

КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЭЛЕКТРОННОГО СИНХРОТРОНА НА 300 Мэв

В. Н. ЕПОНЕШНИКОВ, Л. Г. КОСИЦЫН, В. Н. КУЗЬМИН, Г. А. СИПАЙЛОВ

Введение

Синхротрон на 300 Мэв проектировался и сооружался как модель синхротрона на 1500 Мэв, поэтому конструкция электромагнита синхротрона на 300 Мэв была выбрана такой, чтобы по возможности полно промоделировать необходимые характеристики синхротрона на 1500 Мэв.

Поскольку для электромагнита синхротрона на 1500 Мэв была выбрана конструкция типа «рейстрек» с четырьмя прямолинейными участками и С-образным сечением пластин в меридианной плоскости зазором наружу, то такая конструкция принята для электромагнита синхротрона на 300 Мэв. Основные характеристики электромагнита синхротрона на 300 Мэв приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование характеристик электромагнита	Единицы измерения	Величина
Максимальная энергия ускоренных электронов	<i>мэв</i>	300
Радиус равновесной орбиты	<i>м</i>	0,95
Высота межполюсного пространства	<i>м</i>	0,08
Радиальный размер рабочего сечения камеры	<i>м</i>	0,14
Число прямолинейных участков	—	4
Длина прямолинейных участков	<i>м</i>	0,6
Угол секторов	<i>град</i>	83°28'
Коэффициент формы орбиты	—	1,32
Амплитуда магнитной индукции на орбите	<i>кгс</i>	10,7
Амплитуда магнитной индукции в стали	<i>кгс</i>	15,0
Амплитуда тока в импульсе	<i>а</i>	758
Период следования импульсов	<i>сек</i>	1
Длительность импульсов тока	<i>сек</i>	0,064
Импульсная плотность тока	<i>а/мм²</i>	6,55
Максимальная реактивная мощность	<i>кВа</i>	6600
Реактивная энергия магнитного поля	<i>кДж</i>	66,4
Емкость конденсаторной батареи	<i>мкф</i>	1780
Индуктивность обмотки	<i>гн</i>	0,231
Вес стали электромагнита	<i>кг</i>	14700
Вес меди обмотки	<i>кг</i>	1500
Показатель спада поля по радиусу	—	0,65

Форма и профиль полюсов

Форма и профиль полюсов выбирались экспериментальным путем на моделях электромагнита. В результате проведенных экспериментов был найден угол скоса полюсов, соответствующий минимальному коэффициенту рассеяния. При угле скоса 75° достигается максимальная индукция на орбите $B_0=10,7$ кГс при индукции в стали $B=15$ кГс. Угловой раствор полюсных поверхностей составляет $2^\circ 54'$.

На радиальных краях полюсных поверхностей выполнены козырьки, которые усиливают поле вблизи краев и тем самым расширяют рабочую область с допустимым значением показателя спадания поля.

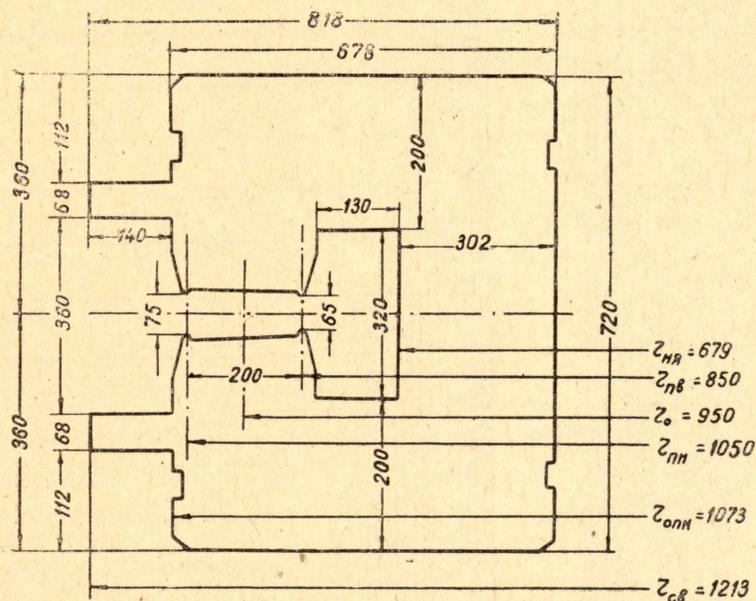


Рис. 1. Пластина магнитопровода

Пластина магнитопровода с принятой формой и профилем полюсов показана на рис. 1. Выступы на наружной части полюсов предназначались для приставных бетатронных сердечников, однако в процессе запуска синхротрона бетатронные сердечники не использовались.

Магнитопровод

Электромагнит синхротрона на 300 Мэв состоит из четырех одинаковых секторов, разделенных прямолинейными участками. Каждый сектор имеет геометрический угол $83^\circ 28'$. Прямолинейные участки имеют длину 0,6 м. Магнитопровод изготовлен из электротехнической стали Э42 толщиной 0,35 мм.

В целях упрощения технологии сборки магнитопровода, а также для получения более жесткой конструкции пластины собирались в монолитные клинообразные блоки. Каждый сектор магнитопровода состоит из шести таких блоков, в свою очередь каждый блок составлялся из 26 пакетов. Для обеспечения кольцообразности магнитопровода пакет набирался из 10 цельных, необрезанных пластин и из 16 обрезанных пластин по одной каждого размера (рис. 2). При сборке блока между отдельными пакетами во избежание замыкания пластин, помещены изоляционные прокладки из кабельной бумаги. Для получения геометрического угла секторов магнитопровода $83^\circ 28'$ от крайних блоков

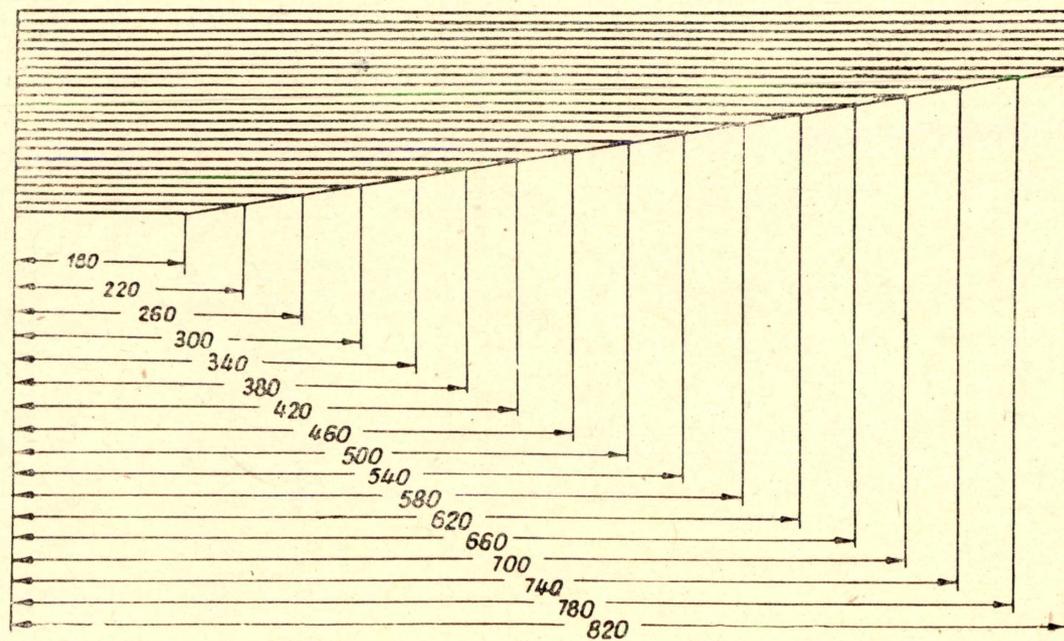
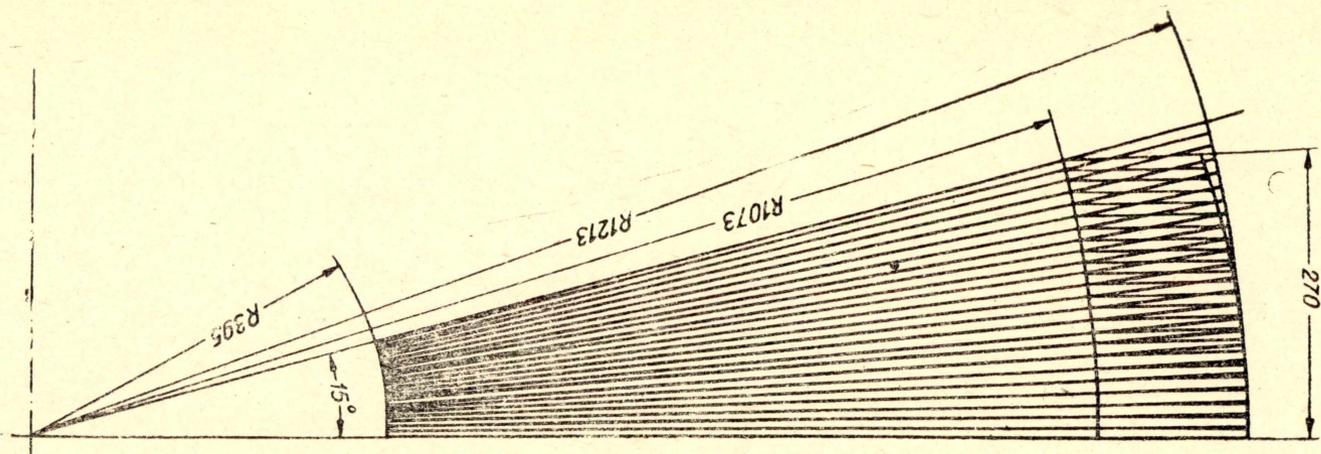


Рис. 2. Пакет и блок, составляющие магнитопровод

отделено около 5,5 пакетов, в результате средние 4 блока занимают углы по 15° , а крайние блоки каждого сектора — по $11^\circ 44'$.

Для получения монолитных блоков была принята следующая технология их изготовления. С отштампованных пластин всех позиций снимались заусеницы, затем пластины промывались бензином и лакировались. Для лакировки применялся лак № 3256. После трехкратной лакировки и сушки пластины поступали на сборку. Сборка блоков, их

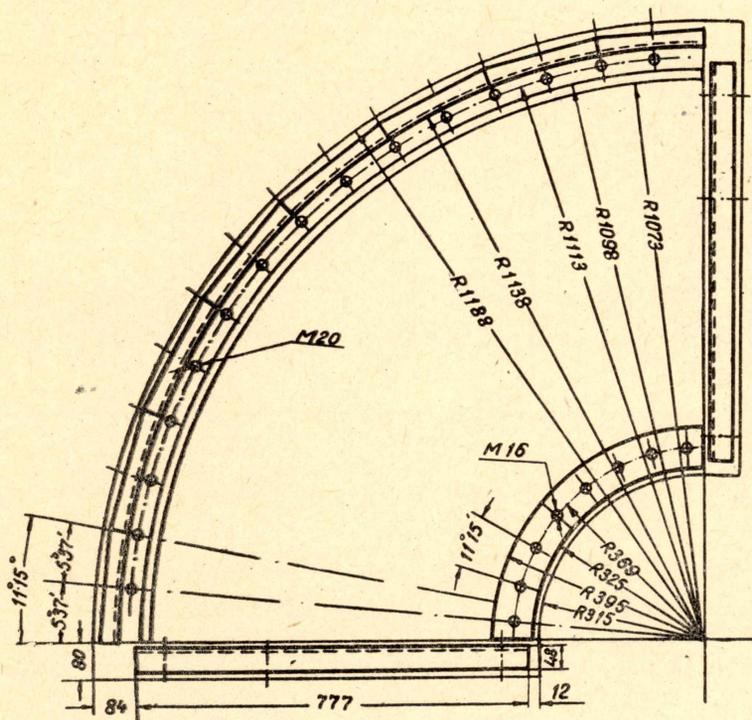


Рис. 3. Основание электромагнита

опрессовка и запечка производились в специальной прессформе, выполненной из толстолистовой стали. В процессе запечки, длившейся 10 часов при температуре около 140°C , блок дополнительно опрессовывался в прессформе подтяжкой болтов. После остывания блок вынимался из прессформы, испытывался на электрическую и механическую прочность, после чего производились магнитные измерения с целью выяснения его характеристик. При монтаже магнитопровода учитывались характеристики отдельных блоков.

Каждый сектор магнитопровода установлен и полностью закреплен на основании, представляющем дуговую плиту толщиной 30 мм. Наружный радиус плиты 1,188 м, внутренний — 0,315 м. Снизу к плитам по радиусам 1,0 м и 0,4 м приварены спаренные швеллеры, с помощью которых плиты надежно соединены с железобетонным фундаментом. Сверху плиты приварено внутреннее крепежное кольцо, у которого по радиусу 0,36 м имеется 8 отверстий под шпильки, которыми в процессе сборки крепится прижимное кольцо, входящее в паз магнитопровода (рис. 3).

По радиусу 1,136 м к поверхности плиты приварено опорное кольцо, состоящее из 8 секций, в каждой секции имеется по 2 отверстия для прижимных болтов. Между опорным кольцом и магнитопроводом помещено наружное крепежное кольцо с внутренним радиусом 1,073 м. С помощью прижимных болтов, наружного и внутреннего колец, блоки магнитопровода фиксируются в радиальном направлении (рис. 4).

Для крепления магнитопровода к основанию в пазы магнитопровода введены прижимные кольца. Внутреннее кольцо притянуто шпильками к внутреннему крепежному кольцу, а наружное кольцо, состоящее из отдельных секторов, притянуто к плите болтами (рис. 4).

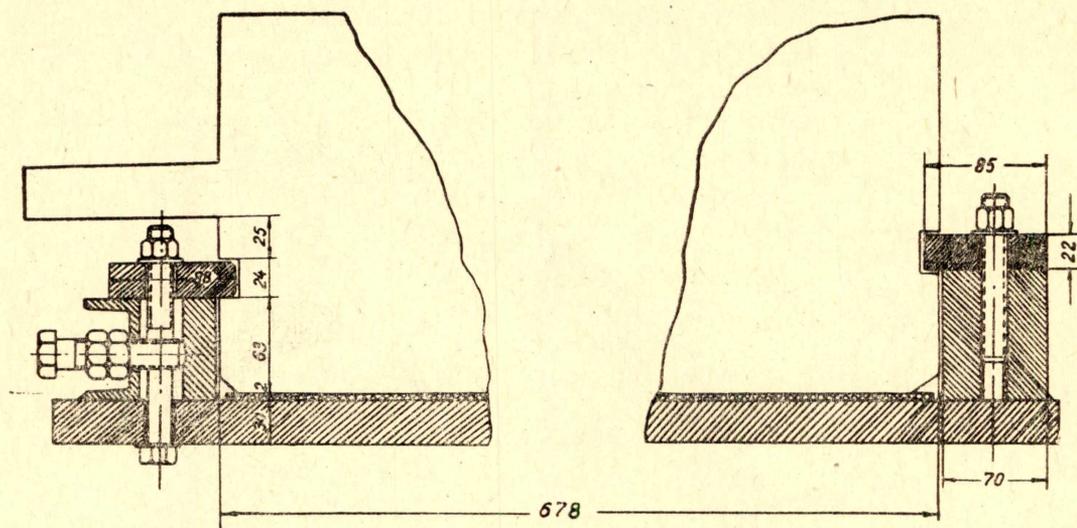


Рис. 4. Крепление магнитопровода к основанию

Для сжатия блоков в азимутальном направлении в нижней части к плите основания приварены два опорных швеллера № 10. На швеллерах выполнены отверстия с приваренными на них гайками. Давление, создаваемое болтами, передается на блоки через торцевую плиту толщиной 12 мм, имеющую форму пластин магнитопровода.

Для закрепления блоков в верхней части служат стяжные дуги, входящие в пазы магнитопровода. Своими концами с нарезкой стяжные дуги входят в проушины ребер жесткости торцевой плиты, образуя крепежную раму, с помощью которой создается необходимое давление на блоки магнитопровода. Внутренние стяжные дуги (верхняя и нижняя) конструктивно связаны между собой.

Обмотка возбуждения электромагнита

Обмотка возбуждения характеризуется следующими данными: число катушек на полюсе N_p — 6, число витков в катушке W_k — 16, число катушек на весь электромагнит N_k — 48, сечение провода $q = 4,7 \cdot 12,5 = 57,9 \text{ мм}^2$, средняя длина одного витка катушки l_w — 3,8 м, вес меди обмотки $G_m = 1500 \text{ кг}$.

Катушки одного полюса соединены между собой последовательно, катушки двух полюсов одного сектора соединены параллельно, между секторами осуществлено последовательное соединение, таким образом, число параллельных ветвей $a = 2$. Схема соединения обмотки показана на рис. 5.

На каждом секторе падение напряжения составляет около 2,2 кв. Ввод тока как для верхних, так и для нижних полюсов производится в верхнюю катушку, вывод — из нижней.

Намотка катушек производилась на шаблоне. При намотке катушек витковая изоляция усиливалась одним слоем микаленты. Микалента накладывалась на сторону 12,5 мм и крепилась к шинке тафтяной лентой, намотанной вразбежку.

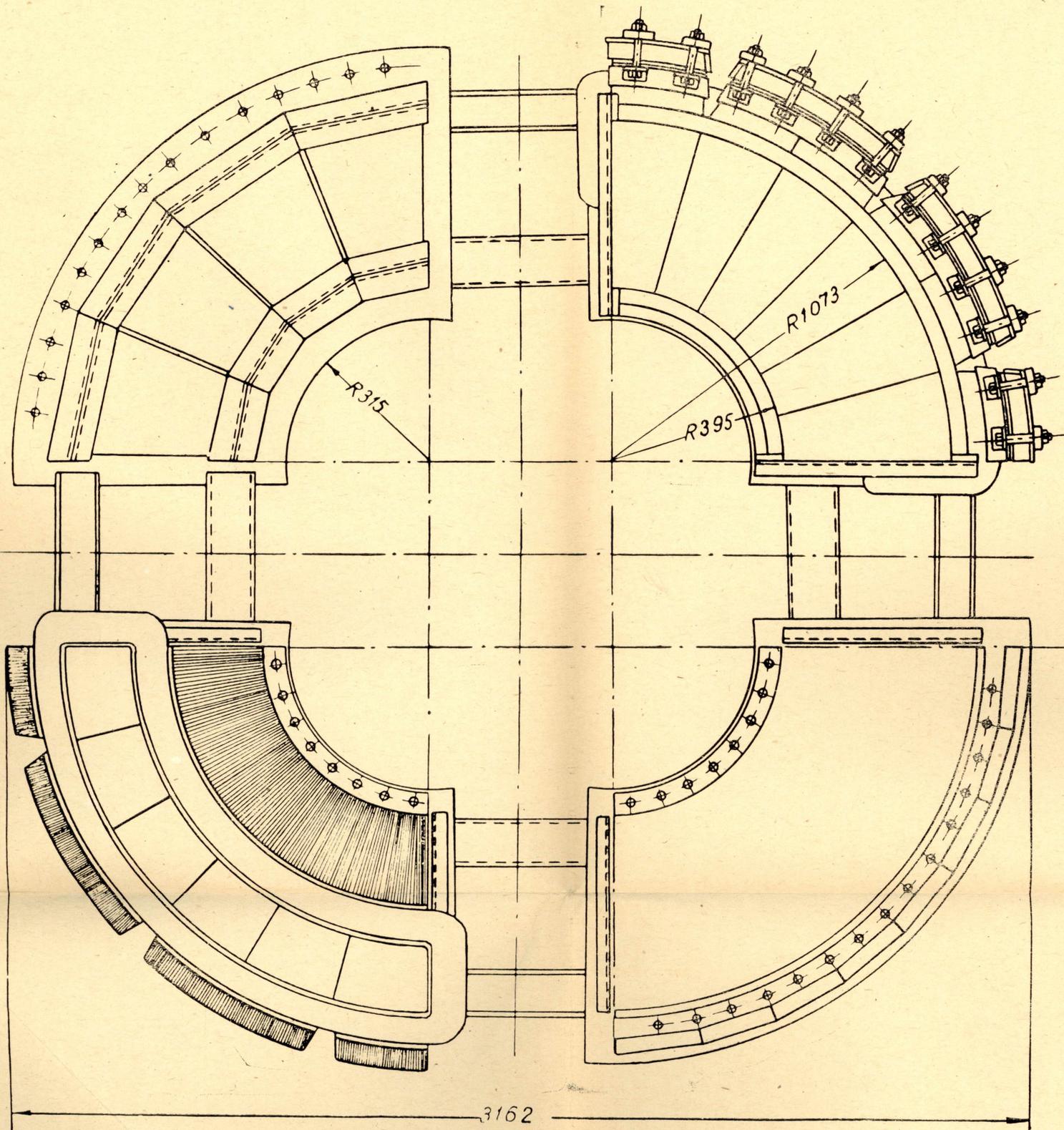


Рис. 5. Электромагнит (вид сверху)

При числе витков в катушке $W_k = 16$ минимальное число витков на полюс W_p и на весь электромагнит при параллельном соединении всех катушек будет $W = 16$. Однако при этом возникает неудобство вывода внутренних концов катушек. С целью устранения этих трудностей катушки изготовлялись сдвоенными с жестким внутренним соединением.

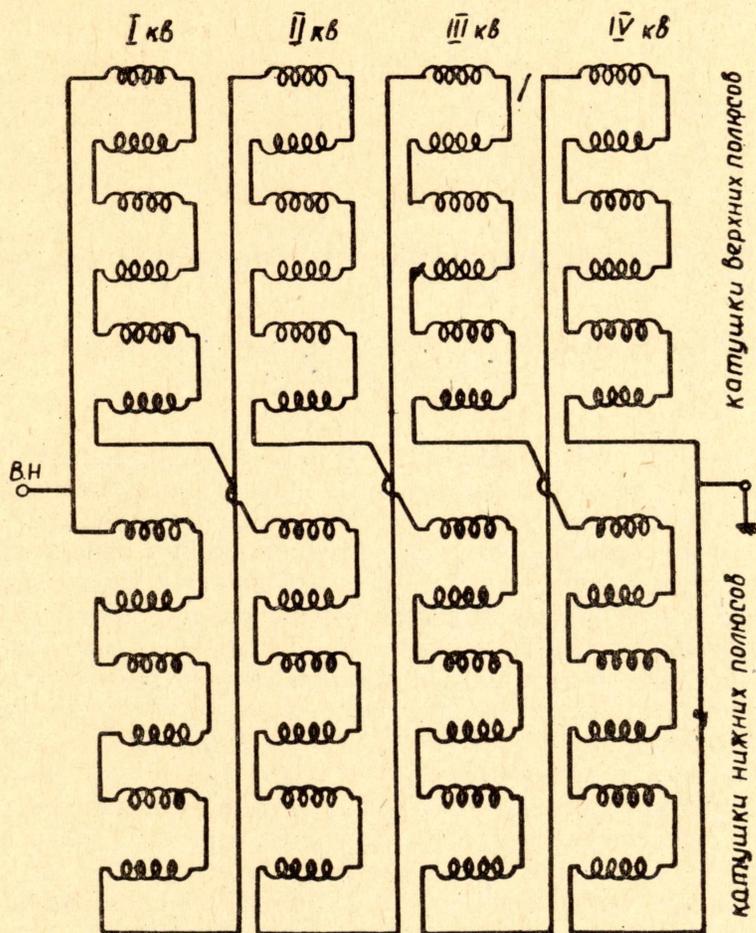


Рис. 5. Схема соединения обмотки возбуждения

Число последовательно соединенных витков в сдвоенных катушках $W = 32$. Каждая катушка изолировалась пятью слоями микаленты ЛМ4-1 толщиной 0,13 мм вполнахлеста. После соединения внутренних концов серебряным припоем на сдвоенные катушки наносилась корпусная изоляция из пяти слоев микаленты вполнахлеста. В процессе изолировки катушки подвергались трехкратной компаундировке.

Крепление обмотки возбуждения в магнитопроводе выполнено с помощью специальных домкратов, распирающих катушки верхних и нижних полюсов и равномерно распределенных по всему периметру катушки. Выводные концы катушек смонтированы в распределительных шкафах.

Заключение

Все узлы электромагнита синхротрона на 300 Мэв были выполнены в соответствии с разработанной конструкцией и технологией в НИИЯФЭА ТПИ, за исключением компаундировки катушек обмотки возбуждения, которая была выполнена на НТГЗ.