

## ОПТИМИЗАТОР АКЦЕПТАНСА СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ

Предложен новый подход к задаче разработки сильноточных электронно-оптических каналов. Сгусток частиц рассматривается как набор независимо движущихся поперечных сечений (слоев) без эмиттанса с разными токами, энергиями, размерами и наклонами. Такая модель локально холодного сгустка достаточно точна для пучка с преобладанием собственного заряда, если длина сгустка в сопровождающей системе координат много больше его поперечных размеров. Эта модель позволяет эффективно численно максимизировать акцептанс электронно-оптического канала для пучка с приблизительно известными параметрами и достаточно надежно предсказать потери частиц в канале. Описан разработанный на основе такого подхода код. Рассмотрены примеры спроектированных при помощи него каналов.

*Ключевые слова:* собственный заряд, модель локально холодного пучка, акцептанс канала.

### Введение

Для численной оптимизации потерь в электронно-оптическом канале с преобладанием собственного заряда может быть использована параметрическая либо непараметрическая модель. Очевидно, что параметрические модели несравненно эффективнее для численного моделирования, так как процесс сводится в этом случае к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Непараметрическая же модель требует дискретизации и решения системы дифференциальных уравнений в частных производных или интегродифференциальных уравнений.

По-видимому, известна только одна такая корректная параметрическая модель – Капчинского – Владимирского (КВ) [1]. Эта модель рассматривает стационарный пучок с микроканоническим поперечным распределением. Модель, используемая в коде Trace3D [2], также параметрическая, но некорректная, т. е. не существует физической системы, которая бы в точности соответствовала этой модели. Все параметрические модели оперируют с каким-либо сохраняющимся распределением в фазовом пространстве и позволяют оценить движение пучка в

смысле среднеквадратичных величин. При этом предсказать изменение эмиттанса или распределение частиц в разреженном гало невозможно.

Коды, оперирующие с непараметрическими моделями, такие как PARMELA [3], MAFA<sup>1</sup> и Elegant [4], обычно вычисляют движение «макрочастиц». Подобные коды вполне пригодны для моделирования движения пучка в канале, но счет требует значительного времени – минуты и десятки минут при посредственной точности. Для оптимизации потерь тока в канале необходима на порядки более эффективная модель, чем «макрочастицы», так как процесс оптимизации предполагает многократный (типично сотни раз) счет одного и того же канала. Кроме того, допустимые потери в канале, как правило, весьма малы, так что необходим эффективный способ учета разреженного гало пучка.

Цель разработки кода I&Eps – получить удобный и эффективный инструмент для оценки и максимизации акцептанса каналов для нестационарных пучков с преобладанием эффекта собственного заряда. Прецизионность результата не столь важна, так как обычно состояние пучка на входе канала

<sup>1</sup> См.: [www.cst.de](http://www.cst.de)

разработчику в точности не известно, а тонкая настройка делается уже на готовой машине. Важно лишь иметь хорошее начальное приближение для ручной оптимизации реального канала. Важно также знать на стадии проектирования акцептанс канала при заданных допустимых потерях или наоборот, потери при заданном эмиттансе.

### Предлагаемая модель

Следуя [5], разделим заряженный сгусток на совокупность поперечных сечений (слоев). Если длина сгустка в сопровождающей системе координат много больше его поперечных размеров, независимое движение слоев есть хорошее приближение. Предположим, что движение каждого слоя описывается уравнением КВ с нулевым эмиттансом. Зависимости начального состояния и тока слоя от продольной координаты внутри сгустка зачастую известны неточно или неизвестны вовсе. Поэтому пучок рассматривается не как определенный сгусток, а как ансамбль слоев с различными токами, размерами, наклонами и энергиями.

Таким образом, для каждого слоя используется параметрическая модель движения, корректная в случае нулевого микроскопического эмиттанса и однородной плотности тока. Сгусток же рассматривается непараметрически, то есть число слоев произвольно. Это разумный компромисс, позволяющий обойтись сравнительно небольшим количеством уравнений в решаемой системе, что позволяет резко повысить эффективность по сравнению с традиционными кодами. В то же время достаточно точно вычисляется огибающая каждого слоя и, следовательно, потери в канале. Проекционный эмиттанс также вычисляется, но результат может быть признан лишь как оценка, поскольку рассматривается не сгусток в заданном начальном состоянии, а ансамбль слоев, начальные состояния которых варьируются в процессе оптимизации канала.

### Алгоритм

Пучок рассматривается как ансамбль заряженных слоев без эмиттанса с однородным распределением заряда в пределах эллипса в плоскости  $xu$ , главные оси которого совпадают с осями координат. Каждый слой характеризуется током  $I$ , горизонтальным и

вертикальным среднеквадратичными размерами  $x$  и  $y$ , а также их наклонами  $x' = dx/dz$  и  $y' = dy/dz$ . Его движение подчиняется уравнению КВ без эмиттанса, т. е.

$$\begin{cases} x'' = \frac{I}{I_0(\beta\gamma)^3} \frac{1}{x+y} - \frac{e}{p} G_x x, \\ y'' = \frac{I}{I_0(\beta\gamma)^3} \frac{1}{x+y} - \frac{e}{p} G_y y, \end{cases} \quad (1)$$

где  $I_0 = 4\pi \cdot mc^2 / Z_0 e$  – ток Альвена,  $\approx 17$  кА для электронов;  $Z_0 \approx 377$  Ом;  $\beta = v/c$  – отношение продольной скорости к скорости света;  $\gamma = \sqrt{1/(1-\beta^2)}$  – релятивистский фактор;  $e$  – заряд частицы;  $p$  – ее импульс;  $G_x = -G_y = G$  для фокусирующего в горизонтальной плоскости квадруполья,  $G_x = G_y = eB^2/4p$  для соленоида, и  $G_x = pg^2/e$ ,  $G_y = 0$  для диполя, где  $g$  – кривизна траектории. Вращением пучка как целого в соленоиде пренебрегается. Предполагается, что разработчик должен сам заботиться о сохранении главной плоскости машины. Такой подход типичен для моделирующих кодов.

Пучок в целом, т. е. ансамбль слоев, характеризуется теми же параметрами и дополнительно среднеквадратичными эмиттансами  $\epsilon_x$  и  $\epsilon_y$ , а также относительным среднеквадратичным разбросом продольных импульсов  $\Delta p/p$ . Энергия слоев в (1) полагается постоянной, однако горизонтальная координата центра слоя относительно центра масс сгустка смещена на  $\eta \Delta p/p$ , где  $\eta$  – дисперсионная функция, а  $\Delta p/p$  – относительное отклонение продольного импульса слоя.

В процессе оптимизации канала, в начале каждого акта его моделирования состояния слоев задаются в соответствии с начальным состоянием пучка. Один слой, «невозмущенный», несет максимальный ток пучка, а его среднеквадратичные размеры и наклоны такие же, как и у пучка в целом. Остальные, «возмущенные» слои подразделяются на пять «линий». В первой линии варьируются ток и  $\Delta p/p$ , а в остальных – ток и один из параметров:  $x$ ,  $y$ ,  $x'$  или  $y'$ . Если общая условная размерность задачи  $N$ , то в первой линии  $N-1$  слоев, а в остальных по  $2 \cdot (N-1)$ . Так происходит, потому что  $\Delta p/p$  варьируется только в одну сторону (канал полагается симметричным по  $x$  и  $y$ , а траек-

тория центра масс пучка совпадающей с его осью в каждом сечении), а прочие параметры – в обе стороны. Если индекс слоя в пределах линии  $i$  ( $i = 1 \dots N-1$  в первой и  $i = -(N-1) \dots -1, 1 \dots N-1$  в остальных), то ток в нем

$$I(i) = I_{\max} \times \exp\left(-\left(i \cdot (0,04781656081 + 2,027414876/N)\right)^2\right),$$

где  $I_{\max}$  – пиковый ток сгустка. Варьируемый же параметр

$$\xi(i) = \xi_0 + i \cdot \Delta\xi \cdot 2,134 \cdot \sqrt{2} \times (0,04781656081 + 2,027414876/N),$$

где  $\xi_0$  – параметр пучка, а  $\Delta\xi$  – заданный среднеквадратичный разброс этого параметра. Такое дискретное распределение – наилучшее приближение непрерывного гауссова. Дискрет выбран так, чтобы ошибки от отбрасывания хвоста и от дискретности распределения были равны, т. е. суммарная погрешность была минимальной при заданном количестве узлов.

Далее для каждого слоя независимо решается система ОДУ (1) по схеме Дормана – Принса 5(4) с автоматической регулировкой шага и плотной выдачей [6]. Точки перехода через нуль  $x$  и  $y$  фиксируются – в них, упрощенно говоря, соответствующей производной принудительно меняется знак на «+». Уравнение для  $\eta$

$$\eta'' = g - \frac{e}{p} G_x \eta \quad (2)$$

решается по той же схеме.

Квадруполи, диполи и соленоиды в канале могут иметь прямоугольное либо произвольное распределение градиента или поля соответственно вдоль траектории пучка. Крайя диполей не обязательно перпендикулярны траектории. В случае прямоугольного распределения такой край рассматривается как тонкая линза силой  $D$  и производная параметра в (1) или (2) просто корректируется:  $\xi' = \xi' - D \cdot \xi$ . В одной и той же точке канала могут присутствовать поля произвольного числа магнитов.

В канале задаются его апертуры по вертикали и горизонтали, зависящие от продольной координаты  $z$ . Допускаются элементы с постоянной в некоторых пределах  $z$  апертурой («прямоугольные») и линейно меняющейся («конические»). Для каждого  $z$  апертура рассматривается как эллиптическое отверстие с главными осями по  $x$  и  $y$ .

Вдоль канала формируется сетка наблюдения. Ее узлы обязательно выбираются на границах элементов апертур и магнитов с прямоугольным распределением поля или градиента. В промежутках между этими обязательными узлами прочие распределяются с интервалом

$$\Delta z \leq \sqrt{0,005 \frac{\max(|x|, |y|)}{\max(|x''|, |y''|)}}.$$

Нужно отметить, что эта сетка не влияет на точность интегрирования (1) и (2) – там шаг выбирается интегратором автоматически по заданной точности. Сетка нужна для анализа потерь на апертурах канала и визуализации размеров пучка и  $\eta$  вдоль канала. Значения параметров слоев в узлах сетки вычисляются по формуле плотной выдачи схемы Дормана – Принса 5(4) [7 (5.7)].

Потери пучка учитываются в текущей версии не полностью корректно. В каждом узле сетки считаются размеры огибающих слоя  $X = 2x$  и  $Y = 2y$ . Если слой входит в первую линию, к  $X$  добавляется  $|\eta| \cdot \Delta p / p \cdot i \cdot \sqrt{2} \cdot (0,047816561 + 2,0274149/N)$ . Далее вычисляется коэффициент превышения размера

$$\text{Oversize}_i^x = X_i / X^A,$$

где  $X^A$  – горизонтальная апертура в данном узле. По вертикали – совершенно аналогично. Всегда сохраняется максимальное значение Oversize. Размер слоя для вычисления параметров пучка делится на Oversize. Итак, апертуры канала не влияют на интегрирование (1), а используются лишь для вычисления размеров, эмиттансов, потерь и т. д.

В узлах сетки наблюдения вычисляются размеры огибающих, среднеквадратичные размеры пучка и  $\eta$ . Текущий горизонтальный среднеквадратичный размер слоя вычисляется как

$$x_i^{rms} = x_i \cdot \text{Passed}(\text{Oversize}_i^x),$$

где

$$\text{Passed}(\text{Oversize}) = \left( \vartheta(1 - \text{Oversize}) + \frac{\vartheta(\text{Oversize} - 1)}{\text{Oversize}} \right),$$

где  $\vartheta(x)$  – функция Хевисайда. Это выражение равно единице, пока  $\text{Oversize} < 1$ , а далее спадает как  $1/\text{Oversize}$ . Оно в точности описывает потери однородно заряженного прямоугольного пучка в прямоугольной

апертуре и с некоторой точностью эллиптического пучка в эллиптической апертуре. Формула для вертикального размера получается заменой  $x \rightarrow y$ . Среднеквадратичный размер пучка получается усреднением размеров слоев с весом. Влияние  $\eta$  и  $\Delta p/p$  на среднеквадратичный размер не учитывается. Огибающие слоя вычисляются с учетом  $\eta$  и  $\Delta p/p$ , а огибающие пучка – как максимум огибающих слоев. Огибающие пучка, его среднеквадратичные размеры и  $\eta$  выводятся на график. В конце канала вычисляются еще среднеквадратичные наклоны и потери.

Оптимизация канала включает два уровня. На нижнем начальное состояние пучка задается в соответствии с определенными пользователем и верхним уровнем параметрами:  $I$ ,  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $x_{rms}$ ,  $y_{rms}$ ,  $x'_{rms}$ ,  $y'_{rms}$ ,  $\eta$  и  $\eta'$ . Затем формируется функция цели

$$\sum_i \left( \cosh \sqrt{2} \frac{\xi_i - \xi_0^i}{\Delta \xi_i} - 1 \right),$$

где  $\xi_i$  – полученный параметр,  $\xi_0^i$  – целевой параметр, а  $\Delta \xi_i$  – допустимое отклонение. Потери всегда входят в список целевых параметров, для них всегда  $\xi_0^i = 0$ . В список могут входить также следующие параметры пучка на выходе канала:  $x_{rms}$ ,  $y_{rms}$ ,  $x'_{rms}$ ,  $y'_{rms}$ ,  $\eta$  и  $\eta'$ . В процессе минимизации функции цели варьируются поля в линзах, оптимизация которых разрешена. Спуск к минимуму осуществляется по алгоритму двойственных направлений [8].

На верхнем уровне по заданным пользователем целевым  $I_G$ ,  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  и начальному  $I_i$  (может совпадать с  $I_G$  – тогда ток пучка не меняется) с помощью параметра успеха  $\sigma$  вычисляются недостающие начальные параметры пучка:

$$I \leftarrow I_G (1 - \sigma) + I_i \sigma,$$

$$\varepsilon_x \leftarrow \varepsilon_x \sigma,$$

$$\varepsilon_y \leftarrow \varepsilon_y \sigma.$$

В начале процесса всегда  $\sigma = 0,5$ . После спуска в минимум оцениваются потери. Методом итераций с бисекцией находится такое  $\sigma$ , чтобы оптимизированные потери соответствовали заданной величине.

### Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс кода имеет три основных окна: редактор канала, геометрия канала и оптимизатор.

В первом необходимо задать структуру канала – типы и длины магнитных элементов и апертур камеры. Поддерживаются три основных типа магнитов: диполи, квадруполь и соленоиды; а также два типа апертур: неизменного сечения и «конические». Все магниты разделены зазорами. Магниты могут быть с прямоугольным распределением поля или с произвольным.

Канал состоит из одного или нескольких прямолинейных участков. Каждый участок начинается либо с начала канала, либо с поворотного магнита. Апертуры и элементы совмещены в пределах участка. Линзы, изменяемые при оптимизации, отмечены галочкой по умолчанию. Если не нужно менять силу данной линзы, галочку нужно снять.

В окне геометрии показан вид канала сверху в масштабе со всеми апертурами и магнитами. Никаких операций над каналом в этом окне сделать нельзя.

В окне оптимизатора можно видеть список магнитов канала в виде пиктограмм; три области параметров: начальные, целевые и достигнутые; а также графики размеров и  $\eta$ -функции пучка вдоль канала. На списке магнитов представлены также градиенты и поля в квадрупольях и соленоидах соответственно, так что можно видеть, как они меняются в процессе оптимизации. Можно их и редактировать.

Перед оптимизацией нужно задать все начальные параметры, а также отметить галочкой и задать целевые. Процесс запускается кнопкой «Go» и останавливается по достижении целевых параметров, либо по невозможности дальнейших итераций, либо той же кнопкой (в процессе счета название меняется на «Stop»).

### Примеры каналов, оптимизированных при помощи кода

Инжекционный канал в КАЕРИ (Тэджон, Корея) [9] предназначен для транспортировки пучка от инжектора до сверхпроводящего резонатора. Его схема приведена на рис. 1 Регулярная апертура канала 100 мм. Его основные параметры приведены в таблице. Режим работы – непрерывный.

Вначале канал был спроектирован без учета собственного заряда. При его первоначальной настройке было найдено, что та-

кой режим не может быть использован из-за слишком больших потерь пучка в канале. Получить хоть сколько-нибудь приемлемые потери, используя указанный режим в качестве начального приближения и варьируя градиенты во всех линзах в широких пределах, также не удалось. Это и не удивительно, так как при типичном среднеквадратичном размере 3 мм члены с эмиттансом и собственным зарядом в правой части уравнения КВ одного порядка,  $\sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ . Это значит, что одночастичная модель дает режим весьма далекий от правильного и найти последний в пространстве около 20 параметров вручную практически невозможно. Для того чтобы найти хоть какой-нибудь подходящий режим канала за ограниченное время, была построена простейшая численная модель канала на основе уравнений КВ, включающая все магниты в приближении прямоугольного распределения поля. Найденный с помощью такой модели режим был затем оптимизирован на реальном канале вручную. При этом удалось снизить потери пучка до 5–6 %, но пришлось регулировать все линзы, что заняло немало времени. Тем не менее оптимизированный режим сильно отличался от найденного с помощью модели – начальное приближение оказалось не слишком хорошим. Этот случай послужил толчком к разработке кода I&Ers. Когда код заработал, найденный с его помощью режим был установлен на линзах канала. Дальнейшая ручная настрой-

Параметры инжекционного канала в КАЕР

Кинетическая энергия электронов, МэВ	1,5
Пиковый ток, А	20
Средний ток, мА	до 10
Начальный эмиттанс, $\pi$ мм·мрад	10
Относительный энергетический разброс	$3 \cdot 10^{-3}$
Акцептанс при 4 % потерь, $\pi$ мм·мрад	15,5

ка касалась только первых трех и последних двух линз, т. е. тех, которые лежат вне диполей.

Таким образом, хроматизм в канале не менялся. Настройка нескольких линз в начале канала совершенно необходима, так как начальное состояние пучка известно весьма неточно. Регулировка линз на выходе также неизбежна, поскольку ускоряющие резонаторы учитываются приближенно, как два соленоида и два пустых промежутка, подобранных по наилучшему соответствию в одночастичной модели. Таким способом потери в канале были снижены до  $\approx 3$  %. После более тонкой настройки инжектора и некоторых линз канала потери пучка удалось снизить до 0,5...1 %. Итак, код I&Ers дает весьма хорошее начальное приближение для дальнейшей ручной настройки канала.

Канал для расщепления электронного пучка на три [10] предназначен для прото-

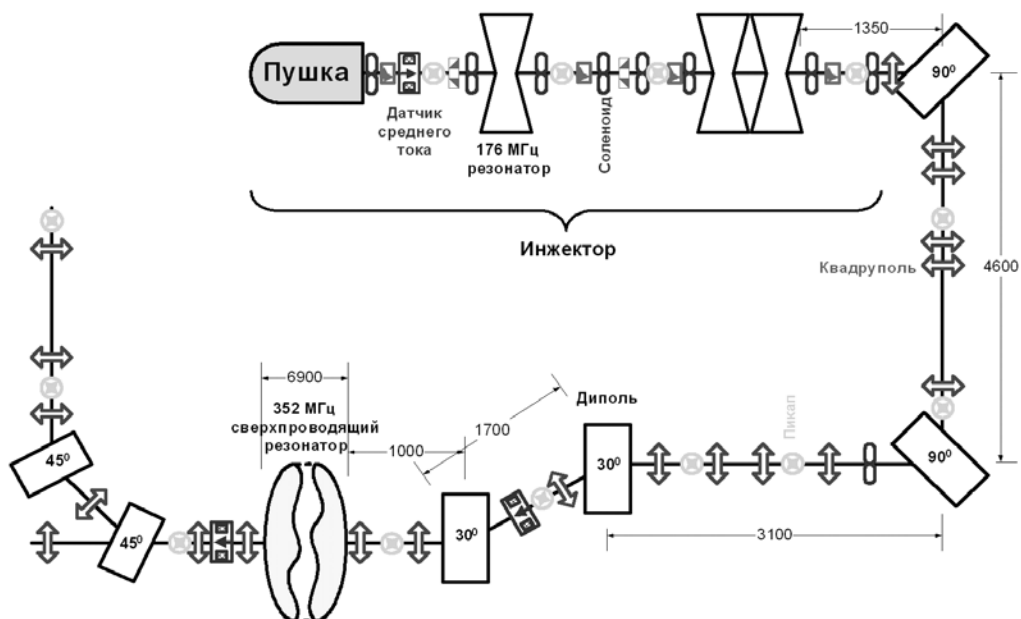


Рис. 1. Инжекционный канал в КАЕР

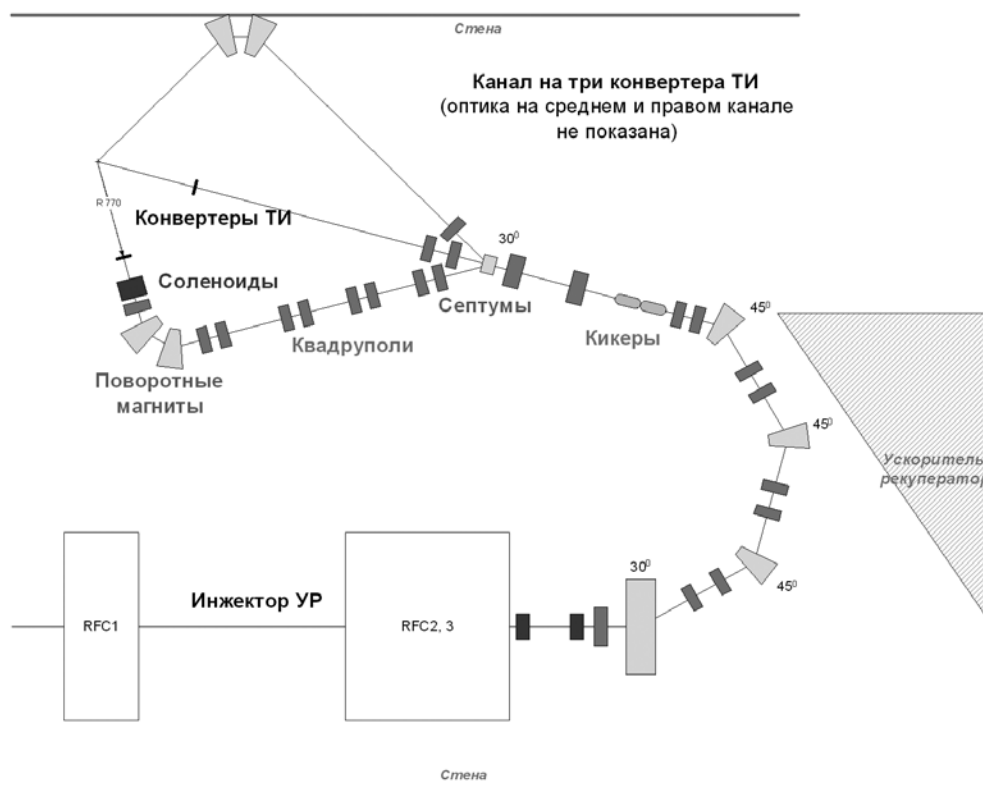


Рис. 2. Канал для расщепления пучка на три в ИЯФ

типа малоракурсного рентгеновского томографа. Компоновка канала показана на рис. 2. Проект предусматривает использование инжектора терагерцового ЛСЭ в Новосибирске [11]<sup>2</sup> в качестве источника электронов. Его параметры вполне аналогичны приведенным в таблице, но в данном случае он работает в импульсном режиме. Длительность импульса составляет  $\approx 210$  нс.

Кикеры отклоняют по одной трети импульса вверх и вниз на небольшой угол. Набрав вертикальное отклонение в прямолинейном промежутке с двумя квадрупольями, эти трети попадают в септумы, где отклоняются по горизонтали на угол  $30^\circ$ . Далее их необходимо привести к конвертерам тормозного излучения и сфокусировать на них в пятна наименьших возможных размеров. Таким образом, получаем три точечных источника тормозного излучения, вспыхивающих практически одновременно.

Сходство с предыдущим каналом состоит в параметрах пучка – они просто те же. Но последний канал должен быть размещен в относительно тесной области и обеспечить жесткую фокусировку пучка на мишенях.

Кроме того, траектории среднего и крайних пучков сильно отличаются, а оптимизировать их надо все вместе. В связи с этим пришлось выбрать регулярную апертуру 40 мм, чтобы магниты получились достаточно компактными. На самом деле, проблему представляют боковые ветви, поскольку там есть диполи и необходимо погасить  $\eta$  в конце. Но и на участке перед септумами  $\eta$  должна быть равна нулю. Иначе затруднительно обеспечить ахроматичность всех трех каналов. Если первые четыре диполя составляют ахроматический поворот, правая и левая ветки совершенно одинаковы, а настройка центральной ветки не представляет проблем.

Сначала оптимизировалась общая часть, а затем все ее линзы, кроме расположенных до первого диполя, были зафиксированы. После этого оптимизировался весь канал вместе. Оказалось, что данный канал обладает в  $\approx 1,2$  раза меньшим акцептансом, чем канал в KAERI, или в  $\approx 1,5$  раза большими потерями при тех же качестве и токе пучка. При этом увеличение регулярной апертуры не приводило к упрощению канала или к увеличению его акцептанса. Тем не менее особых проблем слегка увеличенные потери

<sup>2</sup> Proc. in <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/>

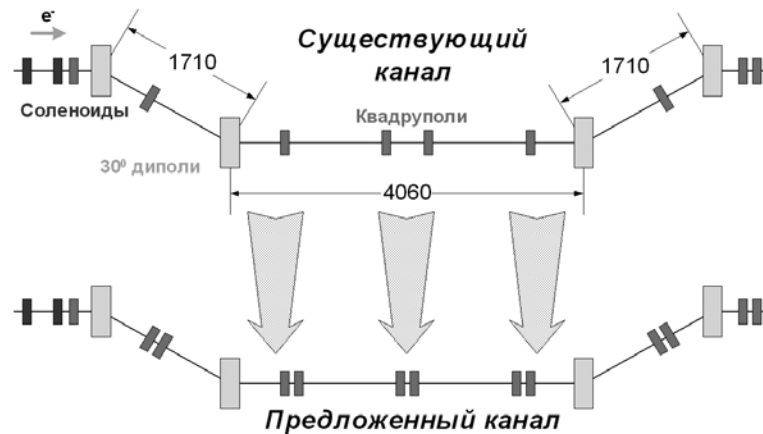


Рис. 3. Схема инжекционного канала ускорителя-рекуператора Новосибирского ЛСЭ

не создают, так как частота повторения чрезвычайно мала.

Инжекционный канал ускорителя-рекуператора Новосибирского ЛСЭ [11] предназначен для транспортировки электронного пучка от инжектора до высокочастотной ускоряющей структуры и согласования пучка со структурой. Схема канала изображена на рис. 3. Канал состоит из четырех  $30^\circ$  поворотов и нескольких квадруполей. Общая длина канала  $\approx 8,5$  м. Регулярная апертура 100 мм, но имеется много сужений камеры. Проектный средний ток в канале может достигать 45 мА.

Канал изначально был спроектирован без учета собственного заряда. Так что рассчитанный режим не позволял вовсе провести пучок. В конце концов удалось вручную найти режим, в котором пучок проходил через канал. При этом потери составляли до 10 % и более (в зависимости от настройки инжектора), а весь канал не был ахроматичным. В дальнейшем канал был проанализирован с помощью I&Eps. Не удалось найти ахроматического режима с хоть сколько-нибудь приемлемыми потерями. Если это требование снять, то акцептанс канала достигает  $19 \text{ л мм} \cdot \text{мрад}$  при потерях 4 %, что даже несколько больше, чем у канала в КАЕРИ (16л). Оказалось, что если добавить еще четыре квадруполя, а имеющиеся сдвинуть, акцептанс уже ахроматического канала будет таким же, как и у неахроматического исходного. Дальнейшие улучшения возможны за счет устранения сужений апертуры канала, но это требует значительной переделки вакуумной камеры.

## Выводы

1. На основе модели локально-холодного длинного сгустка разработан код для численного моделирования движения пучка с собственным зарядом в канале. В модели учитываются разброс сил собственного заряда вдоль сгустка и размеры апертур в канале. В конечном итоге оптимизируется акцептанс канала к пучку с заданным начальным током, размерами и наклонами.
2. С помощью этого кода успешно оптимизированы несколько электронных каналов. Процесс оптимизации достаточно быстр и занимает обычно меньшее время, чем ввод конфигурации канала.

## Список литературы

1. *Капчинский И. М.* Теория линейных резонансных ускорителей. М.: Энергоиздат, 1982.
2. *Crandall K. R., Ruthoi D. P.* TRACE 3-D Documentation, LA-UR-97-886, Los Alamos National Laboratory Report, May 1997.
3. *Young L., Billen J.* Los Alamos National Laboratory Technical Report No. LA-UR-96-1835, 1996.
4. *Borland. M.* Elegant: A Flexible SDDS-Compliant Code for Accelerator Simulation. Advanced Photon Source LS-287, September. 2000.
5. *Serafini L., Rosenzweig J.* Relativistic Quasilaminar Beams in RF Photoinjectors: A Theory of Emittance Compensation // Phys. Rev. 1997. Vol. E 55. P. 7565–7590.

6. Dormand J. R., Prince P. J. A Family of embedded Runge-Kutta Formulae // J. Comp. Appl. Math. 1980. Vol. 6. P. 977–989.

7. Хайпер Э., Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. М.: Мир, 1990.

8. Пшеничный Б. Н., Данилин Ю. М. Численные методы в экстремальных задачах. М.: Наука, 1975.

9. Lee B. C., Jeong Y. U., Park S. H. et al. High-power Infrared Free Electron Laser Driven by a 352 MHz Superconducting Accel-

erator with Energy Recovery // NIM. 2004. Vol. A 528. P. 106–109.

10. Miginsky S. V., Kulipanov G. N., Vinokurov N. A. A facility for a Few Views X-ray Tomography of Transient Processes // NIM. 2005. Vol. A 543. P. 166–169.

11. Miginsky S. V., Vinokurov N. A., Kayran D. A., et al. Status of the Novosibirsk High Power Terahertz FEL // APAC-2007, Indore, India, Jan. 29–Feb. 2. 2007. P. 360–362.

Материал поступил в редколлегию 10.12.2007

**S. V. Miginskij**

**An Acceptance Optimizer for High-Current Beamlines**

A novel approach to the problem of beamlines development for high-current electron beam is put forward. An electron bunch is considered as a set of independently moving uniformly charged emittanceless slices with different currents, energies, and initial conditions. This locally cold beam model is accurate enough for space charge dominated beams if the bunch length in the center-of-mass system is much bigger than its transverse size. The model permits effective numerical maximization of the acceptance of a beamline to a beam, which parameters are known only approximately, and reliable prediction of beam loss. A simulation code implemented this approach is described. Some examples of existing and designed beamlines are presented.

*Keywords:* space charge effect; locally cold beam model; beamline acceptance.