

Калибровка, установка и юстировка датчиков положения пучка У-600

А.П. Герасимов, В.С. Гормаков, Э.А. Меркер, С.Б. Мокрушин, В.М. Татаренко
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

В работе дается описание стенда и метода измерения положения электрической оси датчиков положения пучка для ускорителя У-600. Описывается методика установки датчиков на квадрупольных линзах ускорителя, юстировки и измерения их положения относительно линз.

Чтобы не превышать допустимую величину искажений замкнутой орбиты 5 мм, в У-600 предусмотрена система “бамповой коррекции” ее по горизонтали и вертикали. Для этого рядом с линзами, фокусирующими по радиусу (вертикали), располагаются датчик горизонтального (вертикального) положения пучка и корректор. Среднеквадратичная ошибка измерения положения пучка не должна превышать 0.5 мм. Она состоит из трех основных статистически независимых составляющих: ошибки, вносимой электроникой при обработке сигналов с датчиков положения пучка, 0.35 мм; ошибки определения взаимного положения геометрической и электрической осей датчика 0.25 мм; ошибки привязки геометрической оси датчика к теоретической орбите ускорителя 0.25 мм.

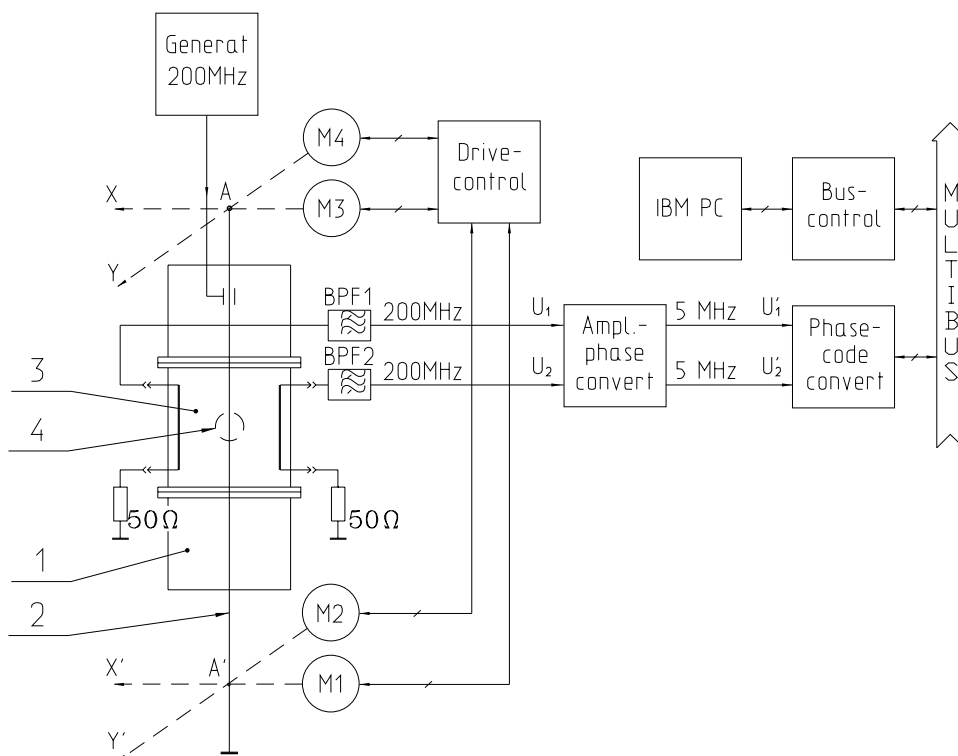


Рис. 1: Схема стенда калибровки датчика положения пучка. Условные обозначения: 1 — резонатор; 2 — центральная нить резонатора; 3 — датчик или имитатор; 4 — смотровое окно в имитаторе.

В качестве датчиков положения пучка была выбрана конструкция типа "полосковая линия". Хотя в его конструкцию заложены довольно жесткие требования на точность изготовления отдельных его узлов и на общую сборку, в готовом датчике оказалось необходимым контролировать взаимное положение его геометрической и электрической осей. Для этой цели был разработан стенд, схема которого приведена на рис.1. Основу его составляет цилиндрический резонатор, закороченный с обоих концов. Длина его равна полуволне ускоряющего напряжения в У-600 (200 МГц), а внутренний поперечный размер соответствует апертуре камеры ускорителя. Вдоль центральной оси резонатора натянута металлическая нить $d=0.1$ мм, которая имитирует пучок и через которую возбуждается резонатор. Четыре шаговых двигателя, установленных по торцам резонатора, обеспечивают перемещение нити с шагом 3.3 мкм по двум взаимноортогональным направлениям в поперечной плоскости. Центральной частью волновода являются датчик или имитирующая его вставка. Их посадочные места и ответные части цилиндра резонатора изготовлены с такой точностью, что при замене датчика имитатором и наоборот смещение их продольных осей в поперечном направлении не превышает 0.1 мм. В верхнем и нижнем фланцах имитатора в диаметрально противоположных точках вдоль образующей натянута две нити $d=0.2$ мм, которые просматриваются через окна в боковой поверхности.

Устанавливая центральную нить резонатора с помощью двигателей так, чтобы она оказалась в плоскости, образуемой двумя нитями имитатора, получаем начало отсчета для координаты, перпендикулярной этой плоскости. Измерение взаимного положения трех нитей проводится с помощью телескопа "Тейлора-Хобсона" с точностью 0.05 мм. Разворачивая вставку имитатора на 90 градусов вокруг продольной оси, таким же образом устанавливаем нить резонатора в нулевую точку отсчета по ортогональной оси, т.е. она оказывается совпадающей с геометрической осью вставки, а следовательно, и с точностью около 0.1 мм и с геометрическими осями резонатора и датчика.

После замены имитационной вставки на датчик (при этом приходится вынимать и заново фиксировать один из концов нити, что вносит дополнительную ошибку в ее положение не более 0.05 мм) определяем положение нити по электрическим сигналам, наведенным на электроды датчика и получаем положение электрической оси датчика. Перемещая нить вдоль одной из координат и определяя ее положение по сигналам с датчика, можно измерить его пространственную характеристику.

Учитывая, что калибровка производится в лабораторных условиях, когда уровни помех незначительны, а сигналы и координаты фиксированные, а значит, измерения могут быть повторены многократно со статистической обработкой результатов, довести ошибку измерения, вносимую за счет обработки сигналов с датчика до 0.1–0.15 мм не составляет труда.

Принимая во внимание статистическую независимость всех источников ошибок и их величину, можно утверждать, что ошибка определения взаимного положения геометрической и электрической осей не превышает 0.25 мм.

Наиболее жесткие требования при монтаже оборудования ускорителя предъявляются к точности установки квадрупольных линз относительно теоретической орбиты (0.05 мм по горизонтали и 0.07 мм по вертикали). Так как датчики положения пучка всегда располагаются рядом с линзами, то решено датчики механически жестко привязать к ним и при монтаже юстировать только датчики. Следовательно, основным источником ошибок в привязке положения геометрической оси датчика к теоретической орбите будет измерение взаимного положения геометрических осей датчика и линзы.

На рис.2 представлен эскиз датчика, установленного на линзе. Точность положения датчика относительно линзы определяется точностью привязки стакана к линзе и датчика к

стакану через фланец вакуумной камеры. Из-за такой длинной цепочки и необходимости иметь некоторую свободу перемещения между фланцами камеры и датчика при вакуумном уплотнении невозможно гарантировать привязку с необходимой точностью датчика к линзе. Поэтому предпринимаются усилия, чтобы с достижимой точностью, но не хуже чем требования на установку вакуумной камеры (0.5 мм), зафиксировать датчик на линзе, но измерять его истинное положение с точностью не хуже необходимой (0.25 мм), а образовавшееся смещение учитывать при измерении положения пучка как поправку.

Юстировка линз производится по имеющимся на них базовым поверхностям. Чтобы вынести координаты этих поверхностей к месту расположения датчиков, были изготовлены штанги с малыми допусками на жесткость и прогиб, каждая из которых четырьмя опорами прижимается к четырем крайним базовым поверхностям линзы. В горизонтальной и вертикальной плоскостях устанавливаются свои штанги. Вместо датчика при установке используется его имитатор, у которого фланец, крепящийся к фланцу камеры, внешний диаметр корпуса, положение реперных знаков на нем с точностью не хуже 0.1 мм повторяют те же значения датчика.

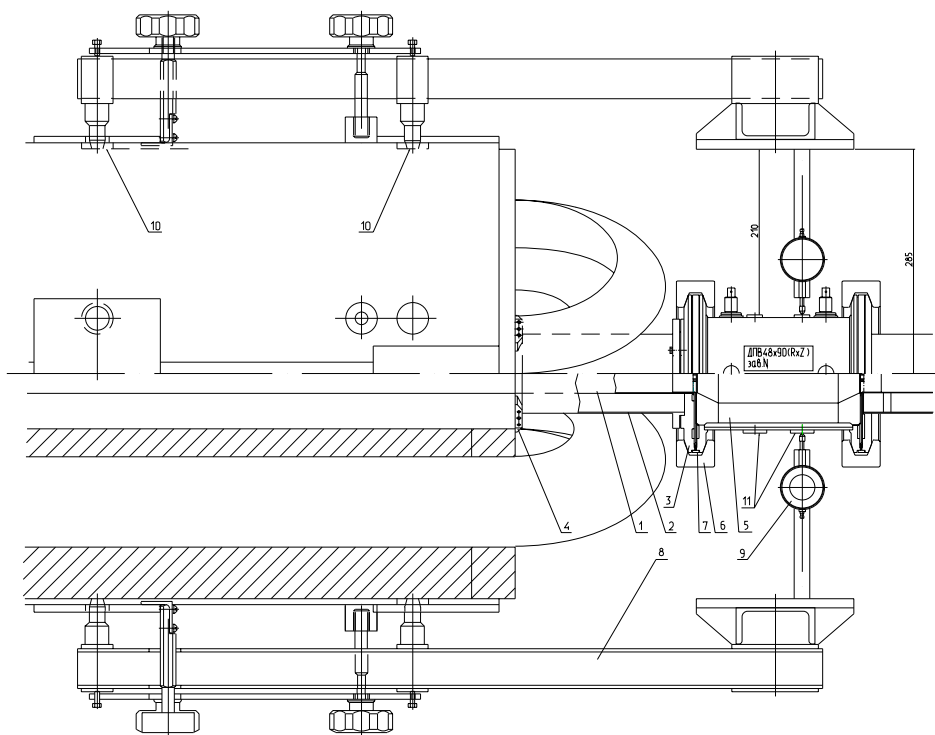


Рис. 2: Схема установки датчика положения пучка на квадрупольной линзе. Условные обозначения: 1 — вакуумная камера линзы; 2 — стакан; 3 — фланец вакуумной камеры; 4 — сегмент; 5 — датчик положения пучка; 6 — стягивающий хомут быстроразъемного соединения; 7 — прокладка вакуумного уплотнения; 8 — штанга; 9 — измеритель; 10 — опоры штанги; 11 — геодезические реперы датчика положения.

Процедура установки следующая. Предварительно собирается узел, состоящий из имитатора датчика, фланца камеры с уплотнительной прокладкой и стакана. С помощью прижим-отжимных винтов в щеках линзы и фланце стакана ось имитатора устанавливается параллельно оси линзы. Для совмещения этих осей в поперечной плоскости используются винты в приваренных к щекам линзы сегментах. Контроль за положением имитатора

в процессе всех регулировок ведется по измерению расстояний между реперными знаками имитатора и базовым поверхностям штанги.

При достижении необходимого положения имитатор снимается, и производится приварка фланца стакана к сегментам и вакуумной камеры к ее фланцу. После этого на место имитатора устанавливается реальный датчик, и по имеющимся на его поверхности реперам измеряется его положение относительно штанг, т.е. оси линзы. Для измерений используются как промышленные (нутромеры, микрометры, индикаторы часового типа с ценой деления 0.01 мм), так и специально изготовленные приспособления.

Полученные результаты при установке датчика по предложенной методике позволяют сделать вывод, что установка датчика обеспечивается с точностью в несколько десятых долей миллиметров, а измерение истинного его положения относительно линзы производится с точностью не хуже 0.25 мм.