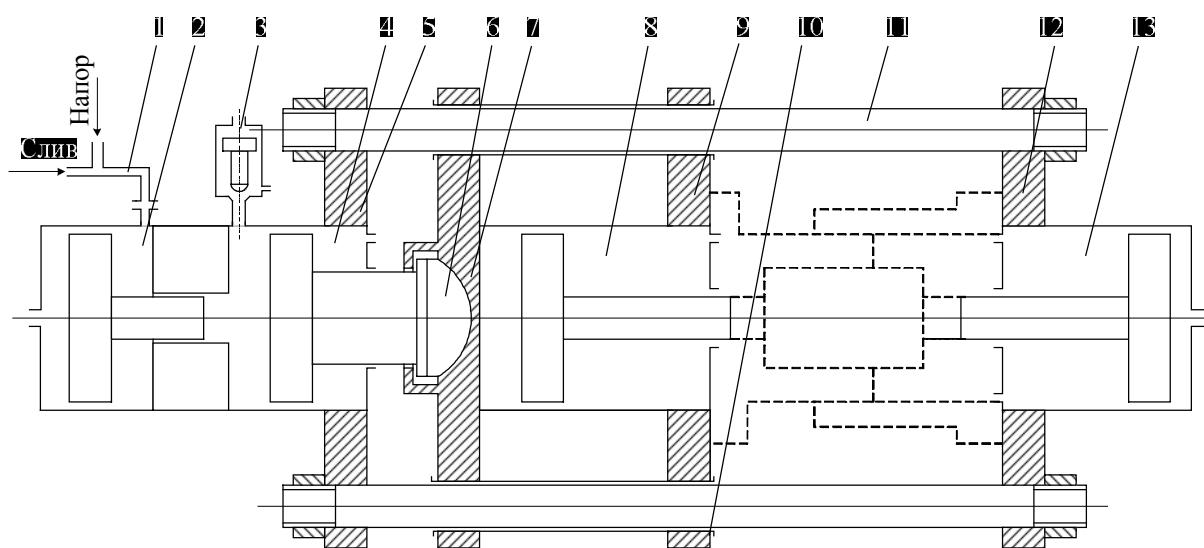


Рис. 1.2. Усиленный подвижный блок пресса

Гидроцилиндры 2, 4, 8 и 13 унифицированы по внутреннему диаметру, который составляет 200 мм. Ход поршня мультипликатора 2, как и ход силового штока гидроцилиндра 4 равен 250 мм, соотношение площадей поршня и штока мультипликатора 1:10, так что давление на поршень гидроцилиндра 4, удерживаемое клапаном 3, при давлении в гидросистеме равном 10 МПа, составляет 100 МПа. Для удержания этого давления гидроцилиндр 4 запрессован в неподвижную плиту 5.

Плита пресса 5 оснащена усиленной направляющей в виде блока, в состав которого наряду с плитой 5 входят также промежуточная плита 7, гильзы 10. Гильзы выполнены с высокой точностью (Н7) как по поверхности контакта с колоннами 11, так и по поверхности запрессовки

(h7) в плиты 5 и 7. Необходимую жесткость блоку придает встроенный гидроцилиндр 8.

Из кинематической схемы, приведенной на рис. 1.3, видно, что установка представляет собой горизонтальный гидравлический пресс с мультипликацией усилия, прикладываемого к подвижной плите, которая состоит из двух неподвижных плит 19, 25 и одной подвижной 21, стянутых колоннами 20. Основной гидроцилиндр для перемещения подвижной плиты 21 и создания на отливку технологического давления запрессован в плите 25; он имеет правую и левую рабочие полости, причем в правой установлен рабочий поршень, шток которого через сферический подпятник связан с плитой 21, а в левой смонтирован поршень со штоком 31 гидромультипликатора. Для включения в работу мультипликатора предусмотрено перекрытие гидромагистрали с помощью специального клапана высокого давления 30.

В неподвижной плите 19 установлен вспомогательный гидроцилиндр 18 (гидроцилиндр прессования), поршень и шток 17 которого связаны с одной из формообразующих частей технологической оснастки или с выталкиванием отливки.

На гидравлической схеме пресса (рис. 1.4) использованы следующие обозначения:

ГЦНД – гидроцилиндр наложения давления;

ГЦВ – гидроцилиндр встроенный;

ГЦСЗ – гидроцилиндр силового замыкания;

ГЦМ – гидроцилиндр мультипликатора;

ГЦТ – гидроцилиндр телескопический;

КВД – клапан высокого давления;

ШТ – присоединительная арматура;

Р – распределитель;

Н – гидронасос;

Ф – фильтр;

ДРР – дроссель регулируемый;

КО – клапан обратный;

КП – клапан перепускной;

МН – манометр;

Б – бак сливной.

Для защиты гидросистемы от гидроударов при отключении КВД в соответствующей магистрали предусмотрены КОЗ и ДРРЗ. Плавность отвода ГЦМ контролируется с помощью ДРР4.

Управление работой гидросистемы осуществляется с пульта ручного управления или в автоматическом режиме от системы управления.

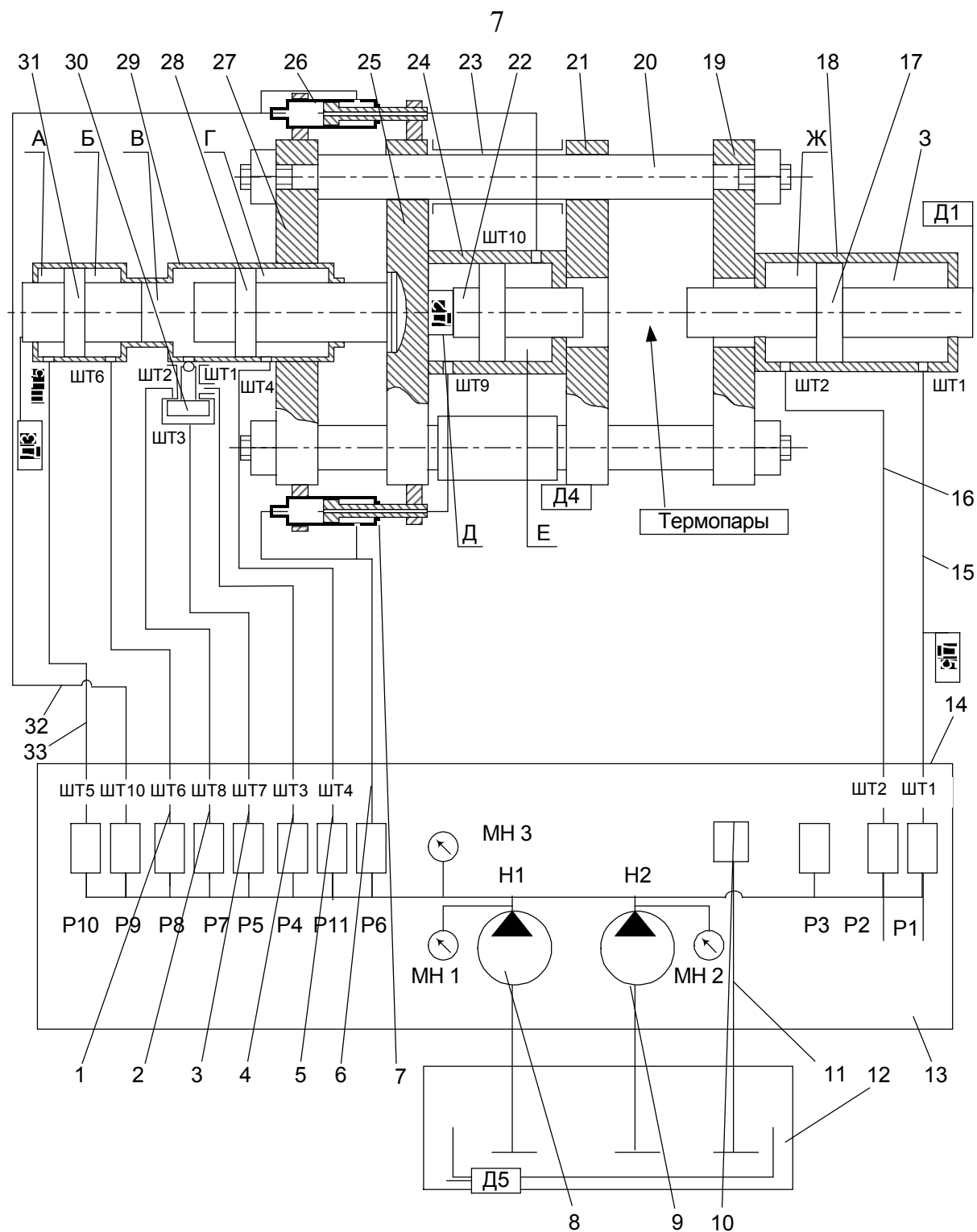


Рис. 1.3. Кинематическая схема прессы:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 15, 16, 32, 33 – трубопровод; 7- гидроцилиндр телескопический первый (ЦТ1); 10 – бак; 12 - короб средний; 13 – гидростанция; 14 – станина; 17, 22, 28 – шток; 18 - гидроцилиндр прессования; 19 - плита правая; 20 – колонна; 21 - плита подвижная; 23 - блок подвижный; 24 – цилиндр; 25 - плита опорная; 26 - гидроцилиндр телескопический второй (ЦТ2); 27- плита левая; 29 - гидроцилиндр силового замыкания, 30 – клапан высокого давления; 31 – мультипликатор

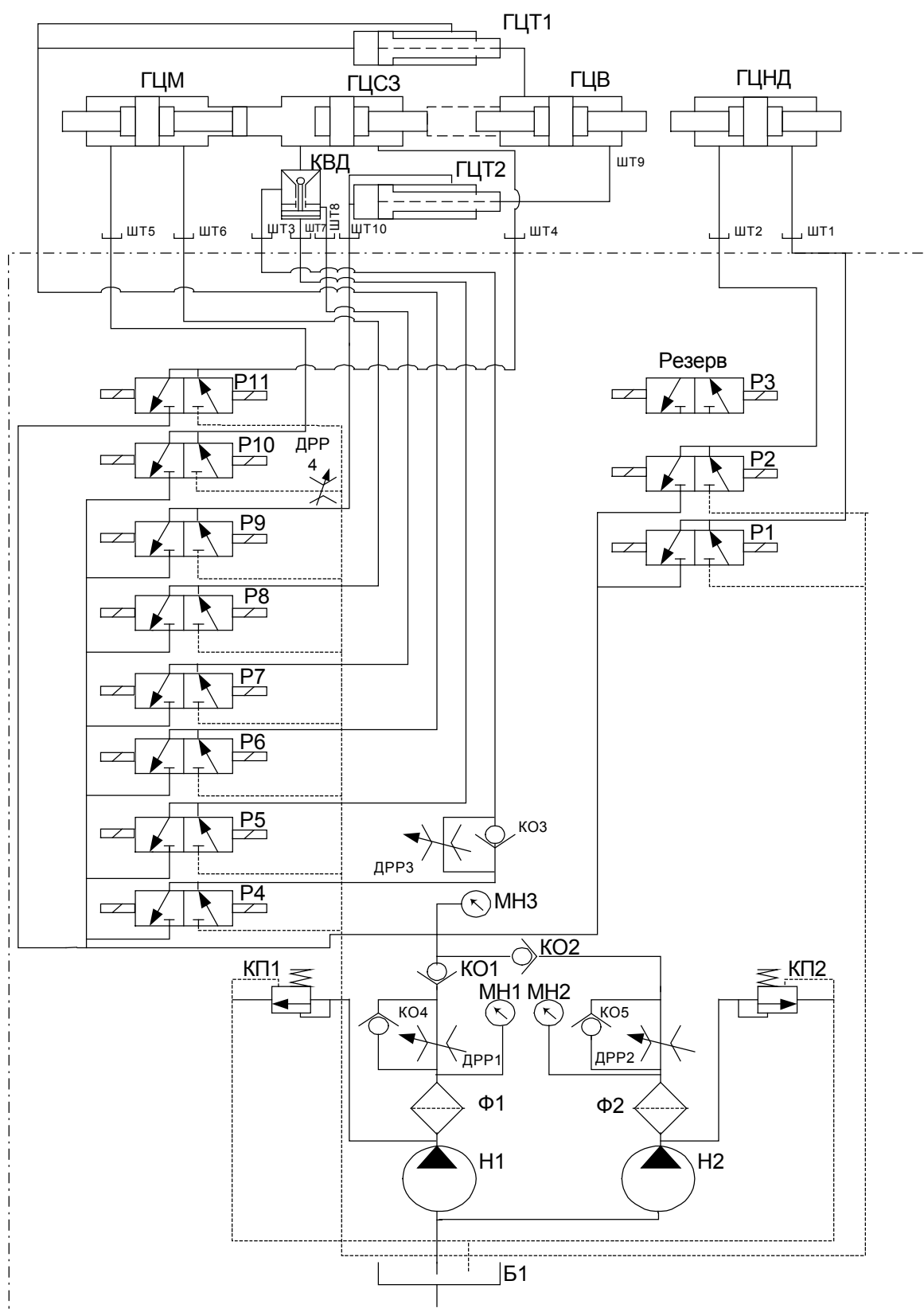


Рис. 1.4. Гидравлическая схема прессы

Гидропривод (см. рис. 1.4) включает два нереверсивных нерегулируемых насоса с постоянной производительностью (Н1, Н2), два фильтра (Ф1, Ф2), два регулируемых дросселя (ДРР1, ДРР2) с обратными клапанами, два перепускных клапана (КП1 и КП2), два обратных клапана (КО1, КО2), три манометра (МН1, МН2, МН3) и бак Б1.

Электрогидропривод состоит из десяти электрогидравлических переключателей (Р1, Р2, Р4, Р5, Р6, Р7, Р8, Р9, Р10, Р11) и одного клапана высокого давления (КВД). Электрогидравлический дискретный переключатель (Р11) сообщается с полостью цилиндра силового замыкания при движении назад, на напорном трубопроводе стоит регулируемый дроссель (ДРР3).

Работа клапана высокого давления происходит следующим образом: при подаче давления с Р7 клапан закрыт и жидкость, находящаяся в штоковой полости цилиндра силового замыкания, оказывается заперта, при этом осуществляется возможность включить в работу мультипликатор давления (с помощью Р8 и Р10); при подаче давления с Р5 клапан высокого давления открывается, при этом можно двигать вперед подвижную плиту при помощи Р5, а не мультипликатором (Р8, Р10) либо сливать рабочую жидкость через Р5 и трубопровод в сливной бак.

Электрогидравлические переключатели (Р1, Р2, Р4, Р5, Р6, Р7, Р8, Р9, Р10, Р11) работают так: электромагнит включен, переключатель соединяет полость цилиндра со сливом; электромагнит выключен, полость цилиндра сообщается с напорной магистралью.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы и конструкцию приводов, используя описание и реальную конструкцию. Определить места установки основных узлов гидропривода пресса. Обратить внимание на конструкцию дросселей и способ их регулировки. При давлении в гидросистеме оценить вручную подвижность рабочего органа (подвижной плиты), усилие страгивания из начального положения.

2. Подготовить пресс к работе:

- проверить наличие масла в гидросистеме, добавить масло в случае необходимости;
- проверить наличие смазки на направляющих;
- проверить смазку трущихся поверхностей механизмов пресса;

- установить упоры движения рабочего органа (РО) в крайнее положение, обеспечивающее максимальный ход движения;
- установить зону безопасной работы;
- проверить настройку электромагнитных клапанов и клапана высокого давления;
- в режиме РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ проверить работу пресса, произведя 5 - 6 повторений движения РО. При этом дроссели регулирования скорости должны быть максимально открыты, каждое движение должно выполняться без сбоев и затираний;
- проверить эффективность торможения РО, не допускать резких ударов по упорам.

3. В режиме РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ определить время прямого и обратного перемещений РО. Время измерить с помощью программно-аппаратного комплекса "ПРЕСС". Произвести 5 - 6-кратное измерение времени перемещения РО от упора до упора по каждой степени подвижности.

4. Измерить максимальный ход РО.

5. Вычислить среднюю линейную скорость прямого и обратного ходов РО.

6. Определить точность позиционирования РО, для этого

- в режиме РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ выполнить команды «Движение вперед» и «Движение назад». С помощью микронного индикатора определить крайнее положение РО;
- повторить движения прямого и обратного ходов 10 - 15 раз;
- определить точность позиционирования δ из соотношения

$$\delta = 0,5A,$$

где A - максимальная зона разброса показаний индикатора;

- полученный результат сравнить с техническими данными пресса.

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему гидравлического привода.
3. Условия проведения и объем выполненных работ.
4. Полученные результаты.
5. Анализ результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия и конструктивные особенности гидропривода пресса, отдельных узлов.
2. Рассказать об особенностях кинематической схемы пресса.
3. Объяснить физические основы регулирования скорости гидравлических приводов.
4. Указать особенности позиционирования РО на жёсткий упор.
5. Указать отрицательные факторы, которые влияют на работу привода, вызванные ударными явлениями при позиционировании на упор.

Лабораторная работа 2 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ДЕМПФЕРОВ

Цель работы

1. Изучение конструкций гидравлических демпферов.
2. Освоение методики расчета демпферов по заданным значениям действующих усилий и законам торможения привода исполнительного органа.

Теоретические основы применения гидродемпферов

В системах приводов для обеспечения плавного снижения скорости при подходе РО к точке позиционирования используются гидравлические демпферы.

Упрощенно процесс торможения РО можно представить в виде:

$$m\ddot{x} + \beta\dot{x} + cx = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (1)$$

где m – подвижная масса; β – коэффициент демпфирования; c – жесткость элементов конструкции; x – перемещение; $\sum_{i=1}^n F_i$ – суммарное силовое воздействие. В зависимости от β все демпферы можно разделить на три группы:

- демпферы с $\beta = \text{const}$;
- демпферы с $\beta = f(x)$;
- демпферы с управляемой величиной β .

На рис. 2.1,а представлена конструкция гидравлического демпфера первой группы. При подходе к точке позиционирования РО воздействует на шток 1 гидроцилиндра, в бесштоковой полости которого возникает давление и жидкость через регулируемую щель перетекает в резервуар 4. Возникает усилие демпфера. Пружина 2 служит для возврата поршня гидроцилиндра, а обратный клапан 3 – для быстрого заполнения бесштоковой полости после снятия нагрузки.

Для рассмотренного демпфера величина β определяется по выражению

$$\beta_1^I = 1,5\pi d_{\text{п}} \mu l [(d_1 + d_2) a^3]^{-1},$$

где $d_{\text{п}}$, d_1 , d_2 , a , l – конструктивные параметры демпфера согласно рис. 2.1,а; μ – вязкость жидкости.

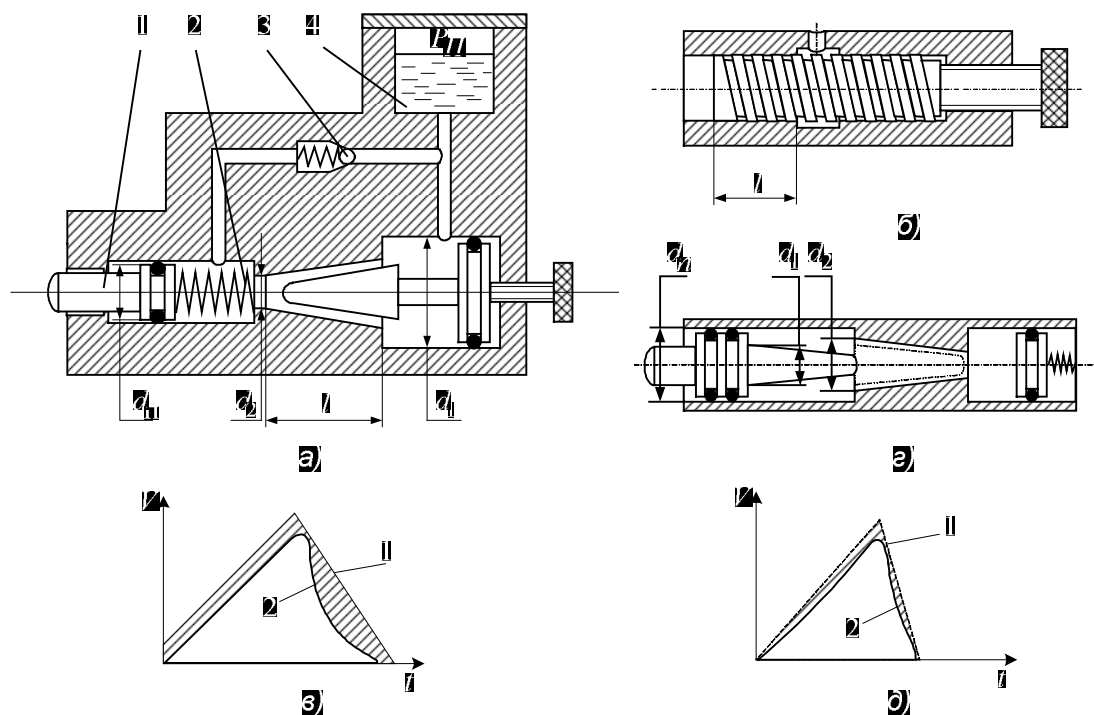


Рис. 2.1. Гидродемпферы с постоянным (а, б) и переменным (г) проходным сечением; в, д - графики торможения рабочих органов при использовании соответствующих демпферов

Если в качестве дросселя используется спиральный винт с кольцевой канавкой квадратным сечением и длиной l (рис. 2.1,б), то

$$\beta_1^{\parallel} = 8\pi \mu l d_{\text{п}}^4 a^{-4}.$$

Недостатком демпферов первой группы является непостоянство силы демпфирования из-за изменения температуры жидкости и линейное ее уменьшение при уменьшении скорости перемещения звена ($F_{\text{д}} = \beta \dot{x}$).

Этот недостаток устранен в демпферах второй группы (рис. 2.1,з), у которых величина возрастает по мере подхода РО к точке позиционирования из-за изменения зазора a . Величина для этих демпферов определяется по выражению

$$\beta_2 = 12\pi d_I^4 \mu \ell^4 [(d_1 + d_2)(d_1 + d_2)^3 (x_0 - x)^3]^{-1},$$

где x_0 – координата штока в крайнем правом положении.

Преимуществом демпферов второй группы являются более высокая эффективность и небольшое количество уплотнений, а недостатком – большие отрицательные ускорения (рис. 2.1, д).

Оптимальный график торможения РО имеет вид ломаной 1 (рис. 2.1,в). Очевидно, чем ближе реальный процесс к этой кривой, тем качественнее происходит торможение. Обычно кривая имеет вид 2.

Наилучший режим движения будет при постоянной величине F_d . Это обеспечивает постоянное отрицательное ускорение и, следовательно, наибольшее приближение к оптимальному по быстродействию закону перемещения звена. Этот принцип реализован в демпфере, изображенном на рис. 2.2, а.

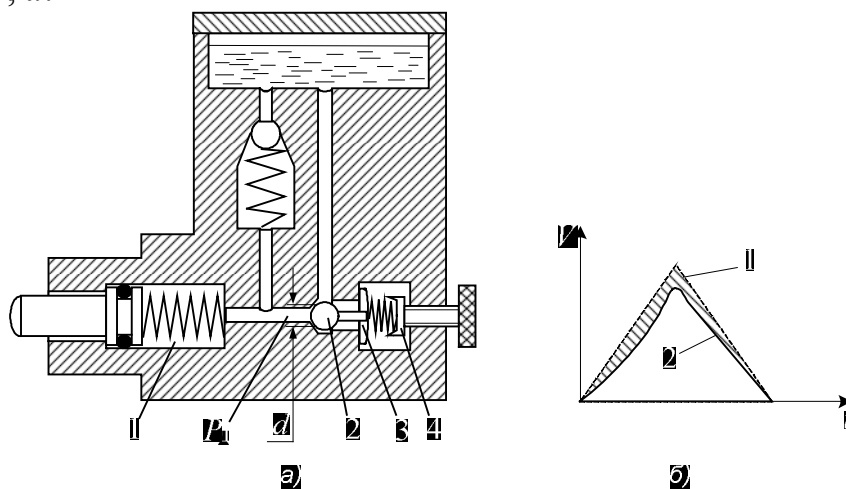


Рис. 2.2. Гидродемпфер с постоянным усилием демпфирования:
а – конструкция привода, б – график торможения рабочего органа.

В этом демпфере постоянство давления P_d в бесштоковой полости цилиндра 1, а следовательно, и усилие демпфирования F_d обеспечиваются за счет перемещения шарика 2, на который воздействует усилие мембраны 3 и пружины 4. Величина F_d определяется по выражению

$$F_d = c(x_n + x_t)(d_{II} \cdot d^{-1})^2, \quad (2)$$

где c – жесткость пружины 4; d – диаметр линии контакта шарика с конусом дроссельного отверстия; x_n , x_t – начальное и текущее положение шарика.

Обычно $x_T=0,1\div 0,8$ мм, а $x_H=10\div 15$ мм. Тогда $\Delta F_d=1\div 5$ % и, следовательно, $F_d \approx \text{const}$.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией демпферов.
2. Решить уравнение (1) для пресса, представленного в лабораторной работе 1, записать выражение для $\ddot{x}$, $\dot{x}$, x , решив в общем виде дифференциальное уравнение (1) при начальных условиях, заданных преподавателем.
3. Подставив необходимые числовые значения, построить графики зависимостей $\ddot{x}(t)$, $\dot{x}(t)$, $x(t)$.
4. Подобрать тип демпфера и рассчитать его конструктивные параметры для эффективного торможения рабочего органа.
5. Сравнить теоретические расчёты с экспериментальными данными и сделать выводы об эффективности демпфера (близость кривой $\dot{x}(t)$ к оптимальной).

Отчет о работе

Отчет о работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Решения дифференциального уравнения (1) в виде графиков.
3. Обоснование и схему выбранного демпфера.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Для чего используются тормозные устройства (демпферы)?
2. В каких типах приводов целесообразно использовать гидравлические демпферы?
3. Объяснить принцип действия демпферов 1, 2 и 3-й групп.
4. Как изменится величина F_d при увеличении температуры жидкости в полости демпфера?
5. Предложить тип демпфера для обеспечения закона торможения, заданного преподавателем.

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

Цель работы

1. Изучение методов наблюдения сигналов в системе управления реальными объектами с аналоговым пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором.

2. Изучение методов настройки пропорционально-интегрального регулятора.

Описание программно-аппаратной системы управления прессом

Система управления прессом реализована на базе компьютера Pentium/200 MHz. В состав информационно-измерительной системы входят устройства сбора и первичной обработки информации (рис. 3.1), выполняющие следующие функции:

- контроль температуры металла и формы;
- обработка информации о перемещении, скорости и давлении;
- диагностика состояния прессы, исследование технологического процесса и поиск неисправностей.

Для измерения температуры в форме и в кристаллизующемся металле использованы термопары К-типа (хромель - алюмель), характеризующиеся практически линейной зависимостью $V=V(T)$ в интервале температур от 0 до 1000 °С. Для передачи показаний термопар на достаточно большое расстояние (5 ... 10 м) использован усилитель сигнала ХТН типа токовой петли.

Для измерения перемещения подвижного блока и плунжеров используется индуктивный датчик перемещения, представляющий собой дифференциальный индуктивный преобразователь (ДИП). Информация с датчика перемещений поступает в преобразователь.

Для контроля давления в гидросистеме используются тензометрические и индуктивные датчики, принцип действия которых заключается в том, что под давлением жидкости изменяют прогиб мембраны и индуктивность зазора.

Для согласования сигналов с датчиков и персонального компьютера используется плата сбора данных L-154 фирмы L-card (Россия). Плата L-154 предназначена для преобразования аналоговых сигналов в

цифровую форму для персональной ЭВМ, а также для ввода/вывода цифровых ТТЛ линий и управления одним выходным аналоговым каналом (цифро-аналоговый преобразователь).

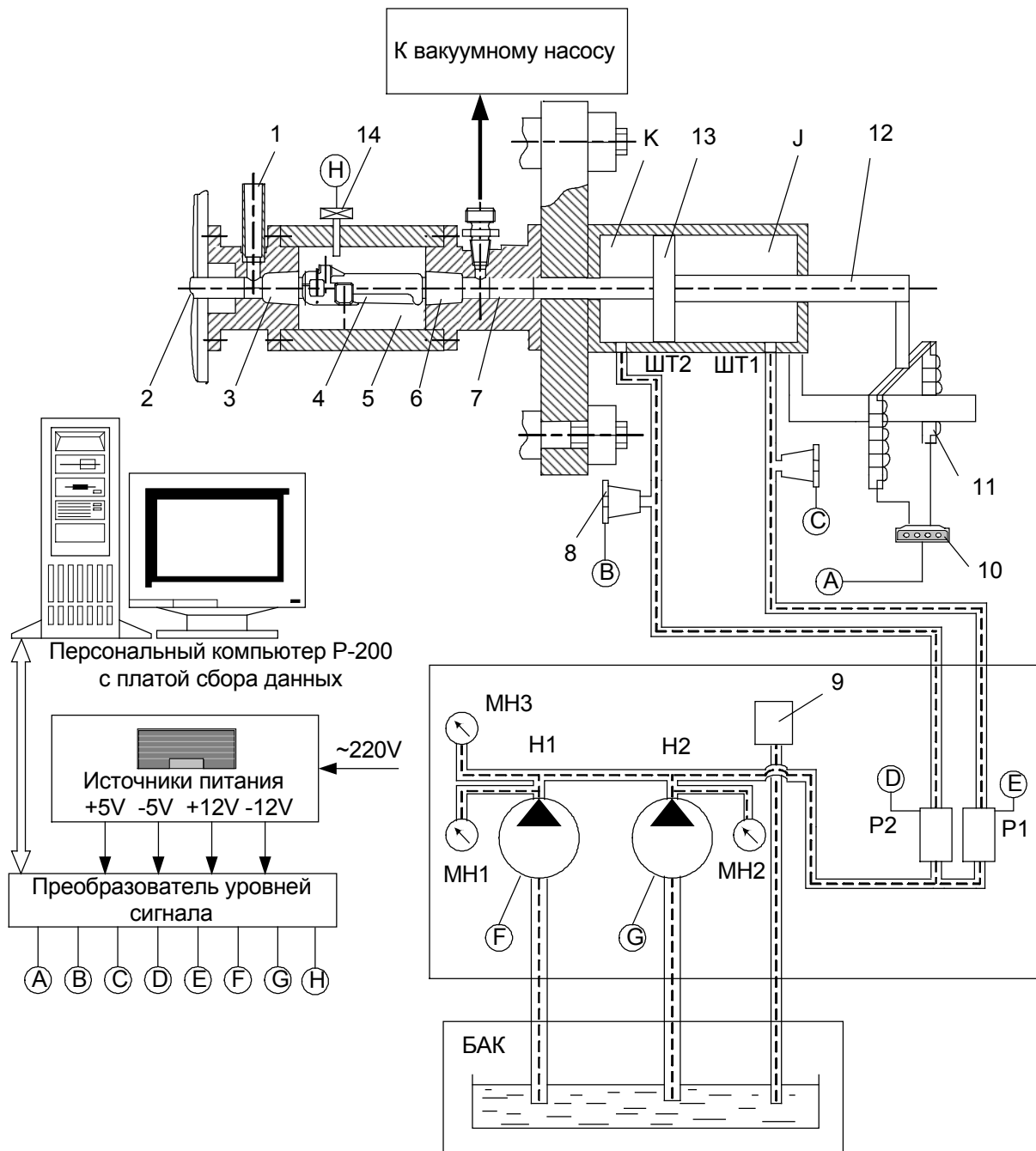


Рис. 3.1. Фрагмент функциональной схемы системы управления гидропривода:

- 1 – заливочная чаша; 2 – плунжер левый; 3,6 – камеры опрессовки; 4 – полость формы; 5 – форма с плоскостью разъема; 7 – плунжер правый; 8 – датчик давления МД-150Т; 9 – бачок; 10 – преобразователь датчика перемещения; 11 – две катушки; 13 – поршень; 14 – датчик температуры; J, K – полость гидроцилиндра 12.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) платы имеет 16 каналов, разрядность 12 бит. На плате имеются восемь цифровых входных и восемь выходных ТТЛ линий.

Для наложения на расплавленный металл давления по некоторому заданному закону в модуле управления предусмотрена функция, реализующая импульсную модуляцию электрического сигнала на дискретный электрогидравлический клапан пресса. При застывании металла скорость роста корки зависит от целого ряда факторов: прежде всего от скорости охлаждения, от конфигурации отливки, от рода сплава и т.д. Скорость нарастания давления должна быть приведена в соответствие со скоростью роста кристаллов. Поэтому в каждом конкретном случае закон наложения давления приходится отрабатывать с использованием результатов предварительных исследований и математического моделирования. Программа позволяет генерировать импульсный модулированный сигнал по заложенным алгоритмам (рис. 3.2, 3.3), сохранять показания и представлять результаты в виде графиков.

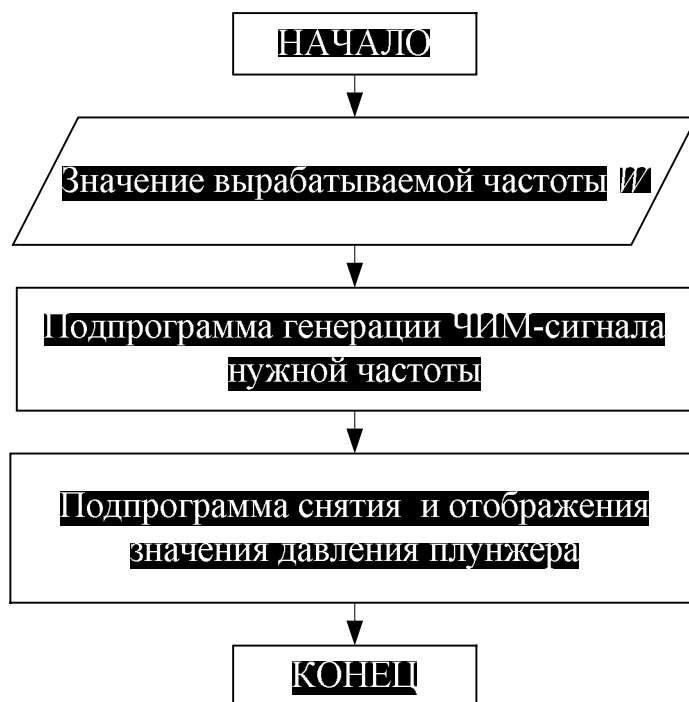


Рис. 3.2. Общий алгоритм наложения модулированного сигнала

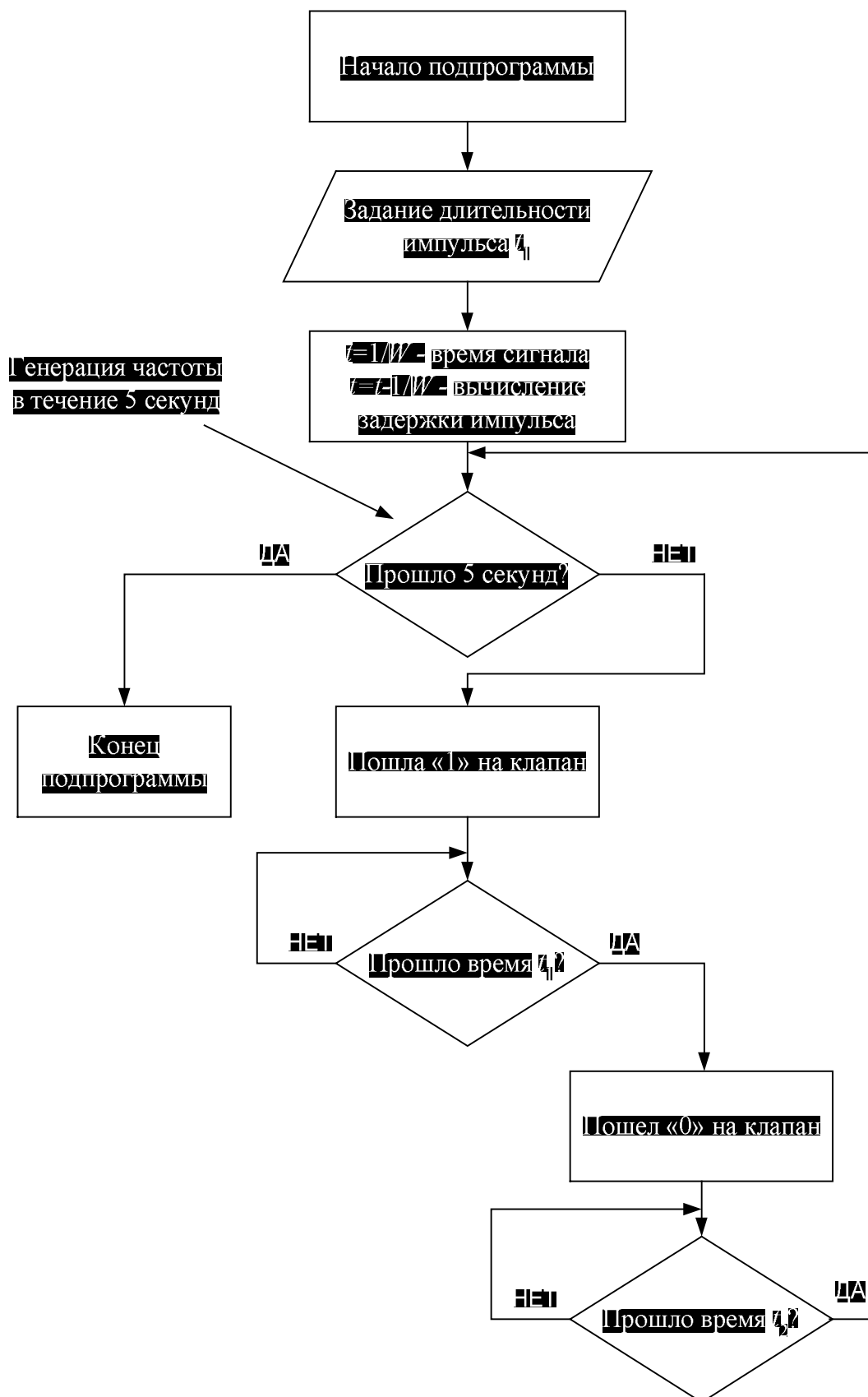


Рис. 3.3. Алгоритм выработки заданной частоты:
 W – частота; t_1 – длительность импульса; t_2 – задержка

Значение длительности импульса t_1 выбирается таким образом, чтобы клапан успел полностью открыться, а длительность задержки t_2 такой, чтобы клапан успел полностью закрыться. Импульсная модуляция сигнала представлена на рис. 3.4.

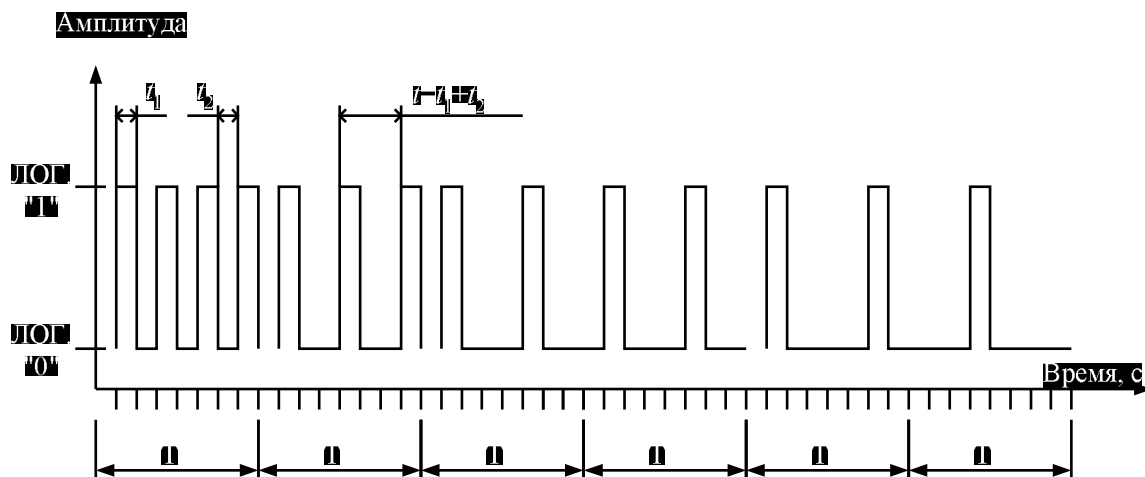


Рис. 3.4. Импульсная модуляция сигнала

Данный принцип регулирования обеспечивает широкие пределы регулирования как по величине давления, так и по времени его поддержания, позволяет эффективно использовать возможности программирования без включения в гидросистему дополнительного элемента (объемного или дискретного регулятора).

Порядок выполнения работы

1. Идентифицировать параметры элементов гидропривода в следующем виде:

– гидропривод

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\zeta Tp + 1},$$

где

$$T = \sqrt{\frac{mK_{Qp}}{FK_{Qx}}},$$

$$\zeta = \frac{F}{2} \sqrt{\frac{F}{mK_{Qp}K_{Qx}}},$$

m – перемещаемая масса, F – площадь цилиндра, K_{Qp} и K_{Qx} – коэффициенты линеаризации расходной характеристики гидропривода;

– датчик обратной связи

$$W(p) = \frac{K_{oc}}{T_{oc}p + 1}.$$

2. Вычислить с помощью ЭВМ параметры ПИ-регулятора для получения наименьшего времени регулирования.

3. Снять переходные характеристики скорости и определить показатели качества при вычисленных параметрах ПИ-регулятора для частоты модуляции $\omega_1 = 1$ Гц, $\omega_5 = 5$ Гц, $\omega_{10} = 10$ Гц.

4. Снять зависимость статической ошибки по скорости $\varepsilon = f(v)$ при ω_1 , ω_5 , ω_{10} .

5. Вычислить ПИ-регулятор для получения наилучших показателей качества регулирования.

6. Построить зависимость $\varepsilon = f(v)$.

7. Сравнить наилучшие теоретические показатели качества с экспериментальными.

Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1. Схему установки с ПИ-регулятором.
2. Расчётную схему привода с ПИ-регулятором для моделирования на ЭВМ.
3. Таблицы результатов экспериментальных исследований.
4. Расчёты параметров ПИ-регулятора и расчётные характеристики.
5. Экспериментальные характеристики.
6. Анализ результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Указать особенности системы управления прессом.
2. Изобразить структурную схему гидропривода пресса.
3. Указать достоинства и недостатки ПИ-регулятора для управления пресса.
4. Рассказать об алгоритме генерирования импульсного модулированного сигнала.
5. Вывести формулы для определения статической ошибки ПИ-регулятора по скорости.
6. Рассказать о способе идентификации параметров элементов гидропривода.

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ ДЛЯ ФИКСИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель работы

Изучение методов наблюдения переходных процессов в системе автоматического управления с использованием ЭВМ.

Порядок выполнения работы

А. Определить влияние настройки давления нагнетания в гидросистеме на скорость исполнительного двигателя механизмов подвижности.

Б. Определить скоростную ошибку привода - зависимость скорости РО от сигнала управления.

В. Определить и оценить качество переходного процесса привода.

А. Для определения влияния давления нагнетания на скорость РО необходимо:

1. Определить скорость движения РО при давлении нагнетания $P = 0,3P_{\max}; 0,5P_{\max}; 0,75P_{\max}; P_{\max}$. Настройка выполняется регулировкой соответствующих регулировочных клапанов.

2. Для каждого заданного значения давления определить скорости перемещения РО из одного крайнего положения в другое в прямом и обратном направлениях, измеренные модулем обработки и анализа сигнала программы «Пресс».

3. Результаты измерений перевести в относительные величины:

$$\bar{v} = f(\bar{p}),$$

где $\bar{v} = \frac{v}{v_{\max}}$; $\bar{p} = \frac{p}{p_{\max}}$; v и p — скорость выходного звена и давление нагнетания.

Б. Скоростная характеристика гидравлического привода определяет зависимость линейной скорости РО от сигнала управления: $v = f(\omega)$. Для определения данной характеристики необходимо:

1. Зафиксировать время перемещения РО из одного крайнего положения в другое в прямом и обратном направлениях при сигналах управления $\omega = 0,25\omega_{\max}; 0,75\omega_{\max}; \omega_{\max}$.

2. Вычислить скорости перемещения по величине хода и времени, определенному в эксперименте.

3. Результаты испытаний представить в относительных величинах:

$$\bar{v} = \frac{v}{v_{\max}}, \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_{\max}}.$$

В. Для определения и оценки качества переходного процесса на вход привода от системы управления подается единичный ступенчатый сигнал $h(t) = 1$. Уровень сигнала формируется с помощью блока управления программы «Пресс». Запись реакции РО привода выполняется на экране компьютера с помощью модуля обработки и анализа сигнала, при этом необходимо зафиксировать форму и длительность переходного процесса при номинальном давлении в гидросистеме.

Наиболее характерные формы переходных процессов представлены на рис. 4.1, а – в. При этом для определения переходного процесса и передаточной функции используются зависимости:

$$\left. \begin{aligned} h(t) &= k(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \cdot 1(t), \\ W(p) &= \frac{1}{1 + Tp} \end{aligned} \right\} \text{ (к рис 4.1, а);}$$

$$\left. \begin{aligned} h(t) &= k(1 - \frac{T_1}{T_2 - T_3} e^{-\frac{t}{T_2}} + \frac{T_3}{T_2 - T_3} e^{-\frac{t}{T_3}}) \cdot 1(t), \\ W(p) &= \frac{k}{(1 + T_2 p)(1 + T_3 p)} \end{aligned} \right\} \text{ (к рис 4.1, б);}$$

$$\left. \begin{aligned} h(t) &= k \left[1 - e^{-\gamma t} \left(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \sin \lambda t \right) \right] \cdot 1(t), \\ W(p) &= \frac{k}{1 + 2\xi Tp + T^2 p^2}, \\ q &= \frac{1}{T}; \quad \gamma = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}, \\ \gamma &= \xi q; \quad \lambda = q \sqrt{1 - \xi^2} \end{aligned} \right\} \text{ (к рис 4.1, в).}$$

Оценка качества переходного процесса производится по следующим параметрам:

– запас устойчивости (перерегулирование), %:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} 100\%; \quad \sigma \leq 10 - 30\%;$$

- быстродействие системы t_n ;
- время запаздывания t_3 .

На рис. 4.1, з, д принято: Δ — погрешность, $\Delta = 1 \div 5\%$ от входного сигнала.

По форме переходного процесса (рис. 4.1, а – в) определить устойчивость системы, качество переходного процесса (рис. 4.1, з – д).

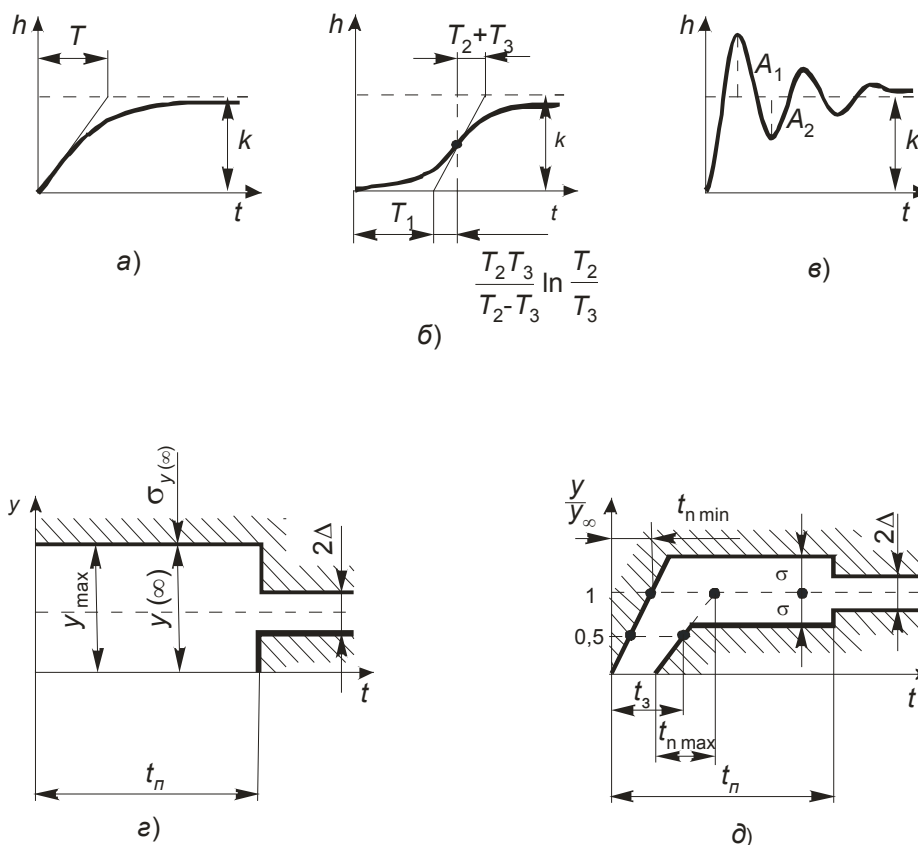


Рис. 4.1. Переходные процессы САУ

Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1. Схему испытаний.
2. Режимы и результаты эксперимента. Результаты должны быть представлены таблицами и графиками в относительных величинах.
3. Анализ и выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить принципы работы гидросистемы в режиме разгрузки, рабочем режиме.

2. Какой тип управляющего сигнала блока управления программы «Пресс» и какую дискретность необходимо выбрать при определении скоростной характеристики привода, переходного процесса?

3. Какие отклонения в работе привода механизмов движения будут иметь место при понижении давления в магистралях гидросистемы?

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫМ ОБЪЕКТОМ

Цель работы

Изучение устройства программного управления прессом ПЛД-300, методики программирования и приобретение практических навыков настройки работы пресса по заданной циклограмме в программе «Пресс».

Краткое описание цифровой системы автоматического управления от ПК «Пресс»

Законы функционирования пресса ПЛД-300 определяются прикладной программой «Пресс», работающей в среде Windows 9X/ME/2000/XP. Система управления имеет два основных режима работы:

- ручной – управление исполнительными механизмами пресса при помощи кнопок окна программы;
- автоматический – многократное воспроизведение ранее заданной программы.

В автоматическом режиме легко реализуются любые типовые режимы для автоматических систем программного управления, например: кадровый (отработка одного кадра программы), полуавтоматический (однократное воспроизведение программы) и т.д.

Система «Пресс» обеспечивает формирование различных законов программного управления наложением давления, изменение параметров частотно-импульсной модуляции, наблюдение в реальном масштабе времени как циклограммы работы, так и показаний датчиков.

Прикладная программа «Пресс» разбита на три предметно-ориентированных модуля: модуль генерации жесткой программы, отработчик жесткой программы и модуль снятия показаний, обработки и

анализа собранной информации с объекта управления. Модули связаны между собой через общий формат файла данных.

Главное окно модуля управления (рис. 5.1) имеет следующие основные органы управления. В поле 2 вводится имя файла с расширением *.prg и сохраняется на диске кнопкой 3. Блок формирования циклограммы 1 состоит из двух строк, длительность которых отображается в полях 4. Количество и последовательность циклов из этих строк заносится в поле 8 и записывается в файл кнопкой 7. Исполнительные механизмы имеют следующие условные обозначения: М – мультипликатор; П1,2 – плиты 1,2; ГЦ – гидроцилиндр, ГК – гидроклапан, Н1,2 – насосы 1,2. «+», «-» соответственно обозначает «включено», «выключено» или «вперед», «назад». (На рис. 5.2 изображены исполнительные механизмы пресса и обозначены их рабочие полости в соответствии с терминами рис. 5.1).

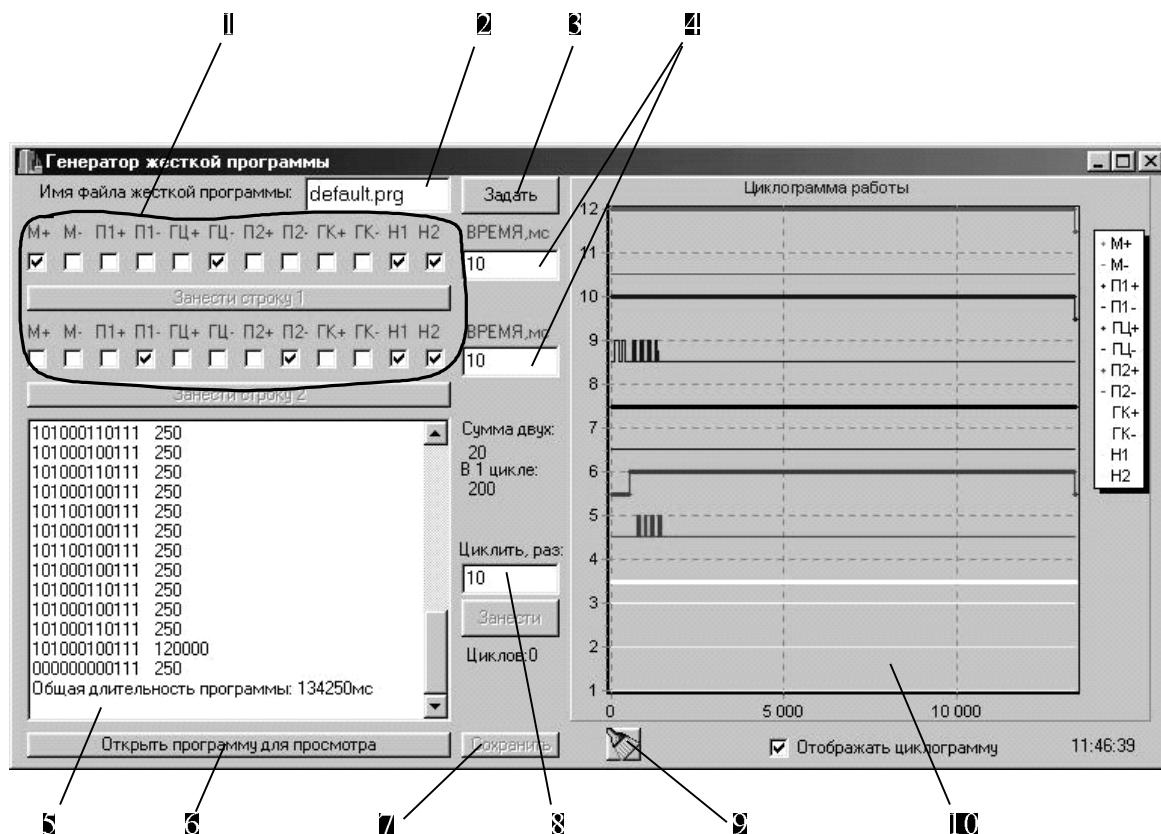


Рис. 5.1. Главное окно модуля генератора жесткой программы

В окне 5 отображена циклограмма работы пресса, где цифрой «1» обозначается – исполнительное устройство включено, цифрой «0» – выключено, справа – длительность одного кадра программы в миллисекундах, эта же циклограмма имеет графическое представление в

окне 10. Кнопкой 9 производится очистка окна 10. Модуль снятия показаний собранной информации можно запустить кнопкой 6.

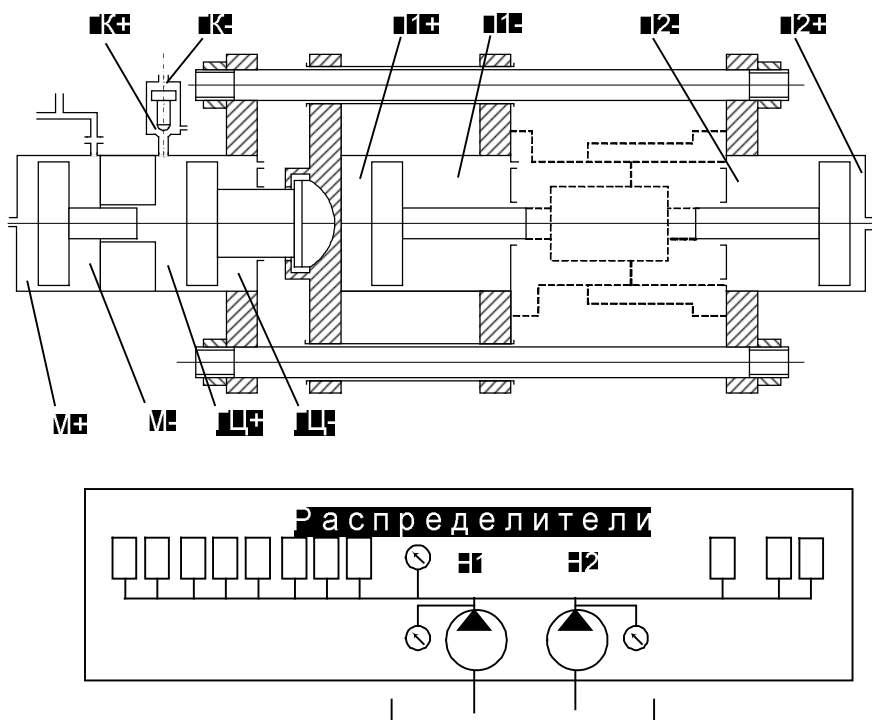


Рис. 5.2. Обозначения исполнительных механизмов пресса, программируемых в циклограмме работы

Утилита отработки жесткой программы (рис. 5.3) имеет поле отображения циклограммы 3 (аналогичное окну 5 на рис. 5.1), кнопку 4 для запуска исполнительных механизмов пресса и поля для ввода файла циклограммы 1 и файла с данными от объекта управления 2.

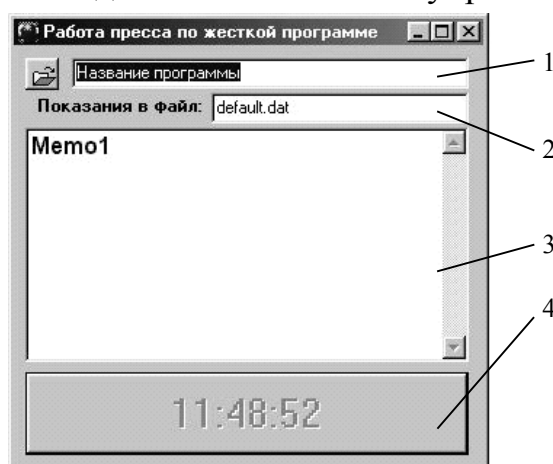


Рис. 5.3. Модуль отработки жесткой программы

Модуль снятия показаний и анализа информации с объекта управления (рис. 5.4) может быть запущен из главного окна кнопкой 6

(см. рис. 5.1) или запуском файла HRView.exe. В окне 2 (рис. 5.4) отображается циклограмма работы и показания датчиков системы управления в реальном времени. Блок 3 имеет аналогичные функции, что и в окне 5 главного модуля управления (см. рис. 5.1). Кнопки 1 – для типовых операций: открытие файла, сохранение, печать и т.д.

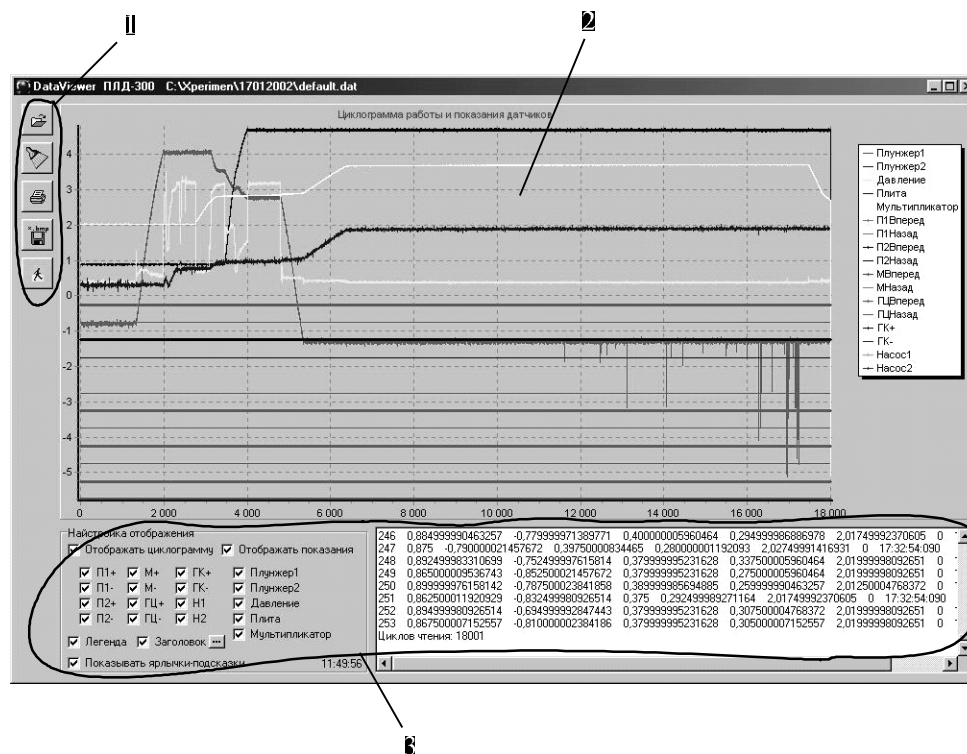


Рис. 5.4. Модуль снятия показаний и анализа информации с объекта управления

Порядок выполнения работы

1. Изучить структурную схему, принцип действия и конструктивные особенности системы управления.
2. Визуально освоить систему управления. Изучить программу «Пресс». Точно знать назначение каждой команды и кнопок программы.
3. Практически освоить все режимы работы системы управления.
4. В ручном режиме произвести отработку всех команд управления прессом.
5. Составить циклограмму функционирования пресса.
6. После набора циклограммы произвести её отладку в ручном и автоматическом режимах работы.
7. Продемонстрировать преподавателю функционирование пресса по составленной программе.

Отчет о работе

Отчёт должен содержать:

1. Задание.
2. Циклограмму работы прессы.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое система автоматического управления?
2. Какие основные этапы наладки автоматической системы управления?
3. Укажите порядок работы оператора в процессе программирования.
4. Укажите особенности работы устройств в режиме программирования и автоматическом режиме.

Лабораторная работа 6
МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ПЕРСОНАЛЬНОМ КОМПЬЮТЕРЕ
УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА
«ЦИКЛОН-5»

Цель работы

1. Ознакомление с устройством промышленного робота «Циклон - 5».
2. Получение навыков моделирования управляемого движения робота на персональном компьютере.

Техническое описание ПР «Циклон-5»

Основное назначение ПР «Циклон-5» это автоматизация листовой штамповки в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства. Также он применяется при автоматизации технологических операций в таких видах производства, как горячая объемная штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах, литье под давлением, механообработка на операциях загрузки и разгрузки, а также для меж-станочного транспортирования и межоперационного складирования в механических, заготовительных и других цехах.

Техническая характеристика ПР «Циклон-5» приведена ниже.

Масса переносимого груза одним захватом, кг.	5
Тип привода.....	Пневматический
Число степеней подвижности.....	6
Из них:	
транспортирующих	4
ориентирующих.....	2
Диапазоны перемещений $\frac{\text{максимальные}}{\text{минимальные}}$:	
подъем (опускание) захватов, мм	$\frac{100}{200}$
выдвижение (втягивание) захватов, мм.....	$\frac{600}{50}$
поворот захватов вокруг вертикальной оси манипулятора, рад (°).....	$\frac{3,14 (180)}{0,12 (7)}$
поворот захвата вокруг продольной оси механизма выдвижения-втягивания, рад (°).....	3,14(180)
Время,с:	
поворота захватов вокруг вертикальной оси манипулятора на угол 3,14 рад (180°)	2,2
подъема-опускания захватов на 100 мм	0,8
выдвижения-втягивания захватов на 600 мм	1,0
поворота захватов вокруг продольной оси механизмов выдвижения-втягивания на угол 3,14 рад (180°).....	1,0
Число точек позиционирования по степеням подвижности:	
по повороту захвата вокруг вертикальной оси манипулятора.....	4
по остальным.	По 2
Контроль положения по степеням подвижности:	
по транспортирующим.....	По датчикам положения, по времени (для ускоренного прохода точек без позиционирования)
по ориентирующим	По времени
Датчики положения.....	Индуктивные, бесконтактные типа БК
Способ задания координат.....	По упорам
Система программного управления	Цикловая

Метод программирования.....	Предварительный набор программы на пульте управления с занесением в блок памяти устройства
Потребляемая мощность, кВт.....	1,0
Давление сжатого воздуха в пневмосети, МПа (кгс/см ²)	0,5–0,6 (5–6)
Масса, кг.....	660

Краткие сведения об особенностях моделирования управляемого движения манипуляторов на персональном компьютере

Для моделирования на ЭВМ движения манипулятора должны быть известны уравнения динамики манипулятора и уравнения привода каждой степени подвижности. Рассмотрим движение привода поворота манипулятора «Циклон - 5» (рис. 6.1).

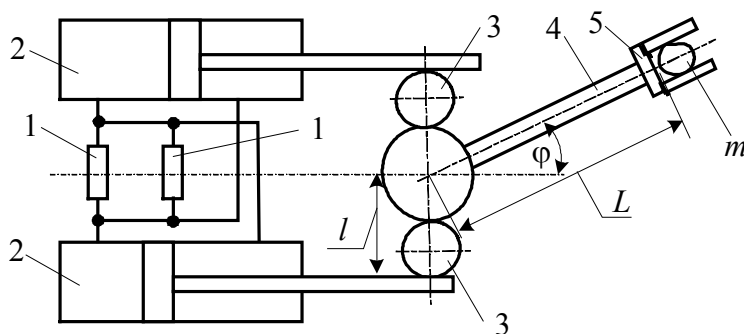


Рис. 6.1. Схема поворотного привода промышленного робота «Циклон-5»: 5 — схват робота с грузом m ; 4 — рука манипулятора длиной L и массой M ; 2 — пневмоцилиндры двойного действия; 1 — распределительное устройство пневмоцилиндров; 3 — передаточный механизм с плечом l .

Рука робота длиной L приводится в движение пневмоцилиндрами двойного действия через передаточный механизм с плечом l . В захвате руки робота находится груз массой m . Уравнения плоского движения имеют вид:

$$\ddot{\phi} = \frac{2PF_l}{m_1 L^2} + f(\dot{\phi}),$$

$$\dot{P} = -\frac{4P_{cp} F_l}{V_{cp}} \dot{\phi} + \frac{2RTg}{V_{cp}}. \quad (1)$$

Здесь $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ — угловое перемещение, скорость, ускорение руки манипулятора; $m_1 = m + M/3$, где M — масса руки манипулятора; P — текущее значение давления в пневмоцилиндрах; F — площадь поршня; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура газа; $V_{\text{ср}}$ — объем пневмоцилиндра; $P_{\text{ср}}$ — среднее давление в пневмоцилиндре; g — массовый расход в полости цилиндров; $f(\dot{\varphi}) = -\alpha\dot{\varphi}$ — сила вязкого трения в исполнительном устройстве с неизвестным коэффициентом трения $\alpha > 0$.

Положим,

$$\begin{aligned} x_1 &= \dot{\varphi}, \quad x_2 = \varphi, \quad x_3 = P, \\ a_1 &= \frac{2Fl}{m_1 L^2}, \quad a_3 = \frac{4P_{\text{ср}} Fl}{V_{\text{ср}}}, \\ b &= \frac{2RT}{V_{\text{ср}}}, \quad u = bg. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда уравнения движения (1) примут вид

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_1 x_3 - \alpha x_1, \\ \dot{x}_2 &= x_1, \\ \dot{x}_3 &= -a_3 x_1 + u. \end{aligned} \quad (3)$$

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия и конструктивные особенности робота «Циклон-5».
2. Получить у преподавателя исходные данные для моделирования системы.
3. Составить схему моделирования движения манипулятора, используя функциональные блоки программной системы Simulink.
4. Составить спецификацию структуры для схемы моделирования движения манипулятора.
5. Для заданного варианта исходных данных составить спецификацию параметров. Показать для проверки преподавателю спецификации структуры и параметров.

6. Решить на ЭВМ задачу моделирования движения манипулятора при нулевых начальных условиях.

7. Воспроизвести исследуемое движение на реальном объекте и снять соответствующие характеристики.

8. Сравнить полученные результаты.

Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему моделирования управляемого движения манипулятора.
3. Спецификации структуры и параметров.
4. Графики функций $x_1(t)$, $x_2(t)$ и $x_3(t)$, построенные в пакете Simulink, а также траектории движения, полученные при натурных испытаниях.
5. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Рассказать о методах моделирования уравнений движения манипулятора.
2. В чем состоят преимущества использования визуальных программных комплексов для моделирования движения манипулятора?
3. Каким образом можно учесть влияние моментов трения в шарнирах и груза на траекторию движения манипулятора?

Лабораторная работа 7 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА НА ПРИМЕРЕ ПР РМ-01

Цель работы

1. Научиться использовать матричный метод в кинематическом анализе пространственных механизмов.
2. Получить навыки в определении однородной матрицы композиции преобразований.
3. Ознакомиться с особенностями решения задач кинематики ПР РМ-01.

Краткая теория

Матричная и векторная алгебра применяются для систематического и обобщенного подхода к описанию и представлению расположения пространственных механизмов (звеньев манипулятора, исполнительных механизмов робота) относительно заданной абсолютной системы координат. Так как звенья манипулятора могут совершать вращательное и/или поступательное движения относительно абсолютной системы отсчета, для каждого звена определяется связанная система координат, оси которой параллельны осям сочленений звеньев. Кинематический анализ сводится к определению матрицы преобразования, устанавливающей связь между абсолютной и связанной системами координат. Для описания вращательного и поступательного движения связанной системы отсчета относительно абсолютной используются однородные матрицы поворота и сдвига размерностью 4×4 .

Рассмотрим представление точки в однородных координатах.

Пусть дана точка p , определяющая вектор координат $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)^T$, в трехмерном пространстве дополняют четвертой компонентой так, что он принимает вид $\vec{p} = (mp_x, mp_y, mp_z, m)$. В этом случае говорят, что вектор $\vec{p}$ выражен в однородных координатах. Физические координаты связаны с однородными следующим образом:

$$p_x = \frac{mp_x}{m}, \quad p_y = \frac{mp_y}{m}, \quad p_z = \frac{mp_z}{m}.$$

Четвертую компоненту m называют масштабирующим множителем. Если эта компонента равна 1 ($m = 1$), то однородные координаты вектора положения совпадают с его физическими координатами. В робототехнике масштабирующий множитель всегда выбирают равным единице, а в задачах машинной графики он принимает любое положительное число.

Пусть точка p определена в правосторонней подвижной системе координат x_n, y_n, z_n (рис. 7.1), связанной, например, со схватом промышленного робота. Необходимо определить матрицу T , которая преобразует координаты $p_n = (x_n, y_n, z_n, 1)$ в абсолютные координаты $p_0 = (x_0, y_0, z_0, 1)$ неподвижной системы координат x_0, y_0, z_0 основания робота:

$$p_0 = T \cdot p_n.$$

Однородная матрица преобразования T представляет собой матрицу размерностью 4×4 , которая преобразует вектор, выраженный в

однородных координатах, из одной системы отсчета в другую. Однородная матрица преобразования может быть разбита на четыре подматрицы:

$$T = \begin{bmatrix} \text{поворот}_{3 \times 3} & \text{сдвиг}_{3 \times 1} \\ \text{преобразование перспективы}_{1 \times 3} & \text{масштабирование}_{1 \times 1} \end{bmatrix}.$$

Верхняя левая подматрица размерностью 3×3 представляет собой матрицу поворота; верхняя правая подматрица размерностью 3×1 представляет собой вектор положения начала координат повернутой системы отсчета относительно абсолютной; нижняя левая подматрица размерностью 1×3 задает преобразование перспективы; четвертый диагональный элемент является масштабирующим множителем. Однородная матрица преобразования позволяет выявить геометрическую связь между связанной системой отсчета x_n, y_n, z_n и абсолютной системой x_0, y_0, z_0 .

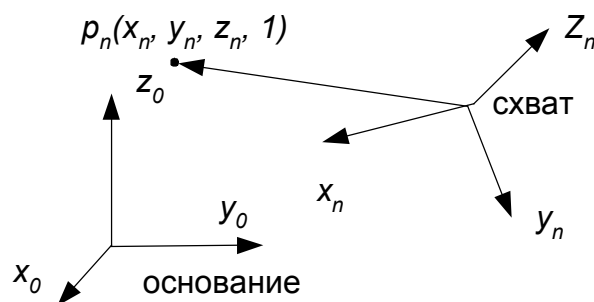


Рис. 7.1. Представление точки в однородных координатах

Особый интерес представляют матрицы однородных преобразований подвижной системы координат относительно каждой из трех осей координат x, y, z . Если положение системы x_n, y_n, z_n в пространстве изменяется за счет поворота этой системы на угол α вокруг оси x_0 , то соответствующую матрицу преобразования $T_{x,\alpha}$ называют *однородной матрицей поворота*:

$$T_{x,\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha & -s\alpha & 0 \\ 0 & s\alpha & c\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где $c\alpha = \cos\alpha$, $s\alpha = \sin\alpha$.

Аналогично матрицы поворота вокруг оси y_0 на угол φ и вокруг оси z_0 на угол θ имеют вид:

$$T_{y,\varphi} = \begin{bmatrix} c\varphi & 0 & s\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\varphi & 0 & c\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$T_{z,\theta} = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Эти матрицы размерностью 4×4 называются *однородными матрицами элементарных поворотов*.

Верхняя правая подматрица однородной матрицы преобразования, имеющая размерность 3×1 , задает параллельный перенос системы координат x_n, y_n, z_n на вектор $(dx, dy, dz)^T$

$$T_{\text{сдв}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Эта матрица размерностью 4×4 называется *однородной матрицей элементарного сдвига*.

Левая нижняя подматрица однородной матрицы преобразования размерностью 1×3 определяет преобразование перспективы, используемое в задачах машинного зрения и компьютерной графики. Здесь элементы этой подматрицы нулевые, что соответствует нулевому преобразованию перспективы.

Описание последовательности конечных преобразований относительно основных осей x_0, y_0, z_0 можно получить путем перемножения матриц элементарных поворотов/сдвигов.

Наряду с преобразованием относительно осей абсолютной системы x_0, y_0, z_0 подвижная система координат x_n, y_n, z_n может совершать движения относительно собственных осей. Поскольку операция перемножения матриц некоммукативна, здесь существенна последовательность

выполнения поворотов/сдвигов. Для определения однородной матрицы композиции преобразований будут полезны следующие правила:

1. Вначале обе системы координат совпадают, и, следовательно, однородная матрица преобразования представляет собой единичную матрицу I_4 размерностью 4×4 .

2. Если подвижная система координат x_n, y_n, z_n совершает поворот/сдвиг относительно осей системы отсчета x_0, y_0, z_0 , то соответствующую матрицу элементарного поворота/сдвига надо умножить слева на однородную матрицу предыдущего результирующего преобразования.

3. Если подвижная система координат x_n, y_n, z_n совершает поворот/сдвиг относительно одной из собственных основных осей, то соответствующую матрицу элементарного поворота/сдвига надо умножить справа на однородную матрицу предыдущего результирующего преобразования.

Пример

Необходимо найти матрицу 0T_1 однородного преобразования 1-й системы координат относительно 0-й в соответствии с рис. 7.2.

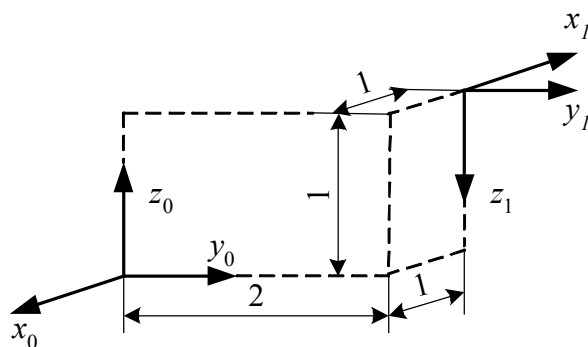


Рис. 7.2. Пример преобразования 1-й системы координат относительно 0-й

Совершим следующие преобразования:

1. Сдвиг вдоль оси x_1 на -1 .
2. Сдвиг вдоль оси z_0 на -1 .
3. Поворот относительно оси y_0 на π .
4. Сдвиг вдоль оси y_1 на -2 .

Однородную матрицу, определяющую результат перечисленных преобразований, можно представить в следующем виде:

$${}^0T_1 = T_{y0,\pi} \cdot T_{z0,-1} \cdot I_4 \cdot T_{x1,-1} \cdot T_{y1,-2}$$

или

$$\begin{aligned}
{}^0T_1 &= \begin{bmatrix} c\pi & 0 & s\pi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\pi & 0 & c\pi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
&= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

Механический манипулятор состоит из звеньев, соединенных вращательными или поступательными сочленениями (рис. 7.3). Каждая пара, состоящая из звена и сочленения, обеспечивает одну степень свободы. Следовательно, манипулятор с N степенями свободы содержит N пар звено-шарнир, причем звено 0 соединено с основанием, где обычно размещается инерциальная система координат данной динамической системы, а последнее звено снабжено рабочим инструментом. Звенья и сочленения нумеруются по возрастанию от стойки к схвату манипулятора; так сочленением 1 считается точка соединения звена 1 и опорной стойки. Каждое звено соединено не более чем с двумя другими так, чтобы не образовывалось замкнутых цепей. На рис. 7.3 номера звеньев выделены овалом, а номера сочленений (кинематических пар) – прямоугольником.

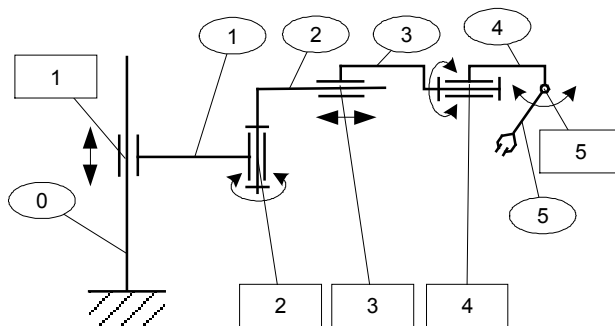


Рис. 7.3. Звенья и сочленения манипулятора

Для описания вращательных и поступательных связей между соседними звеньями служит матричный метод последовательного построения систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи. Смысл такого построения состоит в формировании однородной матрицы преобразования, имеющей размерность 4×4 и описывающей положение системы координат каждого звена относительно

системы координат предыдущего звена. Это дает возможность последовательно преобразовать координаты схвата манипулятора из системы отсчета, связанной с последним звеном, в базовую систему отсчета, являющуюся инерциальной системой координат для рассматриваемой динамической системы.

Кроме базовой системы координат для каждого звена на оси его сочленения определяется ортонормированная декартова система координат (x_i, y_i, z_i) , где $i = 1, 2, \dots, n$, а n равно числу степеней свободы манипулятора. Поскольку вращательное сочленение имеет только одну степень свободы, каждая система координат (x_i, y_i, z_i) манипулятора соответствует $(i+1)$ -му сочленению и связана с i -м звеном. Когда силовой привод возбуждает движение в i -м сочленении, i -е звено начинает двигаться относительно $(i-1)$ -го звена. Поскольку i -я система координат связана с i -м звеном, она движется вместе с ним. Таким образом, n -я система координат движется вместе с последним n -м звеном манипулятора. Базовой является нулевая система координат (x_0, y_0, z_0) , представляющая собой инерциальную систему координат манипулятора. Так, для шестизвеного манипулятора должны быть определены семь систем координат, а именно $(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_1), \dots, (x_6, y_6, z_6)$.

Каждая система координат формируется специальным образом на основе следующих правил.

1. Ось z_i идет по оси кинематической пары $i+1$; начало координат системы i , жестко связанной со звеном i , лежит на общем перпендикуляре к осям z_{i-1} и z_i либо в точке их пересечения, если таковая имеется, либо в любой точке оси кинематической пары, если ось z_i совпадает с осью z_{i-1} или параллельна ей.

2. Ось x_i идет по общему перпендикуляру, проведенному к осям z_{i-1} и z_i , и направлена от точки пересечения этого перпендикуляра с осью z_{i-1} к точке его пересечения с осью z_i (или в любую сторону по нормали к плоскости, содержащей оси z_{i-1} и z_i , если они пересекаются, или произвольным способом, если z_{i-1} и z_i идут по одной прямой).

3. Ось y_i выбирается по правилу правой системы координат.

4. Начало координат системы 0, т. е. системы, жестко связанной со стойкой, может лежать в любой точке кинематической пары 1; ось X_0 направляется произвольным образом.

Выбор системы n тоже выпадает из общего правила, так как звено $n+1$ отсутствует. Поэтому предлагается вообразить любого типа пару $n+1$ и после этого выбрать систему по общему правилу. Начало выбранной таким образом системы называется центром схвата.

Специальный выбор систем координат звеньев манипулятора позволяет с помощью лишь четырех параметров описать переход из одной системы в другую. Систему i можно преобразовать в систему $i-1$ с помощью поворота, двух сдвигов (переносов) и еще одного поворота, выполняемых в следующем порядке:

- 1) поворот системы вокруг оси z_{i-1} на угол θ_i до тех пор, пока ось x_i не станет параллельной оси x_{i-1} ;
- 2) сдвиг повернутой системы вдоль оси z_{i-1} на величину d_i до тех пор, пока оси x_{i-1} и x_i не окажутся на одной прямой;
- 3) сдвиг вдоль оси x_i на величину a_i до тех пор, пока не совпадут начала координат;
- 4) поворот вокруг оси x_i на угол α_i до совмещения оси z_{i-1} с осью z_i .

Каждому из этих элементарных движений соответствует одна из элементарных матриц однородного преобразования: либо матрица вращения, либо матрица сдвига. Результирующая матрица перехода ${}^{i-1}A_i$, связывающая системы i и $i-1$, является произведением этих матриц:

$${}^{i-1}A_i = T_{z,d} \cdot T_{z,\theta} \cdot T_{x,a} \cdot T_{x,\alpha}.$$

После перемножения получаем

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & 0 & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В матрицу A_i входят четыре параметра: d_i , θ_i , a_i , α_i . Для любой кинематической пары три из них должны быть константами и только один переменной величиной. Для вращательной пары переменной величиной является угол θ_i , а для поступательной пары – перемещение d_i .

Пример

Составить таблицу кинематических пар и параметров, а также вычислить матрицы A_i для манипулятора, кинематическая схема которого изображена на рис. 7.3.

Манипулятор имеет пять степеней свободы, которым соответствуют пять обобщенных координат: d_1 , θ_2 , d_3 , θ_4 , θ_5 . Специальные системы

отсчета выбраны в соответствии с указаниями и показаны на конструктивной схеме (рис. 7.4).

Тип кинематических пар и значения параметров сведены в таблице.

Кинематическая пара	Тип пары	Параметры			
		θ_i	d_i	a_i	α_i
1	Поступательная	0	d_1	a_1	0
2	Вращательная	θ_2	d_2	0	$-\pi/2$
3	Поступательная	0	d_3	0	0
4	Вращательная	θ_4	d_4	0	$-\pi/2$
5	»	θ_5	0	a_5	$-\pi/2$

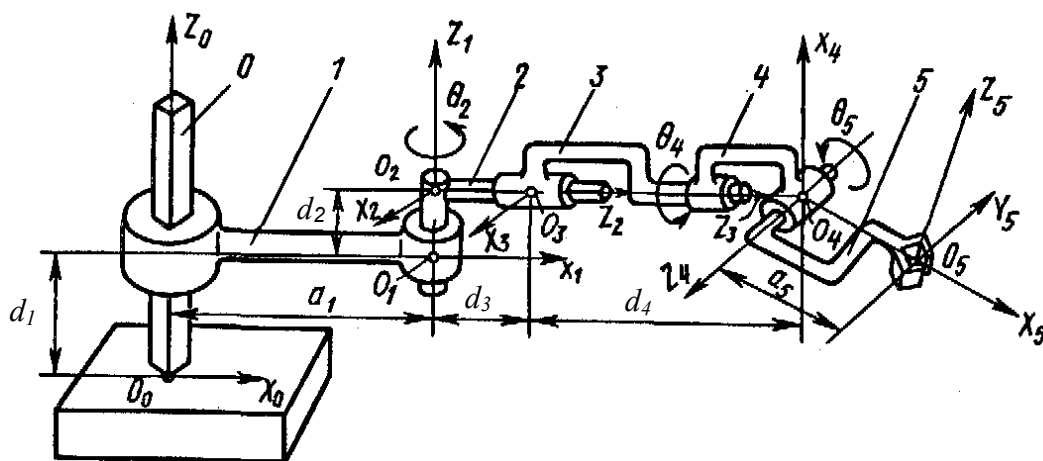


Рис. 7.4. Выбор систем координат для манипулятора специальным образом

В соответствии с этой таблицей и формулой (1) определяем матрицы A_i :

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & 0 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & 0 & c\theta_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & 0 & -s\theta_4 & 0 \\ s\theta_4 & 0 & c\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_5 = \begin{bmatrix} c\theta_5 & 0 & -s\theta_5 & a_5 c\theta_5 \\ s\theta_5 & 0 & c\theta_5 & a_5 s\theta_5 \\ 0 & -1 & 0 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

После перемножения найденных матриц получим матрицу преобразования схвата манипулятора относительно базовой системы координат

$${}^0A_5 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \quad (2)$$

Выражение вида (9) называется уравнением кинематики манипулятора.

Рассмотрим решение задач кинематики на примере ПР РМ-01. Робот РМ-01 состоит из двух основных частей: манипулятора модели PUMA-560 с шестью вращательными степенями свободы производства финской компании "NOKIA" (рис 7.5) и стойки управления "Сфера-36", изготовленной в НПО "Гранат" в Минске.

Программирование движений робота ведется на языке ARPS (аналог VAL-2). Возможна работа в автоматическом и ручном (от пульта) режимах управления. Движение от одной программной точки к другой происходит по прямолинейной или интерполированной траектории.

Технические характеристики робота РМ-01:

Количество степеней подвижности.....	6 вращательных
Наибольшая грузоподъемность, кг.....	0,5
Усилие на конце схвата, Н.....	60
Точность позиционирования, мм.....	0,1
Скорость движения с максимальным грузом:	
по рабочей траектории, м/с.....	1,0
по прямолинейной траектории, м/с.....	0,5
Рабочая зона	Сфера с радиусом 0,92 м
Привод схвата.....	Пневматический, рабочее давление 3 - 5 атм.
Режимы движения	Позиционный (выход в программную точку и остановка), контурный (отслеживание последовательности программных точек без остановки движения)

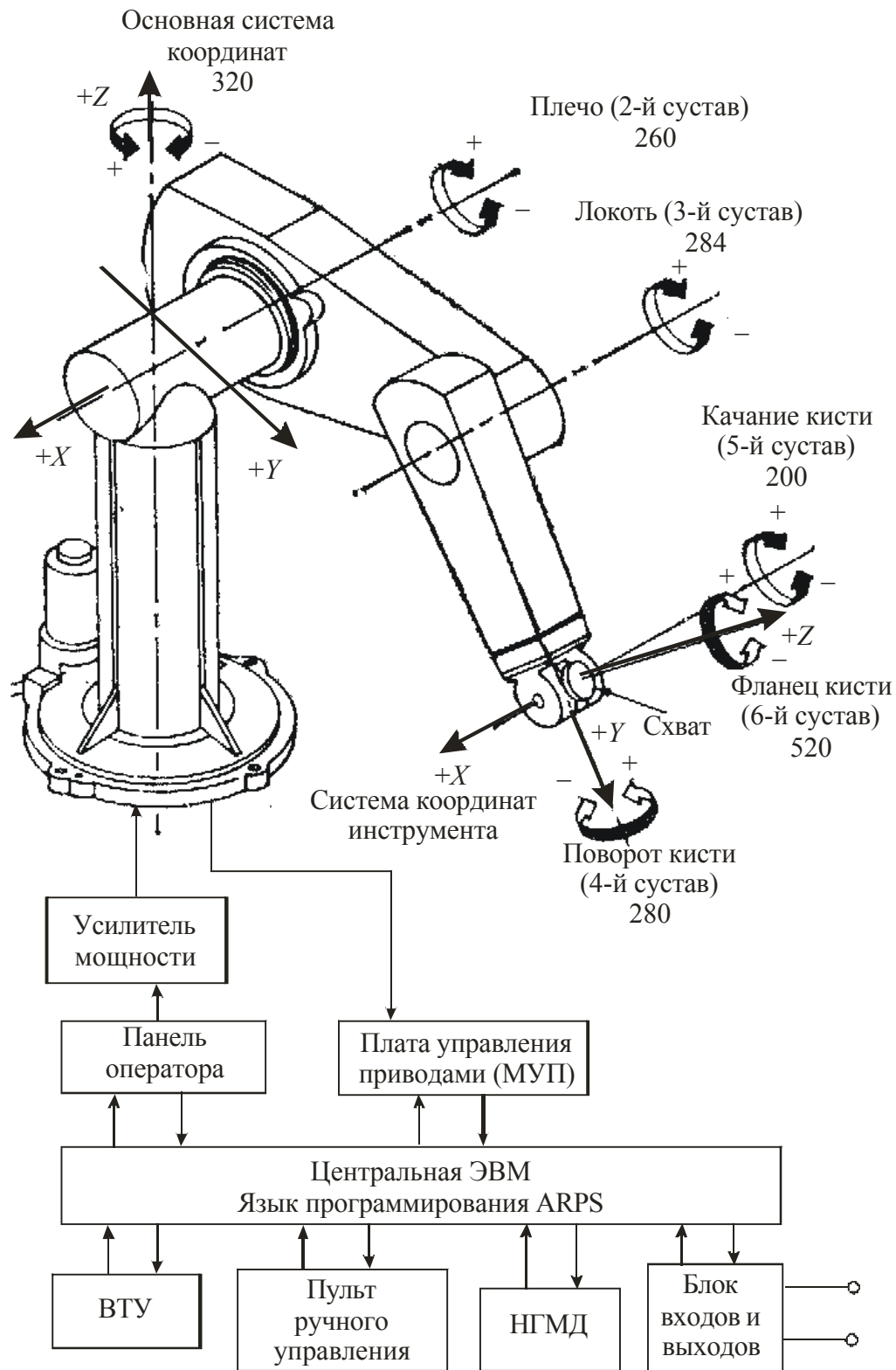


Рис.7.5. Манипулятор PUMA-560

Порядок выполнения работы

1. Получить задание у преподавателя согласно рис. 7.6. Достроить заданные преподавателем системы координат до правосторонних.

2. Определить в соответствии с рис. 7.6 однородную матрицу kT_n преобразований n -й системы координат относительно k -й.

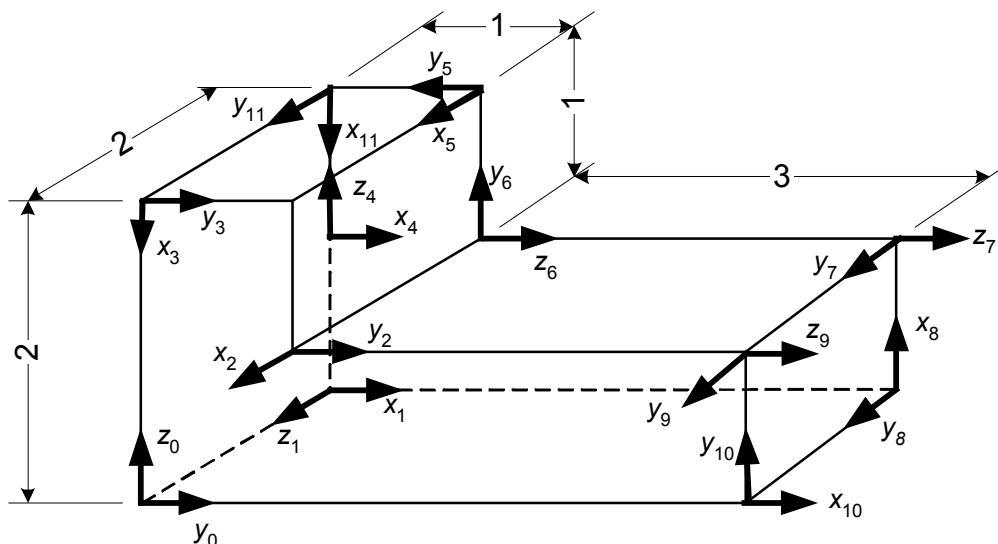


Рис. 7.6. Варианты заданий для решения задач матричным методом

3. Получить у преподавателя вариант кинематической схемы манипулятора.

4. Составить таблицу конструктивных параметров звеньев манипулятора.

5. Составить уравнение кинематики манипулятора в соответствии с (2).

6. Решить прямую задачу кинематики манипулятора PUMA-560 для исходных данных, заданных преподавателем, с использованием математического пакета MatLAB.

7. Провести натурные сравнения полученных результатов с реальным манипулятором.

Отчет о работе

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Решение поставленной задачи матричным методом.

3. Кинематическую схему манипулятора, заданную преподавателем и соответствующие выражения для матриц A_i .

4. Траектории движения захватного устройства манипулятора PUMA-560 для заданного множества обобщенных координат, полученные в пакете MatLAB, множество значений обобщенных координат для заданной траектории движения захватного устройства манипулятора.

5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит прямая задача кинематики?
2. В чем состоит обратная задача кинематики?
3. Отметить области применения прямой и обратной задач кинематики.

Библиографический список

1. Лазарев Ю.Ф. MatLAB. – Киев: Издательская группа BHV, 2000. – 384 с.
2. Основы автоматизации машиностроительного производства / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под ред. чл.-кор. РАН Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 1999. – 312 с.
3. Пашков В.М. Промышленный робот «Циклон-5». – М.: Машиностроение, 1988. – 80 с.
4. Теория автоматического управления: Учеб. для машиностроит. вузов / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.П. Протопопов и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1999. – 268 с.
5. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.

Оглавление

Правила охраны труда и техники безопасности при проведении лабораторных работ	3
Лабораторная работа 1 Изучение устройств перемещения и позиционирования	3
Лабораторная работа 2 Изучение устройства гидравлических демпферов	11
Лабораторная работа 3 Исследование системы автоматического управления объектом	15
Лабораторная работа 4 Исследование системы автоматического управления с применением ЭВМ для фиксирования и обработки результатов эксперимента	21
Лабораторная работа 5 Исследование цифровой системы автоматического управления реальным объектом	24
Лабораторная работа 6 Моделирование на персональном компьютере управляемого движения промышленного робота «Циклон-5»	28
Лабораторная работа 7 Моделирование прямой задачи кинематики манипулятора на примере ПР РМ-01	32
Библиографический список	45

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
Методические указания к лабораторным работам

Составители

КОРОСТЕЛЕВ Владимир Федорович
РАССКАЗЧИКОВ Николай Геннадьевич
ГЛУШКОВ Андрей Алексеевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.Ф. Коростелев

Редактор И.А. Арефьева
Компьютерная верстка А.А. Глушков

ЛР № 020275. Подписано в печать 30.06.03.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,99. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс
Владимирского государственного университета.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.