



Исследование скважин и пластов

**Кафедра: «Разработка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений»**

Гидродинамические методы исследования

Основаны на изучении параметров притока жидкости или газа к скважине при установившихся или при неуставившихся режимах ее работы.

К таким параметрам относятся дебит и давление и их изменение. При гидродинамических методах исследования охватывается вся зона дренирования, результаты, получаемые при обработке данных, становятся характерными для радиусов, в сотни раз превышающих радиусы охвата при геофизических методах.

Гидродинамические исследования выполняются техническими средствами и персоналом нефтедобывающих предприятий.

Методы разделяются на:

- исследования при **установившихся** режимах работы скважины
- исследования при **неустановившихся** режимах работы скважины

4. Исследования на установившихся режимах

Установившимся считается режим, при котором в течение длительного времени изменение дебита и забойного давления в скважине пренебрежительно мало.

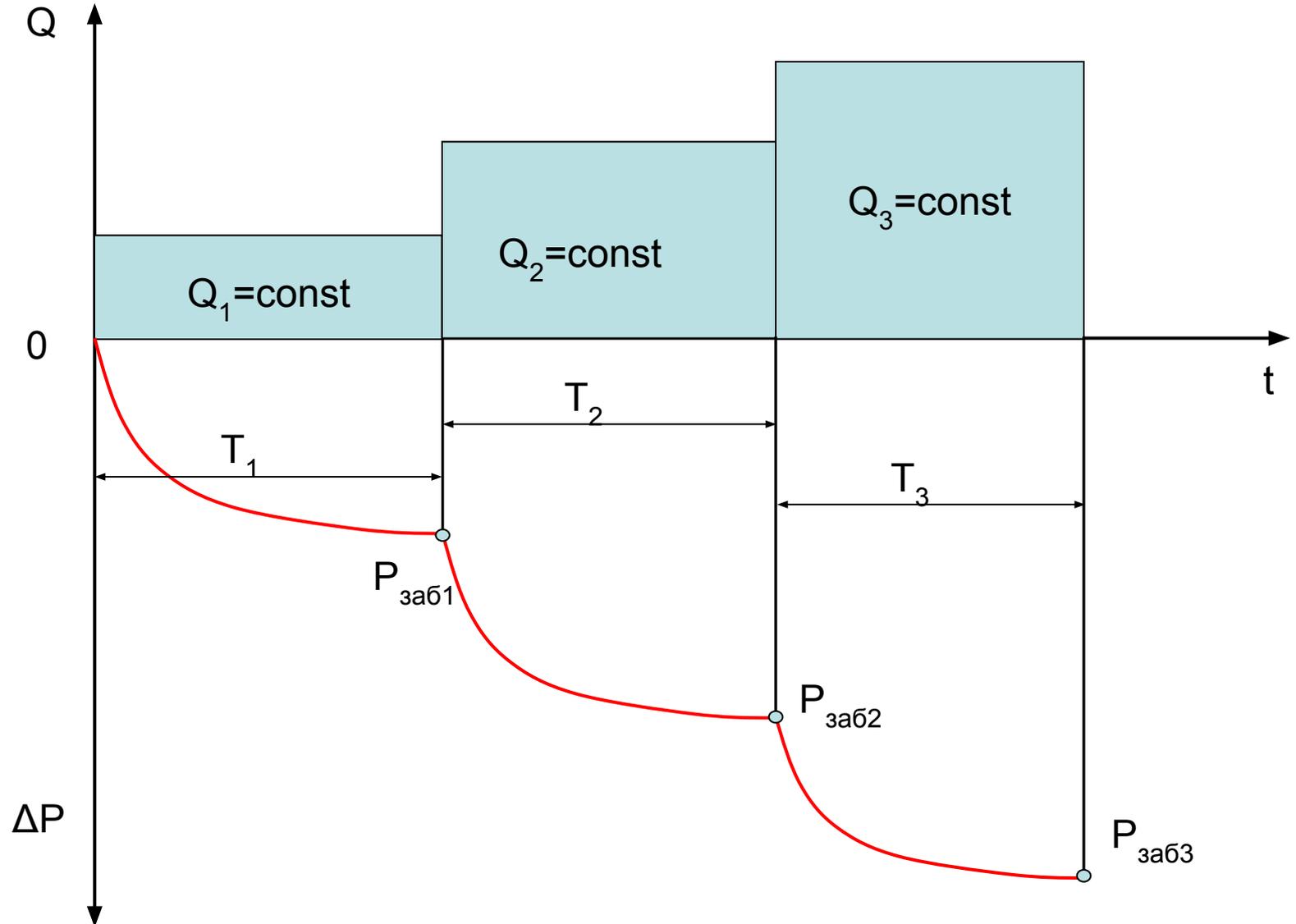
Основная задача исследований на установившемся режиме является выявление взаимосвязи между дебитом и забойным давлением. Данная взаимосвязь графически отображается в виде индикаторных линий.

Применяется **3 основных схемы** исследования на установившемся режиме:

- «Прямой ход»
- «Обратный ход»
- Изохронный метод

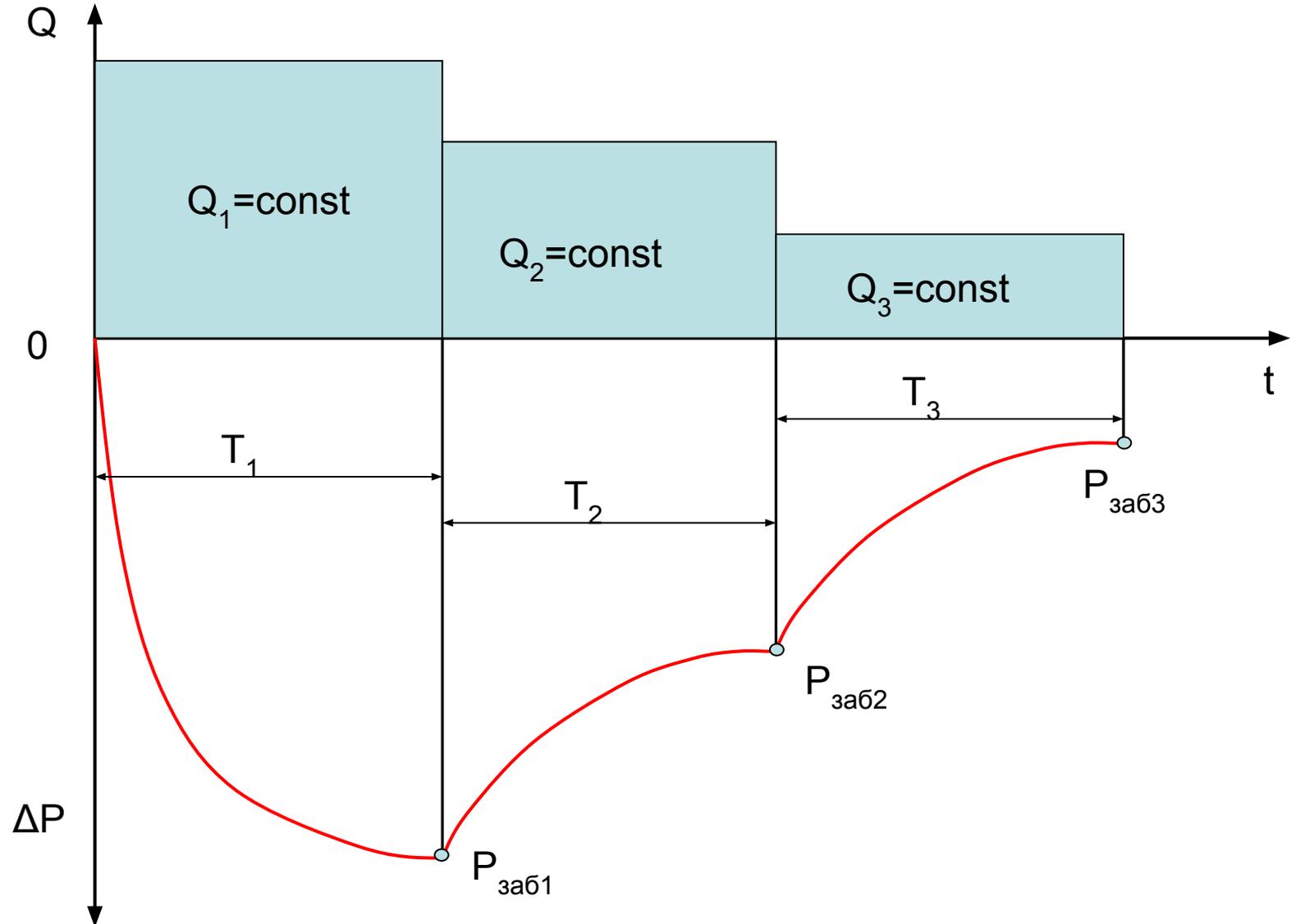
«Прямой ход»

При методе «прямого хода» скважина работает без остановок между режимами в сторону увеличения дебита



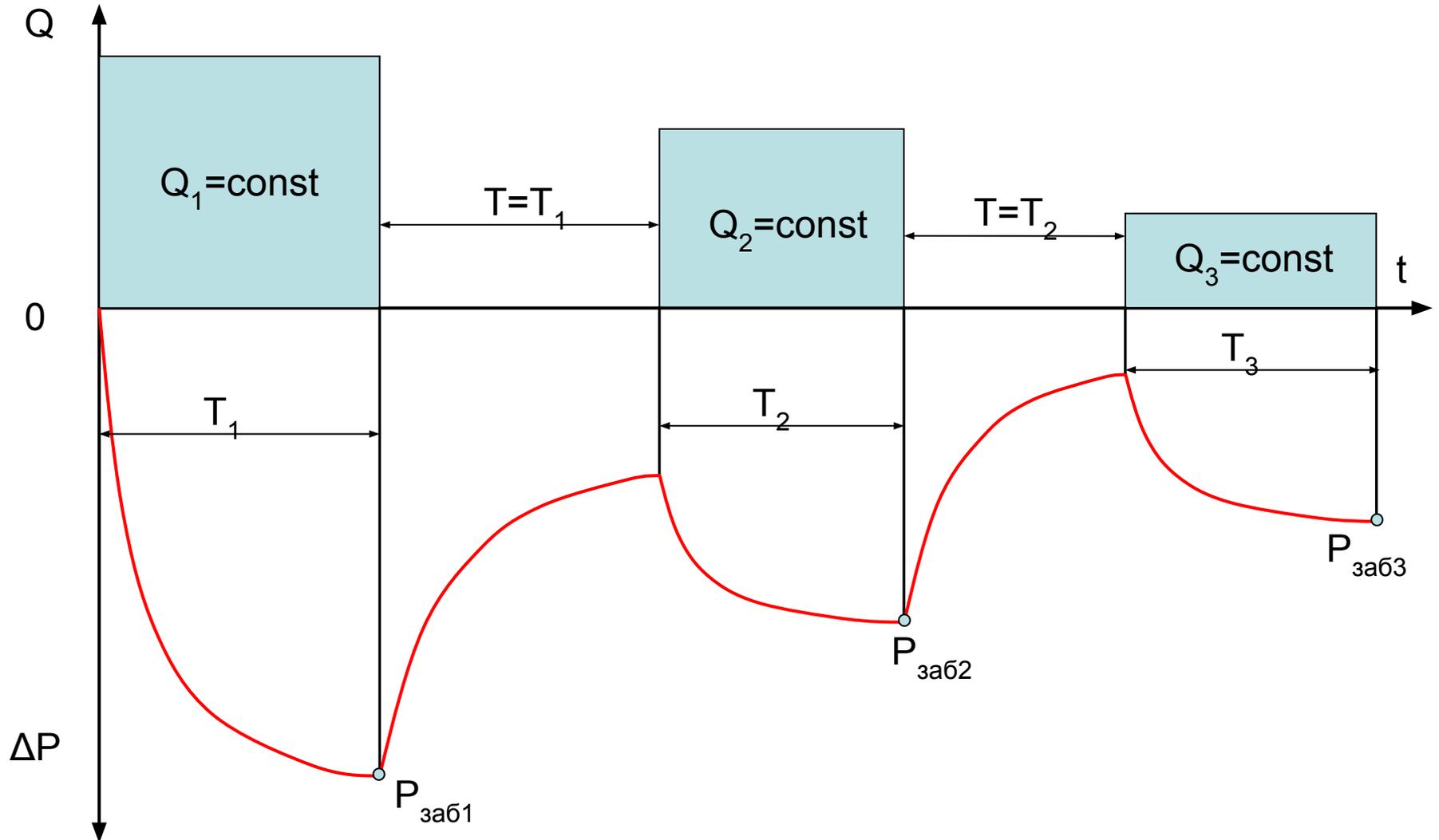
«Обратный ход»

При методе «обратного хода» скважина работает без остановок между режимами в сторону уменьшения дебита

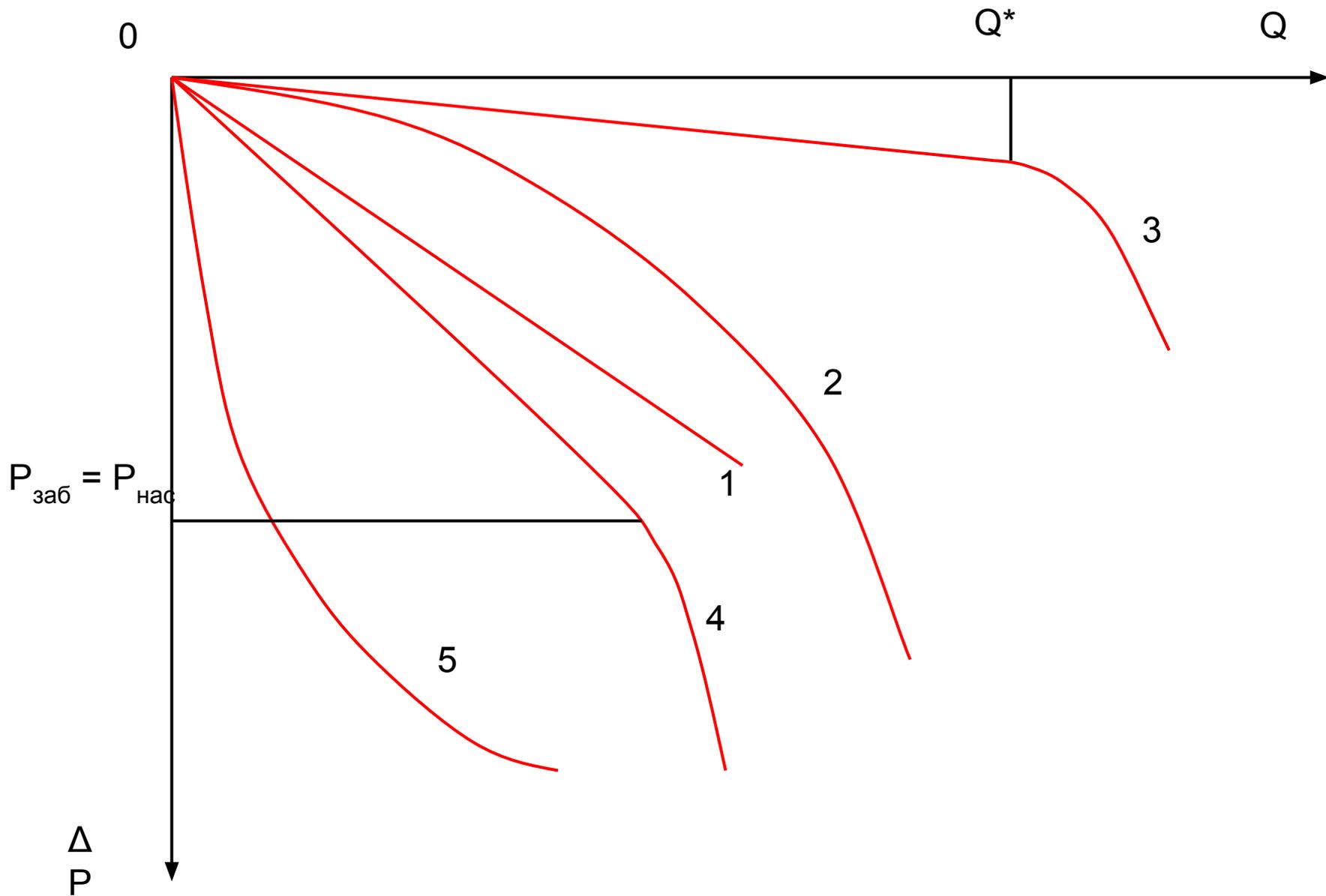


Изохронный метод

При **изохронном** методе скважина работает с остановками между режимами в сторону уменьшения дебита или увеличения дебита. Время остановки равно времени работы на предыдущем режиме.



Виды индикаторных линий



Виды индикаторных линий

На слайде представлены виды индикаторных линий, характеризующие следующие явления при движении жидкости в пласте:

1 – фильтрация подчиняется линейному закону Дарси;

2 – нарушение линейного закона Дарси в следствие инерционных сил и/или деформации коллектора;

3 – составной закон фильтрации. До критического дебита Q^* выполняется линейный закон Дарси, а при дальнейшем увеличении дебита – нарушается. Влияние могут оказывать как инерционные силы, так и деформация коллектора;

4 – характерна для скважин работающих с $R_{заб} < R_{нас}$. До $R_{нас}$ выполняется линейный закон Дарси, а при дальнейшем снижении забойного давления – нарушается;

5 – характерна для слоисто-неоднородных коллекторов, представленных переслаиванием высоко- и низкопроницаемых пропластков. При запуске скважины сначала работают только высокопроницаемые пропластки, а с увеличением депрессии в работу подключаются низкопроницаемые.

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-забойное давление»

Данный метод применяется для обработки индикаторных при выполнении **линейного закона фильтрации Дарси**. Закон фильтрации запишется в виде:

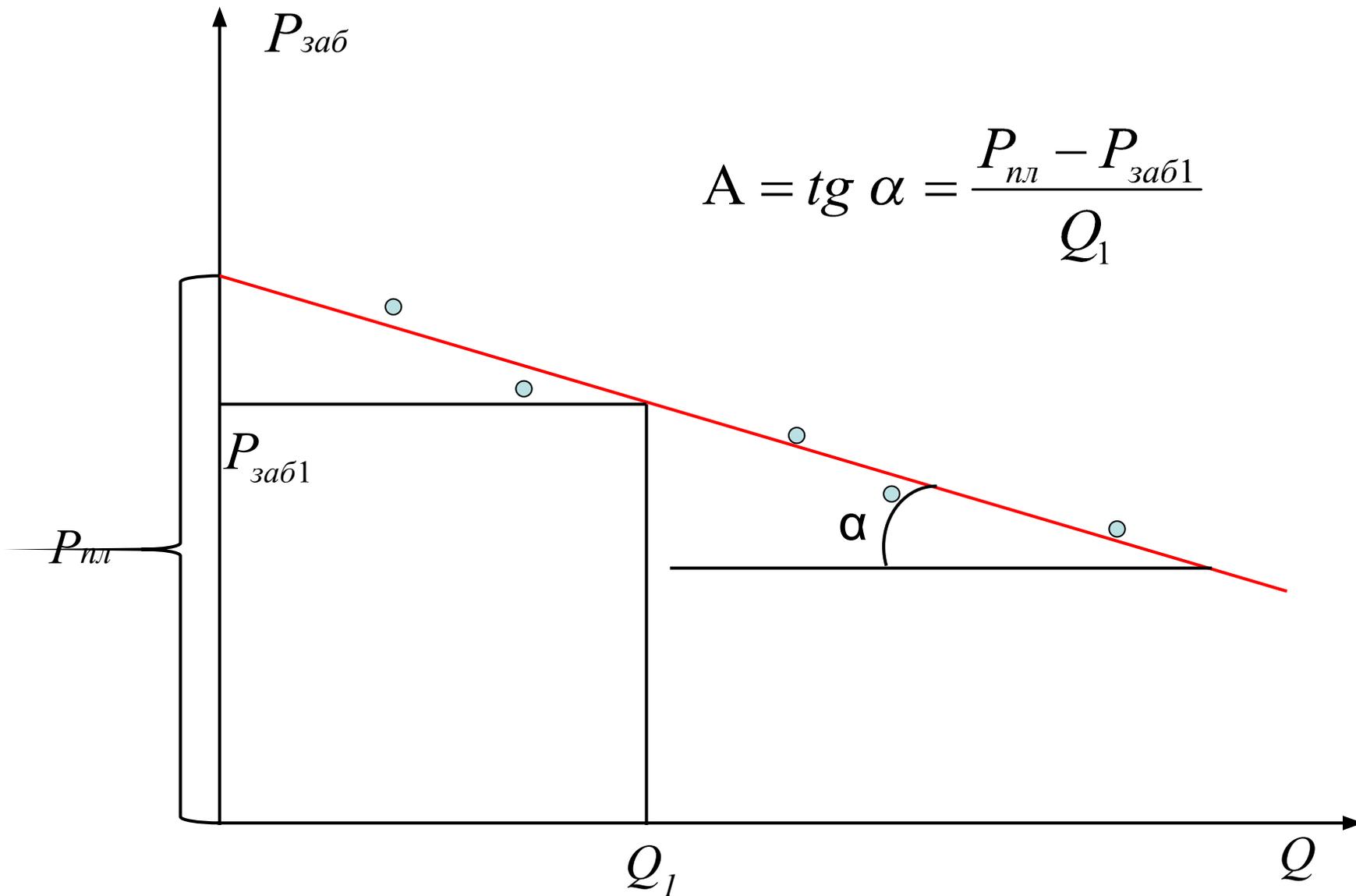
$$P_{зab_i} = P_{пл} - A \cdot Q_i \quad (4.1)$$

A – потери давления на вязкостное трение. В случае линейного закона коэффициент **A** обратно пропорционален коэффициенту продуктивности.

Как видим, формула представляет собой уравнение прямой. Коэффициент **A** и **P_{пл}** можно определить графически **в координатах Q – P_{зab}**.

P_{пл} определяется как отрезок отсекаемый прямой на оси давлений, коэффициент **A** как тангенс угла наклона прямой.

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-забойное давление»



Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-зависимое давление»

Зная значение коэффициента A , можно определить величину коэффициента продуктивности, как обратную величину.

Кроме графического метода можно определить значения коэффициента продуктивности и $P_{пл}$ с помощью формул, полученных из уравнения фильтрации методом наименьших квадратов:

$$\eta = \frac{1}{A} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Q_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{заб_i} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i - n \cdot \sum_{i=1}^n P_{заб_i} \cdot Q_i} \quad (4.2)$$

$$P_{пл} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{заб_i} + \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

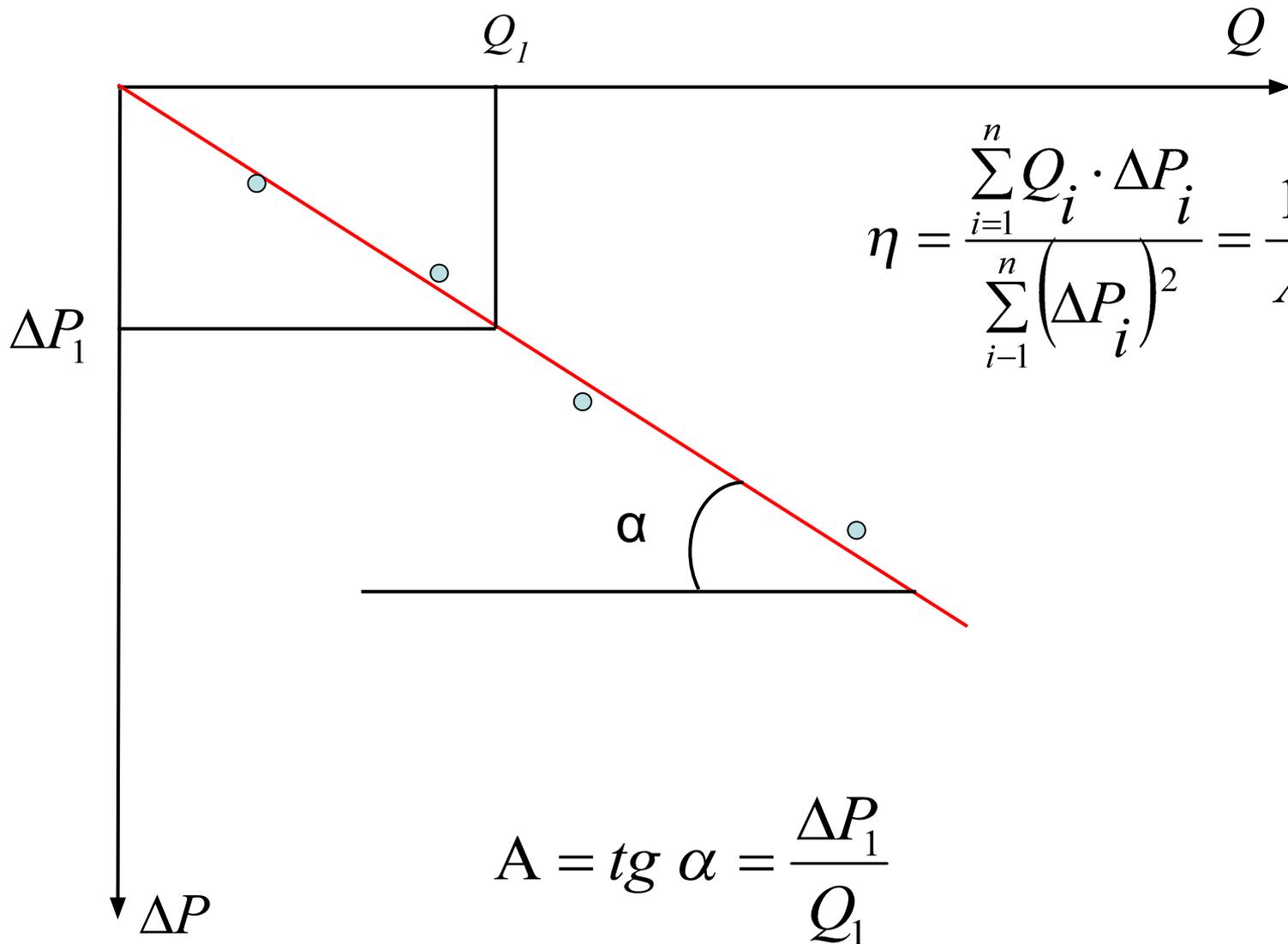
Данный метод может применяться как для обработки индикаторных при выполнении **линейного закона** фильтрации Дарси, так и при **нарушении линейного закона вследствие инерциальных сил и/или деформации коллектора.**

При линейном притоке жидкости закон фильтрации запишется в виде:

$$\Delta P_i = A \cdot Q_i \quad (4.3)$$

Как и в предыдущем случае – это уравнение прямой. В этом уравнении отсутствует свободный коэффициент, поэтому она выходит из начала координат (см. рис.). Коэффициент A можно определить графически, как тангенс угла наклона прямой, и рассчитать значение коэффициента продуктивности. Или можно воспользоваться формулой, полученной методом наименьших квадратов.

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия» Линейный закон фильтрации



$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Delta P_i}{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i)^2} = \frac{1}{A} \quad (4.4)$$

$$A = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta P_1}{Q_1}$$

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

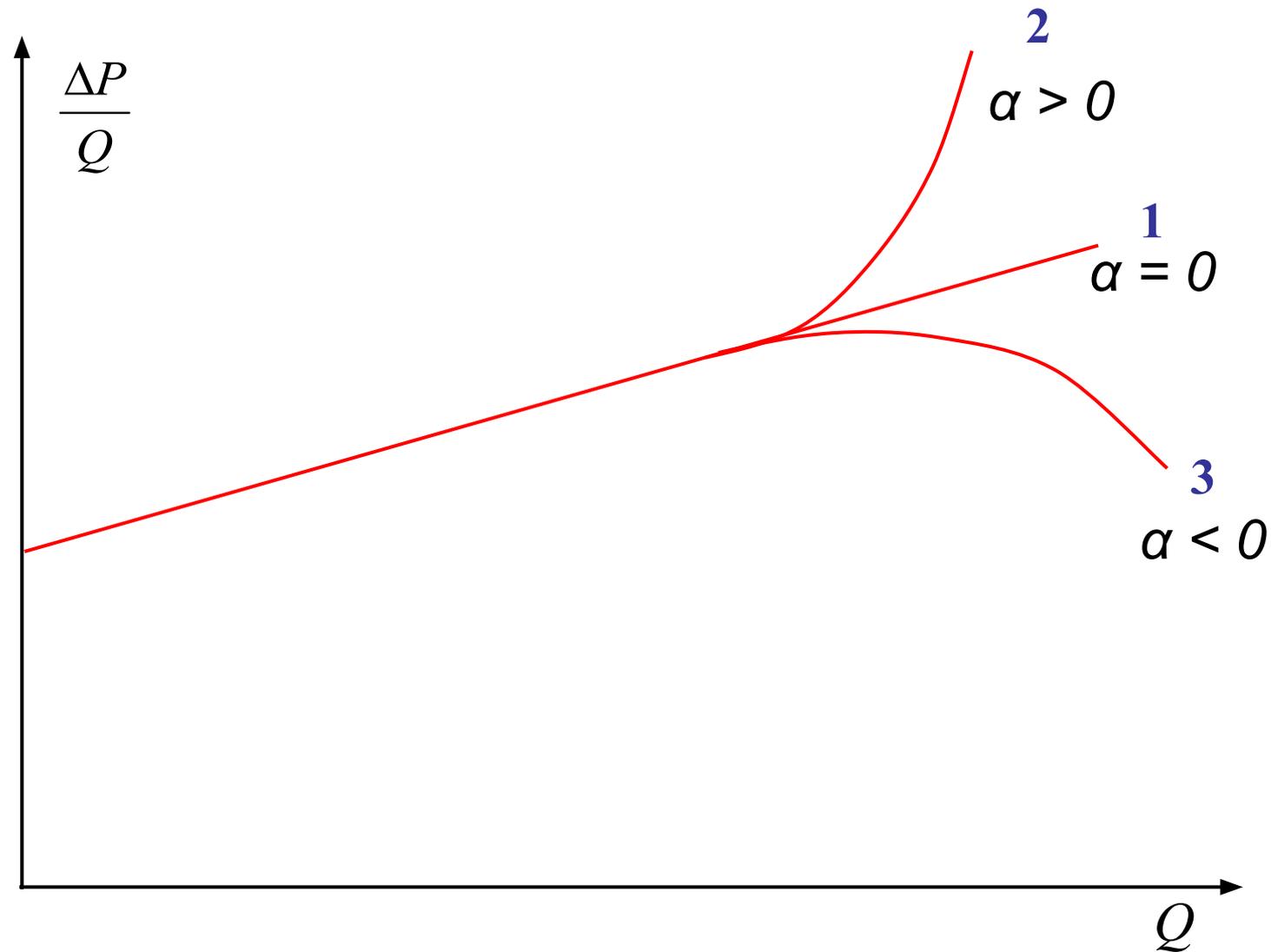
Анализ причин нарушения линейного закона

При нарушении линейного закона фильтрации, если индикаторная линия имеет вид параболы, необходимо провести анализ в следствие чего произошло нарушение. Для этого необходимо перестроить индикаторную линию в координатах $\Delta P/Q$ от Q . Полученная диаграмма может иметь один из трех видов:

- 1 – прямая: Нарушение линейного закона произошло вследствие инерционных сил (**квадратичный закон фильтрации**);
- 2 – начальный прямолинейный участок и искривление вверх: Нарушение линейного закона вследствие инерционных сил и смыкания трещин;
- 3 – начальный прямолинейный участок и искривление вниз: Нарушение линейного закона вследствие инерционных сил и раскрытия трещин.

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Анализ причин нарушения линейного закона



Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Квадратичный закон фильтрации

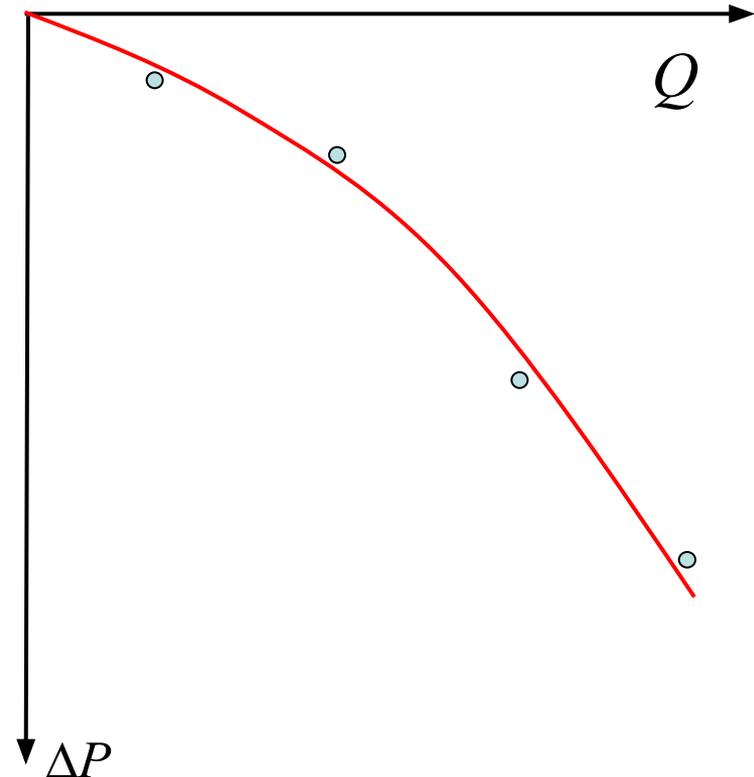
При квадратичном законе фильтрации влияние на нарушение закона Дарси оказывают инерционные силы. Уравнение фильтрации запишется в виде:

$$\Delta P_i = A \cdot Q_i + B \cdot Q_i^2 \quad (4.5)$$

коэффициент B характеризует интегральный эффект инерционных сил.

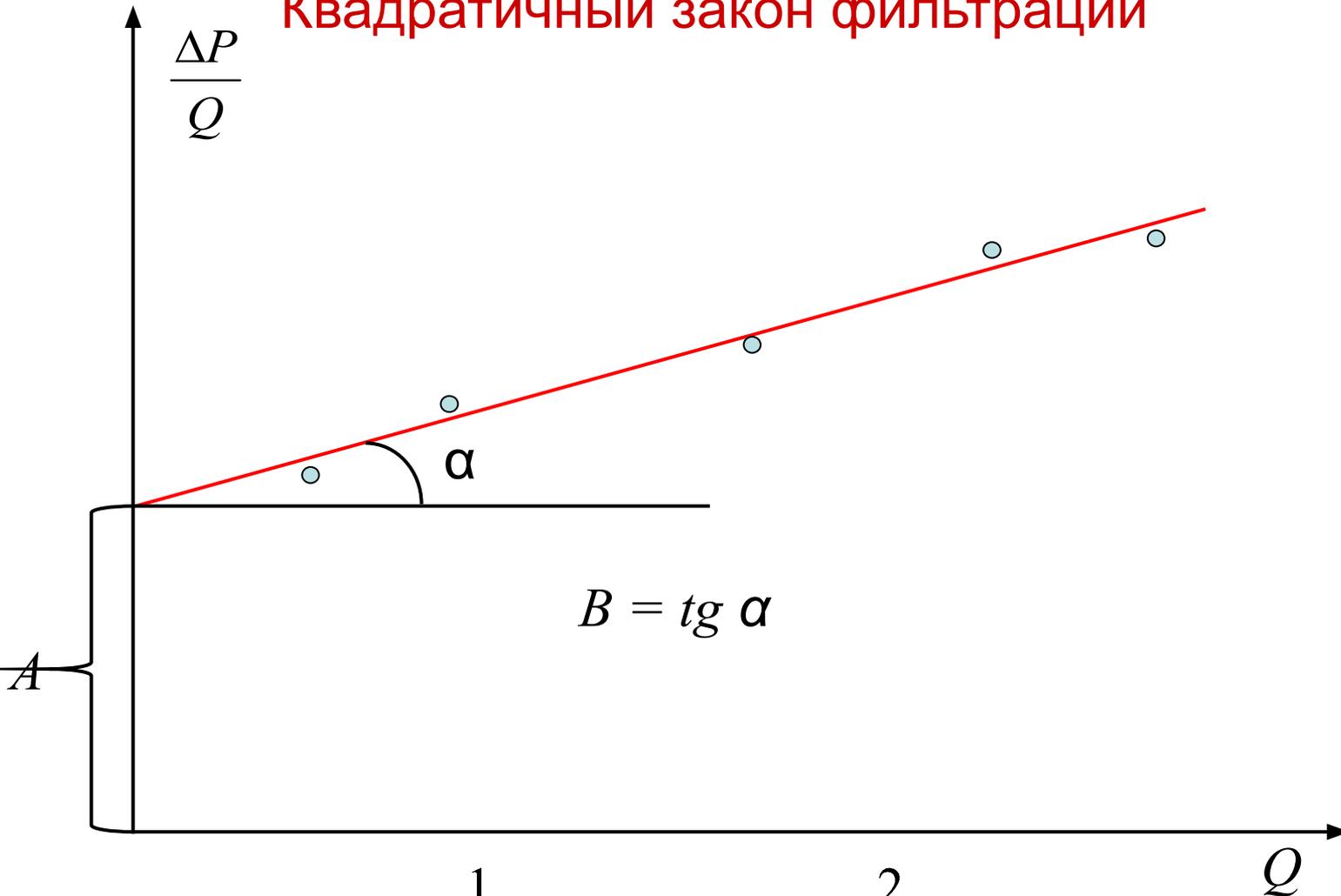
Для обработки уравнение фильтрации преобразуют к виду прямой, разделив правую и левую часть на Q_i :

$$\frac{\Delta P_i}{Q_i} = A + B \cdot Q_i \quad (4.6)$$



Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Квадратичный закон фильтрации



$$\eta_i = \frac{1}{A + B \cdot Q_i} = \frac{2}{A + \sqrt{A^2 + 4B \cdot \Delta P_{\text{заб}i}}} \quad (4.7)$$

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Деформация коллектора

Для учета влияния явлений деформации в пласте (смыкание и раскрытие трещин) закон фильтрации записывается в виде:

$$\Delta\phi_{ci} = A \cdot Q_i + B \cdot Q_i^2 \quad (4.8)$$

Так как процесс деформации связан с возникающими перепадами давления в пласте при эксплуатации скважин, он описывается через взаимосвязь депрессии на пласт и параметра деформации пласта α :

Для добывающих скважин

$$\Delta\phi_{ci} = \frac{1 - \exp(-\alpha \cdot \Delta P_i)}{\alpha} \quad (4.9)$$

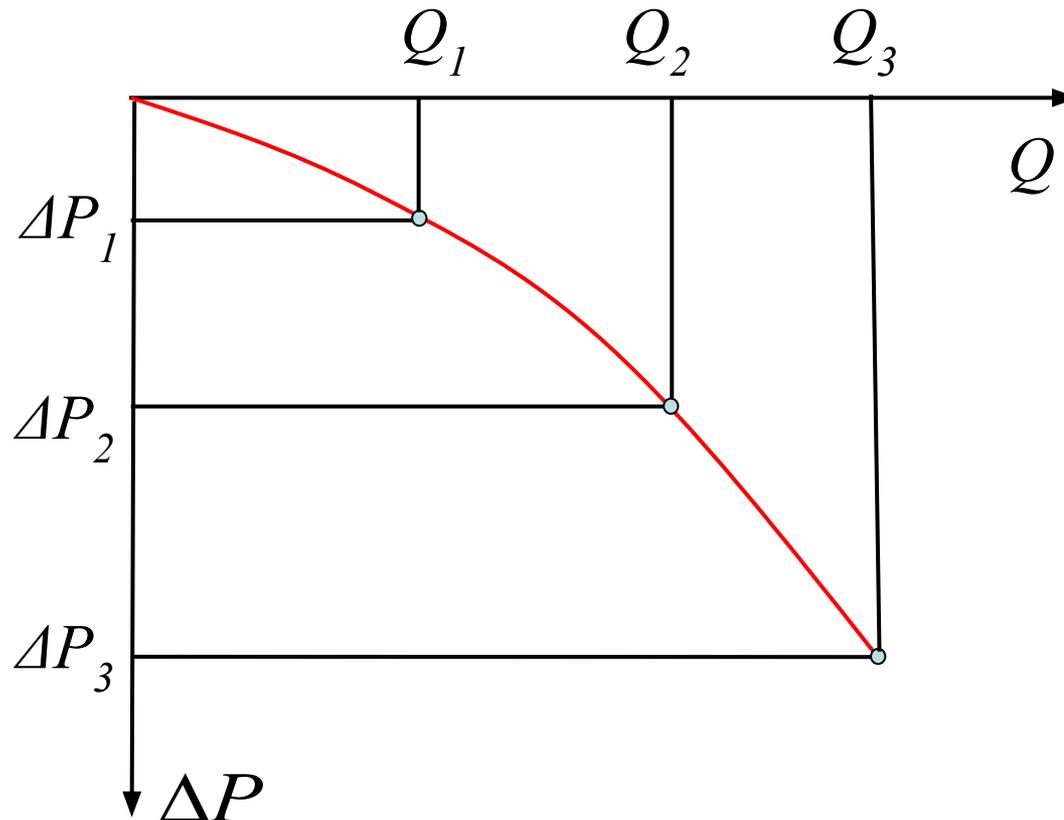
Для нагнетательных скважин

$$\Delta\phi_{ci} = \frac{\exp(-\alpha \cdot \Delta P_i) - 1}{\alpha} \quad (4.10)$$

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Деформация коллектора

Для обработки индикаторной линии сначала рассчитывается значение параметра деформации α . Для этого на исходной индикаторной линии выбирается 3 точки: одна в конце индикаторной линии, а две другие так, чтобы делили линию на три примерно равных участка:



Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Деформация коллектора

Значение параметра деформации α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{2(b \cdot \Delta P_2 - a \cdot \Delta P_1 - c \cdot \Delta P_3)}{b \cdot \Delta P_2^2 - a \cdot \Delta P_1^2 - c \cdot \Delta P_3^2} \quad (4.11)$$

где a , b , c математические коэффициенты аппроксимации:

$$a = Q_2 \cdot Q_3 \cdot (Q_3 - Q_2),$$

$$b = Q_1 \cdot Q_3 \cdot (Q_3 - Q_1),$$

$$c = Q_1 \cdot Q_2 \cdot (Q_2 - Q_1).$$

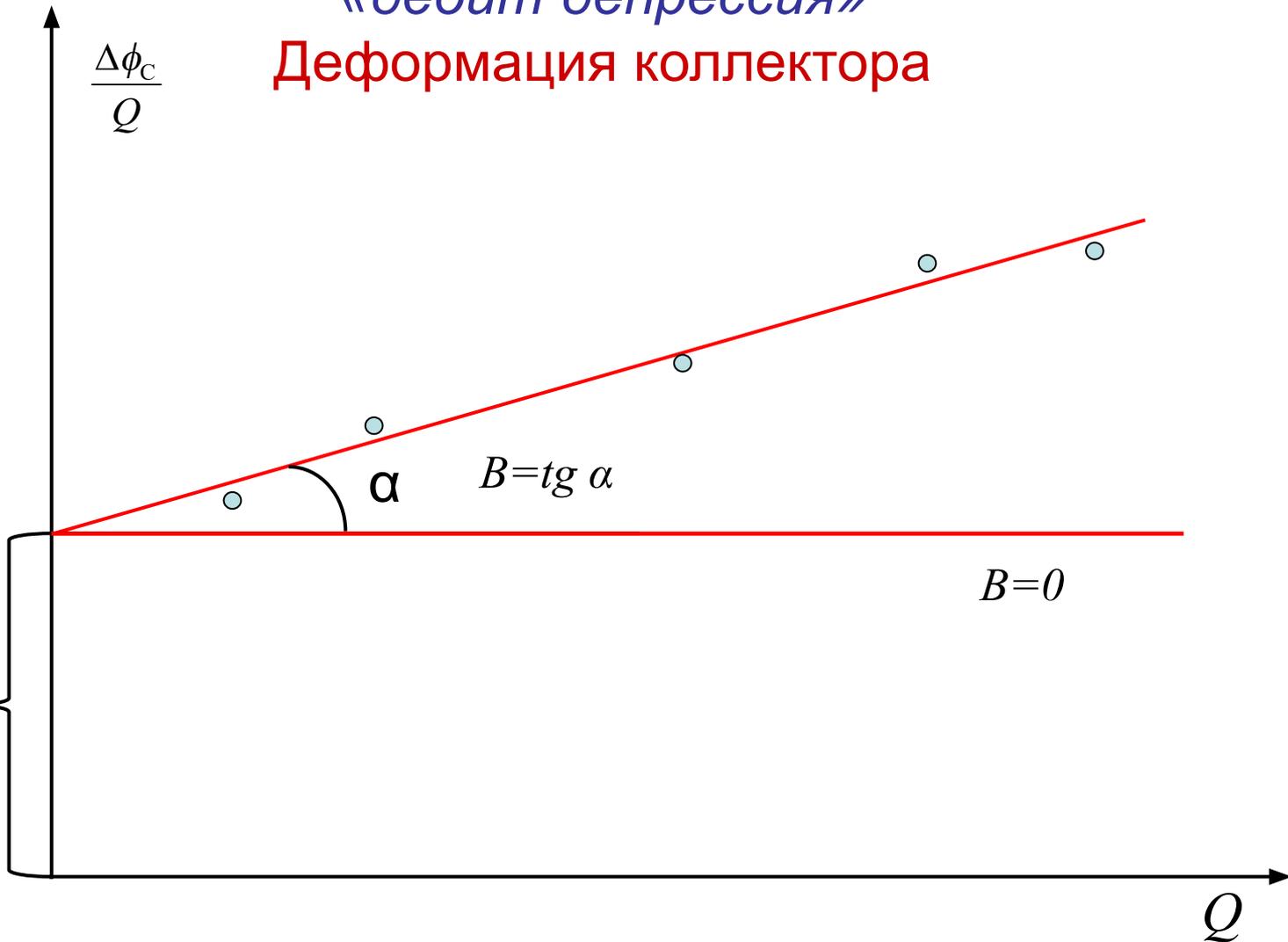
Затем рассчитывается $\Delta\varphi_{ci}$ и $\Delta\varphi_{ci}/Q_i$ для каждого режима. Обработка проводится графически согласно закону фильтрации, записанному в виде:

$$\frac{\Delta\varphi_{ci}}{Q_i} = A + B \cdot Q_i \quad (4.12)$$

Обработка индикаторных линий в координатах

«дебит-депрессия»

Деформация коллектора



Если полученная прямая параллельна оси дебитов, то $B=0$ и линейный закон фильтрации нарушается только вследствие деформации коллектора.

Обработка индикаторных линий в координатах «дебит-депрессия»

Деформация коллектора

В случае деформации коллектора коэффициент продуктивности η для каждого режима будет определяться по формуле:

$$\eta_i = \frac{\pm Q_i}{\ln[1 \pm \alpha(A \cdot Q_i + B \cdot Q_i^2)]} = \frac{2 \cdot \Delta\phi_i / \Delta P_{ci}}{A + \sqrt{A^2 + 4B \cdot \Delta\phi_{ci}}} \quad (4.13)$$

В данной формуле знак «минус» принимается для добывающих скважин, а знак «плюс» для нагнетательных.