

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НА АВМ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ
 γ -ИЗЛУЧЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНОГО БЕТАТРОНА НА 25 МЭВ С
ВНЕШНЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИНЖЕКЦИЕЙ ОТ ОСНОВНЫХ
ЕГО ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

М. С. АЛЕИНИКОВ, В. А. КОЧЕГУРОВ

(Представлена научным семинаром НИИЯФЭА)

Опыт эксплуатации бетатрона показал, что его выходной параметр — интенсивность γ -излучения в процессе работы не остается постоянным, а колеблется в пределах до 50%. Эти колебания носят случайный характер и определяются колебаниями входных регулируемых параметров (фазы и напряжения инжекции, напряжения электромагнита и т. д.) и внешними неконтролируемыми помехами. Для увеличения средней интенсивности γ -излучения бетатрона в процессе эксплуатации возникает задача непрерывного подбора и поддержания таких значений входных параметров, при которых обеспечивается максимальная интенсивность тормозного γ -излучения. Для этой цели в работах [1, 2, 3, 4, 5] предлагается применить автоматические регуляторы экстремального типа. Однако в этих работах не проводились детальные исследования бетатрона как объектов регулирования и строились регуляторы без учета стохастической зависимости между различными параметрами бетатрона. Это, на наш взгляд, не давало возможности повысить качество работы экстремальных систем путем улучшения их структуры.

Известно, что в большинстве случаев синтез регуляторов, обеспечивающих поиск и поддержание максимума выходной величины при колебаниях входных параметров и наличии некоторых помех, требует знания математической зависимости выходного параметра от входных.

В этом плане для бетатрона в настоящее время не имеется еще единой теории, которая давала бы количественную оценку зависимости интенсивности γ -излучения от основных входных параметров.

В связи с этим синтез регуляторов бетатрона наиболее целесообразно проводить с помощью адекватных математических моделей, построенных на основании качественного анализа некоторых зависимостей с последующей корректировкой по экспериментальным исследованиям. Поскольку входные регулирующие параметры бетатрона со временем не остаются постоянными, а подвергаются непрерывным изменениям, то настройка регуляторов на адекватной математической модели бетатрона должна проводиться в условиях непрерывных отклонений входных параметров. Эти отклонения носят чисто случайный характер и их свойства могут быть изучены с привлечением статистических методов.

Нами проведен пассивный эксперимент на сильноточном бетатроне с внешней высоковольтной инжекцией с целью получения статистических данных.

Применением метода Д. Д. Брандона [6] получено уравнение множественной регрессии, описывающее зависимость интенсивности торозного γ -излучения бетатрона от фазы инжекции, напряжений инжекции, инфлексии и на обмотке электромагнита.

Уравнение имеет вид:

$$y = 11,021(1,047 - 0,052 \Delta x_1 - 0,746 \Delta x_1^2)(1,029 + 0,119 \Delta x_2 - 0,032 \Delta x_2^2) \frac{1}{1,055 + 0,162 \Delta x_3} (1,027 - 0,021 \Delta x_4 - 0,025 \Delta x_4^2), \quad (1)$$

где y — интенсивность γ -излучения бетатрона, $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4$ — соответственно отклонения фазы инжекции, напряжений на обмотке электромагнита, инфлексии и инжекции от их средних значений.

Адекватность уравнения (1) проверялась путем вычисления отношения [6]:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \frac{y_u}{y f_1(x_{1u}) f_2(x_{2u}) \cdots f_k(x_{ku})} = 0,995, \quad (2)$$

где y_u — наблюдаемое значение интенсивности γ -излучения бетатрона, $y f_1(x_{1u}) f_2(x_{2u}) \cdots f_k(x_{ku})$ есть уравнение (1).

Качество избранной аппроксимации можно считать удовлетворительным, поскольку $K = 0,995$ незначительно отличается от 1.

На основании уравнения (1) нами построена на блоках моделирующей машины МНБ-1 модель зависимости интенсивности γ -излучения бетатрона от фазы инжекции, напряжений на обмотке электромагнита, инфлексии и инжекции (рис. 1).

Поскольку входные параметры бетатрона непрерывно меняются, то для моделирования последних необходимо знать их спектральные плотности. Расчет спектральных плотностей производился по методике, изложенной в [7]. На рис. 2 приводятся спектральные плотности колебаний фазы инжекции (кривая 1), напряжения на обмотке электромагнита (кривая 2), напряжения инфлектора (кривая 3), напряжения инжектора (кривая 4).

Известно [6], что если на вход фильтра, имеющего передаточную функцию $Y(\omega)$, подать «белый» шум, то на выходе этого фильтра можно получить сигнал с необходимой спектральной плотностью:

$$S(\omega) = |\gamma(\omega)|^2. \quad (3)$$

Анализ спектральных плотностей колебаний входных параметров исследуемого бетатрона показал, что передаточную функцию фильтра на модели можно представить в виде:

$$|\gamma(\omega)| = \frac{K}{\sqrt{(1 - T_1 T_2 \omega^2)^2 + [\omega(T_1 + T_2)]^2}}. \quad (4)$$

С учетом выражения (3) получим

$$T_1^2 (T_2^2 \omega^4 + \omega^2) + T_2^2 \omega^2 + 1 - \frac{S(0)}{S(\omega)} = 0, \quad (5)$$

где $S(0) = K^2$.

Используя выражение (5) и зная спектральные плотности колебаний входных переменных, можно путем последовательного приближения рассчитать параметры фильтра.

На рис. 2 (кривые 1⁰, 2⁰, 3⁰, 4⁰) приведены вычисленные спектральные плотности на выходе фильтров модели.

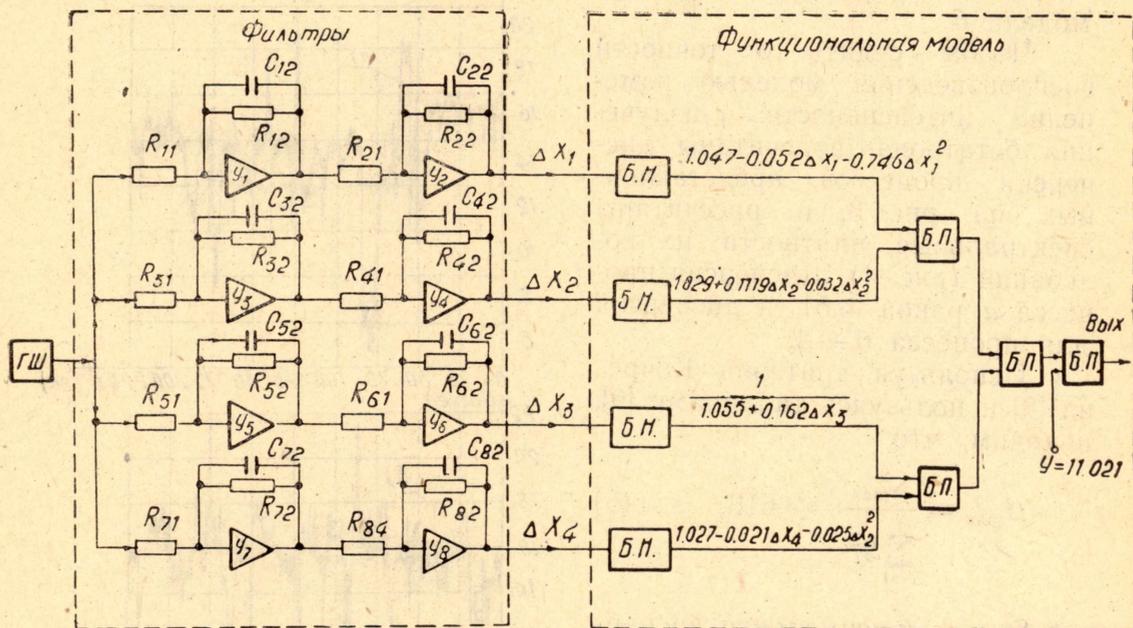


Рис. 1. Блок-схема модели. Условные обозначения: ГШ — генератор шума, U_{1-8} — усилители, БП — блок произведения, БН — блок нелинейностей

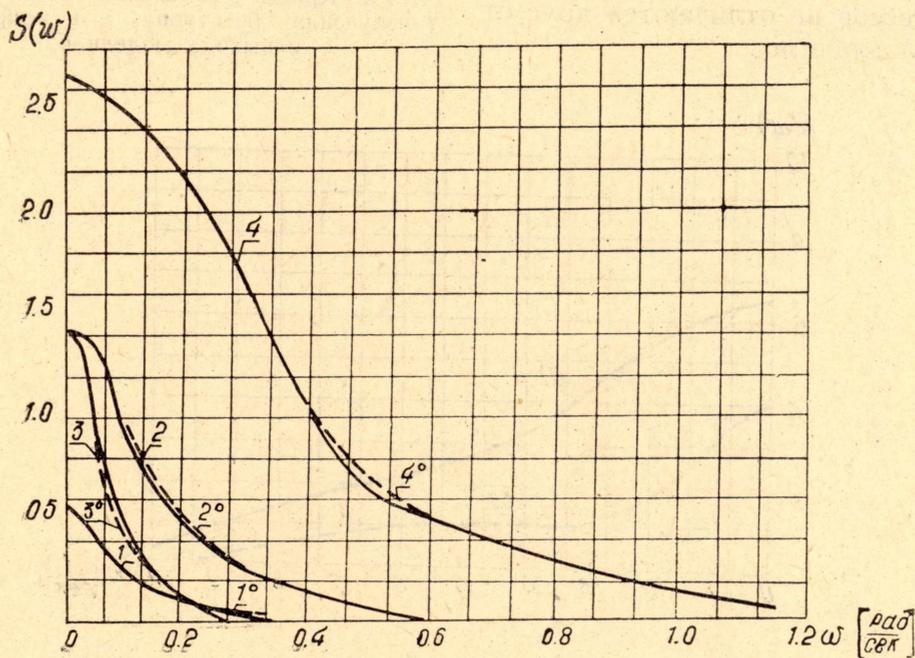


Рис. 2. Спектральные плотности

В качестве источника «белого» шума использован генератор шума, собранный по схеме, описанной в [5].

На рис. 3 для сравнения приведены кривые изменения во времени интенсивности γ -излучения бетатрона и напряжения с выхода модели б.

Чтобы судить о точности воспроизведения моделью изменений интенсивности γ -излучения бетатрона, подсчитаны дисперсии процессов, представленных на рис. 3, и рассчитаны спектральные плотности их колебаний (рис. 4). Дисперсия процесса *a* равна 6,51 и дисперсия для процесса *б* — 4.

Используя критерий Кочрена [8] и пользуясь таблицами [9], находим, что

$$G_{\max} = \frac{S_{\max}^2}{N \sum_{i=1}^N S_i^2} = 0,616, \quad (6)$$

где S_{\max}^2 — максимальная дисперсия среди дисперсий $S_1^2, S_2^2, \dots, S_N^2$, меньше табличного, равного 0,621 при 5%-ном уровне значимости. Следовательно, дисперсии приведенных на рис. 3 процессов не отличаются друг от друга значимо.

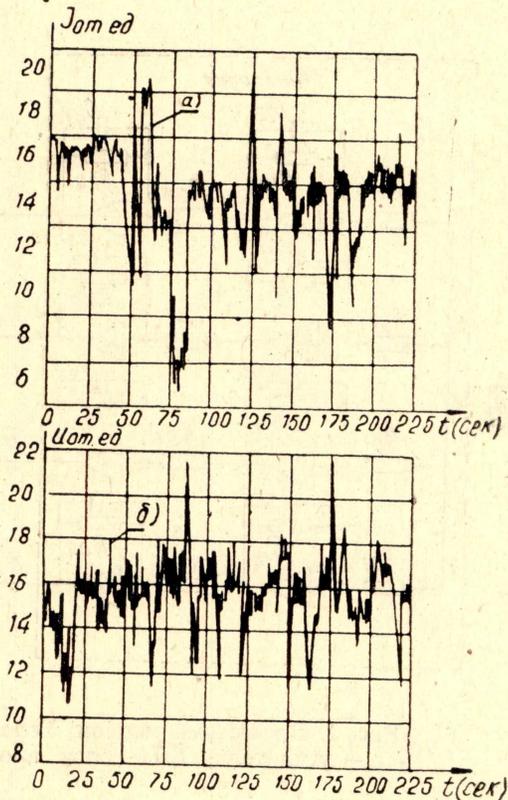


Рис. 3. Кривые изменения интенсивности γ -излучения бетатрона *a* и напряжения с выхода модели *б*

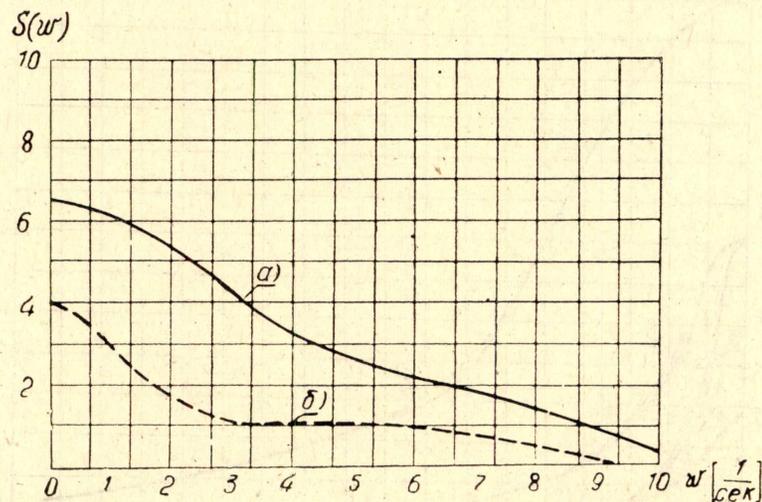


Рис. 4. Спектральные плотности колебаний интенсивности γ -излучения бетатрона *a* и напряжения с выхода модели *б*

Таким образом, модель обеспечивает воспроизведение реального процесса.

Приведенная на рис. 1 модель используется для отработки регуляторов экстремального типа и системы стабилизации интенсивности γ -излучения бетатрона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Белов, В. М. Разин. Известия вузов. Приборостроение, № 2, стр. 52, 1959.
2. А. П. Комар, С. Ф. Михалев, Н. Н. Чернов. ЖТФ, № 31, вып. 1, стр. 109, 1961.
3. Н. Н. Баламатов, Б. Н. Горячев. ЖТФ, № 35, вып. 6, стр. 1091, 1965.
4. Е. М. Белов, Н. Я. Макаров, И. Э. Наац. Известия ТПИ, т. 138, стр. 66—70, 1965.
5. Н. Я. Макаров. Диссертация, 1966.
6. В. М. Ордынцев. Математическое описание объектов автоматизации. Машиностроение, 1965.
7. П. И. Чинаев. Анализ и синтез самонастраивающихся систем. Киев, 1960.
8. Э. И. Гойзман, И. Е. Григорьева. Элементы регрессионного анализа. Москва, 1966.
9. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. «Наука», 1965.