

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ИНЖЕКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА МОДЕЛИ КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ

И. Габанец, В. М. Жабицкий, И. Н. Иванов, А. К. Каминский, В. И. Мионов, В. П. Рашевский, А. П. Сергеев, С. И. Тютюнников, В. П. Фартушный

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Возможные системы инжекции можно разделить на два типа:

- 1) инжекция в быстроизменяющееся мягкофокусирующее магнитное поле, обеспечивающее изменение положения равновесной орбиты ^{/1,2/},
- 2) инжекция в мягкофокусирующее поле с последующим демпфированием поперечного импульса пучка ^{/3,4/}. Для инжекционных систем последнего типа разработаны и используются устройства, позволяющие осуществить захват до одного оборота инжектируемого тока. Поэтому для получения колец с $N_e \geq 10^{13}$ электронов с использованием инжекционной системы второго типа требуется инжекция токов величиной $\sim I_{кА}^{/4/}$.

При инжекции электронных пучков с током ~ 100 А для получения колец с $N_e \geq 10^{13}$ необходимо осуществить захват нескольких оборотов инжектируемого тока, что достигается с применением инжекционных систем первого типа. На модели коллективного ускорителя ОНМУ ОИЯИ в последние годы были проведены работы по исследованию процессов, происходящих во время инжекции, и различных режимов работы инжекционных систем первого типа. Исходя из самых общих положений, можно ввести классификацию подобных систем в зависимости от характера пространственного и временного распределения переменного поля, изменяющего положение равновесной орбиты ^{/1/}. В экспериментах на модели первоначально использовался вариант с включением тока и с начальным радиусом инжекции, лежащим в области, где для переменного поля орбитальное больше среднего ^{/5/}. В последующих экспериментах использовались системы с выключением тока и были проанализированы предельные варианты для пространственного распределения переменного поля: 1) поле на орбите инжекции значительно больше среднего ^{/6/} и 2) среднее поле значительно больше орбитального ^{/7/}. Для этих систем была исследована эффективность захвата и динамика частиц при различных режимах работы. Было получено, что основными

параметрами, влияющими на эффективность захвата, являются соотношение между орбитальным и средним переменным полем, изменение суммарного показателя спада в процессе захвата, скорость изменения тока в витках инжекционной системы. Результаты экспериментов с большой степенью точности укладываются в рамки одночастичной теории. Эти данные позволили выбрать параметры инжекционной системы для осуществления многооборотной инжекции с приемлемой плотностью электронного кольца [7]. В этой системе распределение переменного поля по радиусу выбрано таким образом, что среднее поле больше орбитального. Инжекция электронов осуществляется в суммарное (переменное плюс постоянное) поле, а "перехват" первой ступенью сжатия происходит в постоянном поле. "Промашка" электронов в основном обусловлена быстрым уменьшением среднего поля и в незначительной степени - увеличением поля на радиусе инжекции. Распределение переменного поля по радиусу представлено на рис.1. Более подробно выбор параметров этой системы приведен в работе [7]. Исследование пучка на орбите перехвата производилось с помощью индукционного датчика из двух катушек, позволяющего определить полный ток циркулирующего в камере адгезатора пучка без его разрушения с компенсацией сигнала внешнего переменного магнитного поля [8]. На рис.2 показан сигнал с датчика. Он имеет плато, значительно превосходящее по времени период бетатронных колебаний, и уменьшение амплитуды при $t \approx 1$ мкс. Были исследованы амплитуды этого сигнала (в момент времени ~ 100 нс после инжекции пучка) и величина циркулирующего тока долгоживущих частиц (1 мкс после инжекции) для различных величин амплитуды и длительности инжектируемого тока (рис.3). Анализируя эти результаты, можно сделать вывод, что подобная система инжекции работает как многооборотная, так как позволяет производить накопление частиц в первые моменты времени, превышающие период бетатронных колебаний. Величина циркулирующего тока долгоживущих частиц в наших экспериментах не превосходила 120 А, что связано с влиянием коллективных эффектов на процесс захвата и удержания электронного кольца.

В проведенных на модели экспериментах по инжекции наблюдалось расширение пучка в аксиальном направлении, превосходящее изменение аксиального размера вследствие уменьшения суммарного показателя спада магнитного поля. На рис.4 приведено распределение плотности пучка на орбите перехвата в аксиальном направлении. Характерным является увеличение размера пучка в аксиальном направ-

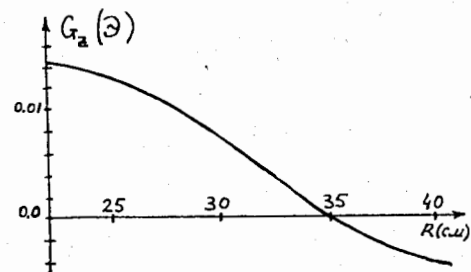


Рис.1 Распределение переменного поля по радиусу.

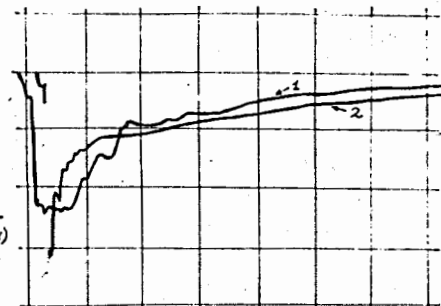


Рис.2 Сигнал с индукционного датчика. 1- $\tau_{инт.эпр.} = 5 \mu\text{с}$ (500нс/см и 50мВ/см), 2- $\tau_{инт.эпр.} = 20 \mu\text{с}$ (5мкс/см и 10мВ/см).

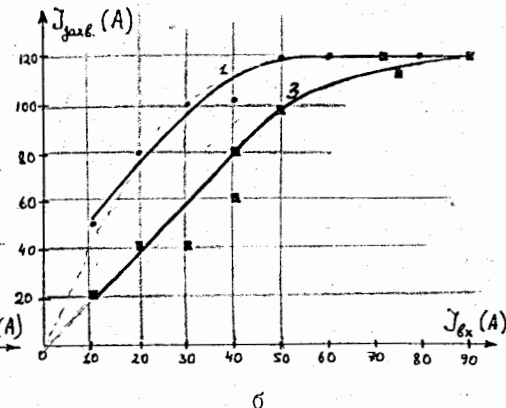
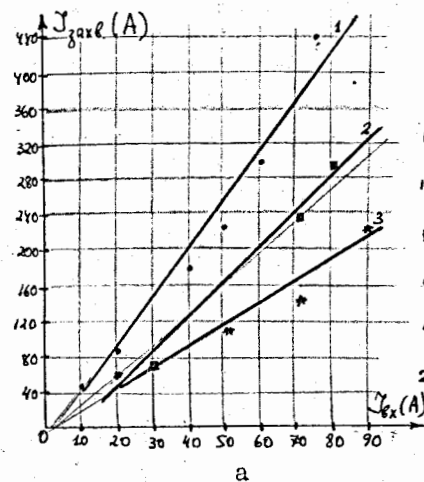


Рис.3 Величина захваченного тока /а- в момент времени ~ 100 нс после инжекции, б- через 1 мкс после инжекции / для различных величин амплитуды и длительности / 1- 50нс, 2- 30нс, 3- 20нс/ инжектируемого тока.

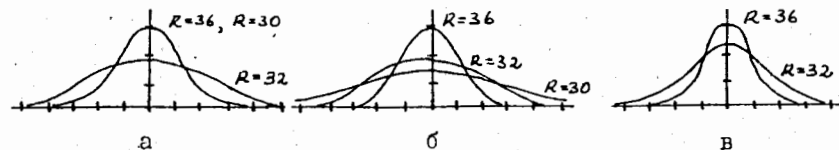


Рис.4 Распределение плотности пучка в аксиальном направлении при длительности инжектируемого тока 20нс /а- начальный равновесный радиус $\tau_z = 39,5$ см; б- $\tau_z = 36,0$ см; в- $\tau_z = 39,5$ см, изменено распределение постоянного поля /. R- радиус измерений.

лении при увеличении его начального радиального размера. Было изменено распределение постоянного поля таким образом, что уменьшилось влияние нелинейных эффектов связи радиальных и аксиальных колебаний. На рис.4(в) представлено распределение плотности пучка в этом случае. Не исключая влияния резонансов связи, которые проходятся во время работы инжекционной системы, отметим, что основную роль в увеличении аксиального размера играют нелинейные эффекты связи радиальных и аксиальных колебаний.

Проведенные на модели исследования различных систем инжекции показали, что геометрическое распределение постоянного и переменного полей, скорость изменения тока в витках инжекционной системы, соотношение орбитального и среднего переменного поля определяют динамику частиц, эффективность и продолжительность захвата и могут быть рассчитаны с большой степенью точности в рамках одночастичной теории.

Дальнейшее повышение эффективности работы инжекционной системы требует учета влияния коллективных эффектов на процесс захвата и удержания электронного кольца.

Литература

1. И.Габанец и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-8353, Дубна, 1974.
2. И.В.Кожухов и др. Сообщение ОИЯИ, 9-4715, Дубна, 1969.
3. Ю.А.Мостовой и др. ЖТФ, 36, 1550 (1966).
4. Л.С.Барабаш и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
5. В.М.Жабицкий и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-8354, Дубна, 1974.
6. И.Габанец и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-9139, Дубна, 1975.
7. И.Габанец и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-9729, Дубна, 1976.
8. И.Габанец, Х.Гурач. Сообщение ОИЯИ, Р9-9141, Дубна, 1975.