

38

42

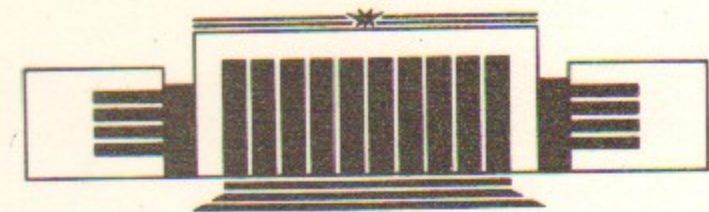


The State Scientific Center of Russia
The Budker Institute of Nuclear Physics
SB RAS

П.К. Лебедев, В.В. Пархомчук,
И.Я. Протопопов, В.Д. Шильцев

ВИБРАЦИИ МАГНИТОВ И ПУЧКА ВЭПП-4

ИЯФ 95-65



НОВОСИБИРСК

Вибрации магнитов и пучка ВЭПП-4

П.К. Лебедев, В.В. Пархомчук,
И.Я. Протопопов, В.Д. Шильцев

ГНЦ РФ "Институт ядерной физики
им.Г.И.Будкера СО РАН",
630090, Новосибирск, Russia

Аннотация

После модернизации установки ВЭПП-4, состоявшей в установке новых элементов детектора КЕДР и фокусирующих дублетов финального фокуса, значительно усилилось влияние вибраций машинных генераторов питания накопителя ВЭПП-2 и плазменных установок на пучок накопителя ВЭПП-4. Наиболее сильные колебания пучка с частотой примерно 6 Гц были видны по вертикали, хотя уже первые измерения вибраций линз накопителя показывали, что они колеблются в основном по горизонтали. Проведенные измерения уровней вибраций пола, магнитных элементов накопителя ВЭПП-4 и детектора КЕДР позволили выявить основную причину эффекта и предложить меры по его уменьшению.

©ГНЦ РФ "Институт ядерной физики им.Г.И.Будкера СО РАН"

1 Введение

Колебания пучка в накопителе ВЭПП-4 мешают проведению работ по определению его параметров, нужных для получения высокой светимости накопителя, а также экспериментов, для которых стабильность положения пучка является критичной (РОКК-М).

Механические вибрации элементов накопителя вызывают колебания пучка заметно более сильные, чем пульсации токов в системах питания. Учет их влияния при конструировании и эксплуатации установок становится необходимым.

Основными источниками вибраций на частоте около 6 Гц на территории Института являются машинные генераторы питания установки АМБАЛ (ГП-9500), расположенные в здании ДОЛ и генераторы накопителя ВЭПП-2 (ГП -5000), расположенные в здании 3. На частоте в районе 2 Гц периодически включаются на короткое время (2 – 3 часа) компрессоры высокого давления в здании ИТПМ, расположенные вблизи накопителя ВЭПП-4. Однако влияние последнего источника на колебания пучка в накопителе слабое.

В работе приведены результаты измерений уровней вибраций в районе расположения элементов финального фокуса накопителя ВЭПП-4, которые позволяют прояснить причину столь сильного влияния их вибраций на колебания пучка и предложить меры по уменьшению эффекта.

2 Измерение амплитуд колебаний элементов финального фокуса

Измерительная установка включала в себя сейсмометры типа СМ-3КВ, позволяющие детектировать вибрации в диапазоне частот от 0.1 до 100 Гц, КАМАК-крейт с блоками электроники для усиления, фильтрации, оцифровки и запоминания сигналов сейсмодатчиков, и ЭВМ типа IBM PC для накопления и обработки полученной информации [1]. В качестве датчика положения пучка по вертикали и по радиусу использовался сигнал с пикапа SRP3.

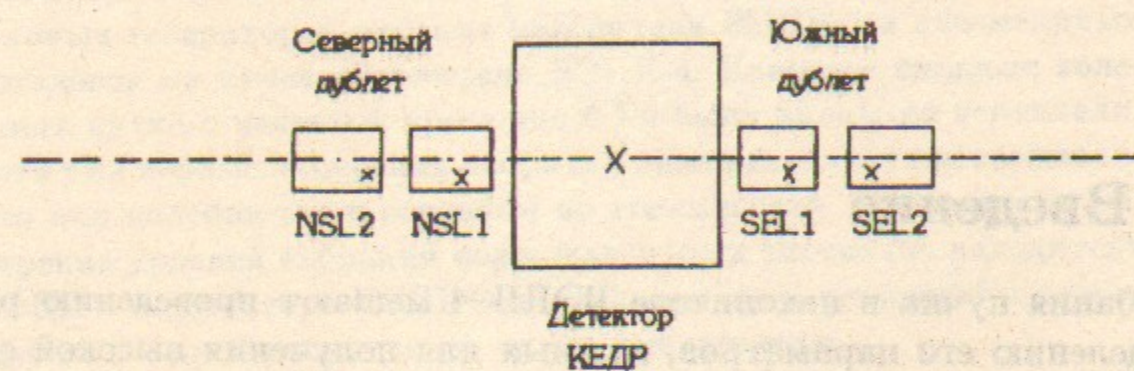


Рис. 1. Схема расположения элементов финального фокуса ВЭПП-4. Крестиками показано расположение сейсмометров при измерениях.

На рис.1 приведено расположение магнитных элементов экспериментального прямого промежутка накопителя ВЭПП-4 с указанием положения сейсмометров при измерениях. При измерениях уровня вибраций на других элементах сейсмометры могли перемещаться.

На рис.2 показаны спектры мощности радиальных колебаний пола здания 13 рядом с магнитными линзами, железа детектора КЕДР, квадрупольной линзы SEL1 и дипольного магнита в условиях с выключенным и включенным генератором ГП-9500. Видно, что генератор возбуждает на частоте 6.2 Гц узкий монохроматический пик в спектре вибраций, который из-за наличия явного резонанса на КЕДРе и на квадрупольной линзе заметно усиливается по сравнению с колебаниями пола.

Усиление колебаний линзы по отношению к полу связано с механическим соединением ее с КЕДРом и наличием резонанса в их системе при 6.2 Гц. Колебания от пола усиливаются на КЕДРе примерно в 10 раз и на линзе по отношению к КЕДРу еще в 3–4 раза. В результате, при работе ГП-9500, линза колеблется в 30–40 раз сильнее пола. На других частотах, как показано на рис.3, усиление колебаний линзы по отношению к земле может достигать 200.

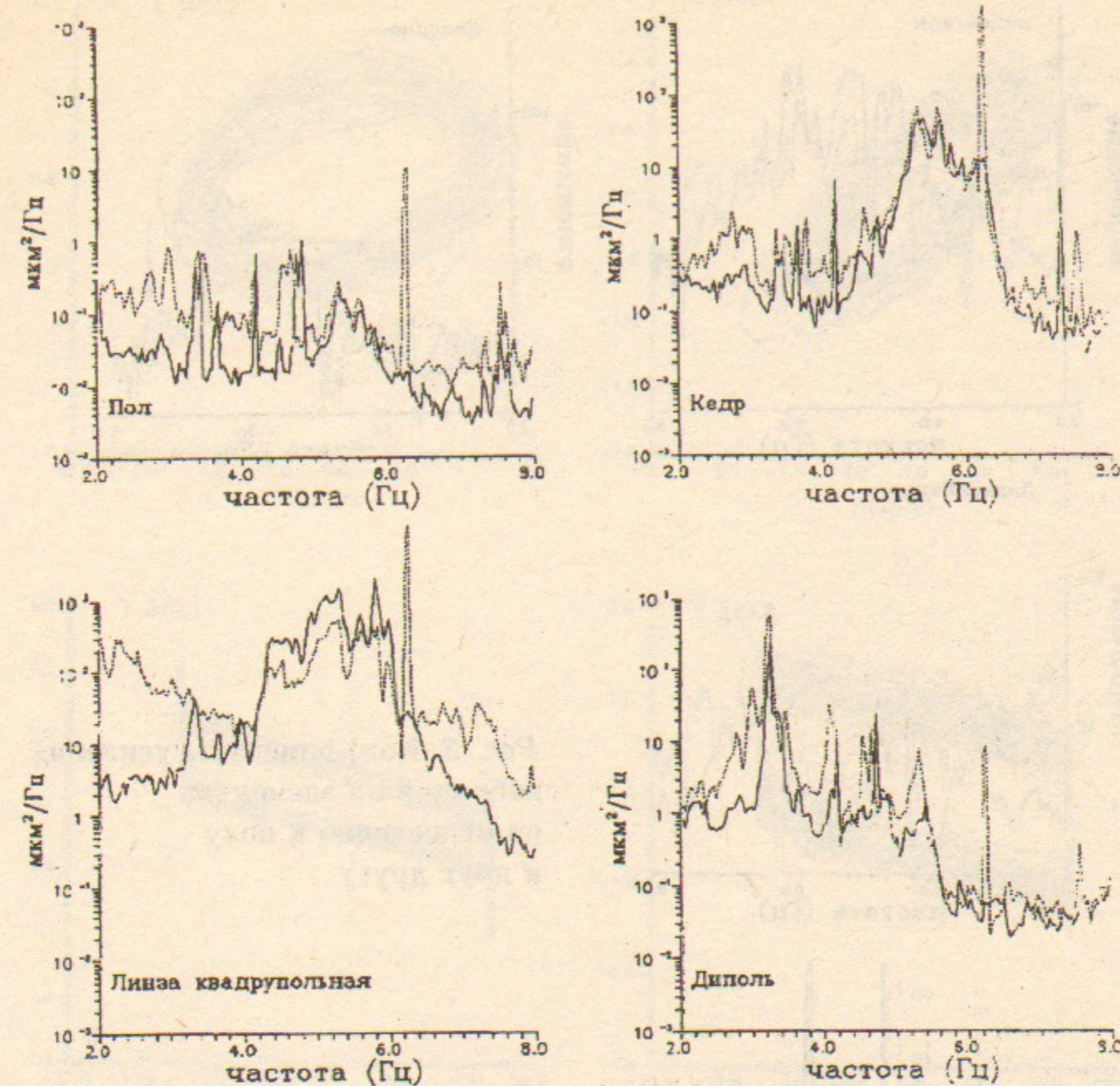


Рис. 2. Спектры мощности вибраций на полу зд.13, железе детектора КЕДР, линзе SEL1 и дипольном магните. Сплошная линия — генератор ГП-9500 выключен, штриховая — включен.

На рис. 4 сравниваются спектры вертикальных и горизонтальных колебаний линзы южного дублета (SEL1 и SEL2) при включенном ГП-9500. Видно, что на частоте 6.25 Гц вертикальные колебания в несколько раз меньше горизонтальных.

На рис.5 показаны сигналы горизонтальных (ось x) и вертикальных (ось y) сейсмодатчиков, установленных на всех четырех линзах финального фокуса, при возбуждении горизонтальных колебаний южного дублета линз электромагнитным вибратором (подробнее см. ниже) на

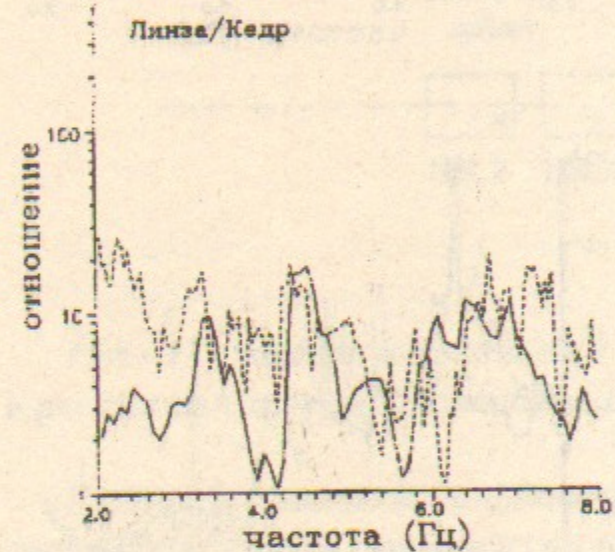
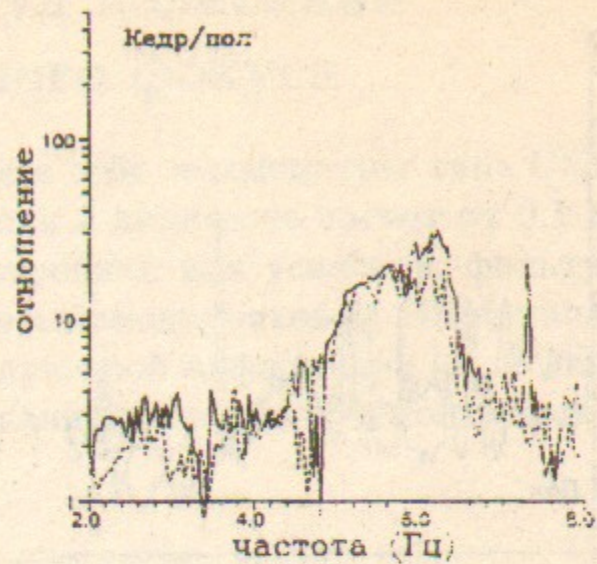
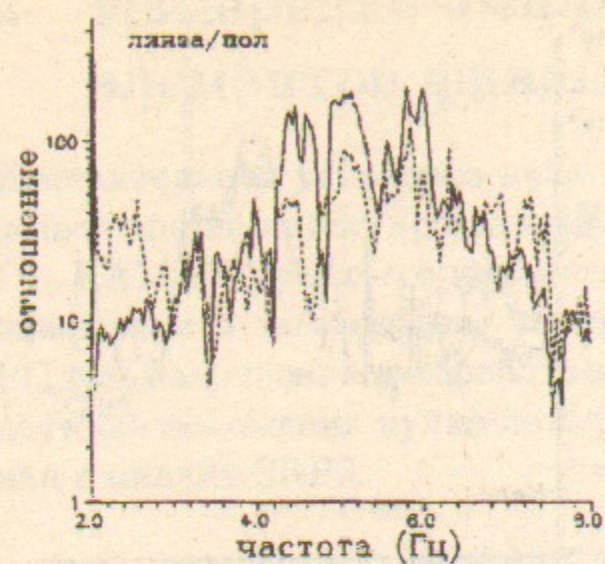


Рис. 3. Коэффициенты усиления вибраций на элементах по отношению к полу и друг другу.

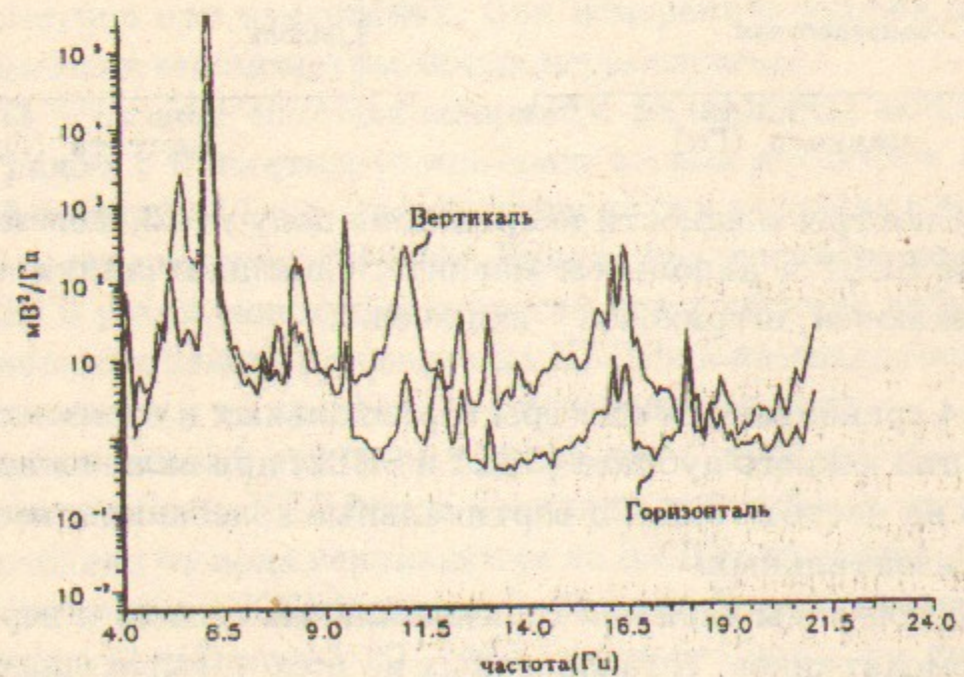


Рис. 4. Спектры мощности колебаний линзы SEL1 по вертикали и горизонтали.

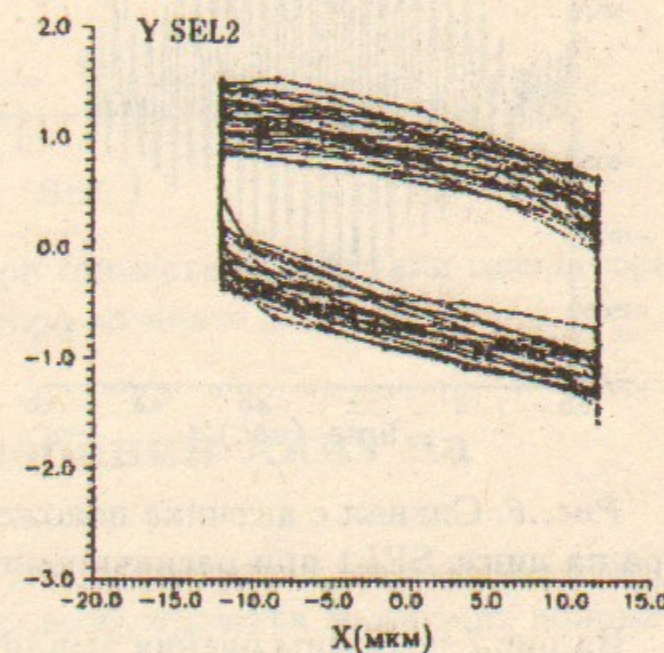
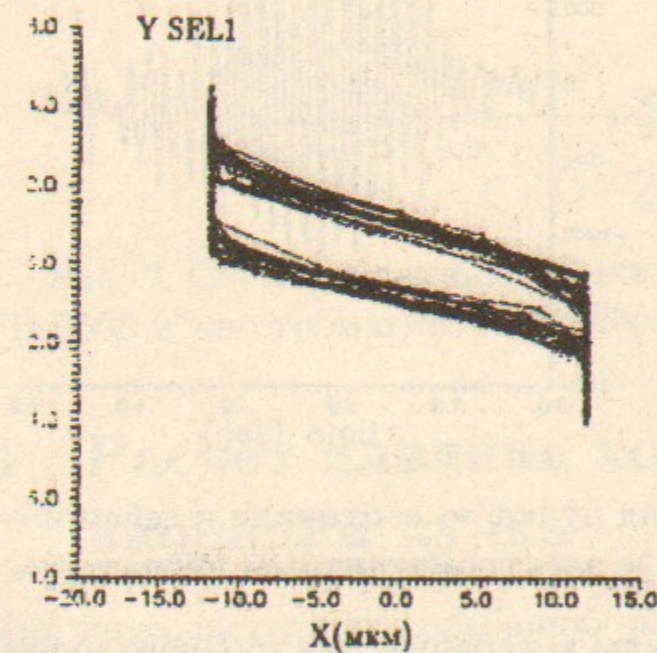
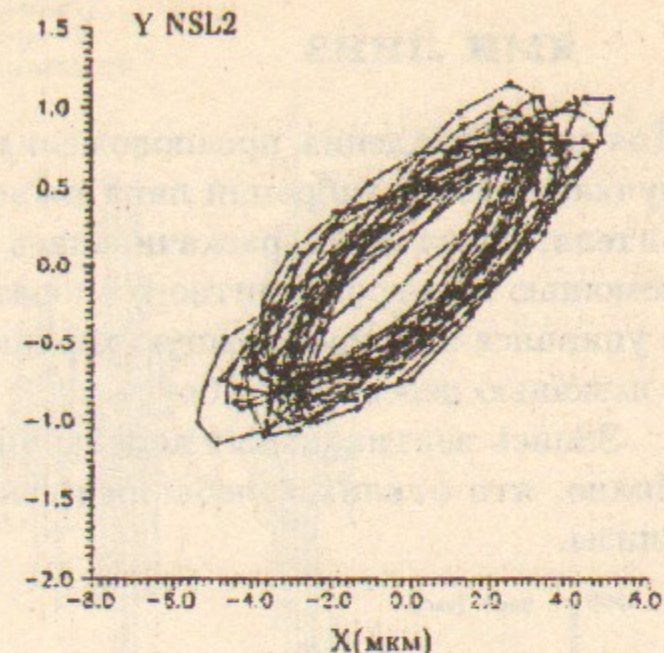
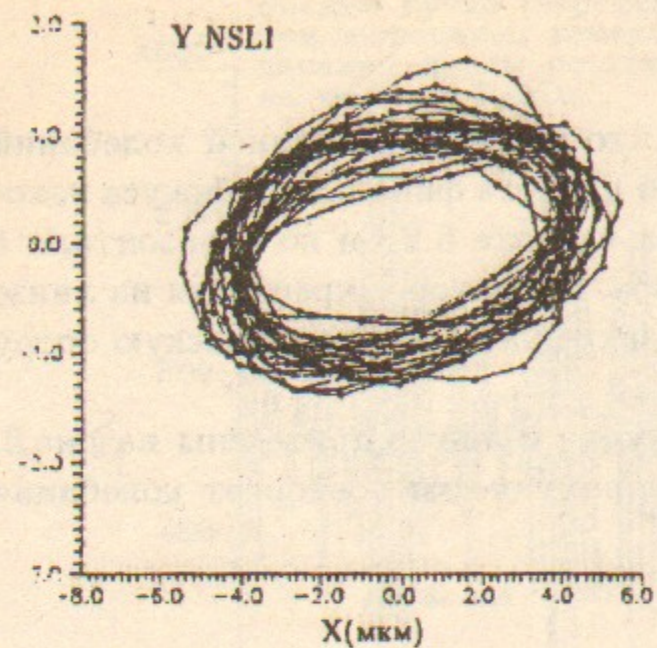


Рис. 5. Движение линз ВЭПП-4 в плоскости, перпендикулярной пучку под действием вибратора.

частоте 6.2 Гц. Измерения проводились при не работающих генераторах ГП. Из рисунка видно существование взаимосвязи радиальных и вертикальных колебаний на этой моде. Ограниченность сигналов по горизонтали связана с пределами АЦП ± 2 В. Амплитуда вертикальных колебаний более, чем в 5 раз меньше амплитуды горизонтального движения.

3 Возбуждение колебаний пучка колебаниями линз

Для подтверждения предположения, что основной причиной колебаний пучка является вибрация линз южного дублета финального фокуса накопителя, линза SEL1 раскачивалась на частоте 6.2 Гц по горизонтали с помощью электромагнитного вибратора. Вибратор закреплялся на линзе и упирался в рядом стоящую хорошо закрепленную металлическую опору с помощью деревянного бруса.

Запись вертикальных колебаний пучка и линзы приведены на рис.6. Видно, что отклик колебаний пучка практически повторяет колебания линзы.

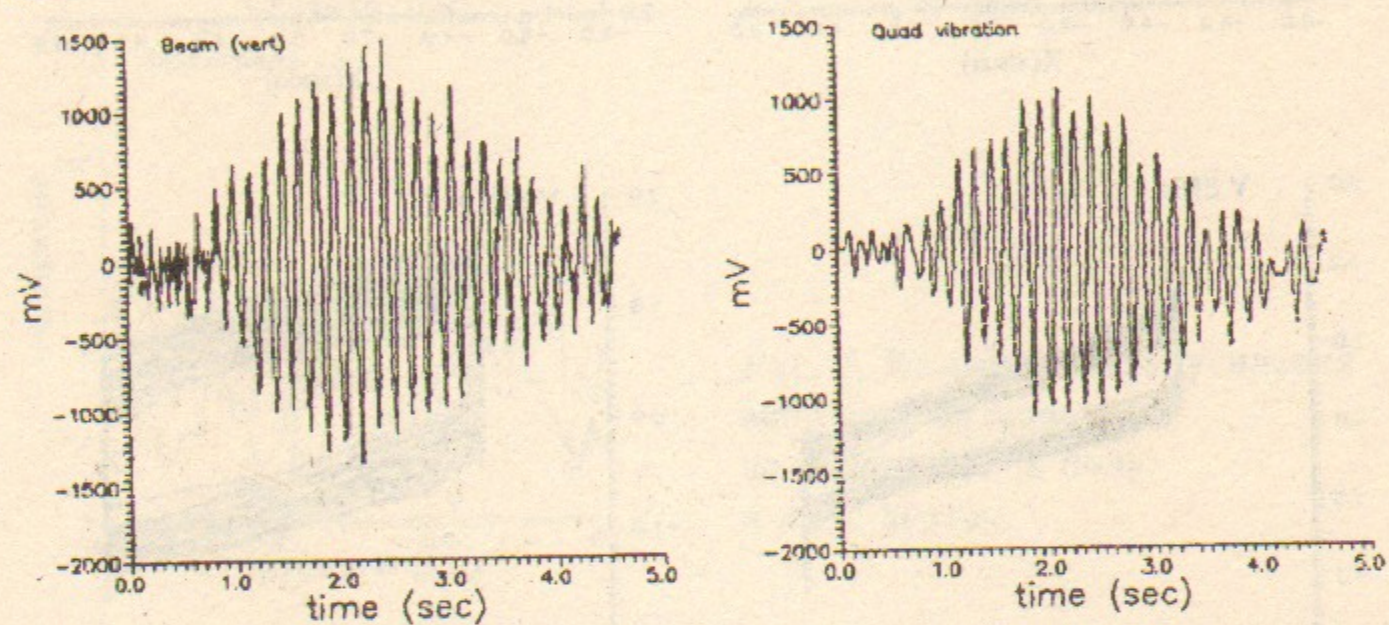


Рис. 6. Сигнал с датчика положения пучка по вертикали и сейсмометра на линзе SEL1 при раскачивании ее электромагнитным вибратором.

На рис.7 показаны биения амплитуды колебаний электронного пучка при совместном воздействии вибратора на частоте 6.25 Гц и включенном генераторе. Амплитуда колебаний вибратора выбиралась такой, чтобы возбудить колебания линзы с амплитудой, равной возбуждаемой генератором. При этом на телемониторе наблюдались биения колебаний пучка — моменты, когда он полностью переставал колебаться, чередовались моментами удвоенной амплитуды колебаний. В моменты, когда пучок на телемониторе переставал колебаться, датчик положения пучка показывал уменьшение амплитуды колебаний примерно в 3 — 4 раза.

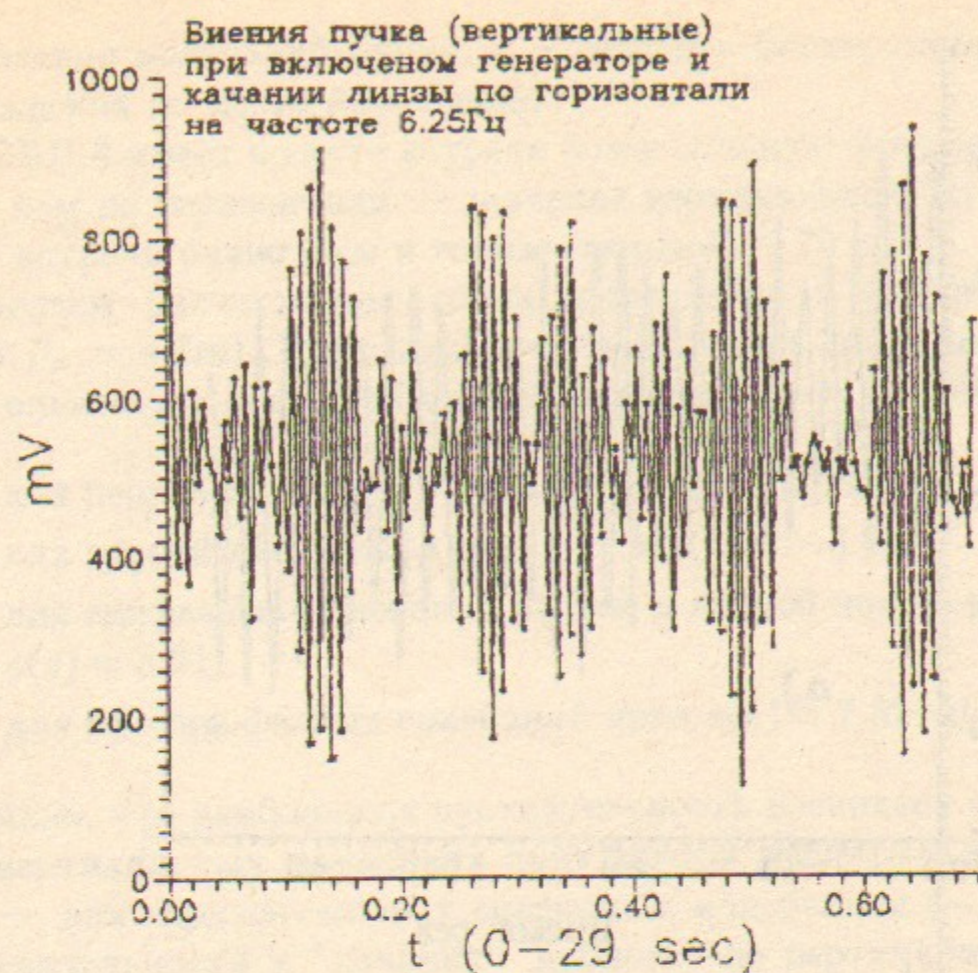


Рис. 7. Сигнал с датчика пучка при совместном действии генератора ГП-9500 и электромагнитного вибратора на линзе SEL1.

4 Расчет влияния колебаний линз на вибрации пучка

При низкочастотных колебаниях линз возбуждаются колебания положения замкнутой орбиты пучков. При пролете смещенной линзы возникает поперечный удар, равный $\Delta\theta = \delta/F$, где δ — смещение линзы, F — фокусное расстояние. С учетом условий замыкания орбиты можно записать смещение пучка в виде:

$$\Delta X = \int_0^L \frac{\sqrt{\beta(s)\beta_p} \cos(\phi - \pi\nu) \delta ds}{2 \sin(\pi\nu) F L}, \quad (1)$$

где L — длина линзы, ν — частота бетатронных колебаний, $\beta(s)$ — значение бета функции в квадруполе β_p — значение бета функции в месте

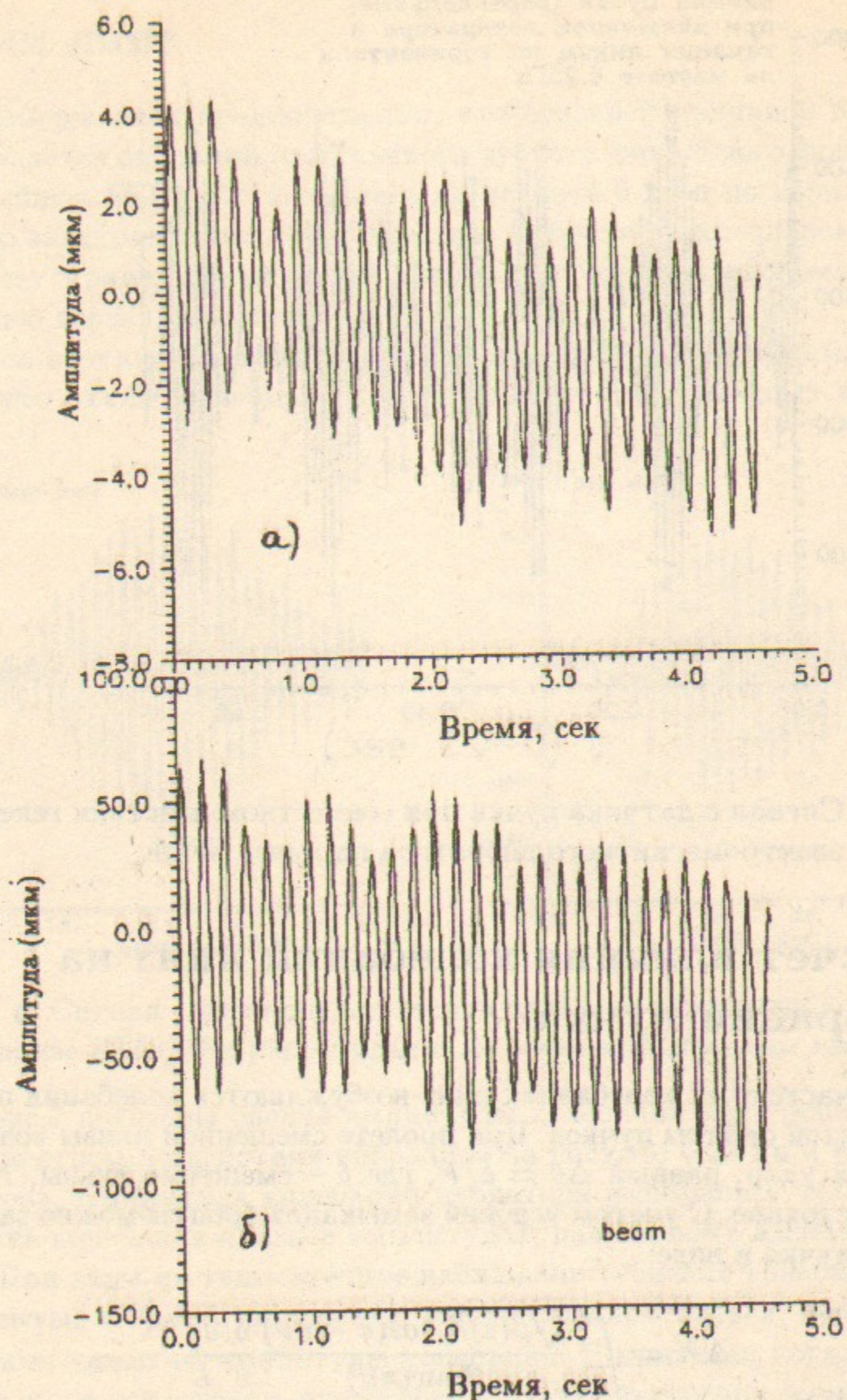


Рис. 8. Сравнение колебаний пучка с расчетом на основе измеренных спектров колебаний линз ВЭПП-4.

наблюдения колебаний пучка, ϕ — разность бетатронных фаз от точки возбуждения до места наблюдения.

ВЭПП-4 имеет в месте встречи более сильную фокусировку по вертикали, чем по горизонтали — значение вертикальной бета — функции в месте встречи равно 5 см и горизонтальной — 70 см.

Сделаем расчеты для точки наблюдения в пикапе SRP3 ($\beta_z = 13.1m, \beta_x = 4.7m$). Вычисляя интегралы вдоль линз, мы получим чувствительность к смещениям отдельной линзы $a = \Delta X/\delta$ в виде:

- для первой линзы $a_1(x) = 3.05$ $a_1(z) = 12.044$;
- для второй линзы $a_2(x) = -4.77$ $a_2(z) = -3.83$;
- для синфазных колебаний первой и второй линзы $a(x) = -1.71$ $a(z) = 8.21$;
- для противофазных колебаний линз $a(x) = 7.82$ $a(z) = 15.87$.

Видно, что наибольшая чувствительность возникает при противофазных вертикальных смещениях линз внутри дублета (15.87), а наименьшая — для горизонтальных синфазных колебаниях (-1.7). В большой чувствительности к "качанию" дублетов по вертикали по-видимому и заключается причина того, что вертикальные колебания пучка более заметны, чем радиальные.

На рис.8 приведено сравнение вертикальных колебаний одной из линз южного дублета при работе ГП-9500 (а) с расчетом в месте расположения пикапа Srp3(б). Расчет выполнялся по измеренным перемещениям трех линз двух дублетов. Видно, что колебания пучка примерно в 20 раз больше колебаний линзы (140 мкм против 7 мкм "peak-to-peak"), что соответствует коэффициенту увеличения при противофазном движении линз по вертикали в дублете.

5 Меры по уменьшению колебаний пучка

Был проведен эксперимент, когда линзы отсоединялись от КЕДРа. На рис.9 показано, как уменьшался пик 6.25 Гц в спектре горизонтальных колебаний линзы относительно начальной ситуации, при отпуске болтов крепления рельсов, и при механическом отрыве рельсов от КЕДРа. При этом амплитуда колебаний самого КЕДРа практически не менялась. Амплитуда вынужденных колебаний на 6.25 Гц уменьшилась в 7 раз. На рис.10 показаны временные записи горизонтальных колебаний линзы до

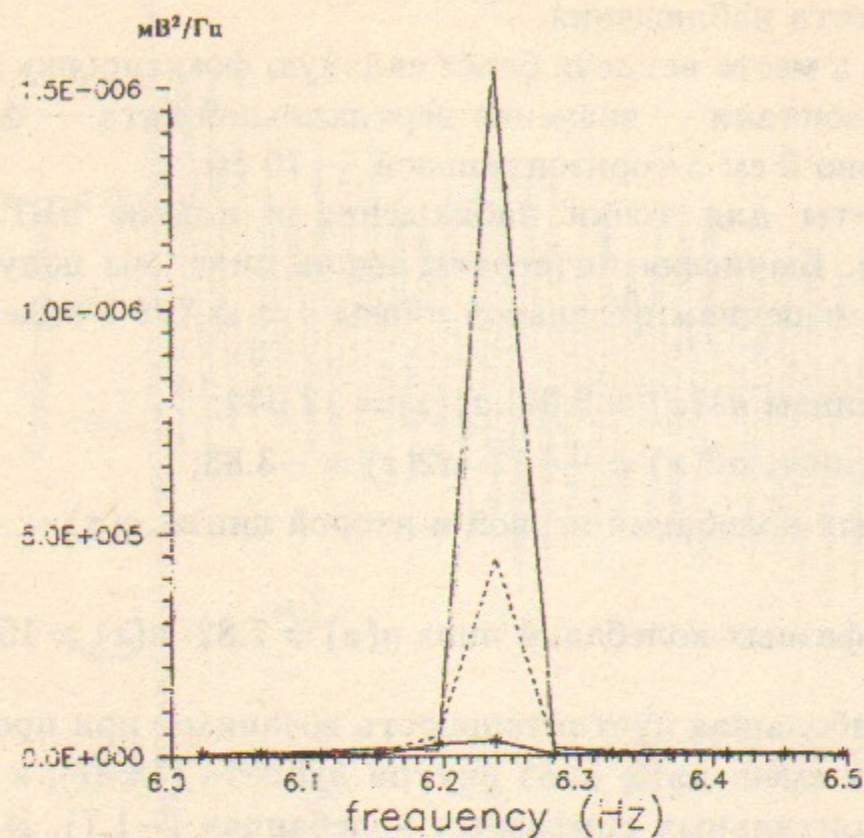


Рис. 9. Спектр мощности колебаний линзы SEL1 под действием генератора ГП-9500 при наличии механической связи с детектором КЕДР (сплошная кривая), при ослаблении болтов в месте крепления связи (штриховая линия) и при полном отсоединении линзы от КЕДРа.

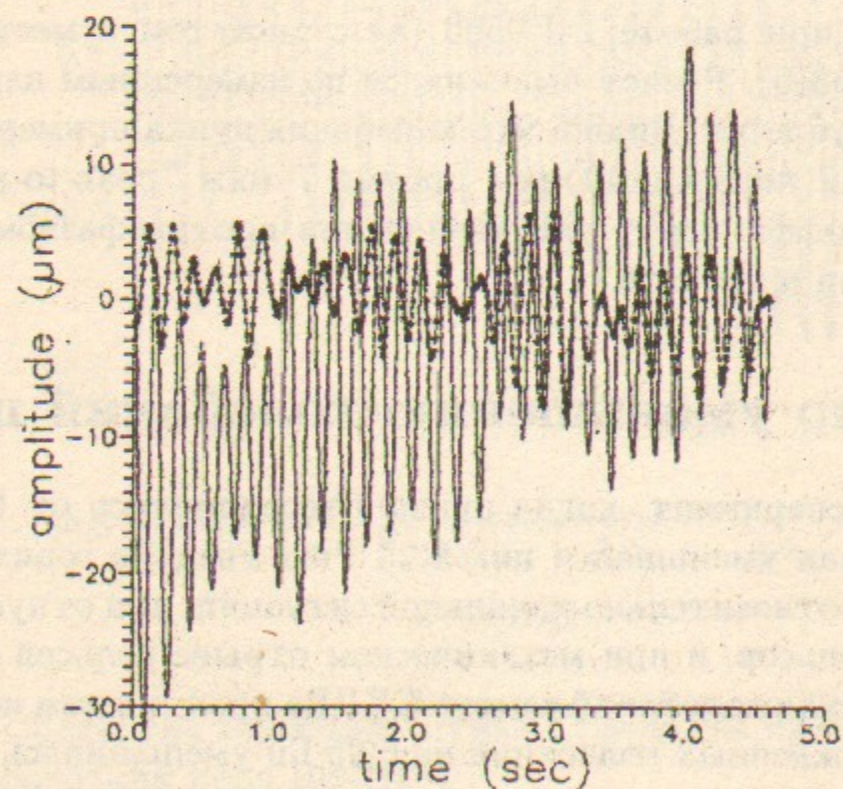


Рис. 10. Временная запись колебаний линзы по горизонтали до и после отсоединения ее от КЕДРа.

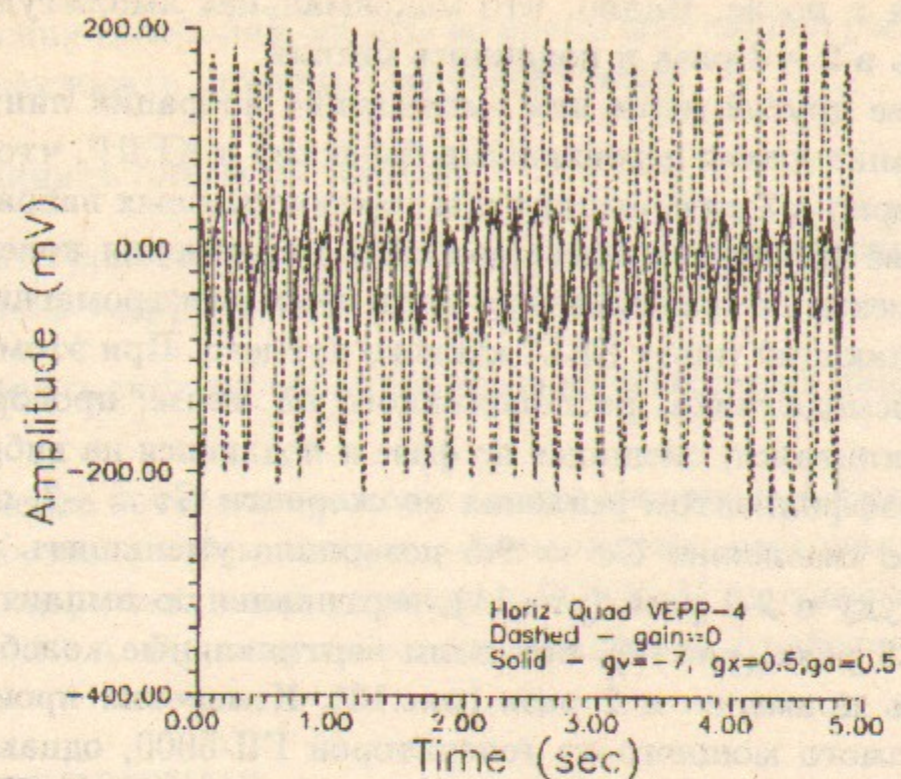


Рис. 11. Влияние обратной связи на колебания линзы SEL1 по горизонтали.

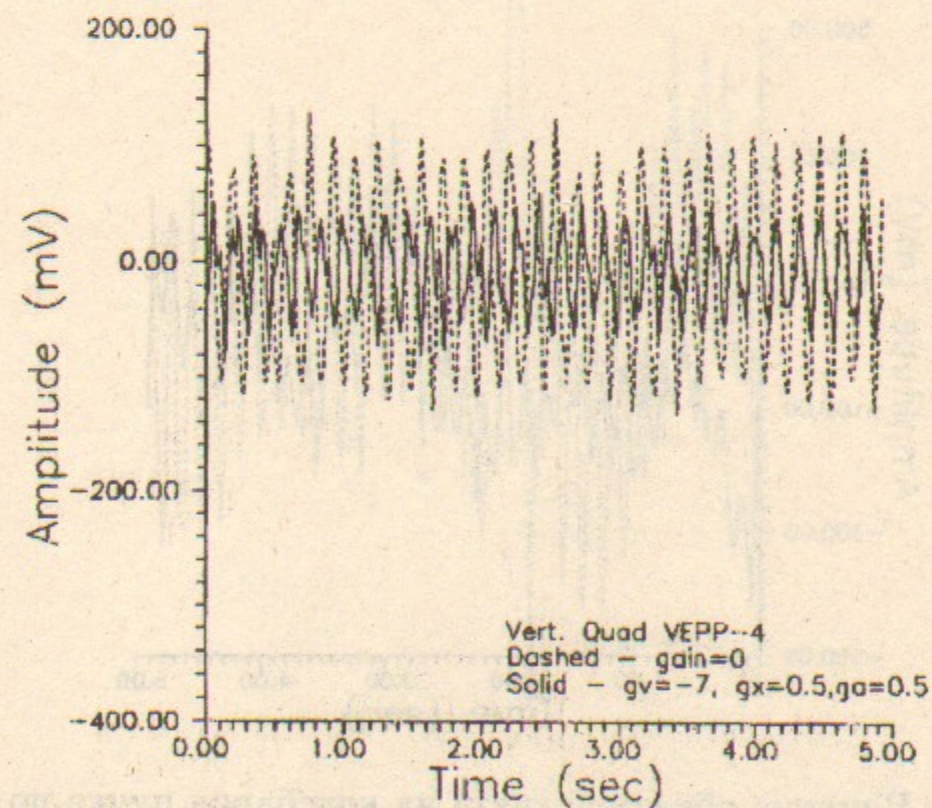


Рис. 12. Влияние обратной связи на колебания линзы SEL1 по вертикали.

отсоединения и после. Видно, что максимальная амплитуда колебаний уменьшилась в 2 — 3 раза и появились биения.

В качестве другой меры для уменьшения вибраций линз было опробовано упирание линзы деревянными брусками в КЕДР, что дало уменьшение примерно в 3 раза амплитуды горизонтальных вибраций.

В качестве дополнительного средства уменьшения колебаний пучка опробована механическая обратная связь через электромагнитный вибратор, перемещающий линзу SEL1 южного дублета. При этом измеренный сигнал с сейсмодатчика, расположенного на линзе, пропорциональный скорости, усиливался, смещался по фазе и подавался на вибратор. Такая система с коэффициентом усиления по скорости $Gv = -7$, по ускорению $Ga = 0.5$, по смещению $Gx = 0.5$ позволила уменьшить горизонтальную амплитуду в 3-4 раза (рис.11), вертикальную амплитуду линзы в примерно 2 раза (рис.12), при этом вертикальные колебания орбиты уменьшались примерно в 2 раза (рис.13). Измерения проводились при работе не самого мощного из генераторов ГП-5000, однако эффект от обратной связи был так же хорошо заметен на мониторе СИ.

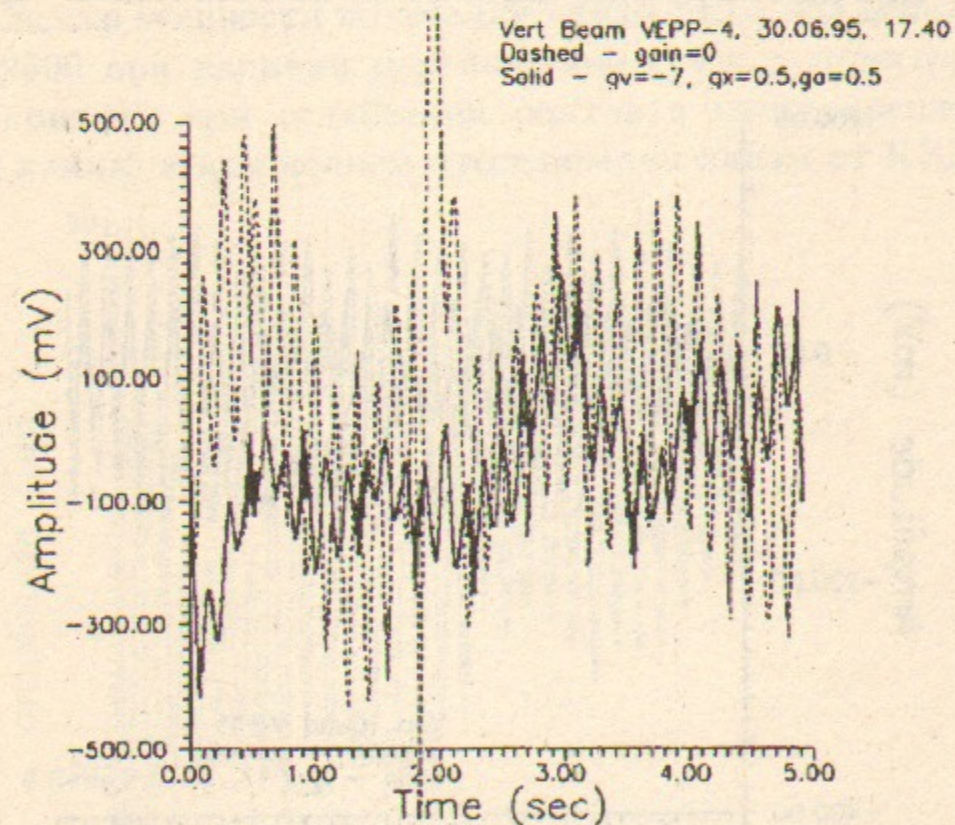


Рис. 13. Влияние обратной связи на колебания пучка по вертикали.

6 Заключение

Для уменьшения колебаний орбиты во время постоянной работы ВЭПП-4 можно рекомендовать принять следующие меры.

- Отсоединить линзы от КЕДРа.
- Укрепить подставки под линзы, увеличить их демпфирующие свойства (например, бетоном).
- Установить систему обратной связи на нескольких линзах и КЕДРе.

В заключение авторы выражают благодарность Б.А.Баклакову за помощь в подготовке сейсмометров к измерениям; персоналу накопителя ВЭПП-4 и экспериментальной установки РОКК-М за содействие в проведении работ, Ю.А. Пупкову за помощь и интерес к работе.

7 Литература

1. Б.А.Баклаков и др. Измерение уровней вибраций в тоннеле УНК, Препринт ИЯФ, 90-88, Новосибирск, 1990.