

931/93
Беляков В. А.
Б2-1-92-561

344.1g +



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-1-92-561

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1992

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

52-1-92-561

В.А.БЕЛЯКОВ

ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ДВУХМЕТРОВОЙ ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ
С ПОМОЩЬЮ СНИМКОВ РАБОЧЕЙ ПЛЕНКИ

(депонированное сообщение)

28 12 92

Дубна, 1992 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

А Н Н О Т А Ц И Я

Описан новый подход к нахождению оптических параметров двухметровой пропановой пузырьковой камеры на основе снимков рабочей пленки.

Рассмотрено влияние разной толщины камерных стекол в обеих половинах камеры. Проанализированы варианты усреднений оптических параметров и усреднение пространственных координат по четырем хорошим измерениям. Определены условия для процесса съемки реперных крестов.

1. В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ создана и длительно эксплуатируется в различных пучках ускорителей двухметровая пропановая пузырьковая камера ТПК-500 [1]. С ее помощью получена большая физическая информация. Обработка полученной информации начинается с получения величин пространственных координат точек на треках в камере. Для восстановления координат необходим набор оптических параметров камеры. Методика получения этих параметров изложена в работах [2,3].

В данной работе излагается другой подход к нахождению оптических параметров. Новый подход имеет экспериментальный характер и несколько отличается от способа, изложенного в [2].

2. Отметим эти отличия:

а) Измерения системы реперных крестов в камере были проведены одним измерителем-оператором, а ранее привлекались несколько измерителей.

б) Измерения проводились на устройстве ПУОС (разрешение 10 мкм), соединенном с ЭВМ, а ранее на микроскопе УИМ-21 (разрешение 5 мкм).

в) Измерения крестов проведены по снимкам рабочей фотопленки, а ранее пользовались специальными фотопластинками (на стеклянной основе).

г) В качестве плотной жидкой среды в камере был использован холодный пропан (17°C , показатель преломления $n = 1.29$), а ранее использовалась дистиллированная вода ($n = 1.33$).

д) Для определения координат оптических осей на "прижимных" стеклах были использованы снимки крестов с воздушным наполнением камеры, а также снимки с наполнением камеры холодным пропаном. Ранее была простая процедура, так как съемка крестов с наполнением объема ТПК-500 воздухом и потом водой делалась на одну фотопластинку (один снимок).

Упомянутые отличия и необходимость учета нового количества крестов на дне камеры ("донные" кресты) потребовали существенной переделки оптических программ.

3. Измерения оператором на снимках проводились по одинаковой схеме независимо от наполнения объема камеры воздухом, холодным или нагретым пропаном (т.е. в рабочих условиях камеры):

- измерены 6 "прижимных" крестов на кадре,
- измерены 25 крестов на нижней поверхности камерного стекла на кадре ("камерные" кресты),
- измерены 40 крестов на дне камеры ("донные" кресты).

Однако в реальных условиях на дне камеры было измерено на снимках от первого объектива по 27 донных крестов, т.к. часть крестов не видна, а на снимках от второго и третьего объективов по 12 крестов, что создаст потом определенные трудности.

Для первой половины камеры количество измеренных кадров приводится в таблице I.

Таблица I

Объектив	Наполнение камеры		
	воздух	хол.пропан	нагр.пропан
I	10 кадров	11	19
II	10	17	19
III	10	15	10

Из таблицы видно, что число измеренных кадров было не одинаковым.

4. Приведем порядок расположения величин в трехмерном массиве (10,10,2), в котором содержится информация о реперных крестах с одного кадра:

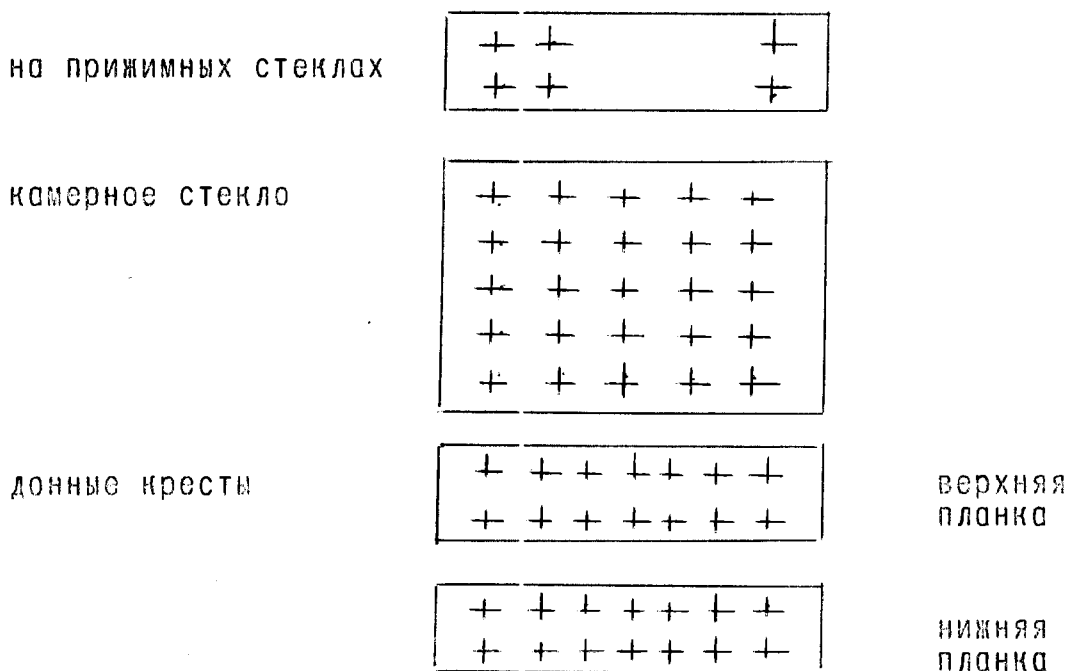
I) XY(1-10,...,...) - номера рядов с крестами

а) № 1 - кресты на "прижимных" стеклах,

б) № 2,3,4,5,6 - номера рядов с крестами на нижней поверхности большого камерного стекла (5 крестов в одном ряду), места для недостающих крестов заполняются нулями,

в) № 7,8,9,10 - номера рядов с "донными" крестами, причем № 7,8 для двух рядов "верхней" планки.

Расположение крестов:



п) XY(..., 1-10,...) - количество крестов в одном ряду,

ш) XY(..., ..., 1-2) - для X-проекции креста берется "1",
для y - проекции креста берется "2"

5. Последовательность нахождения оптических констант разбивается на этапы:

а) Определение координат X_{F0}, Y_{F0} оптических осей объективов на "прижимных" стеклах с помощью программы OPTAXE и минимизации

I функционала $X\Upsilon FILM$.

б) Найденные из (а) величины координат XFO и ΥFO в качестве констант используются в следующей программе OPTICS и другом функционале $X\Upsilon SF$ для определения координат оптических осей на нижней поверхности толстого камерного стекла.

в) Величины координат XSO и ΥSO , полученные при минимизации II функционала, используются как константы для нахождения масштабных коэффициентов M_0 , α_1 , α_2 уменьшения изображения треков от нижней поверхности камерного стекла до плоскости фотопленки с помощью III функционала AMA1.

г) Параметры M_0 , α_1 и α_2 , найденные в (в), используются как константы для поиска масштабных коэффициентов N_0 , β_1 , β_2 уменьшения треков от плоскости данных крестов до плоскости - нижняя поверхность камерного стекла (IV функционал NBETA).

В 1977 году была предложена другая математическая процедура - программа [4] нахождения оптических параметров, которая использовалась также и в 1987 г. - включение всех четырех функционалов в один большой функционал. Как недостаток отметим возникающую при этом подходе взаимную корреляцию искомых оптических параметров. Если в 1977 году поиск оптимальных параметров этим и закончился, то в 1987 году для улучшения качества решения в программу [4] как константы были введены величины координат оптических осей на "прижимных" стеклах XFO , ΥFO , предварительно найденные при работе программы по пункту 5°(а).

б. Съемка реперных крестов проводилась в январе 1987 года. В первой половине ТПК-500 толщина камерного стекла составляла 151 мм (марка стекла К-8, $n = 1.516$), а во второй половине камеры толщина стекла была 153 мм (К-8, $n = 1.516$). Разница в толщине стекол $d = 2$ мм приводит к дополнительному смещению изображений точек

трека на фотопластинке. Из схемы хода лучей с учетом величины "d" получаем величину дополнительного смещения "Δ" изображения на фотопленке

$$\Delta = \frac{d}{M} \cdot \sin \alpha \cdot \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

где M - масштаб уменьшения (в среднем M = 10.65 из расчетов),

α - угол между вертикалью к камерному стеклу и ходом луча в рабочем объеме камеры,

n - показатель преломления стекла.

Используя размеры из схемы оптической системы ТПК-500 [2], рассмотрим два случая:

а) крайний ход луча при α = 27°

Δ = 0.028 мм (или 0.026 мм с учетом хода луча от плоскости с донными крестами),

б) средний ход луча при α = 15°

Δ = 0.016 мм (0.015 мм с учетом хода луча от плоскости с донными крестами).

Таким образом, наличие более толстого стекла во второй половине ТПК-500 на 2 мм приводит на снимке к сдвигу точек на 28 мкм (самый неблагоприятный случай) или на 16 мкм (средний случай). Эти сдвиги превышают ошибку измерения на снимке, равную 10 мкм. Из этого следует, что

а) усреднение измерений по 6 объективам камеры делать не нужно,

б) для каждой половины камеры надо определять свой набор оптических параметров, т.е. иметь два набора программы ГЕОФИТ [5].

7. Подробный анализ измерений, проведенных на ПУОСах, показал, что в основном измерения сделаны профессионально хорошо со средне-квадратичной ошибкой измерений на фотопленке Δx = 10 мкм. Однако при измерении одних и тех же крестов, но на разных кадрах (число измерений крестов повторялось до 19 раз, см. пункт 3°) разброс

в измерениях координат крестов доходил до 200 мкм, что недопустимо много.

Отклонение 200 мкм на фотопленке соответствует 2 мкм в пространстве ТПК-500. Поэтому использовать подряд все имеющиеся измерения было нежелательно. При этом учитывалось то обстоятельство, что в своей значимости оптические параметры являются базовыми исходными данными, которые должны быть определены с повышенной точностью.

Кроме того при измерениях на ПУОСе для оператора-измерителя было введено одно упрощение, которое затрудняло использование результатов измерений физиком.

Если крест по какой-либо причине отсутствовал, то вместо засылки нулей (или другого условного заранее числа) записывались результаты измерений следующего по порядку креста. Иногда отсутствовали подряд несколько крестов, что приводило к нестандартному сдвигу в записи измерений.

Наличие указанных выше трудностей привело к необходимости распечатать измерения всех крестов в первой половине камеры, "возвратить" измерения крестов на свои места (пользуясь этими распечатками) и постараться отобрать хотя бы по пять хороших измерений с каждого объектива по каждому из трех заполнений камеры, т.е. трех режимов.

8. Опыт по восстановлению места для записи измерения крестов показал, что без смещения измерений имелись ряды № 4 (камерное стекло), № 10 (донные креста) и кресты на "прижимных" стеклах. В этих рядах из 16 крестов \times 2 координаты ненулевых оказалось 29 координат. У каждой координаты креста по всем измерениям (10-19 измерений) были определены: среднее значение координаты \bar{x} , дисперсия \sqrt{D} и среднеквадратичное отклонение Δx .

По всем измерениям для отбора лучших измерений применялись два варианта отбора:

Первый: Отбор конкретных измерений x_c , попавших в интервале от $\bar{x} - 10$ мкм до $\bar{x} + 10$ мкм, где 10 мкм - экспериментально определенная точность измерений ПУОСа для данных измерений.

Для режима "нагретый" пропан по всем трем объективам не удалось набрать чистых пяти измерений, у которых по 29 координатам все величины x_c одновременно попали бы в интервал $\bar{x} \pm 10$ мкм. В небольшом числе отдельных измерений пришлось допустить отклонение до 3 мкм выхода измерений за интервал $\bar{x} \pm 10$ мкм.

Второй: Отбор конкретных измерений x_c , попавших в интервал от $\bar{x} - \sqrt{\Delta}$ до $\bar{x} + \sqrt{\Delta}$, где $\sqrt{\Delta}$ чаще всего была не более 10 мкм. Если имелся выброс больше $3\sqrt{\Delta}$, то это измерение удалялось и вновь определялось \bar{x} , $\sqrt{\Delta}$ и Δx .

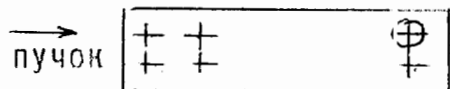
Для режима "воздух" и "холодный" пропан были отобраны кресты на прижимных стеклах и первые левые кресты четырех донных рядов. Проверка была сделана по 10 крестам к 2 координаты. Ненулевых значений координат оказалось 17. И в этом случае не нашлось хороших пяти измерений. В небольшой части измерений пришлось допустить отклонение от интервала $\bar{x} \pm \sqrt{\Delta}$ на 1,2 или 3 мкм. В дальнейших расчетах на ЭВМ одно измерение (I объектив, II измерение) пришлось забраковать. Оставшиеся четыре измерения были обчислены по полной программе получения оптических констант.

9. При отборе пяти хороших измерений проверке подвергалась небольшая часть крестов - это был быстрый экспресс-анализ.

Прежде чем приступать непосредственно к дальнейшему расчету на ЭВМ подлежало тщательно проверить качество измерений координат всех крестов на снимках рабочей пленки в отобранных пяти хороших измерениях.

С этой целью перед обчетом измерений крестов по программе OPTAXE (новое название AXAW40) была составлена вспомогательная программа FAAW40 и перед обчетом по программе OPTICS (новое название OPT87A) вспомогательная программа FTPL40.

По обоим программам FAAW40 и FTPL40 (у каждой был свой исходный числовой материал) измерения всех крестов (прижимных, камерных и донных) из системы координат ПУОСа переводились в систему координат прижимных крестов, а точнее в точку $x(1,3)$, $y(1,3)$ (первая строка, третий столбец):



Потом с помощью вспомогательных программ FAAW40 и FTPL печатались координаты X и Y всех крестов (в мм), а также в определенном порядке все взаимные вертикальные и горизонтальные расстояния между крестами (отдельно для прижимных, для камерных и для донных крестов).

Так как нанесение всех крестов на стеклах и на донных пластках подчинялось строгому определенному порядку и взаимные расстояния в натуре были заранее известны, то это обстоятельство и было использовано для поиска неточностей в измерениях и при переносе измерений на перфокарты (расчеты велись на ЭВМ БЭСМ-6).

Действительно, при ~~вспомогательном~~ ^{внимательном} просмотре выдачи FAAW40 и FTPL40 было замечено небольшое количество величины, явно выпадающих из ряда чисел, характеризующих строгую последовательность в измерениях крестов. Не составило большого труда исправить замеченные неточности.

Такой способ выявления ошибок в измерениях и при переносе измерений на перфокарты был проведен в трех сеансах (из пяти) определения оптических параметров в 1972, 1977 и 1988 годах.

10. В соответствии со способом определения координат оптических осей на прижимных стеклах на один кадр надо было сфотографировать все кресты, наполнив вначале объем камеры воздухом, а потом водой или холодным жидким пропаном. На этом была основана работа программы ОРТАХЕ.

В данном сеансе определения оптических констант такая процедура была предусмотрена и сделана. На кадре № 65 дважды сфотографированы все кресты ТПК-500: вначале при заполнении объема воздухом и второй раз холодным ($t \approx 17^\circ\text{C}$) жидким пропаном. Была подготовлена инструкция как измерять кресты на этом снимке. Однако измерения на кадре № 65 не были проведены.

Взамен этого кадра были измерены несколько кадров других при заполнении воздухом и еще другие кадры при заполнении холодным жидким пропаном. Теперь предстояла задача совместить измерения крестов, сделанных при заполнении воздухом с измерениями крестов при заполнении холодным жидким пропаном. Вновь составленная вспомогательная программа получила название FAAW40.

В этой программе предусматривались два варианта решения задачи совмещения измерений:

I вариант - решение задачи совмещения до конца.

Вначале измерения "воздух" и "холод" переводились в систему координат своих прижимных крестов (первый перевод), а затем система координат "воздух" со всеми данными измерений крестов переводилась в систему координат "холод" (второй перевод). Анализ результатов двойного перевода показал, что совмещение значений одних и тех же крестов не получается (разброс до нескольких мм на фотопленке).

II вариант - решение задачи не до конца. После перевода измерений "воздух" и "холод" в свои системы координат прижимных крестов (первый перевод) выяснилось, что величины координат крестов в пределах ошибок измерений хорошо совпали на фотопленке. Получился эффект - как будто измерения "воздух" и "холод" были сделаны с одного кадра.

Эти измерения и были использованы для определения координат оптических осей на прижимных стеклах, а сама программа вместо названия OPTAXE была переименована в AXAW40.

Программа AXAW40 рассчитана на введение 40 донных крестов и 10 измерений. Число 40 для крестов и 10 для числа измерений взяты с запасом и могут быть при необходимости увеличены (что определяется оперативной памятью ЭВМ).

11. После завершения подготовки и проверки качества измерений по программе FAAW40 были сделаны расчеты по программе AXAW40 для определения величин координат оптических осей на прижимных стеклах. В таблице II приведены результаты расчетов и их сравнение с результатами расчетов 1971 года [2] в мм. Ошибки приведены средне-квадратичные. Экспериментальная оценка показала, что $\sqrt{\sigma} \approx 3 \Delta x$. В пределах $3\sqrt{\sigma}$ результаты расчетов 1971 года и 1988 года хорошо совпадают.

Таблица II

	I объектив		II объектив		III объектив	
	X	Y	X	Y	X	Y
1971 г.	43.8942 ±0.0234	-0.7550 ±0.0337	-0.675 ±0.017	0.7123 ±0.0328	22.3378 ±0.0330	-0.5774 ±0.0276
1988 г.	43.413 ±0.031	-0.0383 ±0.040	-0.803 ±0.022	0.730 ±0.036	22.484 ±0.053	-0.528 ±0.043

12. Значения величин координат Z_{mc} для донных крестов (т.е. высоты рабочего объема камеры в местах расположения донных крестов) измерялись экспериментально с точностью 0.5 мм. Это были расстояния между донными пластинами и нижней поверхностью камерного стекла. Эти расстояния Z_{mc} являются опорными и используются для сравнения с вычисленными $Z_{рсс}$, чтобы оценить качество вычисляемых оптических параметров.

Схема крестов на донных пластинах и величины Z_{mc} (в мм)

+	+	+	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	+
357.3	356.5	355.6	355.1	354.8	354.8	354.9	354.3	354.6	355	355	355.1	355.1	354.7

"верхняя"

+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
358.2	358.5	358	357.7	357.1	356.6	356.7	354.9	354.9	354.9	354.8	354.9	355.1	355.3

I половина ТПК-500

II половина ТПК-500 "нижняя"

Из рис. 1 видно, что для Z_{mc} в первой половине камеры ТПК-500 расстояния от боковых донных пластинок до камерного стекла не совпадают (разница ≈ 2 мм). Это обстоятельство в дальнейшем вызовет определенные трудности. Во второй половине ТПК-500 расстояния от боковых донных пластин (условно назовем их "верхняя" и "нижняя") до нижней поверхности камерного стекла практически совпали.

13. В названии оптической программы OPT87A включено число 87 как год создания программы для отличия данного варианта программы от предыдущих (расчеты с ее помощью проведены в 1988 году).

Отметим некоторые особенности программы OPT87A:

- вводится величина Z_{mc} для каждого донного креста (для контроля правильности ввода делается распечатка Z_{mc}),

- вывод на печать (по желанию физика) из выражения $\chi_i^2 = F_i / SIG_i$ величины числителя F_i (обычно величина F_i близка к нулю и варьируется около нуля),

- вывод на печать после окончания процесса минимизации числа итераций, достигнутой точности (задается $\epsilon = 0.01$), величины χ^2 , величин подобранных параметров, числа использованных крестов и т.д.,

- экспериментальным подбором начальных значений искомых параметров число итераций сводилось к одной или двум,

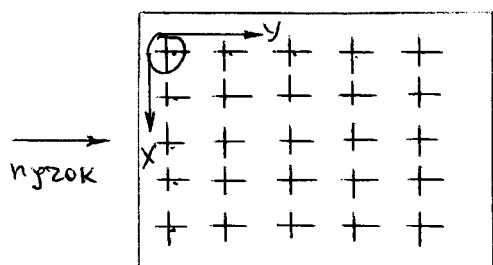
- для минимизации функционалов использовалась программа FUMILI, у которой выдача приведена в более удобную форму,

- пределы изменения начальных значений параметров были взяты равными 100% (или более) величины самого начального значения параметра,

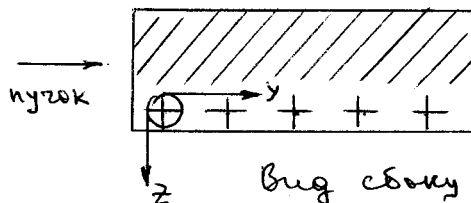
- величины подобранных параметров фактически не менялись, если вместо индивидуальных значений $Z_{\text{экс}}$ было использовано среднее значение $\bar{Z}_{\text{экс}} = 356.04$ мм.

В программе OPT87A предусмотрена по желанию физика дополнительная подробная печать промежуточных результатов, которая неоднократно использовалась для отладки программы.

Выдача сводной таблицы для величин оптических параметров (в мм) делается в системе координат с началом отсчета в первом камерном кресте (первый ряд, первый столбец):



Вид снизу на камерное стекло



Вид сбоку на камерное стекло

В этой системе координат выдаются на печать и кресты, расположенные на донных пластинах. Сами пластины (небольшие по ширине) расположены внутри рабочего объема камеры внизу вдоль левой стороны

ТПК-500 и вдоль правой стороны. Обе пластины прикрывают сверху болты в нижней части камеры, на которых возможно в процессе работы закипание. В дальнейшем предполагалось, что если кресты с донных пластин будут успешно использованы для определенных оптических констант в специальной съемке, то их можно будет использовать и в любой момент при работе ТПК-500 (если кресты будут достаточно хорошо видны).

Назначение отдельных частей программы:

- COORD A - обеспечивает определение среднего арифметического значения всех крестов по числу измерений.
- MEAN A - обеспечивает вычисление среднего значения найденных параметров с учетом весов $W_i = 1/\Delta_i^2$, где Δ_i - ошибка параметра i .
- SPACEA - обеспечивает расчет и распечатку всех крестов отдельно по рядам, внутри ряда по объективам I, II и III, внутри объектива по 5 крестам, внутри одного креста по координатам X, Y, Z.

При 4 измерениях в распечатке 6 строк.

- 1) I измерение,
- 2) II измерение,
- 3) III измерение,
- 4) IY измерение,
- 5) координата, посчитанная с помощью усредненных оптических параметров с весами,
- 6) среднее арифметическое от 4 значений, т.е. по 4 измерениям.

При хорошо найденных оптических параметрах величины координат в строчках № 5 и № 6 на практике очень близки в пределах своих ошибок.

14. В результате работы программы AXAW40, OPT87A и их вспомогательных программ были получены координаты оптических осей на прижимных стеклах XFO и YFO, на нижней поверхности камерного стекла XSO и YSO, масштабные коэффициенты от камерного стекла M_0 , α_1 , α_2 и от поверхности донных крестов N_0 , β_1 и β_2 [6].

Равномерное варьирование величины F_i около нуля и ее малая по модулю величина указывали на нормальное завершение процесса минимизации. Число итераций для нахождения XSO и YSO было равным 1 или 2 и достигнута заданная точность в нахождении искомых параметров. Аналогичные оценки качества минимизации были получены для результатов по параметрам M_0 , α_1 , α_2 , N_0 , β_1 , β_2 . Число использованных крестов для определения XSO, YSO, M_0 , α_1 , α_2 составило от 19 до 24. Для определения параметров N_0 , β_1 , β_2 по паре объективов № 1,2 было использовано 27 крестов на донных пластинах, а для пар объективов № 1,3 и № 2,3 по 12 крестов на одну пару объективов. Для каждого объектива (в их паре) определялся свой набор величин N_0 , β_1 , β_2 . Таким образом для нахождения 6 параметров N_{0L} , β_{1L} , β_{2L} , N_{0R} , β_{1R} , β_{2R} приходилось по 12 крестов для пар объективов № 1,3 и № 2,3.

15. Для проверки качества найденных оптических параметров [6] были посчитаны пространственные координаты камерных и донных крестов и распечатаны. В полученной таблице для координат надо было для начала проверить поведение координаты Z , так как относительно ее величины мы заранее имели информацию:

- на нижней поверхности камерного стекла $Z = 0$,
- на донной поверхности координаты Z должны быть равны введенным заранее величинам $Z_{\text{ккс}}$.

Это достигается сравнением чисел U и UI строках (см. пункт 13°).

В UI строке выдачи координат крестов приводится среднее арифметическое от четырех измерений. Естественно ожидать,

что величина координаты Z (или X или Y) в U строчке (посчитанная с помощью усредненных оптических параметров) будет иметь значение в пределах величин, определенных четырьмя измерениями.

Действительно так и получилось для камерных крестов. В небольшом числе случаев расхождение между величинами в U и UI строчках составило от 20 мк до 150 мк, а подавляющее число случаев имело полное совпадение величин координат X , Y , Z в U и UI строчках.

Но для донных крестов в 21 случае из 53 координата Z , полученная с помощью усредненных оптических параметров, явно вышла за пределы, определяемые четырьмя измерениями (отклонение до 8 мм). Для 17 донных крестов из 53 расхождение между величинами в U и UI строчках составило от 20 мкм до 300 мкм.

Для пары объективов № 1,2 совпадение величин в U и UI строчках оказалось полным, а все отмеченные расхождения пришлись на координаты, полученные с помощью пар объективов № 1,3 и № 2,3.

Среди величин χ^2 при этом не было аномальных значений:

для X_{SO}, Y_{SO} $\chi^2/1 \text{ ст. св.}$ от 0.051 до 0.147,

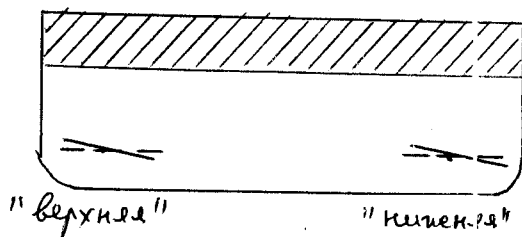
для M_0, α_1, α_2 $\chi^2/1 \text{ ст. св.}$ от 0.027 до 0.781,

для N_0, β_1, β_2 $\chi^2/1 \text{ ст. св.}$ от 0.016 до 0.143

для всех трех пар объективов.

16. Был проведен анализ результатов минимизации по координате Z . Кресты, которые расположены на "верхней" и "нижней" донных пластинках (назовем их так условно), вначале использовались совместно - назовем "пластины вместе". На рисунках № 2,3,4,5 показано соответствие высот (т.е. координаты Z) и номеров крестов на данной пластинке. Из рисунков видно, что после процесса минимизации для пары объективов

№ 1,2 - обе планки повернулись вокруг своей продольной оси



стекло камеры

Вид на ТПК-500 со стороны
входа пучка

Края пластинок "отклонились" на расстояние около 1 мм относительно горизонтального положения.

№ 1,3 - частично поворот пластинок вокруг своей продольной оси или отклонение одного конца на 1-1.5 мм от соответствующего значения $Z_{ис}$.

№ 2,3 - для "нижней" пластинки отклонение одного конца пластинки на 2-3 мм.

Таким образом, объединение в один функционал математического описания пластинок, расположенных на разных высотах при $\Delta Z = 2$ мм, в процессе минимизации приводит к тому, что отклонение величин одних параметров в одну сторону скомпенсировалось отклонением других параметров в противоположную сторону (пара объективов № 1,2 на рис. 2,3,4,5). Чтобы такой эффект не проявлялся, нужно математическую обработку данных с обеих пластинок разделить и перейти в режим обработки "пластинки врозь".

Такая процедура была проведена. Если для пары объективов № 1,2 число крестов разделилось на 14 и 13 и этого числа крестов было достаточно для определения 6 параметров, то для пар объективов № 1,3 по № 2,3 число крестов на каждой пластинке стало по 6 при 6 параметрах. Минимизации как таковой не получилось:

- величина χ^2 стала стремиться к нулю (например, были получены величины $\chi^2 = 3 \cdot 10^{-6}$, $2 \cdot 10^{-9}$, $2 \cdot 10^{-6}$, $2 \cdot 10^{-9}$, $2 \cdot 10^{-6}$, $5 \cdot 10^{-3}$),

- резко исказились величины координат (например, $X=19.8$ мм вместо 27 мм и т.д.),

- величины искоемых параметров вышли из разумных пределов (например, $N_{oL} = -0.0056$ вместо ожидаемой величины 0.077 и т.д.).

Так как для нормальной процедуры минимизации число крестов должно быть больше числа искоемых параметров, а число крестов (их 6) увеличить нельзя, то пришлось уменьшить число параметров (отбросив члены с Z^4):

$$\left. \begin{aligned} N_L &= N_{oL} + \beta_{1L} Z^2 + \beta_{2L} Z^4 \\ N_R &= N_{oR} + \beta_{1R} Z^2 + \beta_{2R} Z^4 \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{aligned} N_L &= N_{oL} + \beta_{1L} Z^2 \\ N_R &= N_{oR} + \beta_{1R} Z^2 \end{aligned}$$

Отметим, что в среднем $\beta_1 \approx 1/550$ от N_o ,
 $\beta_2 \approx 1/20700$ от N_o .

Измененный вариант оптической программы на 4 параметра $N_{oL}, \beta_{1L}, N_{oR}, \beta_{1R}$ получил название ОР97А.

Результаты минимизации оказались успешными (число итераций 1-2, χ^2 от 0.11 до 0.45).

Было получено для "верхней" пластины:

объектив I $N_o = 0.076470 \pm 0.000795$
 $\beta_1 = -0.000098 \pm 0.000038$

объектив II $N_o = 0.079395 \pm 0.006011$
 $\beta_1 = 0.000059 \pm 0.000636$

объектив III $N_o = 0.073751 \pm 0.008331$
 $\beta_1 = 0.000145 \pm 0.000081$

Величины N_o и β_1 приводятся по объективам, а не по парам объективов, так как усреднение по объективам для последующего использования усредненных величин N_o, β_1 делается в программе геометрической реконструкции ГЕОФИТ.

Для "нижней" пластины:

объектив I $N_0 = 0.076235 \pm 0.005797$

$$\beta_1 = -0.000239 \pm 0.000649$$

объектив П $N_0 = 0.075751 \pm 0.000836$

$$\beta_1 = -0.000087 \pm 0.000042$$

объектив Ш $N_0 = 0.074943 \pm 0.007433$

$$\beta_1 = -0.000251 \pm 0.001129$$

На рисунках № 6,7,8,9 для четырех измерений показано соответствие высот (т.е. координат Z) и номеров крестов на донных пластинках. Из рисунков видно, что после процессов минимизации для обеих пластин и всех пар объективов имеем хорошее, а в некоторых случаях и полное совпадение $Z_{\text{ис}}$ и вычисленное $Z_{\text{рас}}$ для всех четырех измерений.

Однако величины координат Z , рассчитанные с помощью усредненных по объективам величин N_0 и β_1 (имитация ГЕОФИТа) дали только удовлетворительное согласие с величинами $Z_{\text{ис}}$. В частности, для "верхней" пластины практически полное совпадение $Z_{\text{рас}}$ и $Z_{\text{ис}}$ для крестов имеем для пар объективов № 1,2, хуже для № 1,3 и плохое согласие для № 2,3 (см.рис. № 10 и № 11).

~~17. Использование оптических параметров, определенных в других сеансах, к успеху не привело.~~

Подстановка величин оптических параметров N_0 и β_1 , определенных для "верхней" пластины, для получения $Z_{\text{рас}}$ крестов "нижней" половины, привела к большому отклонению от $Z_{\text{ис}}$ на 3-35 мм для всех пар объективов.

Для "нижней" пластины всех четырех измерений использование величин N_0 , β_1 , β_2 от расчетов 1987 года показало отклонение $|z_{рас} - z_{ис}|$ на 1-5 мм для всех пар объективов (см.рис. № 12, № 13, № 14, № 15).

Большое несовпадение (до 10 мм) получилось при сопоставлении $z_{рас}$ и $z_{ис}$ в случае использования оптических параметров, полученных в 1977 году [4] для всех пар объективов.

18. Подводя итоги, можно отметить, что для координаты z только измерения от пары объективов № 1,2 обеспечивают надежную реконструкцию координаты во всем объеме камеры.

Для координат X и Y никаких ограничений от номера объектива не имеется.

Автор выражает глубокую благодарность профессору М.И.Соловьеву за консультации и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Р.Валандин et al NIM v.20 p. 110 (1963)
2. Нгуен Дин Ты и др. ОИЯИ, 13-5942 (1971)
3. Беляков В.А. Депонированное сообщение ОИЯИ Б2-1-92-550
4. Беляков В.А. и др. ОИЯИ, P13-1145 (1977)
5. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, 1-5140 (1970)
6. Беляков В.А. и др. Сообщение ОИЯИ,
P1-92-560, Дубна
(1992)

Зависимость $Z_{\text{экс}}$ от номеров
крестов.

I половина
камеры

II половина
камеры

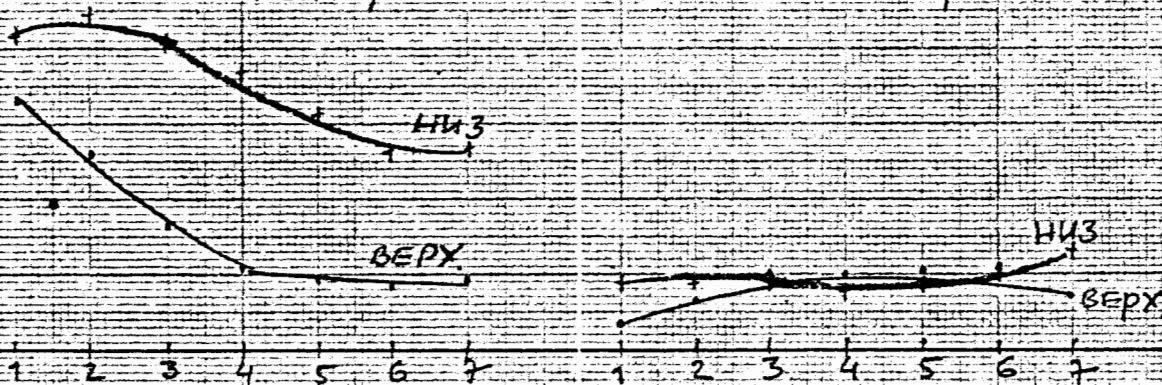
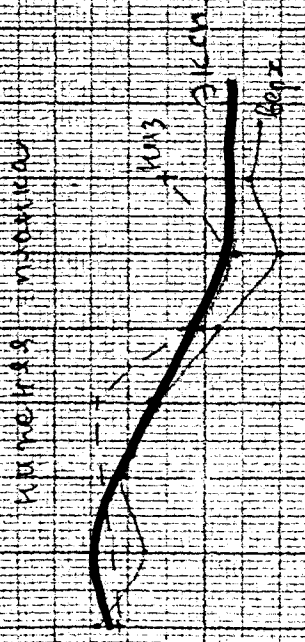


Рис 1.

ТАПА ОБЪЕКТА 30 Б

12

h:



на высоте 357 м

1003

1003

1003

2 3 4 5 6 7 8 9 10 M

13



1 2 3 4 5 6 7 8 9

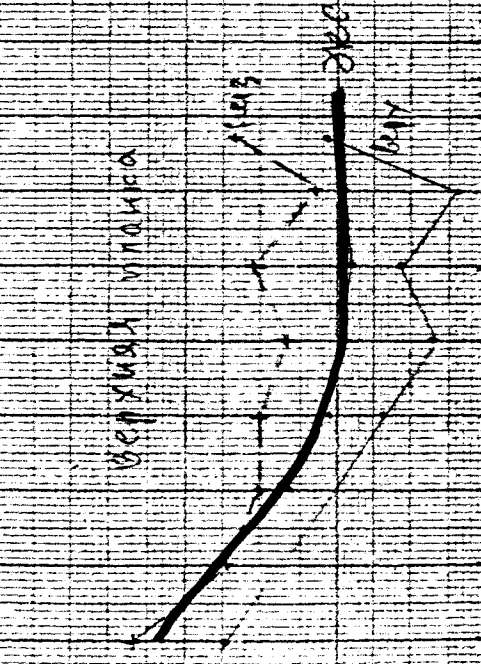
14



1 2 3 4 5 6 7 8 9

ТАПЫНГА

МАШИН
БУКВЕТ



на высоте 357 м

1003

1003

2 3 4 5 6 7 8 9 10 M

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 M

5 6 7 8 9 10 M

1 2 3 4 5 6 7 8 9

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

ТАРА ОБЪЕКТУБОС

12

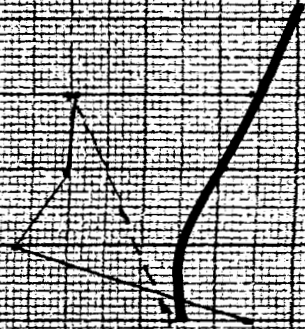
МАМАКША МАККА



13

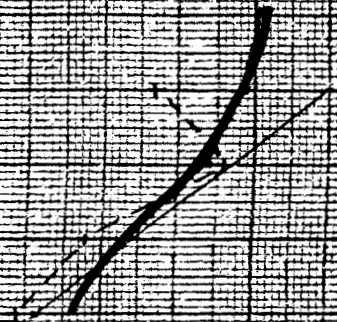
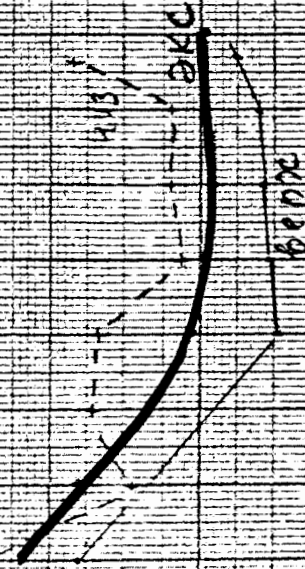


12



Туз. илфунду
Мамакша
Билекте

БЕРХ МАМАККА



PVC

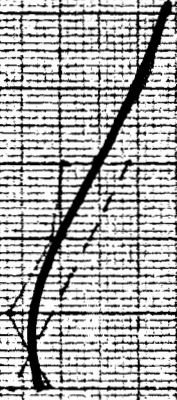
ПАРА ОБЪЕКТОВЪ

(12)

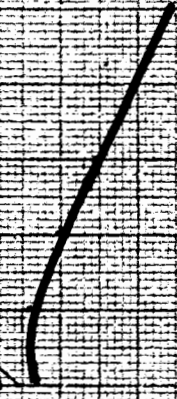
ПРАВУХА ПНАККА



(13)



(32)



III УСЛУ-е
ПРАВУХА
ЗЕРА

ПРАВУХА ПНАККА

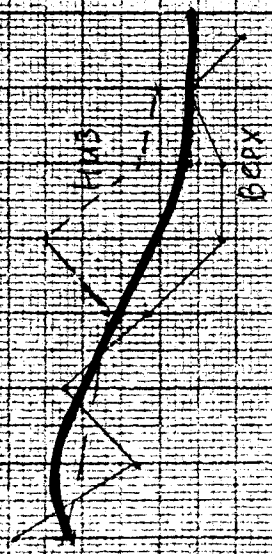


ПНАКА

12
 13
 32
 Магнетрон
 Магнетрон
 Магнетрон

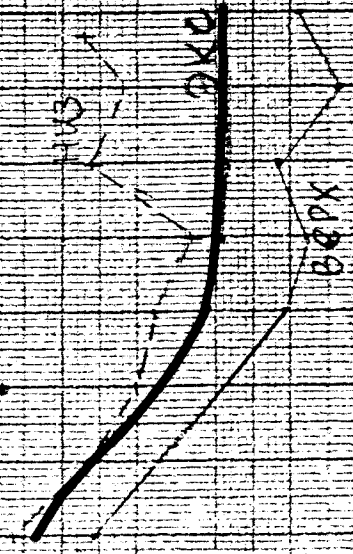
12

ЛУКХТЯ ПАНКА



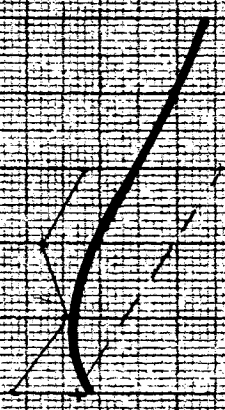
1 2 3 4 5 6 7 8

ДЕПХ КЯЯ ПАНКА



1 2 3 4 5 6 7 8

13



1 2 3 4 5 6 7 8

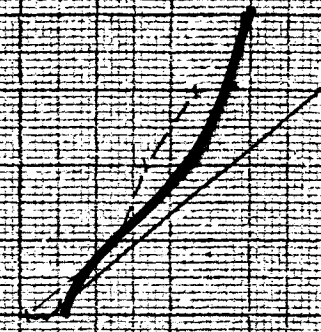


1 2 3 4 5 6 7 8

32



1 2 3 4 5 6 7 8



1 2 3 4 5 6 7 8

РМЦ 6

ПЛАНА ОБЪЕКТА

№ 12

БУХИРИ

360

359

358

357

356

355

354

353



1 2 3 4 5 6

12

ПЛАНА

360

359

358

357

356

355

354

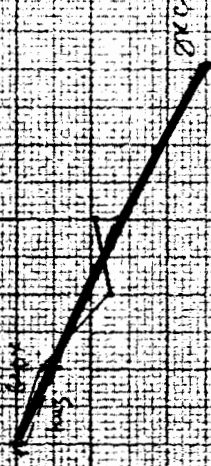
353



1 2 3 4 5 6

13

13
I узме-е
ПЛАНА
БРОЈ



1 2 3 4 5 6

№ 13

БЕРХИ

358

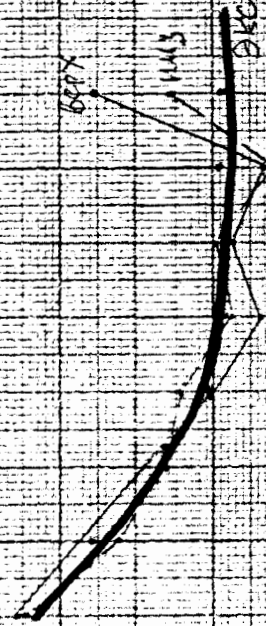
357

356

355

354

353



1 2 3 4 5 6

ПЛАНА
БРОЈ

ПВК 6

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

ПОДА
ОБЪЕКТАМ

(12)

III УСЛУГ

№

360

359

358

357

356

355

354

353

ПЛОСКОСТЬ ПЛАТКА



1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

БЕДХИЯ

ПЛАТКА

№

358

357

356

355

354

353

ПЛОСКОСТЬ ПЛАТКА



1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

(32)

III УСЛУГ

№

360

359

358

357

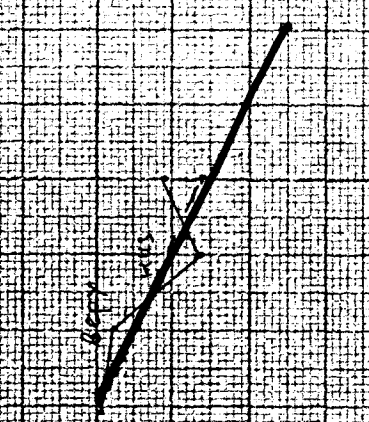
356

355

354

353

ПЛОСКОСТЬ ПЛАТКА



1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

БЕДХИЯ

ПЛАТКА

№

358

357

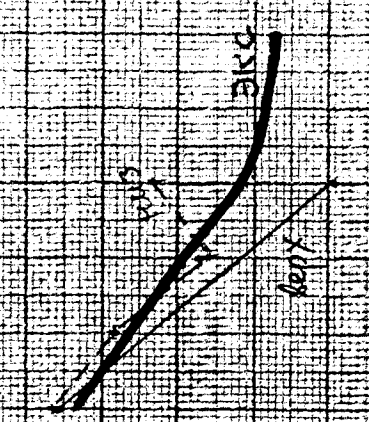
356

355

354

353

ПЛОСКОСТЬ ПЛАТКА



1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

ТАРП
СУБЪЕКТИВНОС

(12)

360
359
358
357
356
355



СУКХИЯС

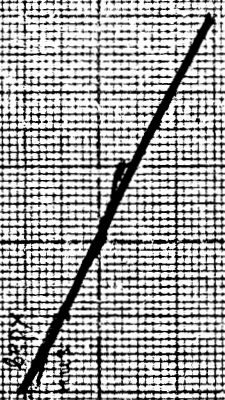
(13)

ТААФИКА



(32)

III КЛАСС
АУДИОМ
87-036



358
357
356
355
354
353



БЕРХИЯС

ТААФИКА



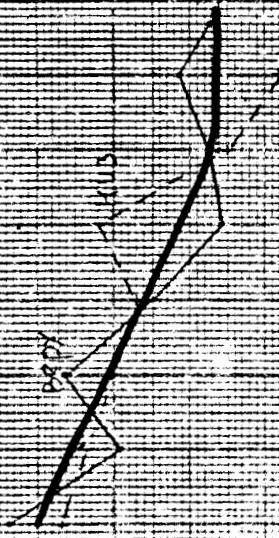
359
358
357

360
359
358
357
356
355

ЛІПА
ОПТЕКТУБО

(112)

ЛУКОВИЙ



№
ЛМ

360

359

358

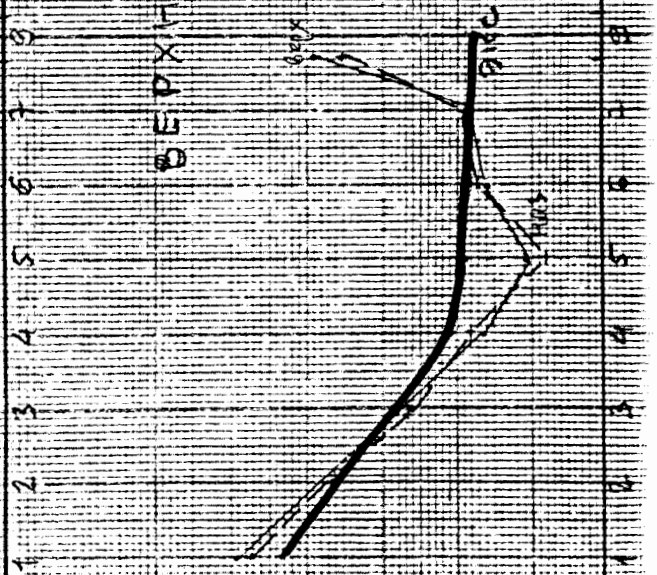
357

356

355

354

353



№
ЛМ

358

357

356

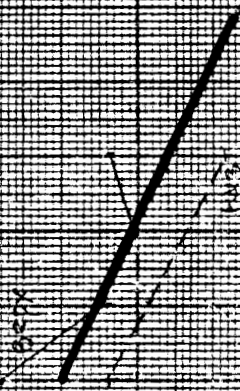
355

354

353

(113)

ПРАТКА



(113)

№
ЛМ

360

359

358

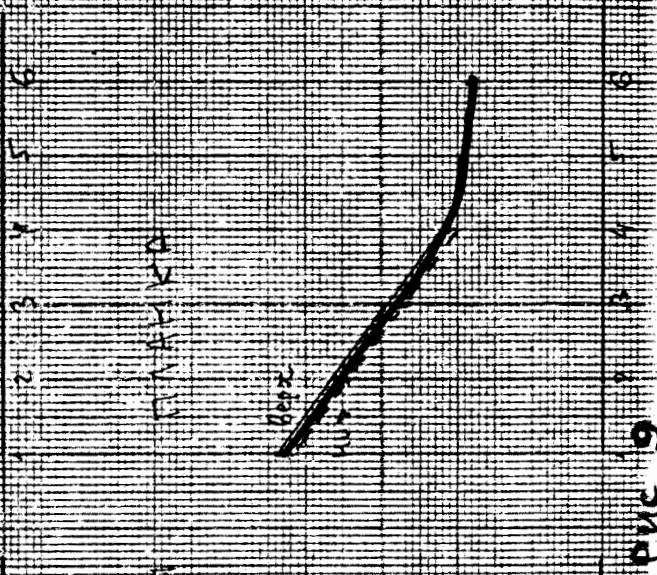
357

356

355

354

353



№
ЛМ

358

357

356

355

354

353

(112)

ІРІСНІЕ
ПІСМАН
ЛІНІЯ



(112)

№
ЛМ

360

359

358

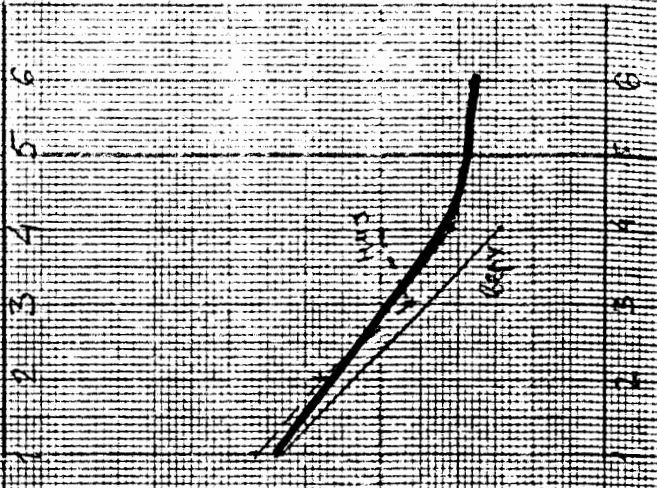
357

356

355

354

353



№
ЛМ

358

357

356

355

354

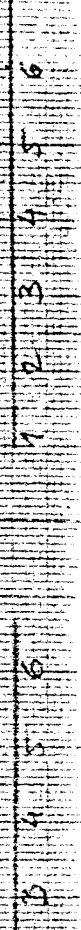
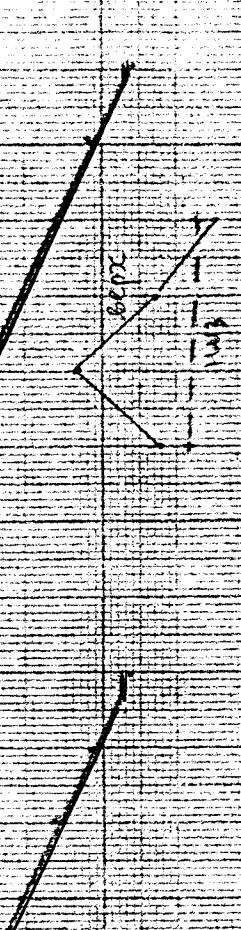
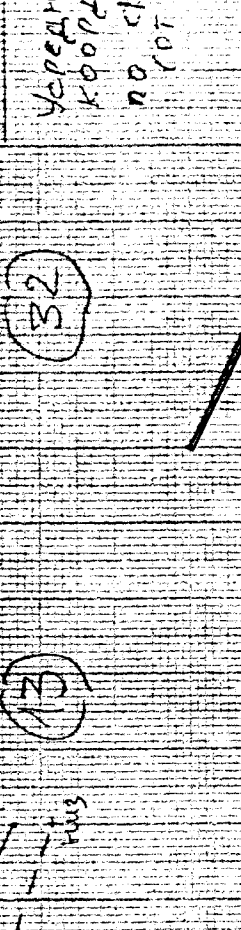
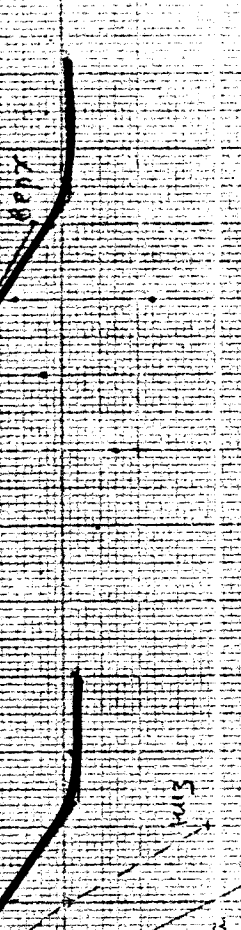
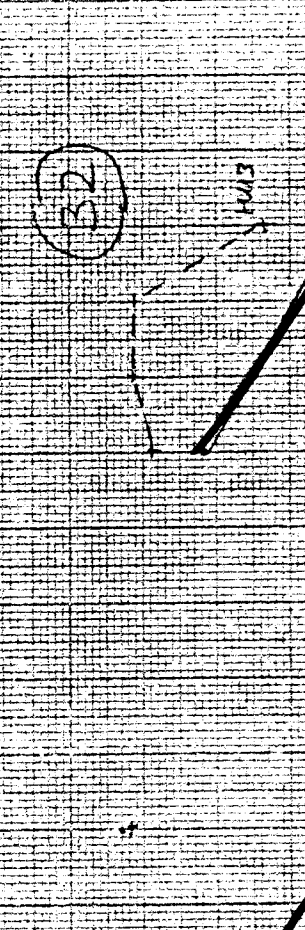
353

Усредненные координаты
плато от БЭЛ-88
по 2-м планкам

(12)

ПЛАТА
ОБЪЕКТА 12

361
360
359
358
357
356
355
354
353
352

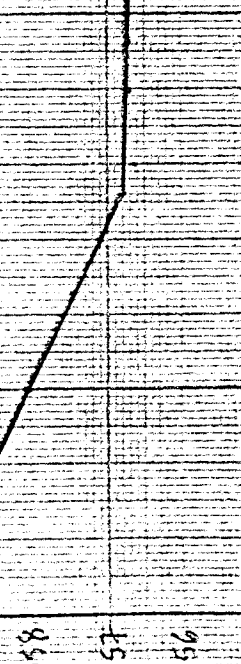
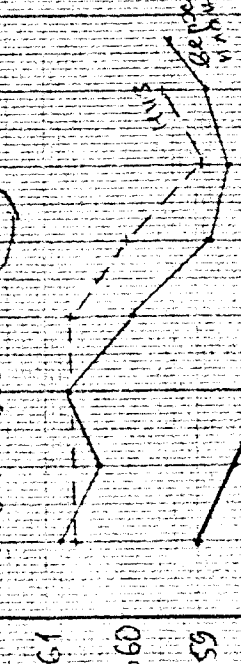
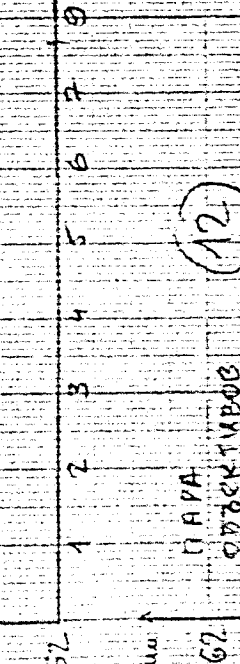


Усредненные координаты
плато от БЭЛ-88
по 2-м планкам

(13)

ПЛАТА
ОБЪЕКТА 13

362
361
360
359
358
357
356
355

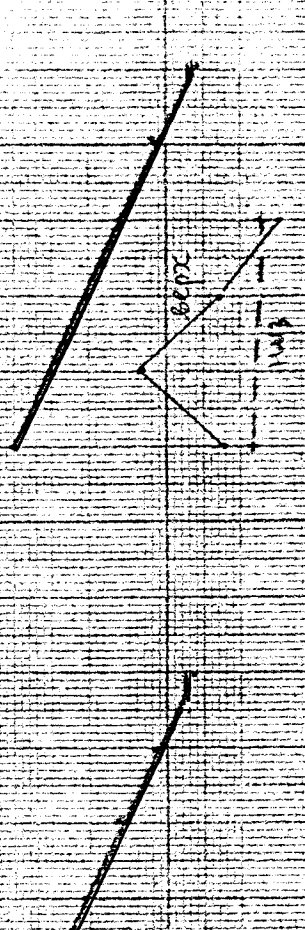


Усредненные координаты
по СПНГ-87
от 2-х планок

(32)

ПЛАТА
ОБЪЕКТА 32

362
361
360
359
358
357
356
355



363
362
361
360
359
358
357
356
355
358
357
356
355
351
353

ТАРА ОБЪЕКТИВООС

(12)

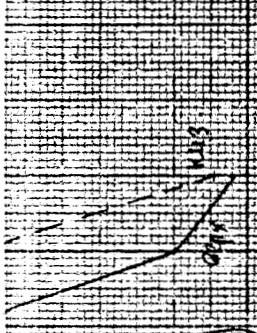


(12)

ТАРА ОБЪЕКТИВООС



(13)



(13)



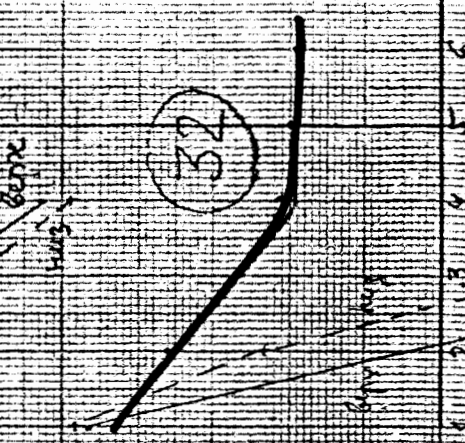
Рис. 12

УСРЕДНЕНЫЕ КООРДИНАТЫ ПО
УСРЕДНЕННЫМ ПОТ. ПАРАМЕТРАМ
ОТ ПУНКТА ПЛАНКА

(32)



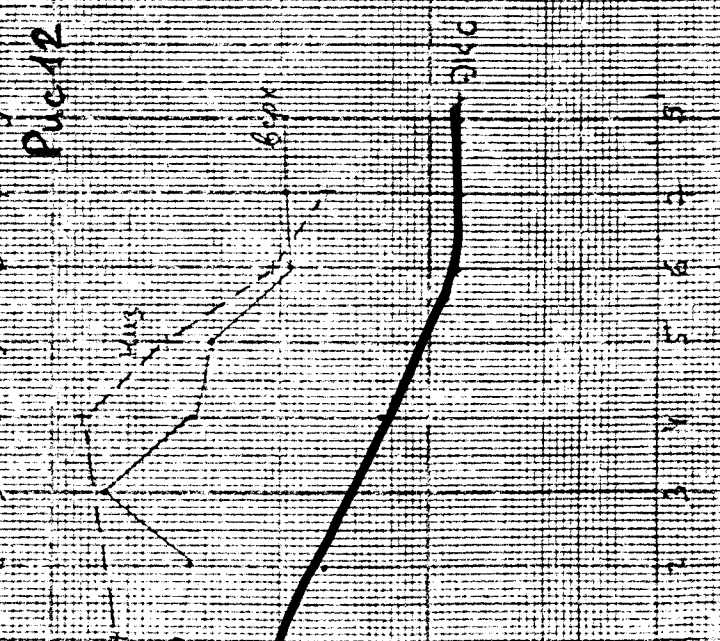
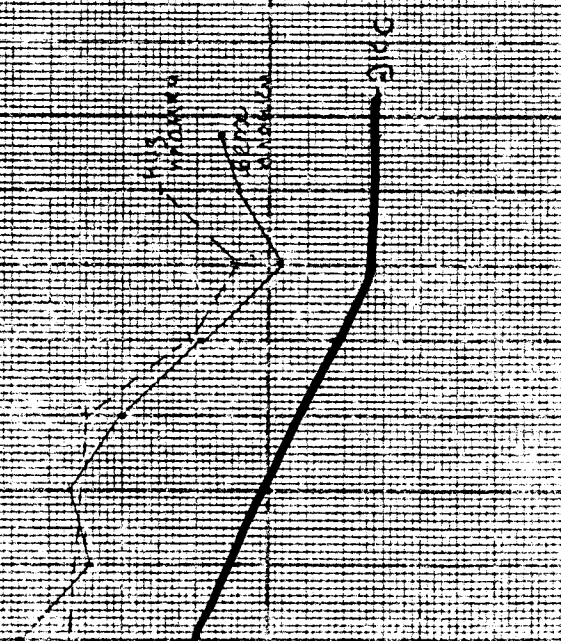
(32)



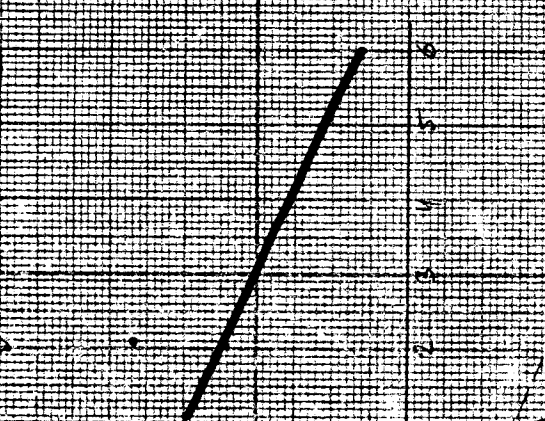
ВЕРХНЯЯ
ПЛАНКА,
УСРЕДНЕННЫЕ
КООРДИНАТЫ
ПО УСРЕ-
ДНЕННЫМ
ПОТ. ПАРА-
МЕТРАМ
ОТ ПУНКТА
ПЛАНКА
КООРДИНАТЫ
КРАЙКА

363
 362
 361
 360
 359
 358
 357
 356
 355
 354
 353

Plano
 0866 Tubo 08
 (12)

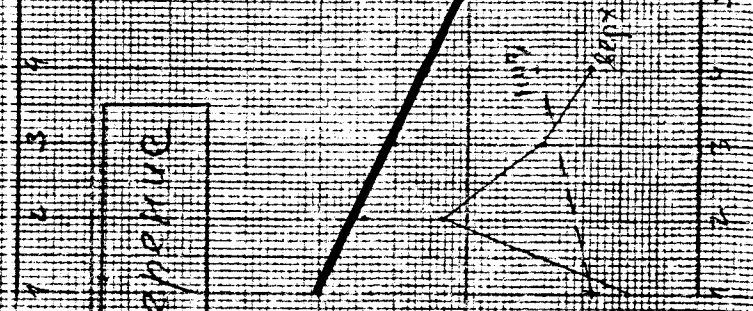
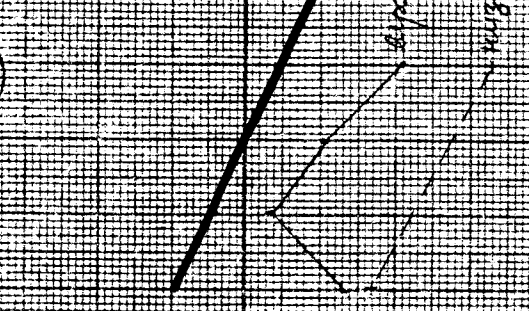


(13)



ANISOPERUC

(32)



Ilus. e
 Ont map
 DMF-87

Ont map
 DMF-87

Z, MM

Полка
0820K1U606

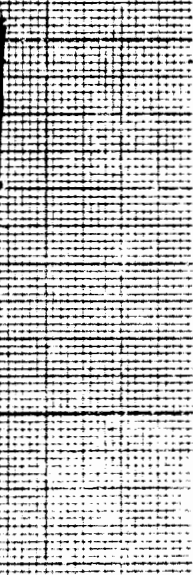
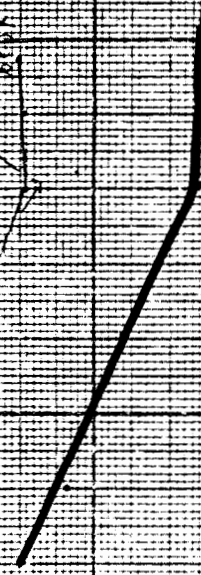
(112)



(113)

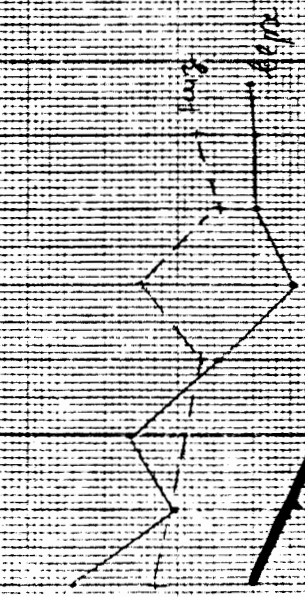
IV регу-0
OUT map
ФНЧ-87

(52)



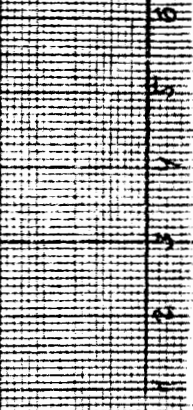
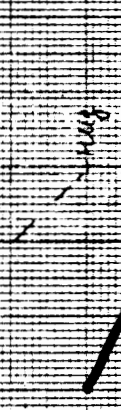
1 2 3 4 5 6 7 8

РЧК-14



IV USMEPEHUE

Out map
ФНЧ-87



1 2 3 4 5 6

РЧК-15

1 2 3 4 5 6 7 8

362 361 360 359 358 357 356 355

362 361 360 359 358 357 356 355 354