

**Кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов»**

**Дисциплина из профессионального цикла  
«Современные проблемы науки в области материаловедения и технологии  
материалов и покрытий»**

**Курс 5, семестр 9, учебный год – 2011/12, группы 4МТМ-5-080, 081, 082  
Квалификация выпуска: магистр**

<b>№№ п/п</b>	<b>Виды учебной работы</b>	<b>Трудоемкость, часы</b>
1	Лекции (ЛК)	12
2	Практические занятия (ПЗ)	24 × 3
3	Текущий контроль (ТК): тестирование, коллоквиумы, защита работ и др.	6
4	Расчетно-графическая работа (КСР)	18
5	Вид окончательной аттестации: экзамен (Э)	12
6	Общая трудоемкость дисциплины	120

## РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ

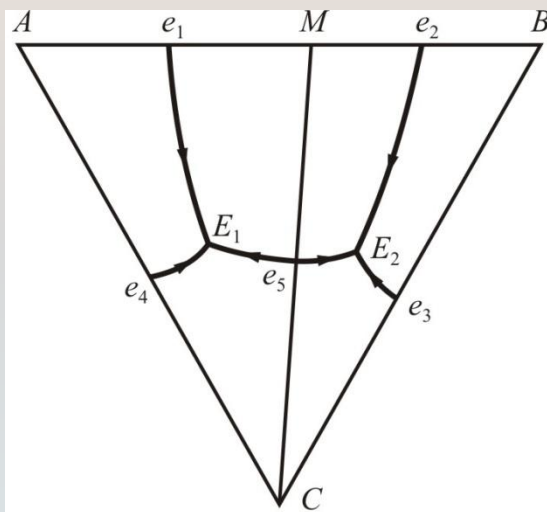
№ п/п	Наименование раздела дисциплины	ЛК	ПЗ	КСР	ТК	СР*
1	Структура металлов и сплавов	+				+
2	Теория металлических фаз. Твердые растворы	+	+		+	+
3	Теория металлических фаз. Промежуточные фазы в металлических системах	+	+		+	+
4	Сплавы на основе интерметаллидов	+		+		+
5	Диаграммы тройных систем с промежуточными фазами	+	+	+	+	+
6	Влияние скорости охлаждения при затвердевании на структуру и свойства сплавов (инновационные технологии)	+	+	+	+	+
7	Диаграммы метастабильных равновесий	+	+		+	+
8	Аморфные сплавы (металлические стекла)	+		+		+
* СР – самостоятельная работа студентов						

# Тройные системы с промежуточными фазами

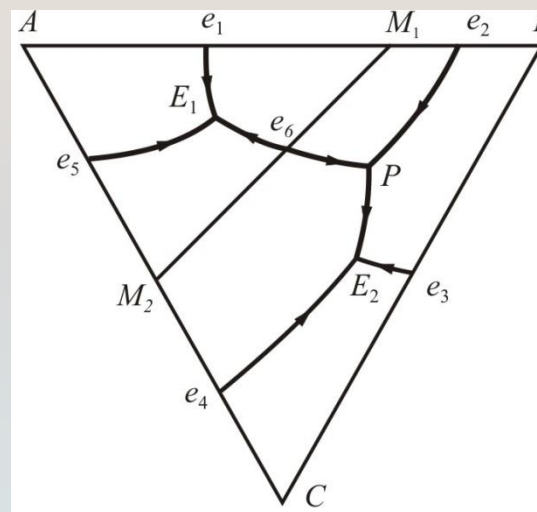
## Триангуляция тройных систем с промежуточными конгруэнтно плавящимися фазами

### Определение:

Способ, при котором сложную тройную систему А-В-С разделяют с помощью квазибинарных разрезов (М-С,  $M_1$ - $M_2$ ) на простые тройные системы, называется триангуляцией тройной системы.



а)



б)

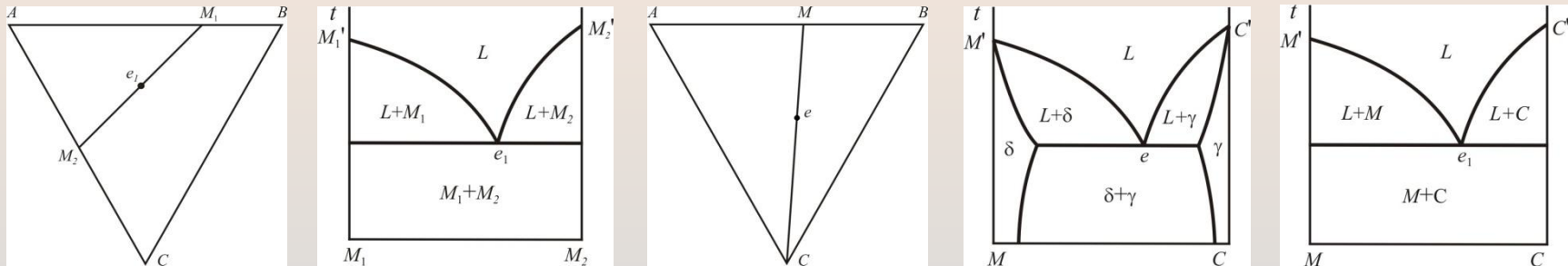
Триангулированная система А-В-С называется первичной или главной.

Более простые её составные части (А-М-С и В-М-С или А- $M_1$ - $M_2$  и В-С- $M_2$ - $M_1$ ) – вторичными системами.

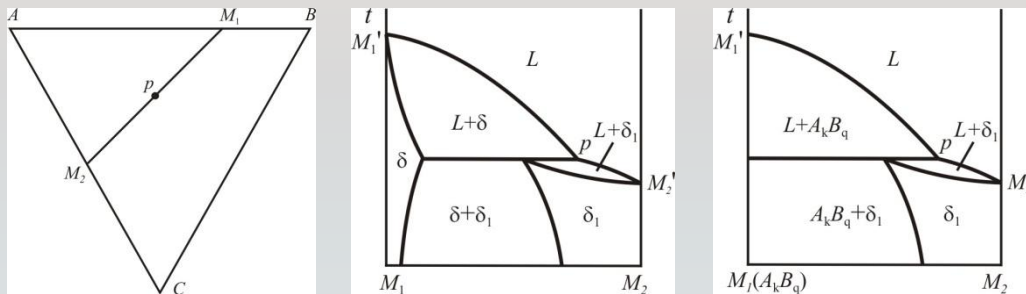
## Типы квазибинарных разрезов

I. Промежуточные двойные ( $M_1$ ,  $M_2$ , и т.д.) и тройные ( $N_1$ ,  $N_2$  и т.д.) фазы имеют разные типы кристаллических решеток. Возможны три варианта:

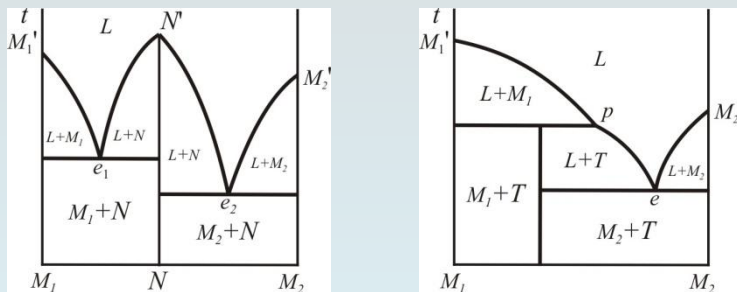
а) Квазибинарные разрезы относятся к эвтектическому типу:



б) Квазибинарные разрезы относятся к перитектическому типу:



в) Квазибинарные разрезы относятся к псевдодвойным системам с промежуточными фазами:

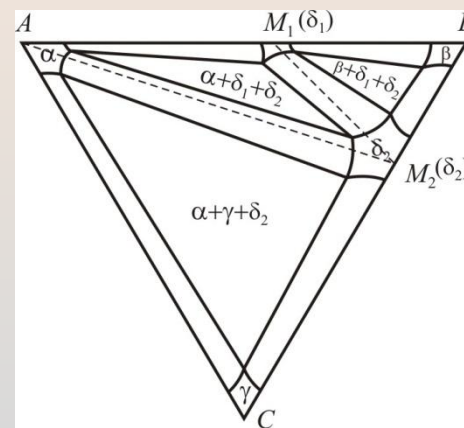
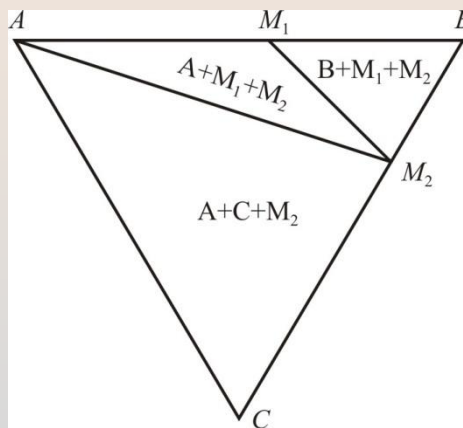
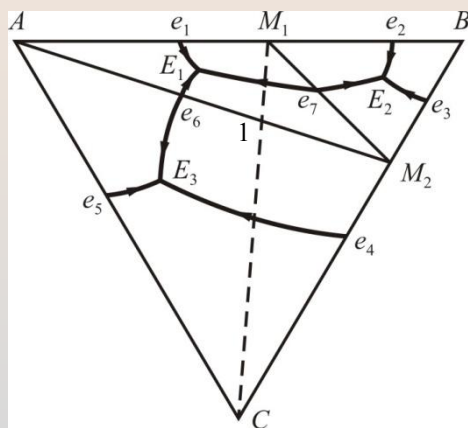


$N$  – тройное конгруэнтно плавящееся соединение

$T$  – тройное инконгруэнтно плавящееся соединение

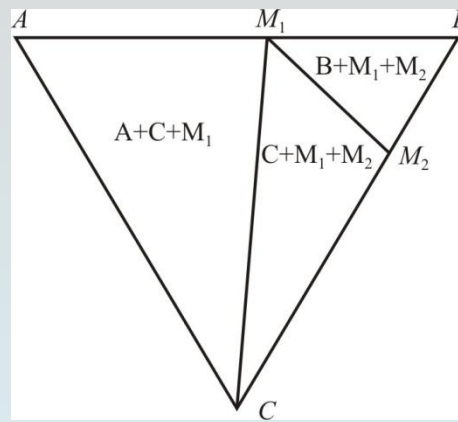
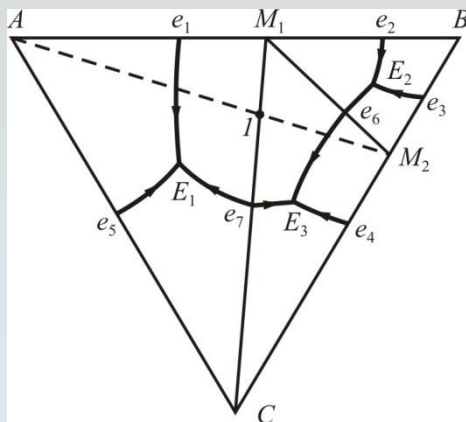
# Триангуляция тройных систем с помощью квазибинарных разрезов разрезов эвтектического типа (промежуточные фазы находятся в разных двойных системах)

а – с помощью квазибинарных разрезов  $A-M_2$  и  $M_1-M_2$ :



*Изотермические разрезы при  $t_{\text{комн}}$*

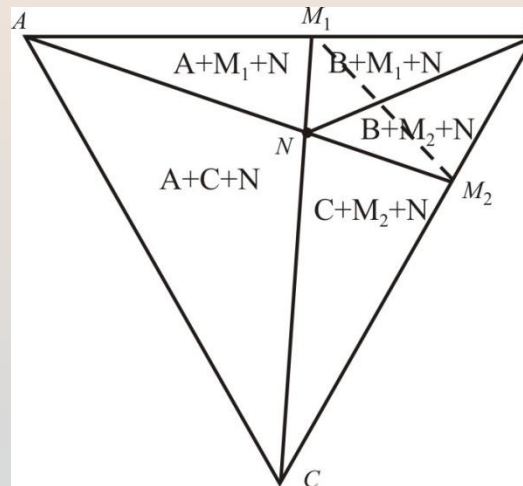
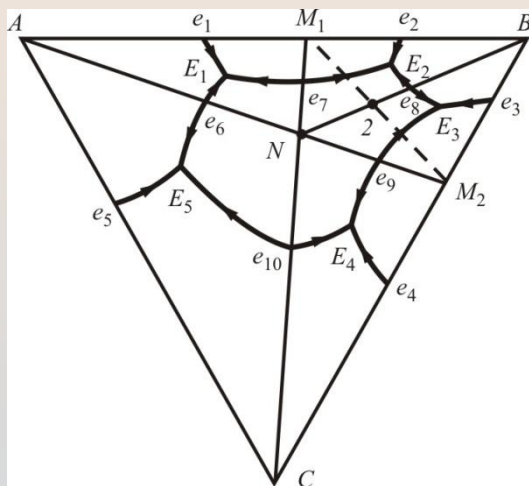
б – с помощью квазибинарных разрезов  $C-M_1$  и  $M_1-M_2$ :



*Изотермический разрез при  $t_{\text{комн}}$*

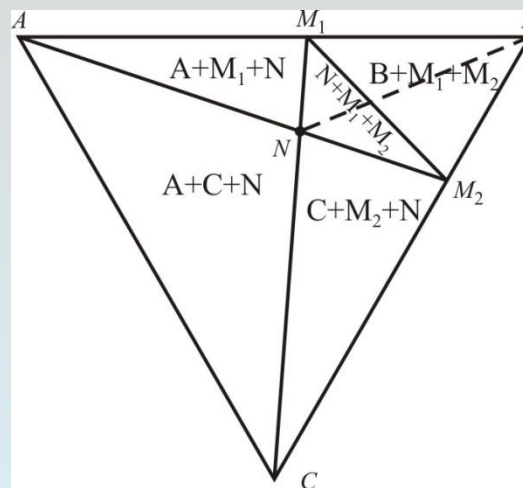
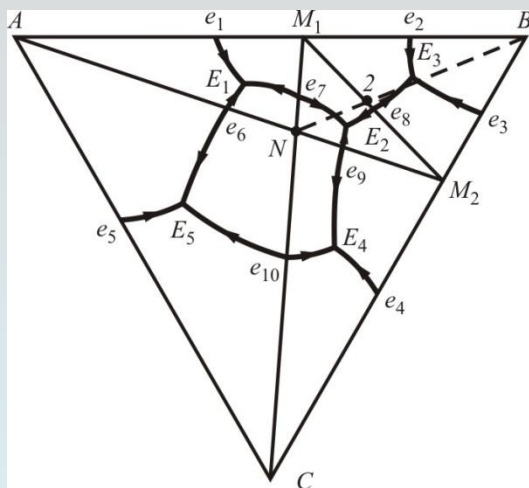
# Триангуляция тройных систем с помощью квазибинарных разрезов эвтектического типа (промежуточные фазы $M_1$ , $M_2$ и $N$ находятся в тройной и разных двойных системах)

а – с помощью квазибинарных разрезов  $A-N$ ,  $B-N$ ,  $C-N$ ,  $M_1-N$  и  $M_2-N$ :



- Изотермический  
разрез при  $t_{\text{комн}}$

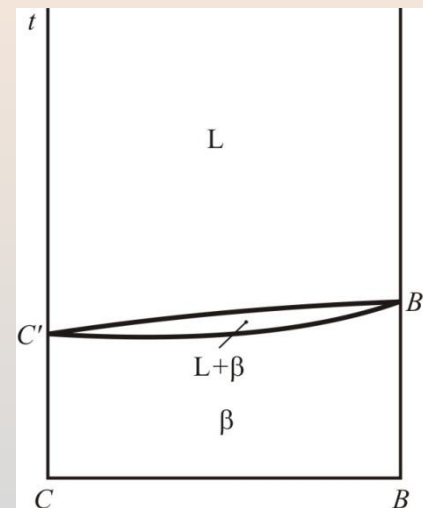
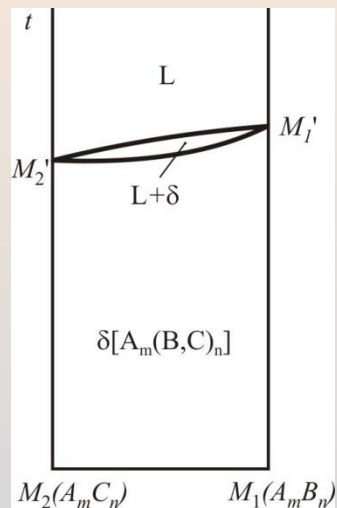
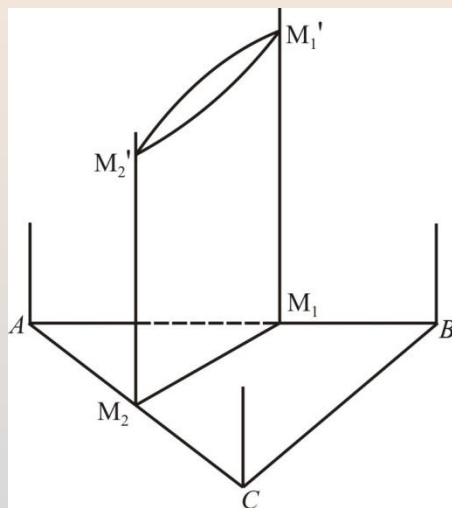
б – с помощью квазибинарных разрезов  $A-N$ ,  $C-N$ ,  $M_1-N$ ,  $M_2-N$  и  $M_1-M_2$ :



- Изотермический  
разрез при  $t_{\text{комн}}$

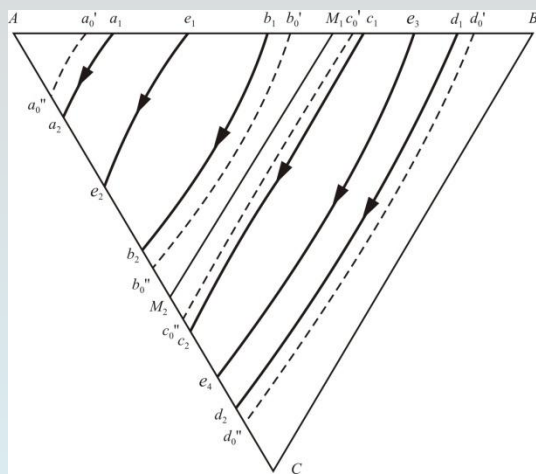
## Типы квазибинарных разрезов

II. Промежуточные фазы  $M_1$  и  $M_2$  изоморфны и образуют непрерывные твёрдые растворы

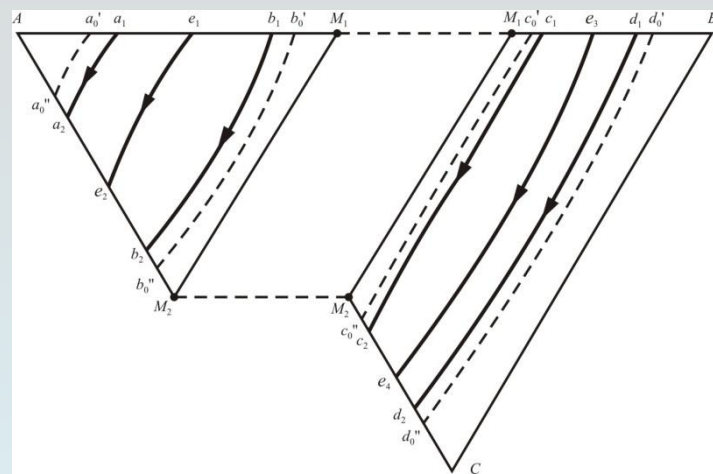


Триангуляция этой системы

Проекция первичной системы

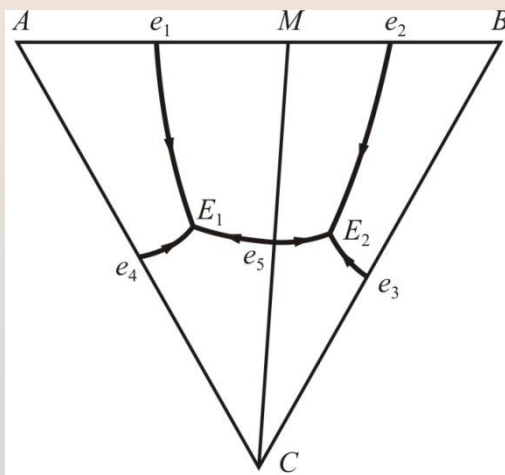


→  
Вторичные  
системы A-M<sub>1</sub>-M<sub>2</sub>  
и B-C-M<sub>1</sub>-M<sub>2</sub>



# Триангуляция тройных систем с помощью квазибинарных разрезов эвтектического типа (промежуточные фазы находятся в одной двойной системе)

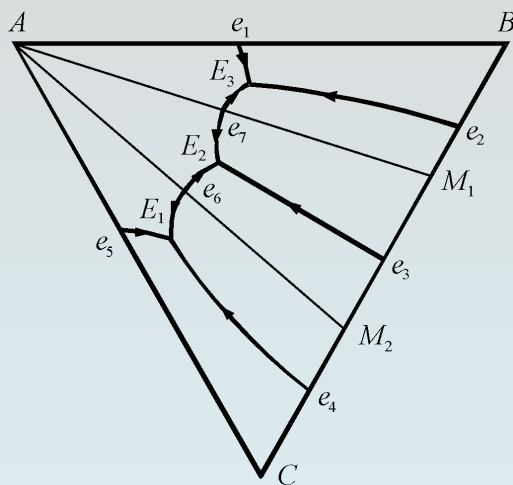
а) Система А-В-С с одним соединением М в системе А-В



### Вторичные системы

$$\text{A-B-C} \begin{cases} \Delta AMC(L_{E_1} \leftrightarrow A + M + C) \\ \Delta BMC(L_{E_2} \leftrightarrow B + M + C) \end{cases}$$

а) Система А-В-С с двумя соединениями М<sub>1</sub> и М<sub>2</sub> в системе В-С



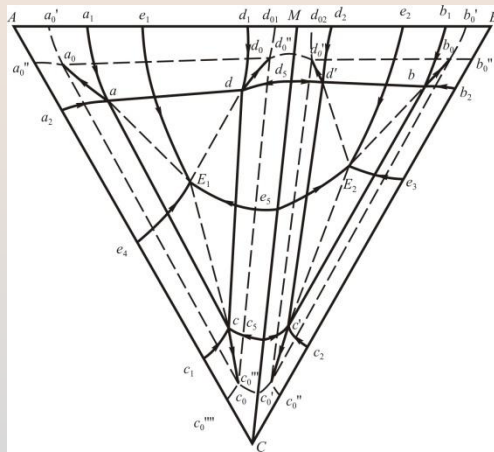
### Вторичные системы

$$\text{A-B-C} \begin{cases} \Delta ABM(L_{E_3} \leftrightarrow A + B + M_1) \\ \Delta AM_1M_2(L_{E_2} \leftrightarrow A + M_1 + M_2) \\ \Delta ACM_2(L_{E_1} \leftrightarrow A + C + M_2) \end{cases}$$

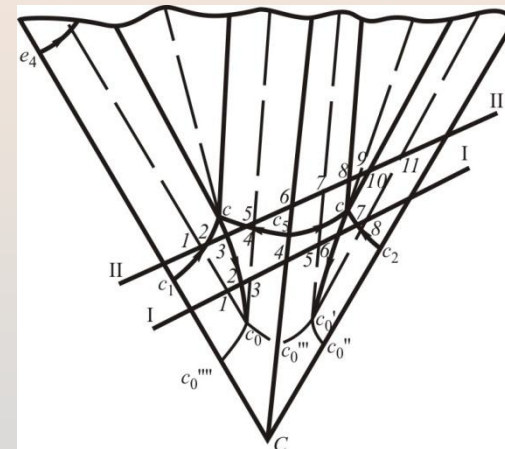


# Тройная система с двойной конгруэнтно плавящейся промежуточной фазой $M$ и переменной растворимостью компонентов

Проекция диаграммы состояния  
 $(M' > A' > B' > C' > t_{e1} > t_{e2} > t_{e5} > t_{e3} > t_{e4} > t_{E1} > t_{E2})$



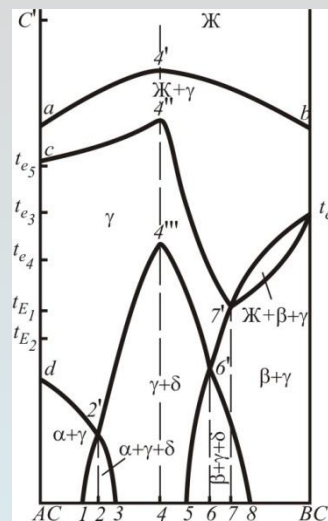
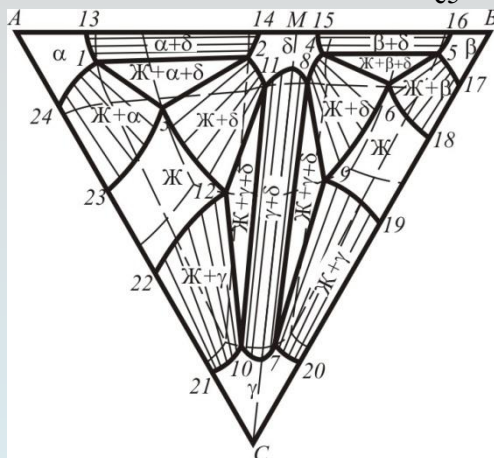
Политермические разрезы



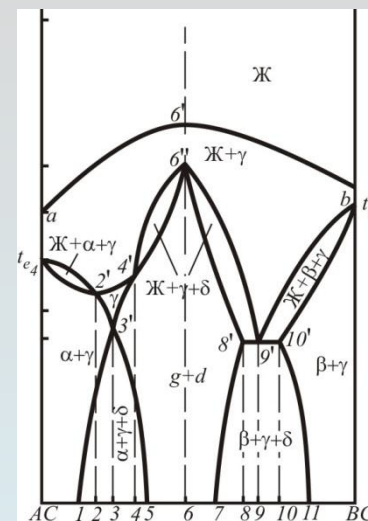
*a*

*a* – положение разрезов на диаграмме состояния

Изотермический разрез  $t(t_{e5} > t_{e3})$



*б* – разрез I-I

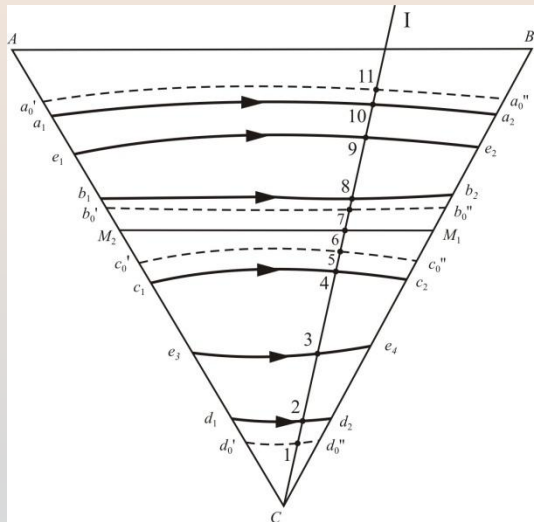


*в* – разрез II-II

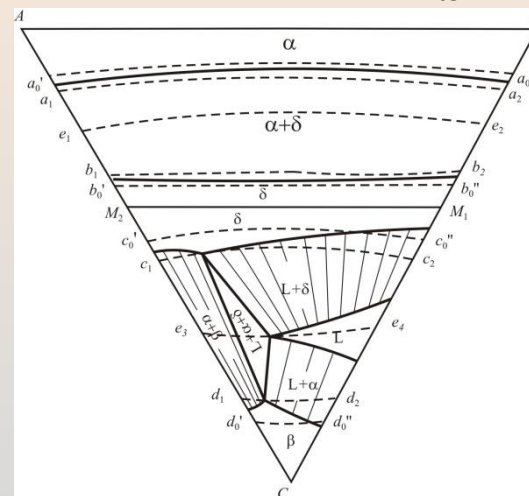
## $M_1$ и $M_2$ , образующими непрерывные твёрдые растворы

Проекция диаграммы состояния А-В-С

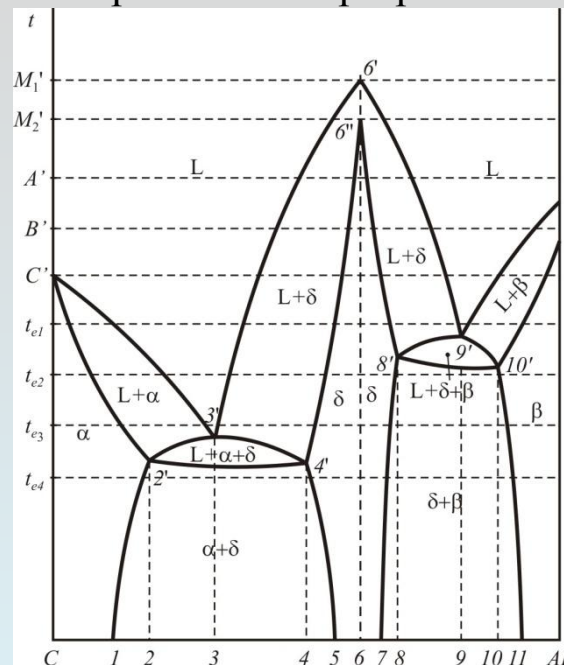
при условиях:  $M_1' > M_2' > A' > B' > C' > t_{e1} > t_{e2} > t_{e3} > t_{e4}$



Изотермический разрез  $t(t_{e3} > t > t_{e4})$

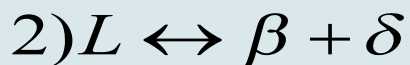
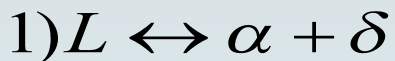


Вертикальный разрез I-C



Фазы :  $L, \alpha, \beta, \delta$

Моновариантные реакции в тройной системе:



11

**Построение тройной системы с любым количеством конгруэнтно- и  
инконгруэнтно плавящихся промежуточных фаз по заданным граничным условиям.**  
*Методические указания*

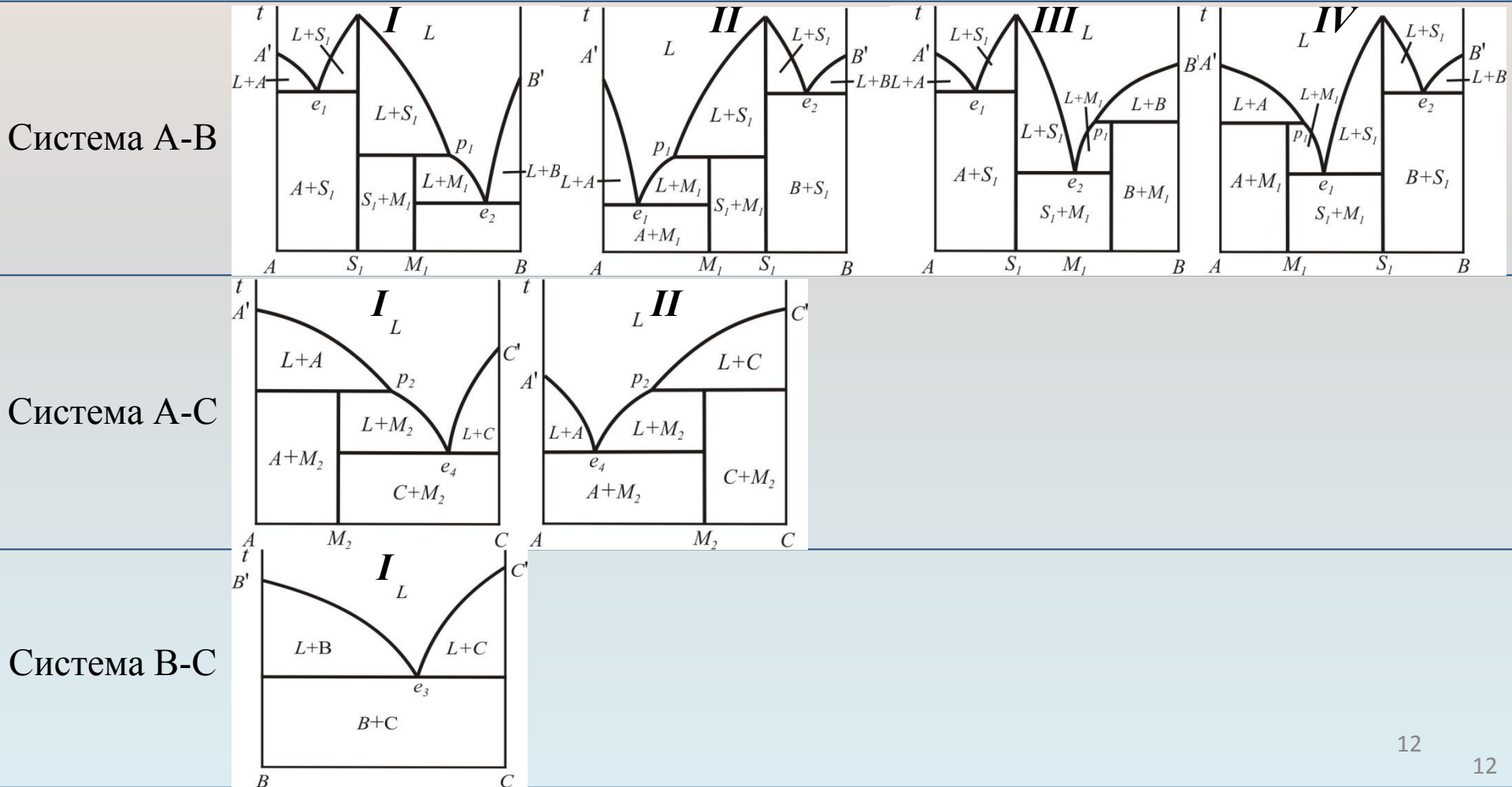
---

1. Провести физико-химический анализ всех имеющихся в граничных двойных системах А-В, В-С и А-С фаз.
2. Построить все возможные варианты двойных диаграмм состояния и выбрать для дальнейшей работы по одному варианту диаграмм А-В, В-С и А-С (*по согласованию*).
3. Нанести на концентрационный треугольник составы всех фаз системы и точки невариантных эвтектических и перитектических равновесий в граничных двойных системах.
4. Определить возможность и провести триангуляцию изучаемой тройной системы (*если триангуляция предусмотрена в плане работы*).
5. Используя принципы непрерывности и соответствия, на проекции тройной диаграммы из невариантных эвтектических и перитектических точек ( $E$ ,  $P$ ) провести моновариантные линии до их пересечения между собой или другими линиями на проекции.
6. Подсчитать количество полученных от пересечения трёх моновариантных линий невариантных точек и, используя законы термодинамики, определить, какие равновесия они определяют. Эвтектическим точкам присвоить обозначения “ $E$ ”, а перитектическим - “ $P$ ” с соответствующими подстрочными цифровыми индексами.
7. Записать все реакции четырёхфазных равновесий в данной системе и составить структурную схему фазовых равновесий.
8. Выбрать температуры всех невариантных равновесий в данной тройной системе и составить соответствующую таблицу.
9. На проекции ликвидуса системы А-В-С привести положение невариантных точек четырёхфазных равновесий и изгибов моновариантных линий в соответствии с законами термодинамики.
10. Приступить к выполнению последующих заданий аналитической работы с использованием диаграммы состояния (*нанесение изотерм на поверхность ликвидуса, анализ фазовых превращений в сплавах, построение разрезов и т.д.*).

## Исходные данные:

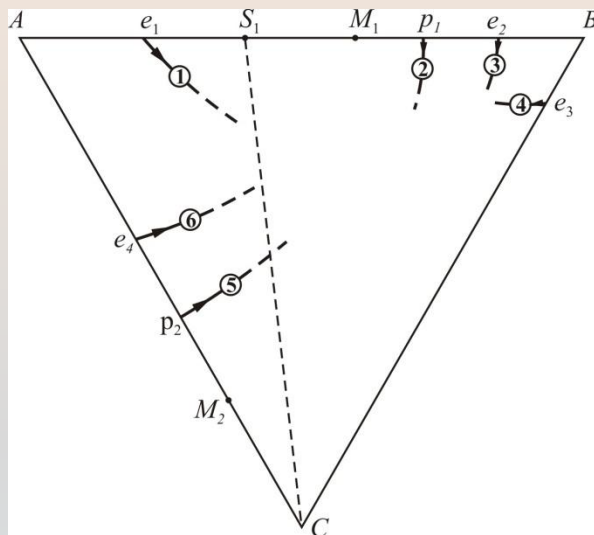
В двойных системах имеются три промежуточные фазы:  $S_1$  (конгруэнтно плавящееся соединение) и два инконгруэнтно плавящихся соединения  $M_1$  и  $M_2$ . Система А-В имеет фазы  $S_1$  и  $M_1$  в системе А-С одна промежуточная фаза –  $M_2$ . Система В-С промежуточных фаз не имеет.

## Возможные варианты двойных систем(без учёта растворимости в твёрдом состоянии):

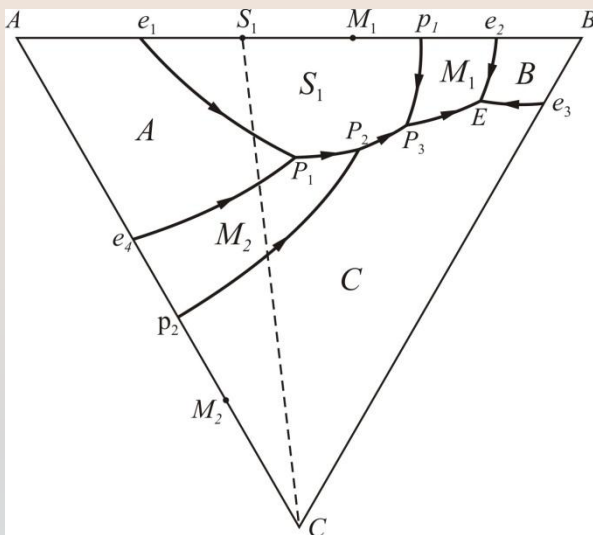


# Этапы построения тройной диаграммы состояния А-В-С с промежуточными фазами $S_1$ , $M_1$ и $M_2$

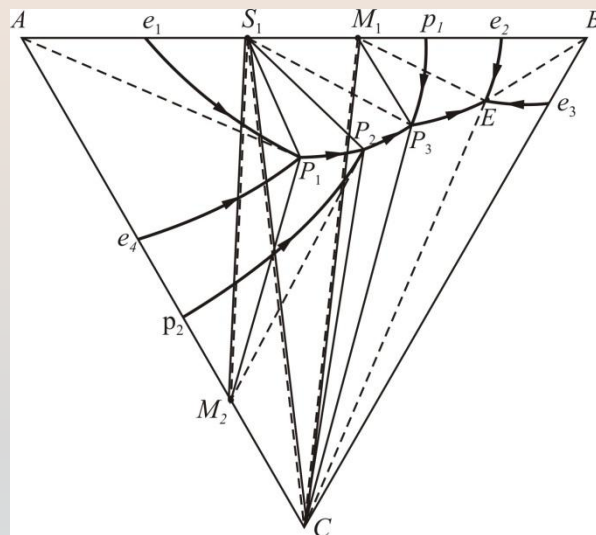
I. Количество эвтектических и перитектических линий, которые начинаются в двойных системах



II. Проекция поверхности ликвидуса системы А-В-С



III. Проекция диаграммы состояния системы А-В-С



IV. Четырёхфазные неинвариантные реакции

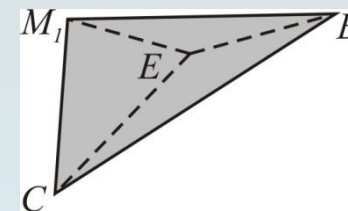
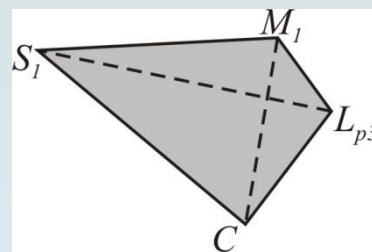
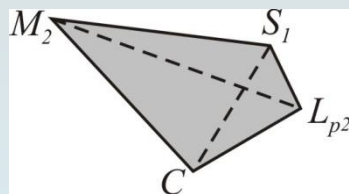
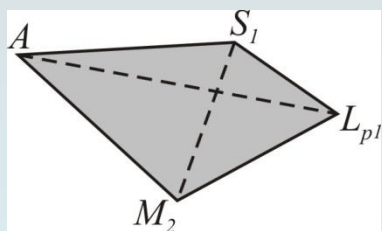
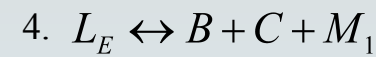
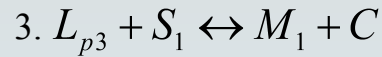
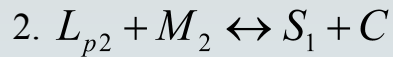
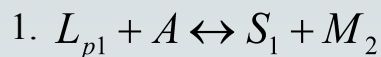


Таблица 1. Составы промежуточных фаз, инвариантных точек и температуры инвариантных равновесий в системе А-В-С (Для системы без квазибинарного разреза)

№ п/п	Обозначение	Температура, °С	Содержание компонентов, %		
			А	В	С
1	А	1100	100	-	-
2	В	800	-	100	-
3	С	1000	-	-	100
4	S <sub>1</sub>	1300	+	+	-
5	M <sub>1</sub>	900	+	+	-
6	M <sub>2</sub>	750	+	-	+
7	e <sub>1</sub>	800	+	+	-
8	e <sub>2</sub>	500	+	+	-
9	e <sub>3</sub>	700	-	+	+
10	e <sub>4</sub>	650	+	-	+
11	e <sub>5</sub> *	550	+	+	+
12	p <sub>1</sub>	800	+	+	-
13	p <sub>2</sub>	750	+	-	+
14	P <sub>1</sub>	550	+	+	+
15	P <sub>2</sub>	450	+	+	+
16	P <sub>3</sub>	300	+	+	+
17	E	200	+	+	+

\*e<sub>5</sub> – только для системы с квазибинарным разрезом С-S<sub>1</sub>

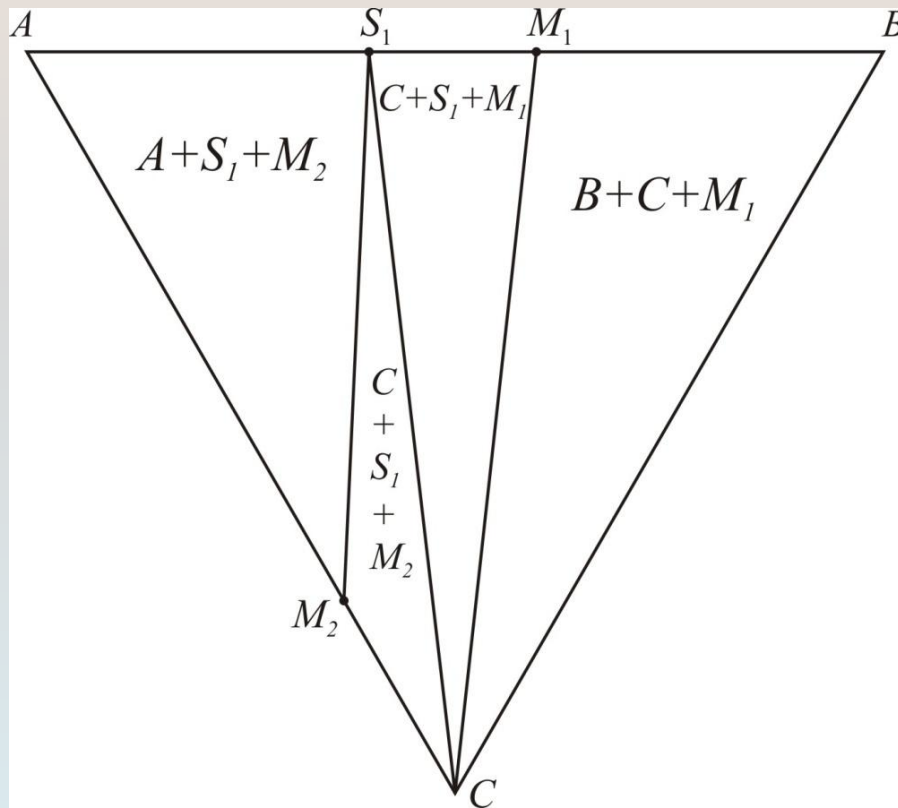
+ - фаза или инвариантная точка содержат эти компоненты

Таблица 2. Структурная схема фазовых равновесий в системе А-В-С с промежуточными фазами  $S_1$ ,  $M_1$  и  $M_2$

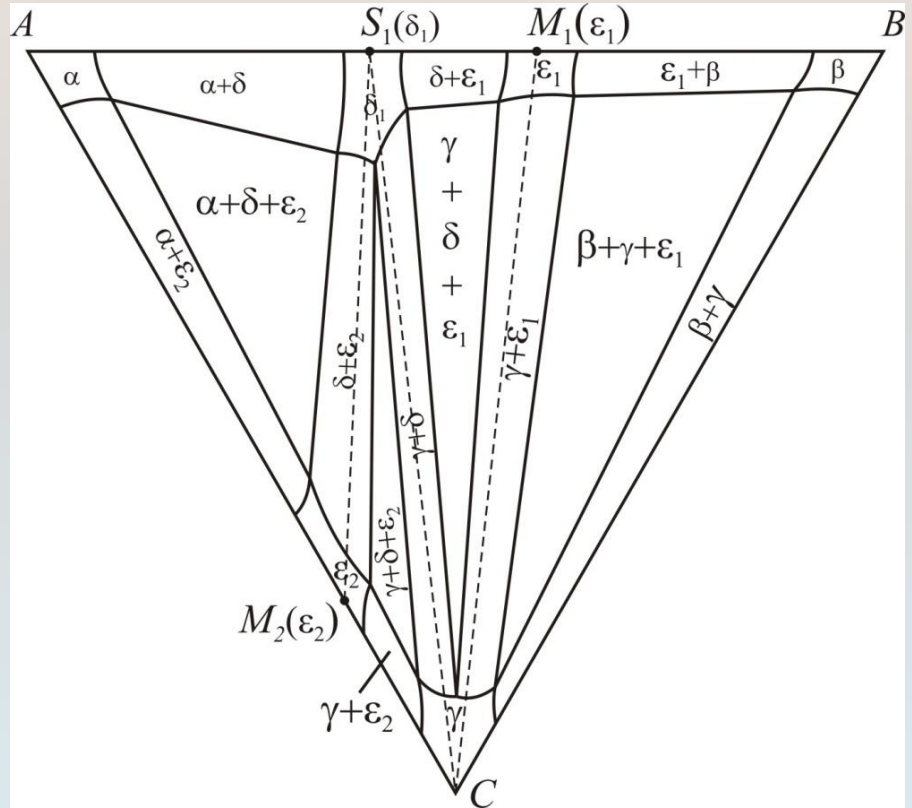
A-B	A-B-C	A-C	B-C
$L_{e_1} \xleftrightarrow{800^\circ} A + S_1$	$L_{P_1} + A \xleftrightarrow{550^\circ} S_1 + M_2$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>L \leftrightarrow S_1 + M_2</math></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>A + S_1 + M_2</math></div> </div>	$L_{e_4} \xleftrightarrow{650^\circ} A + M_2$	
	$L_{P_2} + M_2 \xleftrightarrow{450^\circ} C + S_1$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>L \leftrightarrow C + S_1</math></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>C + S_1 + M_2</math></div> </div>	$L_{P_2} + C \xleftrightarrow{750^\circ} M_2$	
$L_{P_1} + S_1 \xleftrightarrow{550^\circ} M_1$	$L_{P_2} + S_1 \xleftrightarrow{450^\circ} C + M_1$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>L \leftrightarrow C + M_1</math></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>C + S_1 + M_1</math></div> </div>		
$L_{e_2} \xleftrightarrow{500^\circ} B + M_1$	$L_{E_2} \xleftrightarrow{150^\circ} B + C + M_1$ <div style="display: flex; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>B + C + M_1</math></div> </div>		$L_{e_3} \xleftrightarrow{700^\circ} B + C$

# Изотермические разрезы диаграммы состояния A-B-C с промежуточными фазами $S_1$ , $M_1$ и $M_2$ при $t_{\text{комн}}$

I. Без учёта растворимости компонентов в твёрдом состоянии



II. На основе компонентов и соединений  $S_1$ ,  $M_1$  и  $M_2$  образуются твёрдые растворы





# 17 Диаграмма состояния А-В-С с промежуточными фазами $S_p$ , $M_1$ и $M_2$ и квазибинарным разрезом $C-S_1$

Количество эвтектических и перитектических линий, которые начинаются в двойных системах на разрезе  $C-S_1$

Проекция поверхности ликвидуса системы А-В-С

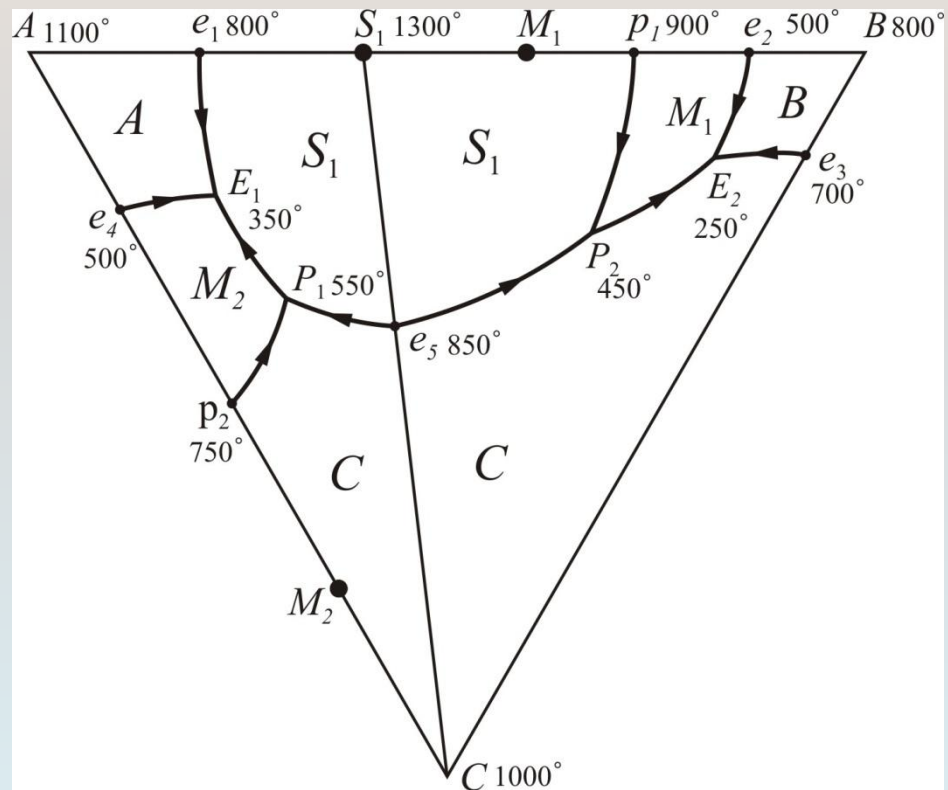
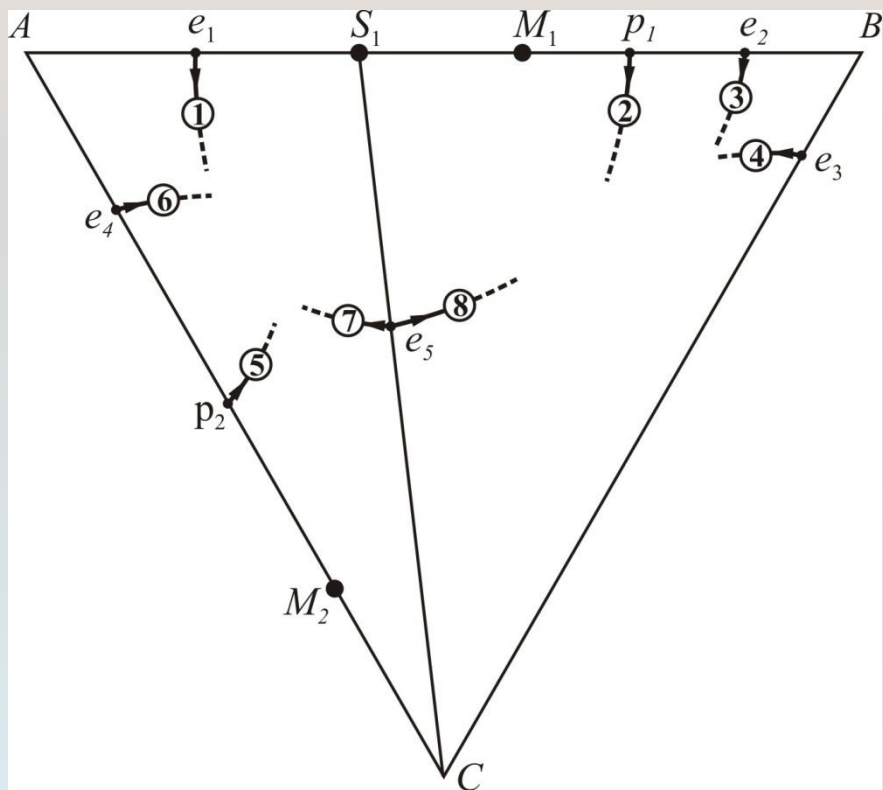
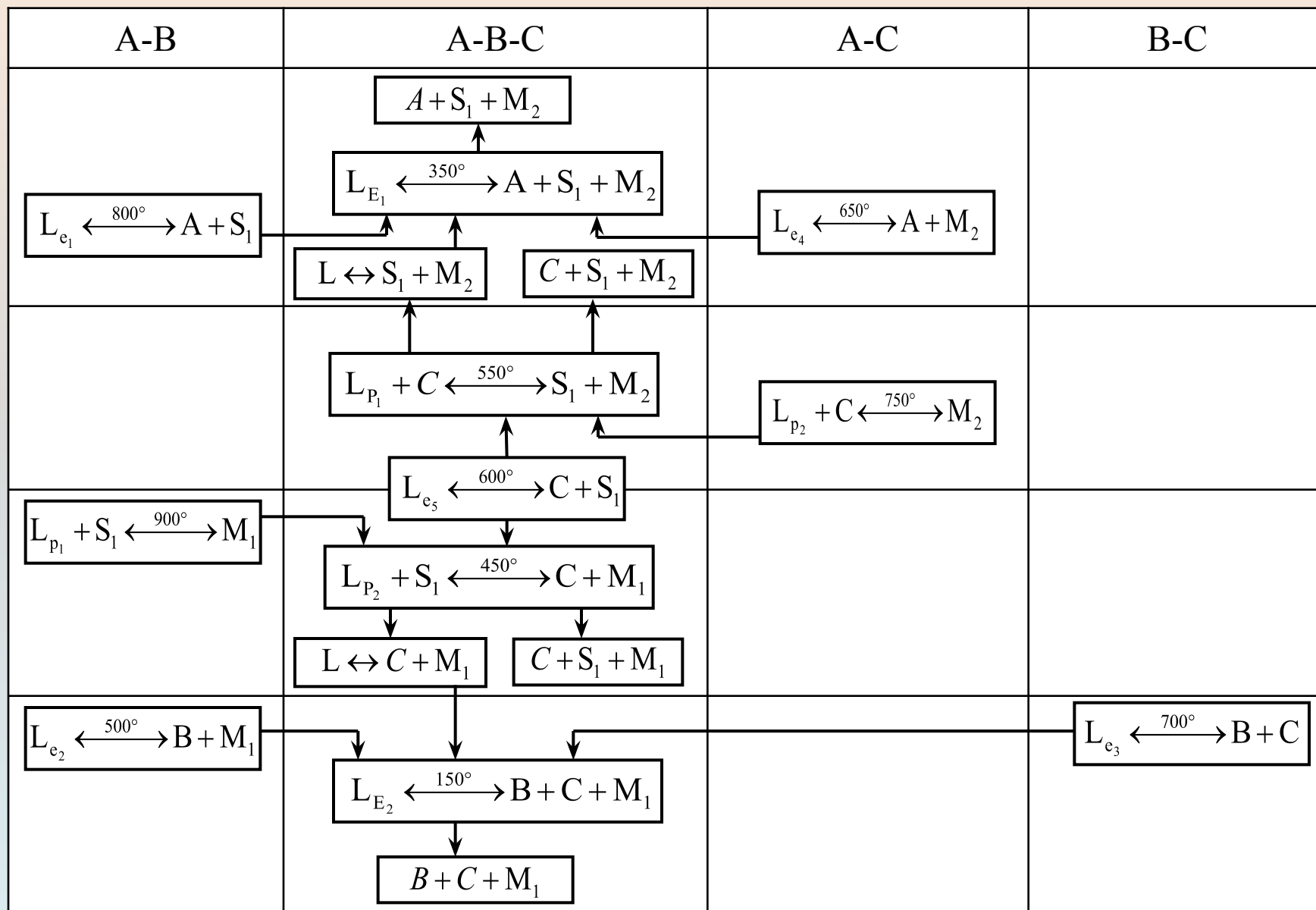
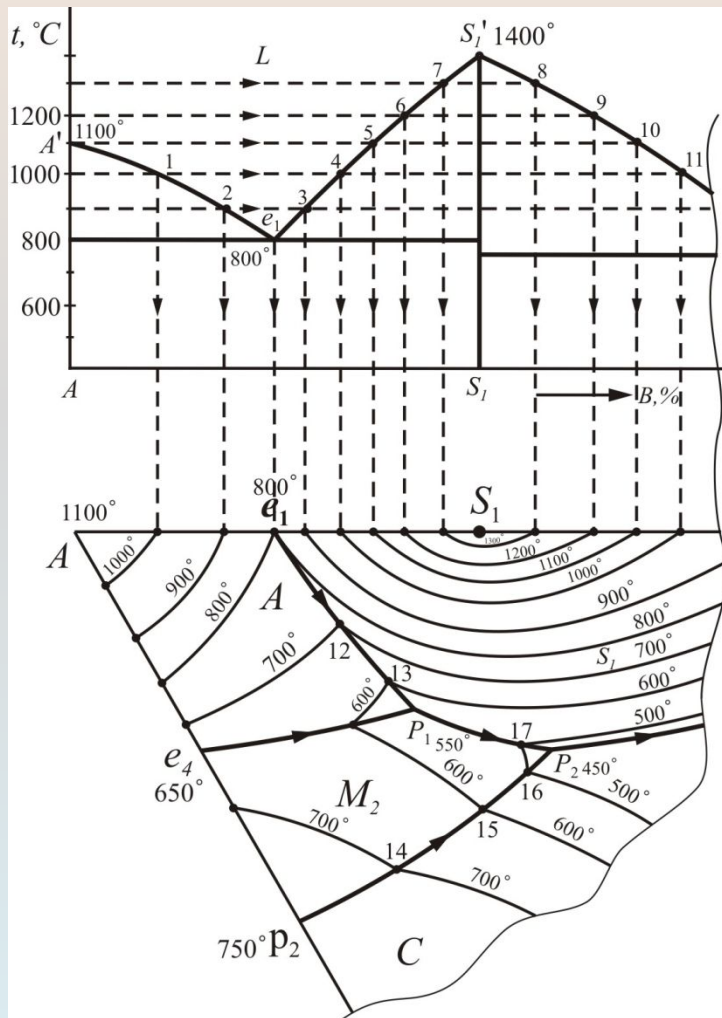


Таблица 3. Структурная схема фазовых равновесий в системе А-В-С с промежуточными фазами  $S_1$ ,  $M_1$  и  $M_2$  и с квазибинарным разрезом  $C-S_1$

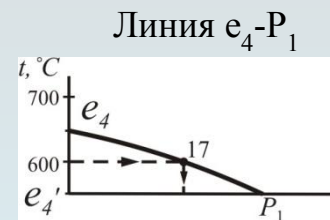
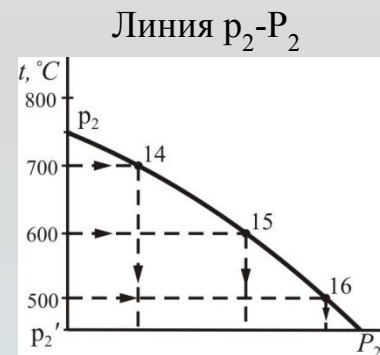
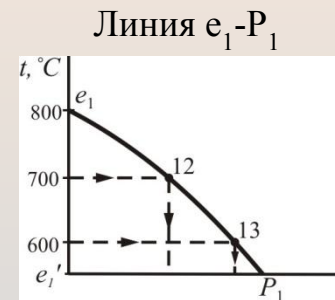


# Методика нанесения изотерм на проекцию ликвидуса тройной системы А-В-С

Фрагмент проекции ликвидуса  
тройной системы А-В-С

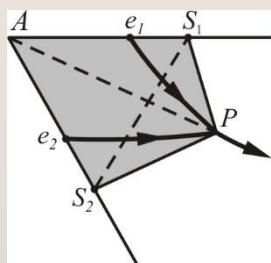


Проекция нонвариантных линий  
на вертикальную плоскость

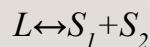
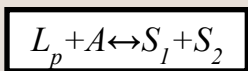


# Варианты сочетания трёхфазных равновесий с участием жидкой фазы с четырёхфазным перитектическим равновесием

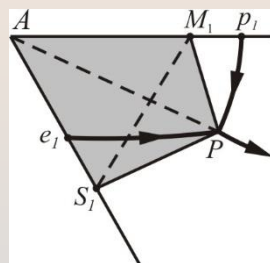
I. Все трёхфазные равновесия эвтектические



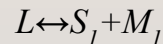
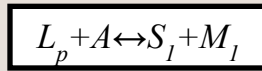
1)  $L \leftrightarrow A + S_1$ ; 2)  $L \leftrightarrow A + S_2$



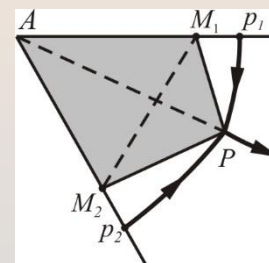
II. Проекция поверхности ликвидуса системы А-В-С



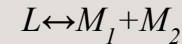
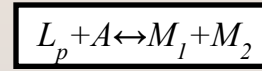
1)  $L + A \leftrightarrow M_1$ ; 2)  $L + A \leftrightarrow S_1$



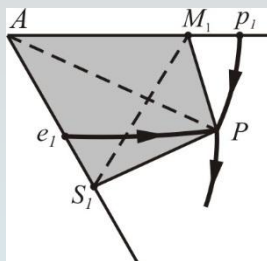
III. Проекция диаграммы состояния системы А-В-С



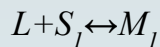
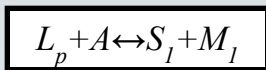
1)  $L + A \leftrightarrow M_1$ ; 2)  $L + A \leftrightarrow M_2$



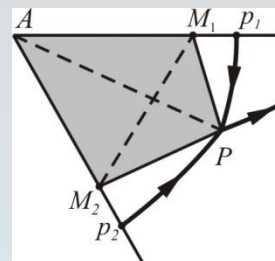
IV. Одно трёхфазное равновесие, которое предшествует четырёхфазному – эвтектическое, остальные трёхфазные равновесия - перитектические



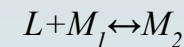
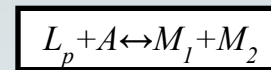
1)  $L + A \leftrightarrow M_1$ ; 2)  $L \leftrightarrow A + S_1$



V. Все трёхфазные равновесия перитектические

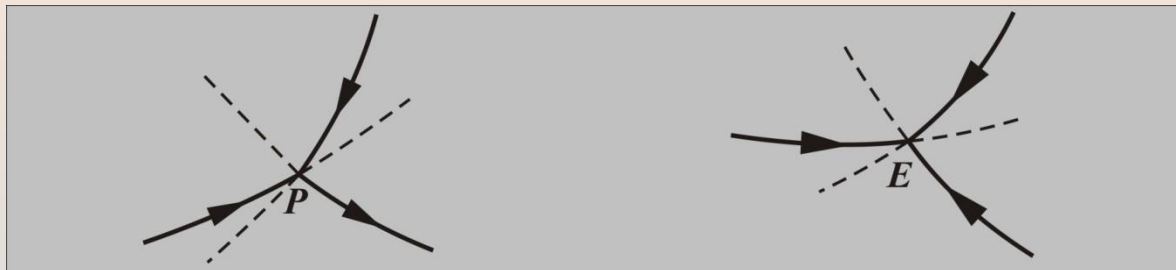


1)  $L + A \leftrightarrow M_1$ ; 2)  $L + A \leftrightarrow M_2$

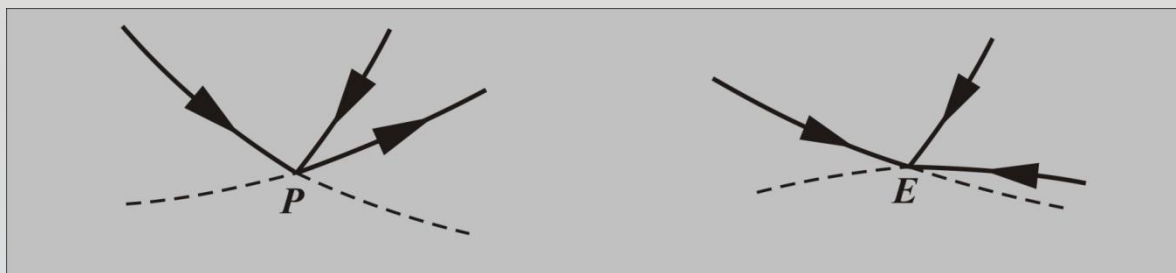


# Расположение моновариантных линий относительно инвариантных точек $P$ и $E$ на проекции диаграммы состояния

Правильно:



Неправильно:



**Правило:**

Моновариантные линии, которые подходят к точкам  $P$  и  $E$  или выходят из них, должны быть направлены так, чтобы их метастабильные продолжения (пунктирные линии) находились между двумя другими моновариантными линиями