

Автоматическое оценивание работы линейного ускорителя

А.А.Боровиков, Г.Н.Хромова

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Общепринятых стандартных методов для оценивания работы линейного ускорителя протонов (ЛУ) нет. Очевидно [1], что высокую степень достоверности информации о качестве функционирования ЛУ и его систем можно получить, если процедуры оценивания будут работать в автоматическом режиме. Предлагаем формальные построения для решения следующих задач: определения выхода установки в режим стационарной работы, получения паспортных данных для различных режимов использования ЛУ и оценивания эффективности при работе на пользователя.

Паспортизация режимов работы ЛУ

Будем оценивать работу ЛУ по качеству конечного продукта, определив *конечный продукт работы установки как результат выполнения установкой своего функционального назначения* [2]. Если конечный продукт P описать множеством характеристик X , то $P = f(\{x_i\})$, $x_i \in X$, где $i = 1, \dots, l$, l — число характеристик P . Конечный продукт ЛУ — это пучок ускоренных протонов с определенными свойствами. В список включаем, например, следующие характеристики пучка: величину тока $I \equiv x_1$; массовый состав $A \equiv x_2$; фазовый объем $\varepsilon \equiv x_3$; энергию частиц $W \equiv x_4$. Тогда $P = f(I, A, \varepsilon, W)$. Знание характеристик конечного продукта необходимо для ответа на вопрос — соответствует ли пучок на выходе установки требованиям пользователя при решении его задач.

Паспортизация режима заключается в измерении и статистическом оценивании характеристик конечного продукта $\langle X \rangle = \{\langle x_i \rangle, \sigma_{x_i}\}$. Исследования поведения ЛУ показали [1,3], что динамический характер работы его систем вынуждает говорить о “квазистационарности” функционирования. Поэтому установим ряд условий выполнения паспортизации: 1) паспортизация проводится для каждого режима (положение рабочей точки в пространстве параметров систем установки), в котором предполагают ЛУ использовать; 2) измеряемые величины должны быть привязаны к одному моменту времени; 3) поскольку ЛУ после запуска и выведения в заданную рабочую точку функционирует как автоматический объект, то во время проведения измерений вмешательство оператора в работу элементов (подстройка) недопустимо; 4) длительность периода наблюдений выбирается такой, чтобы обеспечить достоверность статистических оценок характеристик конечного продукта; 5) фильтрация измеренных данных для улучшения показателей качества должна быть исключена.

В состав технических средств для измерения характеристик конечного продукта входят первичные преобразователи сигналов (датчики), вторичные преобразователи (измерительные каналы) и средства сбора и накопления данных (ЭВМ и программно-алгоритмическое обеспечение). Создание необходимых датчиков является вопросом особого внимания. Уровень развития электронной промышленности позволяет комплектовать измерительные системы в основном из стандартных модулей. Если необходимо учитывать конкретную специфику в измерении характеристик, то предусматриваются собственные разработки измерительных каналов. Выполнение паспортизации подразумевает наличие методик и программ для проведения калибровок датчиков и измерительных каналов, процедур измерения, сбора и хранения данных, моделей для обработки (преобразование к физическим величинам, вычисление статистических характеристик).

Процедура паспортизации позволяет установить для каждого возможного режима использования установки границы значений характеристик конечного продукта — множества $X_{нач}$ и $X_{кон}$. Эти границы служат эталонами при оценивании работы ЛУ на пользователя. Аналогичным способом можно паспортизовать режимы работы отдельных систем ЛУ.

Определение показателя эффективности использования

Функциональной особенностью ЛУ является то, что конечный продукт реально существует лишь в процессе работы установки. Поэтому контроль за характеристиками конечного продукта необходимо вести постоянно или с заданной периодичностью в зависимости от стабильности работы технических элементов. Каждый пользователь, исходя из специфики решаемой задачи, предъявляет свои требования к качеству конечного продукта: устанавливает множества допустимых значений X_{min} и X_{max} . Его интересует реальное время, в течение которого производится конечный продукт с необходимыми характеристиками. Если пользователь предъявляет более жесткие требования, чем указано в паспортных данных, т.е. $X_{нач} < X_{min}$ или $X_{кон} > X_{max}$, он хотел бы реально оценивать ту эффективность работы, которую установка обеспечивает при решении его задачи.

Применение традиционной оценки работы установки по показателю “наработка на отказ” дает различные значения для пользователя и для создателя. Кроме того, и оперативный персонал попадает в затруднительное положение, когда необходимо принимать решение при управлении установкой. Получить согласованную оценку ее работы можно только в том случае, если ввести три состояния установки, а не два (“работает – не работает”). Предлагаем оценивать состояние ЛУ по состоянию его конечного продукта. Модель состояний конечного продукта C_p представим следующим образом [2]: состояние с1 — пучок отсутствует; состояние с2 — пучок вырабатывается, но его качество не удовлетворяет требованиям пользователя; состояние с3 — характеристики пучка отвечают требованиям пользователя. Условия, отделяющие одно состояние от другого, зададим формальными правилами:

Реализация процедур автоматического оценивания работы ЛУ

В первую очередь, для выявления условий “квазистационарности” работы установки была введена обновляющаяся линейная модель [3], с помощью которой анализировалось поведение характеристик конечного продукта ЛУ во время включения и запуска. При цикличности измерений с периодом τ в заданном интервале наблюдений, равном m циклам ускорителя, значение измеряемого параметра Y оценивается следующим образом: $y(t_j) = y^o + b \times t_j$, где $t_j = j \times \tau$ — длительность интервала наблюдения ($j=0,1,\dots,m$); y^o — значение параметра для начала интервала наблюдения; b — тенденция изменения параметра на заданном интервале t_j . Фактическое значение параметра будет лежать в границах $d(t_j) = y(t_j) \pm k \times s$, где s — среднеквадратичная ошибка модели линейной аппроксимации для измеренных значений параметра; k — коэффициент, задающий доверительные границы.

На каждом следующем интервале наблюдений характеристики параметра обновляются. Предыстория для моментов $j < 0$ вкладывается в значение y^o . Значения $\{y_i^o, s_i\}$ указывают область текущего режима работы установки, а значения $\{b_i\}$ — тенденцию к изменению на данном интервале наблюдений. Они характеризуют скорости изменения параметров. Из практического опыта [1] установлена эталонная величина “скорости” изменения ($b_s < 0.01$), характеризующая режим “квазистационарности”. После выхода установки в “квазистационарный” режим работы можно проводить паспортизацию режима.

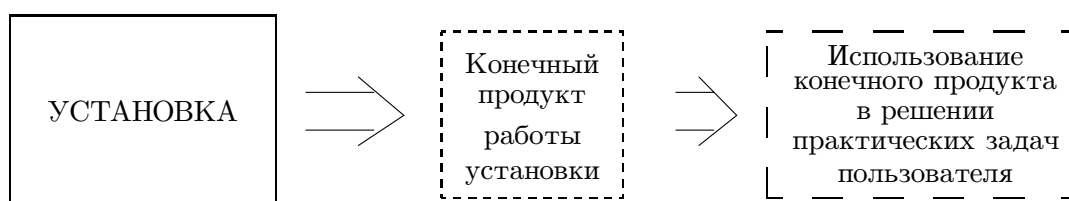
Текущий контроль работы ЛУ состоит из периодического измерения характеристик пучка в определенные моменты времени относительно начала цикла и их сравнения с эталонными значениями. Если прямые измерения невозможны в реальной работе, то привлекаются косвенные измерения (измерения технологических параметров систем ЛУ [5]).

Опираясь на предложенные модели и правила, построены процедуры автоматического определения момента выхода ЛУ в “квазистационарный” режим, паспортизации этого режима и автоматического оценивания эффективности работы в реальном времени (ЭВМ СМ-1420, ОС RSX-11M, FORTRAN 77). Выполнение процедур проверено на архивных данных со стенда НЧУ-0.7 (энергия 0,7 МэВ) и в реальной работе с установкой НЧУ-2М (энергия 2 МэВ) на стенде испытаний ЛУСИ. Процедуры унифицированы относительно характеристик, включаемых в список анализа, который формируется при запуске. Поэтому с их помощью можно паспортизовать и контролировать качество работы как установки в целом, так и отдельной ее системы.

Список литературы

- [1] Баков С.М. и др. — Препринт ИФВЭ 89-197, Серпухов, 1989.
- [2] Боровиков А.А., Хромова Г.Н. — Препринт ИФВЭ 96-33, Протвино, 1996.
- [3] Боровиков А.А., Хромова Г.Н. ПТЭ, 1993, № 4. С.72-79.
- [4] Боровиков А.А., Хромова Г.Н. Приборы и системы управления, 1995, № 7. С.27-31.
- [5] Баков С.М. и др. — Препринт ИФВЭ 94-39, Протвино, 1994.

а)



б)

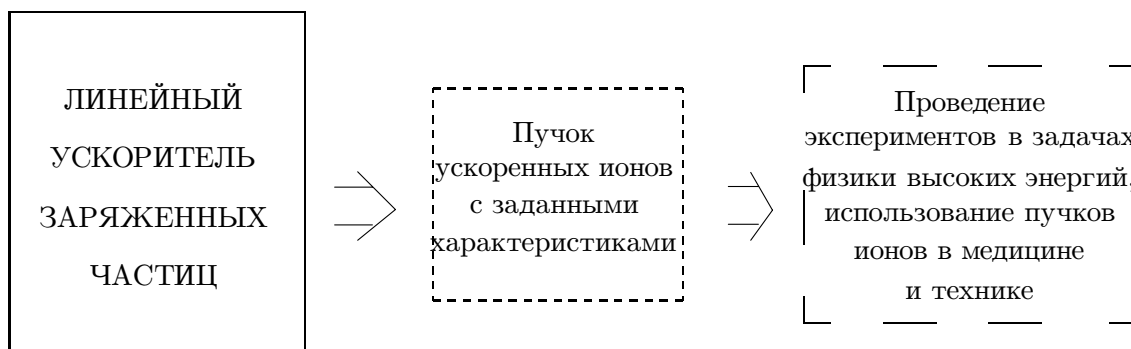


Рис. 1: Схема использования установки: а) общий случай; б) для линейного ускорителя заряженных частиц.

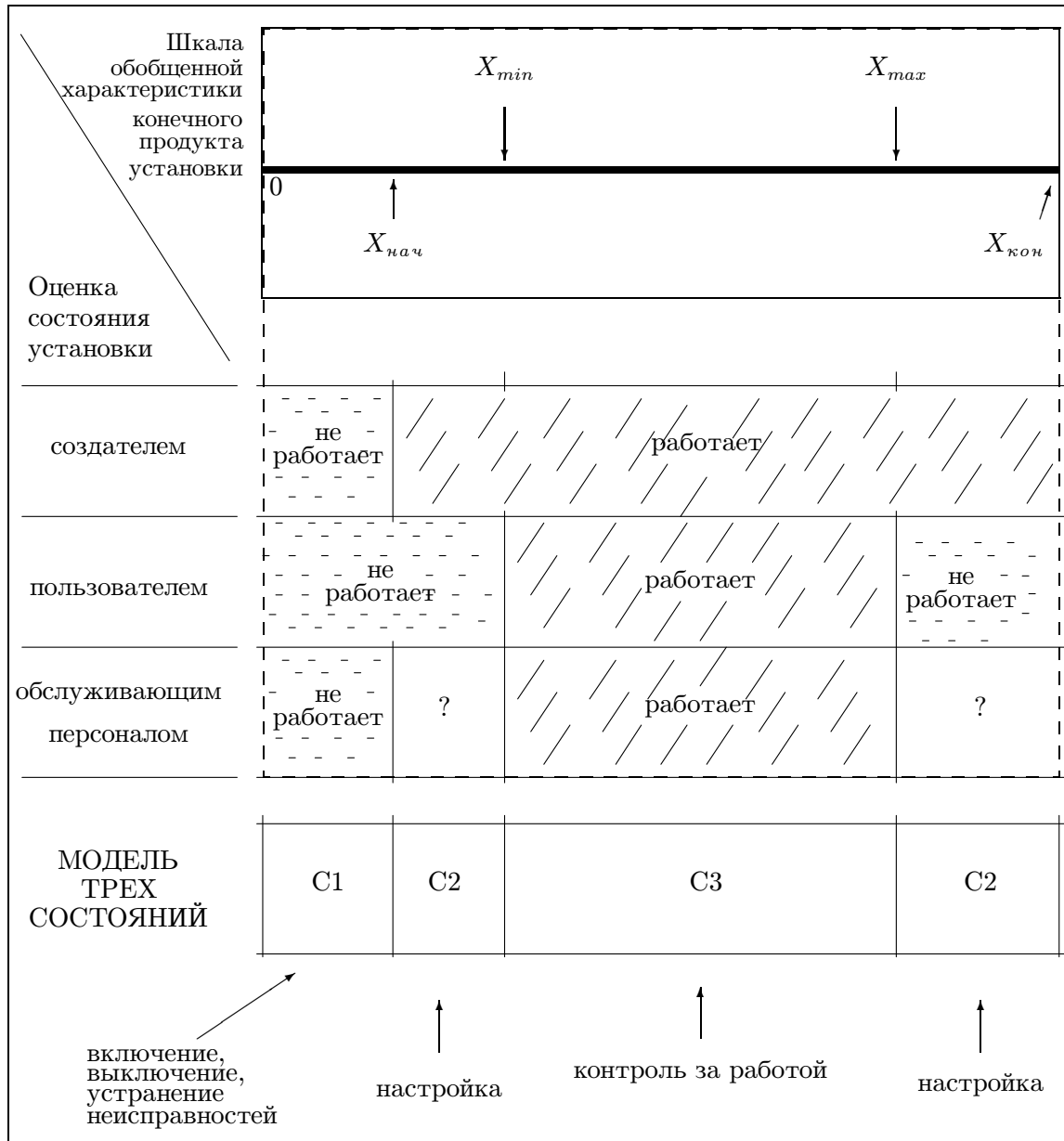


Рис. 2: Три точки зрения на работу установки: создателя ($X_{нач}, X_{кон}$); пользователя (X_{min}, X_{max}); обслуживающего персонала, принимающего решения при управлении установкой.