

количественного сравнения лабораторных и натуральных данных, хотя качественно они согласуются.

Таким образом, при проведении данной работы был обнаружен придонный плотностной поток в водохранилище Нурукской ГЭС на р. Вахш. Кроме того, установлен факт активного заиления водохранилища даже в период глубокой межени. Приведенные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего применения данной методики для исследования плотностных потоков в водохранилищах в сочетании с измерениями распределения скорости для расчета характерных параметров потока, что необходимо для оценки перспективности водохранилищ и выработки мер по борьбе с заилением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анучин В. Н., Гусев А. М., Михайлова Н. А., Петров В. П., Пыркин Ю. Г. Материалы Международного симпозиума по стратифицированным течениям. Новосибирск, 1972.
2. Михайлов В. Н. Динамика потока и русла в непривливых устьях рек. Тр. ГОИН, вып. 12, 1971.
3. Мухамедов А. М., Кулеш Н. П., Мухамедов Я. М. Материалы Международного симпозиума по стратифицированным течениям. Новосибирск, 1972.
4. Великанов М. А. Динамика русловых потоков. т. 2. М., 1955.
5. Михайлова Н. А. Перенос твердых частиц турбулентными потоками воды. Л., 1966.

Поступила в редакцию
5.5 1974 г.

Кафедра
физики моря и вод суши

УДК 621.384.612

З. Л. АРТЕМЬЕВА, К. Н. ШОРИН, А. С. ЯРОВ

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВЫВОДЕ ЧАСТИЦ ИЗ СИНХРОТРОНА

Уникальные свойства синхротронного излучения электронов позволили разработать новую методику исследования быстропотекающих процессов в ускорителях. Оптические методы исследования, как показала практика, обладают целым рядом преимуществ, из которых в первую очередь следует отметить возможность визуальной оценки эволюции электронного сгустка в различных процессах.

Метод скоростной киносъемки, предложенный с целью изучения радиационных эффектов [1, 5], был с успехом использован для обнаружения наиболее опасных резонансов бетатронных колебаний [2]. В дальнейшем он был усовершенствован и позволил провести детальное исследование ряда важнейших резонансов [3]. Тем не менее этот метод имеет и недостатки, которые могут оказаться решающими при изучении быстропотекающих процессов. Помимо сугубо механических возможностей кинокамеры, на диапазон скоростей съемки накладывает ограничение интенсивность излучения электронов в видимом диапазоне. Кроме того, время экспозиции одного кадра составляет лишь незначительную часть временного интервала между двумя кадрами, и в ряде случаев это может привести к неправильным или противоречивым результатам.

Для детального исследования быстропотекающих процессов или процессов с малой интенсивностью излучения нами разработан и испытан в пучке синхротрона оптический затвор-усилитель на базе трехкаскадного электронно-оптического преобразователя (ЭОПа). Прибор обеспечивает визуальное наблюдение на экране ЭОПа, фотографирование с дистанционным управлением и одновременную передачу по телевизионному каналу изображения сечения электронного сгустка в любой фазе цикла ускорения в диапазоне энергий ускоренных электронов 70–650 МэВ. Использование этого прибора существенно дополняет методику, разработанную ранее [2, 3], увеличивая ее эффективность при исследовании быстропотекающих процессов, требующих высокой чувствительности и высокого временного разрешения.

В то же время нет оснований отказываться от тех преимуществ, которые дает неоднократно проверенная в эксперименте киносъемка (например, возможность воспроизведения процесса в динамике). Таким образом, предлагаемая комплексная методика предусматривает параллельное использование ЭОПа и скоростной киносъемки (как и в режиме кадровой съемки, так и в режиме фоторегистратора).

Эта методика предназначена для контролирования электронного сгустка в процессе вывода его из камеры ускорителя при искусственном возбуждении радиального резонанса $Q_r = 2/3$ [4].

Следует подчеркнуть, что характер этой экспериментальной задачи предъявляет ряд требований к оптической системе, связанных с теми особенностями, которыми обладает электронный сгусток в камере ускорителя как источник видимого излучения. Размер источника в данном случае ограничен объемом скошенного цилиндра (рис. 1),

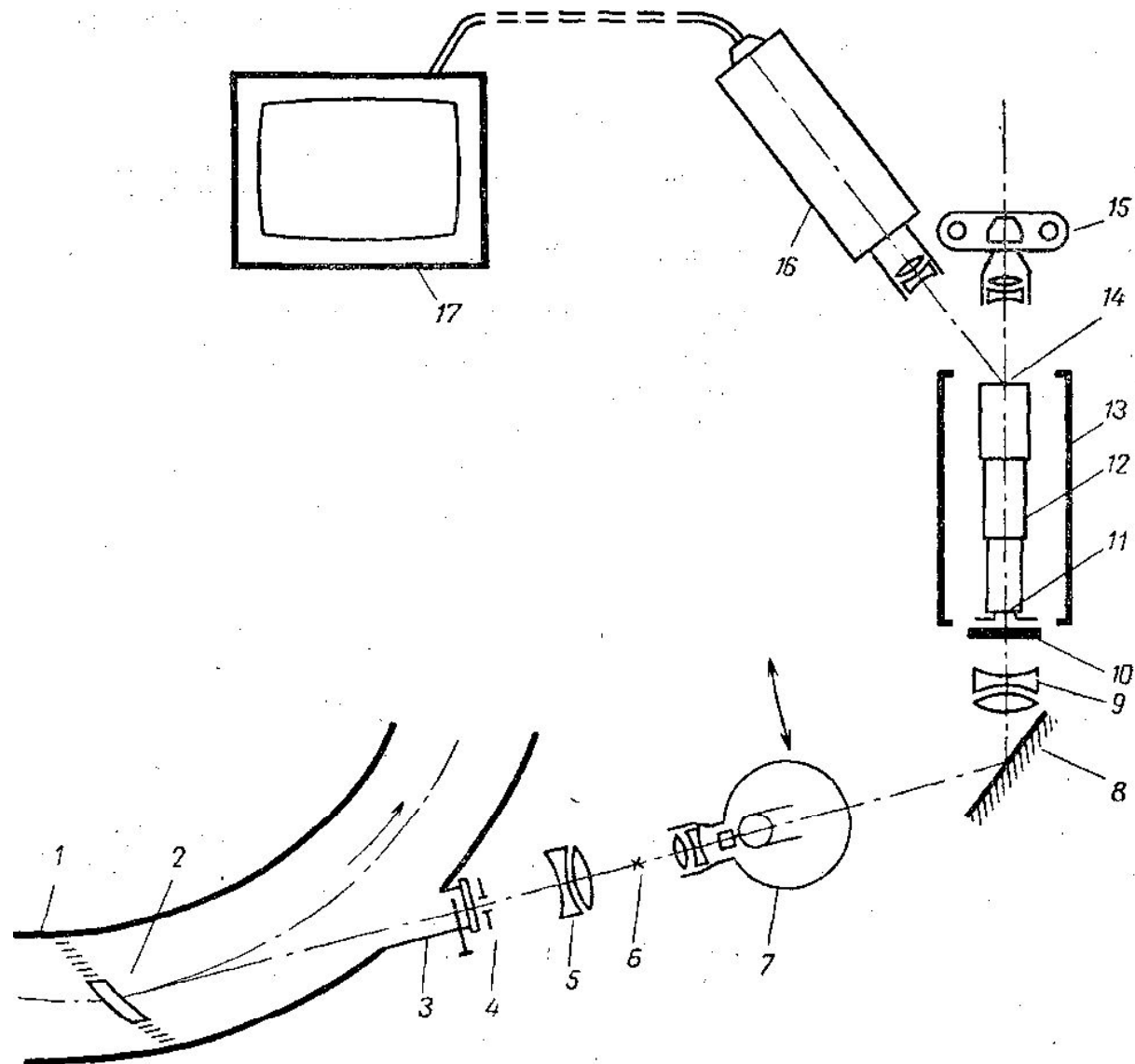


Рис. 1. Оптическая схема установки

центр которого находится на контролируемом участке орбиты, высота определяется апертурой выводного канала и поперечные размеры обусловлены величинами амплитуд радиальных и аксиальных бетатронных колебаний.

Резкое увеличение амплитуды радиальных колебаний при возбуждении резонанса $Q_r = 2/3$, с одной стороны, влечет за собой необходимость использования весьма светосильной оптики. С другой стороны, наклон источника света к оптической оси при возрастании амплитуды колебаний требует применения собирающей линзовой системы с большой глубиной резкости, которая лишь частично может быть уменьшена диафрагмированием света на выводном патрубке. Недостаточная глубина резкости, по-видимому, не будет существенно сказываться на качестве изображения при визуальном наблюдении, но может привести к заметному снижению точности при количественных фотометрических измерениях.

Оптическая схема установки, использованной нами в эксперименте, приведена на рис. 1. Свечение электронов с криволинейного участка орбиты 2 вакуумной камеры 1 выводилось через касательный патрубок 3; диафрагмировалось на его выходе вертикальной щелевой диафрагмой 4, ограничивающей азимутальную протяженность источника света, и собиралось светосильным объективом 5. Промежуточное изображение 6

могло быть сфотографировано с помощью скоростной кинокамеры 7, из которой при работе в режиме фоторегистрации могла быть удалена кадрирующая призма. Кинокамера СКС-1М, в свою очередь, удалялась при использовании в качестве регистратора излучения ЭОПа. В этом случае свечение, отразившись от зеркала 8, фокусировалось объективом 9 на катод 11 ЭОПа через нейтральный фильтр 10. Выбор светофильтра осуществляется весьма тщательно, поскольку вся оптическая система оказалась очень чувствительной к выбору экспозиции. Рабочая область катода, обеспечивавшая оптимальную передачу изображения, ограничивалась круговой диафрагмой. Корпус ЭОПа 12 экранировался кожухом 13 от магнитного поля. Изображе-

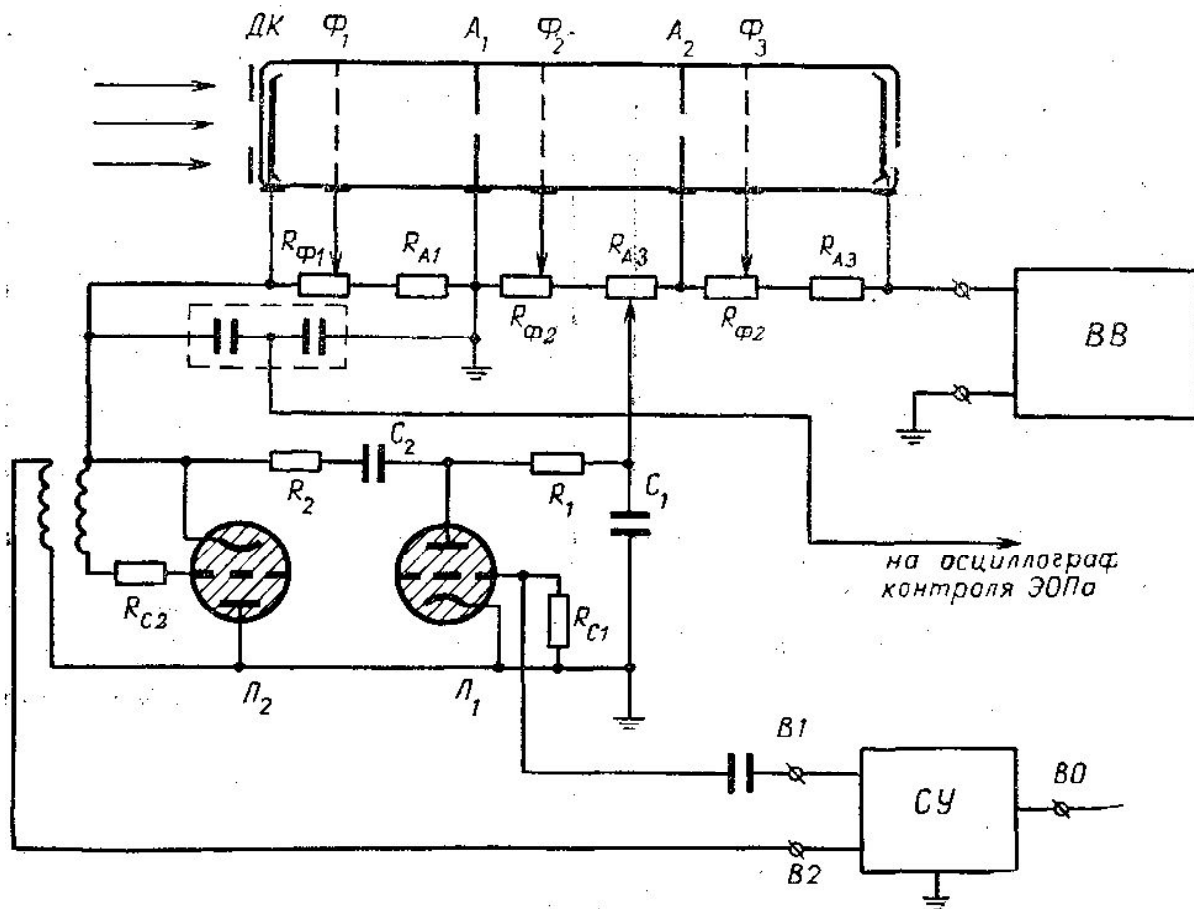


Рис. 2. Схема управления ЭОП

ние, полученное на экране ЭОПа 14, регистрировалось фотокамерой 15 с дистанционным управлением. Одновременно с помощью телекамеры 16 (использовалась стандартная установка ПТУ-23М) изображение можно было наблюдать на экране монитора 17, вынесенного в пультный зал, что позволяло осуществлять непрерывный контроль за динамикой сечения пучка при любых изменениях режима работы ускорителя.

На рис. 2 приведена упрощенная схема управления электронно-оптическим зазором, иллюстрирующая его устройство и работу. В отсутствие запускающего импульса на клеммах В0 блока СУ высокое напряжение от выпрямителя ВВ подается только на второй и третий каскады, а первый каскад закрыт. В желаемой фазе цикла ускорения на клемму В0 блока СУ подается управляющий импульс, появляются два сдвинутых по времени импульса на клеммах В1, В2 и поджигаются последовательно тиратроны Л1, Л2. На катоде К ЭОПа появляется импульс высокого напряжения, а на его экране Э возникает изображение сечения электронного сгустка, усредненное за время τ сдвига между импульсами на клеммах В1, В2. В приведенной схеме величина τ (т. е. время экспозиции исследуемого кадра) изменяется в пределах 15÷500 мкс; прибор допускает также перевод в режим фиксированной экспозиции ~0,1 мкс.

Для нормальной работы схемы постоянная времени $\tau_1 = R_1 C_1$ должна быть существенно больше наибольшего времени экспозиции τ , а постоянная $\tau_2 = R_2 C_2$ должна быть меньше минимального времени τ . Остальные параметры схемы выбираются в соответствии с эксплуатационными характеристиками ЭОПа и тиратронов Л1 и Л2.

Резонансные условия в камере ускорителя создавались путем импульсного изменения величины индекса магнитного поля n за счет подачи импульса тока в специальную обмотку, предусмотренную в конструкции магнита для коррекции градиента

поля [5]. Импульс тока формировался тиратронной схемой с LC — контуром низкой частоты.

Импульс изменения величины n , сигнал интенсивности электронного пучка с пикап-электродов и импульс открывающего напряжения на первом каскаде ЭОПа могли в различных сочетаниях наблюдаться на экране двухлучевого осциллографа. Запуск ждущей развертки осциллографа синхронизовался с циклом изменения магнитного поля.

На рис. 3 приведены синхронизованные осциллограммы сигнала интенсивности пучка и импульса напряжения, включающего оптический затвор. На первой из них

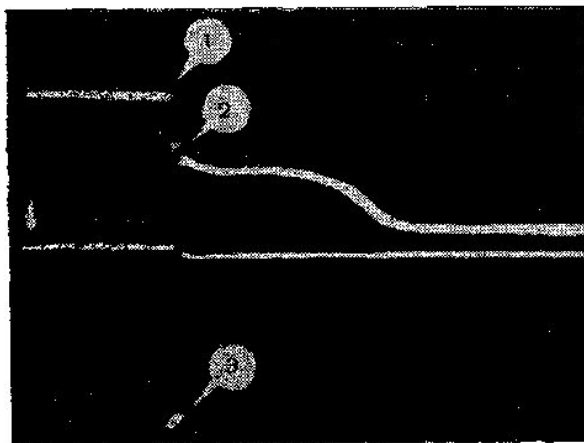


Рис. 3. Осциллограммы сигнала интенсивности с пикап-электродов и импульса напряжения на первом каскаде ЭОП

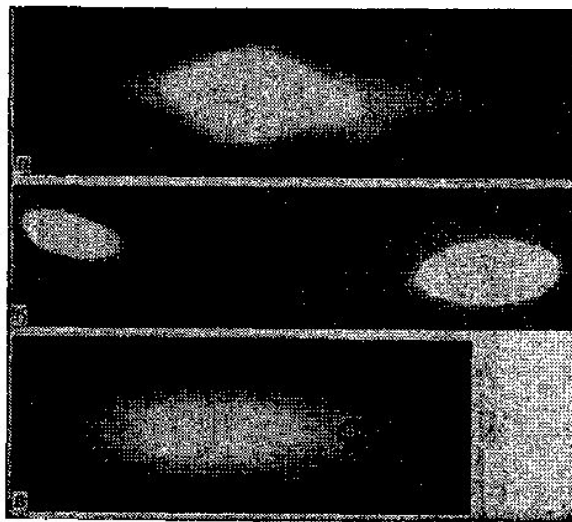


Рис. 4. Фотографии изображения сечения электродного сгустка на экране ЭОП: а — при взаимодействии резонанса $Q_r=2/3$, б — при $Q_r=1/2$, в — в отсутствие возмущений

отчетливо наблюдаются два следующих один за другим сброса 1, 2, обусловленных последовательным прохождением при изменении n двух близко расположенных резонансов. Схема задержки позволяет варьировать во времени момент подачи открывающего импульса 3 на первый каскад ЭОПа. В данном случае он следует непосредственно за вторым сбросом, что позволяет наблюдать на экране изображение сечения пучка, сформировавшегося в результате воздействия второго резонанса. Перемещая во времени импульс 3 и уменьшая его длительность, можно детально исследовать динамику любого резонанса.

Примеры фотографий, полученных с помощью описанного прибора, приведены на рис. 4. Изображения сечений сгустка вместе с измеренными значениями тока в корректирующей обмотке ускорителя не оставляют сомнений в том, что возмущения вызваны воздействием радиальных резонансов $Q_r=2/3$ (рис. 4, а) и $Q_r=1/2$ (рис. 4, б). Для сравнения на рис. 4, в приведена фотография сечения пучка в отсутствие каких-либо возмущающих условий. Фотографии получены при экспозиции ~ 20 мкс; эта величина может быть уменьшена еще на два порядка. Заметим, что минимальная экспозиция, обеспечиваемая кинокамерой СКС-1М, составляет не менее 100 мкс.

Авторы выражают благодарность Ю. Н. Метальникову и В. А. Молодцову, участвовавшим в начальной стадии работы, а также Б. Н. Пышкину и О. И. Семину за помощь в ее завершающей стадии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов А. Г. и др. ДАН СССР, 133, 554, 1960.
2. Куликов О. Ф. и др. «Приборы и техника эксперимента», № 6, 20, 1966.
3. Artemjeva S. L. et al. «Nucl. Instr. and Meth.», 52, 325, 1967.
4. Bizzaghi U., Turrin A. «Nuovo Cimento», 37, 751, 1965.
5. Сб. «Ускоритель электронов на 680 МэВ». М., 1962.

Поступила в редакцию
15.5 1973 г.

Кафедра
оптики