

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

44093

02-33

P13-2002-33

В. А. Морозов, Н. В. Морозова

СООТНОШЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ АМПЛИТУД  
ПОСЛЕИМПУЛЬСОВ И АМПЛИТУД ОСНОВНЫХ  
ИМПУЛЬСОВ В ФЭУ

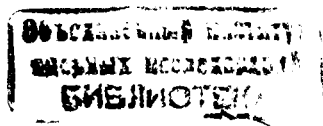
Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

2002

Образование послеимпульсов (ПИМ) в ФЭУ после регистрации первоначального импульса может быть обусловлено различными процессами, приводящими к генерации импульсов различных типов: высокочастотных импульсов, импульсов оптической обратной связи, импульсов ионной обратной связи и т.д. [1]. Временной диапазон появления перечисленных типов импульсов может простираться от момента регистрации основного импульса вплоть до десятков микросекунд. Поэтому при проведении экспериментов с использованием ФЭУ необходимо изучить процесс образования послеимпульсов с тем, чтобы учесть их возможное влияние при интерпретации результатов экспериментов. Может произойти, например, наложение временного распределения от ПИМ на экспоненциальное распределение при изучении времени жизни возбужденного состояния ядра при радиоактивном распаде автокорреляционным методом, когда канал зарядки изомерного состояния происходит высокоэнергетическим  $\alpha$ -,  $\beta$ - или  $\gamma$ -излучением.

В работе [2] было установлено, что для ФЭУ-87, ФЭУ-30 и XR2020Q отношение максимальных амплитуд ПИМ, обусловленных ионами обратной связи, к амплитудам основных импульсов (ОИМ) не пропорционально амплитудам ОИМ. Было обнаружено, что относительная амплитуда ПИМ уменьшается по мере роста амплитуды основного импульса. Этот факт<sup>3</sup> можно объяснить или непропорциональностью заряда, обусловленного ионами обратной связи, по отношению к электронному заряду, обусловленному регистрацией основного сигнала, на выходе ФЭУ, или наличием ограничения максимальной амплитуды ПИМ при определенном напряжении на ФЭУ независимо от амплитуды выходного сигнала. В данной работе было продолжено изучение зависимости амплитуд послеимпульсов по отношению к амплитудам основных импульсов с целью установления причины такого явления. В проведенных исследованиях были изучены амплитудно-временные свойства фотоумножителя XR2020. В измерениях был использован автокорреляционный спектрометр задержанных совпадений [2] - рис.1, включающий светодиод (СД). Светодиод излучал в красной области спектра и обеспечивал амплитуду сигнала на выходе ФЭУ вплоть до 1В. Делитель ФЭУ был стандартный (режим В' [3]). Потенциалы фокусирующих электродов ФЭУ были оптимизированы для получения максимального коэффициента усиления ФЭУ.

Процедура измерений сводилась к определению амплитуды основного импульса при помощи дискриминатора D (ORTEC - CFD 584), имеющего калиброванный дискриминатор амплитуд входных импульсов. Максимальная амплитуда ПИМ



определялась по значению порога дискриминатора, при котором прекращалась регистрация задержанных совпадений многоканальным анализатором. Отношение этих порогов дает искомую величину  $V_{\text{пим}}/U$ , где  $V_{\text{пим}}$  – максимальная амплитуда послеимпульсов,  $U$  – амплитуда основного импульса на выходе ФЭУ. Отметим, что самосовпадения основных импульсов исключаются введением задержки ЛЗ – рис.1.

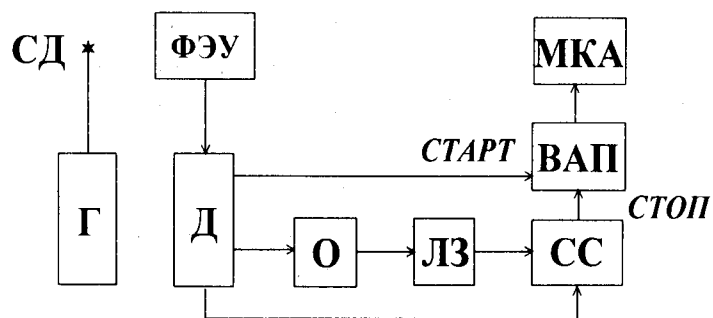


Рис.1. Блок-схема автокорреляционного спектрометра: Г - генератор, О - одновибратор, СС - схема совпадений, ВАП - время-амплитудный преобразователь, МКА - многоканальный анализатор

Проведенные измерения подтвердили такую же зависимость максимальной амплитуды ПИМ относительно амплитуды основного выходного импульса для ФЭУ XR2020, как и для ФЭУ-87, ФЭУ-30 и XR2020Q. Данные, приведенные на рис.2, позволяют установить, что существует обратно пропорциональная зависимость отношения максимальной амплитуды ПИМ от амплитуды ОИМ. Поэтому можно считать, что для определенного напряжения на ФЭУ максимальная амплитуда ПИМ для разных амплитуд ОИМ в первом приближении есть величина постоянная. При изменении напряжения на ФЭУ- $V$  максимальная амплитуда ПИМ меняется как результат изменения коэффициента усиления ФЭУ и коэффициента вторичной эмиссии электронов при взаимодействии ионов, например, с фотокатодом и диодами ФЭУ.

Поэтому можно предположить, что возникновение ПИМ происходит преимущественно в результате взаимодействия одиночного иона с фотокатодом ФЭУ. К такому заключению приводят также следующие факты: по оценке Биркса [4] при использовании органических сцинтилляторов энергетический коэффициент конверсии излучения в ФЭУ в фотоэлектроны может быть от 0,3 до 1,5 фотоэлектрон/кэВ, т.е. при

регистрации излучения с энергией  $E=1000$  кэВ эта величина будет находиться в интервале от 300 до 1500 фотоэлектронов.

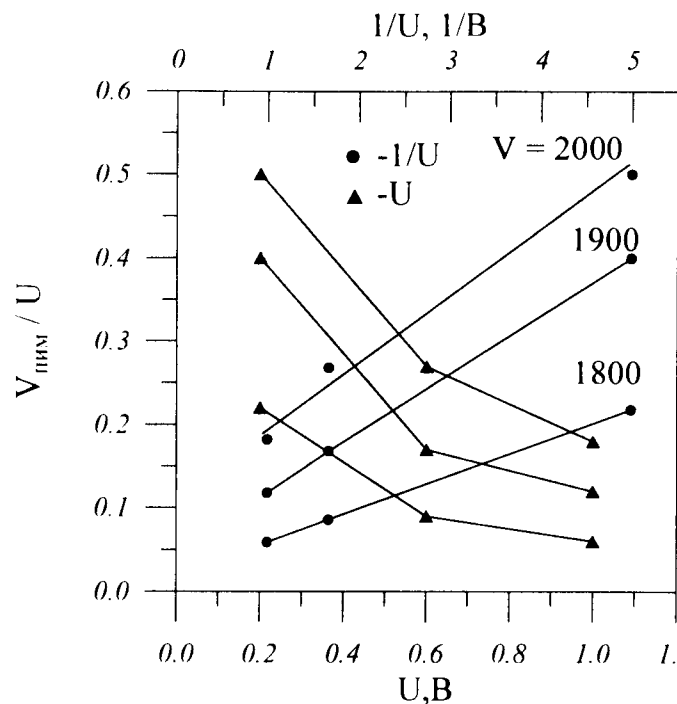


Рис.2. Зависимости отношения амплитуд  $V_{\text{пим}}/U$  от  $U$  и  $V$  для ФЭУ XR2020

В работе [2] было показано, что при напряжении на ФЭУ XR2020Q, равном 2000 В, и пороге  $V_d/U=0.05$ , где  $V_d$  – установленный порог дискриминатора, отношение  $N_{\text{пим}}/N_{\text{оим}} \approx 0.01$ , т.е. в рассматриваемом случае возможное число образованных положительно заряженных ионов не превышает 3-15. И в отличие от связанной с ОИМ электронной лавиной, в которой размытие импульса не превышает нескольких наносекунд (ширина импульса на полувысоте около 3 нс), дрейф различных ионов, образованных в фокусирующей камере ФЭУ, может иметь разброс по времени от наносекунд до десятка микросекунд. Поэтому не происходит полного суммирования электронного тока, инициированного всеми ионами, последовательно подходящими к фотокатоду в пределах рассмотренного интервала времени дрейфа ионов, при данной длительности импульса тока на выходе ФЭУ. Суммирование ионного тока может

происходить только в результате случайных совпадений импульсов двух ионов в пределах разрешающего времени, определяемого длительностью импульса  $-2\tau_0$ :

$$N_{\text{сл}} = 2\tau_0 N_{\text{ПИМ1}} \cdot N_{\text{ПИМ2}},$$

где  $N_{\text{ПИМ1}}$  - интенсивность ПИМ, поступающих на вход СТАРТ, а  $N_{\text{ПИМ2}}$  на вход СТОП время-амплитудного преобразователя. Величина  $2\tau_0$  для данного типа ФЭУ не превышает 10 нс. Для автокорреляционного спектрометра  $N_{\text{ПИМ1}}=1$ . По приведенным оценкам  $N_{\text{ПИМ2}}$  не должно превышать нескольких десятков отсчетов. Поэтому процессом двукратного суммирования ионного тока можно пренебречь, и тем более эффектами более высокого порядка. Максимальная амплитуда ПИМ будет, очевидно, определяться в основном коэффициентом эмиссии электронов при взаимодействии иона с фотокатодом ФЭУ, разностью потенциалов в фокусирующей камере ФЭУ и полным напряжением на ФЭУ, а также частично вследствие случайного (в пределах длительности одиночного токового импульса) эффекта суммирования импульсов от различных ионов. Поэтому при определенном напряжении на ФЭУ максимальные амплитуды ПИМ не должны претерпевать существенных изменений для разных по амплитуде выходных сигналов, что и наблюдается на опыте. Подтверждением этого аргумента может явиться возможность прямого сравнения интенсивности ионного тока с величиной электронного тока в анодной нагрузке ФЭУ. Подобные измерения можно провести двумя способами: осциллографическим или автокорреляционным. В первом случае можно применить осциллограф с запоминанием для подсчета импульсов в определенном временном интервале, пришедших после прохождения основного импульса заданной амплитуды. Во втором случае можно использовать автокорреляционный спектрометр задержанных совпадений для получения временных спектров ПИМ, соответствующих ОИМ определенных амплитуд. Несмотря на то, что временные спектры ПИМ являются результатом регистрации статистически распределенных событий, представляется очевидным, что интенсивность каждого временного спектра пропорциональна интенсивности ионов обратной связи, возникающих при регистрации ОИМ. На рис.3 представлены спектры временных распределений ПИМ, измеренных при амплитудах выходных сигналов  $U=0,1$  и  $0,5$  В. На рис.4 приведены относительные зависимости интенсивности ионов от амплитуды выходного сигнала ФЭУ (приведенные величины нормированы при значении  $U=0,1$  В). На том же рисунке показано, что эта зависимость является квадратичной. Это свидетельствует о том, что интенсивность ионов обратной связи пропорциональна заряду от ОИМ на выходе ФЭУ, который пропорционален

площади выходного сигнала:  $\int_0^T U(t)dt$ , где  $U(t)$  - амплитудная зависимость от  $t$  выходного сигнала, а  $T$  - длительность выходного импульса. Заметим, что

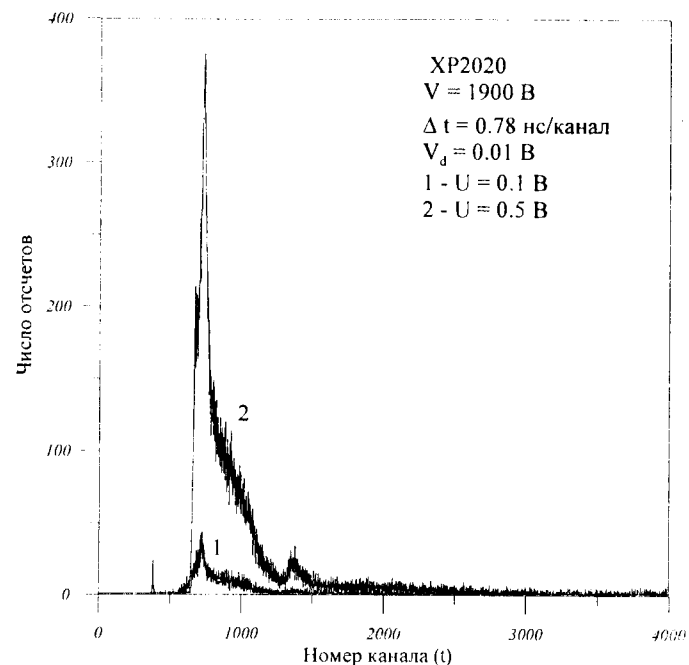


Рис.3. Временное распределение ПИМ для разных амплитуд выходных сигналов при 1-U=0,1 В и 2-U=0,5 В

нормировка величины  $I/I_{0,1}$  при разных амплитудах ОИМ на значения соответствующих величин площади ОИМ приводит к такому же виду зависимости  $I/(I_{0,1} \cdot \Phi_0)$  от  $U$ , как и зависимости  $(I/I_{0,1})^{1/2}$  от  $U$ . Этот факт, как и ранее приведенные аргументы, позволяет отвергнуть предположение о непропорциональности ионного тока электронному току в ФЭУ и принять вариант, рассматривающий "аномалию" как результат взаимодействия одиночного иона с фотокатодом ФЭУ.

Таким образом, обнаруженная зависимость в отношениях максимальных амплитуд послепульсов и основных импульсов в ФЭУ объясняется токовым режимом съема выходного сигнала. При регистрации события основной сигнал инициируется

поток фотонов от сцинтиллятора и в дальнейшем потоком фотоэлектронов и лавиной вторичных ускоренных электронов.

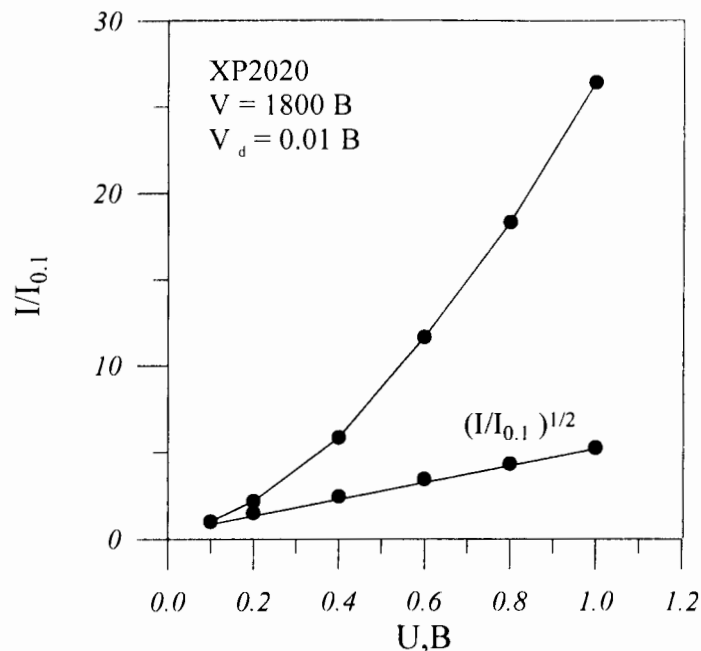


Рис.4. Относительная зависимость интенсивностей ионов от амплитуды выходного сигнала U

Суммарное время сбора электронов не превышает во временном фотоумножителе несколько наносекунд. Появление послепулса будет определяться временем дрейфа ионов обратной связи к фотокатоду, которое простирается от наносекунд до десятков микросекунд, и поэтому суммирования электронного тока, инициированного всеми ионами при токовом режиме съема сигнала, не происходит, т.е. последовательные электронные лавины в случае регистрации ПИМ будут возникать преимущественно за счет взаимодействия одиночных ионов с фотокатодом. При использовании автокорреляционного метода задержанных совпадений после регистрации ОИМ будет регистрироваться только первый ион обратной связи, пришедшей к фотокатоду. Как было установлено в работе [5], генерация ионов обратной связи происходит в основном в фокусирующей камере ФЭУ, и, следовательно, разность потенциалов между фокусирующими электродами и фотокатодом будет определять предельную энергию образованных ионов и произведенный ими заряд на выходе ФЭУ. Поэтому обратная

пропорциональность максимальных амплитуд ПИМ по отношению к амплитудам ОИМ находит свое естественное объяснение. Рассмотренный процесс формирования послепулсов аналогичен для фотоумножителей с различными диодными системами, как, например, для ФЭУ-87, имеющего жалюзийную, ФЭУ-30 - тороидальную, XP2020Q - линейную систему.

Авторы благодарны В.Б.Бруданину и В.Г.Калинникову за содействие, оказанное в проведении данной работы.

#### Список литературы

1. Ветохин С.С., Гулагов И.Р., Перцев А.И. Одноэлектронные фотоприемники. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Морозов В.А, Морозова Н.В. // ПТЭ, 1997, №4, С.97-101.
3. PHILIPS. Data handbook. Electron tubes. Part 9. 1980.
4. J.V.Birks // Proc. Conf. Nucl. Electronics, Belgrad 1961, Vol.1, IAEA, Vienna 1962, P.17.
5. Морозов В.А, Морозова Н.В. Препринт ОИЯИ Р13-2001-135. Дубна. 2001.

Получено 28 февраля 2002 г.