

А. 93

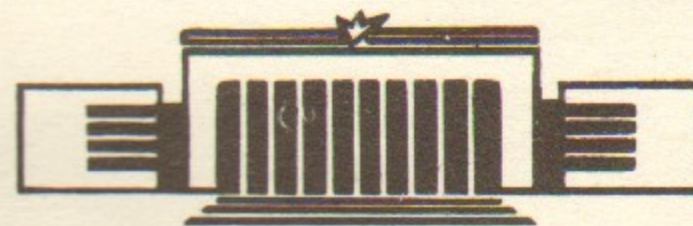
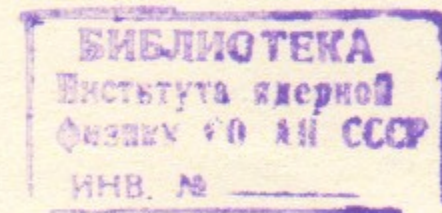
21



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

**В.М. АУЛЬЧЕНКО, Е.А. КУШНИРЕНКО.
ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТЫ ЧАСТИЦЫ
ВДОЛЬ ПРОВОЛОЧКИ В ДРЕЙФОВОЙ
КАМЕРЕ.**

ПРЕПРИНТ 84—37



НОВОСИБИРСК

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

В.М. АХМЕТЬЕВ, В.А. КУШНИРЕНКО
ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТЫ ЧАСТИЦЫ
ВДОЛЬ ПРОВОЛОЧКИ В ТЕРМОДИФУЗИОННОЙ КАМЕРЕ

ПРЕПРИТ 84-81

ИЗДАНИЕ 1984

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности метода регистрации продольной координаты прохождения частицы путем измерения токов на концах проволочки. Проведен анализ параметров, влияющих на величину погрешности измерения координаты; получено аналитическое выражение зависимости погрешности от этих параметров. Рассмотрена возможность использования анализаторов с изменяющейся шириной канала. Графически изображена связь между погрешностью измерения координаты, скоростью изменения ширины канала анализатора и числом его каналов при заданном динамическом диапазоне регистрируемых сигналов.

1. Оценка точности измерения координаты

Одним из методов определения координаты частицы вдоль проволоки в дрейфовой камере является сравнение сигналов на концах проволоки. При токе I , вызванном прохождением частицы, анализаторы (АИ), установленные на концах проволоки, регистрируют токи

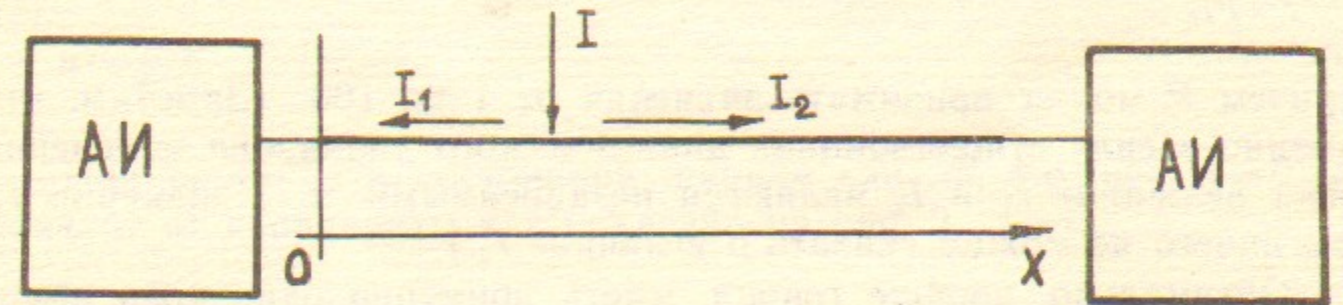


Рис. 1. Схема измерения продольной координаты прохождения частицы.

I_1 и I_2 (рис. 1), причем, если пренебречь входным сопротивлением анализаторов,

$$I_1 = I \frac{R_{\text{полн}} - R_{\text{лев}}}{R_{\text{полн}}}; \quad I_2 = I \frac{R_{\text{лев}}}{R_{\text{полн}}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{полн}}$ — полное сопротивление проволоки; $R_{\text{лев}}$ — сопротивление ее участка от левого конца до точки регистрации лавины от частицы.

Если проволока однородна, то

$$I_1(x) = I \frac{L-x}{L}, \quad (2)$$

$$I_2(x) = I \frac{x}{L}, \quad (2a)$$

где L — полная длина проволоки, x — отсчитанная от левого конца (рис. 1) координата регистрации лавины, вызванной прохождением частицы.

Измеряя с помощью анализаторов токи I_1 и I_2 , можно определить координату x из соотношения

$$x = L \frac{I_2}{I_1 + I_2} \quad (3)$$

Если токи I_1 и I_2 измерены с погрешностями σ_{I_1} и σ_{I_2} соответствен-

но, то погрешность измерения координаты x можно определить по формуле

$$\sigma_x = L \frac{I_1 I_2}{(I_1 + I_2)^2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_1}}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_2}}{I_2}\right)^2} \quad (4)$$

где L — по-прежнему полная длина проволоочки.

Величина тока I может изменяться от некоторого минимального значения I_0 до PI_0 , т.е.

$$I = PI_0 \quad (5)$$

причем P может принимать значения от 1 до 100. (Заметим, что именно в силу существования динамического диапазона изменения тока величины I_1 и I_2 являются независимыми, т.е. измерив I_1 , мы ничего не можем сказать о величине I_2 .)

Оптимально, вообще говоря, иметь примерно одинаково высокую точность измерения координаты для всех значений x и для любого P . Вводя относительную координату $\xi = x/L$, можно записать σ_x в виде

$$\sigma_x = L\xi(1-\xi) \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_1}}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_2}}{I_2}\right)^2} \quad (6)$$

В такой записи очевидно, что погрешность σ_x зависит как от координаты прохождения частицы, так и от относительной точности измерения токов I_1 и I_2 . Зависимость σ_x от x есть следствие выбранного метода измерения координаты в данной задаче и потому для оптимизации измерений (в указанном выше смысле) есть лишь одна возможность: организовать измерения так, чтобы σ_x при данном x не зависела бы от величин токов I_1 и I_2 , т.е. $\sigma_I/I = \text{const}$. В силу симметрии задачи естественно требование $\sigma_{I_1}/I_1 = \sigma_{I_2}/I_2$. Постоянство относительной ошибки измерения тока возможно лишь в случае отсутствия шумов, когда $\sigma_I = \alpha I$. В реальной ситуации представляется правильным условие, справедливое и для I_1 и для I_2 :

$$\sigma_I = \alpha I + i_{\text{ш}} \quad (7)$$

где $i_{\text{ш}}$ — шумовой ток, α — постоянный коэффициент.

В этом случае при малых I основной вклад в σ_I будет вносить неустранимая величина $i_{\text{ш}}$, а при $\alpha I \gg i_{\text{ш}}$ практически осуществляется условие $\sigma_I/I = \text{const}$. С учетом сказанного, используя формулы (6), (7), (2) и (2а), можно записать погрешность измерения

координаты в виде:

$$\sigma_x = L\xi(1-\xi) \sqrt{\left[\alpha + \frac{i_{\text{ш}}}{PI_0} \frac{1}{1-\xi}\right]^2 + \left[\alpha + \frac{i_{\text{ш}}}{PI_0} \frac{1}{\xi}\right]^2} \quad (8)$$

Все переменные, входящие в эту формулу, определены выше.

Ширину канала анализатора естественно выбрать совпадающей с σ_I ; величина α характеризует при этом скорость роста ширины канала анализатора. Параметр α удобно записывать в виде:

$$\alpha = \frac{i_{\text{ш}}}{I_0} K \quad (9)$$

При переходе к постоянной ширине канала, т.е. при $K=0$, σ_x зависит от координаты как показано на рис. 2.

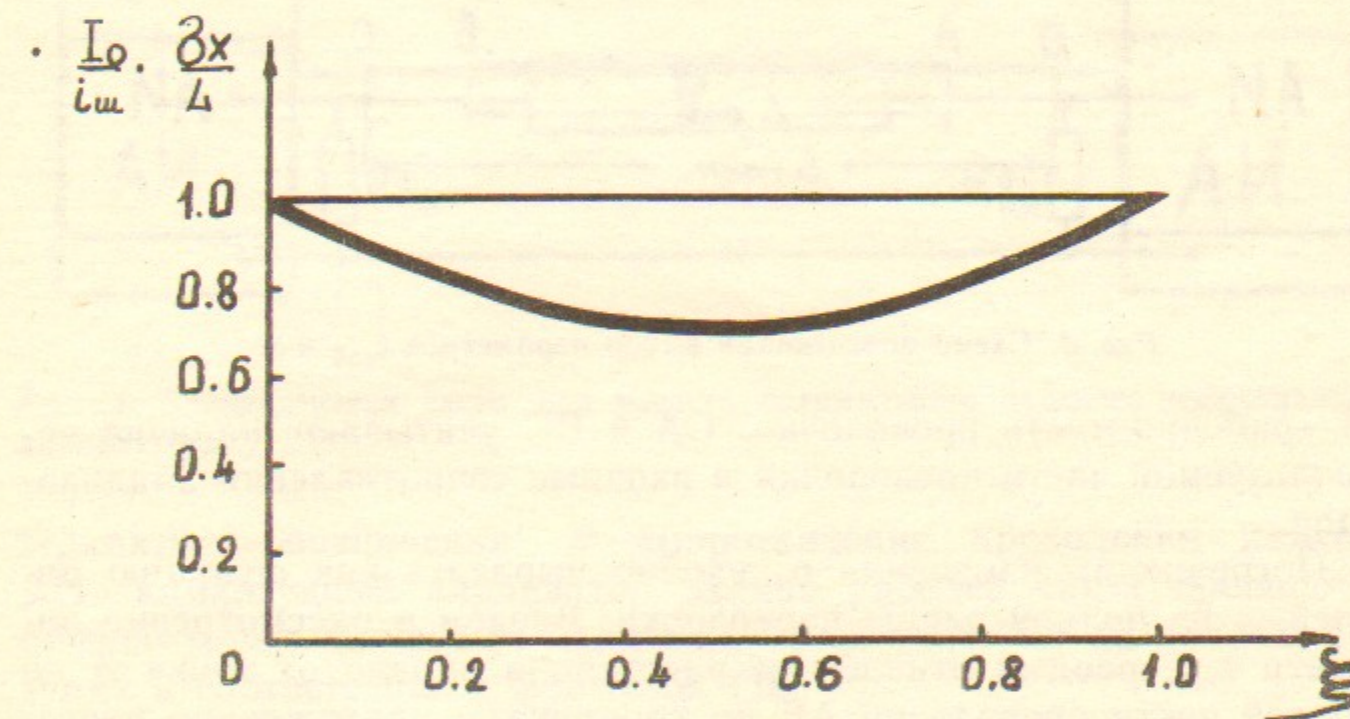


Рис. 2. Зависимость погрешности σ_x измерения координаты от ξ .

Заметим, что наилучшая достижимая точность при $I=I_0$ реализуется при $\xi=0,5$; в этом случае

$$\sigma_x = L \frac{i_{\text{ш}} \sqrt{2}}{I_0} \quad (8a)$$

Интересно, что при $I=I_0$ и $\alpha_0 = (i_{\text{ш}}/I_0)K_0$, где $K_0 = 2(\sqrt{2}-1)$, погрешность σ_x практически постоянна по всей длине проволоочки, и изменяется при разных ξ менее, чем на 3% от своего значения (рис 2). Очевидно, что если $\alpha = \alpha_0/P$, то при больших токах ($I=PI_0$) σ_x остается по-прежнему практически постоянной, но в P раз меньшей.

При заданном диапазоне изменения I_1 и I_2 число каналов анализатора зависит от ширины канала. Ясно, что чем больше α , тем меньше необходимое число каналов. Уменьшение α от α_0 до 0 при $I=I_0$ приводит лишь к незначительному уменьшению σ_x , тогда как число каналов анализатора (как будет показано ниже) заметно возрастает. Учитывая указанные особенности зависимости $\sigma_x(\xi, \alpha)$ и стремясь к уменьшению числа каналов анализатора при достаточно высокой точности, не сильно меняющейся в зависимости от ξ и P , естественно ожидать, что масштаб величины α , удовлетворяющей этим требованиям, определяется величиной α_0 .

Обычно рабочий участок проволоочки $L_{\text{раб}}$ составляет лишь часть ее полной длины $L_{\text{полн}}$ (рис 3).

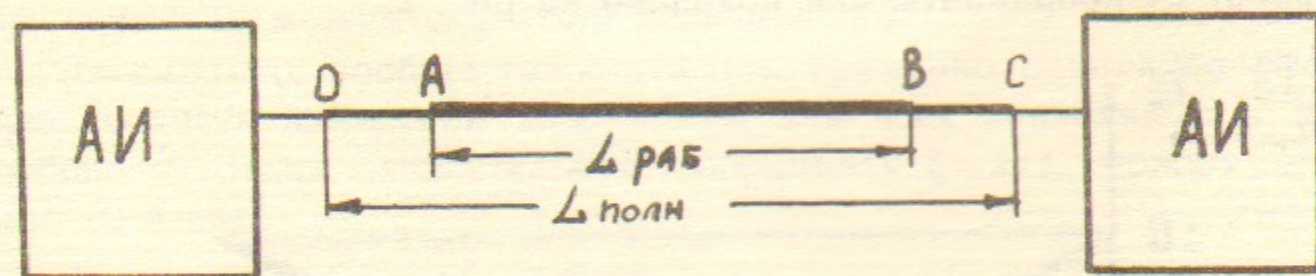


Рис. 3. Схема поясняющая выбор параметров $\xi_{\text{раб}}$ и γ .

AB—рабочая часть проволоочки. OA и BC учитывают наличие неиспользуемой части проволоочки и входные сопротивления анализаторов.

Погрешность измерения σ_x удобно выразить как функцию рабочей, а не полной длины проволоочки. Введем в рассмотрение параметр $\xi_{\text{раб}}$, равный отношению расстояния вправо от точки A по рабочей части проволоочки AB до координаты прохождения частицы (рис. 3) к $L_{\text{раб}}$. По определению $0 \leq \xi_{\text{раб}} \leq 1$. Обозначая

$$\gamma = \frac{L_{\text{полн}}}{L_{\text{раб}}} \quad (10)$$

с учетом определения $\xi_{\text{раб}}$ и соотношений (8) и (9), получаем:

$$\frac{I_0}{i_{\text{ш}}} \frac{\sigma_x}{L_{\text{раб}}} = \left[\gamma^2 - (1 - 2\xi_{\text{раб}})^2 \right] \times \sqrt{\left[\frac{K}{4\gamma} + \frac{1}{2P[\gamma + 1 - 2\xi_{\text{раб}}]} \right]^2 + \left[\frac{K}{4\gamma} + \frac{1}{2P[\gamma - 1 + 2\xi_{\text{раб}}]} \right]^2} \quad (11)$$

Все переменные, входящие в эту формулу, определены выше.

Проведем краткий анализ полученного соотношения. В силу симметрии задачи погрешность σ_x одинакова для точек, равноудаленных от середины проволоочки. С ростом величины регистрируемого тока (при росте P) σ_x уменьшается. Величина K определяет форму зависимости σ_x от $\xi_{\text{раб}}$. При $K=K_0/P$ σ_x практически не зависит от $\xi_{\text{раб}}$. При $K < K_0/P$ σ_x имеет минимум в середине проволоочки, достигающий самого малого значения при $K=0$. При $K > K_0/P$ σ_x в середине проволоочки достигает максимума. В обоих случаях $\sigma_x(\xi_{\text{раб}})$ —гладкая кривая без особенностей. Легко показать, что с ростом γ величина погрешности σ_x увеличивается.

Рассмотрим зависимость σ_x от величины входного сопротивления $R_{\text{вх}}$ анализатора. Схема измерения координаты по рассматриваемому способу изображена на рис. 4.

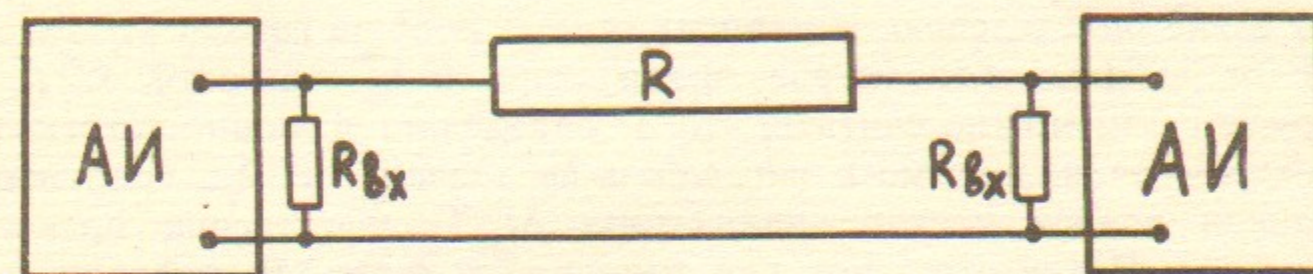


Рис. 4. Эквивалентная схема для расчета оптимального входного сопротивления анализатора.

Принятые обозначения: R —сопротивление проволоочки камеры, АИ—амплитудный анализатор. Длина рабочей части проволоочки обычно много больше ее неиспользуемых участков на концах. Поэтому в соответствии с формулой (10)

$$\gamma = \frac{R + 2R_{\text{вх}}}{R} \quad (12)$$

Шумовой ток $i_{\text{ш}}$ на входе анализатора дается известным (см., например, [1]) соотношением:

$$\sqrt{i_{\text{ш}}^2} = \sqrt{\frac{4K_1 T \Delta f (R + 2R_{\text{вх}})}{R_{\text{вх}} (R + R_{\text{вх}})}} \quad (13)$$

где T —температура; K_1 —постоянная Больцмана; Δf —рабочая полоса частот анализатора. При увеличении $R_{\text{вх}}$ величина $i_{\text{ш}}$ падает, а γ —растет. Так как погрешность измерения координаты σ_x воз-

растает при увеличении γ и падает при уменьшении $i_{ш}$, следует ожидать, что существует оптимальное значение $R_{вх}^0$, при котором погрешность измерения координаты минимальна. Для нахождения искомого значения $R_{вх}^0$ проведем преобразования формулы (11) с учетом (9), (12) и (13). Получим:

$$\frac{2PI_0}{A} \cdot \frac{\sigma_x}{L_{раб}} = \left[1 + 2y - \frac{\delta^2}{1+2y} \right] \times \\ \times \sqrt{\left[\kappa + \frac{(1+2y)^{3/2}}{(1+2y+\delta)\sqrt{y^2+y}} \right]^2 + \left[\kappa + \frac{(1+2y)^{3/2}}{(1+2y-\delta)\sqrt{y^2+y}} \right]^2} \quad (14)$$

где $y = \frac{R_{вх}}{R}$, $\delta = 1 - 2\xi_{раб}$, $\kappa = \alpha \frac{PI_0}{2A}$, $A = \sqrt{\frac{4K_1 T \Delta f}{R}}$

Величины, входящие в y , δ , κ и A определены выше. Заметим, что $\xi_{раб}$ по определению не зависит от $R_{вх}$. Вообще говоря, Δf зависит от входных параметров анализатора и в частности от $R_{вх}$. Вместе с тем можно считать, что Δf определяется лишь частотным спектром анализируемого сигнала и не зависит от $R_{вх}$, если предельная полоса частот анализатора $\Delta f_{ан}^{max}$ существенно превосходит Δf . Разумеется, что при реальной работе для уменьшения шума $\Delta f_{ан}$ ограничивается в соответствии с Δf сигнала. Однако для простоты поиска минимума σ_x по параметру y будем считать, что $\Delta f_{ан}^{max} \gg \Delta f$ и потому Δf не зависит от y . Найденная в этом приближении величина $R_{вх}^0$ подтверждает сделанное предположение.

Входящие в формулу (14) величины I_0 и A в любой конкретной задаче фиксированы. Оптимизация величины y должна проводиться для минимального тока $I_0 (P=1)$, так как именно в этих условиях требуется наибольшая тщательность в подборе параметров. С учетом сделанных замечаний ясно, что κ изменяется только вследствие изменения α .

Расчеты показывают, что минимальные значения σ_x достигаются при $R_{вх}^0$, зависящих от κ и от $\xi_{раб}$. Величина $R_{вх}^0$ монотонно убывает с ростом κ при любых $\xi_{раб}$. Разница в значениях $R_{вх}^0$ для середины и конца проволоочки менее 15% при $\kappa=0$; с ростом κ эта разница уменьшается. Если $I_0/i_{ш}=100$, то при $\kappa=0$ $R_{вх}^0=0,45R$; при $\kappa=1$ $R_{вх}^0=0,2R$; при $\kappa=5$ $R_{вх}^0=0,1R$. Погрешность σ_x увеличивается с ростом κ , так как он обусловлен увеличением α . Анализ полученной связи σ_x , $R_{вх}$ и R показывает, что для дальнейших оценок можно считать $R_{вх}^0=0,2R$, что соответствует $\gamma=1,4$.

2. Количество каналов анализатора.

Если ширина канала анализатора зависит от величины регистрируемого тока, количество каналов N , необходимое для регистрации сигналов от I_{min} до I_{max} , дается формулой:

$$N = \int_{I_{min}}^{I_{max}} \frac{dI}{\Delta(I)}, \quad (15)$$

где $\Delta(I)$ — ширина канала анализатора. Считая $\Delta(I) = \sigma_I$ и учитывая (7) и (9), получим:

$$N = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\alpha I_{max} + i_{ш}}{\alpha I_{min} + i_{ш}} \quad (16)$$

так как $I_{max} = PI_0 \frac{\gamma+1}{2\gamma}$, а $I_{min} = I_0 \frac{\gamma-1}{2\gamma}$, то

$$N = \frac{I_0}{i_{ш}K} \ln \frac{P(\gamma+1) + 2\gamma/K}{\gamma-1 + 2\gamma/K} \quad (17)$$

Видно, что N слабо зависит от γ и от P и почти гиперболически от скорости роста K ширины канала анализатора. При $K=0$ т.е. при постоянной ширине канала равной $i_{ш}$,

$$N = \frac{I_0 (P-1)\gamma + P + 1}{i_{ш} 2\gamma} \quad (18)$$

как и следовало ожидать.

3. Некоторые числовые оценки.

Чтобы получить представление о величинах погрешности измерения координат, о необходимом числе каналов при разных значениях параметров K , γ , P и $\xi_{раб}$, используем формулы (11) и (16). Для всех последующих таблиц и рисунков принято: $I_0/i_{ш}=100$; диапазон изменения γ от 1,1 до 3. Сравним σ_x при некоторых характерных значениях скорости увеличения K ширины канала для разных P и γ (таблицы 1, 2 и 3); аналогичное сравнение проведем для числа каналов N (таблица 4).

Таблица 1.

$\gamma=1,1; K=0$	$\sigma_x(\xi_{\text{раб}}P)$, выраженная в % $L_{\text{раб}}$					
$\xi_{\text{раб}}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$P=1$	1,0	0,96	0,90	0,83	0,80	0,78
$P=10$	0,1	0,096	0,090	0,083	0,080	0,078
$P=100$	0,01	0,0096	0,0090	0,0083	0,0080	0,0078

Таблица 2.

$\gamma=1,1; K=K_0$	$\sigma_x(\xi_{\text{раб}}P)$, выраженная в % $L_{\text{раб}}$					
$\xi_{\text{раб}}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$P=1$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
$P=10$	0,15	0,24	0,31	0,36	0,39	0,40
$P=100$	0,064	0,16	0,23	0,29	0,32	0,33

Таблица 3.

$\gamma=3,0; K=K_0$	$\sigma_x(\xi_{\text{раб}}P)$, выраженная в % $L_{\text{раб}}$					
$\xi_{\text{раб}}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$P=1$	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
$P=10$	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
$P=100$	0,80	0,84	0,86	0,88	0,90	0,90

Таблица 4

$\gamma=1,1$	Количество каналов N при разных значениях K				
P	$K=0$	$K=0,5K_0$	$K=K_0$	$K=2K_0$	$K=10K_0$
1	91	76	66	53	23
10	950	380	260	170	50
100	9500	900	530	300	80

В таблице 1 указаны вычисленные при $\gamma=1,1$ величины наименьшей погрешности σ_x , полученные при постоянной ширине канала анализатора ($K=0$). Обращает на себя внимание весьма заметное (как $1/P$) уменьшение σ_x при росте регистрируемого тока.

Видно также некоторое улучшение точности от края к середине проволоочки. В этой ситуации необходимое число каналов анализатора линейно растет с ростом динамического диапазона P и достигает почти 10 тысяч при $P=100$ (табл.4).

При увеличивающейся ширине канала анализатора ($K=K_0$) величина погрешности измерения координаты прохождения частицы гораздо меньше зависит от P , чем при постоянной ширине канала. Это обстоятельство отражено в таблице 2. Легко заметить также, что при $P=10, P=100$ и $K=K_0$, в отличие от $K=0$, σ_x меньше на краях, чем в середине проволоочки.

Сравнение таблиц 1 и 2 показывает, что $\sigma_x(K=0, P=1)$ мало отличается от $\sigma_x(K=K_0, P=1)$, однако количество каналов N при $P=100$ и $K=K_0$ составляет около 500 (табл. 4), что почти в 20 раз меньше, чем N при том же значении P и постоянной ширине канала анализатора. Таблица 2 показывает также, что при растущей ширине канала анализатора σ_x гораздо меньше зависит от P , чем при постоянной ширине канала, что и объясняет в основном различие в количестве каналов в этих ситуациях.

Сравнение таблиц 2 и 3 показывает, что σ_x , как и следовало ожидать, увеличивается с ростом γ .

Графически зависимость $\sigma_x(\xi_{\text{раб}}, K, \gamma, P)$ иллюстрируется рис. 5, 6 и 7.

На этих рисунках погрешность σ_x выражена также в процентах от рабочей длины проволоочки $L_{\text{раб}}$. На рис. 5 и 6 иллюстрируется зависимость σ_x от γ при одних и тех же значениях P . Сравнение рисунков 5 и 7 дает возможность увидеть зависимость σ_x от P при $\gamma=1,1$. Все комментарии, сделанные при анализе таблиц 1, 2 и 3, в равной мере относятся и к рисункам.

Рис. 8 дает представление о связи величин σ_x, K , и N при разных значениях P . Все кривые на этом рисунке построены при оптимальном значении $R_{\text{вх}}^0$, так что $\gamma=1,4$. Величина σ_x вычислена для середины проволоочки.

Для любого фиксированного P_1 (при выбранных $\xi_{\text{раб}}=0,5$ и $\gamma=1,4$) каждое значение K_1 определяет σ_{x1} и N_1 в соответствии с формулами (11) и (17), т.е. выбор K_1 определяет точку с координатами $(K_1, N_1(K_1, P_1), \sigma_{x1}(K_1, P_1))$. Изменяя K , получим при данном P_1 последовательность точек, лежащих на кривой $\sigma_x(K, N(P_1))$. Разные значения P задают семейство кривых, лежащих на поверхности $\sigma_x(K, N(P))$. Именно эта поверхность изображена на рис. 8. Любая точка на этой поверхности показывает,

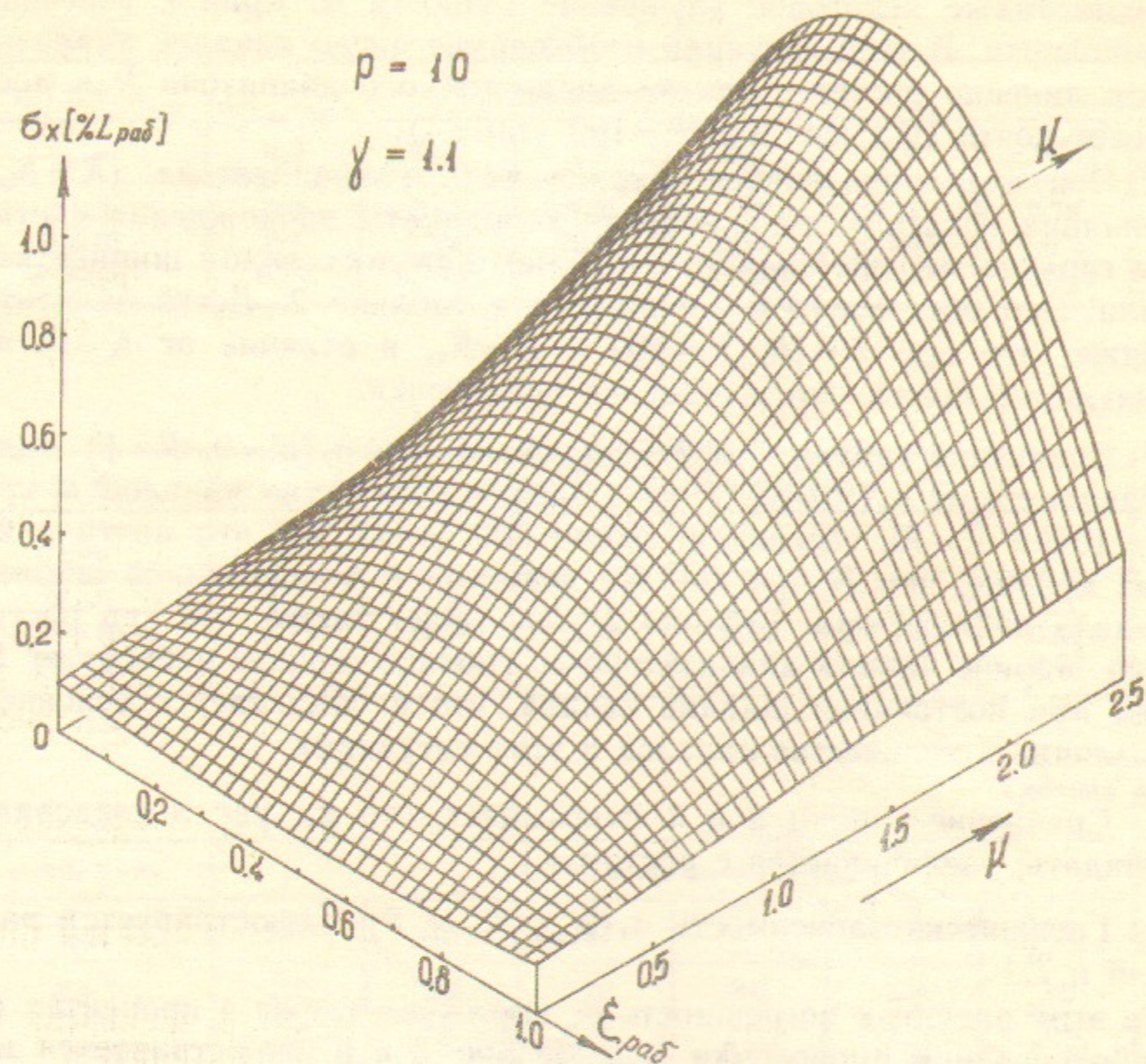


Рис. 5. Зависимость погрешности σ_x от $\xi_{раб}$ и K при $\rho=10$, $\gamma=1,1$.

какая точность определения координаты прохождения частицы реализуется при выбранных значениях K и $N(P)$. Заметим, что задание K и N определяет и величину тока PI_0 , к которой относится полученное выше значение $\sigma_x(K, P)$. Это значение P легко получить, разрешая соотношение (17) относительно P .

Для нахождения K и N , обеспечивающих достижение необходимой точности σ_x^* при заданном P^* , следует выполнить указанную ниже последовательность операций.

А). Определить предельно достижимую точность. Это весьма легко сделать, так как при $\xi_{раб}=0,5$ формула (11) существенно упрощается:

$$\frac{I_0}{i_{ш}} \frac{\sigma_x}{L_{раб}} = \frac{\sqrt{2}}{4} \gamma \left[K + \frac{2}{P} \right] \quad (19)$$

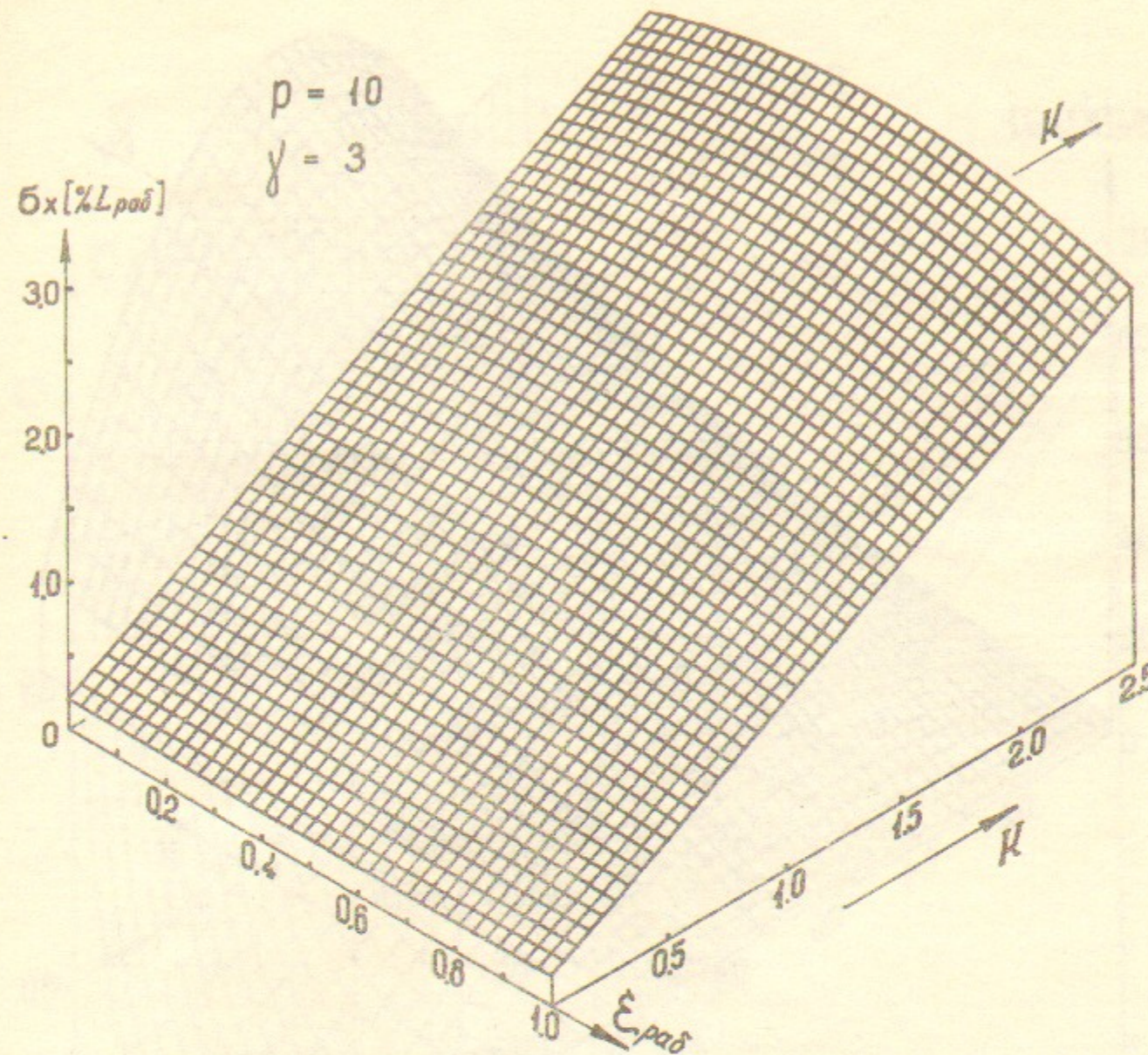


Рис. 6. Зависимость погрешности σ_x от $\xi_{раб}$ и K при $\rho=10$, $\gamma=3$.

Полагая $P=1$, $K=0$, $\gamma=1,4$ при $I_0/i_{ш}=100$, и выражая σ_x в процентах рабочей длины проволоки как и во всех предыдущих расчетах, имеем $\sigma_x^{min}=1$.

Б). Если допустимая погрешность $\sigma_x^* > \sigma_x^{min}$, найти по (19) при $P=1$ и $\gamma=1,4$ величину K^* , обеспечивающую получение требуемого значения σ_x^* в самых сложных условиях ($P=1$, самый малый рабочий ток):

$$K^* \approx 2\sigma_x^* - 2 \quad (20)$$

Прямая (20) изображена также на рис.9.

В). Если $K^* > K_0$, определить σ_x^* по формуле (19) при заданном P^* и найденном K^* . В плоскости $K=K^*$ по кривой, связывающей число каналов N и точность σ_x (рис.8), найти искомое число ка-

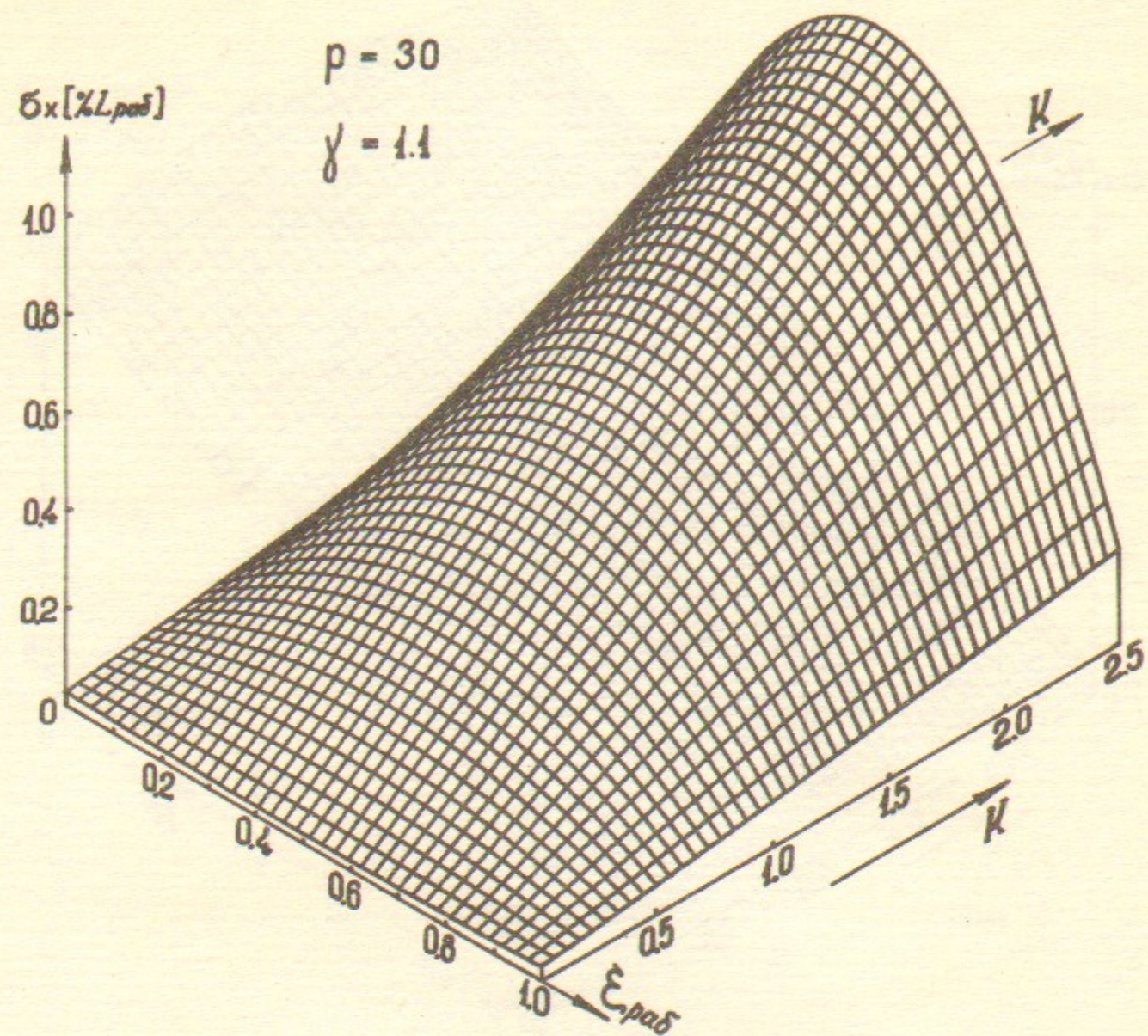


Рис. 7. Зависимость погрешности σ_x от $\xi_{\text{раб}}$ и K при $p=30$, $\gamma=1,1$.

налов N при $\sigma_x = \sigma_x^*(P^*)$. Найденные таким образом значения K^* и N^* обеспечат определение координаты прохождения частицы вдоль проволоки для любых $\xi_{\text{раб}}$ с точностью не хуже σ_x^* во всем динамическом диапазоне регистрируемого тока при оптимальном соотношении сопротивления проволоки и входного сопротивления анализатора.

Рассмотрим конкретный пример. Пусть требуется регистрировать продольную координату прохождения частицы с погрешностью σ_x , не превышающей $1,5\% L_{\text{раб}}$ при ожидаемом динамическом диапазоне $P^* = 50$. Считая, как и прежде, $I_0/i_{\text{ш}} = 100$, определить величину K^* и необходимое количество N^* каналов анализатора.

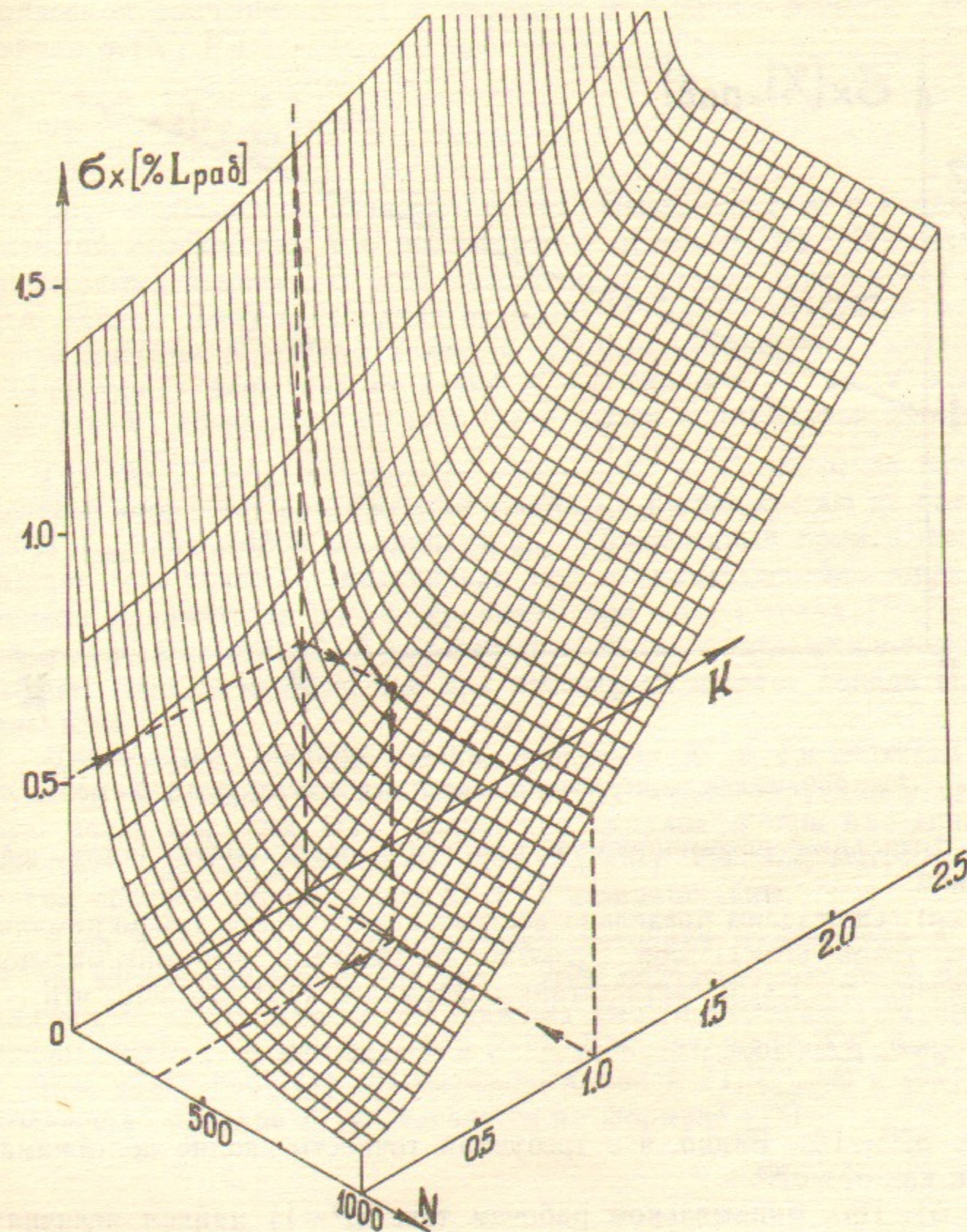


Рис. 8. Связь погрешности σ_x , K и N .

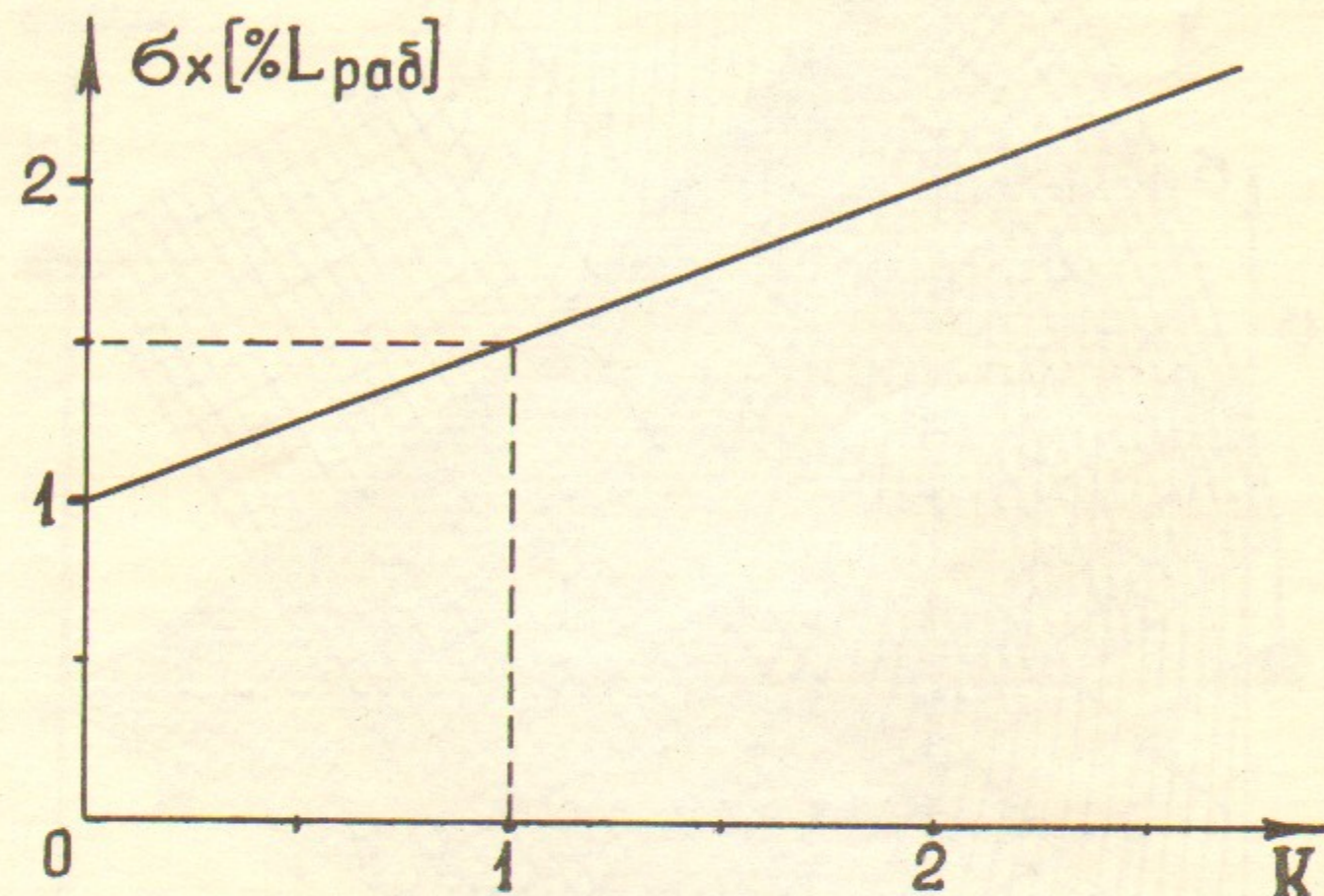


Рис. 9. Зависимость погрешности σ_x от K при $P=1$, $\xi_{\text{раб}}=0,5$, $\gamma=1,4$.

Выполним рекомендуемую для этого последовательность действий.

а). Определим предельно достижимую точность для минимальных токов ($P=1$) при $\xi_{\text{раб}}=0,5$, предполагая, что оптимальное значение $\gamma=1,4$. В соответствии с формулой (19) находим, что

$$\sigma_x^{\text{min}} = \frac{\sqrt{2}}{4} 1,4 \cdot 2 \approx 1$$

т.е. $\sigma_x^{\text{min}} = 1\%$. Видно, что требуемая точность вполне достижима, так как $\sigma_x^* > \sigma_x^{\text{min}}$.

б). При минимальном рабочем токе ($P=1$) найдем величину K^* обеспечивающую получение требуемого значения σ_x^* . Величину K^* можно найти как по графику, помещенному на рис. 9, так и по формуле (20).

$$K^* = 2 \cdot 1,5 - 2 = 1$$

Так как $K^* > K_0$, погрешность в любой точке проволоочки не больше, чем $\sigma_x(\xi_{\text{раб}}=0,5)$ (см. комментарий к формуле (11)).

в). Для оценки необходимого числа каналов анализатора при найденном значении $K^*=1$ и заданном $P^*=50$ по формуле (19) найдем $\sigma_x(K^*, P^*)$:

$$\sigma_x = \frac{\sqrt{2}}{4} 1,4 \left[1 + \frac{2}{50} \right] \approx 0,52$$

На рис. 8 обозначим плоскость $K^*=1$. Пересечение ее с координатными плоскостями и с поверхностью $\sigma_x = \sigma_x(K, N)$ обозначено штриховыми линиями. В этой плоскости на кривой зависимости σ_x от N найдем точку с координатой $\sigma_x = 0,52$. Соответствующее этой точке значение $N^*=350$ и является искомым количеством каналов. «Траектория» движения от точки $K^*=1$ (на оси K) до $N^*=350$ (на оси N) обозначена на рис. 8 стрелками и штриховой линией.

Так как $K^* > K_0$, найденные значения K^* и N^* обеспечат определение координат прохождения частицы с погрешностью не более $1,5\% L_{\text{раб}}$ для любой координаты $\xi_{\text{раб}}$. Приведенный пример показывает, что точность, получаемая при увеличивающейся ширине канала анализатора вполне сравнима при малых токах ($P=1$) с предельно достижимой. А количество каналов, необходимое в этом случае, гораздо меньше, чем при постоянной ширине канала анализатора.

Примечание. Вообще говоря, определив K^* в соответствии с пунктом Б), надо уточнить значение $\gamma_{\text{опт}}$, минимизируя по y правую часть формулы (14); количество каналов N при найденном значении $\gamma_{\text{опт}}$ вычисляется по формуле (17). Однако, получаемые таким образом поправки для K^* и N^* незначительны.

Если $K^* < K_0$, то указанная выше методика нахождения K^* и N^* не вполне корректна, так как в этом случае σ_x достигает максимума на краях проволоочки. Поэтому вместо формулы (19) надо использовать (11) при $\xi_{\text{раб}}=0$ и $P=1$. Для нахождения K^* следует решить уравнение (11) относительно K при $P=1$, $\xi_{\text{раб}}=0$ и $\gamma=1,4$; количество каналов N^* определяется по формуле (17).

4. Заключение.

В работе рассмотрены особенности метода регистрации продольной координаты прохождения частицы путем измерения токов, регистрируемых на концах проволоочки.

Проведен анализ параметров, влияющих на величину погрешности σ_x измерения продольной координаты прохождения частицы. Найдено аналитическое выражение зависимости σ_x от этих параметров.

Установлено наименьшее возможное значение σ_x^{min} , обусловленное особенностями метода при малых токах, вызванных прохождением частицы.

Показано, что анализаторы для измерения токов на концах проволоочки могут иметь увеличивающуюся ширину канала, пропорциональную величине измеряемого тока. При этом для малых токов погрешность σ_x лишь незначительно превосходит σ_x^{min} , тогда как необходимое количество каналов в этом случае гораздо меньше, чем при постоянной ширине канала.

Установлено, что для любого заданного значения тока, обусловленного прохождением частицы, можно найти такую скорость роста ширины канала анализатора, при которой σ_x не зависит от координаты частицы вдоль проволоочки.

Графически изображена связь между погрешностью σ_x измерения координаты прохождения частицы, скоростью изменения ширины канала анализатора и числом его каналов при заданном динамическом диапазоне регистрируемых сигналов.

Найдено оптимальное значение соотношения сопротивления проволоочки и входного сопротивления анализатора, при котором σ_x имеет минимум по этому параметру.

Авторы выражают глубокую благодарность Б.Л. Сысолетину за выполнение рисунков на графопостроителе, А.Г. Хабахпашеву и А.Д. Букину за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

Г.Ковальский Е. Ядерная электроника. Атомиздат, Москва, 1972.

В.М. Аульченко, Е.А. Кушниренко.

Измерение координаты частицы вдоль проволоочки в дрейфовой камере.

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Подписано к печати 23 марта 1984 г. МН 04191

Формат бумаги 60×90 1/16.

Объем 1,4 печ.л., 1,1 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 37.

Набрано в автоматизированной системе на базе фото-наборного автомата ФА-1000 и ЭВМ «Электроника» и отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11