

НАКОПИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАСКАДНЫХ ЭКРАНОВ И РАСЧЕТ ВИДИМОСТИ СИГНАЛА

М. М. Грацианская

Приведены результаты исследования накопительных характеристик каскадных экранов с длительным послесвечением. Указана ошибка, получающаяся при пропорциональном пересчете характеристик. Приводится уравнение, позволяющее рассчитать видимость сигнала на экране индикатора кругового обзора, работающего с модуляцией по яркости.

Проблема получения оптимальной видимости на экране трубки является одной из основных проблем при конструировании радиолокационных и телевизионных устройств.

Под видимостью отметки обычно понимается способность человеческого глаза различать ее на фоне заданной яркости, если разность яркостей отметки B_c и фона B_ϕ минимальна. Минимальная разность яркостей $(B_c - B_\phi)_{\text{пор}}$, при которой объект на экране индикатора различается с 75% вероятностью, называется пороговой разностью, а яркость отметки B_c — пороговым сигналом.

Таким образом, видимость может быть определена как величина, обратная пороговой разности яркостей, т. е. она будет ухудшаться, если пороговая разность яркостей, необходимая для обнаружения отметки, увеличивается.

Видимость сигнала на экране индикатора кругового обзора зависит 1) от свойств и режима работы установки, 2) характеристик экранов, 3) физиологических особенностей глаза наблюдателя. Выявление количественных связей между перечисленными факторами, с одной стороны, позволило бы указать характеристики радиолокационной установки и индикатора, обеспечивающие получение оптимальной видимости сигнала. С другой стороны, это дало бы возможность разработать единую методику контроля качества экранов, как это имеет место для электронных ламп. Естественно, что число характеристик экрана, снимаемых в процессе контроля его качества, определяется требованиями расчета так же, как требования к форме характеристик определяются условиями эксплуатации трубки.

Однако несмотря на большое количество попыток получить количественные связи между факторами, определяющими видимость [1-4], последние до сих пор не установлены. Последнее, по-видимому, связано с тем, что указанные исследования проводились в отрыве от физических свойств самих экранов.

Поэтому данная работа состоит из двух частей. В первой части исследованы накопительные характеристики экранов (зависимость скорости нарастания яркости экрана B при последовательном импульсном возбуждении от числа возбуждающих импульсов n) с целью выяснить возможность их учета при оценке видимости сигнала и оценить получающиеся при этом погрешности. Вторая часть содержит данные, доказывающие возможность расчета видимости сигнала на экране индикатора кругового обзора с учетом режима работы установки и характеристик экрана.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ НАКОПЛЕНИЯ ЯРКОСТИ [5]

При исследовании характеристик накопления яркости экраном люминофор возбуждался в точке импульсами, повторяющимися с частотой 1 гц. Энергия пучка менялась в диапазоне от 10^{-11} кул·см⁻² до $2 \cdot 10^{-9}$ кул·см⁻², что соответствует энергиям*.

Характеристики накопления яркости снимались для яркости в момент вспышки и на протяжении времени от первого импульса до момента наступления динамического равновесия, когда светосумма, отданная в паузу между возбуждениями, равна запасенной за время возбуждения.

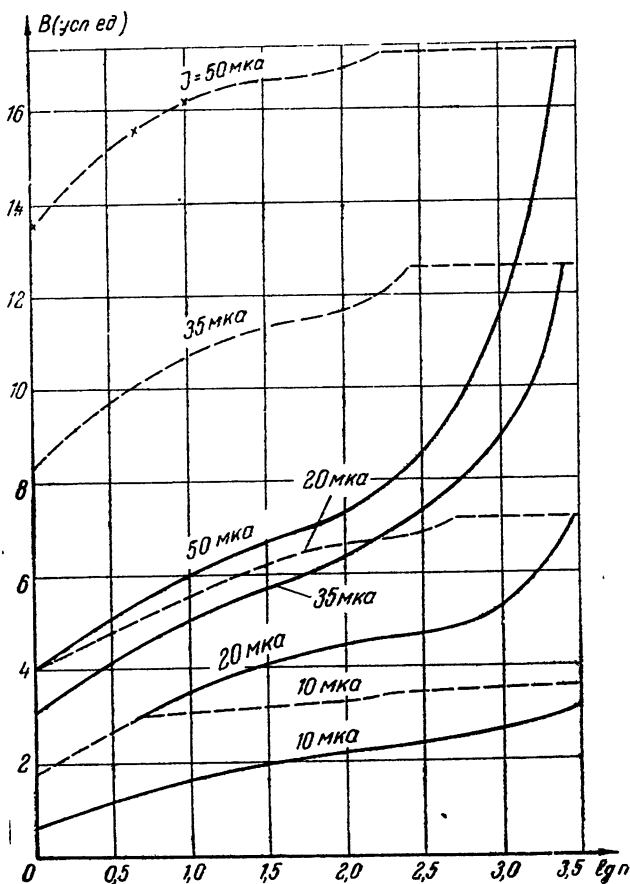


Рис. 1. Зависимость яркости экрана B от числа импульсов n при разных значениях тока луча J (длительность импульса $t_n = 3$ мксек, трубка в стандартном режиме, расфокусировка пятна $d \approx 0,3$ см).

Исследовались сульфидные каскадные экраны с длительным послесвечением. Установлено, что для трубки с хорошей повторяемостью существует два типа характеристик накопления (см. рис. 1). Первый из них получается при первоначальном включении трубки — до облучения экрана электронами (сплошные кривые на рис. 1). Перед сня-

* Энергию пучка электронов или заряд при постоянной скорости электронов можно характеризовать произведением плотности тока пучка [$a \cdot \text{см}^{-2}$] на время возбуждения [сек], т. е. величиной, имеющей размерность [кул·см⁻²].

тием характеристик трубка не менее трех-четырех часов была выключена, а при включении принимались меры для того, чтобы до подачи первого отпирающего импульса она была закрыта. Второй тип характеристик устанавливается после повторной дезактивации экрана инфракрасным светом (пунктирные кривые на рис. 1).

Разница в ходе кривых обуславливается зарядами, возникающими на экране в процессе его работы. Следовательно, вид характеристики накопления определяется, с одной стороны, процессом накопления светосуммы люминофором, а с другой стороны, установлением рабочего заряда на экране. Первый процесс доминирует на участке возбуждения от первого до $15 \div 20$ импульса. Второй процесс определяет ход кривой от 20 импульса до момента установления состояния динамического равновесия.

Кривые, полученные при повторном инфракрасном высвечивании, определяются в основном участком, соответствующим процессу накопления яркости люминофором, так как заряд на экране уже есть. При первоначальном включении трубки доминирует второй процесс и, следовательно, более отчетливо выражен второй участок. Анализируя начальные участки кривых, можно сказать, что заряд на экране влияет на скорость накопления яркости экраном в течение первых 20 импульсов. Искусственное увеличение утечки экрана снижает заряд на экране трубки. При этом падает как абсолютное значение яркости свечения экрана, так и скорость накопления яркости.

Таким образом, благодаря влиянию заряда характеристика накопления для экрана может сильно отличаться от соответствующей характеристики для люминофора. Поэтому желательно иметь две станции контроля по характеристикам накопления — для экрана и для люминофора.

Анализ семейства характеристик накопления для различных токов и длительностей импульсов показывает, что яркость V растет нелинейно с изменением длительности импульса t_n (рис. 2). Однако в пределах $t_n \leq 10$ мксек можно считать, что яркость пропорциональна длительности импульса. Из этого следует, что если известна кривая накопления (например, для $t_n = 5$ мксек), то кривые для других длительностей импульсов в указанном диапазоне могут быть рассчитаны. Однако рассчитанные яркости для $t_n = 5 \div 10$ мксек будут лежать несколько выше экспериментальных, а для $1 \div 5$ мксек — соответственно ниже.

Зависимость между яркостью V и током луча J линейна только до определенных величин энергии пучка. В данном случае (рис. 3)

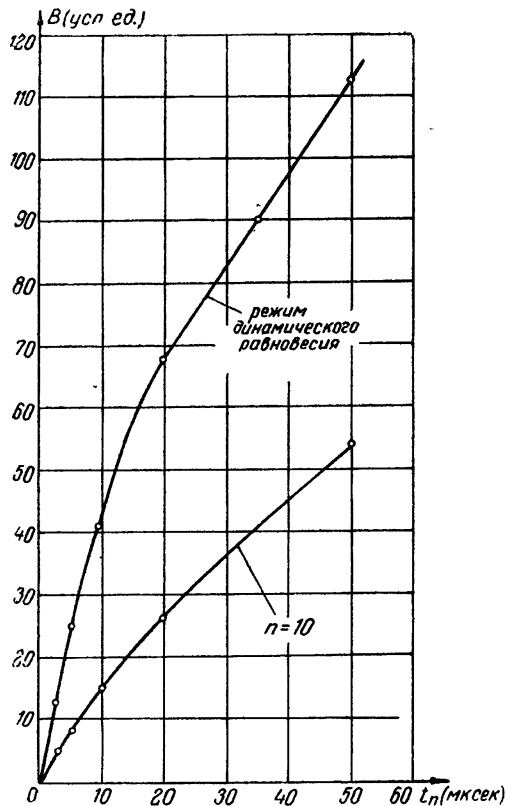


Рис. 2. Зависимость яркости V от длительности возбуждающего импульса t_n для тока луча $J = 35$ мка.

оптимальная энергия пучка равна $25 \cdot 10^{-8}$ кул·см⁻². Если при расчете видимости сигнала считать функцию $B = f(J)$ линейной, то это, возможно, приведет к тому, что рассчитанная видимость при больших плотностях тока будет выше, чем экспериментальная.

Следует заметить также, что количественно характер возрастания яркости для режима работы трубки, соответствующего пунктирным кривым рис. 1, в пределах возбуждения первыми 20 импульсами может задаваться численными отношениями B_{20}/B_1 , B_{20}/B_2 и т. д. (B_n — яркость при возбуждении n -ым импульсом, $n = 1, 2, \dots, 20$).

Из сказанного следует, что для учета влияния характеристики накопления на видимость сигнала достаточно иметь одну характеристику накопления яркости для известного режима работы индикатора в установке. Изменение хода характеристики при изменении тока пучка или длительности импульса может быть получено с достаточной на практике степенью точности путем пересчета.

2. РАСЧЕТ ВИДИМОСТИ СИГНАЛА

В этом разделе приведены результаты расчета видимости сигнала на основе уравнения (1) (см. ниже), подробный вывод которого дан в работе [9]. В уравнении влияние характеристик экрана и режима работы установки на видимость сигнала учитывается путем пере-

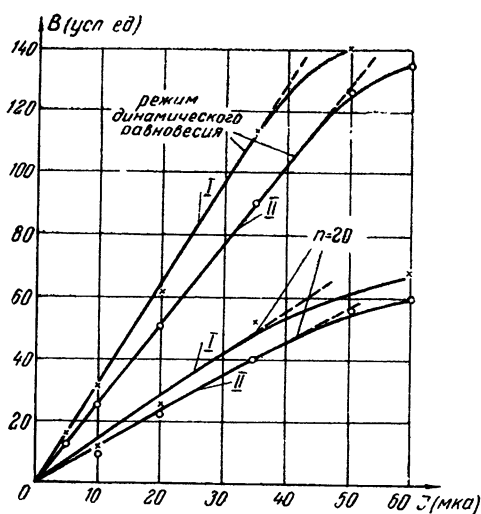


Рис. 3. Зависимость яркости V от тока луча J :

I — $t_{II} = 50$ мксек, II — $t_{II} = 35$ мксек

и τ . Согласно [9], это уравнение имеет следующий вид:

$$V = 20 \lg \frac{U_1}{\Delta U_c} = 10 \lg (\gamma - \gamma_0) + 20 \lg \frac{(B_\Phi - B_0)^{2/3}}{B_\Phi} - 20 \lg \left(1 - \frac{\Phi}{\tau} \right) + 20 \lg \frac{U_1 S_2}{c} - 20 \lg X. \quad (1)$$

Левая часть (1) представляет собой видимость сигнала V , выраженную в децибелах ослабления напряжения на модуляторе индикаторной трубки; U_1 — некоторое постоянное опорное напряжение, которое ослабляется при помощи аттенюатора и попадает на модулятор трубки

в виде напряжения сигнала ΔU_c . В правой части уравнения первый член характеризует зависимость видимости от угла зрения отметки γ , выраженного в радианах ($\gamma_0 = 2,91 \cdot 10^{-4}$ — предельное значение разрешаемого глазом угла). Второй член определяет зависимость видимости от средней яркости фона B_ϕ (в стильбах) при радиальной вращающейся развертке. Величина B_ϕ , в свою очередь, является функцией скорости вращения ω и постоянного смещения на модуляторе трубки U_m ($B_0 = 1,15 \cdot 10^{-6}$ — яркость собственного света сетчатки глаза). Третий член уравнения (1) определяет зависимость видимости

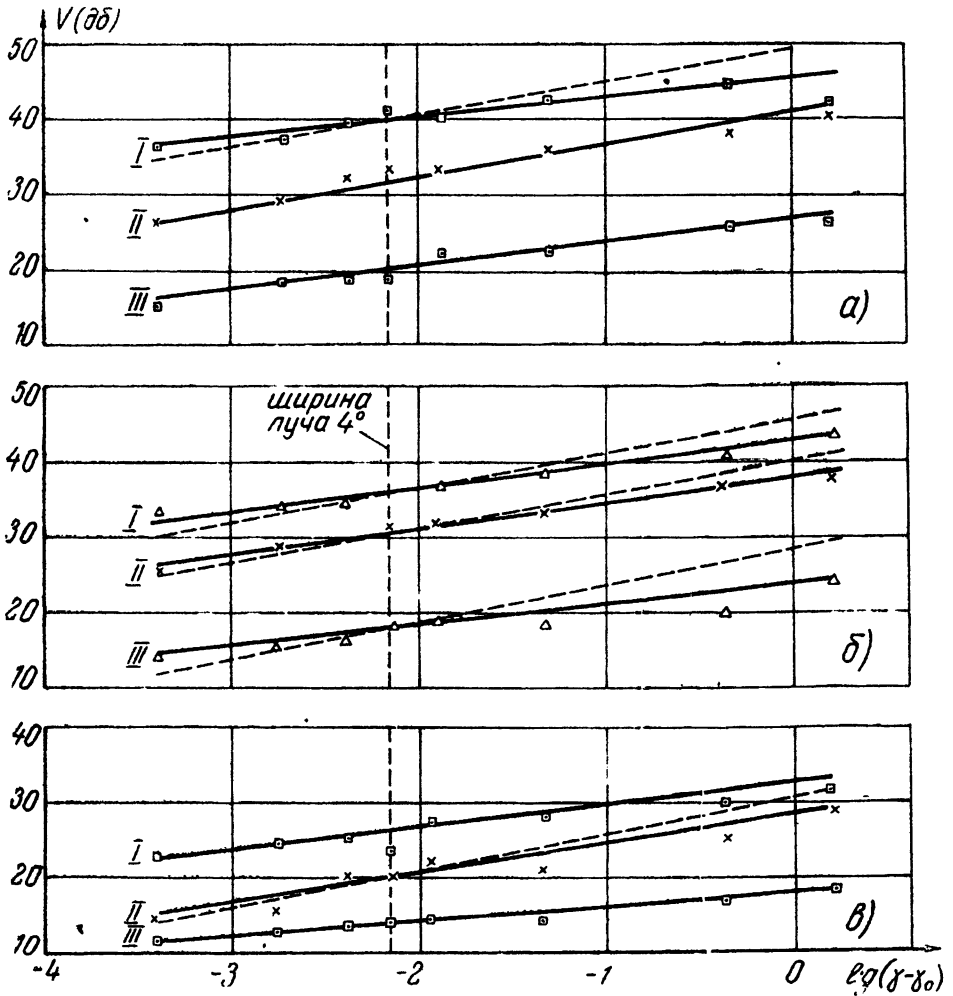


Рис. 4. Теоретическая и экспериментальная зависимость видимости V (в дБ — ослабление относительно опорного напряжения) от угла зрения отметки $\gamma - \gamma_0$ для оптимального (I), яркого (II) и темного фона (III):

а) $t_n = 4$ мксек, б) $t_n = 2$ мксек, в) $t_n = 0,5$ мксек.

от времени существования отметки на экране индикатора τ в сек ($\vartheta = 0,055$ — эффективное время сохранения зрительного впечатления). В четвертом члене U_1 — опорное напряжение в вольтах, $c = 6,8 \cdot 10^{-6}$ — постоянная, зависящая от условий видимости, и S_2 — крутизна зависимости $B_\phi = f(U_m)$ при $\omega = \text{const}$. Наконец, коэффициент $X = B_{\phi c} / B_{cn}$ выражает зависимость видимости сигнала от характеристик накопления экрана и режима его возбуждения разверткой и импульсом ($B_{\phi c}$ —

яркость сигнала, которую нужно иметь для того, чтобы на данной яркости фона сигнал был различим, а $B_{сн}$ — яркость, которую может обеспечить люминофор при возбуждении его n импульсами заданной длительности при токе, равным току развертки; число n зависит, в свою очередь, от частоты посылок импульсов и скорости вращения антенны).

Таким образом, для расчета видимости по уравнению (1) необходимо знать: 1) размер отметки или ее угол зрения γ , 2) зависимость средней яркости фона $B_{\phi} = f(U_{м})$ при разных скоростях вращения антенны ω , 3) время существования отметки на экране τ , 4) накопительную характеристику $B = f(n)$, где n — число импульсов.

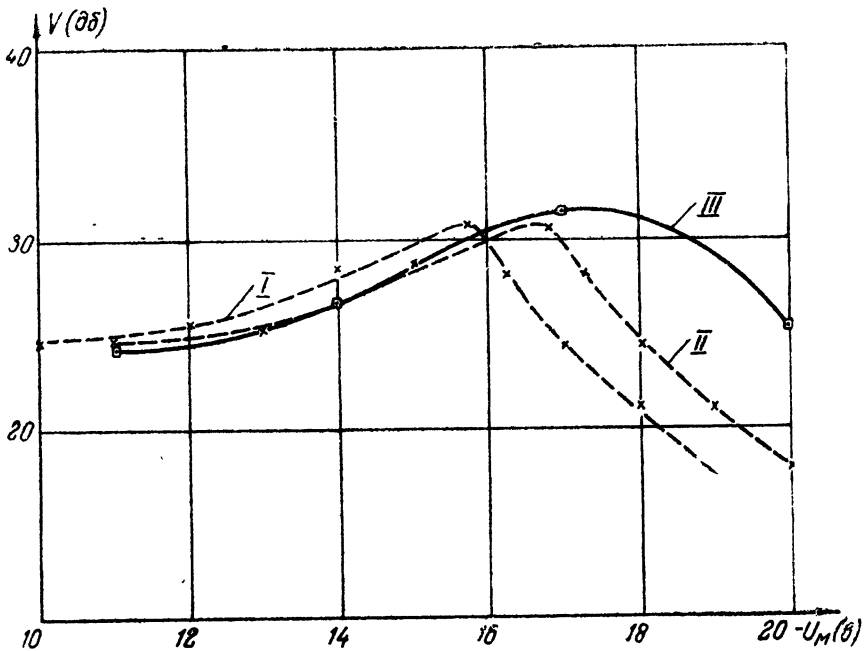


Рис. 5. Зависимость видимости V (в тех же единицах, что и на рис. 4) от смещения на модуляторе $U_{м}$ (от яркости фона):

I — теоретическая кривая, II — та же кривая, сдвинутая на 1 в, III — экспериментальная кривая по работе [2].

Проверочный расчет кривых видимости по уравнению (1). На рис. 4+6 сплошными линиями представлены кривые зависимости видимости V от угла зрения отметки $\gamma - \gamma_0$, яркости фона $U_{м}$ и времени существования отметки τ , полученные экспериментально Барлеттом, Вильямсом и Хейнзом [1] и Барлеттом и Смитом [2,3]. На те же графики пунктиром нанесены соответствующие расчетные кривые, полученные с помощью уравнения (1).

Сопоставление расчетных и экспериментальных кривых позволяет заключить следующее.

Расчетные кривые $V = f[\lg(\gamma - \gamma_0)]$ имеют больший наклон к оси абсцисс, чем экспериментальные. Наклон кривых определяется коэффициентом 10 в уравнении (1); однако он может быть изменен в зависимости от условий видения [6,7].

Расчетные кривые $V = f(U_{м})$ сдвинуты относительно экспериментальных на один вольт, потому что действительное напряжение запирающего в трубке, использованной в работе [2], было не — 20 в, а — 21 в. Левая ветвь расчетной кривой, как и следовало ожидать, идет немного выше экспериментальной. Это объясняется тем, что зависимость $B = f(J)$

при расчете считалась линейной, тогда как при смещениях на модуляторе — $(10 \div 14)$ в нелинейность ее может быть значительной. При сохранении физической формы хода кривых видимости правые ее ветви расходятся несколько больше. Последнее мы относим частично за счет того, что определенне крутизны S_2 в пределах $U_m = 17 \div 20$ в сопряжено с большой погрешностью чисто графического характера. В то же время расхождение кривых при темном фоне отчасти может быть связано с влиянием внешнего освещения, которое не учтено в уравнении (1).

Расчетные кривые $V = f(\tau)$ по форме полностью совпадают с экспериментальными.

Проведенные расчеты кривых видимости и сравнение результатов расчета с экспериментальными данными [1-3] показывают, что:

1) уравнение (1) полностью отражает физическую и физиологическую картину явлений, имеющих место при наблюдении сигнала, а также позволяет рассчитать абсолютные значения видимости сигнала, выраженной в децибелах ослабления опорного напряжения на модуляторе трубки; погрешность при этом не превышает допустимой в расчетах подобного рода;

2) на основании расчетов можно уточнить существующую методику контроля электронно-лучевых трубок, применяющихся в радиолокации, и указать режим работы установки, обеспечивающий (для индикатора с заданными характеристиками и заданными условиями наблюдения) оптимальную видимость (различимость) сигнала.

Данная работа выполнена на кафедре „Электронные приборы“ МЭИ. Автор выражает глубокую благодарность В. В. Мешкову за ценные советы и Р. А. Нилендер за руководство работой и помощь в организации эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. P. Bartlett, S. B. Williams, R. M. Hanes, J. Optical Soc. America, **39**, 463 (1949).
2. N. P. Bartlett, A. L. Sweet, J. Optical Soc. America, **38**, 323 (1948).
3. N. P. Bartlett, A. L. Sweet, J. Optical Soc. America, **39**, 470 (1949).
4. Г. Гриффитс, Вопросы радиолокационной техники, **6**, 17 (1957).
5. A. F. Bischoff, Proc. Nat. El. Conf., **8**, 387 (1952).
6. М. Школьник, Вопросы радиолокационной техники, **3**, 55 (1958).
7. М. В. Румянцев, Проблемы физиологической оптики, **7**, 69 (1949).
8. А. В. Луизов, Проблемы физиологической оптики, **7**, 57 (1949).
9. М. М. Грацианская, Видимость сигнала на экране электронно-лучевой трубки, Научн. докл. высш. школы, секция радиотехники и электроники, **4**, 189 (1959).

Московский энергетический институт

Поступила в редакцию
4 апреля 1959 г.