

Ц 848

A-91

2955/4-77

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



ЛЯП

P10 - 10642

А.Я.Астахов, Г.М.Комов, И.И.Скрыль

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРОЕКТОРЕ БПС-75

1977

P10 - 10642

А.Я.Астахов, Г.М.Комов, И.И.Скрыль

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРОЕКТОРЕ БПС-75

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Астахов А.Я., Комов Г.М., Скрыль И.И.

Результаты исследований режима измерений на проекторе
БПС-75

В работе описаны требования, предъявляемые оператором к приводу кареток проектора БПС-75. Для обоснования выбора величины центрирующей скорости определено среднемодульное отклонение при измерении оператором координаты отдельной точки, которое оказалось равным ~ 50 мкм. Минимум времени центрирования определен при скорости перемещения метки по экрану проектора 1-4 мм/с. Обосновывается выбор величины скорости движения метки как функции расстояния, на которое необходимо ее переместить. Приведена передаточная функция и скоростные характеристики измерительных кареток. Рассмотрены характеристики формирователя сигналов датчика перемещений.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Astakhov A.Ya., Komov G.M.,
Skril I.I.

Results of Studies on BPS-75 Projector
Measuring Regime

Requirements of an operator for BPS-75 projector carriage drive are described. To substantiate the choice of centering rate value we determined a mean module deviation when a single point coordinate was measured by operator (~ 50 mkm). The centering time minimum for the rate of marker shift on projector screen proved to be 1-4 mm/s. The choice of marker shift velocity value as a function of a distance to which it should be shifted is substantiated. Transfer function and velocity characteristics of measuring carriages are given. Parameters of shift detector pulse former are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

ВВЕДЕНИЕ

Процесс измерений координат точек снимка на измерительном проекторе БПС-75^{1,2/} можно условно разделить на следующие этапы. По изображению снимка на обзорном экране проектора оператор оценивает взаимное положение метки и измеряемой точки, затем определяет направление, скорость, иногда ускорение перемещения снимка и метки. Далее с помощью рукоятки управления он задает двигателям кареток выбранный режим работы и совмещает измерительную метку с заданной точкой. Другими словами, процесс измерения координат можно представить как работу замкнутой системы регулирования по положению и скорости, одним из звеньев которой является человек — оператор (рис.1). Важнейшие параметры прибора (точность измерений, производительность) зависят от характеристик отдельных звеньев системы регулирования. Так, на точность совмещения измерительной метки с выбранной точкой снимка влияет величина центрирующей скорости; а при прочих равных условиях производительность прибора будет выше, если время измерения координат точки будет мало зависеть от расстояния, на которое надо переместить снимок и метку. Это условие можно выполнить, если привод кареток обеспечивает достаточно большой динамический диапазон регулирования скоростей.

В данном сообщении приводятся результаты исследования характеристик работы отдельных звеньев, принимающих участие в измерительном процессе, а именно: оператора, привода кареток и датчика перемещений.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ ОПЕРАТОРОМ К ПРИВОДУ КАРЕТОК

Нас будут интересовать две характеристики, связанные с работой оператора: на какой скорости перемещения изображения и метки (или на каких скоростях) оператор совмещает измерительную метку и заданную точку снимка с минимальной ошибкой; как должна меняться скорость снимка и метки в зависимости от расстояния перемещения?

1. Предварительную оценку величины центрирующей скорости можно получить на основе экспериментальных исследований характеристик работы оператора в условиях, сходных с условиями работы на измерительном проекторе^{/3,4/}. Примем такую модель работы: когда оператор видит, что метка начинает совмещаться с точкой, он останавливает каретки, а полное совмещение происходит за время реакции оператора.

В работе^{/4/} приводится время запаздывания оператора: $0,26 \pm 0,65$ с. Линейные размеры точки и метки на обзорном экране – около 0,5 мм, отсюда получаем центрирующую скорость их перемещения по обзорному экрану: $0,7 \pm 2$ мм/с.

Для того, чтобы проверить полученную таким образом величину центрирующей скорости, а также получить данные об ошибках, мы провели серию опытов. На проекторе оператор измерял координаты сначала одной точки, затем двух, отстоящих друг от друга на 1 и 2 мм. По условию опытов требовалось возможно точнее совместить метку с точкой, при этом центрирующая скорость менялась от 0,5 до 10 мм/с. Измерялись время, затраченное оператором на каждый отсчет, и отклонения от среднего значения координаты. Отклонения от среднего значения (δ) подсчитывались по формулам

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N}, \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (1)$$

N – число измерений координат одной точки; x_i – измеренные координаты точки.

Результаты опытов показаны на рис. 2.

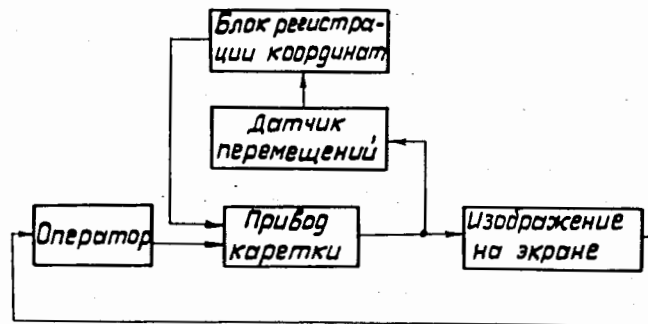


Рис. 1. Блок-схема системы регулирования по положению и скорости при измерении координат точек снимка.

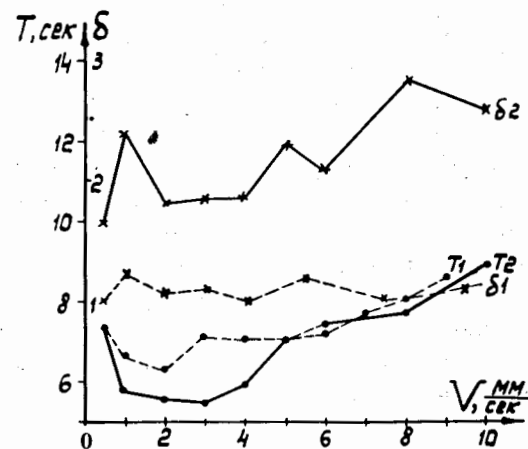


Рис. 2. Время центрирования (T_1, T_2) и отклонения от среднего значения координаты (δ_1, δ_2) как функции скорости изображения.

Первый опыт – многократные измерения координат одной точки: оператор совмещает метку с точкой, производит отсчет координаты (одновременно включается счетчик времени), после чего отводит метку на минимально возможное расстояние и снова совмещает ее с точкой. После повторного отсчета координаты счетчик времени останавливается. Время, затраченное оператором на такую операцию в диапазоне скоростей от 0,5 мм/с до 2 мм/с, уменьшается; далее, по мере роста центрирующей скорости, время растет (кривая T1). Отклонения от среднего значения координаты в этом опыте (кривая $\delta 1$) практически не зависели от скорости центрирования и составляли не более 1,3 отсчета (цена одного отсчета по обзорному экрану равна 35 мкм).

Второй опыт – многократные измерения двух точек: оператор совмещал метку с первой точкой, производил отсчет координаты, перемещал метку на 1 или 2 мм до совмещения с другой точкой, после чего производил повторный отсчет координаты. Характер изменения времени центрирования (кривая T2) такой же, как и в первом опыте, но диапазон скоростей, при которых получается минимальное время центрирования, здесь больше и равен 1+4 мм/с. Разброс отсчетов координат с ростом скорости увеличивается от 1,6 до 2,6 (кривая $\delta 2$).

В обоих опытах с изменением скорости менялся и характер процесса центрирования. При малых скоростях (0,5+1,5 мм/с) процесс совмещения метки с точкой снимка в основном соответствует принятой выше модели. При скоростях 2+4 мм/с процесс совмещения приобретает колебательный характер. Оператору удается совместить метку с точкой после 2+3 попыток. При больших скоростях колебания метки вокруг точки достигают 2–3 мм, естественно, ухудшаются условия работы оператора.

На основании этих опытов можно сделать вывод, что наиболее приемлемая скорость центрирования равна 1–4 мм/с, при этом разброс результатов измерений координат, зависящий от оператора, не превышает двух отсчетов.

2. Закон изменения скорости в зависимости от расстояния перемещения можно получить путем следующих рассуждений. Так как реакция оператора не мгновенна, то скорость перемещения метки должна быть такой, чтобы он успевал оценить ситуацию на обзорном экране проектора, другими словами, должна быть линейная зависимость между расстоянием перемещения метки и ее скоростью. Для количественной оценки такой зависимости нами были проведены следующие опыты. Оператор с различными скоростями перемещал метку из одной точки в другую, расстояние между ними было 10, 50, 100 и 150 мм. От оператора требовалось попасть в зону, равную 1/10 расстояния между точками. Ширина зоны была выбрана исходя из соотношения времени перемещения метки и времени реакции оператора. В каждом случае фиксировалось время перемещения метки. В качестве примера на рис. 3 показаны графики зависимости времени перемещения метки

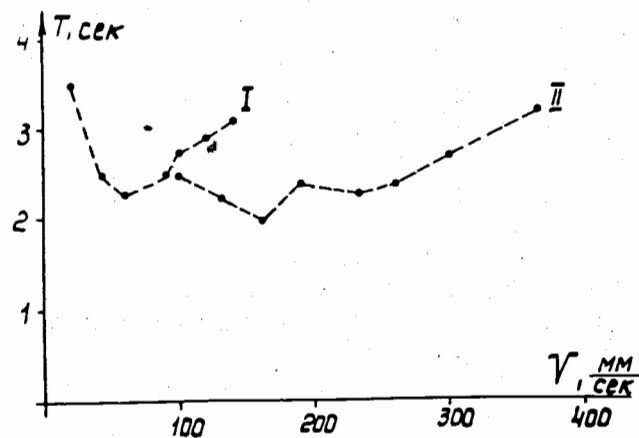


Рис. 3. Зависимость времени перемещения метки от ее скорости.

от ее скорости; расстояние между точками – 50 мм (кривая 1) и 150 мм. С помощью таких зависимостей

при условии минимума времени были найдены расчетные скорости перемещения метки в каждом опыте. На рис. 4 показана область изменения скоростей для исследуемых расстояний. Значения скоростей, при которых получено

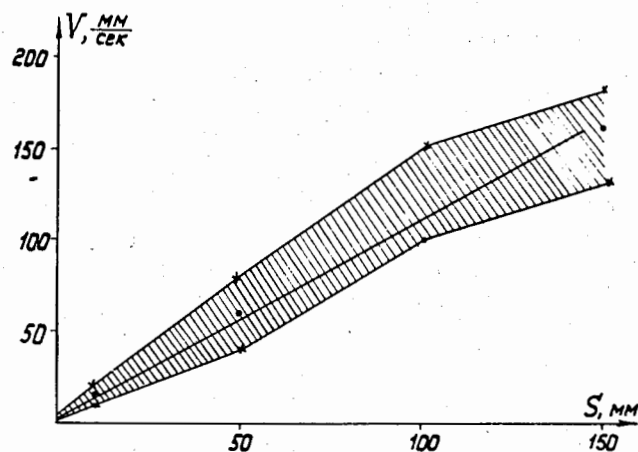


Рис. 4. График изменения расчетной скорости перемещения меток в зависимости от расстояния.

минимальное время, отмечены точками. Как видно из графика, эти точки хорошо аппроксимируются прямой. На основе графика на рис. 4 можно сказать, что с увеличением расстояния перемещения на 1 мм скорость может быть увеличена примерно на 1 мм/с.

В заключение этого раздела заметим, что графики на рис. 2 и 3 построены по результатам измерений, выполненных тремя операторами, одна точка графика есть среднее значение из 100 измерений.

СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИВОДА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАРЕТОК

Реализация в полной мере требований, предъявляемых оператором к приводу кареток, является противоречивой задачей: необходимо иметь минимальную скорость для центрирования и максимальную – для больших перемещений. Так, с учетом размеров обзорного экрана проектора БПС-75 скорость движения кареток должна изменяться от 0,1 мм/с до 140 мм/с. Скоростные характеристики двигателя при заданном моменте нагрузки не позволяют получить такую зону регулирования скоростей.

Изменяя коэффициент передачи редуктора, можно получить компромиссный вариант: максимальная скорость будет ниже желаемой, а минимальная выше необходимой. Но так как требование минимальной скорости связано с точностью прибора, то выполнение его становится обязательной задачей. Остановимся на решении этой проблемы более подробно. Для получения центрирующей скорости в систему управления двигателями кареток была введена корректирующая обратная связь, содержащая апериодическое RC-звено, усилитель и ограничитель уровня выходного напряжения. Схема формирования сигнала обратной связи описана в ^{5/}.

На рис. 5 показана структурная схема системы регулирования скорости двигателя ^{6/}. Передаточная функция замкнутой системы будет равна:

$$W(p) = \frac{K_D(1+Tp)}{T_3 T_M p^3 + (T_3 T + T_M T + T_3 T_M) p^2 + (T_3 + T_M + T)p + 1 + K_D K_{oc}}$$

Здесь T_3 и T_M – электромагнитная и электромеханическая постоянные двигателя. $T_3 = 0,01$ с, $T_M = 0,05$ с. Эти данные получены из графика переходного процесса изменения скорости двигателя при разомкнутой цепи обратной связи. K_D – коэффициент передачи двигателя вместе с редуктором. Он равен отношению скорости каретки в установившемся режиме к входному напряжению двигателя при разомкнутой цепи обратной связи. $K_D = 0,65$ мм/с.В.

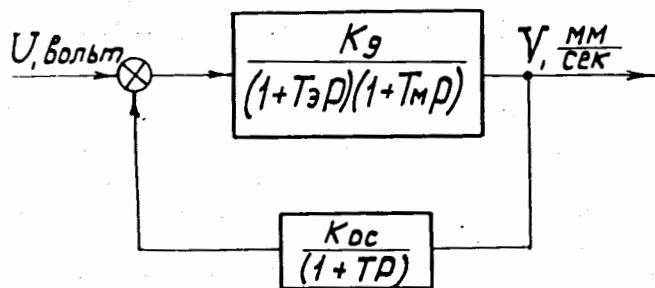


Рис. 5. Структурная схема системы регулирования скорости двигателя.

Из анализа передаточной функции замкнутой системы для выбранных значений постоянной времени апериодического звена T были получены коэффициенты передачи (K_{oc}) цепи обратной связи, при которых система сохраняет устойчивость. Так, если $T = T_d$ или $T = T_m$, то $K_{oc} \leq \leq 22$ с.В/мм; для $T = 10T_m$ или $T = T_d/10$ $K_{oc} \leq 110$ с.В/мм. С другой стороны, K_{oc} можно найти как отношение скорости каретки в установившемся режиме ко входному напряжению двигателя при замкнутой цепи обратной связи.

Действуя методом последовательных приближений, по известным T и K_{oc} можно подобрать параметры цепи обратной связи (величину сопротивления R , емкости C и уровень ограничения) таким образом, чтобы получить нужные скорости. Минимальная скорость, которую мы получили, равна 0,04 мм/с, максимальная — 40 мм/с.

Оператор изменяет скорость кареток с помощью датчика "угол-код". По принципу работы такой датчик является устройством статического типа. По сравнению с так называемым "шаром перемещений" (TRACK BALL), который обычно применяется для задания скорости в подобных приборах^{/1/}, он имеет то преимущество, что освобождает оператора от необходимости постоянно вращать шар. Тем самым создаются более благоприятные условия

для работы. С выхода датчика снимается 3-разрядный сигнал в коде Грея, поэтому каретки имеют 7 скоростей, причем 1-я, 2-я и 4-я скорости могут быть установлены независимо от остальных. На рис. 6 показан график рабочих скоростей кареток (кривая I). Здесь центрирующая скорость равна 0,1+0,15 мм/с. Кривая II рисунка показывает изменение скоростей без цепи обратной связи.

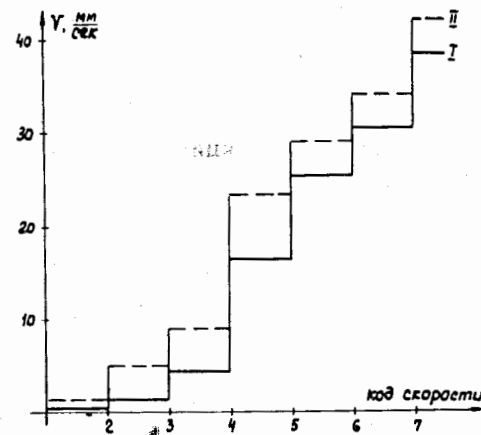


Рис. 6. График рабочих скоростей кареток.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМИРОВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Отсчетная система проектора состоит из датчика перемещений и блока регистрации координат^{/2/}. Одним из основных требований, предъявляемых к ним, является надежность определения координаты. Причиной сбоев в отсчетной системе могут быть помехи, возникающие при работе привода кареток (исполнительных усилителей и двигателей). Помехи проявляются в виде высокочастотных наводок на шинах питания и "земля", а также низко-

частотного дрейфа уровней стабилизированных источников питания. Их уровни иногда превосходят уровни сигналов датчика перемещений. Поэтому, защитив формирователь сигналов датчика перемещений от ложных срабатываний, мы решим в основном проблему надежного вычисления координаты.

Для проектора БПС-75 было разработано несколько вариантов схем формирования сигналов (см., например, ^{1/8/}). На рис. 7 показан формирователь, который в испытаниях на помехозащищенность показал лучшие результаты. Так,

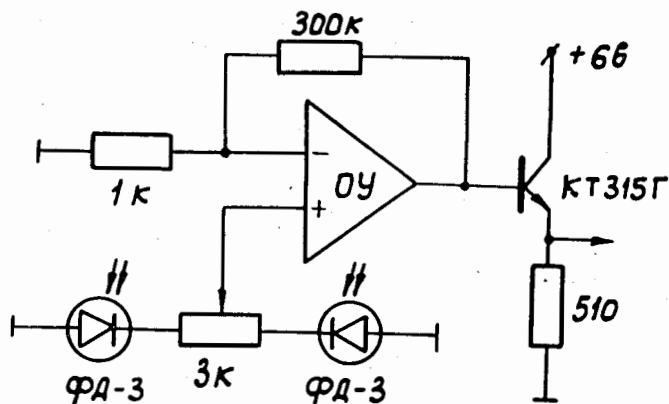


Рис. 7. Формирователь сигналов датчика перемещений.

схема сохраняет формирующие свойства при одновременном изменении питающих напряжений от $\pm 4,5$ В до ± 7 В. Схема допускает разброс питающих напряжений ± 1 В. Такой диапазон изменений превосходит максимальный уровень помех. Это достигается за счет того, что рабочая точка операционного усилителя (ОУ) и амплитуда сигналов с фотодиодов, фиксирующих перемещения дифракционных решеток, не зависят от напряжения источников питания. Поэтому помехи на шинах питания практически не влияют

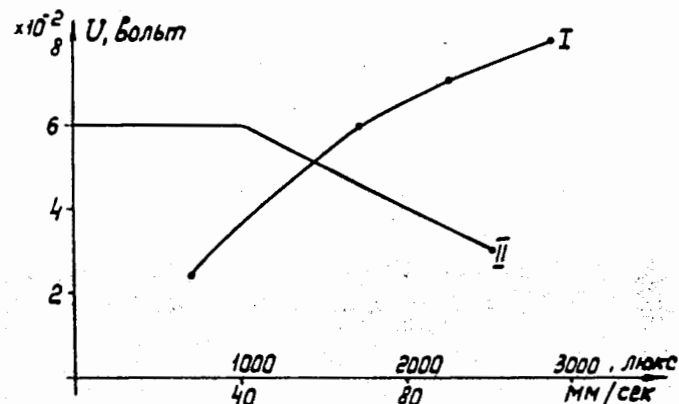


Рис. 8. Зависимость ЭДС фотодиодов датчика перемещений от освещенности (кривая I) и скоростей движения кареток (кривая II).

на выделение счетного импульса в блоке регистрации координат, а высокочастотные наводки на шине "земля" (помехи, приведенные ко входу ОУ) компенсируются его дифференциальным каскадом. Схема имеет следующие входные характеристики (см. рис. 8): минимальный входной сигнал, при котором начинает работать счетная система, равен 35 мВ, что соответствует освещенности 1000 люкс; рабочий уровень освещенности - 1700-2000 люкс (кривая I); во всем диапазоне скоростей кареток ЭДС фотодиодов остается неизменной (кривая II).

В заключение авторы выражают благодарность Т.А. Степановой за большую помощь в наборе статистического материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьев В.А. и др. ОИЯИ, 10-9880, Дубна, 1976.
2. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, 10-9927, Дубна, 1976.

3. Гаврилов Л.В. и др. Результаты исследования некоторых режимов работы оператора. В кн.: Система "человек и автомат". Наука, М., 1965.
4. Водлозеров В.М. Опыт экспериментального исследования прослеживающихся движений. В кн.: Проблемы общей и инженерной психологии. Изд-во Ленинградского государственного университета, 1964.
5. Астахов А.Я. ОИЯИ, 10-10135, Дубна, 1976.
6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Наука, М., 1975.
7. Котов В.М. и др. ОИЯИ, 10-8193, Дубна, 1974.
8. Семенов В.Н. ОИЯИ, Р10-9378, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 мая 1977 года.