

9833

Экз. № 5114

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



10 - 9833

Н.А.Буздавина, Н.Н.Говорун, В.Г.Иванов,
В.А.Степаненко

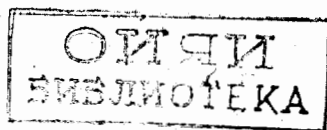
МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
РЕЗУЛЬТАТОВ ОБМЕРА КАМЕРНЫХ ФОТОГРАФИЙ

1976

10 - 9833

Н.А.Буздавина, Н.Н.Говорун, В.Г.Иванов,
В.А.Степаненко

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
РЕЗУЛЬТАТОВ ОБМЕРА КАМЕРНЫХ ФОТОГРАФИЙ



В ходе работ по созданию математического обеспечения системы обработки камерных фотографий на базе автомата "Спиральный измеритель"^{1/} была разработана методика контроля и оценки качества результатов обмера камерных фотографий по простым критериям отбора хорошо измеренных событий на начальных этапах процесса реконструкции. Эта методика позволяет ценою небольших затрат машинного времени ($\sim 0,4$ с на событие на ЭВМ типа БЭСМ-6 или СДС-6400) оценивать число хорошо измеренных событий и анализировать причины, по которым результаты измерений отвергаются геометрической или кинематической программами. Проверка методики производилась на снимках с однометровой жидководородной камеры ОИЯИ^{2/}.

§ I. Методика анализа результатов обмера камерных фотографий

Традиционный метод исследования точностных характеристик измерительных систем, предназначенных для обработки फिल्मовой информации, проверки работы программы калибровки и фильтрации результатов сканирования заключается в последовательном обсчете результатов обмера событий по геометрическим и кинематическим программам и анализе полученных результатов^{3/}. Анализируя результаты геометрической реконструкции и кинематической идентификации, можно определить число хорошо измеренных событий, под которыми понимаются события, прошедшие через всю цепочку программ, погрешности определения различных элементов событий (координаты вершиц, параметры треков и т.п.), а также установить причины, по которым геометрическая или кинематическая программа отвергла то или иное событие.

Для проведения такого анализа обычно выбирается группа событий (~ 1000). Результаты измерений обсчитываются по соответствующей цепочке программы при различных значениях констант и параметров. В связи с тем, что программы, предназначенные для массовой обработки фоновой информации, обычно не указывают конкретные дефекты в исходных данных, по которым они бракуют измерения, анализ причин отказов является наиболее трудоемким и утомительным этапом этого процесса. Для решения этой задачи приходится выдавать на печать большое число промежуточных результатов, анализ которых становится чрезвычайно утомительным при большом числе отвергаемых событий. Так, например, через геометрическую программу проходит не более 70% событий, обмеряемых на "Спиральном измерителе" и обсчитанных по программе "ФИЛЬТР"/4/. Это означает, что в каждой тысяче обработанных событий необходимо анализировать причины отказа для нескольких сот событий. Очевидно, что анализ результатов, занимающих тысячи страниц данных, требует не только много времени для их получения, но также для анализа, и не может быть выполнен в короткий срок. В связи с этим для небольшой группы событий были проанализированы причины отказов в процессе реконструкции и разработаны критерии для отбора хорошо измеренных событий на начальных этапах восстановления пространственной картины событий. Результаты такого анализа для 58 событий, отброшенных программой THRESH^{5/}, приведены таблице I.

Таблица I

Причина, по которой событие не было восстановлено полностью	Число отброшенных событий
Проекция пучкового трека измерены на 2 снимках, база которых параллельна пучку	7
Хорошо измеренных проекций пучкового трека недостаточно для его реконструкции	13
Знаки кривизны проекций пучкового трека не совпадают с его зарядом	8
Проекция вторичного трека, измеренные только на двух снимках, образуют с базой стереопары небольшой угол ($\leq 15-20^\circ$)	3

Таблица I
(продолжение)

Причина, по которой событие не было восстановлено полностью	Число отброшенных событий
Хорошо измеренных проекций вторичных треков недостаточно для реконструкции всего события	3
Число кандидатов в треки, найденное в процессе идентификации проекций, меньше числа треков в событии.	15
Часть треков события отброшена при их реконструкции	9

Из этих данных видно, что только 15% (9 из 58) отбрасываются в процессе реконструкции треков, а остальные события могут быть отброшены на более ранних этапах. Дополнительный анализ событий, в которых программа забраковала треки в процессе восстановления их пространственной картины, показал, что большую часть этих событий можно также отбросить на более ранних этапах реконструкции. Так, например, радиусы кривизны невосстановленных пучковых треков сильно отличаются от средних значений. Забракованные программой вторичные треки характеризуются большой разностью в значениях кривизны соответствующих изображений наличием проекций с большим разбросом точек относительно окружности, проведенной через измерения с помощью метода наименьших квадратов.

Таким образом, анализируя результаты счета на различных этапах процесса реконструкции и проверяя их соответствие заданной топологии события, можно оценивать как количество хорошо измеренных событий, не восстанавливая их треки, так и изучать причины отказов.

§ 2. Методика контроля результатов обмера событий на отдельных стереоснимках

Перед началом реконструкции события координаты всех измеренных на снимках его элементов (реперные точки, вершины и треки) пересчитываются в рабочую плоскость^{5/}, задаваемую координа-

тами реперов, и подвергаются различным испытаниям. Обычно рабочая плоскость совпадает с плоскостью разделительного стекла, соприкасающегося с рабочей жидкостью. Матрица преобразования состоит из шести коэффициентов, которые вычисляются по заданным и измеренным на снимке значениям координат реперных точек методом наименьших квадратов. Поэтому на снимке должно быть измерено не менее четырех реперов. Найденная таким образом матрица преобразования используется в первую очередь для проверки правильности обмера реперных точек. Для этого результаты обмера реперов переводятся в рабочую плоскость, и вычисляются разности между заданными и измеренными значениями координат. Когда одна или несколько разностей между соответствующими значениями координат реперов превышают заданный допуск, то реперная точка, дающая максимальную разность, исключается из рассмотрения, и вычисляется новая матрица преобразования, если число оставшихся реперов ≥ 3 . Для снимков, на которых измерено три репера, матрица преобразования состоит из четырех коэффициентов. Если на снимке остается два репера, то он считается неизмеренным и исключается из дальнейшего рассмотрения.

Для снимков, на которых хорошо измерено четыре или более реперов, проверяется разница усадки пленки в продольном и поперечном направлениях. Если вычисленное значение этого коэффициента превышает заданный допуск, то снимок также считается плохо измеренным и исключается из рассмотрения.

Таким образом, на этом этапе проверяется качество обмера реперных точек и по результатам анализа отбрасываются плохо измеренные снимки.

На следующем этапе проверяется качество обмера отдельных проекций треков события на каждом стереоснимке. Сначала проверяется, не выходят ли значения координат измеренных точек проекций треков в рабочей плоскости за заданные пределы. Все точки, координаты которых находятся вне пределов рабочей плоскости, исключаются из рассмотрения. Затем через измеренные на снимке координаты точек проекции трека методом наименьших квадратов проводится окружность и вычисляются ее параметры (радиус кривизны, углы, образуемые касательной к треку в начальной точке), а также угловые отклонения (θ_i) измеренных точек от начальной (рис. I). Для каждой пары последовательных измерений вычисляются разности $\Delta \theta_i = \theta_{i+1} - \theta_i$ и их среднее значение ($\Delta \bar{\theta}$) без учета максималь-

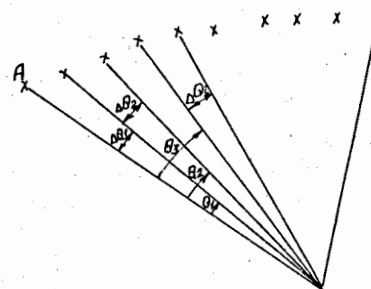


Рис. I.

ной разности. Если на проекции трека имеется одна или большее число разностей, превышающих величину

$$n \cdot \Delta \bar{\theta},$$

то проекция исключается из дальнейшего рассмотрения. Здесь n — заданная константа.

Для проекций, прошедших предыдущее испытание, вычисляются отклонения измеренных точек от окружности. Если на проекции имеются точки, расстояния которых от окружности превышают заданный допуск, то максимально удаленная точка временно исключается из рассмотрения, а через оставшиеся точки проводится новая окружность. В тех случаях, когда новая подгонка не дает положительного результата, т.е. разброс точек и в этом случае превосходит допустимые пределы, то временно отброшенная точка восстанавливается, а выбрасывается ближайшая к ней конечная точка проекции. Если и это не улучшает ситуацию, то делается новая попытка подгонки без другой крайней точки проекции. Если ни одна из этих подгонок не дает положительного результата, то проекция исключается из дальнейшего рассмотрения.

Последняя проверка заключается в вычислении расстояния от начальной точки трека, измеренной как характерная точка события, до окружности и сравнении этой величины с заданным допуском.

Таким образом, если событие обмерено на двух снимках, то на заключительном этапе этих испытаний можно определить качество обмера всего события, не прибегая к его реконструкции. Действительно, для того, чтобы все треки события были восстановлены, необходимо выполнение следующих условий:

I. Число хорошо измеренных проекций треков не должно быть меньше полного числа треков события. Например, если для пятилучевого события на одном из 2 снимков стереопары хорошо измерены только четыре проекции, то оно не будет полностью восстановлено.

II. Длина обмеренных проекций треков события должна быть достаточной для определения их параметров с требуемой точностью.

III. Топология проекций треков события на каждом снимке должна соответствовать заданной. Так, например, для трехлучевых событий др-эксперимента, зарегистрированных в однометровой жидководородной камере, кривизна вторичных треков на снимках должна быть положительной.

IV. В связи с тем, что около половины событий (Таблица I) отбрасываются из-за пучкового трека, целесообразно проверять качество измерений его проекций, т.е. знаки и значения кривизны проекций пучкового трека.

Невыполнение любого из указанных условий обычно приводит к тому, что событие отбрасывается при геометрической реконструкции или анализе результатов кинематической идентификации. Для исследования возможности использования указанных выше критериев отбора плохо измеренных событий в программу THRESH^{/5/} была включена специальная подпрограмма TESTV, позволяющая отбрасывать результаты измерений по следующим критериям.

I. Плохо измерены проекции пучкового трека

Проекция пучка считается хорошо измеренной, если их длины больше заданного допуска, а значения радиусов кривизны не выходят за заданные пределы изменения. Кроме того, если пучок измерен только на двух снимках, то дополнительно проверяются их номера, т.к. базы стереопар I-3 и 2-4 однометровой жидководородной камеры^{/2/} параллельны направлению пучка.

2. Число хорошо измеренных проекций вторичных треков меньше заданного, т.е. часть обмеренных проекций была отброшена в ходе проверок, а оставшихся недостаточно для реконструкции всего события.

3. Плохие измерения вторичных треков. Это значит, что топология проекций треков события на снимках отличается от заданной. Например, вместо двух проекций с положительной кривизной имеем одну положительную, а вторую - отрицательную или с неопределенным знаком. Здесь под проекциями с неопределенными знаками понимаются такие, для которых длина или стрела прогиба меньше соответствующих допусков.

Обсчет измеренных на "Спиральном измерителе" событий по модифицированной версии программы THRESH показал, что указанные критерии отбора позволяют выделить около 90% всех плохо измеренных событий.

§ 3. Методика идентификации проекций треков и возможности ее использования для контроля измерений

Следующим этапом анализа результатов обмера камерных фотографий является поиск изображений одних и тех же треков события на различных стереоснимках (TRACK-MATCH)^{/6/}. Исходными данными для решения этой задачи являются следующие величины: тангенсы углов и направляющие косинусы, образуемые касательными к проекциям треков в их начальных точках, кривизна, стрелы прогиба и длины проекций. Каждая проекция идентифицируется двумя индексами: порядковым номером на снимке и номером снимка.

Поиск изображений одних и тех же треков события на его стереоснимках производится в следующей последовательности:

I. Из всех возможных комбинаций пар проекций на снимках стереопар отбираются дублиеты изображений, которые могут принадлежать трекам события. В качестве критериев отбора используются знаки кривизны и тангенсы углов, образуемых касательными к проекциям с базой соответствующей стереопары. Если событие измерено на трех снимках, то списки дублиетов составляются для трех комбинаций стереопар (I-2, I-3 и 2-3).

П. Из списков дублетов составляется список триплетов, которые могут принадлежать трекам события. Для этого каждый из найденных триплетов подвергается дополнительным испытаниям, в ходе которых по двум проекциям пространственного угла вычисляется значение проекции на третьем снимке, которое и сравнивается с измеренным. Для каждого триплета, прошедшего эту проверку, вычисляется величина, характеризующая вероятность того, что его компоненты образуют пространственный трек (качество триплета)^{7/7}. Чем меньше качество, тем вероятнее, что компоненты триплета принадлежат реальному треку события. Если качество триплета не выходит за пределы заданных допусков, то он включается в список предварительно идентифицированных триплетов.

Ш. Из списка триплетов, прошедших указанные испытания, составляется список максимального числа кандидатов в треки, удовлетворяющий двум условиям:

- а) любая проекция трека должна встречаться в наборе только один раз (критерий единственности);
- б) суммарное качество списка (сумма качеств его компонент) должна быть минимальной (критерий минимального качества).

Затем производится реконструкция кандидатов в треки. Если в процессе реконструкции не удалось восстановить все треки события или число найденных кандидатов меньше заданного, то программа ищет недостающие треки среди дублетов. В качестве критериев для отбора дублетов используются результаты реконструкции конечных точек и значения кривизны.

В связи с тем, что часть найденных в процессе идентификации проекции кандидатов отбрасывается при реконструкции треков в пространстве, то оценка числа хорошо измеренных событий только по результатам идентификации дает верхний предел.

Для исследования возможностей оценки числа хороших событий по результатам идентификации проекций треков в программу THRESH^{5/5} были внесены изменения, позволяющие прекращать обработку события после нахождения заданного числа кандидатов или исчерпания списков триплетов и дублетов. В этом случае предполагается, что все найденные кандидаты будут восстановлены. Тогда, если после анализа списка триплетов число кандидатов совпадает с числом треков события, последнее считается хорошо измеренным. В противном случае

находятся дополнительные кандидаты из оставшихся компонент списков дублетов. Если суммарное число кандидатов, состоящее из триплетов и дублетов, равно заданному, событие также считается хорошим. События, в которых программе не удалось найти заданное число кандидатов, считались плохо измеренными. Использование такой методики позволяет устранить из программы наиболее трудоемкие вычисления, связанные с пространственной реконструкцией треков, и значительно сократить машинное время, затрачиваемое на анализ событий.

§ 4. Результаты применения методов контроля для анализа качества обмера камерных фотографий

Как уже отмечалось, описываемые в работе методы контроля были использованы для анализа результатов обмера камерных фотографий, производившегося на "Спиральном измерителе". В процессе анализа причины отказов при геометрической реконструкции были разработаны критерии отбора хороших событий и подобраны соответствующие константы.

Для проверки правильности предлагаемых критериев и оценки их надежности результаты одного из первых сеансов измерений (384 события), обработанных по программе ФИЛЬТР^{8/8}, были обчислены на СДС-6400 по цепочке программ THRESH-GRIND-AUTOGR^{9/9}. Затем эти же данные были обчислены по модифицированной версии программы THRESH, которая производила разделение событий на хорошие и плохие в соответствии с описанными ранее критериями отбора. Результаты этих вычислений приведены в таблицах II и III.

Таблица II

Результаты анализа событий по цепочке программ

Программа	Число событий на выходе	Число хороших событий на выходе
THRESH	384	142
GRIND	142	128

Таблица III.

Результаты анализа событий по критериям отбора

Причина отказа	Число отброшенных событий	% от общего числа событий	% от общего числа отброшенных событий
Плохо измерены реперные точки.	4	1,0	1,6
Плохо измерены проекции пучкового трека.	190	49,5	74,3
Число хорошо измеренных проекций вторичных треков меньше заданного.	28	7,3	10,9
Плохие измерения вторичных треков.	10	2,6	3,9
Число кандидатов меньше числа треков события.	16	4,2	6,2
Неудачная реконструкция одного или нескольких треков.	8	2,1	3,1

Таким образом, оценка числа хорошо измеренных событий по простым критериям отличается от числа восстановленных событий всего лишь на несколько процентов. Из 136 событий, прошедших испытания, только восемь были забракованы при реконструкции треков в пространстве (таблица III).

Приведенные в таблицах II и III данные относятся к событиям, обмеренным как на двух, так и на трех снимках. Проведение измерений на трех снимках может увеличить число хорошо обмеренных событий примерно в полтора раза. Так, например, если в рассмотренной группе событий суммарное число хорошо измеренных событий около 35%, то для событий, измеренных на трех снимках, эта цифра около 55%. (52 события из 103). Следует также указать, что основная причина отказов (42 из 51) связана с плохими измерениями проекций пучкового трека.

Таким образом, использование рассмотренной в работе методики анализа результатов обмера камерных фотографий позволит не только оценивать число хорошо измеренных событий, но и получать данные о причинах отказов для каждого рассмотренного события. Это позволяет экономить машинное время, бумагу и сократить время, затрачиваемое на анализ плохо измеренных событий, в сотни раз. Так, например, если на обсчет 384 событий по цепочке программы THRESH-GRIND-AUTOGR было затрачено около тысячи секунд времени центрального процессора ЭВМ СДС-6400, то по модифицированной версии программы THRESH - около 130 с, т.е. почти в десять раз меньше.

З а к л ю ч е н и е

Рассмотренная в работе методика контроля и оценки качества результатов обмера камерных фотографий не зависит от конкретного типа измерительного устройства и может быть использована для анализа данных в любых измерительных системах. Для этого нужно в подпрограмму TESTV ввести данные о топологии анализируемых событий и подобрать значения соответствующих констант. Используемые критерии отбора не требуют проведения сложных вычислений и могут быть использованы в программах фильтрации результатов сканирования и контроля результатов измерений в реальном времени.

Авторы признательны Г.А.Осокову за создание условий для проведения данной работы и выражают благодарность В.В.Глаголеву, В.М.Котову и Л.А.Кулюкиной за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. В.М.Котов и др. ОИЯИ, IO-7939, Дубна, 1974.
2. A.V.Belonogov et al. Nuclear Instrum. and Methods, 20,114(1963).
3. Б.С.Аладашвили и др. ОИЯИ, IO-7940, Дубна, 1974.
4. Э.М.Косарева и др. ОИЯИ, P10-8613, Дубна, 1975.
5. Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов. ОИЯИ, IO-7191, Дубна, 1973.
6. J.Altaber et al., ANL-7515, Argonne, 1968.
7. Vera Pless. ANL 17346, Argonne, 1967.
8. В.Е.Комолова и др. ОИЯИ, Д10-6442, стр.420-428, Дубна, 1971.
9. Н.А.Буздавина и др. ОИЯИ, P10-5785, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июня 1976 года.