

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ СГУСТКОВ ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРЕННОГО ПУЧКА ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Э. М. ЛАЗИЕВ, Г. Г. ОКСУЗЯН

Описана методика определения фазовой протяженности сгустков по интенсивности излучения первых десяти гармоник частоты ускоряющего поля. Электронный пучок пролетает через набор прямоугольных волноводов и в каждом из них возбуждает основную моду на частоте одной из гармоник. По экспериментально измеренным значениям мощности излучения и расчетной номограмме определяется фазовая длина сгустка.

Если заряженная частица с зарядом  $q$  пересекает волновод прямоугольного сечения перпендикулярно к его оси, то потери энергии частицы на излучение  $TE_{mn}$ -волны равны [1]

$$S_{mn} = \frac{8 q^2 \varepsilon_m \pi^2 n^2 \sin^2(\pi n y_0 / b)}{a b^3 c^2 v^2 \lambda_{mn}^2} \operatorname{Re} \int_{c \lambda_{mn}}^{\infty} \frac{\sin^2 \left( \frac{\pi m}{a} - \frac{\omega}{v} \right) \frac{a}{2}}{\left[ \left( \frac{\pi m}{a} \right)^2 - \left( \frac{\omega}{v} \right)^2 \right]^2 \gamma_{m,n}} \omega^3 d\omega, \quad (1)$$

где  $v$  — скорость частицы,  $\varepsilon_m = 2$  для  $m \neq 0$  ( $\varepsilon_0 = 1$ ),  $m$  и  $n$  — целые числа, определяющие моду волны в волноводе,  $y_0$  — координата пересечения частицей широкой стенки волновода  $b$ ,  $a$  — узкая (по оси  $x$ ) стенка,  $\lambda_{mn} = \pi (m^2/a^2 + n^2/b^2)^{1/2}$ ,  $\gamma_{mn} = (\varepsilon \omega^2/c^2 - \lambda_{mn}^2)^{1/2}$ .

Поперечные размеры волновода и диэлектрическую проницаемость заполнения можно выбрать такими, чтобы в волноводе не могло возникнуть черенковское излучение [1]; тогда (1) будет определять только потери на переходное излучение.

Обычно электронный пучок в линейном ускорителе группируется в сгустки конечной протяженности, следующие с частотой ускоряющего поля. В [2] показано, что для сгустка, имеющего форму цилиндра с высотой  $2d_0$  (вдоль направления движения), радиусом  $r_0$  и плотностью заряда  $q_0$  форм-фактор может быть учтен заменой в (1)

$$q \rightarrow \frac{2 q_0 r_0 J_1 \left( \frac{\omega}{v} s r_0 \right)}{\frac{\omega^2}{v^2} s} \left( \sin \frac{\omega}{v} d_0 \right), \quad (2)$$

где  $s = (1 - \beta^2)$ .

Излучение совокупности  $M$  таких сгустков, расположенных на расстоянии  $2l$  друг от друга, равно

$$S^{(M)} = S^{(1)} \frac{\sin^2 \frac{M \omega}{v} l}{\sin^2 \frac{\omega l}{v}},$$



где  $S^{(1)}$  вычисляется по формуле (1) с учетом (2). Если число  $M$  достаточно велико, то в спектре излучения будут только частоты, кратные частоте группирования сгустков.

Пропустив пучок через набор прямоугольных волноводов, поперечные размеры которых выбраны таким образом, чтобы  $k$ -ая гармоника тока пучка возбуждала основную моду в  $k$ -ом волноводе, а  $(k-1)$ -ая гармоника была бы запредельной в нем, можем определить относительную мощность излучения  $k$ -ой гармоники

$$\frac{P_k}{P_1} = \frac{U_{k-1}^2(\chi)}{k^2} \frac{R_k}{R_1}, \quad (3)$$

где  $P_k$  — мощность и  $R_k$  — сопротивление излучения  $k$ -ой гармоники [3],  $U_k$  — полином Чебышева,  $\chi = \cos \theta/2$ ,  $\theta = 2 \frac{\omega}{v} d_0$  — фазовый угол сгустка. Значения  $R_k/R_1$ , рассчитанные по формуле (1), для выбранных размеров волноводов приведены в таблице.

Таблица

| $k$       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $R_k/R_1$ | 1,000 | 1,023 | 1,061 | 1,133 | 3,422 | 1,776 | 2,219 | 2,095 | 2,709 | 3,027 |

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Электронный пучок, ускоренный линейным ускорителем 1, поворачивается магнитным анализатором 3 на угол  $90^\circ$  и через коллиматор 4 ( $\varnothing - 2$  мм) попадает в контрольный волновод 5. Последний служит для измерения величины тока пучка на входе второго коллиматора 14 (см. [4]). После дополнительной коллимации в 14 пучок пролетает через набор волноводов 15. Величина тока, прошедшего через волноводы, измеряется цилиндром Фарадея 17. Измерение мощности излучения в волноводе осуществляется предварительно откалиброванными детекторными секциями 8. Для того, чтобы исключить ошибки, связанные с излучением  $(k+1)$ -ой и т. д. гармоник в  $k$ -ом волноводе, при лабораторных испытаниях детекторных секций настройка последних осуществлялась совместно с одно- или двухзвенными режекторными фильтрами.

Исследовалась зависимость  $P_k/P_1$  от фазовой длины сгустков. Фазовая длина сгустков изменялась посредством сдвига фаз между ускоряющими полями секций линейного ускорителя.

По формуле (3) была рассчитана зависимость  $P_k/P_1$  от  $\theta$  и построена номограмма для определения величины фазового угла в пределах от 0 до  $100^\circ$  (рис. 2). Пользоваться этой номограммой просто. Измеренные значения  $P_k/P_1$  наносятся на соответствующие оси. Фазовый угол является точкой пересечения оси  $\theta$  с прямой, проходящей через точки  $P_k/P_1$ .



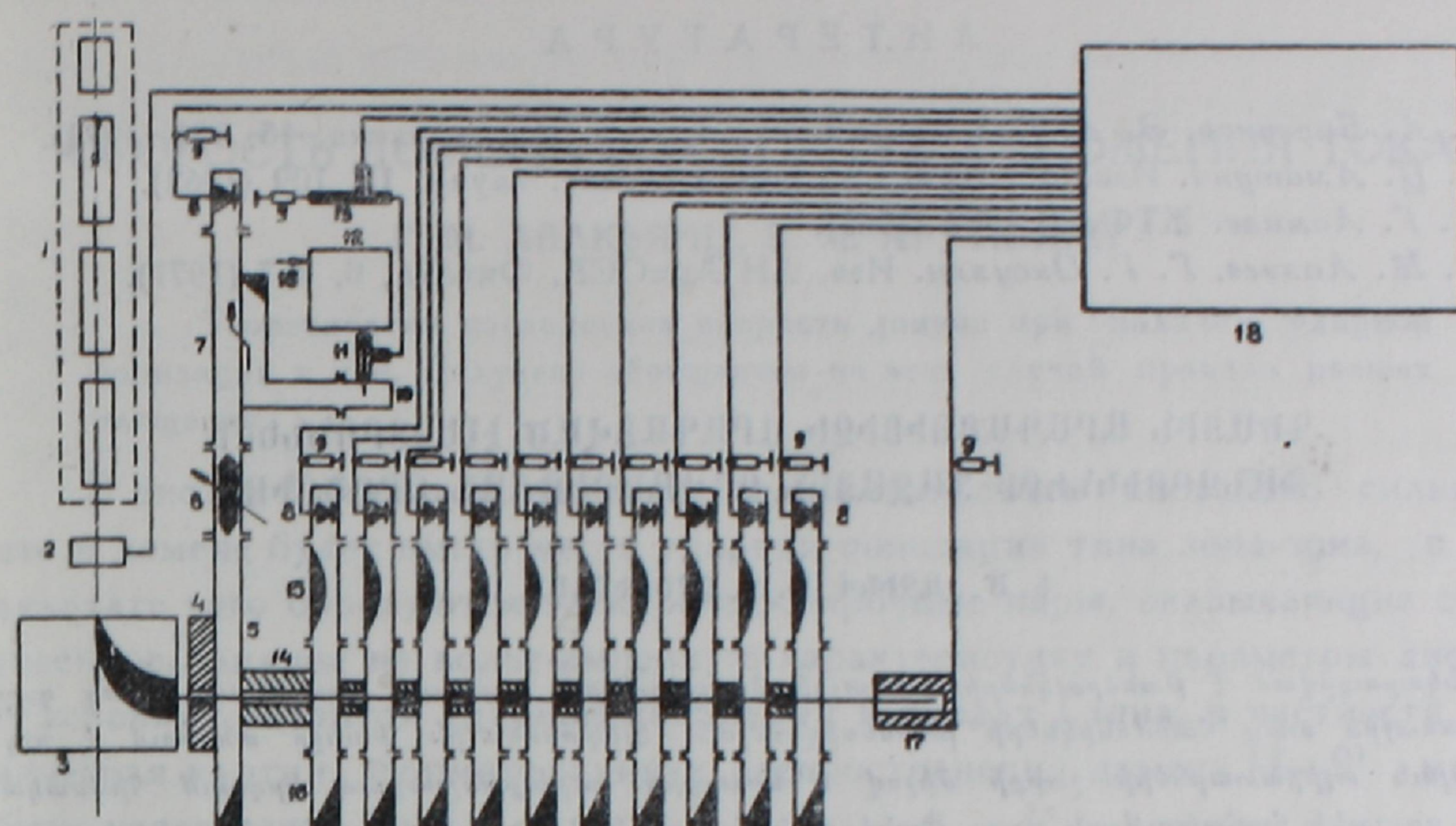


Рис. 1. Блок-схема установки: 1 — линейный ускоритель; 2 — резонатор, датчик интенсивности прямого пучка; 3 — заворачивающий магнит; 4, 14 — коллиматоры; 5 — контрольный излучатель; 6 — аттенюатор; 7 — направленный ответвитель для подачи тест-сигнала; 8 — детекторная секция; 9 — сопротивление нагрузки; 10 — коаксиально-волноводный переход; 11 — тройник; 12 — генератор тест-сигнала; 13 — коаксиальная детекторная секция; 15 — калиброванные аттенюаторы; 16 — волноводные согласованные нагрузки; 17 — цилиндр Фарадея; 18 — блок синхронизации и регистрации сигналов.

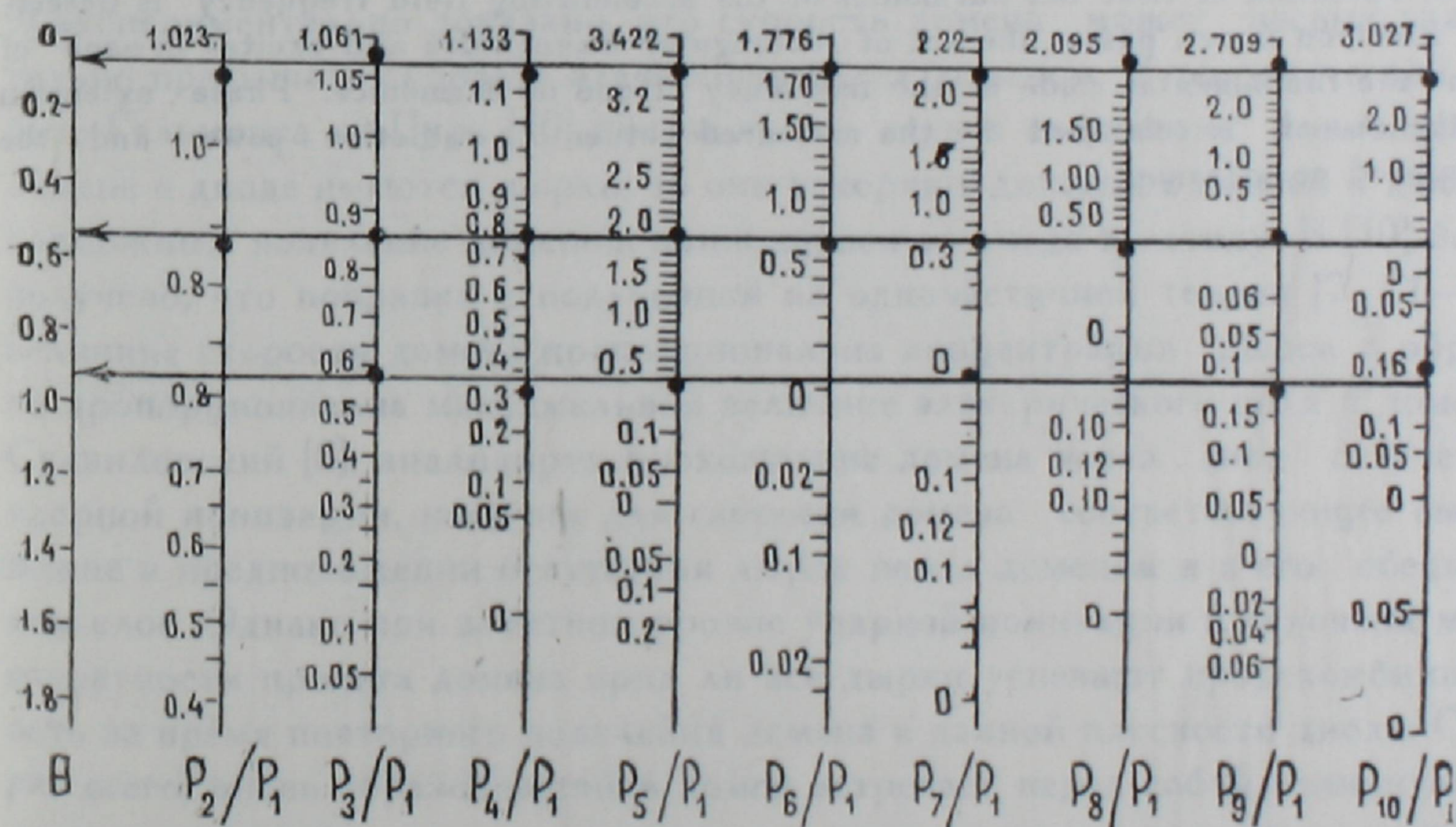


Рис. 2. Номограмма.

Максимальная измеренная фазовая длина сгустка не превышала  $50^\circ$ . Попытки увеличить ее за счет изменения сдвига фаз приводили к срыву ускорения. Минимальный фазовый угол, который удалось достаточно надежно измерить, был равен  $\sim 5^\circ$ . В последнем случае начинали сильно сказываться неустойчивости питающих напряжений.



## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Կ. Ա. Բարսուկով, Ջ. Դ. Գազյան, Ջ. Մ. Լազիև. *Радиофизика*, 15, 191 (1972).
2. Ա. Ս. Ամատունի. *Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. науки*, 15, 109 (1962).
3. Ա. Դ. Լոմիջե. *ЖТФ*, 31, 302 (1961).
4. Ջ. Մ. Լազիև, Դ. Դ. Օքսուջյան. *Изв. АН АрмССР, Физика*, 6, 467 (1971).

ԳԾԱՅԻՆ ԱՐԱԳԱՑՈՒՅԻՉԻ ԱՐԱԳԱՑՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ  
ԹԱՆՉՐՈՒԿՆԵՐԻ ՖԱԶԱՅԻՆ ԶԳՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Է. Մ. ԼԱԶԻԵՎ, Գ. Դ. ՕՔՍՈՒՋՅԱՆ

Նկարագրված է թանձրուկների ֆազային ձգվածության որոշումը ըստ արագացնող դաշտի առաջին տասն հարմոնիկների ինտենսիվության: Էլեկտրոնային փունջը անցնում է ուղղանկյուն ալիքատարների շարքի միջով և նրանցից յուրաքանչյուրում գրգռում հիմնական մոդը որոշակի հաճախության վրա: Թանձրուկի ֆազային ձգվածությունը որոշվում է ըստ ճառագայթման հզորության և հաշվարկային նոմոգրամի:

DETERMINATION OF PHASE EXTENSION OF ELECTRON  
BUNCHES IN LINEAR ACCELERATOR

E. M. LAZIEV, G. G. OXUZYAN

The procedure of the determination of phase extension of bunches by the intensity of radiation of first ten harmonics of the accelerating field frequency is described. Electron bunch passes the set of rectangular waveguides and excites in each of them the fundamental mode at the frequency of one of harmonics. Phase extension of the bunch is obtained by the measured values of radiation power and the calculated nomogramm.