

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



СЗУУ, 1л  
Ш-61

19/12-77  
13 - 10931

Ч.Шимане, В.Шульц, К.Ондрейчка

5070/2-77

ГОНИОМЕТР НГ-3  
ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ ДИФРАКТОГРАФИИ  
С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ЭВМ

**1977**

13 - 10931

Ч.Шимане, В.Шульц,\* К.Ондреичка

ГОНИОМЕТР НГ-3  
ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ ДИФРАКТОГРАФИИ  
С УПРАВЛЕНИЕМ ОТ ЭВМ

---

\* Машиностроительный факультет ЧПИ, Прага, ЧССР.

---

Шимане Ч., Шульц В., Оадрейчка К.

13 10931

Гонометр НГ-3 для нейтронной дифрактографии с управлением от ЭВМ

Приводится описание конструкции трехосного нейтронного гонометра с делением полного угла на 256 ( $2^8$ ) бинарных градусов (1 б.г. =  $1,40625^\circ$ ). Измерение поворота на целое число градусов производится с помощью точного торцевого зубчатого сцепления, а поворота в пределах одного градуса - с помощью микрометрического винта. Описана также электронная схема управления и связи гонометра по одножильной коаксиальной линии с управляющим модулем в системе КАМАК. Число полных оборотов вокруг осей не ограничено. Минимальный шаг равен  $0,01 \pm 0,002$ , интегральная точность в настройке угла -  $\pm 0,005$  б.г. Скорости вращения равны примерно 6 и 0,06 б.г./с.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

В научно-технической литературе <sup>1-6/</sup> можно найти описание различных типов гониометров. Техническая информация содержится также в фирменной документации <sup>7-14/</sup>.

Гониометр НГ-3 предназначен для точной ориентации образца /путем вращения его вокруг трех осей/ при исследовании структуры кристаллов методом нейтронной дифрактографии. Задание углов поворота и режимов работы гониометра осуществляется дистанционно с управлением от ЭВМ через контроллер и управляющий модуль /управляющую станцию/ в системе КАМАК.

Для настройки и измерения углов в гониометре приняты за основу система точного торцевого зубчатого сцепления и система микрометрического винта /рис. 1/. Обе системы могут, в принципе, обеспечить предельную точность почти на порядок выше требуемой. Комбинация таких систем с дистанционным управлением от ЭВМ по одножильной коаксиальной линии связи общей длиной до 600 м при неограниченном числе полных поворотов вокруг любой из трех осей применена в гониометре впервые.

Отдельные узлы прибора описаны в последующих разделах этой работы. Электронные схемы проходили модельные испытания, и описанные решения базируются уже на их результатах.

В основу проекта положены следующие параметры прибора:

расстояние до центра

гониометра от

основания круга  $\Omega$

- 450 мм,

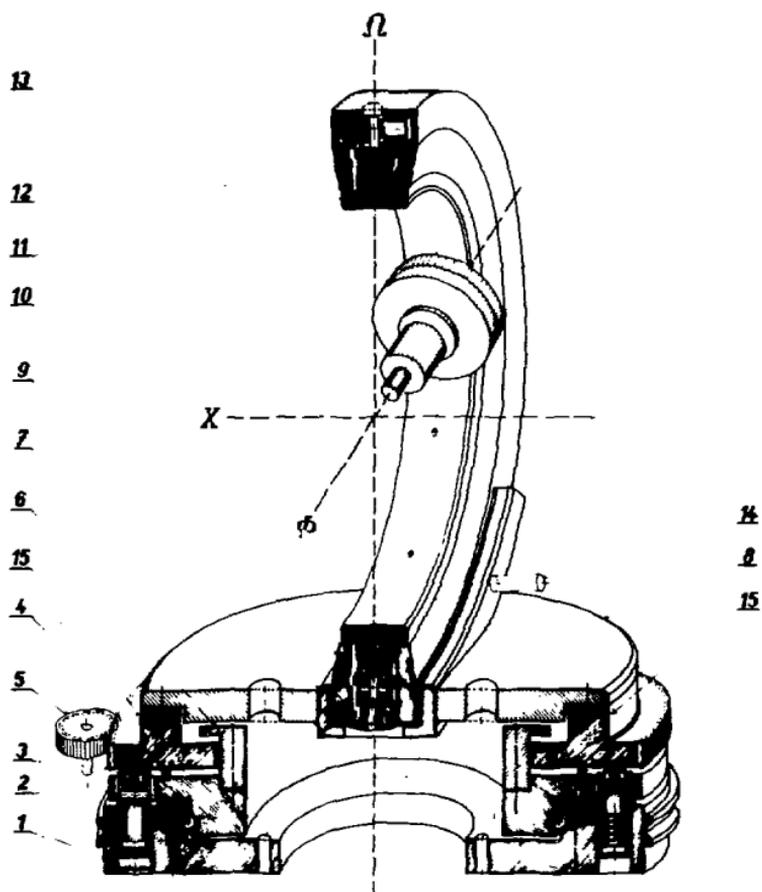


Рис. 1. Механическая часть гониометра.

максимальный внешний диаметр круга $\Omega$	- 450 мм,
внутренний диаметр круга $\chi$	- 400 мм,
ширина круга $\chi$ на внутреннем диаметре	- 61 мм,
внешний диаметр круга $\chi$	- 590 мм,
максимальный диаметр круга $\Phi$	- 115 мм,
расстояние от конца оси $\Phi$ до центра гониометра	- 85 мм,
угловая скорость поворота /для всех осей/	
по целым градусам	- 6°/с,
по сотым долям градуса	- 0,06°/с,
время поворота на 180°	- 30 с,
время смещения на 1°	- 15 с,
<b>Угломерные параметры:</b>	
интегральная точность в настройке угла	- $\pm 0,005$ б.г. / $\pm 25''$ /,
дифференциальная точность на минимальном шаге 0,005 б.г.	- $\pm 0,002$ б.г. / $\pm 10''$ /,
минимальный шаг деления полного угла	- 0,01 б.г. /50,6''/,
	- 256 б.г. /1 б.г.=1,40625''/;
	0,01 б.г.=0,84375''/,
рабочие шаги	- целочисленные, кратные минимальному шагу,
точность пересечения осей	- сфера диаметром 0,1 мм.
Угломерные параметры одинаковы для всех осей.	

Доля полного телесного угла  $4\pi$ , перекрытая кругами  $\chi$  и  $\Phi$ , составляет 17%. Угол мертвого конуса  $\Phi$  равен 36°, мертвые углы при вращении круга  $\Omega$  равны  $2 \times 17^\circ$ .

## 2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ГОНИОМЕТРА

На всех трех кругах /столах/ гониометра для изменения углов применена, в принципе, одна и та же система. Поворот в новое заданное положение совершается отдельно по целым градусам и сотым долям градуса /в пределах одного градуса/. Система отсчета углов также разделена на отсчет целых градусов и отсчет сотых долей градуса. Под градусами будем понимать /если не будет оговорено иначе/ бинарные градусы /б.г./  $1 \text{ б.г.} = 360/256 = 1,40625$  углового градуса. Полный угол при этом разделен на  $2^8 = 256$  б.г. Такое разделение выгодно с точки зрения удобства отсчета углов прямо в бинарном коде. При этом  $0,01 \text{ б.г.} = 0,84$  угловой минуты и представляет собой минимальный шаг поворота. В запасе имеется возможность уменьшить минимальный шаг до  $0,005$  б.г.

### 2.1. Система поворота и отсчета углов по целым градусам

Эта система должна обеспечить поворот по целым градусам с точностью, заметно лучшей чем  $0,01$  б.г. Основными функциональными и одновременно угломерными элементами системы являются пары круглых дисков или колес /в дальнейшем называемых ротором и статором/ с выступами на боковых плоскостях, образующими зубчатое сцепление. Профиль сцепления треугольный, и все линии боковой поверхности сходятся в общей точке, лежащей на оси дисков в сцепленном состоянии /рис. 2/. Число зубьев в данном случае равно 256, т.е. числу делений полного угла /в принципе, можно применить деление на  $n \times 256$  зубьев,  $n$  - целое число/.

Для осуществления поворота в новое положение необходимо аксиальным смещением ротора разъединить сцепление, совершить поворот по отношению к статору на целое число  $N$  делений и вновь сцепить. Для правильного функционирования системы достаточно обеспечить угол поворота с точностью, немного лучшей чем  $\pm t/2$  /рис. 2а/, или  $\pm 0,5$  б.г.

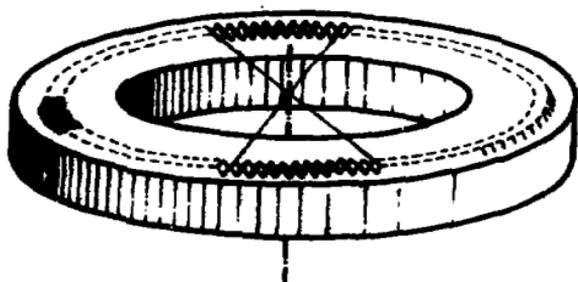


Рис. 2. Диск с торцевым зубчатым сцеплением.

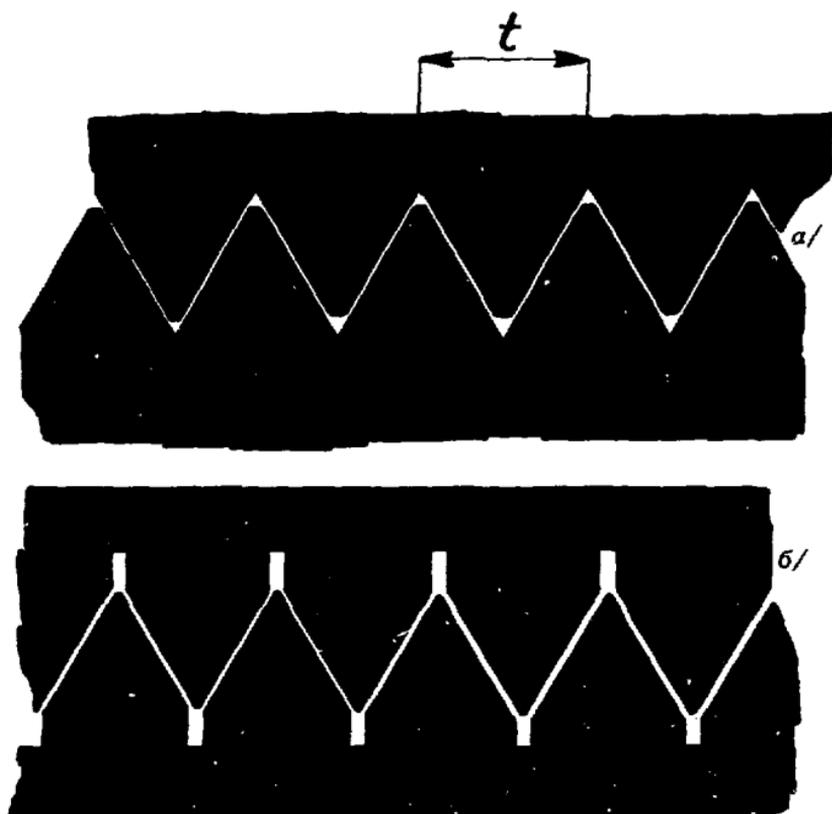


Рис. 2а, б. Виды сцепления.

Поворот ротора обеспечивает электропривод с постоянным передаточным отношением. К зубчатой передаче подключен механический 8-разрядный бинарный счетчик, изменяющий свое состояние на единицу при каждом повороте ротора на один б.г. Таким образом, показание счетчика строго отвечает углу поворота, измеряемому от нулевого положения, и счетчик можно считать датчиком угла. Зубья роторов и статоров изготовлены с помощью точного делительного станка, на котором можно обеспечить равномерное распределение зубьев по азимуту с точностью до  $\pm 10$ . Окончательная точность достигается притиркой зубьев в сочетании с последовательным поворотом ротора.

Изготовленные таким образом пары дисков имеют исключительные угломерные свойства:

а. В сцепленном состоянии с прижимом статор и ротор образуют жесткую систему без возможности взаимного поворота в отличие от других, например оптических, систем. В случае применения зубьев с углом при вершине  $60^\circ$  сцепление является почти самотормозящим.

б. Зубья роторов и статоров создают по всей окружности интегрированную систему, результирующая точность которой определяется статистическим усреднением положений всех зубьев на окружности.

в. При равномерном износе зубьев в ходе эксплуатации точность системы улучшается, так как уменьшается неточность в положении отдельных зубьев.

г. Система является самоцентрирующейся, в сцепленном состоянии ротор и статор занимают всегда одно и то же положение по отношению к геометрической оси системы и не требуют центровки. По этой же причине нет необходимости в подшипниках. Применение подшипников, если они и используются, преследует только цель предотвратить такие отклонения от геометрической оси, которые привели бы к полному выходу зубьев из сцепления. При сцеплении зубьев никакой другой механизм не должен мешать самоцентрированию.

В сцепленном состоянии система совершенно безлюфтовая.

д. Разрезы в зазорах между зубьями /рис. 26/ спо-

собствуют эластичному поведению гребня, и интегральные свойства системы улучшаются.

е. Система в определенной мере не чувствительна к случайному повреждению нескольких зубьев в процессе изготовления или при эксплуатации.

## 2.2. Система поворота на сотые доли градуса

Поворот на сотые доли градуса в пределах одного градуса складывается с поворотом на целое число градусов. Для этого система поворота на целые градусы, т.е. ротор и статор вместе, должна совершить добавочный поворот вокруг оси вращения относительно основания круга. С этой целью в основание круга заложен шарикоподшипник, в котором вращается статор. Для вращения в пределах одного градуса шарикоподшипник обладает достаточной точностью. Поворот осуществляется за счет линейного движения микрометрического винта, действующего по касательной на статор системы поворота на целые углы. Гайка винта соединена с основанием круга. Ошибка от замены  $\arcs a$  на  $\text{tg} a$  не превышает в пределах 0,5 б.г. величины  $0,26 \cdot 10^{-3}$  б.г., что почти на два порядка величины меньше заданной точности прибора.

Основную погрешность вносит неопределенность в движении самого микрометрического винта. Она максимальным образом сказывается на круге  $\Phi$  с самым малым диаметром статора, где половине бинарного градуса соответствует сдвиг микрометрического винта на 1 мм. Даже в этом случае для поворота на 0,01 б.г. необходимый сдвиг микрометрического винта на 0,02 мм на порядок величины больше неопределенности в ходе винта. Передача движения винта на статор работает без люфтов под постоянным нажимом рычага статора на винт. Нажим обеспечивается пружиной. Поворот микрометрического винта и отсчет его положения осуществляются с помощью бинарного счетчика, аналогичного счетчику системы поворота на целые углы.

## 2.3. Круг /делительный стол/ $\Omega$

Осью вращения стола является вертикальная ось  $\Omega$ , перпендикулярная к основанию 1, в котором имеется

дорожка качения шарикоподшипника статора 2 /рис. 1/. Ротор 3 показан в сцеплении 4 со статором 2. Для снижения нагрузки от остальных частей прибора на статор 2 до допустимой величины и облегчения работы механизма при выводе из сцепления часть нагрузки перенесена на подпорки с пружинами /показаны в правой части на рис. 1/. Подъем ротора осуществляется механически или гидравлически с помощью устройств, показанных в левой части основания на рис. 1. Поворот ротора обеспечивает зубчатая передача 5. Опорные ролики на концах подпорок и подъемных устройств, катающиеся в канавке ротора 3, и защитное кольцо 6 обеспечивают центровку ротора при его выходе из сцепления.

#### 2.4. Круг /делительный стол/ $\chi$

С ротором 3 соединен фланец 8, несущий основание 7 круга  $\chi$  с горизонтальной осью  $\chi$ . Фланец имеет вид  $120^\circ$ -го сегмента, который одновременно служит подшипником скольжения для статора 9 оси  $\chi$ . Нагрузка на подшипник 7 снимается с помощью подпорных пружин, схематически показанных на рис. 3. На том же рисунке показана система микрометрического винта. В статоре 9 /рис. 1/ П-образного сечения, состоящем из двух частей, движется ротор 10, вращение которого обеспечивается зубчатой передачей от шестерни на валу 14. Вес ротора в период выхода из сцепления зубьев 11 несут подпорки с пружинами и опорными роликами, движущимися в канавке по периферии ротора. Подпорки сделаны так, что не мешают аксиальному сдвигу ротора 10, необходимому для выхода из сцепления. Пружины 12 равномерно распределены по окружности статора 9 и обеспечивают прижим ротора к статору в сцепленном положении. Выход из сцепления осуществляется с помощью гидравлических или механических устройств /на рис. 1 показано решение с гидравлическими устройствами 13/.

Силы от прижимных пружин и расцепляющих устройств передаются на ротор 10 посредством нажимных пальцев, опирающихся на канавку в роторе.

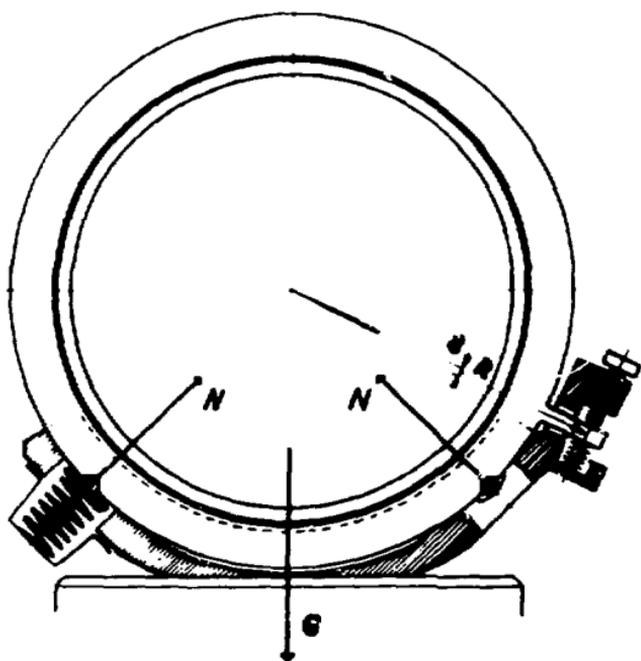


Рис. 3. Схема круга  $\chi$

### 2.5. Круг /делительный стол/ $\Phi$

На рис. 1 круг  $\Phi$  изображен только схематически. Основание его соединено с ротором 10. По своему принципу круг  $\Phi$  аналогичен кругу  $\Omega$  и отличается от него лишь размерами. Выход ротора из сцепления осуществляется механически и связан со сдвигом ротора 10 круга  $\chi$ . Таким образом, команда для изменения положения круга  $\Phi$  должна всегда вызывать выход из сцепления и ротора 10 круга  $\chi$ .

## 2.6. Юстировка осей

Точка пересечения вертикальной оси  $\Omega$  горизонтальной осью  $\chi$  и перпендикулярной к ней осью  $\Phi$  должна в период измерения /все роторы в сцепленном состоянии/ находиться в сфере диаметром 0,1 мм. Это требование обеспечено, с одной стороны, механической точностью, с которой изготовлены все определяющие части гониометра; с другой стороны - возможностью дополнительной юстировки взаимного положения осей  $\chi$  и  $\Omega$  /смещением оси  $\chi$  в плоскости, перпендикулярной к оси  $\Omega$  /и осей  $\Phi$  и  $\chi$ . Перпендикулярность осей  $\Omega$  и  $\chi$  /рис. 1/ обеспечивается производственными допусками при скреплении сегмента 7 с фланцем 8. Небольшие отклонения от перпендикулярности можно устранить с помощью тонких прокладок между фланцем 8 и ротором 3.

Перпендикулярность оси  $\Phi$  к оси  $\chi$  достигается с помощью пришлифованных прокладок между ротором 10 и основанием круга  $\Phi$  в период юстировки прибора /рис. 4/. Сначала, при постоянной толщине прокладок I и II, изменениями толщины прокладки III производится юстировка вокруг прямой, соединяющей центры прокладок I и II, и ось  $\Phi$  доводится до плоскости, перпендикулярной к оси  $\chi$ . На следующем этапе юстировки ось  $\chi$  доводится до пересечения с осью  $\Omega$  смещением фланца 8 /рис. 1/ в направлении, перпендикулярном к оси  $\chi$ . При этой операции два из юстирующих винтов 15 остаются слабо подтянутыми и смещение происходит с помощью пары винтов, находящихся в плоскости статора  $\chi$ . Ось  $\Phi$  доводится до пересечения с осью  $\Omega$  с помощью пары юстирующих винтов 15, причем пара, которая в предыдущей операции доводила ось  $\chi$  до пересечения с осью  $\Omega$ , слабо подтянута.

Наконец, ось  $\Phi$  доводится до пересечения с осями  $\Omega$  и  $\chi$  изменением толщины прокладки I /рис. 4/ между основанием круга  $\Phi$  и ротором 10. Прокладки II и III при этом не меняются, и юстировка осуществляется вокруг прямой, соединяющей центры прокладок II и III. Последняя из прокладок IV не используется для юстировки, а служит только для повышения жесткости крепления. Она должна быть пришлифована и вставлена без всякого люфта.

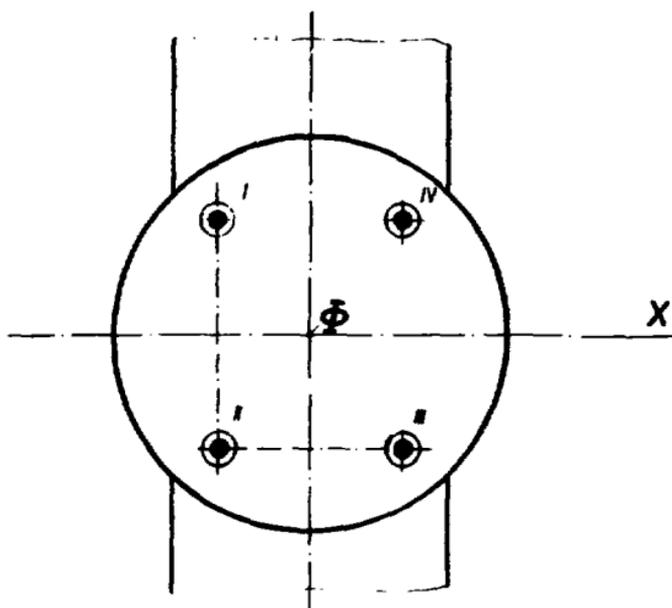


Рис. 4. Схема юстировки оси  $\Phi$

### 2.7. Общие замечания по механической части гониометра

В конструкции гониометра учтены требования компактности и жесткости системы для исключения деформации от собственного веса установки и нагрузки добавочных устройств. Материалом для изготовления определяющих угломерных систем избран высококачественный серый чугун, подвергнутый стабилизирующей термообработке. Равномерное тепловое расширение всего прибора не приводит к ухудшению точности, так как угломерные элементы из одинаковых материалов имеют осевую симметрию и расширяются равномерно в радиальном направлении. Комплектный делительный стол  $\Phi$ , изготовленный по описанному принципу в ЧПИ в Праге, имеет точность зубчатого сцепления лучше чем  $\pm 5''$ .

### 3. УПРАВЛЕНИЕ ГОНИОМЕТРОМ

#### 3.1. Система связи гониометра с ЭВМ

Вся система схематически показана на рис. 5. Управляющие команды и задания углов поступают на управляющую станцию /модуль/ через контроллер, осуществляющий связь с ЭВМ по системе КАМАК. Основной частью управляющей станции является 33-разрядный контрольный регистр, в котором по командам от ЭВМ формируется адрес и инструкция для определенного узла гониометра. Если инструкция обозначает переход в новое положение, то числовая часть регистра заполняется заданием угла. Регистр служит одновременно и для приема обратной информации о положении отдельных кругов гониометра. После команды от ЭВМ управляющая станция самостоятельно обеспечивает все операции, связанные с циклом передачи содержимого контрольного регистра в подстанции /приемники/ на кругах  $\Omega$ ,  $\chi$  и  $\Phi$  гониометра, так же как и прием обратной информации. После каждого законченного цикла станция ждет новое задание от ЭВМ. В случае приема обратной информации станция выдает запрос в ЭВМ на обслуживание. ЭВМ занята управлением гониометром только в периоды формирования слова и его передачи в контрольный регистр, обслуживания по запросу контрольной станции и проверки правильной настройки углов на всех кругах гониометра. Таким образом, затраты времени ЭВМ на управление гониометром незначительны.

Цикл передачи состоит из передачи в последовательном коде содержимого контрольного регистра на входы всех подстанций. Передача осуществляется по одножильному кабелю /линии связи ЛС/, к которому подключены параллельно все подстанции. По кабелю поступает смесь тактовых и информационных импульсов, причем информационные импульсы находятся в промежутках между тактовыми /рис. 6/. Каждая из подстанций способна расшифровать эту смесь и принять инструкции и числовые задания только по своему адресу.

После окончания цикла передачи каждая из подстанций действует самостоятельно в соответствии с полученной

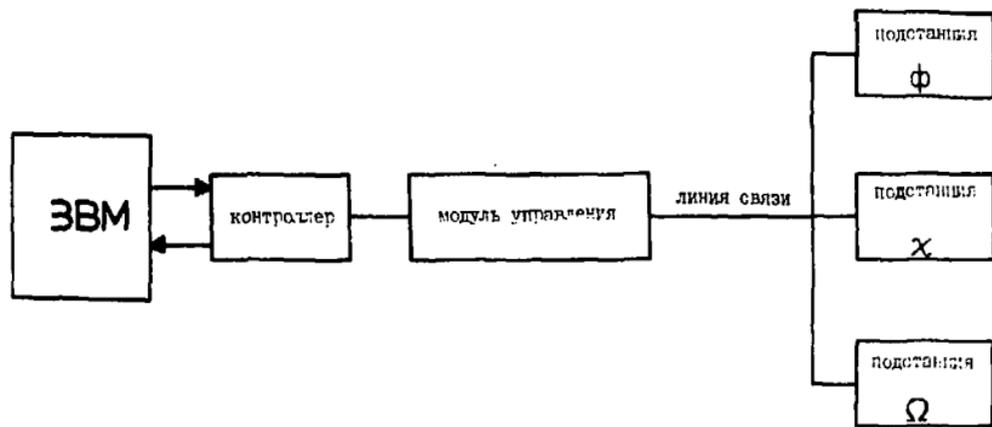


Рис. 5. Система связи ЭВМ с гониометром.

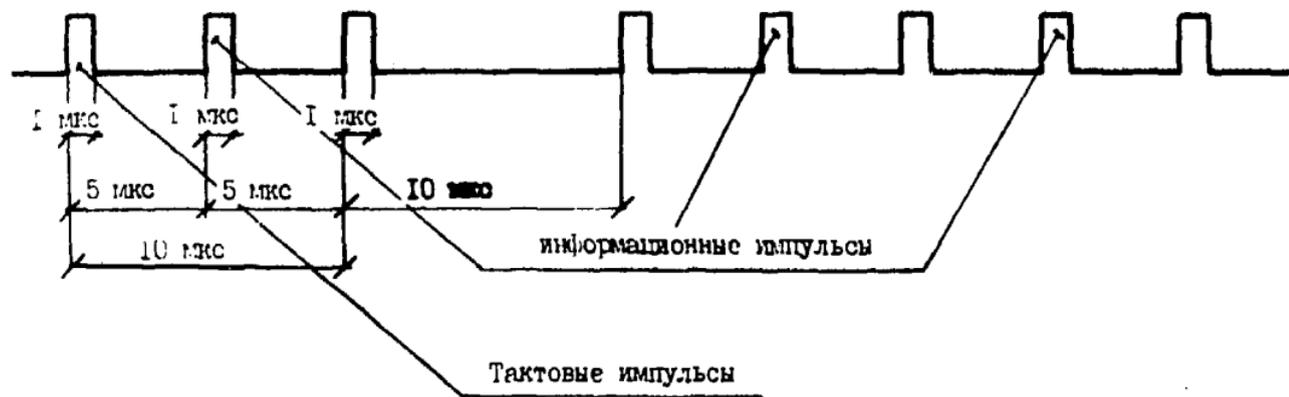


Рис. 6. Тактовые и информационные импульсы.

инструкцией. В случае получения инструкции для перехода в новое положение подстанция запоминает заданный угол; сравнивает с углом, на который повернут круг гониометра; определяет знак вращения для самого короткого перехода в новое положение; запускает двигатели и останавливает их в момент, когда достигнуто заданное положение. В период движения кругов гониометра можно пользоваться инструкциями  $p-1$  и  $p-2$ /перечень инструкций в конце статьи/, т.е. изменять задание угла для любого круга, не дожидаясь конца перехода в ранее заданное положение, и останавливать движение кругов в любой момент их вращения.

Передача импульсов по линии связи осуществляется с частотой около 25 МГц, модулированной смесью тактовых и информационных импульсов. Обратная информация поступает на частоте около 27 МГц. Как в управляющей станции, так и во всех подстанциях находятся высокочастотные генераторы, модуляторы, демодуляторы и фильтры для разделения прямой и обратной информации. Передача импульсов между кругами гониометра происходит с помощью индуктивной связи между concentрическими катушками, расположенными на кругах. Эта связь допускает неограниченное вращение кругов вокруг осей.

### 3.2. Подстанции /приемники/

Подстанции на всех кругах гониометра являются идентичными. На рис. 7 подстанция изображена более подробно. В ее состав входят высокочастотные части, как входная, так и выходная; дешифратор D смеси импульсов, адресный регистр  $R_1$  с дешифратором адреса  $D_1$ , регистр  $R_2$  для инструкций с их дешифратором  $D_2$ , двухразрядный регистр  $R_3$  внутренней программы, два числовых регистра  $R_{41}$  и  $R_{42}$  с компараторами  $C_1$  и  $C_2$  и логические блоки для управления работой регистров. Подстанция управляет работой двигателей круга гониометра и выполняет инструкции, поступившие от контрольной станции.

На рисунке вход IN и выход OUT изображены для наглядности отдельно, на самом деле они подключены к одному и тому же кабелю. Демодулированные импуль-

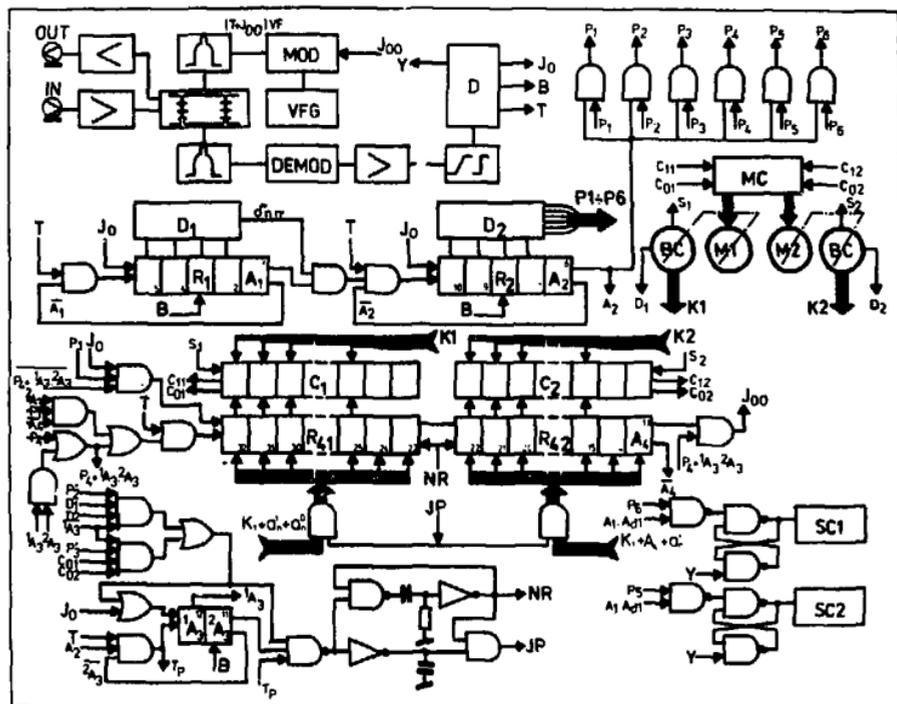


Рис. 7. Схема подстанции /приемника/.

сы поступают на вход дешифратора  $D$ , в котором происходит разделение их на тактовые импульсы  $T$  и информационные  $J_0$ . Кроме того, вырабатывается сигнал  $B$ , равный логической "1" на весь цикл передачи, начиная с первого тактового импульса. Его уровень падает опять до логического "0" примерно через 15 мкс после окончания цикла передачи. После каждого цикла передачи регистры  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  сбрасываются в их нулевое состояние задним фронтом сигнала  $B$ .

Адресный регистр заполняется вновь при каждом цикле передачи. Заполнение его пятой ячейки разрядом  $A_1 = "1"$  прекращает вход тактовых импульсов и разрешает дешифрацию адреса. Выход из дешифратора  $D_1$  равен "1", если номер подстанции  $n'$  или общий адрес всех подстанций  $n_0$  равняется адресу  $n$ , воспринятому регистром  $R_1$ . Тогда тактовые импульсы поступают в регистр  $R_2$ , который будет заполнен инструкцией, когда в его пятой ячейке появится  $A_2 = "1"$ . Выходы из дешифратора  $D_2$  в совпадении с  $A_2$  выдают инструкции  $P_1$ . Разрядом  $A_2 = "1"$  открывается вход тактовых импульсов в регистр  $R_3$ , который заполняется во второй ячейке разрядом  $A_3 = "1"$ . Разряд  $A_3 = "0"$ , если не было записи  $K_1$  и  $K_2$  от датчиков угла в регистры  $R_{41}$  и  $R_{42}$  по инструкциям  $p = 2$  или  $p = 3$ .

Тактовые импульсы могут сдвигать регистры  $R_{41}$  и  $R_{42}$ , если  $(A_3 \cdot P_1 \cdot A_4)$  или  $(P_4 + A_3 \cdot A_3)$  равно "1". Информационным импульсам  $J_0$  открыт вход в эти регистры при  $P_1 = 1$  или  $(P_4 + A_3 \cdot A_3) = "0"$ . Выход обратной информации  $J_{00}$  из регистров  $R_{41}$  и  $R_{42}$  возможен только при  $(P_4 + A_3 \cdot A_3) = "1"$ . Видно, что вход информационных импульсов  $J_0$  и выход импульсов  $J_{00}$  обратной информации не могут происходить одновременно. Разряд  $A_4 = "1"$  на последнем месте в регистре  $R_{42}$  является индикацией заполнения регистров  $R_{41}$  и  $R_{42}$ . Сброс этих регистров можно вызвать импульсом  $NR$ , а параллельную запись в них показаний  $K_1$  и  $K_2$  бинарных датчиков углового положения круга гониометра - импульсом  $JP$ .

Если в подстанцию поступит инструкция  $p = 1$ , тогда после сброса регистров  $R_{41}$  и  $R_{42}$  произойдет их заполнение новым заданием угла. Целые бинарные градусы попа-

дут в регистр  $R_{41}$ , в ячейки 25-32, а сотые доли градусов - в регистр  $R_{42}$  с 15-й до 22-й ячейки. Постоянно действующие компараторы  $C_1$  и  $C_2$  сравнивают задание угла в регистрах с показаниями  $K_1$  и  $K_2$  бинарных датчиков ВС, механически связанных с вращающимися частями круга гониометра. Сигналами  $C_{11}$  и  $C_{12}$  принимающими значения "0" или "1", определяется знак вращения двигателей  $M_1$  и  $M_2$ . Сигналы  $C_{01}$  и  $C_{02}$  являются индикацией совпадения задания с положением круга. При достигнутом совпадении  $C_{01}$  и  $C_{02}$  равны "1", при несовпадении - "0". Сигналами  $S_1$  и  $S_2$  определяется точный момент, в который двигатели должны остановиться, если уже достигнуто совпадение в компараторах. Логика управления двигателями от сигналов  $C_{01}$ ,  $C_{11}$ ,  $S_1$  и  $C_{02}$ ,  $C_{12}$ ,  $S_2$  вместе с питанием находится в блоке МС

Инструкции  $p=2$  и  $p=3$  вызывают появление на дешифраторе сигналов  $P_2 = "1"$  и  $P_3 = "1"$ . Эти сигналы хранятся в схеме, описанной дальше, в виде сигналов  $P'_2 = "1"$  и  $P'_3 = "1"$  до выполнения действий по этим инструкциям.

Сигнал  $P'_2 = "1"$  вызывает в совпадениях  $P'_2 D_1 = "1"$  и  $P'_2 D_2 = "1"$  остановку двигателей. Сигналы  $D_1 = "1"$  и  $D_2 = "1"$  генерируются датчиками углов и являются разрешением к отсчету. Если оба двигателя остановились, а  $A_3 = "1"$  находится в 12-й ячейке регистра  $R_3$ , что происходит в 13-м такте цикла передачи, то получается совпадение  $P'_2 D_1 D_2 A_3 = "1"$  и в 14-м такте происходит сброс регистров  $R_{41}$  и  $R_{42}$  с последующей записью показаний  $K_1$  и  $K_2$  датчиков ВС.

Одновременно происходит запись "1" в ячейку 12 регистра  $R_3$ . Заполнение регистра  $R_3$  логическими "1" является свидетельством того, что произошла запись в регистры  $R_{41}$  и  $R_{42}$  показаний датчиков.

Подобным же образом, по совпадению  $P'_3 C_{01} C_{02} A_3 = "1"$  действует и инструкция  $P_3$  после окончания перехода в новое положение.

Обратную информацию по инструкциям  $p=2$  или  $p=3$  можно получить после вызова подстанции словом, содержащим только ее адрес. Ответ поступает, если выполнены вышеуказанные условия.

На рис. 8 показана схема, на которую поступает и запоминается в RS-триггере инструкция  $P_2 = "1"$ , если

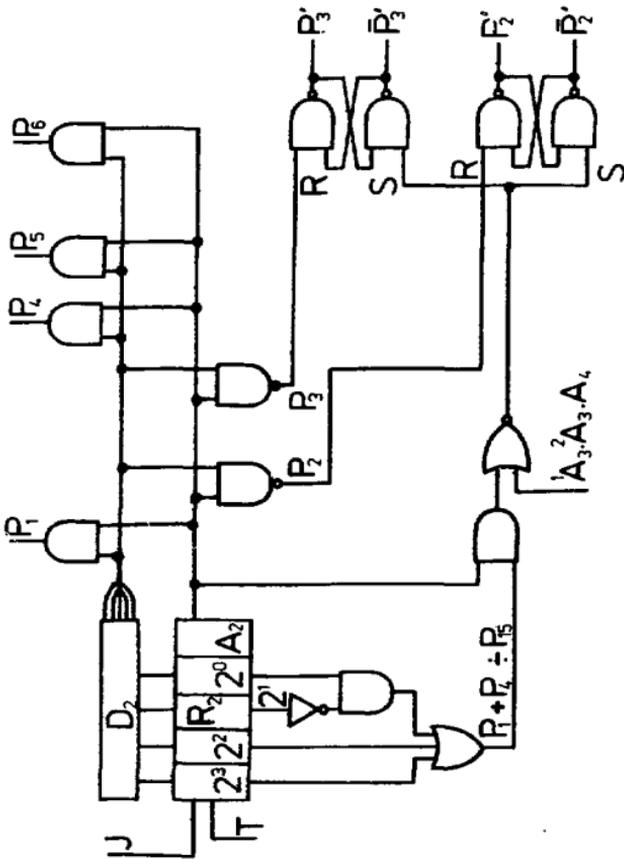


Рис. 8. Система хранения инструкций  $P_2$  и  $P_3$

на входе  $R$  есть  $R \neq \bar{P}_2 = "0"$  и на входе  $S =$   
 $= A_2(P_1 + P_4 + P_5 \dots P_{15}) + A_3^2 A_3 = "1"$ . Тогда на выходе  $P$  появ-  
 ится сигнал  $P_2 = "1"$ , который сохраняется при  
 $\bar{P}_2 = "1"$  и  $S = "1"$  и превращается в "0", если  $R = \bar{P}_2 = "1"$   
 и  $S = "0"$ . Из этого вытекает, что любая инструкция,  
 за исключением  $p=2$  и  $p=3$  и также  $p=0$ , прекращает  
 инструкцию  $P_2$ . Инструкция  $P_2$  тоже превращается в  
 ноль, если  $A_3^2 A_3 = "1"$ , т.е. если произошла запись в  
 регистры  $R_{41}$  и  $R_{42}$ . Совершенно аналогичным обра-  
 зом сохраняется инструкция  $P_3$ .

Чтобы ЭВМ могла идентифицировать, от которого  
 из кругов исходит обратная информация, запасные ячей-  
 ки в регистрах  $R_{41}$  и  $R_{42}$  заполняются при записи показаний  
 $K_1$  и  $K_2$  также адресом круга гониометра. Разряды  $2^2, 2^0$   
 и  $2^1$  адресного регистра при этом попадают в 14-ю, 23-ю  
 и 24-ю ячейки регистров  $R_4$ . Вместе с обратной инфор-  
 мацией о положении круга адрес попадает в 14-ю, 23-ю  
 и 24-ю ячейки контрольного регистра в управляющей  
 станции.

Инструкция  $p=4$ , то есть  $P_4 = "1"$ , разрешает в любой  
 момент перенести содержание регистров  $R_{41}$  и  $R_{42}$  в конт-  
 рольный регистр. Она предназначена, главным образом,  
 для диагностических целей /определение неисправностей  
 в работе подстанции/.

### 3.3. Компаратор

Основным счетно-решающим устройством, входящим  
 в состав подстанции, является компаратор. В нем срав-  
 нивается задание угла  $a$  с положением круга  $b$ . Сначала  
 ограничимся описанием компаратора целых градусов.  
 Числа  $a$  и  $b$  в этом случае поступают на входы компара-  
 тора в виде 8-разрядных бинарных чисел. Разряды сте-  
 пени  $2^i$ , где  $0 \leq i \leq 7$ , будем обозначать  $a_i$  и  $b_i$ . Задача  
 компаратора - определить равенство или неравенство  
 чисел  $a$  и  $b$  с выдачей сигнала

$$C_0 = "1", \text{ если } a = b;$$

$$C_0 = "0", \text{ если } a \neq b.$$

Кроме того, в случае  $C_0 = "0"$  необходимо определить знак вращения / "+" против часовой стрелки, "-" по часовой стрелке/ для более короткого пути перехода круга из предыдущего в новое, заданное положение и на выходе компаратора получить сигнал, величина которого  $C_1 = "1"$  для знака вращения "+" и  $C_1 = "0"$  для знака вращения "-".

Определим  $V_7 = a_7 b_7 + \bar{a}_7 \bar{b}_7$  и числа  $a$  и  $b$  без разрядов  $a_7$  и  $b_7$  обозначим  $a'$  и  $b'$ . С помощью  $a'$  и  $b'$  определен сигнал, величина которого  $D' = "1"$ , если  $a' > b'$ , и  $D' = "0"$ , если  $a' \leq b'$ . Таблицу истинности для определения знака вращения можно тогда представить в виде:

Интервалы углов	Сравнение $a'$ и $b'$	$a_7$	$b_7$	$V_7$	$D'$	$C_1$	Знак вращения
$0 \leq a < \pi$	$a' > b'$	0	0	1	1	1	+
$0 \leq b < \pi$	$a' \leq b'$	0	0	1	0	0	-
$\pi < a \leq 2\pi$	$a' > b'$	1	1	1	1	1	+
$\pi < b \leq 2\pi$	$a' \leq b'$	1	1	1	0	0	-
$0 \leq a < \pi$	$a' > b'$	0	1	0	1	0	-
$\pi < b \leq 2\pi$	$a' \leq b'$	0	1	0	0	1	+
$\pi < a \leq 2\pi$	$a' > b'$	1	0	0	1	0	-
$0 \leq b < \pi$	$a' \leq b'$	1	0	0	0	1	+

Функция  $C_1$ , удовлетворяющая требованиям таблицы, имеет вид

$$C_1 = V_7 D' + \bar{V}_7 \bar{D}'.$$

Функцию  $D'$  будем строить последовательно. Во-первых, определим

$$V_i = V_{i+1} (a_i b_i + \bar{a}_i \bar{b}_i) \quad \text{для } 0 < i \leq 6.$$

В данном случае максимальное значение индекса  $i+1=7$ , и  $V_7$  определено как указано выше.

Таким образом, если  $a_7 \neq b_7$ ,  $V_7 = "O"$  и все  $V_i = "O"$ . Если  $a_7 = b_7$ , тогда  $V_6 = "O"$  для  $a_6 \neq b_6$  и "1" для  $a_6 = b_6$  и т.д. Пусть  $V_k$  - первый в направлении к более низким индексам сигнал, равный "O". Видно, что все  $V_i$  для  $i < k$  тоже равны "O" и все  $V_i$  с  $i > k$  равны "1". Заметим, что если  $V_0 = "1"$ , то это означает, что  $a \leq b$ .

$$\text{С помощью } V_i \text{ построим функцию } D' = \sum_{i=0}^6 V_{i+1} a_i \bar{b}_i.$$

В этом выражении все конъюнкции с индексами  $i < k-1$  при разрядах  $a_i$  и  $b_i$  равны "O", так как все  $V_i$  для  $i < k$  равны "O". С другой стороны, все  $V_i$  с индексами  $i > k$  равны "1", потому что  $a_i = b_i$  для  $i > k$ . Но тогда  $a_i \bar{b}_i = 0$  и все конъюнкции с индексами  $i > k$  при разрядах  $a_i$  и  $b_i$  являются нулевыми. Значение  $D'$  определяет, таким образом, только конъюнкция  $V_{k+1} a_k \bar{b}_k$ , и, так как  $V_{k+1} = "1"$ , решающим является умножение  $a_k \bar{b}_k$ , которое равно единице только при  $a_k = "1"$  и  $b_k = "O"$ . Так как  $a_i = b_i$  для всех  $i > k$ , то  $V_{k+1} a_k \bar{b}_k = "1"$  приводит в  $D' = "1"$  для  $a > b$  и  $D' = 0$  для  $a \leq b$ , в соответствии с вышеуказанным определением.

Компаратором описанного типа можно пользоваться также для сравнения сотых долей градуса. Бинарные числа  $a$  и  $b$  в этом случае семиразрядные, и для определения знака вращения достаточно пользоваться сигналом  $D'$ .

Сигналы  $C_{01}$  и  $C_{02}$  для остановки двигателей в обоих случаях равны  $V_0$ .

Схема компаратора представлена на рис. 9. Она универсальна для сравнения восьмиразрядных чисел с определением знака вращения в циклическом и линейном бинарном коде. При применении к линейному коду необходимо провести соединение, показанное пунктирной линией. Выходным сигналом в этом случае является  $C_{12}$ .

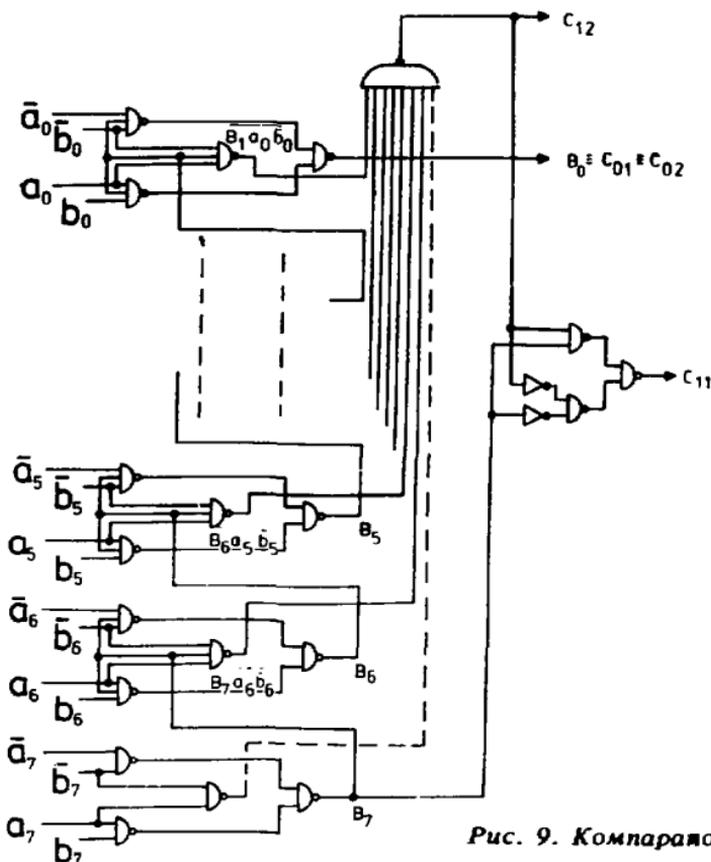


Рис. 9. Компаратор.

### 3.4. Структура управляющих байтов

Управляющая станция /рис. 10/ создана в виде одного из модулей крейта в системе КАМАК. Связь с ЭВМ осуществляется с помощью контроллера крейта. Заполнение 33-битового контрольного регистра происходит от ЭВМ в трех 8-разрядных байтах В1, В2 и В3. Содержание этих байтов показано на рис. 11. Байт содержит 4-битовый адрес и 4-битовую инструкцию р. Командой записи байта

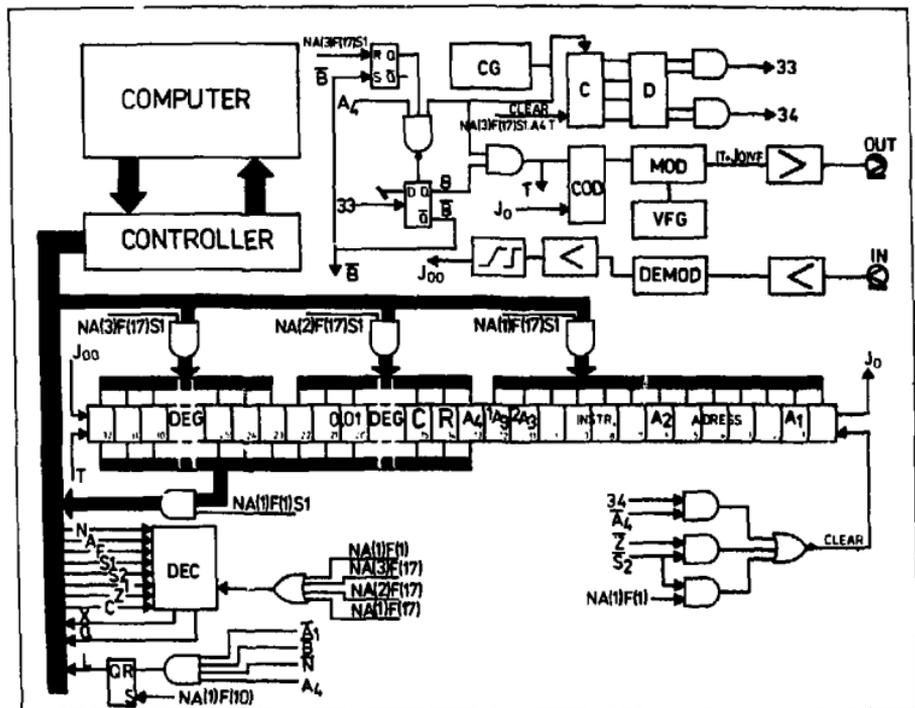


Рис. 10. Схема управляющей станции.

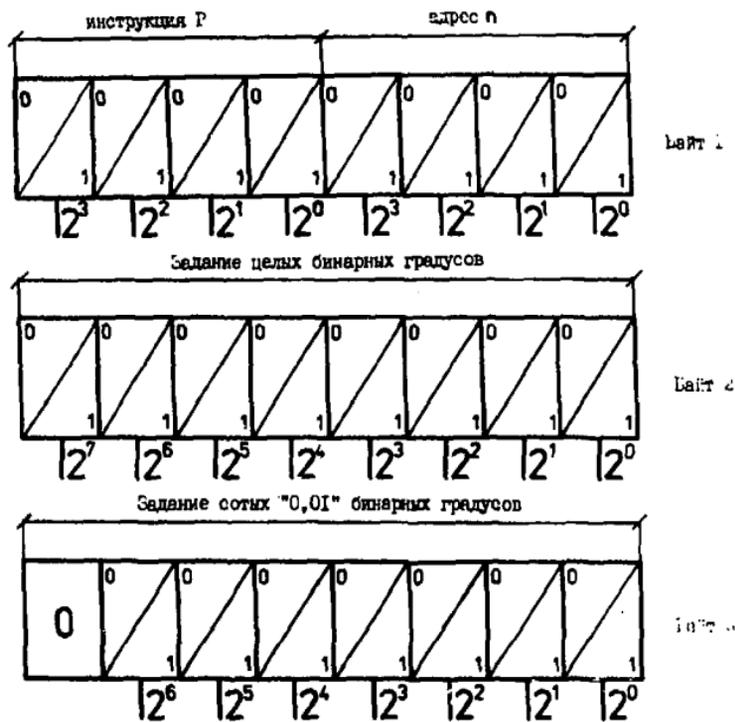


Рис. 11. Заполнение байтов управления.

В1 записывается одновременно также "0" в 0-ю и 12-ю ячейки контрольного регистра и "1" - в 1-ю, 6-ю и 11-ю ячейки /обозначим их сигналами  $A_1, A_2$  и  $A_3$ /.

Байт В2 содержит 8-разрядное задание целых градусов, байт В3 кроме 7-разрядного задания сотых долей градуса имеет на 8-м бите логический "0". По мере необходимости и задание сотых долей градуса может быть 8-разрядным, но в данном случае это считается запасом. Вместе с записью байта В3 заполняется также ячейка 13 контрольного регистра логической "1" /сигнал  $A_4$ / и содержанием ячеек 2, 3 и 4 /первые 3 бита адреса/ заполняются также ячейки 23, 24 и 14 контрольного регистра. Заполнение всего контрольного регистра показано на рис. 12.

Команды к записи В2, В3 должны поступить от ЭВМ даже в случае нулевого углового задания, так как команда В3 является также командой начала передачи содержания регистра к подстанциям гониометра.

Цикл передачи, состоящий из последовательного опорожнения контрольного регистра серией тактовых импульсов, управляющая станция совершает самостоятельно. Для этой цели в ней находится генератор серий тактовых импульсов. В течение цикла передачи все команды от ЭВМ к станции блокированы.

Запрос L на обслуживание поступает от станции в ЭВМ, если в контрольном регистре содержание 1-й ячейки  $A_1$  = "0" и 13-й ячейки  $A_4$  = "1". Кроме того, сигнал В, аналогичный сигналу В в подстанциях, должен быть равен "0".

Подробное описание управляющей станции будет дано отдельно. Она включает в себя, кроме упомянутых узлов, высокочастотный генератор и модулятор для передачи сигналов от регистра в гониометр, приемную часть для приема обратной информации и все узлы, необходимые для связи с контроллером КАМАК.

### 3.5. Адреса отдельных узлов гониометра

- |        |   |
|--------|---|
| n=1... | система поворота вокруг оси $\Omega$ /ось 1/. |
| n=2... | система поворота вокруг оси $\chi$ /ось 2/.   |

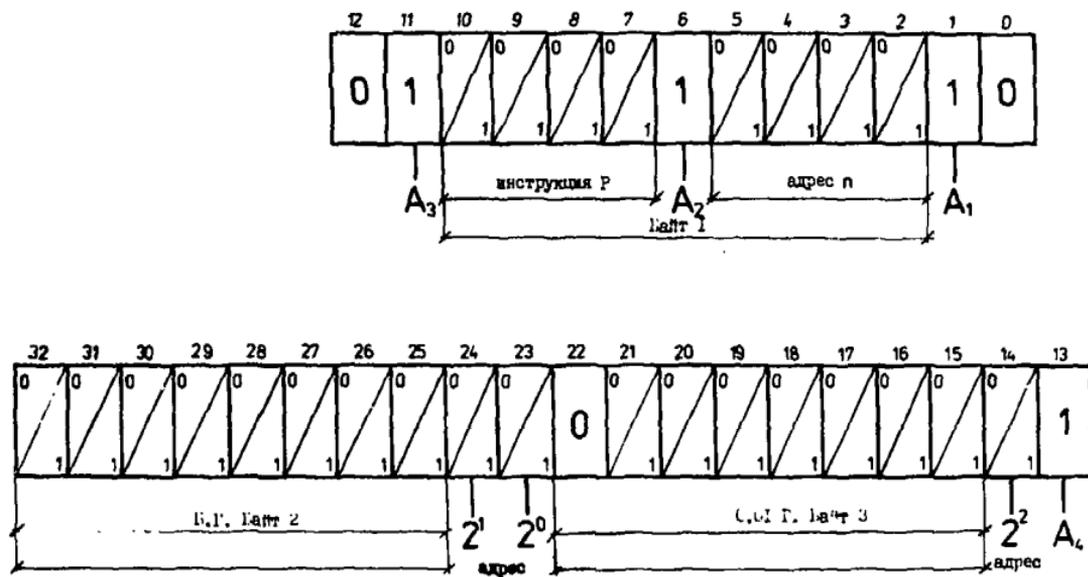


Рис. 12. Заполнение контрольного регистра.

- $n=3...$  система поворота вокруг оси  $\phi$  /ось 3/.
- $n=4$  до 15... запас для других узлов нейтронного дифрактометра /прерыватель, плечо, детектор, монохроматор и т.д./.

### 3.6. Инструкции

- $p=1...$  вызывает, в комбинации с адресом  $n$ , поворот вокруг  $n$ -й оси в положение, соответствующее углу, заданному в числовой части контрольного регистра. Инструкцию  $p=1$  можно применять также для изменения задания угла во время перехода в новое положение.
- $p=2...$  используется в комбинации с адресом  $n$ , числовая часть регистра должна быть пустой. По этой инструкции узнается мгновенное положение  $n$ -го круга гониометра. Угол, на который он повернут в данный момент, появится в числовой части контрольного регистра вместе с контрольным разрядом  $A_4 = "1"$ . Применение приказа  $p=2$  останавливает  $n$ -й круг гониометра в том положении, в котором он находился в момент опроса. Таким образом, инструкция  $p=2$  является также инструкцией для остановки движения  $n$ -го круга гониометра. После переноса угла в контрольный регистр ЭВМ получит от контрольной станции запрос на обслуживание.
- $p=3...$  используется в комбинации с адресом  $n$ , числовая часть контрольного регистра должна оставаться пустой. По этому приказу получается информация о достижении заданного положения с переносом показания датчиков угла в контрольный регистр. После переноса ЭВМ получает запрос на обслуживание.
- Замечание:* по инструкциям  $p=2$  и  $p=3$  ответ поступает с опозданием после окончания вызванных ими действий. Любая инструкция, иная чем  $p=0, 2$  или 3, прекращает действия по инструкциям  $p=2$  и  $p=3$ . Обратная информация о положении кругов содержит в ячейках 23, 24 и 14 контрольного регистра адрес круга /3 биты/.

$p=0\dots$  вызывает, в комбинации с адресом  $n$ , при пустой числовой части контрольного регистра ответ по заданным прежде инструкциям  $p=2$  или  $p=3$  о положении круга данного адреса.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение авторы выражают благодарность академику И.М.Франку и сотрудникам ЛНФ В.И.Лущикову, Ю.М.Останевичу, А.М.Балагурову за интерес, проявленный к работе, за ее поддержку и ряд ценных дискуссий; Г.П.Жукову и В.Д.Шибяеву - за помощь в предоставлении технических средств для изготовления и испытания электрнческих систем; В.Л.Карловскому, С.К.Николаеву, Б.И.Воронову, М.А.Либерману и сотрудникам ЦЭМа - за интерес и помощь при изготовлении опытных образцов механических узлов гониометра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Price E. *The NRL Automatic single-crystal Neutron Diffractometer*, NRL Report 5744, March 5, 1962.
2. Price E. *Rev.Sci.Instr.*, 1959, 30, 351.
3. Levy H.A., Argon P.A., Busing W.R. *ACA Meeting, Cambridge, Massm Paper E 7 (1963)*.
4. Arndt U.W., Willis B.T.M. *Nucl.Instr. and Meth.*, 1963, 24, 155.
5. Arndt U.W., Willis B.T.M. *Rev.Sci.Instr.*, 1963, 34, 224.
6. Hamilton W.C., *ACA Meeting, Bizeman, Paper A 6 (1964)*.
7. *Monocrysta; Diffractometer, manufactured by Grubb and Parsons, Type Mk VI*.
8. *Two-Circle Reflex Goniometer KGo 31, manufactured by Freiburger Präzisionmechanik, Freiberg, DDR*.
9. *Two-Circle Reflex Goniometer, Cambridge Scientific Instruments Co*.
10. *AFC Computer-Controlled Single Crystal Diffractometer, produced by Rigaku Denki Co.Ltd., Tokyo, Japan*.

11. *Nonius Computer Controlled 4-Circle Diffractometer CAD-4 manufactured by ENRA NONIUS Delft, Holland.*
12. *P-1 Autodiffractometer - Programmed Single Crystal X-Ray Diffraction, manufactured by Syntex Analytical Instruments.*
13. *Automatic Single Crystal Diffractometer System PW 1100. Produced by Philips.*
14. *Full Circle Goniometer Type G 440, Metronex, Poland.*

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 августа 1977 года.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Заказ 23687. Тираж 380. Уч.-изд. листов 1,67.  
Редактор Е.Л.Анищенко Подписано к печати 21.9.77 г.  
Корректор Н.А.Кураева