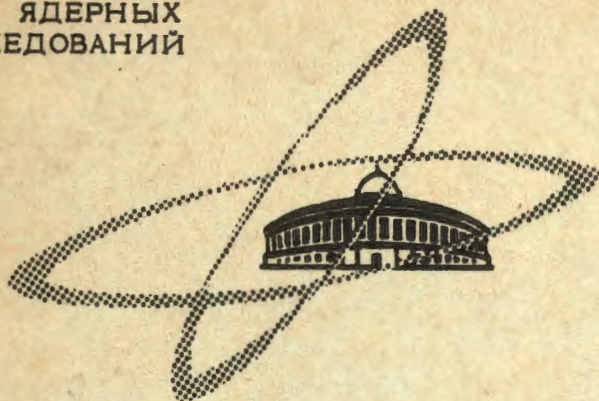


Б-825

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9- 3924



Н.Г.Борисов, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский,
В.Н.Лысяков, С.А.Новиков, Н.И.Павлов,
Н.М.Тараканов

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ
ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МАГНИТА
В СИСТЕМЕ ВЫВОДА ПРОТОННОГО ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

1968

9- 3924

7456/3 нр.

Н.Г.Борисов, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский,
В.Н.Лысяков, С.А.Новиков, Н.И.Павлов,
Н.М.Тараканов

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ
ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МАГНИТА
В СИСТЕМЕ ВЫВОДА ПРОТОННОГО ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА



Введение

Рабочее положение выводного магнита, находящегося при выводе протонов вблизи центрального радиуса ускорителя ($R_0 + 200$ мм), приводит к необходимости освобождать рабочую часть вакуумной камеры синхрофазотрона на время инъекции и начальной стадии ускорения ^{1/}. Этим определяются требования, предъявляемые к механизму передвижения выводного магнита.

Были рассмотрены два варианта передвижения магнита в камере — в горизонтальном и вертикальном направлениях. Предпочтение было отдано первому варианту, поскольку при этом:

- а) величина пути перемещения магнита из исходного положения в рабочее (400 мм) меньше, чем в случае горизонтального передвижения;
- б) отпадают трудности, связанные с размещением механизма передвижения магнита в районе расположения каналов транспортировки пучков.

Время передвижения магнита весом около 300 кг должно составлять небольшую часть рабочего цикла синхрофазотрона, чтобы сохранялась возможность осуществлять вывод ускоренных частиц в широком диапазоне энергий. Произведенные оценки показали, что время 0,8 + 0,9 сек является приемлемым.

К конструкции механизма предъявляется также ряд дополнительных требований: при возвратно-поступательном движении магнита вакуум в камере практически не должен ухудшаться, кроме того, должна существовать возможность подвода питания к магниту, регулировки скорости хода и рабочего положения и т.д.

На рис.1 показано расположение выводного магнита и механизма передвижения в прямолинейном участке синхрофазотрона.

II . Гидравлическая схема. Описание и принцип работы

Гидравлический механизм передвижения выводного магнита состоит из следующих основных узлов:

- 1) гидроцилиндр (ЗУ4431);
- 2) реверсивный трехпозиционный золотник с электрическим управлением (Г73-14);
- 3) путевые дроссели (ЗУ4374);
- 4) пневматический гидроаккумулятор;
- 5) контрольно-регулирующая аппаратура: обратные клапаны (Г51-23), переливной клапан (Г52-13), дроссели (Г77-14), манометры, термосигнализатор (ТС-100);
- 6) фильтр;
- 7) азотная система;
- 8) насосная станция.

Гидроцилиндр является исполнительным механизмом (объемным гидродвигателем), в котором ведомое звено (шток с поршнем) совершает ограниченное возвратно-поступательное движение; выбран гидроцилиндр двухстороннего действия с односторонним штоком.

При движении выводного магнита вверх схема включения гидроцилиндра - дифференциальная, при движении вниз - прямая ^{/2/}. Применение такой схемы включения вызвано тем, что при движении магнита вверх в нижнюю полость гидроцилиндра надо подать 1,32 масла за довольно короткое время (0,8-1сек). Если при ходе вверх принять прямую схему включения, то за 1 мсек насос может подать в гидроцилиндр только 0,3 л масла, остальная часть (1,02 л) будет подана гидроаккумулятором; при этом давление в системе упадет примерно на 30-35%, что повлечет за собой уменьшение скорости движения выводного магнита.

При применении дифференциальной схемы включения распределение объема подаваемого в нижнюю полость гидроцилиндра масла будет следующим:

- | | |
|----------------------------------|---------------|
| от насоса | - 0,3 литра, |
| из верхней полости гидроцилиндра | - 0,66 литра, |

из гидроаккумулятора - 0,36 литра.

Давление в этом случае упадет всего лишь на 10-12%.

Реверсивный трехпозиционный золотник выполняет функции управления движением штока исполнительного механизма (гидроцилиндра). При крайнем верхнем (см. рис.2) положении золотника поршень движется вверх - прямой ход; при крайнем нижнем - поршень движется вниз - обратный ход. В среднем положении золотник запирает все каналы - поршень заперт между двумя закрытыми объемами масла. Перемещение золотника происходит под действием двух электромагнитов толкающего действия, в среднем положении золотник удерживается двумя пружинами, усилия которых уравновешены.

С помощью путевых дросселей осуществляется торможение подвижных частей механизма прямого и обратного хода. Путевые дроссели смонтированы "на выходе" и "входе" гидроцилиндра.

Описываемый механизм работает с периодическими большими пиками расхода масла, которые во много раз превышают средний расход в системе. С другой стороны, в каждом цикле система остается неподвижной в течение 5-6 секунд, что создает возможность накапливания определенного объема масла. В качестве устройства для такого накапливания использован пневматический гидроаккумулятор, который принимает масло в периоды пауз между его потреблением. Применение гидроаккумулятора дает возможность ограничить мощность насоса величиной средней мощности гидроцилиндра ^{/2/}, что, в свою очередь, позволяет значительно уменьшить вес и габариты насосной станции, а также уменьшить расход электроэнергии.

Контрольно-регулирующая аппаратура служит для регулирования давления в гидросистеме, ее предохранения от перегрузок, направления потоков масла и контроля за работой гидросистемы. Регулировка и поддержание давления в гидросистеме в требуемых пределах производятся с помощью переливного клапана, который срабатывает при повышении давления сверх заданного, пропуская масло на слив. Для измерения давления служат образцовые манометры (M_2 и M_3 , рис.2), которые показывают давление газообразного азота в гидроаккумуляторах, и электроконтактный манометр M_1 , отключающий электродвигатель насосной станции при отклю-

нении рабочего давления в гидросистеме за пределы заданного интервала.

Азотная система служит для наполнения и периодической подпитки газообразным азотом верхней (газовой) полости гидроаккумулятора. Она состоит из стандартных частей (баллон, вентили, редуктор).

Одним из основных агрегатов гидросистемы является насосная станция, которая состоит из бака и двух блоков "двигатель-муфта-насос". Объем бака - примерно 100 л, производительность насоса - 18 л в минуту. Кроме того, в баке помещается датчик термосигнализатора.

Все описанные выше узлы, кроме бака, выпускаются серийно промышленностью /3/.

Гидравлическая схема работает следующим образом (рис.2):

1. Прямой ход (движение магнита вверх, в рабочее положение).

При этом схема электрического управления включает соленоид СВ золотника; золотник под действием соленоида перемещается вверх, соединяя нагнетательный канал 1 с каналом 2, канал 3 - с каналом 4, канал 5 заперт. В начальный момент масло подается от насоса и гидроаккумулятора в нижнюю и верхнюю полости гидроцилиндра, но поскольку площадь нижней поверхности поршня больше (в 3 раза) площади верхней поверхности, поршень и связанный с ним выводной магнит начинают двигаться вверх. При этом в нижнюю полость гидроцилиндра кроме масла, подаваемого от насоса и гидроаккумулятора, поступает и масло, вытесняемое из его верхней полости.

В конце хода путевой дроссель, стоящий на выходе верхней полости гидроцилиндра, с помощью специального кулачка начинает перекрываться. Нарастающее противодавление в верхней полости гидроцилиндра обеспечивает плавное торможение подвижных частей. Окончательная остановка достигается с помощью концевого выключателя, отключающего посредством схемы управления соленоид СВ. Золотник под действием пружины приходит в нейтральное (среднее) положение и запирает масло в обеих полостях гидроцилиндра, рабочее положение фиксируется.

2. Обратный ход (движение магнита вниз, в нерабочее положение). После кратковременной стоянки магнита в верхнем положении (до 0,5сек) схема включает соленоид СН золотника; золотник приходит в крайнее

нижнее положение. Теперь нагнетательный канал 1 соединяется с каналом 3, канал 2 соединяется с каналом 5, канал 4 заперт.

Масло от насоса и гидроаккумулятора поступает в верхнюю полость гидроцилиндра, из нижней вытесняется через путевой дроссель в бак насосной станции.

Торможение и остановка подвижных частей осуществляются как и в предыдущем случае с помощью путевого дросселя и концевого выключателя, отключающего верхний электромагнит золотника.

На этом цикл движения выводного магнита, продолжающийся 2-3 секунды, заканчивается. В последующие 5-6 секунд до начала нового цикла движения происходит накопление гидроаккумулятором потенциальной энергии в виде определенного объема масла (примерно 0,36 литра, как указывалось выше).

III . Динамический расчет гидросистемы

В связи с тем, что время хода магнита в рабочее положение мало (не более 1 сек), а путь, проходимый грузом (выводным магнитом), составляет 400 мм, при расчетах необходимо учитывать время разгона и торможения.

1. Ход вверх - разгон и равномерное движение (см. рис.3).

Уравнение динамического равновесия будет при этом иметь вид:

$$m \frac{dv}{dt} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - F_{тр} - G, \quad (1)$$

где m - приведенная масса движущихся частей, v - скорость, t - время, p_1 - давление в нагнетательном трубопроводе (рабочее давление), p_2 - противодействие в верхней полости гидроцилиндра, F_1 - нижняя площадь поршня, F_2 - верхняя площадь поршня, $F_{тр}$ - сила трения, G - вес подвижных частей.

Противодействие рассчитывается по формуле

$$p_2 = p_1 + \Delta p = p_1 + \xi \frac{u^2 \gamma}{2g}, \quad (2)$$

где Δp - перепад давления в дросселе, ξ - коэффициент сопротивления дросселя, u - средняя по потоку скорость жидкости в дросселе, γ - объемный вес жидкости, g - ускорение силы тяжести.

Из уравнения постоянства расхода получаем:

$$u = \frac{v F_2}{f_{др}}, \quad (3)$$

где $f_{др}$ - площадь проходного сечения дросселя.

Окончательно уравнение (1) имеет вид:

$$\frac{dv}{dt} = a_1 - a_2 v^2, \quad (4)$$

где

$$a_1 = \frac{p_1 F_1 - F_{тр} - G - p_1 F_2}{m} \quad a_2 = \xi \frac{F_2^3 \gamma}{2G f_{др}^2}.$$

Приближенный расчет наиболее существенных местных сопротивлений (в распределительном золотнике, при входе в гидроцилиндр и выходе из него, а также возникающих за счет резких изменений направления потоков жидкости и т.д.) приводит к увеличению коэффициента a_2 в 8+10 раз. Повышение точности вычислений может быть достигнуто ценой их значительного усложнения, что является мало оправданным для проводимых нами оценочных расчетов).

Дифференциальное уравнение (4) имеет решение:

$$t = \frac{1}{2a_2 \sqrt{a_1/a_2}} \ln \frac{\sqrt{a_1/a_2} + v}{\sqrt{a_1/a_2} - v}. \quad (5)$$

Задавая величину t , получим соответствующее этому времени значение скорости v . Расчет удобно вести в табличной форме. На основании этого расчета величина рабочего давления в гидросистеме выбрана равной 42 кг/см^2 ; при таком давлении время разгона будет равно $\approx 0,1$ сек, расчетная скорость установившегося движения $v_0 = 0,62 \text{ м/сек}$ (рис.7).

Поскольку наш расчет носит иллюстративный характер, принимаем, что торможение в верхней части приводит к равномерно-замедленному движению, т.е. $s = v_0 t / 2$. В нашем случае торможение осуществляется на пути длиной 100 мм. При значении $v_0 = 0,62 \text{ м/сек}$ время торможения составляет величину примерно 0,3 сек.

Уравнение движения при ходе вниз имеет вид подобный (4), однако коэффициенты a_1 и a_2 будут представлены несколько иными выражениями:

$$a_1 = \frac{G + p_2 F_2 - F_{\text{тр}}}{m} \quad (6)$$

$$a_2 = \xi \frac{F_1^3 \gamma}{2 G f_{\text{тр}}^2} \quad (7)$$

IV . Описание конструкции

Конструктивно гидравлический механизм передвижения выводного магнита выполнен в виде двух станин 3 и 14 (рис.1), смонтированных на общей плите 1, которая крепится к фундаменту.

На меньшей станине установлены гидроцилиндр 5, золотник 2 и два гидроаккумулятора 4 (рабочий и резервный). Крепление гидроцилиндра допускает плавную регулировку его положения по вертикали. Шток гидроцилиндра соединяется с ползуном 6, который перемещается в направляющих большой станины. На верхней части ползуна закреплены два штока 7, которые служат для механической связи подвижных частей механизма

с выводным магнитом, а также являются коаксиальными токоподводами для питания обмоток магнита. Кроме того, на ползуне закреплены кулачок, закрывающий путевые дроссели при торможении подвижных частей, и кронштейн датчика хода.

На большей станине крепятся путевые дроссели 13 с концевыми выключателями, датчик хода, подвижные вакуумные уплотнения 8 для штоков выводного магнита, система смазки (автоматически подающая масло на направляющие при работе механизма и прекращающая его подачу при остановке), домкрат 15, облегчающий ремонтные и монтажные работы на установке. Крепление путевых дросселей с концевыми выключателями допускает регулировку их положения по высоте и, следовательно, регулировку крайних (верхнего и нижнего) положений выводного магнита.

Вакуумное уплотнение состоит из корпуса, шарнирно соединенного со станиной. Кроме того корпус вакуумного уплотнения соединен с вакуумной камерой синхрофазотрона посредством сифона. Таким образом, вакуумное уплотнение имеет пять степеней свободы, что обеспечивает нормальную работу его независимо от погрешностей сборки всего механизма передвижения выводного магнита и погрешностей монтажа механизма под прямолинейным участком камеры синхрофазотрона. Внутри корпуса подвижного вакуумного уплотнения имеются две полости, разделенные между собой и отделенные от атмосферы вакуума с помощью манжетных уплотнений. Нижняя (ближняя к атмосфере) полость заполнена вакуумным маслом, верхняя соединена с форвакуумной магистралью.

Смазка направляющих осуществляется с помощью специального насоса 12, который работает от кулачка, также расположенного на ползуне. При каждом ходе ползуна насос подает в капельную масленку примерно $0,3 \text{ см}^3$ масла. Капельная масленка ограничивает подачу масла на направляющие; излишки масла из нее сливаются обратно в питающий бачок.

Станины, фундаментная плита и ползун выполнены сварными. Трубопроводы гидросистемы – медные трубы с шаровым металлическим уплотнением.

V. Схема управления гидромеханизмом

Блок-схема управления гидромеханизмом представлена на рис.4. Импульс запуска, синхронизованный с циклом ускорения, включает электронные реле времени. После срабатывания реле прямого хода 1РВ ток через промежуточное реле 1РП подается в соленоид верхнего хода СВ, который перемещает золотник в соответствующее положение (прямой ход).

В крайнем верхнем положении срабатывает концевой выключатель КВВ, при этом соленоид СВ отключается (рабочее положение).

После заданного времени пребывания в рабочем положении срабатывает реле обратного хода 2РВ и через реле 3РП осуществляется включение соленоида нижнего хода СН (обратный ход).

Релейная схема управления приведена на рис.5. Взаимная блокировка промежуточных реле исключает одновременную подачу тока в оба соленоида (что может вызвать перегрев и выход из строя одного из них) в случае остановки механизма в промежуточном положении. Отключение промежуточных реле происходит в момент размыкания соответствующего концевого выключателя (КВВ или КВН). Одновременно разрывается анодная цепь тиратрона и реле времени возвращается в исходное состояние.

Электронные реле времени (Рис.6), собранные по идентичным схемам, содержат триггеры (Л1 и Л3) и тиратроны (Л2 и Л4). Регулировка момента включения 1РВ и 2РВ производится соответственно с помощью сопротивлений R_7 и R_{17} , выведенных на панель пульта управления. Там же находятся сигнальные лампочки положения магнита (ЛК и ЛЗ на рис.5).

Сигнал с потенциометрического датчика положения выводного магнита поступает на катодный повторитель (Л5), а затем на вход осциллографа.

Заключение

Опыт эксплуатации механизма передвижения выводного магнита в течение года показал его надежность и хорошие эксплуатационные характеристики.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность К.П.Мызникову и Е.М.Кулаковой, принимавшим активное участие в постановке задачи и обсуждениях, Д.В.Уральскому, Б.К.Курятникову, В.И.Клементьеву и другим сотрудникам экспериментальных мастерских, где производилась сборка механизма, а также М.Д.Ершову, В.С.Мионову, В.Н.Булдаковскому и В.А.Шурховецкому, участвовавшим в наладке гидросистемы и схемы управления механизмом.

Л и т е р а т у р а

1. Быстрый вывод пучка протонов из синхрофазотрона ОИЯИ. Препринт ОИЯИ Р2387, Дубна 1967.
2. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидроцилиндры.
3. "Гидравлическое оборудование для металлообрабатывающих станков и автоматических линий". Каталог-справочник.
4. Ермаков В.В. "Гидравлический привод металлорежущих станков".
5. Башта Т.М. "Машиностроительная гидравлика". Машгиз 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 июня 1968 года.

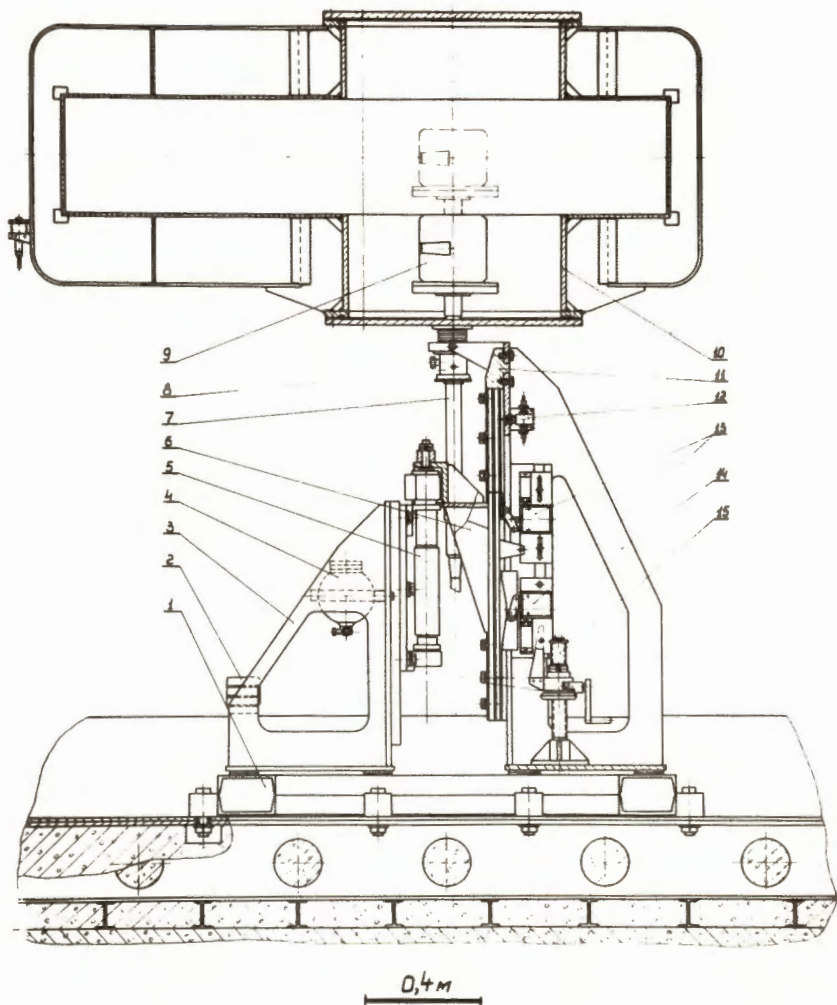


Рис.1. Общий вид гидромеханизма. 1. Основные установки. 2. Золотник. 3. Станина (малая) гидроцилиндра. 4. Гидроаккумулятор. 5. Гидроцилиндр. 6. Ползун гидроцилиндра. 7. Шток. 8. Подвижное вакуумное уплотнение. 9. Выводной магнит. 10. Камера синхрофазотрона. 11. Ограничитель ползуна. 12. Масляный насос. 13. Путьевые дроссели. 14. Станина (большая). 15. Домкрат. Трубопроводы на чертеже не показаны.

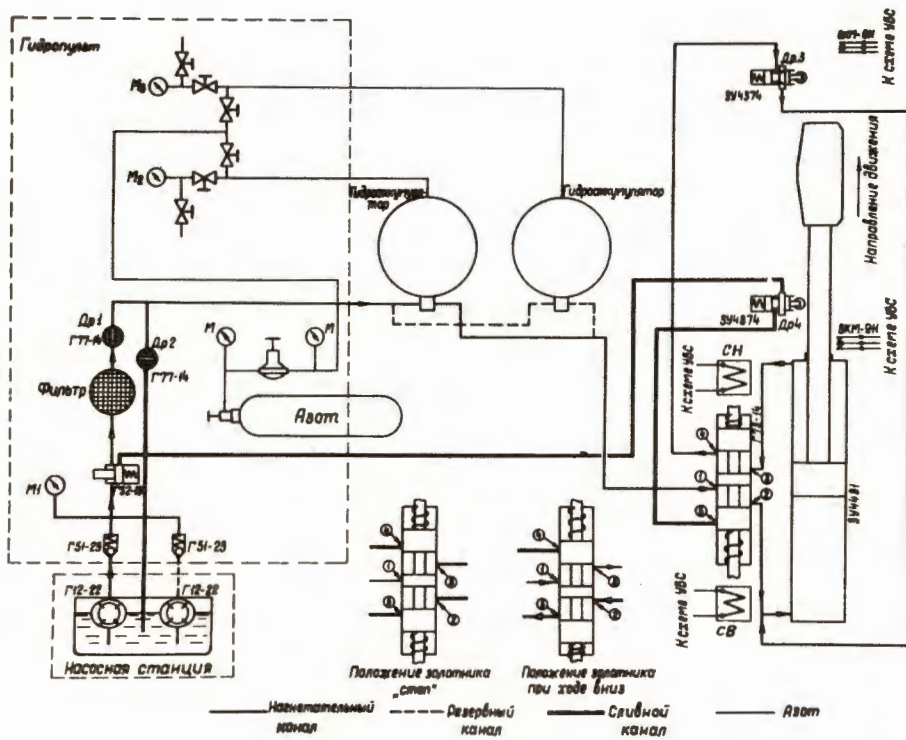


Рис.2. Принципиальная схема гидромеханизма.

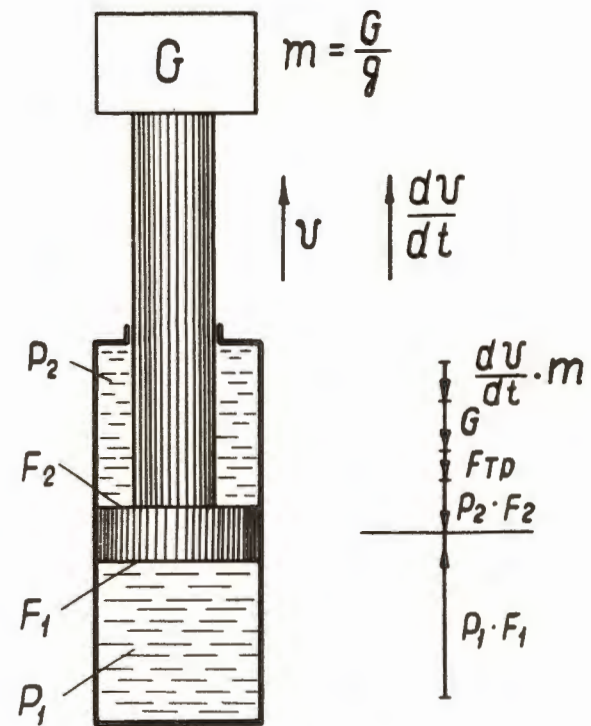


Рис.3. Направление сил при движении вверх.

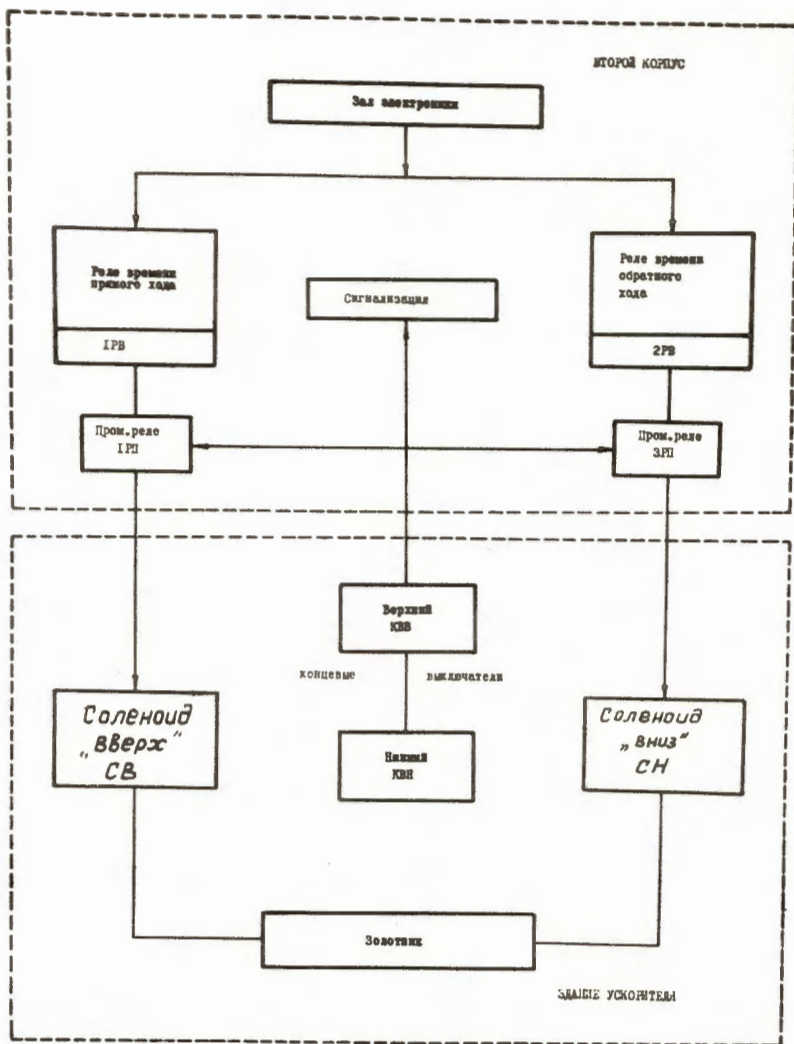


Рис.4. Блок-схема управления.

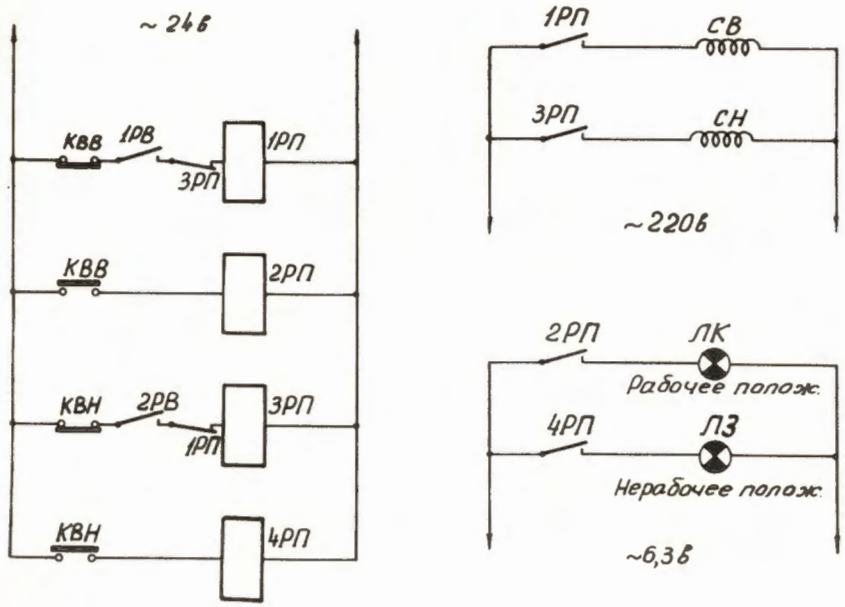


Рис.5. Релейная схема управления.

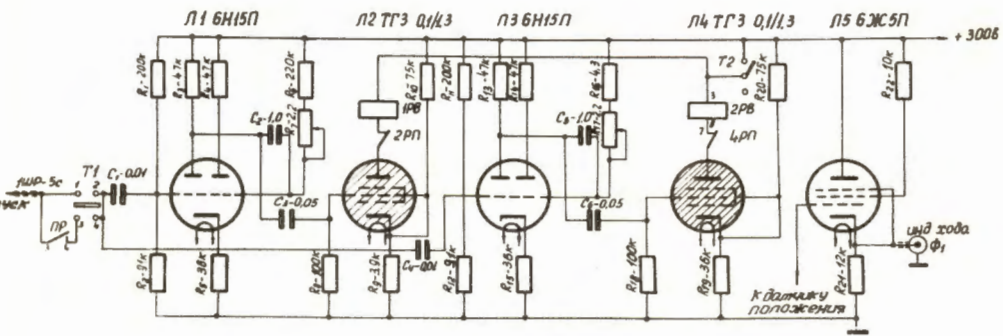


Рис.6. Электронные реле времени.

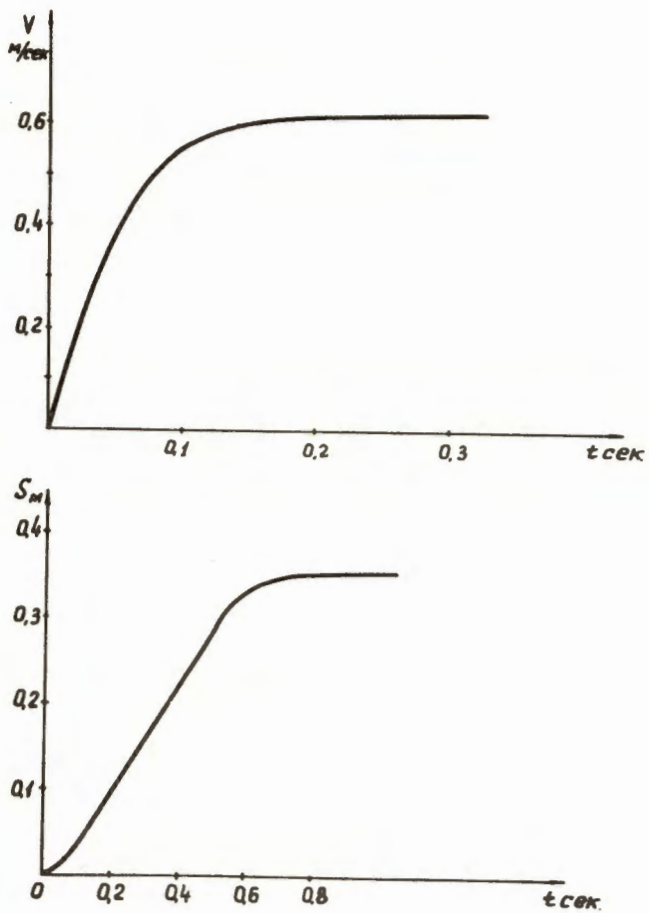


Рис.7. Расчетные кривые скорости и пути штока при ходе вверх.

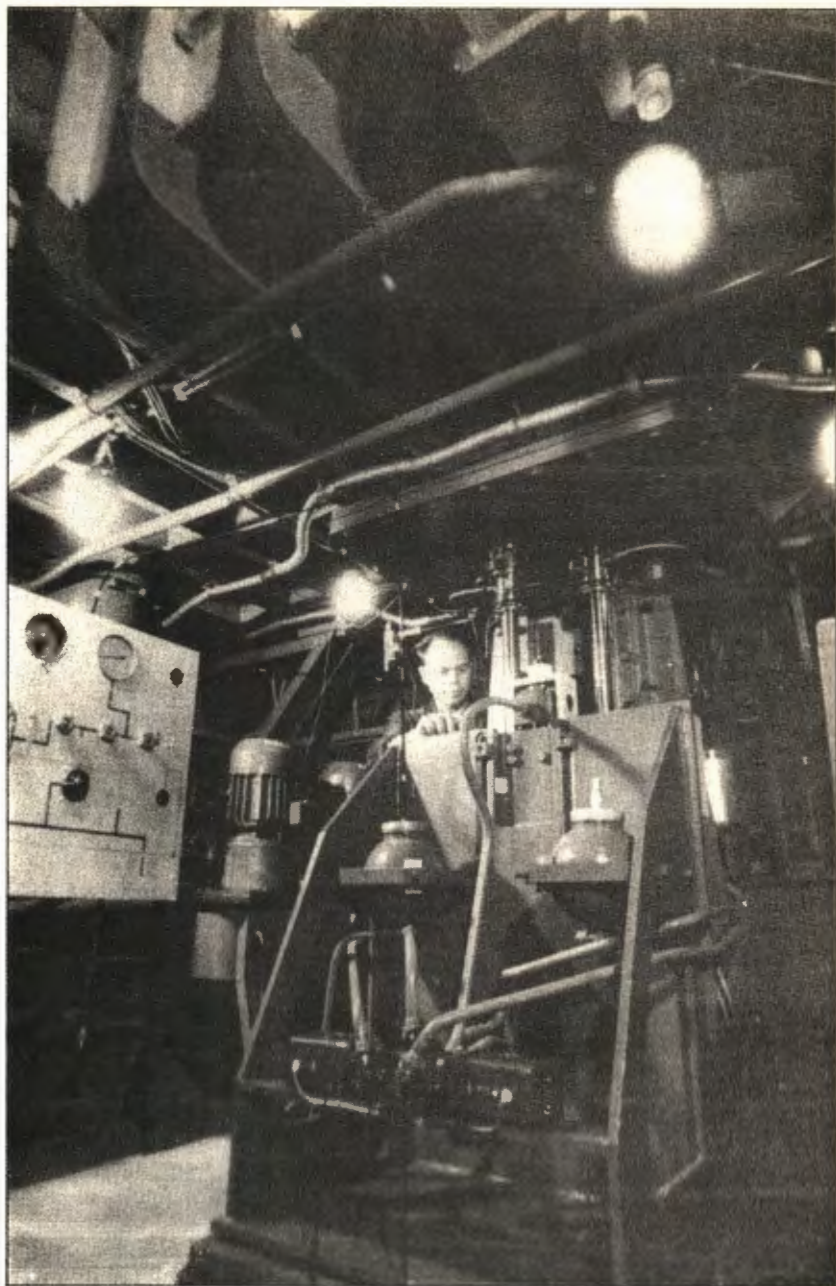


Рис.8. Общий вид гидромеханизма на выводном участке синхрофазотрона.