

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Л. А. ВАРДАНЯНЦ

ОСНОВЫ
СТЕРЕОКОНОСКОПИЧЕСКОГО
МЕТОДА

91

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН

1947

548:535

6876-48

В-18

Варданянц, Л. П.

Основы стерео

мического

✓
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Л. А. ВАРДАНЯНЦ

548:535

В-18

ОСНОВЫ
СТЕРЕОКОНОСКОПИЧЕСКОГО
МЕТОДА

84-489



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ЕРЕВАН

1947

Печатается по распоряжению
Президиума Академии Наук Армянской ССР.
Президент В. А. АМБАРЦУМЯН.

Отв. редактор А. Т. АСЛАНЯН

ОСНОВЫ СТЕРЕОКОНОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА

А. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

І. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕРЕОКОНОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА

Федоровский столик, будучи универсальным прибором, является вместе с тем и универсальным коноскопом, но соответствующие его возможности остаются еще мало использованными. Преимуществом коноскопической фигуры, которую можно было бы получить с помощью федоровского столика, является, прежде всего, вдвое больший угол конуса видимости ($100-120^\circ$ вместо $50-60^\circ$), позволяющий исследовать до $40-50\%$ всех возможных сечений кристалла, вместо $8-10\%$ при обычном коноскопическом методе. Вторым важным преимуществом является то, что коноскопическая фигура, получаемая на федоровском столике, может быть изображена очень точно в виде стереографической проекции, в связи с чем возможен полный математический анализ и контроль получаемых фигур.

Решение этой задачи (использование федоровского столика в качестве универсального коноскопа) сводится к тому, чтобы тем или иным способом дать стереографическую проекцию интегральной картины конического пучка поляризованного света, прошедшего через шлиф исследуемого кристалла, установленный на федоровском столике.

Универсальное решение этой задачи, представляющее сущность стереоконоскопического метода, заключается в том, что мы исследуем для каждого положения шлифа последовательно лучи, параллельные всем векторам индикатрисы, и наносим на стереографическую проекцию те векторы, для которых лучи, в момент их совмещения с осью микроскопа, будут в положении угасания. Геометрическое место проекций этих векторов на диаграмме, т. е. кривая

линия, соединяющая эти проекции, дает нам стереографическую проекцию коноскопической фигуры или иначе—стереоконоскопическую фигуру. Поэтому и самый метод назван был стереоконоскопическим методом.

Стереоконоскопическое исследование может быть сделано разными способами (вариантами), каждый из которых дает свои особые характерные фигуры, более или менее сходные с фигурами обычного коноскопического метода. Сравнительный теоретический и эмпирический анализ шести, наиболее простых вариантов стереоконоскопического метода показал, что только два варианта—нормальный и диагональный—могут иметь большое практическое значение, так как только они допускают на практике точное построение стереоконоскопических фигур. Из остальных вариантов наименее удачным является вращательный вариант, дающий фигуры, тождественные „кривым угасания“ или „оптическим кривым“ Е. С. Федорова.

II. НАИМЕНОВАНИЯ ОСЕЙ ВРАЩЕНИЯ ФЕДОРОВСКОГО СТОЛИКА

Обычный федоровский столик, установленный на столике микроскопа, имеет пять осей вращения, для которых в дальнейшем нами приняты следующие наименования, в общем совпадающие с наименованиями, применяемыми некоторыми американскими авторами.

Ось, перпендикулярная к предметному стеклу федоровского столика, а тем самым и к шлифу, называется внутренней вертикальной осью. Вращение шлифа вокруг этой оси, определяемое отсчетом по индексу на внутреннем кольце федоровского столика, называется вращением по индексу. Ось столика, дающая наклон шлифа вправо и влево, называется осью север-юг. Следующая ось, перпендикулярная к наружному кольцу федоровского столика, где укреплены подшипники оси север-юг, называется внешней вертикальной осью. В нормальном и диагональном вариантах стереоконоскопического метода эта ось не имеет применения. Четвертая ось столика, расположенная „па-

параллельно" наблюдателю и допускающая наклон шлифа к себе и от себя, называется осью восток-запад. Наконец, ось столика микроскопа, позволяющая поворот всего федоровского столика, называется осью микроскопа.

Решающими движениями при построении фигур нормального и диагонального вариантов стереоконоскопического метода являются: вращение по индексу, наклоны вправо и влево с помощью оси север-юг и наклоны к себе и от себя с помощью оси восток-запад. Вращение вокруг оси микроскопа используется только для установки федоровского столика в то постоянное положение, которое требуется при том или ином варианте.

III. ВАРИАНТЫ СТЕРЕОКОНОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА

Для того, чтобы совместить с осью микроскопа последовательно все векторы индикатрисы, нужно вращать шлиф с помощью каких-либо двух осей федоровского столика, оставляя неподвижными остальные его оси. Спроектировав на стереографическую диаграмму нужные нам векторы индикатрисы (т. е. те векторы, с которыми совпадают лучи, угасающие в момент их совмещения с осью микроскопа), мы получим некоторую элементарную стереоконоскопическую фигуру, которую будем называть сокращенно элементарной стереофигурой. Поворачивая после этого шлиф около третьей оси федоровского столика на тот или иной угол и повторяя для каждого такого положения исследование (как и в первом случае) с помощью вращений вокруг первых двух осей, мы получим вторую, третью и т. д. стереоконоскопические фигуры, каждая из которых будет в большей или меньшей степени отличаться от первой фигуры. В совокупности все эти элементарные стереофигуры дают полную стереоконоскопическую фигуру, состоящую из ряда кривых линий (в частном случае в составе фигур могут присутствовать и прямые линии), пересекающихся друг с другом в определенной закономерности. Сокращенно будем называть ее полной стереофигурой.

Таким образом, для построения полной стереофигуры необходимо использовать только три оси федоровского столика, оставляя свободными две другие его оси. Выбирая эти три оси в том или другом сочетании, мы будем иметь разные варианты стереоконоскопического метода. Возможное число вариантов довольно велико, но, как указано выше, практическую ценность имеют только те два варианта, которые названы нормальным и диагональным.

Принципиальное различие нормального и диагонального вариантов заключается в первоначальной установке федоровского столика. Именно, при нормальном варианте ось восток-запад устанавливается нормально к главному сечению одного из николей, и вместе с тем она совпадает с главным сечением второго николя. При диагональном варианте ось восток-запад устанавливается по диагонали прямого угла между главными сечениями обоих николей, т. е. под 45° к обоим сечениям. В обоих вариантах ось восток-запад сохраняет неизменно указанное выше положение.

В остальном техника измерений при обоих вариантах совершенно одинакова. Именно, для построения элементарной стереофигуры мы, при постоянном индексе, пользуемся вращением около осей север-юг и восток-запад. Изменяя положение индекса на некоторый угол, мы строим вторую элементарную стереофигуру, затем— третью и т. д. Более подробно техника измерений будет описана ниже.

IV. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО И ДИАГОНАЛЬНОГО ВАРИАНТОВ

Математическое выражение нормального и диагонального вариантов стереоконоскопического метода может быть дано в виде нижеследующего уравнения стереофигур. Теоретической основой этого уравнения является общеизвестное правило Френеля, согласно которому луч, при его совмещении с осью микроскопа, будет угасающим тогда, когда главные сечения обоих николей совпадают

с биссектрисами смежных углов, образуемых двумя плоскостями, проходящими через вектор исследуемого луча и через оптические оси (рис. 1).

Уравнение стереофигур имеет следующий вид:

$$2F = 2KSE - ASE - BSE = 2 \arctg \left[\frac{\sin i \cos x}{\cos i \cos y - \sin i \sin y \sin x} \right] - \\ - \arctg \left[\frac{\sin SEK \cos \varphi - \cos SEK \sin \varphi}{\cotg(\psi + V) \sin SE - \cos SE (\cos SEK \cos \varphi + \sin SEK \sin \varphi)} \right] - \\ - \arctg \left[\frac{\sin SEK \cos \varphi - \cos SEK \sin \varphi}{\cotg(\psi - V) \sin SE - \cos SE (\cos SEK \cos \varphi + \sin SEK \sin \varphi)} \right] \quad (1)$$

где:

$$\sin SE = \sqrt{1 - (\sin y \cos i + \cos y \sin i \sin x)^2} = \\ = \sqrt{(\sin y \sin i - \cos y \cos i \sin x)^2 + \cos^2 x \cos^2 y};$$

$$\cos SE = \sin y \cos i + \cos y \sin i \sin x;$$

$$\sin SEK = \frac{\cos \cos y}{\sqrt{(\sin y \sin i - \cos y \cos i \sin x)^2 + \cos^2 x \cos^2 y}};$$

$$\cos SEK = \frac{\sin y \sin i - \cos y \cos i \sin x}{\sqrt{(\sin y \sin i - \cos y \cos i \sin x)^2 + \cos^2 x \cos^2 y}};$$

F—угол между двумя плоскостями, одна из которых проходит через вектор S (перпендикулярный к исследуемому сечению) и ось север-юг, а другая является биссектрисой угла между плоскостями, проходящими через вектор S и через одну и другую оптическую ось;

S—вектор, перпендикулярный к исследуемому сечению;

E—линия пересечения плоскости шлифа с плоскостью оптических осей;

SE—дуга на сфере между векторами S и E;

SEK—угол на сфере между дугами SE и EK;

i=EK—дуга на сфере между векторами E и K;

K—ось север-юг;

φ —угол между плоскостью шлифа и плоскостью оптических осей;

ψ —дуга на сфере между вектором E и той биссектрисой, относительно которой измеряется угол оптических осей;

V или $2V$ —угол оптических осей и его половина;

x —угол наклона шлифа влево (+) и вправо (—) с помощью оси север-юг;

y —угол наклона шлифа к себе (+) и от себя (—) с помощью оси восток-запад.

Как указано выше, при нормальном варианте ось восток-запад всегда совпадает с главным сечением одного из николей, поэтому ось север-юг всегда совпадает с главным сечением второго николя. При диагональном же варианте эти оси всегда совпадают с диагональными плоскостями, делящими пополам прямые углы между главными сечениями обоих николей. В силу этого для лучей, погасающих в момент их совмещения с осью микроскопа, должно быть при нормальном варианте $F=0^\circ$ или $F=90^\circ$ и $\operatorname{tg} 2F=0$, а при диагональном варианте $F=45^\circ$ или $F=135^\circ$ и $\operatorname{tg} 2F=\infty$.

V. ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОСТРОЕНИЯ СТЕРЕОФИГУР

Приступая к стереоконоскопическим измерениям, мы сначала ставим шлиф в исходное положение, в соответствии с имеющимся типовым случаем исследуемого сечения кристалла (см. ниже раздел Г). После этого исследуем всю видимую часть индикатрисы, т. е. ищем все те положения шлифа, при которых кристалл угасает. Для этого, оставляя индекс неподвижным, наклоняем шлиф до предела видимости, т. е. на $55-60^\circ$, налево (или направо) и затем, наклоняя шлиф к себе и от себя, наблюдаем, происходит ли погасание кристалла. Если угасание имеет место, то улавливаем его с наибольшей точностью и, сделав нужные отсчеты, наносим соответствующий лучу вектор на стереографическую диаграмму (подобно тому, как при обычном федоровском методе наносится оптическая ось двусного минерала).

После этого изменяем угол наклона шлифа налево (или направо) на $5-10^\circ$ и опять, наклоняя шлиф к себе и от себя, наблюдаем, происходит ли погасание кристалла или нет. В положительном случае опять улавливаем момент погасания с наибольшей точностью и, сделав отсчеты, наносим на диаграмму второй вектор. Продолжаем это до тех пор, пока не придем к предельному ($55-60^\circ$) наклону вправо (или влево), противоположному по отношению к первоначальному наклону. Затем соединяем на диаграмме спроектированные векторы плавными кривыми линиями, около концов которых надписываем показание индекса. Эти кривые представляют первую элементарную (стабильную) стереоконоскопическую фигуру, соответствующую первому стабильному положению индекса, а тем самым и шлифа на федоровском столике.

Построив первую элементарную стереофигуру, изменяем положение индекса на некоторый угол и опять, оставляя индекс неподвижным, исследуем тем же способом всю видимую часть индикатрисы. Для этого вновь наклоняем шлиф до предела, т. е. на $55-60^\circ$, влево (или вправо) и затем, наклоняя шлиф к себе и от себя, проверяем, имеет ли место угасание кристалла или нет. Если да, то наносим на диаграмму соответствующий вектор. После этого изменяем на $5-10^\circ$ угол наклона влево (или вправо), опять ищем положение угасания кристалла, наносим на диаграмму вектор, соответствующий угасающему лучу, и т. д., пока не придем к предельному наклону вправо (или влево), противоположному, по отношению к первоначальному наклону. Выполнив это, соединяем на диаграмме новые проекции векторов плавными кривыми, около которых надписываем второе показание индекса. Это будет вторая элементарная стереофигура, соответствующая второму стабильному положению индекса и шлифа.

Продолжаем описанным способом исследование до тех пор, пока полученное количество элементарных стереофигур не даст нужного решения вопроса.

Построение стереофигур может быть выполнено также с помощью и другой последовательности движений.

Именно, после того как шлиф поставлен в исходное положение, производим предельный наклон не вправо (или влево), а к себе (или от себя), и затем посредством дополнительных наклонов влево или вправо ищем момент угасания для каждого принятого наклона к себе и от себя. Найдя угасающее положение кристалла, наносим соответствующий вектор таким же способом, как и при первой последовательности движений, т. е. как оптическую ось двусосного кристалла. После этого изменяем величину наклона к себе (или от себя) на $5-10^\circ$, опять ищем положение угасания с помощью дополнительных наклонов вправо и влево, наносим на диаграмму второй вектор, и т. д. Во всем остальном техника исследования и построения стереофигуры остается той же самой, как и при первой последовательности движений.

Таким образом, при первой последовательности движений мы наклоняем шлиф сначала вправо или влево, а затем дополнительным наклоном к себе или от себя находим угасающее положение кристалла. При второй последовательности движений наклоняем шлиф сначала к себе или от себя и после этого дополнительным наклоном вправо или влево находим угасающее положение кристалла.

При построении каждой элементарной стереофигуры нужно применять обе последовательности движений. Дело в том, что как при нормальном, так и при диагональном варианте одна часть каждой элементарной стереофигуры располагается ближе к меридиональным дугам сетки Вульфа, а другая часть — ближе к параллелям этой сетки. Поэтому в том случае, когда мы ищем векторы меридиональных ветвей стереофигуры, нужно пользоваться второй последовательностью движений, чтобы вторым (результатирующим) движением пересекать линию угасающих векторов под углом, по возможности, более близким к 90° . В противоположность этому, когда мы ищем векторы широтных ветвей стереофигуры, нужно, по той же причине, применять первую последовательность движений. Нарушая это правило, мы при втором (результатирующем) движении будем скользить оптической осью микроскопа вдоль ветвей

стереофигуры, и поэтому вместо одного, четко угасающего положения кристалла получим целый ряд почти угасающих положений. Как следствие этого, стереофигура будет построена неверно.

Данная особенность, т. е. полная возможность точного определения угасающего положения кристалла, присуща, при существующей конструкции федоровского столика, в полной мере только нормальному и диагональному вариантам стереоконоскопического метода. Поэтому именно эти два варианта и были положены в основу практической методики стереоконоскопического метода.

Выше была описана техника измерений для того случая, когда нужно построить полностью всю видимую часть каждой элементарной стереофигуры. На практике, при исследовании минералов, нужна только небольшая часть элементарных стереофигур, и для их построения требуется найти обычно только 3—5 положений угасания кристалла. Это намного облегчает и ускоряет работу.

При построении стереофигур и соответствующих диаграмм можно пользоваться обычной, широко применяющейся вертушкой с сеткой Вульфа, где сама сетка остается неподвижной, а вращается рамка с прикрепленной к ней прозрачной бумагой. Ввиду очень незначительной стоимости такой бумаги, по сравнению со стоимостью рабочего времени, целесообразно производить построение стереофигур для каждого кристалла на новом листке бумаги. На всех диаграммах необходимо отмечать их центр (совпадающий с центром сетки Вульфа), границу предела видимости, а также положение оси север-юг, соответствующее каждой отдельной стереофигуре. Кроме того необходимо замерить и спроектировать на диаграмму какие-либо физические элементы кристалла (спайность, грани, характерные включения и т. п.), с помощью которых можно было бы при контрольном исследовании восстановить первоначальную ориентировку шлифа. Далее, отмечаем на диаграммах местонахождение общих внешних точек, если они были определены. Все соответствующие условные знаки показаны на рис. 2. Наконец, следует указать название

примененного варианта: НВ—для нормального и ДВ—для диагонального.

VI. ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТЕРЕОФИГУР НОРМАЛЬНОГО И ДИАГОНАЛЬНОГО ВАРИАНТОВ

Как элементарные, так и полные стереофигуры нормального и диагонального вариантов обладают некоторыми общими особенностями, знание которых является совершенно необходимым для того: (а) чтобы контролировать правильность измерений и построения фигур, (б) чтобы правильно экстраполировать фигуры за пределами видимости федоровского столика, (в) чтобы правильно интерпретировать полученные результаты.

Особенности эти следующие.

1. Все стереофигуры всегда обладают центром симметрии. Кроме того, если индикатриса в данном сечении и при некотором данном положении индекса располагается симметрично относительно осей федоровского столика, а вместе с тем и относительно главных сечений анализатора и поляризатора, то стереофигуры имеют плоскости и оси симметрии. У одноосных кристаллов каждая элементарная стереофигура всегда зеркально симметрична относительно меридиана, проходящего через проекцию оптической оси.

2. Все стереофигуры для любого сечения и любого положения каждого кристалла могут быть вычислены и построены с помощью указанного выше общего уравнения стереофигур, представляющего неявную функцию x и y от четырех независимых переменных V , φ , ψ и i . Функция эта непрерывная, поэтому каждая элементарная стереофигура может состоять только из плавных кривых линий (в частных случаях эти кривые могут проектироваться на диаграмме в виде прямых линий), без каких-либо точек резкого перелома и без угловатых выступов. Кроме того, эти кривые образуют всегда замкнутые петли и не могут оканчиваться слепым концом. В связи с наличием постоянного центра симметрии, предыдущее условие показывает, что каждая элементарная стереофигура располагается частью

в верхней, частью в нижней полусфере стереографической проекции, опоясывая петлеобразно всю сферу. Далее, следствием этой непрерывности является то, что бесконечно малому приращению каждого независимого переменного V , φ , ψ и i соответствует бесконечно малое же приращение и для x и y .

Поэтому элементарные стереофигуры разных кристаллов (переменная V), разных их сечений (переменные φ и ψ) и разных положений шлифа на федоровском столике (переменная i) связаны друг с другом рядом промежуточных стереофигур, дающих постепенный (в математическом понимании — непрерывный) переход от одной фигуры к другой.

Это обстоятельство является очень важным, так как позволяет без особого труда составить довольно точную стереофигуру для произвольного сечения всякого кристалла и при любом его положении на федоровском столике, исходя из стереофигуры одноосного кристалла, которая может быть построена в любых условиях с большой точностью в течение всего лишь одной—двух минут.

3. У всех элементарных стереофигур в обеих проекциях оси север-юг всегда сходятся две ветви, пересекаясь при этом под углом в 90° . Доказывается это очень просто с помощью общего уравнения стереофигур, принимая в нем $y = 90^\circ$. Для x мы получим при этом всегда два значения, отличающиеся одно от другого на $\pm 90^\circ$, так как уравнение приводится к виду $x = F \pm 45^\circ + \text{Const}$. Также точно во всех тех случаях, когда ветви одной и той же стереофигуры пересекаются внутри диаграммы, они всегда составляют угол в 90° , образуя прямоугольный крест. При смещении индекса в одну или другую сторону, этот крест разрывается либо по одной, либо по другой диагонали и заменяется двумя кривыми, располагающимися в противоположных секторах креста. Явление это вполне аналогично тому, что наблюдается и в обычном коноскопическом методе.

В частном случае, когда проекция оси север-юг совпадает с проекцией общей внешней точки (об этих точках см. ниже), на диаграмме в одной проекции оси север-

юг сходятся три ветви стереофигуры, причем две из них составляют одна продолжение другой, а ко второй проекции оси подходит только одна ветвь. Неправильность здесь только кажущаяся, так как и в этом случае в проекциях оси север-юг пересекаются две ветви, но около одной проекции вторая ветвь расположена полностью в верхней, а около второй — полностью в нижней полусфере, и в обоих случаях эти ветви являются касательными к основному кругу диаграммы.

4. При составлении элементарных стереофигур плоскость, проходящую через нормаль к шлифу и через ось север-юг, мы проектируем всегда на центральном меридиане сетки Вульфа. В частном же случае, для вспомогательных построений, можно проектировать эту плоскость и на любом другом меридиане, отсчитывая углы наклона вправо и влево от этого именно меридиана. Возможность такого проектирования вполне понятна, так как на сетке Вульфа все меридианы, в принципе, одинаковы, и любой из них можно принять в качестве центрального, повернув всю сетку на соответствующий угол вокруг оси север-юг.

На этом основании, имея дело с единичной элементарной стереофигурой, можно повернуть ее на любой угол вокруг оси север-юг. При разных углах такого поворота стереофигура будет иметь на диаграмме несколько иной вид, но на сфере она остается неизменной, ибо неизменным остается положение индекса и оси север-юг по отношению к кристаллу.

Таким образом, при постоянном индексе вся зона, параллельная вектору, совмещенному с осью север-юг, дает одну и ту же элементарную стереофигуру. Это обстоятельство имеет большое значение, так как позволяет построить теоретическую элементарную стереофигуру для любого сложного (мало понятного) положения косога сечения кристалла путем его приведения к более простому положению, при котором построение или вычисление стереофигуры уже не представляет затруднений. Сделав построение стереофигуры для вспомогательного положения шлифа, мы помощью обратного поворота приводим кри-

сталл в его стереофигуру к исходному положению. Наиболее удобными вспомогательными положениями являются такие, при которых острая биссектриса проектируется либо на краю диаграммы ($\psi = 0^\circ$), либо на центральном меридиане (для одноосного кристалла $i = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$).

5. Элементарные стереофигуры одноосного и двuosного кристаллов в том случае, когда они сопряжены (т. е. когда одна из биссектрис двuosного кристалла совпадает с оптической осью одноосного), имеют внутри диаграммы несколько общих точек, где ветви стереофигур того и другого кристалла пересекаются или касаются одна другой. Такими точками являются точки пересечения и касания стереофигуры одноосного кристалла с главными сечениями индикатрисы двuosного. Подобная особенность этих точек, которые можно назвать характерными точками, обусловлена тем, что условие угасания лучей, параллельных соответствующим векторам, остается одинаковым как для одноосного, так и для двuosного кристалла, ибо эти векторы либо составляют угол в 90° с одной из биссектрис, либо располагаются в плоскости оптических осей. При постоянном значении переменных φ и i (см. выше, общее уравнение стереофигур) положение характерных точек на стереофигуре сопряженного одноосного кристалла остается неизменным и не зависит от угла оптических осей двuosного кристалла.

Теория характерных точек показывает также, что пересечение ветвей стереофигуры двuosного кристалла с главными сечениями его индикатрисы может иметь место только в характерных точках.

Эти две особенности характерных точек очень важны, так как позволяют произвести довольно точное построение элементарной стереофигуры двuosного кристалла, исходя из стереофигур сопряженных с ним одноосных кристаллов, построение которых, притом достаточно точное, не представляет никакого труда.

6. При вращении шлифа по индексу в ту или другую сторону (т. е. при поворачивании внутреннего круга федоровского столика) ветви стереофигур поворачиваются в об-

щих точках (где пересекаются все элементарные стереофигуры) в сторону, противоположную вращению самого шлифа. Явление это вполне подобно тому, что имеет место и в обычном коноскопическом методе.

7. К числу важных особенностей стереофигур относятся также общие и простые узловые точки, в которых пересекаются ветви всех элементарных стереофигур, либо же ветви только одной стереофигуры. Ввиду очень большого теоретического значения этих точек и, в особенности, общих узловых точек, они описаны в отдельной главе.

VII. ТЕОРИЯ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК

Стереофигуры нормального и диагонального вариантов имеют, в общем случае, четыре категории узловых точек, а именно, общие внутренние узловые точки, общие внешние узловые точки, простые узловые точки внутренние и простые узловые точки внешние. Внутренние узловые точки проектируются внутри диаграммы, а внешние—на ее периферии, т. е. на основном круге проекций.

1. ОБЩИЕ ВНУТРЕННИЕ УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ

Такого рода точки в обоих вариантах совпадают с проекциями оптических осей, и в этих точках пересекаются всегда ветви всех элементарных стереофигур данного кристалла, составляющих его полную стереофигуру. Это явление вполне понятно, так как луч, параллельный вектору оптической оси, будет всегда, при его совмещении с осью микроскопа, угасающим, независимо от положения индекса. Следовательно, этот вектор должен входить в состав всех возможных элементарных стереофигур данного разреза исследуемого кристалла, а это может иметь место только тогда, когда проекция оптической оси будет точкой пересечения ветвей всех элементарных стереофигур. Внутренних общих узловых точек может быть на диаграмме две, одна или ни одной, в зависимости от ориентировки разреза и от одноосного или двуосного характера кристалла.

В том случае, если разрез параллелен оптической оси, таковая проектируется на краю диаграммы, а соответствующая этой оси общая узловая точка совпадает с одной из внешних общих узловых точек.

При стереооконоскопическом исследовании главной задачей является, в общем случае, отыскание именно внутренних общих узловых точек, показывающих местонахождение оптических осей. В частном случае, когда одна или обе оптические оси проектируются на краю диаграммы, задача сводится к отысканию внешних общих узловых точек.

2. ОБЩИЕ ВНЕШНИЕ УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ

Ветви элементарных стереофигур могут пересекаться с основным кругом диаграммы, кроме проекций оси север-юг (см. выше), также и в некоторых других точках, число которых и положение по отношению к индикатрисе определяется характером кристалла и ориентировкой разреза и сохраняется для каждого данного сечения кристалла строго постоянным, вне зависимости от положения индекса.

С помощью общего уравнения стереофигур можно доказать, что если одна элементарная стереофигура пересекла основной круг диаграммы в каких-либо точках (вне проекций оси север-юг), то через каждую из них должны пройти ветви и всех других элементарных стереофигур. Следовательно, луч, параллельный вектору общей внешней узловой точки, всегда будет угасающим при его совмещении с осью микроскопа, вне зависимости от положения индекса.

Для вектора общей внешней узловой точки, как и для каждого вектора, расположенного в плоскости проекции, переменная x всегда равна $\pm 90^\circ$, а угол SEK равен 0° , или 180° . Кроме того, можно рассматривать такое положение шлифа, при котором плоскость оптических осей совмещена с осью север-юг, и в этом случае будем иметь дополнительно $i=0^\circ$. Подставляя эти значения в общее уравнение стереофигур, мы приведем его к виду:

$$2F = -\operatorname{arctg} \left[\frac{-\sin\varphi}{\cotg(\varphi + V) \cos y - \sin y \cos\varphi} \right] - \\ - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{-\sin\varphi}{\cotg(\varphi - V) \cos y - \sin y \cos\varphi} \right], \quad (2)$$

откуда уравнение общих внешних узловых точек будет иметь вид для нормального варианта:

$$\operatorname{tgy} = \frac{\sin 2\psi}{2\sin(\psi + V) \sin(\psi - V) \cos\varphi} = \frac{\sin 2\psi}{(\cos 2V - \cos 2\psi) \cos\varphi} \quad (3)$$

и для диагонального варианта:

$$\cos\varphi \sin y \cos y [\cotg((\psi + V) + \cotg(\psi - V))] - \\ - \cos^2 y \cotg(\psi + V) \cotg(\psi - V) - \cos^2\varphi \sin^2 y + \sin^2\varphi = 0 \quad (4)$$

а. Нормальный вариант.

Уравнение (3) показывает, что на диаграммах нормального варианта всегда имеются либо две общие внешние узловые точки, расположенные на концах одного диаметра, либо бесконечное их число. Во втором случае геометрическим выражением бесконечного числа точек является основной круг диаграммы, который входит в состав всех элементарных стереофигур.

У одноосных кристаллов в разрезах, перпендикулярных к оптической оси, $\varphi = 90^\circ$ и $\psi = 90^\circ$, поэтому присутствует основной круг диаграммы, внешних же общих узловых точек нет. В косых разрезах $\varphi = 90^\circ$, поэтому присутствуют только внешние общие узловые точки, расположенные на диаграмме на концах диаметра, проходящего через проекцию оптической оси. Наконец, в разрезах, параллельных оптической оси, имеет место $\psi = 0^\circ$, а φ становится неопределенным, поэтому присутствуют как основной круг диаграммы, так и две общие узловые точки, которые совпадают с проекциями оптической оси.

У двуосных кристаллов в разрезах, перпендикулярных биссектрисе, имеем $\varphi = 90^\circ$ и $\psi = 0^\circ$ или $\psi = 90^\circ$, а в разрезах, перпендикулярных к оси Nm, имеем $\varphi = 0^\circ$ и ψ неопределенное, поэтому на диаграммах присутствует основной круг, внешних же общих узловых точек нет. В

разрезах, параллельных одной из биссектрис, $\varphi = 0^\circ$ и $0^\circ < \varphi < 90^\circ$, следовательно имеются две общие узловые точки, расположенные на диаграмме на концах диаметра, проходящего через проекции оси Nm и второй биссектрисы. В разрезах, параллельных оси Nm, имеем $\varphi = 90^\circ$ и $0^\circ < \varphi < 90^\circ$, поэтому имеются две общие узловые точки на концах диаметра, проходящего через проекции биссектрис. Наконец, в косых разрезах имеем $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ и $0^\circ < \psi < 90^\circ$, поэтому всегда присутствуют две общие узловые точки, положение которых определяется следующим способом. Именно, при совмещении этих точек с проекциями оси север-юг, проекции оптических осей должны расположиться одна вправо, а другая влево от центрального меридиана, притом на меридианах, симметричных относительно центрального (см. рис. 3).

Для нормального варианта положение общих внешних узловых точек может быть определено также с помощью и второго уравнения, имеющего следующий вид:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\text{tg} BN}{\text{tg} AN}, \quad (5)$$

где (см. рис. 3):

AN и BN—дуги большого круга между нормалью к шлифу и оптическими осями A и B;

$\beta = \angle ANB$ — α и $\angle ANB$ —угол между дугами AN и BN;

α и β —углы, образуемые северным направлением центрального меридиана с дугами AN и BN.

Уравнение (5) дает решения при любых значениях дуг AN и BN и угла ANB, причем число решений будет бесконечным, если: (1) $AN = BN$ и $\angle ANB = 180^\circ$, (2) $AN = BN = 0^\circ$ и (3) $AN = BN = 90^\circ$. В этих случаях в составе стереофигур участвует основной круг диаграммы.

б. Диагональный вариант.

На диаграммах диагонального варианта может быть четыре, две или ни одной общей внешней узловой точки. Основной круг диаграммы появляется здесь в составе стереофигур только в разрезе, перпендикулярном к оптической оси, при условии, если угол оптических осей равен 90° .

Для одноосных кристаллов уравнение (4) приводится к виду $\cos y = \pm \operatorname{tg} \psi$ и не имеет решений при $\psi > 45^\circ$, т. е. когда угол между оптической осью и нормалью к шлифу меньше 45° . В этом случае диаграмма не имеет общих внешних узловых точек. При $\psi = 45^\circ$ имеется две таких точки и они расположены на концах диаметра, перпендикулярного к диаметру, проходящему через проекцию оптической оси. При $\psi < 45^\circ$ (когда угол между оптической осью и нормалью к шлифу больше 45°) диаграмма имеет четыре внешних общих узловых точки, каждая из которых отстоит под углом y от концов диаметра, перпендикулярного к оптической оси. Наконец, в разрезах, параллельных оптической оси ($\psi = 0^\circ$), диаграмма имеет две внешние общие точки, совпадающие с проекциями оптической оси.

Для того, чтобы найти внешние общие узловые точки одноосного кристалла, поворачиваем шлиф по индексу в одну и другую сторону, пока проекция оптической оси совместится с меридианами $+45^\circ$ и -45° . При этом общая внешняя точка совпадает с проекцией оси север-юг.

Двуосные кристаллы. В разрезах, перпендикулярных к биссектрисе, не имеется общих внешних узловых точек, так как $\varphi = 90^\circ$ и $\psi = 90^\circ$, поэтому уравнение (4) приводится к виду $\cos^2 y = -\operatorname{tg}^2 V$ и не дает решений. В разрезах, параллельных плоскости оптических осей, всегда имеется четыре внешних общих точки, так как $\varphi = 0^\circ$ и $\psi = 0^\circ$, и уравнение (4) получает вид $\operatorname{tg}^2 y = \operatorname{ctg}^2 V$. В разрезах, параллельных одной из биссектрис, имеем $\psi = 0^\circ$, и уравнение получает вид $\sin^2 y = \frac{\operatorname{ctg}^2 V + \sin^2 \varphi}{\operatorname{ctg}^2 V + \cos^2 \varphi}$. Здесь могут быть три случая: при $\varphi > 45^\circ$ (если угол между второй биссектрисой и нормалью к шлифу меньше 45°) общих внешних точек нет; при $\varphi = 45^\circ$ имеются две точки, совпадающие с проекциями биссектрисы, параллельной шлифу; наконец, при $\varphi < 45^\circ$ (если угол между второй биссектрисой и нормалью к шлифу больше 45°) имеется четыре внешних общих точки, которые отстоят под углом $\pm y_1$ от проекций биссектрисы, параллельной шлифу, причем значение y_1 получается из уравнения

$$\cos^2 y_1 = \frac{\sin^2 \varphi + \cotg^2 V}{\cos^2 \varphi + \cotg^2 V}.$$

В разрезах, параллельных оси Nm ($\varphi = 90^\circ$), в общем случае имеются четыре внешние общие точки, отстоящие под углом y от проекций оси Nm, причем значение y определяется из уравнения $\cos^2 y = \tg(\varphi + V) \tg(\varphi - V)$. В частных случаях, при $\varphi = 45^\circ$ имеются две общие внешние точки, совпадающие с проекциями оси Nm, а при $\varphi = V$ имеются также две такие точки, но они расположены на концах диаметра, проходящего через проекции биссектрис. Наконец, если разрез перпендикулярен к оптической оси и притом угол оптических осей равен 90° , т. е. при $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = V = 45^\circ$, в составе стереофигур вместо узловых точек появляется основной круг диаграммы, так как уравнение (4) удовлетворяется при любых значениях y . В разрезах, параллельных оси Nm, не имеется внешних общих точек в тех случаях, когда оптические оси проектируются по разные стороны от центра диаграммы, а также когда острая биссектриса составляет с нормалью к шлифу угол меньше 45° .

В косых разрезах двuosных кристаллов могут быть все три случая, т. е. общих внешних узловых точек четыре, две или ни одной. Эти узловые точки присутствуют здесь только тогда, когда оптические оси могут быть спроектированы по одну сторону от центрального меридиана, притом либо обе на одном меридиане $\pm 45^\circ$, либо же на двух меридианах (одна оптическая ось на одном меридиане, а вторая на другом), симметричных относительно меридиана 45° (см. рис. 4). Сами узловые точки располагаются при этом на концах центрального меридиана.

Чтобы найти на диаграмме общие внешние точки двuosного кристалла при диагональном варианте, поворачиваем шлиф (диаграмму) по индексу и ищем такие положения, при которых проекции оптических осей располагаются по одну сторону от центрального меридиана и притом симметрично относительно меридианов $+45^\circ$ или -45° .

Для диагонального варианта положение внешних об-

щих узловых точек может быть определено также с помощью второго уравнения, имеющего следующий вид:

$$\sin \alpha \sin \beta = \cotg AN \cotg BN, \quad (6)$$

где (см. рис. 4):

AN и BN — дуги между нормалью к шлифу и оптическими осями,

ANB — угол между дугами AN и BN,

α и β — углы, образуемые центральным меридианом с дугами AN и BN, причем $\alpha + \beta + ANB = 180^\circ$.

Уравнение (6) не дает решений в том случае, если его правая часть больше единицы, т. е. тогда, когда одновременно $AN < 45^\circ$ и $BN < 45^\circ$, или когда при $AN > 45^\circ$ (или при $BN > 45^\circ$) имеет место неравенство $\cotg BN > \tg AN$ (или $\cotg AN > \tg BN$). В частном случае, при $AN = 0^\circ$ и $BN = 90^\circ$, уравнение (6) дает бесконечное число решений, т. е. в составе стереофигур появляется основной круг диаграммы.

3. ВНУТРЕННИЕ ПРОСТЫЕ УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ

Такие точки имеются только у отдельных элементарных стереофигур, и в этих точках ветви их пересекаются под углом в 90° .

а. Нормальный вариант.

При нормальном варианте внутренние простые узловые точки появляются тогда, когда одна из осей индикатрисы располагается на экваторе диаграммы. Повернув шлиф вокруг оси север-юг, а также и по индексу, приводим его в такое вспомогательное положение, при котором ось индикатрисы совмещается с осью восток-запад.

Если при этом с осью восток-запад совмещена одна из биссектрис, то $i = 90^\circ$ и $\varphi = 0^\circ$, и общее уравнение стереофигур приводится к следующему виду:

$$\sin x [2 \cos x (\cotg^2 V + \sin^2 \varphi) - \cotg y \sin^2 \varphi] = 0 \quad (7)$$

и дает два решения: дугу большого круга $x = 0^\circ$ и замкнутую кривую $2 \cos x (\cotg^2 V + \sin^2 \varphi) - \cotg y \sin^2 \varphi = 0$, ко-

торые пересекаются в двух точках с координатами: первая — $x = 0^\circ$ и $y = 90^\circ$, а вторая — с координатами $x = 0^\circ$ и $y = \arccotg \left[\frac{2\cotg^2 V + 2\sin^2 \varphi}{\sin 2\varphi} \right]$.

Если с осью восток-запад совмещена ось Nm, то $\varphi = 90^\circ$ и $i = 0^\circ$ и общее уравнение стереофигур приводится к следующему виду:

$$\sin x [\cotg(\psi + V) + \cotg(\psi - V) - 2\cos x \operatorname{tg} y] = 0 \quad (8)$$

и дает два решения: дугу большого круга $x = 0^\circ$ и замкнутую кривую $\cotg(\psi + V) + \cotg(\psi - V) - 2\cos x \operatorname{tg} y = 0$, которые пересекаются в двух точках с координатами: первая — $x = 0^\circ$ и $y = 90^\circ$, а вторая с координатами $x = 0^\circ$ и $y = \arccotg [0.5\cotg(\psi + V) + 0.5\cotg(\psi - V)]$.

Если одна из оптических осей совмещена с осью север-юг, то $\psi = V$ и $i = 0^\circ$, поэтому общее уравнение стереофигур получает вид $\cotg \varphi = -\operatorname{tg} x$ и дает только одно решение $x = (\varphi - 90^\circ)$, т. е. замкнутая кривая превращается в точку, совпадающую с проекцией оси север-юг, а стереофигура состоит только из одной дуги большого круга, совпадающей с плоскостью оптических осей.

Сделанный выше анализ показывает, что у нормального варианта внутренние простые узловые точки присутствуют во всех тех стереофигурах, когда одно из главных сечений индикатрисы совмещено с осью север-юг. Число таких узловых точек на полной стереофигуре двуосного кристалла равно трем. У одноосных же кристаллов полная стереофигура имеет только одну такую точку, которая появляется тогда, когда оптическая ось располагается в плоскости, проходящей через нормаль к шлифу и через ось восток-запад. При этом сама точка проектируется на диаметре, проходящем через проекцию оптической оси, и отстоит от нея в 90° .

б. Диагональный вариант.

Одноосные кристаллы при диагональном варианте могут иметь две внутренние простые узловые точки, которые появляются в том случае, когда оптическая ось составляет

с осью север-юг угол в 45° . Таких положений может быть только два, когда оптическая ось располагается в северо-восточном или северо-западном секторах (юго-восточный сектор вполне симметричен северо-западному, а юго-западный — северо-восточному). Для каждого из этих положений можно привести шлиф в такое вспомогательное положение, при котором оптическая ось будет расположена на центральном меридиане. В этом случае имеем $i=0^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\psi=45^\circ$ и $V=0^\circ$, поэтому уравнение стереофигур получит вид:

$$\sin^2 x - (\cos y - \sin y \cos x)^2 = 0 \quad (10)$$

и дает два решения:

$$\sin x - \cos y + \sin y \cos x = 0 \text{ и } \sin x + \cos y - \sin y \cos x = 0.$$

Этим решениям на диаграмме соответствуют две кривые, пересекающиеся в трех точках: в проекции оптической оси (координаты равны $x=0^\circ$ и $y=45^\circ$), в проекциях оси север-юг (координаты равны $x=\pm 45^\circ$ и $y=\pm 90^\circ$) и на концах экватора (координаты равны $x=\pm 90^\circ$ и $y=0^\circ$). Третья из этих точек появляется только тогда, когда оптическая ось составляет с осью север-юг угол в 45° , и соответствующий вектор образует с обеими этими осями угол 90° .

В разрезах одноосного кристалла, параллельных оптической оси, обе простые внутренние узловые точки совпадают с центром диаграммы. При переходе от этого сечения к косому узловые точки расходятся на тот или иной угол, в зависимости от значения угла ψ , представляющего угол между плоскостью шлифа и оптической осью. В разрезах под 45° к оптической оси обе эти узловые точки выходят на край диаграммы, превращаясь в две внешние общие узловые точки, расположенные на концах диаметра, перпендикулярного к диаметру, проходящему через проекцию оптической оси. В сечениях, где оптическая ось и нормаль к шлифу составляют угол меньше 45° ($\psi < 45^\circ$), внутренних простых узловых точек нет.

Найти на полной стереофигуре обе простые внутренние узловые точки очень легко. Для этого нужно повернуть шлиф по индексу так, чтобы оптическая ось расположилась в 45° от оси север-юг в северо-восточном и в

северо-западном секторах. Затем для каждого из этих положений нужно найти на экваторе точку, отстоящую в 90° от оптической оси (см. рис. 5).

Двуосные кристаллы при диагональном варианте могут иметь в общем случае две пары простых внутренних узловых точек.

Точки первой пары возникают тогда, когда плоскость оптических осей составляет угол в $40-45^\circ$ с меридианом, проходящим через острую биссектрису (см. рис. 6). Таких положений может быть два и они могут быть получены при любом сечении кристалла, поэтому данная пара узловых точек присутствует на полных стереодиаграммах во всех случаях. Узловая точка располагается при этом вблизи острой биссектрисы, несколько в стороне от проходящего через нее меридиана, притом на стороне той оптической оси, которая составляет меньший угол с осью север-юг. Точное положение этих узловых точек может быть найдено путем построения стереофигур для ряда последовательных положений шлифа, при которых угол между плоскостью оптических осей и меридианом будет равен 38° , 40° , 42° , 45° . Приблизительное же положение узловой точки можно определить следующим способом. Поворачиваем шлиф по индексу, пока плоскость оптических осей будет составлять угол в 45° с меридианом, проходящим через острую биссектрису. Таких положений может быть два (см. выше). Затем для каждого из них отмечаем точку в $3-10^\circ$ от острой биссектрисы в направлении, перпендикулярном к данному меридиану, и на той стороне от него, где находится оптическая ось, расположенная ближе к оси север-юг. Это решение будет достаточно близким к истине во всех тех случаях, когда острая биссектриса составляет с нормалью к шлифу угол не более $60-70^\circ$, т. е. когда искомая узловая точка находится в пределах видимости Федоровского столика.

В разрезах, перпендикулярных к острой биссектрисе, обе узловые точки первой пары проектируются в центре диаграммы, совпадая с биссектрисой, причем эти точки входят в состав тех элементарных стереофигур, для кото-

рых плоскость оптических осей составляет с осью север-юг угол в $\pm 45^\circ$. При переходе от этого сечения к косому узловым точкам разъединяются и смещаются вслед за биссектрисой, постепенно раздвигаясь и располагаясь одна по одну, а другая по другую сторону от главного сечения индикатрисы, проходящего через ось Nm и острую биссектрису.

Точки второй пары возникают тогда, когда острая биссектриса составляет с осью север-юг угол в $45-50^\circ$, а это возможно лишь тогда, когда эта биссектриса образует с нормалью к шлифу угол не менее $40-45^\circ$. Таких положений может быть два, как и для оптической оси одноосного кристалла, поэтому и соответствующих простых внутренних узловых точек может быть только две. Точное местонахождение этих точек может быть определено путем построения стереофигур для ряда последовательных положений шлифа, при которых угол между острой биссектрисой и осью север-юг равен $45^\circ, 48^\circ, 50^\circ, 53^\circ$. Приблизительное же местоположение узловых точек этой пары определяется следующим образом. Принимаем острую биссектрису за оптическую ось одноосного кристалла и находим для него простую внутреннюю узловую точку. Затем отмечаем новую точку в $3-10^\circ$ от узловой точки одноосного кристалла, в направлении, поперечном к экватору, и на той стороне от него, где между узловой точкой одноосного кристалла и проекцией оси север-юг располагается плоскость оптических осей двуосного кристалла (см. рис. 7).

В разрезах, параллельных плоскости оптических осей, внутренние простые узловые точки второй пары появляются в составе элементарных стереофигур тогда, когда биссектрисы составляют с осью север-юг угол в 45° . При этом узловые точки проектируются в центре диаграммы и совпадают с осью Nm. При переходе к косому сечению узловые точки разъединяются и смещаются с центра диаграммы к ее краям, располагаясь между осью Nm и тупой биссектрисой, близ проходящего через них главного сечения индикатрисы.

Для обеих пар простых внутренних узловых точек наибольшее, указанное выше, смещение соответствует углу $2V=90^\circ$. Кроме того, для второй пары узловых точек смещение, при прочих равных условиях, будет наибольшим, когда плоскость оптических осей составляет 45° с плоскостью, проходящей через острую биссектрису и через узловую точку одноосного кристалла. Когда же угол между этими плоскостями равен 0° или 90° , то смещение равно нулю и узловая точка двuosного кристалла совпадает с узловой точкой одноосного. Первый из этих случаев соответствует разрезам, перпендикулярным к биссектрисе, а второй — разрезам, параллельным плоскости оптических осей.

Уравнение внутренних простых узловых точек двuosного кристалла при диагональном варианте имеет сложный вид, так как в общем случае оно имеет четвертую степень. Поэтому мы ограничимся приведенными выше указаниями. Наиболее важным является здесь то, что узловые точки этой категории только в двух разрезах совпадают с осями индикатрисы, а именно, в разрезе, перпендикулярном биссектрисе, и в разрезе, параллельном плоскости оптических осей.

4. ВНЕШНИЕ ПРОСТЫЕ УЗЛОВЫЕ ТОЧКИ

Внешние простые узловые точки соответствуют крестообразному, под прямым углом, пересечению ветвей в каждой элементарной стереофигуре, имеющему место на краю диаграммы в проекциях оси север-юг. Необходимость появления таких точек пересечения ветвей стереофигур доказывается очень просто с помощью общего уравнения стереофигур для обоих вариантов.

Исследуемый вектор в этом случае совпадает с осью север-юг, поэтому для него будем иметь $u=90^\circ$ и $SEK=0^\circ$. При этих условиях общее уравнение стереофигур получает такой вид:

$$2F = 2\text{arc tg}(-\cot g x) - \text{arc tg} \left[\frac{-\sin \varphi}{\cot g(\varphi + V) \sin i - \cos i \cos \varphi} \right] -$$

$$-\arctg \left[\frac{-\sin \varphi}{\cotg(\varphi - V) \sin i - \cos i \cos \varphi} \right] \quad (11)$$

Для нормального варианта уравнение (11) приводится к виду

$$A \operatorname{tg}^2 x + 2 \operatorname{tg} x - A = 0, \quad (12)$$

а для диагонального — к виду

$$\operatorname{tg}^2 x + 2A \operatorname{tg} x - 1 = 0, \quad (13)$$

где A представляет условное обозначение выражения, не содержащего переменной x и соответствующего тангенсу суммы второй и третьей дуги правой части уравнения (11).

Уравнение (12) дает два решения

$$\operatorname{tg} x = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + A^2}}{A},$$

причем $\operatorname{tg} x_1 \cdot \operatorname{tg} x_2 = -1$, следовательно $x_2 = -(90^\circ - x_1)$, т. е. через проекцию оси север-юг всегда проходят две ветви стереофигуры, пересекающиеся под прямым углом.

Уравнение (13) также дает два решения

$$\operatorname{tg} x = -A \pm \sqrt{1 + A^2},$$

причем и в этом случае $\operatorname{tg} x_1 \operatorname{tg} x_2 = -1$, т. е. $x_2 = -(90^\circ - x_1)$. Следовательно и здесь через проекцию оси север-юг проходят всегда две ветви стереофигуры, пересекающиеся под прямым углом.

Из этих соотношений вытекает одно дополнительное правило. Именно, в тех случаях, когда полная стереофигура имеет в своем составе основной круг диаграммы, ветви всех элементарных стереофигур, приближаясь к краевой части диаграммы, должны принимать радиальное направление.

Б. ОПИСАНИЕ СТЕРЕОФИГУР РАЗНЫХ СЕЧЕНИЙ ОДНООСНЫХ И ДВУОСНЫХ КРИСТАЛЛОВ

В этом разделе дано краткое описание стереофигур нормального и диагонального вариантов для ряда харак-

терных разрезов одноосных и двуосных кристаллов. Это описание и образцы соответствующих диаграмм показывают, какие результаты должны быть получены при непосредственном измерении кристаллов.

Для одноосных кристаллов дан полный математический анализ стереофигур, для двуосных же кристаллов такой анализ дан лишь в более простых случаях. Для каждого разреза даны значения некоторых переменных, сохраняющих постоянную величину, характерную для данного разреза.

I. НОРМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ

1. ОДНООСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

а. Разрез перпендикулярно к оптической оси (см. рис. 8).

Для разрезов, перпендикулярных к оптической оси, имеем $V=0^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\psi=90^\circ$ и $i=0^\circ$, поэтому общее уравнение стереофигур приводится к виду

$$\sin x \sin y \cos x = 0 \quad (14)$$

и дает для каждой элементарной стереофигуры три решения: $x=0^\circ$, $x=\pm 90^\circ$ и $y=0^\circ$, которые показывают, что каждая элементарная стереофигура состоит из трех взаимно перпендикулярных дуг большого круга. Одна из этих дуг совпадает с основным кругом диаграммы, а две другие проходят через центр диаграммы (нормаль к шлифу) и через проекции осей север-юг и восток-запад, при соответствующем значении индекса.

Полная стереофигура состоит из последовательного ряда прямоугольных крестов, с общим центром их в центре диаграммы, и из основного круга диаграммы, причем ветви каждого креста параллельны, при соответствующем значении индекса, главным сечениям анализатора и поляризатора.

б. Разрез под косым углом к оптической оси (см. рис. 9).

Возьмем произвольное положение косого сечения одноосного кристалла и приведем его во вспомогательное положение, повернув вокруг оси север-юг и совместив оптическую ось с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и через ось север-юг. Для этого вспомогательного положения $i_1 = 0^\circ$ и $\cos \psi_1 = \cos i \cos \psi$. Уравнение стереофигур для вспомогательного положения имеет следующий вид (при условии: $V = 0^\circ$, $\varphi_1 = 90^\circ$, $i_1 = 0^\circ$):

$$\sin x_1 (\cos \psi_1 \cos y - \sin \psi_1 \sin y \cos x_1) = 0 \quad (15)$$

Повернув кристалл из вспомогательного положения обратно в исходное и подставив соответствующие значения для x из уравнения $x_1 = x - \arctg (\sin i \cotg \psi)$, а для $\cos \psi_1$ и $\sin \psi_1$ из приведенного выше равенства, мы приведем уравнение (15) к новой форме, имеющей универсальное значение для всех сечений одноосного кристалла:

$$(\sin x \sin \psi - \cos x \sin i \cos \psi).$$

$$[\cos i \cos \psi \cos y - \sin y (\cos x \sin \psi + \sin x \sin i \cos \psi)] = 0 \quad (16)$$

Это уравнение дает для косого сечения два решения. Первое решение $(\sin x \sin \psi - \cos x \sin i \cos \psi) = 0$ представляет дугу большого круга, проходящую через проекцию оптической оси и через проекции оси север-юг. Второе решение

$[\cos i \cos \psi \cos y - \sin y (\cos x \sin \psi + \sin x \sin i \cos \psi)] = 0$ представляет замкнутую (кольцевую) кривую, проходящую через проекцию оптической оси в одну сторону к общей внешней узловой точке, а в другую — к близлежащей проекции оси север-юг. Недостающая часть этой кривой располагается на противоположной стороне этой кривой диаграммы, где она соединяет вторую общую внешнюю узловую точку со второй проекцией оси север-юг. Эта замкнутая кривая симметрична относительно меридиональной дуги большого круга первого решения и пересекается с нею в трех точ-

жах (в проекциях оси север-юг и оптической оси) под прямым углом.

Когда оптическая ось проектируется на экваторе диаграммы, противоположные части замкнутой кривой соединяются друг с другом и образуют на экваторе простую внутреннюю узловую точку в 90° от проекции оптической оси. Соответствующая элементарная стереофигура состоит из трех взаимно перпендикулярных дуг большого круга, одна из которых проходит через проекции оптической оси и оси север-юг, а вторая совпадает с экватором диаграммы при данном положении индекса.

Когда оптическая ось проектируется на центральном меридиане, элементарная стереофигура состоит из меридиональной дуги, проходящей через центр диаграммы (на диаграмме эта дуга представлена прямой линией), и из замкнутой кривой, которая в этом случае расположена полностью по одну сторону от центра диаграммы.

в. Разрез параллельно оптической оси (см. рис. 10).

Для этих разрезов, имеющих $V=0^\circ$, $\varphi=90^\circ$, $\psi=0^\circ$, решение может быть получено с помощью приведенного выше уравнения (16). Когда оптическая ось совпадает с осью восток-запад ($i=90^\circ$), уравнение получает вид $\cos x \sin x \sin y = 0$ и дает три решения $x=0^\circ$, $x=\pm 90^\circ$ и $y=0^\circ$, представляющие три взаимно перпендикулярных дуги большого круга, одна из которых совпадает с основным кругом диаграммы, а две другие проходят через центр диаграммы и через проекции осей север-юг и восток-запад. При отклонении от этого положения ($0^\circ < i < 90^\circ$), крест разрывается и превращается в две „гиперболы“ (таковые представляют половинки замкнутой кривой предыдущего разреза), расположенные в противоположных секторах диаграммы. Каждая из „гипербол“ соединяет проекцию оси север-юг с проекцией оптической оси. Основной же круг диаграммы сохраняется неизменно в составе таких стереофигур.

Когда оптическая ось совмещена с осью север-юг ($i=0^\circ$), обе гиперболы превращаются в точки, совпадающие с проекциями оси север-юг. Элементарная стереофигура при этом положении превращается в сплошное темное пятно, заполняющее все поле диаграммы. Это возможно только у одноосных кристаллов. При наличии федоровского столика с дополнительными осями это явление должно дать возможность установить двуосность кристалла даже и при очень малом угле оптических осей в разрезах, более или менее параллельных плоскости оптических осей. Появление такого рода стереофигуры, представляющей сплошное темное пятно, является обязательным, так как уравнение (16) при данных условиях ($\psi=0^\circ$ и $i=0^\circ$) удовлетворяется при любых значениях x и y .

2. ДВУОСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

а. Разрезы перпендикулярно к биссектрисе (см. рис. 11).

Для таких разрезов имеем $\varphi=90^\circ$ и $\psi=0^\circ$. Возьмем произвольное положение такого разреза и приведем его во вспомогательное положение, повернув вокруг оси север-юг, чтобы одна из биссектрис совместилась с осью восток-запад. Для этого положения будем иметь $\varphi_1=i$ и $-x_1=90^\circ-x$. Уравнение стереофигуры для вспомогательного положения приводится к виду:

$$\sin x_1 [2 \cos x_1 \sin y (\cot^2 V + \sin^2 \varphi_1) - \cos y \sin 2\varphi_1] = 0 \quad (17)$$

Подставив в это уравнение значения x_1 и φ_1 , указанные выше, получим уравнение стереофигур для данного сечения в таком виде:

$$\cos x [2 \sin x \sin y (\cot^2 V + \sin^2 i) - \cos y \sin 2i] = 0 \quad (18)$$

Первое решение уравнения (18) дает $x=\pm 90^\circ$ и представляет основной круг диаграммы, который входит в состав всех стереофигур. Второе решение

$$2 \sin x \sin y (\cot^2 V + \sin^2 i) - \cos y \sin 2i = 0$$

представляет две „гиперболы“, расположенные в противоположных секторах диаграммы. Каждая из них проходит через проекции оптической оси и оси север-юг.

При $i=0^\circ$ и $i=90^\circ$, когда ось N_m совпадает с осью север-юг или восток-запад, уравнение (18) приводится к виду $\cos x \sin x \sin y = 0$ и дает три решения $x=0^\circ$, $x=90^\circ$ и $y=0^\circ$, т. е. три взаимно перпендикулярных дуги большого круга, совпадающих с главными сечениями индикатрисы. Из них две дуги проходят через центр диаграммы, образуя фигуру креста. Возникновение креста, путем соединения „гипербол“, и изменение последних происходит так же, как и в обычном коноскопическом методе.

б. Разрезы перпендикулярно к оси N_m (см. рис. 12).

Такие разрезы имеют $\varphi=0^\circ$ и $\psi=0^\circ$. Подобно предыдущему, приводим кристалл во вспомогательное положение, повернув на 90° вокруг оси север-юг. При этом ось N_m совмещается с осью восток-запад. Для вспомогательного положения $-x_1=90-x$ и $\psi_1=i$. Уравнение стереофигур получает вид

$$\sin x_1 \left\{ \cos y [\cotg (\psi_1 + V) + \cotg (\psi_1 - V)] - 2 \sin y \cos x_1 \right\} = 0. \quad (19)$$

Подставив значения для ψ_1 и x_1 , получим уравнение

$$\cos x \left\{ \cos y [\cotg (i + V) + \cotg (i - V)] - 2 \sin y \sin x \right\} = 0. \quad (20)$$

Первое решение дает $\cos x = 0$ и $x = \pm 90^\circ$, т. е. основной круг диаграммы, присутствующий во всех элементарных стереофигурах этого разреза. Второе решение дает

$$\cos y [\cotg (i + V) + \cotg (i - V)] - 2 \sin y \sin x = 0$$

и представляет две „гиперболы“, расположенные в тех противоположных секторах диаграммы, в которых проекция одной из оптических осей лежит ближе к проекции оси север-юг. Когда биссектрисы совпадают с осями север-юг и восток-запад, то $i=0^\circ$ или $i=90^\circ$ и уравнение (20) дает три решения: $x=0^\circ$, $x=\pm 90^\circ$ и $y=0^\circ$, т. е. гиперболы сое-

динияются в центре диаграммы, образуя крест, и стереофигура представляет сочетание трех дуг большого круга, совпадающих с главными сечениями индикатрисы. При отклонении от этого положения крест разрывается и дают две гиперболы, которые последовательно удаляются от центра диаграммы, приближаясь концентрически к проекциям той оптической оси, которая составляет меньший угол с осью север-юг, и, наконец, превращаются в точки, когда эта оптическая ось совмещается с осью север-юг. В дальнейшем гиперболы снова увеличиваются, но уже в смежных секторах диаграммы, и соединяясь опять образуют крест.

в. Разрезы параллельно одной из биссектрис (см. рис. 13).

В таких разрезах $\varphi=0^\circ$. Когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью восток-запад, уравнение стереофигур получает следующий вид

$$\sin x [2\cos x \sin y (\cot^2 V + \sin^2 \varphi) - \cos y \sin 2\varphi] = 0 \quad (21)$$

и дает два решения. Первое решение, $x=0^\circ$, представляет центральный меридиан, т. е. дугу большого круга, совпадающую с главным сечением индикатрисы, перпендикулярным к шлифу. Второе решение дает

$$2\cos x \sin y (\cot^2 V + \sin^2 \varphi) - \cos y \sin 2\varphi = 0$$

и представляет замкнутую кривую, проходящую через проекции оптических осей и через близлежащую проекцию оси север-юг. Кривая эта симметрична относительно дуги большого круга первого решения и пересекается с ней под прямым углом.

Когда эта же биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью север-юг, уравнение стереофигуры получает вид $\sin y \sin(x+\varphi)\cos(x+\varphi)=0$ и соответствующая фигура представляет сочетание трех дуг большого круга, совпадающих с главными сечениями индикатрисы.

При отклонении от таких положений крестообразное пересечение ветвей стереофигур внутри диаграммы разры-

вается и стереофигура получает вид, промежуточный между данными крайними ее формами.

г. Разрезы параллельно оси N_m (см. рис. 14).

В таких разрезах $\varphi = 90^\circ$. Когда ось N_m совпадает с осью восток-запад, уравнение стереофигур получает вид

$$\sin x \left\{ [\cotg(\psi + V) + \cotg(\psi - V)] \cos y - 2 \sin y \cos x \right\} = 0 \quad (22)$$

и дает два решения. Первое из них, $x = 0^\circ$, представляет дугу большого круга (центральный меридиан), совпадающую с одним из главных сечений индикатрисы. Второе решение дает

$$[\cotg(\psi + V) + \cotg(\psi - V)] \cos y - 2 \sin y \cos x = 0$$

и представляет замкнутую кривую, проходящую через одну проекцию оси север-юг, симметричную относительно дуги большого круга первого решения и пересекающуюся с нею под прямым углом.

Когда ось N_m совпадает с осью север-юг, уравнение приводится к виду

$$\sin y \sin(x + \psi) \cos(x - \psi) = 0, \quad (23)$$

а соответствующая стереофигура представляет сочетание трех дуг большого круга, совпадающих с главными сечениями индикатрисы.

При отклонении от таких положений крестообразное пересечение ветвей стереофигуры внутри диаграммы разрывается и стереофигура получает промежуточную форму. Таковая обычно имеет Z-образное очертание и состоит из трех ветвей, причем протягивается от одной общей внешней узловой точки через проекцию оптической оси к проекции оси север-юг, отсюда через проекцию второй оптической оси ко второй проекции оси север-юг и, затем, ко второй общей внешней узловой точке.

Замкнутая кривая первой фигуры всегда окружает проекцию той оптической оси, которая составляет меньший угол с осью север-юг. Поэтому, по мере приближе-

ния оптической оси к оси север-юг, замкнутая кривая уменьшается и превращается в точку, когда эти оси совпадают. В этом случае стереофигура состоит только из одной дуги большого круга (центральный меридиан), соответствующей главному сечению индикатрисы, перпендикулярному к оси N_m .

д. Косые разрезы (см. рис. 15).

Косые разрезы имеют всегда три положения, для которых элементарная стереофигура определяется очень просто, а именно, когда одна из осей индикатрисы проектируется на экваторе. Такие положения могут быть приведены с помощью вспомогательного построения к предыдущим двум разрезам (параллельно одной из осей индикатрисы), и соответствующие стереофигуры представляют сочетание меридиональной дуги большого круга, проходящей через остальные две оси индикатрисы, и замкнутой кривой, одна часть которой расположена всегда на одной стороне от центра. При отклонении от этих положений крестообразное пересечение ветвей стереофигуры внутри диаграммы разрывается и стереофигура получает форму промежуточную между указанными тремя крайними формами.

II. ДИАГОНАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ

1. ОДНООСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Для произвольного положения косого сечения одноосного кристалла уравнение стереофигур может быть выведено путем приведения кристалла к вспомогательному положению, при котором оптическая ось совмещается с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось север-юг. Для этого положения уравнение стереофигур имеет следующий вид:

$$(\cotg \psi_1 \cos y - \sin y \cos x_1)^2 - \sin^2 x_1 = 0. \quad (24)$$

Подставив в это уравнение значения:

$$x_1 = x - \arctg(\sin i \cotg \phi) \text{ и } \cos \phi_1 = \cos i \cos \phi,$$

получим следующее общее уравнение стереофигур одноосного кристалла при диагональном варианте:

$$[\cos i \cos \phi \cos y - \sin y (\cos x \sin \phi + \sin x \sin i \cos \phi)]^2 - (\sin x \sin \phi - \cos x \sin i \cos \phi)^2 = 0. \quad (25)$$

Уравнение (25) показывает, что стереофигура всегда состоит из двух кривых, симметричных относительно меридиональной дуги большого круга, проходящей (при соответствующем положении индекса) через проекцию оптической оси и ось север-юг. Кривые эти пересекаются в трех точках, в проекциях оптической оси и оси север-юг, притом под прямым углом.

а. Разрез перпендикулярно к оптической оси (см. рис. 16).

Такие разрезы имеют $i=0^\circ$ и $\phi=90^\circ$, поэтому уравнение (25) приводится к виду $\sin y = \pm \tg x$, а стереофигура представляет для каждого положения индекса симметричную „восьмерку“, опирающуюся на проекции оси север-юг. Центр всех восьмерок совпадает с центром диаграммы.

б. Разрезы косо к оптической оси (см. рис. 17, 18 и 19).

Такие разрезы дают три случая, в зависимости от величины угла ϕ между оптической осью и плоскостью шлифа.

Первый случай (см. рис. 17). Угол между оптической осью и нормалью к шлифу меньше 45° . В таких разрезах $\phi > 45^\circ$, поэтому диаграмма не имеет общих внешних узловых точек. Каждая элементарная стереофигура представляет восьмерку с неравными половинками, причем меньшая половинка расположена на той стороне диаграммы, где оптическая ось составляет меньший угол с осью север-юг.

Второй случай (см. рис. 18). Угол между оптической осью и нормалью к шлифу равен 45° , т. е. $\phi = 45^\circ$, поэтому

имеются две внешние общие точки, расположенные на концах диаметра, перпендикулярного к диаметру, проходящему через проекцию оптической оси. Каждая элементарная стереофигура представляет восьмерку с неравными половинками, как и в предыдущем случае, но ширина восьмерок значительно больше. Когда проекция оптической оси располагается на центральном меридиане, восьмерка опирается заостренными боками большей половинки на общие внешние узловые точки. При отклонении от этого положения в ту или другую сторону на угол до 90° все восьмерки отрываются от одной общей точки и опираются (по касательной к основному кругу диаграммы) только на эту общую точку, которая расположена, вместе с проекцией оптической оси, по одну сторону от оси север-юг. Когда проекция оптической оси располагается на экваторе, элементарная стереофигура представляет симметричную восьмерку, опирающуюся на проекции оси север-юг, с которыми в этом положении совпадают общие внешние узловые точки.

Третий случай (см. рис. 19). Угол между оптической осью и нормалью к шлифу больше 45° , т. е. $\varphi < 45^\circ$, поэтому диаграмма имеет всегда четыре внешних общих точки. Когда оптическая ось составляет с осью север-юг угол больше 45° , элементарные стереофигуры представляют восьмерки с неравными половинками (как и в предыдущих случаях), причем восточные или западные ветви их выходят частично за пределы диаграммы и проектируются на противоположной стороне диаграммы. Когда оптическая ось составляет с осью север-юг угол в 45° , ветви восьмерки, проектировавшиеся на противоположных сторонах диаграммы, соединяются и образуют подобие песочных часов, центральная точка которых (где пересекаются две ветви стереофигуры) проектируется на экваторе в 90° от проекций оптической оси и оси север-юг и представляет простую внутреннюю узловую точку диаграммы. Наконец, когда оптическая ось составляет с осью север-юг угол меньше 45° , элементарные стереофигуры состоят из двух замкнутых кривых. Каждая из них проходит через проек-

нию оптической оси, общую внешнюю точку и близлежащую проекцию оси север-юг, а недостающая их часть проектируется на противоположной стороне диаграммы, где соединяет общую внешнюю точку со второй проекцией оси север-юг. Такие замкнутые кривые образуются из фигуры песочных часов при ее разрыве в центральной части, когда угол ψ становится меньше 45° .

в. Разрезы параллельно оптической оси (см. рис. 20).

В таких разрезах $\psi=0^\circ$, и диаграмма имеет две общих внешних узловых точки, которые совпадают с проекциями оптической оси. Уравнение стереофигур приводится к виду:

$$(\cos i \cos y - \sin y \sin x \sin i) \pm \cos x \sin i = 0. \quad (26)$$

Когда оптическая ось совпадает с осью восток-запад, имеем $i=90^\circ$, а уравнение (26) дает решение $\sin y = \pm \cot g x$. Соответствующая стереофигура представляет сочетание четырех одинаковых ветвей, соединяющих проекции оптической оси с проекциями оси север-юг. При отклонении от этого положения две ветви стереофигуры укорачиваются, а две удлиняются и при этом сближаются. Когда $i=45^\circ$ или $i=135^\circ$, эти ветви соединяются и образуют фигуру, подобную песочным часам, центральная узловая точка которой совпадает с центром диаграммы и представляет простую внутреннюю узловую точку. Уравнение в этом случае имеет вид $(\cos y - \sin y \sin x) \pm \cos x = 0$. При дальнейшем изменении угла i фигура песочных часов разрывается по длинной оси и стереофигура составляется после этого из двух замкнутых кривых, симметричных относительно центра диаграммы. Каждая из кривых соединяет проекцию оптической оси с проекцией оси север-юг, причем часть кривой выходит за пределы диаграммы и проектируется на противоположной ее стороне. Наконец, при $i=0^\circ$ или $i=180^\circ$ уменьшающиеся замкнутые кривые превращаются в точки, совпадающие с проекциями оптической оси, которая совмещена в этом случае с осью север-юг.

Уравнение стереофигур дает при этом только одно решение $\cos \alpha = 0$. При таком положении шлифа диаграмма представляет чистое поле без единого вектора угасающего луча.

2. ДВУОСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Описание стереофигур двуосных кристаллов диагонального варианта дано ниже без математического анализа, так как этот анализ, в силу многообразия стереофигур, занял бы очень много места.

а. Разрезы перпендикулярно биссектрисе (см. рис. 21).

В таких разрезах всегда $\varphi = 90^\circ$ и $\psi = 0^\circ$, поэтому диаграмма не имеет внешних общих узловых точек. Когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью север-юг, элементарная стереофигура представляет два одинаковых лепестка, симметричных относительно центра диаграммы. Каждый из лепестков опирается на одну проекцию оси север-юг и проходит через проекцию одной оптической оси. При отклонении от этого положения лепестки увеличиваются и вместе с тем выпуклые их части сближаются.

Когда биссектриса располагается в 45° от оси север-юг (т. е. когда плоскость оптических осей совпадает с главным сечением одного из николей), лепестки соединяются, образуя восьмерку. В дальнейшем поясok восьмерки растягивается и стереофигура получает форму симметричной колбы. Наибольшую ширину поясok этой фигуры получает тогда, когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью восток-запад. Центральная точка фигуры "восьмерки" совпадает с центром диаграммы, где проектируется вторая биссектриса, и представляет простую внутреннюю узловую точку.

б. Разрезы перпендикулярно к оси $N_{\text{ш}}$ (см. рис. 22).

В таких разрезах $\varphi = 0^\circ$, а для i можно принять произвольно $i = 0^\circ$ или $i = 90^\circ$. Имеются четыре внешних общих

точки, совпадающие с проекциями оптических осей. Полная стереофигура этих разрезов состоит из четырех веерообразных пучков кривых линий, каждый из которых опирается на одну проекцию оптической оси. Центральная линия каждого пучка проходит через центр диаграммы и принадлежит элементарной стереофигуре того положения, при котором биссектрисы индикатрисы составляют угол в 45° с осями север-юг и восток-запад. Таких положений может быть два, поэтому веерообразные пучки полной стереофигуры сосуществуют попарно, будучи расположены симметрично друг другу на противоположных сторонах диаграммы, где они опираются на проекцию той оптической оси, которая составляет меньший угол с осью восток-запад. Если угол оптических осей $60^\circ < 2V < 90^\circ$, то центральная линия каждого пучка представляет почти прямую (при $2V = 90^\circ$, эта линия есть прямая), экстраполируя которую за пределы видимости федоровского столика, можно найти очень точно проекцию оптической оси. Когда $2V < 60^\circ$, центральная линия пучков получает большую или меньшую кривизну и в таких случаях, экстраполируя эту линию, мы получим для угла оптических осей значение больше действительного. Необходимая в таких случаях поправка дана ниже в таблице, где $2E$ преувеличенное значение угла оптических осей, полученное экстраполяцией центральной линии пучка.

$2E =$	60°	52°	44°	36°	$16^\circ - 20^\circ$
Поправка	0.5°	2°	4°	6°	$16^\circ - 20^\circ$

Как видно из таблицы, в разрезах, параллельных плоскости оптических осей, угол их может быть определен довольно точно тогда, когда он больше $45-50^\circ$. С меньшей, но все же с удовлетворительной точностью можно определить этот угол тогда, когда его значение находится в пределах $30-45^\circ$. Но при $2V < 20^\circ$ определение становится уже почти невозможным, так как стереофигуры одноосного и двуосного кристаллов в пределах видимости федоровского столика практически не отличаются

друг от друга, и при экстраполяции центральной линии пучков мы будем получать всегда значение $2E \approx 20^\circ$. Поэтому предельным значением $2V$, доступным для определения в таких сечениях, является $2V \approx 25^\circ$ (30°).

в. Разрезы параллельно одной из биссектрис (см. рис. 23, 24 и 25).

Такие разрезы дают три случая, в зависимости от значения угла между нормалью к шлифу и второй биссектрисой.

Первый случай. Угол между нормалью к шлифу и второй биссектрисой меньше 45° , и соответственно $\phi > 45^\circ$ (см. рис. 23). Диаграмма не имеет внешних общих точек. Когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью север-юг, стереофигура представляет два „лепестка“, каждый из которых проходит через проекцию одной оптической оси и опирается на близлежащую проекцию оси север-юг. При отклонении от этого положения лепестки увеличиваются и тупые их части сближаются. Когда биссектриса, параллельная шлифу, составляет угол около 45° с осями север-юг и восток-запад, лепестки соединяются в виде асимметричной восьмерки, узловая точка которой, расположенная несколько в стороне от второй биссектрисы, представляет внутреннюю простую узловую точку диаграммы. В дальнейшем восьмерка раскрывается по ее пояску и фигура становится похожей на „колбу“. Последняя имеет наибольшую ширину средней части тогда, когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью восток-запад.

Второй случай. Угол между нормалью к шлифу и второй биссектрисой равен 45° и соответственно $\phi = 45^\circ$ (см. рис. 24). Диаграмма имеет две внешних общих точки, которые совпадают с проекциями биссектрисы, параллельной шлифу. Стереофигуры в общем подобны фигурам первого случая. Когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью север-юг, стереофигура состоит из двух одинаковых лепестков, каждый из которых проходит через проекцию одной оптической оси и опирается

на близлежащую проекцию оси север-юг, с которой в этом положении совпадает общая внешняя узловая точка. При отклонении от этого положения лепесток, связанный с проекцией оптической оси, удаляющейся от оси север-юг, увеличивается и опирается, по касательной к основному кругу диаграммы, на ближнюю общую внешнюю точку. Второй же лепесток уменьшается, причем попрежнему опирается на проекцию оси север-юг. В дальнейшем этот лепесток тоже начинает увеличиваться, навстречу первому, и при некотором положении индекса, зависящем от величины угла оптических осей, оба лепестка соединяются в виде восьмерки, которая опирается на проекции оси север-юг и только на одну внешнюю общую точку. После этого, при дальнейшем изменении положения кристалла, восьмерка растягивается в ее средней части и принимает колбообразную форму. Наконец, когда биссектриса, параллельная шлифу, совпадает с осью восток-запад, стереофигура примыкает и ко второй общей внешней точке и получает симметричную форму из четырех ветвей, соединяющих проекции оси север-юг с проекциями оси восток-запад, причем две ветви (северные и южные) проходят через проекции оптических осей. Общие внешние точки в этом положении совпадают с проекциями оси восток-запад.

Третий случай. Угол между нормалью к шлифу и второй биссектрисой больше 45° и соответственно $\varphi < 45^\circ$ (см. рис. 25). Диаграмма имеет четыре внешних общих точки, каждая из которых расположена в расстоянии y_1 от проекций биссектрисы, параллельной шлифу. Значение y_1 определяется из уравнения

$$\cos^2 y_1 = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 V \sin^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 V \cos^2 \varphi}, \quad (27)$$

где φ угол между плоскостью шлифа и плоскостью оптических осей. В общем случае элементарная стереофигура состоит из четырех ветвей, соединяющих проекции оси север-юг с общими внешними точками, причем две ветви проходят через проекции оптических осей. Полная стереофигура содержит четыре внутренних простых узловых

точки. Из них две точки расположены около главного сечения индикатрисы, проходящего через ось N_m и биссектрису, параллельную шлифу, а две другие точки — около биссектрисы, проектирующейся внутри диаграммы.

г. Разрезы параллельно оси N_m (см. рис. 2).

Такие разрезы имеют всегда $\varphi = 90^\circ$, и полная стереофигура их может содержать внешние общие узловые точки или быть без них, в зависимости от соотношения величин в уравнении

$$\cos^2 y_1 = \operatorname{tg}(\psi + V) \operatorname{tg}(\psi - V), \quad (2)$$

где y_1 — расстояние от проекции оси N_m до общей точки. Эти узловые точки отсутствуют, когда оптические оси проектируются по разные стороны от центра диаграммы, а также, когда острая биссектриса составляет с нормалью к шлифу угол меньше 45° .

Когда общие внешние точки отсутствуют, стереофигура имеет сходство с фигурами разрезов, параллельных биссектрисе и тоже не имеющих общих внешних точек, т. е. состоит из лепестков и колб, переходящих друг друга через фигуру восьмерки, образующейся тогда, когда одна из биссектрис располагается в $45\text{--}50^\circ$ от оси север-юг. Узловая точка восьмерки располагается при этом около другой биссектрисы. Когда диаграмма содержит четыре внешних общих точки, элементарная стереофигура состоит в общем случае из четырех ветвей, соединяющих проекции оси север-юг с общими внешними точками, причем две ветви проходят через проекции оптических осей. Полная стереофигура в таких случаях содержит также четыре простых внутренних узловых точки.

Интересным, в теоретическом отношении, является разрез, перпендикулярный к оптической оси в кристалле с $2V = 90^\circ$. В этом случае, единственном при диагональном варианте, полная стереофигура содержит основной круг диаграммы. В таком разрезе, когда ось N_m совпадает с осью север-юг или восток-запад, элементарная стереофигура состоит из основного круга и диаметра, опирающегося

гося на проекции оси N_m . Для остальных положений кристалла фигура, в пределах видимости федоровского столика, представляет изогнутую S-образную линию, проходящую через центр диаграммы, с которым совпадает проекция оптической оси.

д. Косые разрезы (см. рис. 27, 28 и 29).

При любом положении шлифа элементарная стереофигура может быть получена путем приведения кристалла к такому вспомогательному положению, при котором одна из биссектрис или ось N_m совпадает с плоскостью осей север-юг и восток-запад, т. е. к положению разрезов, параллельных одной из осей индикатрисы. В таких разрезах, как было описано выше, элементарная стереофигура представляет либо лепестки и колбы (при отсутствии внешних общих точек), либо сочетание четырех ветвей (при наличии четырех внешних общих точек), и построение таких стереофигур не представляет особых затруднений. Следовательно, и в косых разрезах элементарные стереофигуры являются, в сущности, такими же, как и в разрезах, параллельных одной из осей индикатрисы, но в данном случае они повернуты вокруг оси север-юг на тот или иной угол, в связи с чем они имеют на диаграмме иной вид и становятся порой трудно узнаваемыми.

Косые разрезы дают три случая, в зависимости от наличия и числа общих внешних узловых точек.

Первый случай (см. рис. 27). Полная стереофигура не имеет общих внешних точек. Элементарные стереофигуры сходны с фигурами разрезов, параллельных одной из биссектрис, т. е. состоят из лепестков и колб, переходящих друг в друга через восьмерку, возникающую тогда, когда плоскость оптических осей составляет угол в $40-45^\circ$ с меридианом, проходящим через ту биссектрису, проекция которой на диаграмме лежит между проекциями оптических осей.

Второй случай (см. рис. 28). Полная стереофигура имеет две общих внешних точки. Элементарные стереофигуры таких разрезов сходны с фигурами разрезов, парал-

дельных биссектрисе и имеющих также только две внешних общих узловых точки.

Третий случай (см. рис. 29). Полная стереофигура имеет четыре общих внешних точки. Элементарная стереофигура состоит в общем случае из четырех ветвей соединяющих проекции оси север-юг с общими внешними точками, причем две ветви проходят через проекции оптических осей. Полная стереофигура таких разрезов содержит также четыре внутренних простых узловых точки.

В. ГРАФИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СТЕРЕОФИГУР

Основы теории стереоконоскопического метода, изложенные в предыдущих разделах, позволяют очень легко построить теоретическую элементарную и полную стереофигуру для любого положения произвольного сечения одноосного и двуосного кристалла. При практических измерениях кристаллов удобнее построить стереофигуру, хотя бы в виде схемы, является в ряде случаев очень важным, так как позволяет правильно понять и истолковать результаты измерений. Точность таких построений для одноосных кристаллов очень высока и равна точности отсчета дуг по сетке Вульфа, т. е. в пределах $\pm 1^\circ$. Для двуосных кристаллов точность построений несколько ниже, но в решающих частях стереофигуры, около проекций оптических осей, она примерно та же, что и у одноосных кристаллов. Для построения одной элементарной стереофигуры одноосного кристалла требуется не более одной—двух минут, если нужна не очень большая точность. Для двуосного кристалла, при том же условии, требуется около 3—5 минут. Схематическое же изображение элементарной стереофигуры требует еще меньше времени.

1. НОРМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ

1. ОДНООСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Элементарная стереофигура произвольного положения косого сечения одноосного кристалла состоит из

радиональной дуги, проходящей через проекции оптической оси и оси север-юг, и из замкнутой кривой. Меридиональную дугу переносим на диаграмму непосредственно с сетки Вульфа, замкнутую же кривую строим с помощью внешних общих узловых точек для ряда вспомогательных положений. Такого рода узловые точки расположены (см. выше) всегда там, где диаметр, проходящий через проекцию оптической оси, пересекается с основным кругом диаграммы. Поэтому при постоянном положении индекса поворачиваем кристалл вокруг оси север-юг на разные углы и для каждого такого вспомогательного положения находим общие внешние узловые точки. Затем обратным поворотом вокруг оси север-юг на те же углы переносим эти общие точки внутрь диаграммы и соединяем их плавными кривыми линиями (см. рис. 30).

2. ДВУОСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Элементарную стереофигуру каждого двуосного кристалла можно рассматривать (в силу непрерывности функции общего уравнения стереофигур) как промежуточное звено непрерывного ряда, одним пределом которого, при $2V=0^\circ$, является одноосный кристалл с оптической осью, совпадающей с одной биссектрисой, а в другом пределе, при $2V=180^\circ$, с другой биссектрисой двуосного кристалла. В силу этого элементарная стереофигура двуосного кристалла всегда занимает промежуточное положение между фигурами двух сопряженных с ним одноосных кристаллов, оптические оси которых совпадают с одной и другой биссектрисой.

Основываясь на указанном соотношении, можно без особого труда построить элементарную стереофигуру для произвольного положения любого сечения каждого двуосного кристалла. Для этого (см. рис. 31 и 32) наносим на диаграмму индикатрису двуосного кристалла и находим общие внешние узловые точки. Затем, приняв каждую из биссектрис за оптическую ось сопряженного одноосного кристалла, строим две элементарные одноосные стерео-

фигуры и находим характерные точки пересечения стереофигур сопряженных одноосных кристаллов с главными сечениями индикатрисы двuosного. При правильном построении эти характерные точки должны быть общими для обоих одноосных кристаллов.

Этим путем мы разбиваем все поле диаграммы на ряд секторов. Из них внутренние секторы имеют на их контуре по две характерные точки и ограничены с одной стороны ветвями стереофигуры первого, а с другой—второго сопряженного одноосного кристалла. Внешние же секторы, примыкающие к основному кругу диаграммы, имеют на их контуре лишь по одной характерной точке, а в частном случае, когда внешний сектор пересекается плоскостью оптических осей, на его контуре имеется внешняя общая точка.

Во всех без исключения случаях, в тех секторах, внутри которых имеется проекция оптической оси или на контуре которых расположена внешняя общая узловая точка, всегда должна проходить ветвь стереофигуры двuosного кристалла. При этом ветвь двuosного кристалла может переходить из одного сектора в другой только через характерные точки, пересекая в них ветви обеих сопряженных одноосных стереофигур и главные сечения двuosной индикатрисы. В связи с этим ветви двuosной стереофигуры не могут находиться одновременно в двух смежных секторах, имеющих общие элементы контура, и в тех внешних секторах, на контуре которых нет общих внешних точек. Можно напомнить то, что через каждую проекцию оси север-юг всегда проходят две ветви стереофигуры, пересекаясь под углом в 90° , и что через каждую проекцию оптической оси и через каждую внешнюю общую точку проходит только одна ветвь стереофигуры.

Вычерчивание стереофигур двuosного кристалла начинаем в одном из тех секторов, где имеется внешняя общая точка или проекция оптической оси. Проводим внутри этого сектора через проекцию оптической оси или через внешнюю общую точку кривую к характерным точкам на контуре сектора. Пройдя через такую точку внутрь вто-

рого сектора, протягиваем кривую к следующей характерной точке и т. д., пока не вернемся обратно в тот сектор, откуда начали вычерчивание стереофигуры. После этого проверяем, прошла ли стереофигура через обе проекции оптических осей, через все внешние общие точки и через все характерные точки, а также дважды через каждую проекцию оси север-юг. Если нет, то нужно по тому же принципу провести дополнительные кривые через „пустующие“ точки. Если кривая выходит на край диаграммы, то ее продолжение нужно искать, по закону центра симметрии, на противоположной стороне диаграммы либо в диаметрально противоположной внешней общей точке, либо во второй проекции оси север-юг.

При проведении кривых линий стереофигуры двусосного кристалла следует помнить, что кривые эти, в силу непрерывности функции общего уравнения стереофигур, должны приближаться, по их форме и по местоположению, к стереофигуре того сопряженного одноосного кристалла, оптическая ось которого совпадает с острой биссектрисой. Если угол оптических осей близок к 90° , то кривые линии стереофигуры двусосного кристалла следует проводить, примерно, по средней линии сектора.

Некоторое затруднение может возникнуть в том случае, когда неизвестно точное значение угла оптических осей, в связи с чем нельзя найти точное положение общих внешних узловых точек двусосного кристалла. В таких случаях можно найти приблизительное место этих общих точек, руководствуясь следующим правилом. Именно, каждый одноосный сопряженный кристалл имеет две общие внешние точки, поэтому основной круг диаграммы разделяется этими точками на четыре участка и общие внешние точки двусосного кристалла лежат в тех противоположных участках основного круга, которые пересекаются плоскостью оптических осей. При этом для угла $2V \approx 90^\circ$ общие внешние точки лежат приблизительно посредине между такими точками одноосных кристаллов. При изменении величины угла оптических осей в одну или другую сторону, общая внешняя точка двусосного кристалла сме-

щается в сторону общей внешней точки того одноосного кристалла, оптическая ось которого совпадает с острой биссектрисой. Это смещение происходит с непостоянной скоростью, сначала быстро, затем (при $2V < \pm 30^\circ$) очень медленно, поэтому при $2V < 25^\circ$ общая внешняя точка располагается очень близко к общей внешней точке сопряженного одноосного кристалла и в пределах того участка основного круга, где проходит плоскость оптических осей.

Не останавливаясь на других возможных затруднениях, укажем, что при их возникновении следует переходить к вспомогательному положению, совмещая одну из биссектрис с основным кругом диаграммы. В этом случае общая внешняя точка двусосного кристалла лежит в 90° от проекции той биссектрисы, которая совмещена с плоскостью диаграммы, и сохраняет неизменное положение при всех значениях угла оптических осей. В качестве вспомогательного положения можно совмещать ту или иную ось индикатрисы и с центральным меридианом.

II. ДИАГОНАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ

1. ОДНООСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Графическое построение элементарной стереофигуры одноосного кристалла при диагональном варианте производится, как и при нормальном, с помощью внешних общих точек, которые мы находим для ряда вспомогательных положений кристалла. В силу симметричности стереофигуры ветви ее пересекают меридиональную дугу, проходящую через проекции осей оптической и север-юг, обязательно под углом в 45° , причем это пересечение имеет место всегда в трех точках, в проекциях оси север-юг и оптической оси (см. рис. 33, 34 и 35).

Когда угол между оптической осью и осью север-юг имеет значение в пределах от 45° до 90° , элементарная стереофигура представляет „восьмерку“, повернутую на тот или иной угол вокруг оси север-юг, в зависимости от ориентировки исследуемого сечения кристалла (см. рис. 33

и 34). Если же этот угол между оптической осью и осью север-юг меньше 45° , то стереофигура разомкнута и состоит из двух частей, не соединяющихся в области экватора (см. рис. 35).

2. ДВУОСНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Способ построения элементарных стереофигур двуосных кристаллов при диагональном варианте в общем тот же, что и при нормальном, и можно отметить лишь одну особенность, связанную с внешними общими точками. Именно, здесь сопряженные одноосные кристаллы в общем случае имеют по четыре внешних общих точки, в частных же случаях один из них может не иметь ни одной такой точки. В первом случае основной круг диаграммы разделяется на восемь участков и общие внешние точки двуосного кристалла расположены на тех участках, которые ограничивают секторы, содержащие проекции оптических осей, а также на диаметрально противоположных участках (см. рис. 36). Во втором же случае основной круг диаграммы разделяется на четыре участка, а общие внешние точки двуосного кристалла находятся на двух противоположных участках, пересекаемых плоскостью оптических осей (см. рис. 37).

В первом случае общие внешние точки двуосного кристалла имеются для всего диапазона от $2V=0^\circ$ до $2V=180^\circ$, во втором же случае только для части его. Если считать угол оптических осей от той биссектрисы, которая расположена ближе к краю диаграммы, то предельным значением для угла V будет угловое расстояние от этой биссектрисы до точки пересечения плоскости оптических осей с основным кругом диаграммы при некотором вспомогательном положении. Чтобы найти это положение, нужно повернуть кристалл вокруг оси север-юг до тех пор, пока не появится внешняя общая точка у второго сопряженного одноосного кристалла, а это наступает тогда, когда фигура восьмерки этого кристалла будет касаться основного круга диаграммы. В этом положении точка пе-

ресекающей плоскости оптических осей с основным кругом диаграммы дает проекцию искомой оптической оси двусосного кристалла для предельного значения угла $2V$.

Если при исследовании косых сечений возникают какие-либо затруднения, то следует приводить кристалл во вспомогательное положение, совместив ту или иную ось индикатрисы с плоскостью осей север-юг и восток-запад.

Г. ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА СТЕРЕОКОНОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Стереоконоскопический метод не является таким методом, который нужно применять при обычных повседневных исследованиях. Подобно другим специальным методам, он должен применяться тогда, когда более простые методы (в данном случае обычный коноскопический и федоровский методы) не дают нужного решения. К числу таких случаев относятся, во-первых, все кристаллы с малым углом оптических осей, не поддающимся измерению другими методами, и во-вторых, все те разрезы двусосных кристаллов с большим и средним углом оптических осей, в которых одна или обе оптические оси расположены вне предела видимости федоровского столика.

Основной задачей при стереоконоскопических измерениях кристаллов является определение проекций оптических осей и угла между ними. Вспомогательной задачей, могущей иметь порой и самостоятельное значение, является определение положения главных сечений индикатрисы, более точное, чем это возможно с помощью обычного федоровского метода.

І. КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ РАЗРЕЗОВ

Практическая методика стереоконоскопических измерений (первоначальная ориентировка шлифа, порядок измерений и т. п.) зависит от характера исследуемого кристалла и от ориентировки его разреза. Поэтому является необходимым дать предварительно классификацию типо-

вых разрезов. В основу таковой положены следующие признаки.

1. Величина угла оптических осей. По этому признаку все кристаллы разделяются на две группы, с $2V > \pm 30^\circ$ ($\pm 25^\circ$) и с $2V < \pm 30^\circ$ ($\pm 25^\circ$). Исследование кристаллов второй группы требует всегда более тщательной работы и, кроме того, гораздо чаще не дает положительного результата. Первой группе соответствуют рис. 38—52, а второй группе—рис. 53—67.

2. Расположение плоскости оптических осей. Такое может быть поперечным или продольным по отношению к плоскости шлифа. В первом случае плоскость оптических осей составляет с нормалью к шлифу угол меньше 45° , а во втором—больше 45° .

3. Расположение проекций оптических осей по отношению к центральной части диаграммы в поперечных разрезах. Такое может быть односторонним, если обе оптические оси расположены по одну сторону от центра, и двусторонним, если они проектируются по разные стороны от центра диаграммы.

В зависимости от сочетания указанных признаков может быть несколько случаев расположения оптических осей и биссектрис по отношению к пределу видимости федоровского столика.

4. Обе оптические оси находятся внутри предела видимости федоровского столика (см. рис. 38, 39, 53—57). Это—разрезы, доступные для исследования обычным федоровским методом, за исключением кристаллов с малым углом оптических осей. При малом угле оптических осей требуется применение стереоконоскопического метода.

5. Оптические оси, одна или обе, находятся около границы предела видимости федоровского столика или вне этого предела, но не более чем в $5-10^\circ$ от его границы. В кристаллах со средним и большим углом $2V$ обе оптические оси почти всегда могут быть найдены с достаточной точностью, поэтому такие разрезы являются открытыми (см. рис. 40, 41, 42, 44 и 50). В кристаллах с малым углом $2V$ оптические оси могут быть найдены обе только

при продольном расположении плоскости этих осей (см. рис. 61), при поперечном же расположении этой плоскости одна из оптических осей закрывается биссектрисой и поэтому не может быть найдена (см. рис. 43, 45, 58 и 59). Такие разрезы являются закрытыми.

6. Одна оптическая ось расположена у края диаграммы. Такие разрезы при поперечном расположении плоскости оптических осей являются большей частью закрытыми даже при большом угле $2V$ (см. рис. 45, 46, 51 и 52), так как одна из биссектрис почти всегда закрывает вторую оптическую ось. При продольном же расположении плоскости оптических осей, это—разрезы открытые, если угол $2V$ большой или средний (см. рис. 48 и 49). При малом угле $2V$ и при поперечном положении плоскости оптических осей (см. рис. 58 и 59) одна оптическая ось еще может быть определена, вторая же почти всегда недоступна, так как она закрыта острой биссектрисой и первой оптической осью и так как она расположена очень далеко от границы предела видимости федоровского столика. Поэтому такие разрезы являются закрытыми.

7. Острая биссектриса при малом угле $2V$ находится очень близко к краю диаграммы (см. рис. 66 и 67). Стереофигуры таких разрезов в пределах видимости федоровского столика почти не отличаются от стереофигур одноосных кристаллов, поэтому обе оптические оси не поддаются определению и разрезы являются почти всегда полностью закрытыми. Измерение таких разрезов может дать более или менее удовлетворительный результат только тогда, когда острая биссектриса отстоит от края диаграммы по крайней мере в 10° , да и то при наличии у исследователя очень большого опыта.

II. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ

Прежде чем производить стереоконоскопическое измерение кристалла, предварительно с помощью обычного федоровского метода находим оси и главные сечения индикатрисы для того, чтобы иметь общее представление о

характере кристалла и об ориентировке исследуемого сечения. Если при этом могут быть найдены, прямо или косвенно, все три оси индикатрисы, то угол оптических осей большой или средний, во всяком случае он больше $\pm 25^\circ$ (см. ниже п. 1). Если же кристалл ведет себя как одноосный, т. е. если ясно определяется лишь одна ось индикатрисы, перпендикулярная к изотропному (или почти изотропному) экваториальному сечению индикатрисы, то угол оптических осей мал, во всяком случае он меньше $\pm 25^\circ$ (см. ниже п. 2).

1. КРИСТАЛЛЫ С БОЛЬШИМ И СРЕДНИМ УГЛОМ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ ($2V > \pm 25^\circ$).

Обычным федоровским методом могут быть найдены все три оси индикатрисы. Возможны следующие случаи.

1а. Видимы обе оптические оси (см. рис. 38 и 39).

В этом случае оптические оси находятся в пределах поля зрения федоровского столика и могут быть найдены обычным федоровским методом, стереоконоскопическим же методом находим оптические оси с помощью нормального варианта следующим способом. Поворачиваем шлиф по индексу и совмещаем ось N_m с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад (т. е. с экватором сетки Вульфа), и строим меридиональные участки ветвей элементарной стереофигуры, прилегающие к проекции плоскости оптических осей (см. рис. 38). В идеальном случае это будет одна меридиональная дуга большого круга с полюсом в проекции оси N_m , в общем же случае (при не совсем точном совмещении этой оси с экватором) мы получим две ветви меридионального направления, которые внутри диаграммы, близ проекции биссектрисы, изгибаются в противоположные друг другу стороны и принимают широтное направление. Широтную часть этих ветвей можно не строить. Получив первую стереофигуру, поворачиваем шлиф по индексу в любую сторону на $40-45^\circ$ и строим, по нормальному же варианту, вторую

стереофигуру, которая будет состоять уже из двух отдельных изогнутых ветвей, имеющих каждая меридионально и широтно направленные участки. Эти ветви обращены своей выпуклостью в сторону биссектрисы, подобно „гидерболам“ обычной коноскопической фигуры. Точки пересечения ветвей первой и второй стереофигуры определяют проекции оптических осей. Для контроля можно построить еще две стереофигуры, повернув шлиф по индексу, считая от его положения для первой стереофигуры, на угол в $20-25^\circ$ и $65-70^\circ$.

При решении этой задачи можно применить и второй способ, тоже по нормальному варианту (см. рис. 39). Именно, вначале совмещаем с экватором сетки Вульфа не ось N_m , а биссектрису, составляющую меньший угол с плоскостью шлифа, и строим для этого положения широтные ветви стереофигуры. В общем случае эти ветви, приближаясь к меридиану, проходящему через внутреннюю биссектрису, изгибаются в противоположные друг другу стороны и направляются вдоль этого меридиана к проекциям оси север-юг. После этого поворачиваем шлиф по индексу на $40-45^\circ$ в любую сторону и строим ветви второй стереофигуры и т. д., как и при первом варианте решения задачи. Точки пересечения построенных таким образом стереофигур дают проекции оптических осей.

16. Видима только одна оптическая ось (см. рис. 40—46).

16-1. Одна оптическая ось видима, а вторая расположена около границы предела видимости федоровского столика и не может быть точно фиксирована обычным федоровским методом (см. рис. 40—41). Возможны два решения.

Первое решение. Совмещаем ось N_m с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад, т. е. с экватором сетки Вульфа (при этом плоскость оптических осей совмещается с осью север-юг), и с помощью нормального варианта строим ветви стереофигуры, расположенные вдоль меридиональной дуги, соответствующей плоскости оптических осей (см. рис. 40). В идеальном слу-

чае это будет одна меридиональная дуга большого круга с полюсом в проекции оси N_m , (т. е. главное сечение индиктрисы $N_g N_p$), в общем же случае мы получим две меридионально расположенные ветви, которые около биссектрисы, расположенной в пределах поля зрения федоровского столика, плавно изгибаются в противоположные друг другу стороны и принимают широтное направление, поперечное к плоскости оптических осей. После этого поворачиваем шлиф по индексу на $10-20^\circ$ в одну и другую сторону и строим ветви второй и третьей стереофигур на участках, прилегающих к проекциям оптических осей, т. е. на участках близ ветвей первой стереофигуры. Точки пересечения ветвей стереофигур определяют местонахождение проекций оптических осей. Для контроля, а также в том случае, если пересечение ветвей стереофигур дает значительный треугольник погрешностей, поворачиваем шлиф по индексу еще на $10-20^\circ$ в одну и другую сторону и строим ветви четвертой и пятой стереофигур.

Задача упрощается, если нужно найти только невидимую оптическую ось. В этом случае строим, как и раньше, первую стереофигуру. Если при этом невидимая оптическая ось расположена в северо-восточном или юго-западном секторах диаграммы, то для построения второй и третьей стереофигур поворачиваем шлиф по индексу на $10-20^\circ$ и $20-30^\circ$ против часовой стрелки, если же эта оптическая ось лежит в северо-западном или юго-восточном секторах, то поворачиваем шлиф по индексу по часовой стрелке. В обоих случаях ветви стереофигур строим только на участке, прилегающем к искомой оптической оси.

Второе решение. В этом случае совмещаем вначале с экватором сетки Вульфа не ось N_m , а биссектрису (внешнюю), составляющую меньший угол с плоскостью шлифа (см. рис. 41). Затем строим для этого положения по нормальному варианту широтные ветви стереофигуры, которые в идеальном случае дадут одну кривую, перекрещивающуюся с меридиональной дугой большого круга, проходящую через проекцию внутренней биссектрисы. В обходящей через проекцию внутренней биссектрисы. В общем же случае эти широтные ветви, приближаясь к меридиональной дуге большого круга, перекрещиваются с ней.

диану, проходящему через внутреннюю биссектрису, изгибаются в противоположные друг другу стороны и направляются вдоль этого меридиана к проекциям оси север-юг. После этого поворачиваем шлиф по индексу на $10-20^\circ$ против часовой стрелки, если невидимая оптическая ось проектируется в северо-западном или в юго-восточном секторах диаграммы (и по часовой стрелке, если эта оптическая ось проектируется в северо-восточном или юго-западном секторах), и строим ветви второй стереофигуры, притом только на участке близ проекции искомой оптической оси. Затем поворачиваем шлиф в том же направлении еще на $10-20^\circ$ и строим ветви третьей стереофигуры и т. д. Пересечение ветвей стереофигур дает проекцию оптической оси.

16-2. Видима одна оптическая ось, а вторая ось расположена вне предела видимости федоровского столика, но не более чем в $10-12^\circ$. Расположение оптических осей двустороннее (см. рис. 42). Все измерения и построение стереофигур производим по нормальному варианту, как и в предыдущем случае (см. п. 16-1), применяя предпочтительно второй способ решения. В этом случае ветви стереофигур, направленные к проекции невидимой оптической оси, не пересекаются в пределах видимости федоровского столика, поэтому необходима экстраполяция этих ветвей. При первом способе решения (когда с экватором сетки Вульфа совмещена ось N_m) экстраполированные части ветвей стереофигур должны плавной кривой выйти к близлежащей проекции оси север-юг (см. рис. 40). При втором способе решения (когда с экватором сетки Вульфа совмещена биссектриса) экстраполированные части ветвей стереофигур, имея плавные очертания, пересекают в одной и той же точке основной круг диаграммы (общая внешняя точка!) и выходят с внешней стороны диаграммы каждая к соответствующей ей проекции оси север-юг (см. рис. 42). Правильность построений проверяем следующим образом. Совмещаем найденную внешнюю общую точку с полюсом сетки Вульфа и проверяем, лежат ли проекции оптических

осей на меридианах, симметричных относительно центрального меридиана.

16-3. Видима одна оптическая ось, а вторая ось расположена вне предела видимости, но не более чем в $10-12^\circ$ от него. Расположение оптических осей одностороннее (см. рис. 43 и 44). Все исследование производим по предыдущему случаю (см. п. 16-2). При этом нужно учитывать, что если угол между плоскостью шлифа и плоскостью оптических осей больше $50-60^\circ$, то разрез будет закрытым, так как острая биссектриса закрывает невидимую оптическую ось, и определение проекции этой оси становится невозможным (см. рис. 43). Если же угол между плоскостью шлифа и плоскостью оптических осей меньше $50-60^\circ$, то проекция невидимой оптической оси может быть найдена посредством экстраполяции ветвей стереофигур (см. рис. 44).

16-4. Одна оптическая ось видима, вторая же ось расположена близ края диаграммы (см. рис. 45 и 46). При поперечном расположении плоскости оптических осей и, особенно, при одностороннем расположении этих осей (рис. 45), такие разрезы являются закрытыми, так как невидимая оптическая ось прикрыта биссектрисой, и проекция ее не может быть найдена. При продольном расположении плоскости оптических осей, когда она составляет с плоскостью шлифа угол не более 40° , решение задачи возможно и производится так же, как и решение задачи в п. 1в-2 (см. ниже).

1в. Видимых оптических осей нет (см. рис. 47—52).

1в-1. Видимых оптических осей нет (см. рис. 47). Исследование проводим по диагональному варианту. Поворачиваем шлиф по индексу и ставим его (при нулевом наклоне к себе—от себя и вправо—влево) в положение угасания. При этом оптические оси располагаются так, что плоскости, проходящие через них и через нормаль к шлифу, лежат симметрично по отношению к главным сечениям анализатора и поляризатора и вместе с тем образуют равные углы с осями север-юг и восток-запад. В связи с этим одна оптическая ось располагается, при таком поло-

жении угасания, близ оси север-юг, а вторая—близ оси восток-запад. После этого строим широтные ветви стереофигуры, которые в этих условиях всегда направлены в сторону проекции той оптической оси, которая составляет меньший угол с осью восток-запад. Если построенная ветвь оказалась почти прямолинейной, то экстраполируем ее за пределы видимости федоровского столика, как прямую линию, и в точке пересечения таковой с проекцией плоскости оптических осей находим проекцию искомой оптической оси.

В общем случае найденная ветвь первой стереофигуры будет изогнутой. Если эта изогнутость ветви стереофигуры происходит от центра диаграммы к ее периферии по часовой стрелке, то поворачиваем шлиф по индексу на $3-5^\circ$ против часовой стрелки (и наоборот) и строим широтные ветви второй стереофигуры. Если изогнутость будет сохранять прежнюю ориентировку, то поворачиваем шлиф по индексу в ту же сторону еще на $3-5^\circ$ и строим ветвь третьей стереофигуры и т. д., пока не получим фигуру с обратной направленностью изогнутости ее широтной ветви. После этого находим для индекса, по принципу интерполирования, его значение, промежуточное между значениями для двух смежных фигур с взаимно обратной изогнутостью широтных ветвей, и строим широтную ветвь новой стереофигуры, которая будет уже почти прямолинейной, или же находим такую прямолинейную ветвь стереофигуры графически, методом интерполяции. Найдя такую ветвь, экстраполируем ее в невидимую часть диаграммы до пересечения внутри диаграммы с проекцией плоскости оптических осей. Точка пересечения дает проекцию искомой оптической оси. По теории, весь построенный таким способом пучек ветвей нескольких стереофигур должен сходиться в проекции оптической оси, а пройдя такую, должен вторично сходиться в общей внешней точке на основном круге диаграммы. В таких разрезах общая внешняя точка лежит почти напротив проекции оптической оси, будучи немного смещена в ту сторону, где находится линия пересечения шлифа с плоскостью оптических осей.

Найдя первую оптическую ось, поворачиваем шлиф по индексу до второго положения угасания (тоже при нулевом наклоне к себе—от себя и вправо—влево) и затем, по предыдущему, находим проекцию второй оптической оси.

1в-2. Видимых оптических осей нет. Расположение оптических осей одностороннее (см. рис. 48). Разрез открытый. В таких разрезах одна оптическая ось проектируется близ края диаграммы, а связанная с нею общая внешняя узловая точка лежит почти напротив проекции этой оси и в то же время несколько сдвинута в сторону линии пересечения плоскости шлифа с плоскостью оптических осей.

Оптическую ось, расположенную ближе к центру диаграммы, находим, как и в предыдущем случае (см. п. 1в-1). Для этого ставим шлиф, при нулевом наклоне к себе—от себя и вправо—влево, в то положение угасания, при котором плоскость оптических осей занимает положение, близкое к меридиональному, а затем проводим исследование по диагональному варианту, как указано в п. 1в-1.

Для того, чтобы найти оптическую ось, расположенную близ края диаграммы, поступаем следующим образом. Ставим шлиф в то положение угасания (при нулевом наклоне к себе—от себя и вправо—влево), когда плоскость оптических осей располагается поперек к центральному меридиану, и затем, как в п. 1в-1, находим по диагональному варианту два широтных пучка ветвей нескольких стереофигур, проследив их, по возможности, до самой границы предела видимости федоровского столика. При этом сходящиеся концы ветвей одного пучка будут направлены в сторону проекции острой биссектрисы внутри диаграммы, сходящиеся же концы ветвей второго пучка направлены в противоположную сторону, где их продолжение пересекается с плоскостью оптических осей за пределами диаграммы. После этого экстраполируем наружные (сходящиеся) концы ветвей первого пучка до пересечения с основным кругом диаграммы, где мы получим несколько близких друг к другу точек, среднюю из которых принимаем

в качестве приближенного положения внешней общей узловой точки. Со вторым пучком поступаем так же. Экстраполируем и здесь наружные (сходящиеся) концы ветвей до пересечения с основным кругом диаграммы и среднюю из полученных нескольких сближенных точек принимаем в качестве приближенного положения общей внешней точки на этой стороне диаграммы. Если оба положения общей внешней точки являются диаметрально противоположными, как этого требует теория, с отклонением не более $10-20^\circ$, то берем среднее решение и отмечаем на основном круге точное положение данной внешней общей точки. После этого экстраполируем ветви стереофигур первого пучка (или только его среднюю прямолинейную ветвь) до общей внешней точки. При этом экстраполированные ветви стереофигур пересекут проекцию плоскости оптических осей и дадут несколько точек, среднюю из которых принимаем в качестве проекции искомой оптической оси. Взаимное расположение общей внешней точки и проекций обеих оптических осей должно удовлетворять основным положениям теории, поэтому в случае существенного расхождения производим уравнивание.

Если приближенные положения общей внешней точки не соответствуют друг другу, с отклонением от диаметральной противоположности более чем на 20° , то вторая оптическая ось лежит почти в плоскости шлифа.

На рис. 48 приближенные положения общей внешней узловой точки показаны крестиками.

1в-3. Видимых оптических осей нет. Разрез, параллельный или почти параллельный плоскости оптических осей (см. рис. 49). Задача решается с помощью диагонального варианта, в общем, аналогично разрезу, описанному в п. 1в-1. Ставим шлиф, при нулевом наклоне к себе — от себя и вправо — влево, сначала в одно, а затем в другое положение угасания, и затем для каждого из них строим два пучка широтных ветвей стереофигур. После этого в каждом пучке находим среднюю, почти прямолинейную ветвь, и экстраполируем ее до пересечения с проекцией плоскости оптических осей. При этом для двух пучков точка

такого пересечения будет лежать за пределами основного круга диаграммы (можно экстраполировать также и все линии пучка до пересечения их с проекцией плоскости оптических осей и затем взять для каждого пучка среднюю точку). Точки пересечения средних линий каждого пучка с проекцией плоскости оптических осей дают проекции этих осей. Проверка правильности полученного решения очень проста, а именно, проекции одной и той же оптической оси должны быть на диаграмме диаметрально противоположными, по закону центра симметрии. Найдя по диаграмме угол оптических осей, исправляем его значение с помощью поправок, указанных выше (см. раздел Б. глава II, п. 2-б).

1в-4. Видимых оптических осей нет. Разрез, почти параллельный острой биссектрисе. Расположение плоскости оптических осей поперечное, расположение проекций оптических осей двустороннее (см. рис. 50). Разрез открытый. В таких разрезах проекции оптических осей отстоят от границы предела видимости федоровского столика обычно не более чем в 15° . При решении этой задачи находим предварительно приблизительное положение общей внешней узловой точки (на рис. 50 показана крестиками), принимая условно для угла оптических осей среднее значение $2V = 45^\circ$ (угол $2V$ может колебаться в таких разрезах от $2V = 25^\circ$ до $2V = 70^\circ$; при меньших значениях угла $2V$ мы не могли бы найти с нужной четкостью оси индикатрисы, а при большем значении этого угла одна из оптических осей была бы видимой или на границе видимости). После этого совмещаем острую биссектрису с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад, и строим по нормальному варианту широтные ветви первой стереофигуры. Затем поворачиваем шлиф по индексу в одну и другую сторону на $20-30^\circ$ и строим широтные ветви второй и третьей стереофигур. Выполнив это, экстраполируем ветви каждой стереофигуры в сторону проекций оптических осей в виде плавных кривых и подводим их с одной и другой стороны к той проекции соответствующего положения оси север-юг, которая лежит ближе к тупой бис-

сектрисе. При этом экстраполируемая кривая на одной или другой стороне должна пересечь основной круг диаграммы в общей внешней узловой точке, в связи с чем такая кривая подойдет к проекции оси север-юг с внешней стороны диаграммы. Найдя оптические оси и уравновесив их друг с другом, находим соответствующее им более точное положение общей внешней точки и, в случае надобности, вносим дополнительные поправки. При этом следует иметь в виду, что оптическая ось, лежащая ближе к центру диаграммы, определяется с большей точностью, поэтому поправка в большей степени должна производиться за счет второй оптической оси, более удаленной от центра диаграммы.

При решении этой задачи имеет существенное значение точность определения проекции плоскости оптических осей. Уточнение положения таковой возможно с помощью дополнительных стереофигур (на рис. 50 фигуры 5 и 6), построенных для такого положения шлифа, когда ось N_m совмещена с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад.

1в-5. Видимых оптических осей нет. Расположение плоскости оптических осей поперечное, расположение проекций оптических осей одностороннее (см. рис. 51). Разрез закрытый. В таких разрезах может быть найдена только та оптическая ось, которая составляет меньший угол с нормалью к шлифу, вторая же ось не может быть найдена, так как полностью закрыта первой осью и острой биссектрисой. Решение задачи проводим по нормальному варианту. Совмещаем острую биссектрису с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад, и строим широтную ветвь первой стереофигуры. Затем поворачиваем шлиф по индексу в одну и другую сторону на $20-40^\circ$ и строим широтные ветви следующих стереофигур. После этого экстраполируем ветви каждой стереофигуры в сторону проекции оптической оси и подводим их в виде плавных кривых к той проекции соответствующего положения оси север-юг, которая лежит против выпуклой стороны проекции плоскости оптических осей. Пересечение

экстраполированных кривых с проекцией плоскости оптических осей даст несколько точек, среднюю из которых можно принять за проекцию оптической оси. При решении данной задачи не нужно пользоваться внешней общей точкой, приблизительное положение которой показано на рис. 51 крестиками.

1в-6. Видимых оптических осей нет. Расположение плоскости оптических осей поперечное. Расположение проекций оптических осей двустороннее, причем одна из них лежит близ границы предела видимости, а вторая—близ края диаграммы (см. рис. 52). С удовлетворительной точностью может быть найдена только та оптическая ось, которая составляет меньший угол с нормалью к шлифу. Вторая же ось не может быть найдена с достаточной точностью в силу не очень высокой точности экстраполирования криволинейных ветвей стереофигур на большое расстояние. Решение задачи проводим так же, как и в п. 1в-4. Находим предварительно приближенное положение общей внешней точки, принимая для угла оптических осей среднее значение в 45° , между предельно возможными для таких разрезов значениями $2V=25^\circ$ и $2V=70^\circ$ (подробнее см. выше п. 1в-4). Затем совмещаем острую биссектрису с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад, и строим широтные ветви первой стереофигуры. После этого поворачиваем шлиф по индексу на $20-30^\circ$ и строим широтные ветви новых стереофигур. Выполнив это, производим экстраполирование широтных ветвей стереофигур в сторону проекций оптических осей и подводим каждую из ветвей плавной кривой к той проекции соответствующего положения оси север-юг, которая лежит против выпуклой стороны проекций плоскости оптических осей. При этом на одной или на другой стороне диаграммы кривые должны пересечь основной круг диаграммы в общей внешней точке и подойти к проекции оси север-юг с внешней стороны диаграммы. Пересечение экстраполированных кривых с проекцией плоскости оптических осей дает несколько точек, среднюю из которых принимаем за проекцию оптической оси. Получив таким образом проек-

ции оптических осей, находим для них более точное положение общей внешней точки и затем, путем повторного экстраполирования кривых, уточняем положение проекций оптических осей. При этом поправка коснется, главным образом, той оптической оси, которая составляет больший угол с нормалью к шлифу.

2. КРИСТАЛЛЫ С МАЛЫМ УГЛОМ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ ($2V < \pm 25^\circ$)

Обычным федоровским методом могут быть найдены только одна ось индикатрисы и перпендикулярное к ней изогропное или почти изотропное экваториальное сечение, как у одноосных кристаллов, т. е. *кристалл ведет себя как одноосный*. Найденная ось индикатрисы, в случае двусности кристалла, является его острой биссектрисой, при этом угол оптических осей в таких кристаллах не превышает 25° при слабом и $10-15^\circ$ при сильном двупреломлении. Возможны следующие случаи.

2а. Острая биссектриса расположена в пределах видимости федоровского столика (см. рис. 53—57).

В таких случаях положение плоскости оптических осей может быть различным, но оно не поддается предварительному определению посредством простых операций, в связи с чем решение задачи проводится одним и тем же способом, притом по нормальному варианту.

Вначале находим с наибольшей точностью положение проекции острой биссектрисы. Для этого находим ее предварительно обычным федоровским методом, как оптическую ось одноосного кристалла, а затем уточняем ее положение. Последнее производим следующим образом. Отыскиваем вдоль экваториального сечения, в $10-15^\circ$ друг от друга, ряд векторов, ведущих себя так, как это надлежит быть у одноосного кристалла, когда эти векторы совмещены с осью восток-запад. При аккуратной работе проекции таких векторов должны расположиться с большой точ-

ностью на одной и той же дуге большого круга, полюс которой является проекцией острой биссектрисы.

Для определения проекций оптических осей применяем нормальный вариант. Совмещаем острую биссектрису с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось север-юг, и строим первую стереофигуру, ветви которой прослеживаем, по возможности, на $30-40^\circ$ от острой биссектрисы, считая по дугам больших кругов. Для точного построения стереофигуры, а тем самым и для правильного решения задачи, надлежит точно выполнять сделанные выше указания о правилах применения той или иной последовательности движений (наклоны к себе—от себя и вправо—влево) для широтных и меридиональных участков ветвей стереофигур (см. выше, раздел А, глава V).

В частных случаях, при $2V \approx 0^\circ$ и в разрезах, параллельных одной из осей индикатрисы, первая построенная стереофигура даст прямоугольный симметричный крест, состоящий из прямой линии, совпадающей с центральным меридианом, и из широтно расположенной дуги, проходящей через проекцию острой биссектрисы и обращенной выпуклостью к экватору. Получив такую крестообразную фигуру, поворачиваем шлиф по индексу на 45° и строим вторую стереофигуру, а затем для промежуточного положения индекса и для положения $45+25^\circ$ строим третью и четвертую фигуры. Если у исследуемого минерала $2V < 5^\circ$, то все эти стереофигуры будут представлять прямоугольные кресты, состоящие из меридиана и широтной дуги, обращенной выпуклостью к экватору, причем центры всех крестов обязательно совпадут (с отклонением не более $\pm 1^\circ$) с проекцией острой биссектрисы. В случае же двусклонности минерала, вторая и последующие фигуры будут состоять каждая из двух, более или менее разобщенных ветвей, каждая из которых имеет меридиональный и широтный участки, соединяющиеся друг с другом около проекции острой биссектрисы плавным изгибом (подобно „гиперболам“ обычной коноскопической фигуры). В силу этого ветви разных стереофигур пересекаются друг с другом и дают два узла (по одну и другую сторону от проекции

острой биссектрисы), через каждый из которых проходят одна ветвь всех стереофигур. Центры этих узлов являются проекциями оптических осей.

В большинстве случаев сечение исследуемого кристалла будет косым, поэтому, если минерал двуосен, то уже первая стереофигура даст не крест, а сочетание двух ветвей. Одна из них идет от центра диаграммы вдоль центрального меридиана к острой биссектрисе и здесь, на некотором расстоянии от нее, изгибается по или против часовой стрелки и принимает широтное направление. Вторая ветвь идет вдоль того же меридиана к острой биссектрисе от периферии диаграммы и тоже изгибается около проекции этой биссектрисы по широте, но в сторону, противоположную изгибу первой ветви. На небольшом участке, около проекции острой биссектрисы, изогнутые части ветвей стереофигуры образуют картину, вполне подобную сочетанию двух гипербол обычной коноскопической фигуры. При такой фигуре можно признать минерал безусловно двуосным.

Для построения второй и следующих стереофигур поворачиваем шлиф по индексу на $20-25^\circ$, 45° , на $65-70^\circ$ (считая от первого его положения), притом по часовой стрелке, если внутренняя ветвь первой стереофигуры изгибается, от меридионального направления к широтному, против часовой стрелки, и наоборот. Вторая и последующие стереофигуры будут состоять также из двух ветвей, ориентированных аналогичным образом, пока с экватором не совместится ось N_m или тупая биссектриса. В момент такого совмещения стереофигура представляет уже прямоугольный крест (см. выше), последующие же фигуры будут состоять, как и раньше, из двух ветвей, но изгиб их направлен уже в противоположную сторону (подобно обычной коноскопической фигуре).

Ветви всех этих стереофигур обязательно будут пересекаться друг с другом и при аккуратной работе и при $2V > 5(6^\circ)$ ясно обрисуют два узла по одну и другую сторону от проекции острой биссектрисы, причем через каждый узел будет проходить одна ветвь всех стереофигур. У кресто-

образных стереофигур одна из поперечных ветвей всегда проходит через оба таких узла.

26. Острая биссектриса проектируется около границы предела видимости федоровского столика (см. рис. 58—61).

Здесь возможны также несколько случаев расположения оптических осей и их плоскости по отношению к пределу видимости столика, но полная характеристика исследуемого разреза может быть определена лишь в процессе работы, поэтому для всей этой группы дан один и тот же способ решения задачи.

Вначале, как и в п. 2а, определяем с наибольшей точностью положение проекции острой биссектрисы. В дальнейшем исследование проводим по нормальному варианту. Поворачиваем шлиф по индексу, совмещаем острую биссектрису с плоскостью, проходящей через нормаль к шлифу и ось север-юг, и строим первую стереофигуру. Таковая, в общем случае, будет состоять только из одной ветви, протягивающейся вдоль центрального меридиана к проекции острой биссектрисы. В частном случае, если проекция острой биссектрисы расположена не на самой границе предела видимости, может появиться, поперечная к первой, вторая короткая ветвь. Получив первую стереофигуру, поворачиваем шлиф по индексу на 10, 20, 30° и т. д. и строим новые стереофигуры. При этом могут быть следующие случаи.

26-1. Ветви всех стереофигур проходят через проекцию острой биссектрисы (с отклонением не более $\pm 1^\circ$), пересекаясь здесь друг с другом. В этом случае минерал почти одноосен, т. е. $2V < 5^\circ$. Если ветви стереофигур не доходят на несколько дуговых градусов до проекции острой биссектрисы, то можно экстраполировать их на это короткое расстояние.

26-2. Ветви всех стереофигур сходятся (с отклонением не более $\pm 1^\circ$) в одной точке, находящейся несколько в стороне от проекции острой биссектрисы и притом ближе к центру диаграммы, чем биссектриса. В этом случае

мы имеем разрезы двуосного минерала с поперечным к шлифу расположением плоскости оптических осей (см. рис. 58 и 59), Точка пересечения ветвей стереофигур определяет проекцию одной оптической оси. Вторая оптическая ось в таких разрезах не может быть найдена, так как она закрыта острой биссектрисой, в связи с чем ветви всех стереофигур, проходящие через проекцию этой оси, лежат вне предела видимости.

26-3. Большинство ветвей стереофигур сходятся (с отклонением не более $\pm 1^\circ$) в одной точке, лежащей недалеко от проекции острой биссектрисы и ближе к центру диаграммы, чем сама биссектриса. Кроме того, имеется несколько коротких (частью сильно изогнутых) ветвей по другую сторону от проекции биссектрисы, которые более или менее ясно сходятся во второй точке, расположенной, по отношению к проекции острой биссектрисы, симметрично с первой точкой схода ветвей стереофигур (см. рис. 60). Получив такую картину, следует путем дополнительных измерений уточнить вторую точку схода. Наличие двух точек схода ветвей стереофигур указывает на то, что мы имеем разрез двуосного минерала с поперечным расположением плоскости оптических осей по отношению к шлифу.

26-4. Ветви стереофигур группируются в два пучка, точки схода которых расположены по одну и другую сторону от проекции острой биссектрисы (см. рис. 61). Кроме того, первая стереофигура представлена только одной ветвью, остальные же могут состоять и из двух ветвей, меридиональной и широтной, не пересекающихся и не соединяющихся друг с другом в пределах видимости диаграммы. В этом случае мы имеем разрез двуосного кристалла с расположением плоскости оптических осей, переходным от поперечного к продольному. Если ветви стереофигур не доходят до точки схода на $3-5^\circ$, то можно провести их экстраполирование.

2в. Острая биссектриса расположена вне предела видимости федоровского столика (см. рис. 62—65).

В таких разрезах, имеющих любое расположение плос-

кости оптических осей, все стереофигуры, как нормального, так и диагонального варианта, имеют в пределах видимой части диаграммы только одну ветвь, и ветви разных стереофигур не имеют в видимой части диаграммы точек схода и взаимного пересечения. Поэтому, чтобы найти такие точки схода и пересечения ветвей стереофигур, соответствующие проекциям оптических осей, нужно производить экстраполирование ветвей далеко за пределы видимой части диаграммы. Такого рода построение требует, прежде всего, детального знакомства с теорией метода и умения построить элементарную стереофигуру любого разреза всякого кристалла. Поэтому рекомендуется лицам мало знакомым с теорией и практикой стереоконоскопического метода, не заниматься решением задач, входящих в данную группу, во избежание напрасной траты времени и отрицательного результата работы.

Исследование разрезов данной группы производится следующим способом. Вначале находим, по возможности точнее, проекцию острой биссектрисы (см. выше п. 2а). Затем ставим шлиф в такое положение, чтобы острая биссектриса расположилась в плоскости, проходящей через нормаль к шлифу и ось север-юг, и строим меридиональную ветвь первой стереофигуры, проследив ее от центра диаграммы по направлению к проекции острой биссектрисы до самого предела возможной видимости. Далее, поворачиваем шлиф по индексу в одну и другую сторону на одинаковые углы в $10-20^\circ$, $25-30^\circ$, $40-45^\circ$ и т. д. до 90° и строим для этих положений те ветви стереофигур, которые направлены к проекции острой биссектрисы. Построение стереофигур производим по нормальному варианту, а желательно и по диагональному. После этого производим экстраполирование ветвей и находим точку их пересечения в невидимой части диаграммы.

Если острая биссектриса отстоит от границы предела видимости не более чем в $15-20^\circ$ и если $2V > 15^\circ$, то даже без экстраполирования ветвей стереофигур можно установить наличие двуосности. Именно, у одноосного кристалла при совмещении оптической оси с центральным мери-

дианом сетки Вульфа меридиональная ветвь стереофигуры должна быть прямолинейной и должна точно совпадать с центральным меридианом, а при совмещении ее с экватором—должна, будучи тоже прямолинейной, совпадать с экватором. Кроме того, у одноосного кристалла стереофигуры для двух положений, в которых оптическая ось лежит симметрично относительно экватора или центрального меридиана, должны быть также зеркально симметричными (с отклонением, в зависимости от точности измерений, не более $\pm 1^\circ$). Если эти условия существенно нарушаются, то минерал безусловно двуосен, и в таком случае есть смысл проводить экстраполирование стереофигур в невидимую часть диаграммы.

Помимо указанных признаков, есть еще один способ, позволяющий произвести качественное определение двуосности в разрезах данной группы. Выполнимо это только на федоровском столике с дополнительной осью, так как требуется совместить острую биссектрису с осью север-юг, сохранив возможность производить наклоны вправо и влево. Более подробно об этом способе сказано ниже в п. 2г.

2г. Острая биссектриса почти совпадает со шлифом или находится в его плоскости (см. рис. 66 и 67).

Эти разрезы являются полностью закрытыми, и угол оптических осей не может быть определен в них даже приблизительно, так как в пределах видимой части диаграммы полная стереофигура таких разрезов, при $2V < 25^\circ$, практически не отличима (или почти не отличима) от полной стереофигуры одноосного минерала. Вместе с тем вполне возможна качественная диагностика двуосности, если угол оптических осей не менее 5 или 10° . Для этого требуется федоровский столик с дополнительной (внутренней) осью восток-запад, так как нужно совместить острую биссектрису с осью север-юг, сохранив в то же время возможность производить наклоны вправо и влево. Исследование производим следующим образом. Находим с наибольшей точностью острую биссектрису и совмещаем ее с

осью север-юг федоровского столика, имеющего дополнительную ось. После этого посредством нормального варианта проверяем все поле видимости, как это следует делать при построении меридиональных ветвей стереофигуры. Если минерал одноосен, то в этих условиях все поле видимости будет представлять сплошное черное пятно, без каких бы то ни было признаков отдельных стереофигур, так как при подобной ориентировке разреза любой вектор одноосного кристалла характеризуется полным угасанием параллельного ему луча. Если же вместо сплошного черного пятна мы получим, при разных наклонах вправо и влево, более или менее ясные ветви стереофигур, в виде широких темных полос, протягивающихся вдоль меридианов, то минерал безусловно двуосен.

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ СЕЧЕНИЙ ИНДИКАТРИСЫ

В кристаллах, с углом оптических осей больше $25-30^\circ$, оси и главные сечения индикатрисы всегда могут быть найдены обычным федоровским методом, но ошибка такого определения, как правило, не меньше $\pm 1^\circ$ или $\pm 2^\circ$, а порой и более значительна. В кристаллах, с углом оптических осей меньше $25-30^\circ$, федоровский метод дает возможность найти, обычно, только острую биссектрису, причем и здесь ошибка определения не меньше $\pm 1-2^\circ$. В тех случаях, когда такая точность является недостаточной, уточнение положения осей и главных сечений индикатрисы может быть сделано с помощью нормального варианта стереоконоскопического метода. Теоретические основы решения этой задачи следующие (более подробно см. разделы А и Б).

Когда ось индикатрисы располагается в плоскости, проходящей через нормаль к шлифу и ось восток-запад (т. е. когда эта ось проектируется на экваторе сетки Вульфа и, в частном случае, совпадает с осью восток-запад), элементарная стереофигура нормального варианта состоит, в общем случае, из меридиональной дуги и замкнутой кри-

вой, симметричной относительно этой дуги и пересекающейся с нею под прямым углом в двух точках: внутри диаграммы и в одной из проекций оси север-юг. При отклонении от этого положения крест ветвей стереофигуры разрывается по одной или по другой диагонали (в зависимости от знака угла отклонения) и стереофигура будет состоять в этом месте из двух кривых, имеющих меридиональный и широтный участки и обращенных выпуклостями друг к другу, причем величина наименьшего расстояния между кривыми зависит от величины угла отклонения оси индикатрисы от совмещения с экватором. Вместе с тем меридиональная ветвь располагается уже не строго вдоль меридианов сетки Вульфа, но пересекает таковые под более или менее острым углом, в зависимости от величины угла отклонения оси индикатрисы от совмещения с экватором, а направление пересечения (с северо-запада к юго-востоку или наоборот) зависит от знака отклонения. Если для двух смежных положений углы отклонения равны, но имеют разные знаки (т. е. если ось индикатрисы отклоняется в одну и в другую сторону от экватора), то элементарные стереофигуры должны быть зеркально симметричными, а плоскостью симметрии служит искомое главное сечение индикатрисы.

Когда с экватором (в частном случае с осью восток-запад) совмещена острая биссектриса, то крестообразное пересечение ветвей стереофигуры всегда располагается в пределах поля зрения федоровского столика. Если это — тупая биссектриса, то крестообразное пересечение ветвей стереофигуры выходит из поля зрения во всех тех случаях, когда острая биссектриса составляет с нормалью к шлифу угол больше $60-70^\circ$. Наконец, если с экватором (и соответственно с осью восток-запад) совмещена ось N_m и если при этом одна из оптических осей проектируется близ края диаграммы, то крест ветвей стереофигуры располагается вне поля зрения федоровского столика и видима только одна меридиональная ветвь стереофигуры. Эти условия определяют общий ход решения задачи.

Следует еще указать, что уточнение положения с по-

мощью стереоконоскопического метода может быть выполнено лишь для тех осей индикатрисы, которые составляют с нормалью к шлифу угол больше 40° , так как при меньшем значении этого угла нужные элементарные стереофигуры выходят почти полностью из поля зрения федоровского столика.

Решение задачи по уточнению положения осей и главных сечений индикатрисы производим следующим образом (нужно применять нормальный вариант метода).

1. Исследуем кристалл обычным федоровским методом. Может быть найдена (как у одноосных кристаллов) только одна ось индикатрисы—острая биссектриса—и, перпендикулярное к ней, изотропное или почти изотропное сечение (см. ниже п. 2). Могут быть найдены все три оси индикатрисы. Совмещаем нужную ось с осью восток-запад и строим первую элементарную стереофигуру. Таковая может состоять или из двух разобщенных ветвей (см. ниже п. 1а), или из двух ветвей, пересекающихся под прямым углом (см. п. 1б), или только из одной ветви (см. ниже п. 1в).

1а. Первая элементарная стереофигура состоит из двух разобщенных изогнутых ветвей, имеющих каждая меридиональный и широтный участки. С осью восток-запад совмещена биссектриса (см. п. 1а-1) или ось N_m (см. п. 1а-2).

1а-1. С осью восток-запад совмещена биссектриса. Если изогнутость ветвей первой стереофигуры, при переходе от меридионального их участка к широтному, направлена по часовой стрелке (при этом в сближенных частях ветви пересекают меридианы сетки Вульфа в северо-восточном направлении), то поворачиваем шлиф по индексу на $2-4^\circ$ против часовой стрелки (и наоборот) и строим вторую элементарную стереофигуру, у которой изогнутость ветвей и их расположение по отношению к меридианам сетки Вульфа должны быть обратными, по сравнению с первой фигурой (если это не получается, то поворачиваем шлиф в ту же сторону еще на $2-4^\circ$ и т. д.). Получив две такие стереофигуры (см. рис. 68), соединяем в каждой из них наиболее сближенные точки выпуклых частей ветвей

вспомогательными дугами. Если обе эти дуги имеют равную длину, то ставим шлиф в промежуточное положение индекса, и в этом положении меридиональная дуга, проходящая через точку пересечения вспомогательных дуг и через проекцию оси север-юг, дает проекцию искомого главного сечения индикатрисы. Если вспомогательные дуги не равны, то путем интерполяции находим промежуточное положение индекса, при котором ветви соответствующей стереофигуры будут пересекаться под прямым углом. В этом положении дуга меридиана, проходящая через точку пересечения вспомогательных дуг и через проекции оси север-юг, представляет проекцию искомого главного сечения индикатрисы.

1а-2. С осью восток-запад совмещена ось N_m . Если изогнутость ветвей первой стереофигуры при переходе от меридионального их участка к широтному направлена по часовой стрелке (при этом в сближенных их частях ветви пересекают меридианы сетки Вульфа в северо-восточном направлении), то поворачиваем шлиф по индексу на $2-4^\circ$ по часовой стрелке (и наоборот), т. е. поворачиваем шлиф в направлении обратном случаю 1а-1. После этого строим вторую элементарную стереофигуру (см. рис. 69), у которой изогнутость ветвей и их расположение по отношению к меридианам сетки Вульфа должны быть обратными по сравнению с первой фигурой. Дальнейшее решение задачи производится, как и в п. 1а-1. В данном случае в качестве вспомогательного элемента при решении задачи могут быть использованы также проекции оптических осей.

1б. Первая элементарная стереофигура состоит из двух ветвей, пересекающихся под прямым углом. В этом случае меридиональная ветвь сразу дает проекцию искомого главного сечения индикатрисы. Проверку точности этого построения и решения производим следующим образом. Поворачиваем шлиф по индексу в одну и другую сторону на равные углы в $2-4^\circ$ и строим вторую и третью стереофигуры. Если первая стереофигура точно соответствует совмещению оси индикатрисы с осью восток-запад, то вторая и третья стереофигуры должны быть зеркально

симметричными и плоскостью их симметрии должна быть меридиональная ветвь первой стереофигуры. Если это не получается, то с помощью второй и третьей стереофигур решаем задачу, как указано в п. 1а.

1в. Первая элементарная стереофигура состоит из одной ветви, пересекающей меридианы сетки Вульфа под острым углом. С осью восток-запад совмещена тупая биссектриса (см. ниже п. 1в-1), или ось N_m (см. п. 1в-2), или же ось, наименование которой не известно (см. п. 1в-3). Остальные две оси индикатрисы проектируются всегда: одна — близ центра диаграммы, а другая — близ проекции оси север-юг.

1в-1. С осью восток-запад совмещена тупая биссектриса. Если ветвь стереофигуры расположена, по отношению к меридианам сетки Вульфа, в северо-восточном направлении, то поворачиваем шлиф по индексу на $2-4^\circ$ против часовой стрелки и строим вторую стереофигуру, у которой ветвь должна иметь уже северо-западное направление (если это не получается, то поворачиваем шлиф в ту же сторону еще на $2-4^\circ$ и т. д.). После этого отмечаем на обеих стереофигурах точки A_1 и A_2 их пересечения с главным сечением индикатрисы, проходящим вдоль экватора через биссектрису, совмещенную с осью восток-запад, и через ось N_m , и проводим (при соответствующем положении индекса) меридианы через эти точки (см. рис. 70). Некоторая неточность положения данного главного сечения не влияет при этом на правильность дальнейшего решения задачи. Затем сравниваем углы α_1 и α_2 , образуемые этими меридианами (таковые, по теории, проходят также через проекцию острой биссектрисы) с ветвями стереофигур, обращенными в сторону острой биссектрисы, проекция которой в таких разрезах располагается всегда близ проекции оси север-юг. Если эти углы равны, то принимаем для индекса среднее значение, ставим шлиф в соответствующее положение и проводим меридиональную дугу через ось север-юг и точку A , равноотстоящую от точек A_1 и A_2 . Если же углы не равны, то путем интерполяции находим промежуточное положение индекса и точ-

ки А, устанавливаем шлиф соответственно этому и проводим меридиональную дугу через точку А и ось север-юг. Эта дуга представляет проекцию искомого главного сечения индикатрисы.

1в-2. С осью восток-запад совмещена ось N_m . Если ветви первой стереофигуры имеют, по отношению к меридианам сетки Вульфа, северо-восточное направление, то поворачиваем шлиф по индексу на $2-4^\circ$ по часовой стрелке (и наоборот), т. е. в направлении, обратном случаю 1в-1 (см. рис. 71). В остальном задача решается так же, как и в случае 1в-1.

1в-3. Наименование оси индикатрисы, совмещенной с осью восток-запад, не известно. Такие случаи часты при исследовании минералов с углом $2V$ около $25-40^\circ$ в разрезах, более или менее поперечных к оси N_m или к тупой биссектрисе (например, в санидинах, анортоклазах и др.). Поворачиваем шлиф по индексу в одну и другую сторону на $4-6^\circ$ и строим вторую и третью стереофигуры. При этом у каких-то двух стереофигур ветви их будут расположены, по отношению к меридианам сетки Вульфа, в разных румбах. Если правая из этих двух стереофигур имеет северо-восточное, а левая—северо-западное направление, то с осью восток-запад совмещена тупая биссектриса (см. рис. 70). Если же правая стереофигура имеет северо-западное, а левая—северо-восточное направление, причем ветви стереофигур близки к пересечению друг с другом, то с осью восток-запад совмещена ось N_m (см. рис. 71). В дальнейшем решение задачи проводится так, как указано в п.п. 1в-1 и 1в-2.

2. Обычным федоровским методом может быть найдена только одна ось индикатрисы—острая биссектриса—и перпендикулярное к ней, почти изотропное, сечение. Совмещаем эту ось индикатрисы с осью восток-запад и строим первую элементарную стереофигуру, которая в этом случае всегда будет состоять из двух разобщенных или пересекающихся ветвей. Дальнейшее решение задачи проводится так, как указано в п.п. 1а-1 и 1б. Положение остальных осей и главных сечений индикатрисы может быть оп-

ределено в таких случаях только путем полного стереоконоскопического исследования кристалла.

Д. КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Основы теории и практического применения стереоконоскопического метода, изложенные в данной монографии, далеко не исчерпывают всех его возможностей. Здесь даны теория и способы решения задач только для тех случаев, когда целью исследования является определение оптической характеристики кристалла, т. е. определение положения осей индикатрисы и величины угла оптических осей. Практика стереоконоскопических измерений, выполненных автором, показала, что этот метод при определении угла $2V$ имеет очень узкую слепую зону, повидимому, не превышающую $4-6^\circ$, в то время как для обычного коноскопического и федоровского методов ширина слепой зоны может быть, в зависимости от двупреломления минерала, в два—три раза шире. В связи с этим стереоконоскопический метод открывает для исследования почти весь диапазон аномальной двуосности теоретически одноосных минералов.

Стереоконоскопический метод может иметь применение и в тех случаях, когда определение минералов производится по углу угасания в тех или иных сечениях или зонах. Общее уравнение метода получает при этом всегда очень простую форму, легко поддающуюся математическому анализу с помощью дифференциального исчисления, для определения максимальных и минимальных значений угла погасания и для оценки возможной ошибки. Исследование теории и практической методики решения таких задач не вошло в данную монографию и будет оформлено в виде самостоятельной работы, куда войдут и другие возможные случаи применения метода.

Федоровский столик в первоначальном его виде (50 лет тому назад) имел только две оси вращения—внутреннюю вертикальную и восток-запад, и в соответствующей системе полярных координат экваториальной плоскостью

служила плоскость шлифа, а полюс совпадал с нормалью к шлифу. В последующем в конструкцию столика были введены еще две оси вращения, ось север-юг и внешняя вертикальная, и в новой системе полярных координат полюс совмещен уже с осью север-юг, а экваториальная плоскость расположена перпендикулярно к этой оси. Федоровский метод, в современном его виде, разработан и получил развитие на основе этой, именно, системы координат, обеспечивающей полную свободу ориентировки кристалла по отношению к оптической оси микроскопа.

Стереоконоскопический метод разработан на основе этой же системы полярных координат, с полюсом на оси север-юг и с перпендикулярной к ней экваториальной плоскостью. Основы теории метода, изложенные в монографии, показывают, что сам метод и его математическое выражение, в виде общего уравнения стереофигур, дают универсальное решение задачи об угасающем положении и об углах угасания любого кристалла при всякой ориентировке какого угодно его сечения. В то же время в обычном федоровском методе разработаны лишь частные случаи этой задачи, решение которых производится упрощенным и приближенным, по точности, способом.

Поэтому стереоконоскопический метод является не только дальнейшим развитием федоровского метода, но представляет общую его форму, а общее уравнение стереофигур дает универсальное математическое выражение федоровского метода для всех тех случаев, когда оптическое исследование кристалла производится путем наблюдения угасающих его положений. Иначе говоря, стереоконоскопический метод является завершающей и вместе с тем универсальной формой федоровского метода.

КРАТКИЕ ОБЪЯСНЕНИЯ К РИСУНКАМ

Рис. 1. К главе А-IV. Диаграмма для вывода общего уравнения стереофигур.

Рис. 2. К главе А-V. Условные обозначения на диаграммах стереофигур.

Рис. 3. К главе А-VII. Диаграмма для вывода внешних общих точек при нормальном варианте.

Рис. 4. К главе А-VII. Диаграмма для вывода внешних общих точек при диагональном варианте.

Рис. 5. К главе А-VII. Вывод простой внутренней узловой точки для одноосного кристалла при диагональном варианте.

Рис. 6 и 7. К главе А-VII. Вывод простых внутренних узловых точек для двуосного кристалла при диагональном варианте.

Рис. 8, 9 и 10. К главе Б-I. Полные стереофигуры нормального варианта для одноосного кристалла в разрезах, перпендикулярных к оптической оси (рис. 8), косых (рис. 9) и параллельных оптической оси (рис. 10).

Рис. 11-15. К главе Б-I. Полные стереофигуры нормального варианта для двуосного кристалла в разрезах, перпендикулярных к биссектрисе (рис. 11), параллельных плоскости оптических осей (рис. 12), параллельных одной из биссектрис (рис. 13), параллельных средней оси индикатрисы (рис. 14), и в разрезах косых (рис. 15).

Рис. 16-20. К главе Б-II. Полные стереофигуры диагонального варианта для одноосного кристалла в разрезах, перпендикулярных к оптической оси (рис. 16), в косых разрезах (рис. 17, 18 и 19) и в разрезах параллельно оптической оси (рис. 20).

Рис. 21-29. К главе Б-II. Полные стереофигуры диагонального варианта для двуосного кристалла в разрезах, перпендикулярных биссектрисе (рис. 21), параллельных плоскости оптических осей (рис. 22), параллельных одной из биссектрис (рис. 23, 24 и 25), параллельных средней оси индикатрисы (рис. 26), и в косых разрезах (рис. 27, 28 и 29).

Рис. 30-32. К главе В-I. Графическое построение теоретических стереофигур нормального варианта для одноосного кристалла (рис. 30) и для двуосного кристалла (рис. 31 и 32).

Рис. 33-37. К главе В-II. Графическое построение теоретических стереофигур диагонального варианта для одноосного кристалла (рис. 33-35) и для двуосных кристаллов (рис. 36 и 37).

Рис. 38 и 39. К главе Г-II-1. Практические стереофигуры нор-

мального варианта для двусосного кристалла в сечениях с двумя видимыми оптическими осями.

Рис. 40—46. К главе Г-II-1. Практические стереофигуры нормального варианта для двусосного кристалла в тех случаях, когда видима только одна оптическая ось.

Рис. 47—52. К главе Г-II-1. Практические стереофигуры двусосного кристалла в разрезах без видимых оптических осей, если разрезы более или менее параллельны плоскости оптических осей (рис. 47—49, диагональный вариант) и если они более или менее поперечны к плоскости оптических осей (рис. 50—52, нормальный вариант).

Рис. 53—61. К главе Г-II-2. Практические стереофигуры нормального варианта для кристаллов с малым углом оптических осей при разной ориентировке сечения, если острая биссектриса находится в пределах видимости федоровского столика (рис. 53—57) или около его границы (рис. 58—61).

Рис. 62—67. К главе Г-II-2. Разрезы кристаллов с малым углом оптических осей, когда острая биссектриса лежит вне предела видимости федоровского столика. Разрезы, трудно решаемые (рис. 62—65) и не поддающиеся решению (рис. 66 и 67).

Рис. 68—71. К главе Г-III. Способы точного определения осей и главных сечений индикатрисы в разных сечениях и при разных углах оптических осей.

Р И С У Н К И

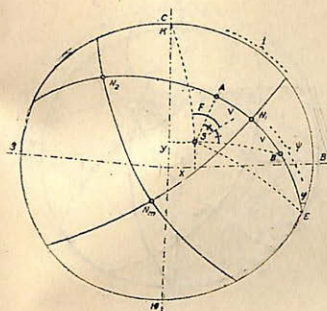


Рис. 1

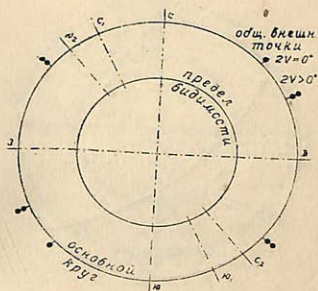


Рис. 2

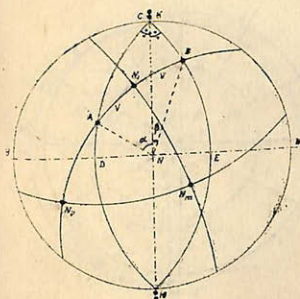


Рис. 3

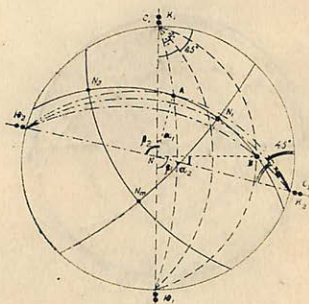


Рис. 4

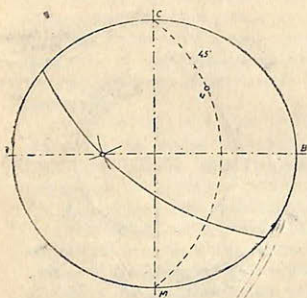


Рис. 5

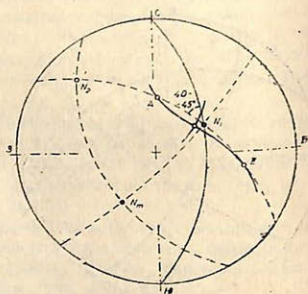


Рис. 6

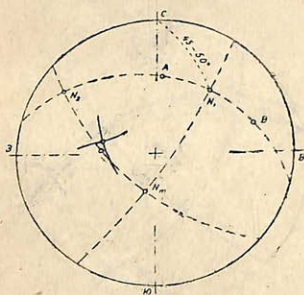


Рис. 7

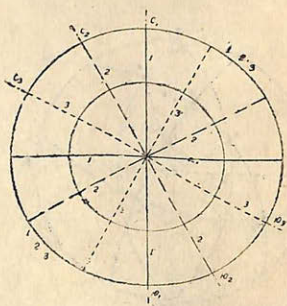


Рис. 8

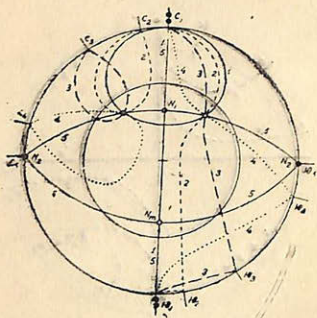


Рис. 13

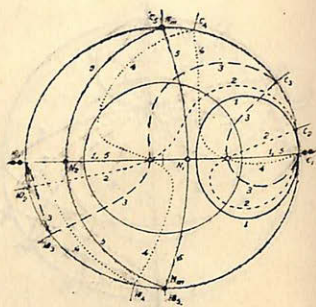


Рис. 14

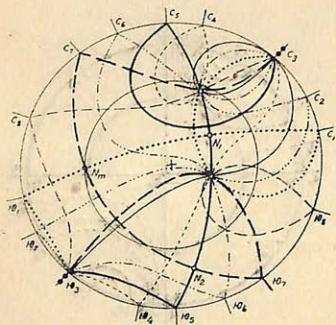


Рис. 15

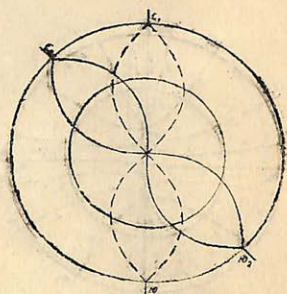


Рис. 16

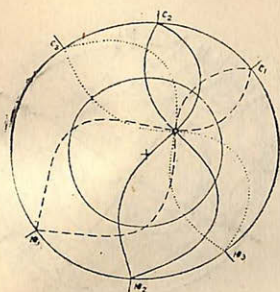


Рис. 17

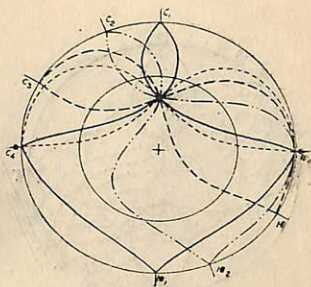


Рис. 18

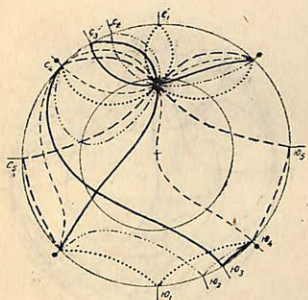


Рис. 19

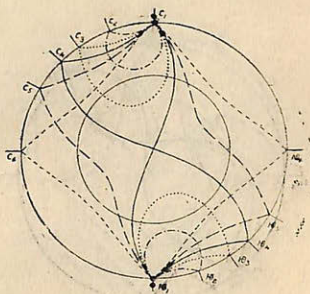


Рис. 20

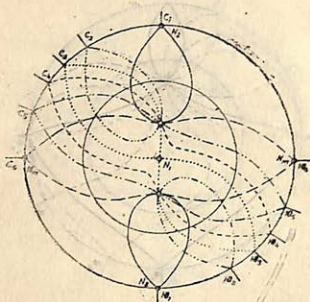


Рис. 21

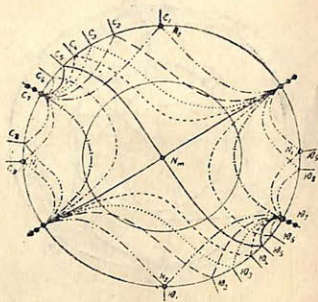


Рис. 22

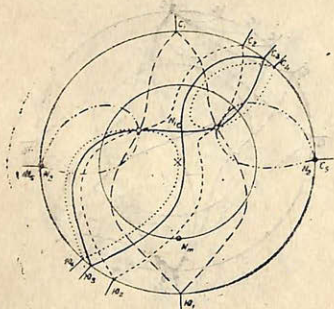


Рис. 23

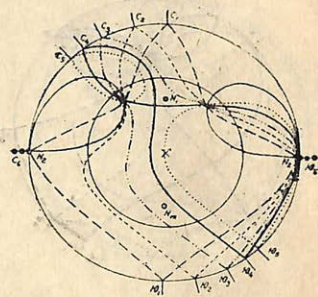


Рис. 24

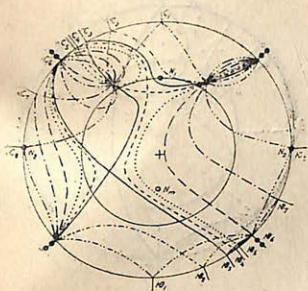


Рис. 25

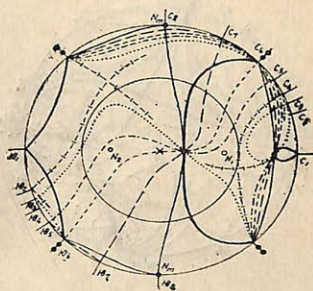


Рис. 26

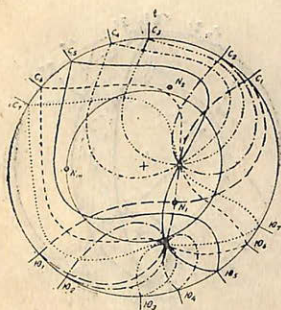


Рис. 27

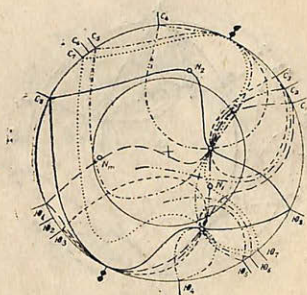


Рис. 28

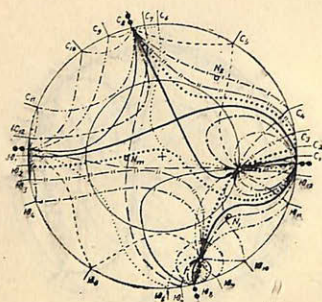


Рис. 29

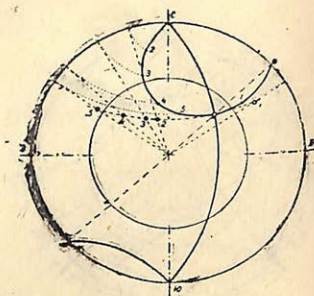


Рис. 30

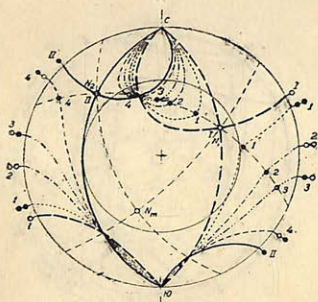


Рис. 31

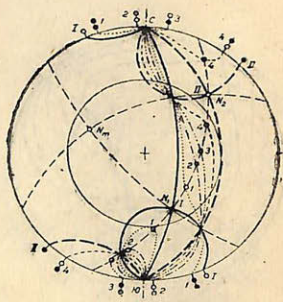


Рис. 32

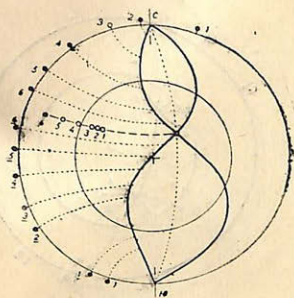


Рис. 33

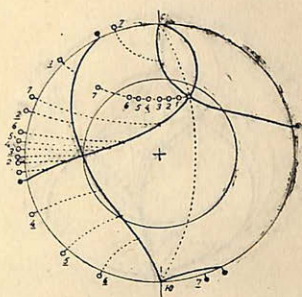


Рис. 34

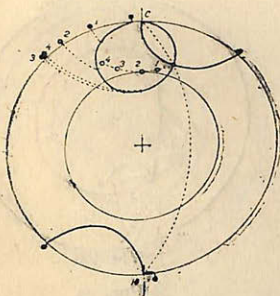


Рис. 35

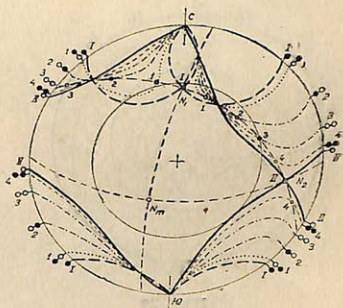


Рис. 36

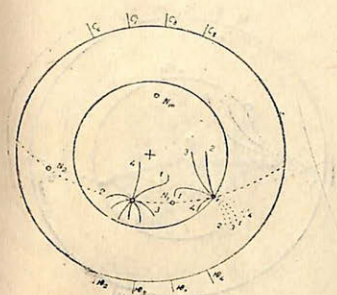


Рис. 41

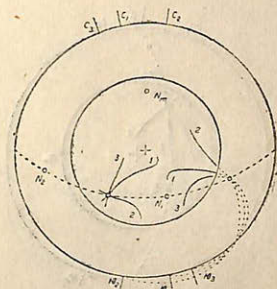


Рис. 42

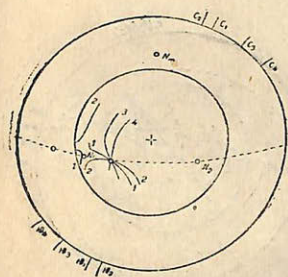


Рис. 43

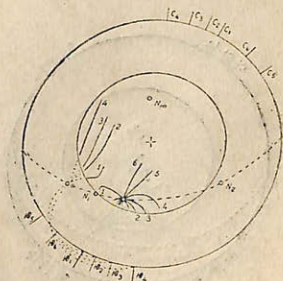


Рис. 44

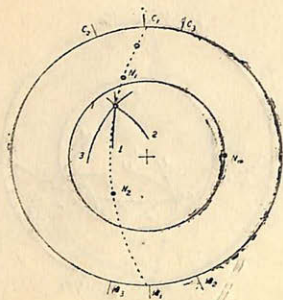


Рис. 45

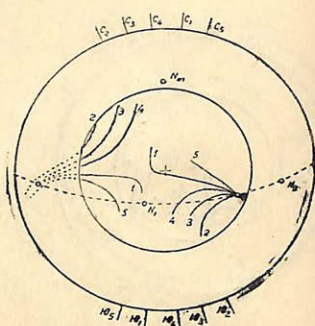


Рис. 46

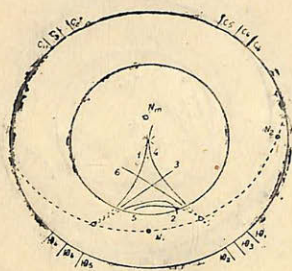


Рис. 47

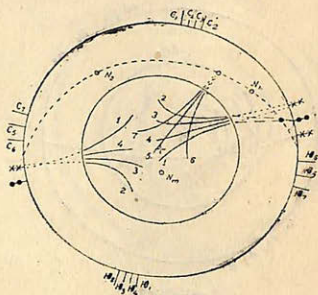


Рис. 48

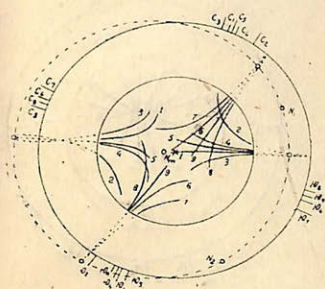


Рис. 49

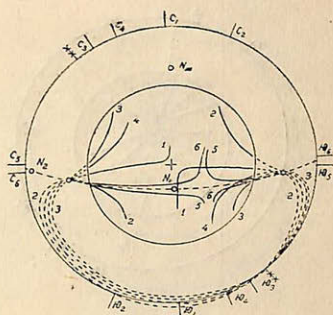


Рис. 50

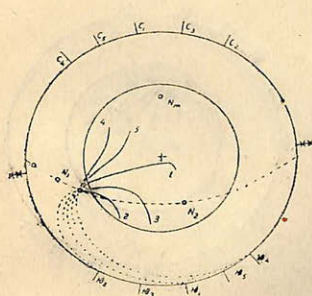


Рис. 51

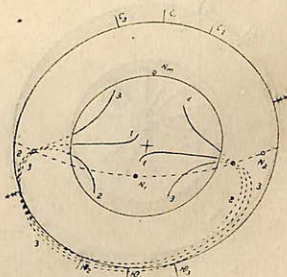


Рис. 52

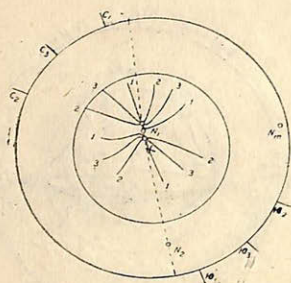


Рис. 53

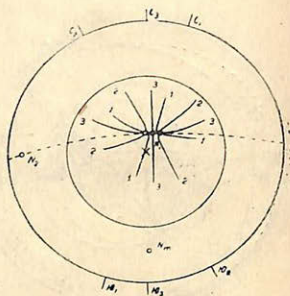


Рис. 54

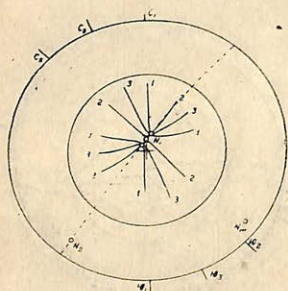


Рис. 55

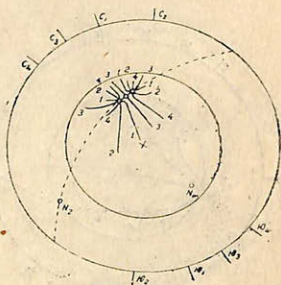


Рис. 56

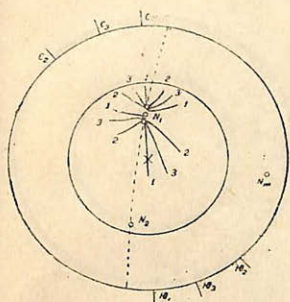


Рис. 57

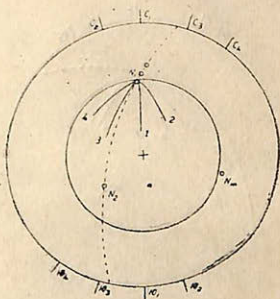


Рис. 58

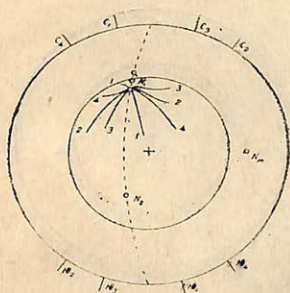


Рис. 59

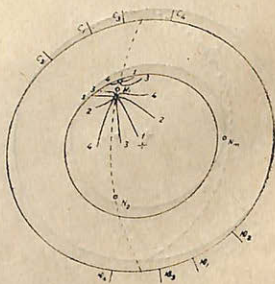


Рис. 60

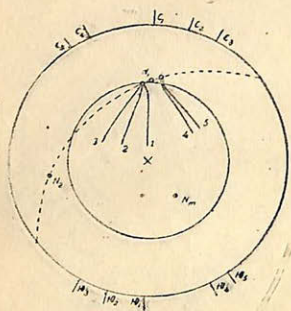


Рис. 61

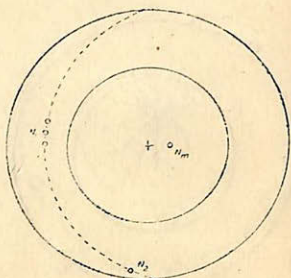


Рис. 62

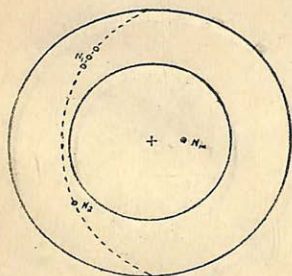


Рис. 63

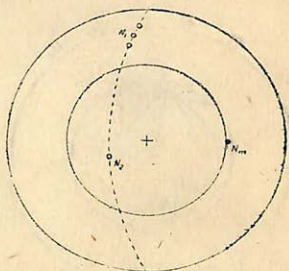


Рис. 64

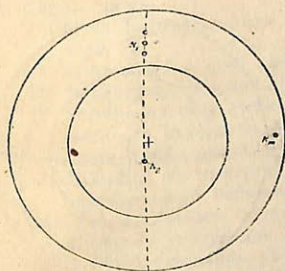


Рис. 65

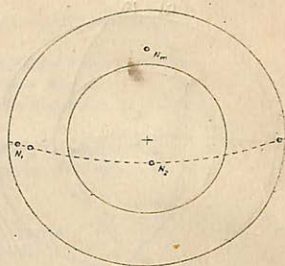


Рис. 66

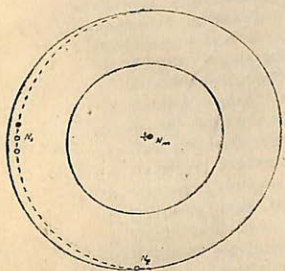


Рис. 67

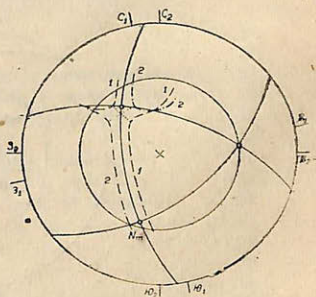


Рис. 68

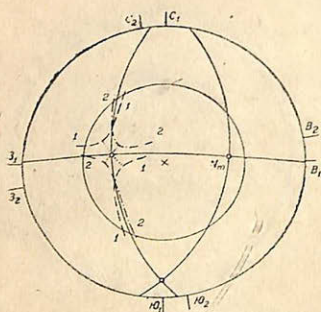


Рис. 69

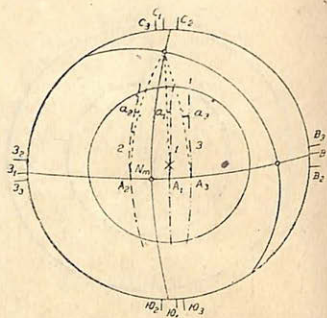


Рис. 70

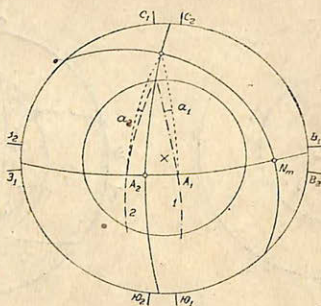


Рис. 71

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
А. Общая часть	3—28
I. Общая характеристика стереоконоскопического метода	3
II. Наименование осей вращения федоровского столика	4
III. Варианты стереоконоскопического метода	5
IV. Математическое выражение нормального и диагонального вариантов	6
V. Техника измерений и построения стереофигур	8
VI. Главные особенности стереофигур нормального и диагонального вариантов	12
VII. Теория узловых точек	16
1. Общие внутренние узловые точки	16
2. Общие внешние узловые точки	17
а. Нормальный вариант	18
б. Диагональный вариант	19
3. Внутренние простые узловые точки	22
а. Нормальный вариант	22
б. Диагональный вариант	23
4. Внешние простые узловые точки	27
Б. Описание стереофигур разных сечений одноосных и двуосных кристаллов	28—46
I. Нормальный вариант	29
1. Одноосные кристаллы	29
а. Разрез перпендикулярно к оптической оси	29
б. Разрез под косым углом к оптической оси	30
в. Разрез параллельно оптической оси	31
2. Двуосные кристаллы	32
а. Разрезы перпендикулярно биссектрисе	32
б. Разрезы перпендикулярно к оси N_m	33
в. Разрезы параллельно одной из биссектрис	34
г. Разрезы параллельно оси N_m	35
д. Разрезы косые	36
II. Диагональный вариант	36
1. Одноосные кристаллы	36
а. Разрез перпендикулярно к оптической оси	37
б. Разрезы косо к оптической оси	37
в. Разрезы параллельно оптической оси	39
2. Двуосные кристаллы	40
а. Разрезы перпендикулярно биссектрисе	40
б. Разрезы перпендикулярно к оси N_m	40

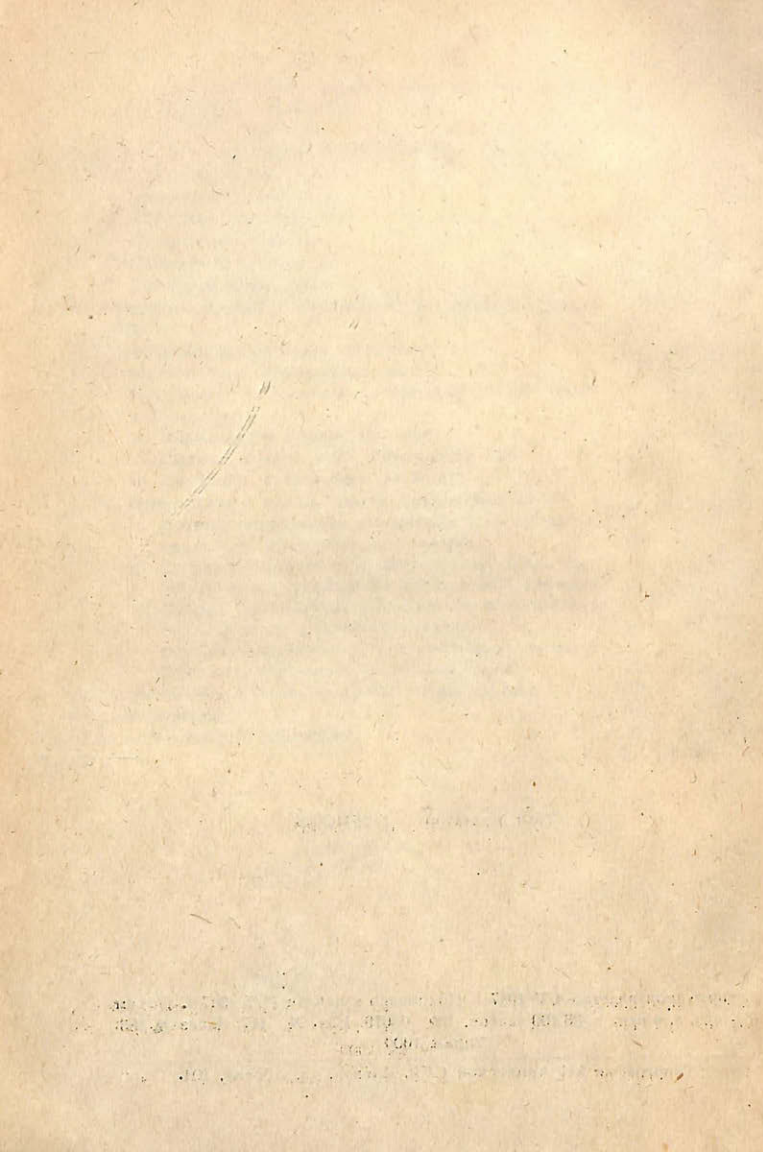
	Стр.
в. Разрезы параллельно одной из биссектрис	42
г. Разрезы параллельно оси N_{III}	44
д. Косые разрезы	45
В. Графическое построение теоретических стереофигур	46—52
I. Нормальный вариант	46
1. Одноосные кристаллы	46
2. Двухосные кристаллы	47
II. Диагональный вариант	50
1. Одноосные кристаллы	50
2. Двухосные кристаллы	51
Г. Практическая методика стереоконоскопических измерений	52—79
I. Классификация типовых разрезов	52
II. Измерение угла оптических осей	54
1. Кристаллы с большим и средним углом оптических осей	55
1а. Видимы обе оптические оси	55
1б. Видима только одна оптическая ось	58
1в. Видимых оптических осей нет	59
2. Кристаллы с малым углом оптических осей	65
2а. Острая биссектриса расположена в пределах видимости федоровского столика	66
2б. Острая биссектриса проектируется около границы предела видимости федоровского столика	69
2в. Острая биссектриса расположена вне предела видимости федоровского столика	70
2г. Острая биссектриса почти совпадает со шлифом или находится в его плоскости	72
III. Определение главных сечений индикатрисы	73
Д. Краткие выводы	79
Краткие объяснения к рисункам	81
Рисунки	83—100



Техн. редактор С. БОРИСОВ

Сдано в производство 4/V 1947 г. Подписано к печати 11/X 1947 г. Объем
6 1/2 печ. л. в печ. л. 38.400 знаков. ВФ 03679. Изд. № 417. Заказ № 383.
Тираж 1000

Типография АН Армянской ССР, Ереван, ул. Абовян, 104.



ԳԱՍ Հիմնարար Գիտ. Գրադ.



FL0570275

ЦЕНА 6 РУБ.

ЦЕНА

РД $\frac{11}{57234}$

В-18