



# СЕМИНАР ГИДРОУДАРЫ



Что такое гидроудар (волна давления)?

Изменение скорости движения,  
превращающее кинетическую  
энергию в давление

**Любое** действие в системе  
водоснабжения, приводящее к  
изменениям (увеличению или  
уменьшению) скорости движения  
воды -

**Создает гидроудар**



Базовое уравнение, определяющее зависимость между  
Изменением скорости и изменением давления:

$$\Delta H = \Delta V * c^2 / g \quad (\text{формула Жуковского})$$

**Celerity [c`]= скорость звука** с которой движется волна  
давления в трубе зависит от:

- Материала трубы (упругость)
- Соотношения диаметра к толщине стенки
- Сопротивления трубы
- Растворенного воздуха



Пример величины  $c'$ :

Стальные трубы 900- 1200 м/сек

Асбоцемент 800- 900 м/сек

ПВХ 220- 400 м/сек

Бетон 1000- 1200 м/сек

Полиэтилен 150- 250 м/сек

Канал (100% жесткий) 1480 м/сек

Пример расчета волны:

Стальная труба ( $c'=1000$  м/с), начальная  $V=1$  м/с, внезапная остановка потока

$$\partial H = \partial V * c' / g = 1 * 1000 / 9.8 \sim 100 \text{ м}$$



**Время** изменения скорости очень важно.

Влияние изменения скорости на давление зависит от соотношения:

- Длины трубы
- Времени изменения

Критическое время уравнения:  **$T_{cr} = 2 \times L / c$**

Изменение условий, приводящее к уменьшению времени **ниже** чем  $T_{cr}$  в конкретной системе, считается «мгновенным» и создает максимальное изменение давления.



Основные причины гидроудара в системе водоснабжения:

- **Закрытие арматуры/ Внезапное изменение (увеличение или уменьшение) потребления**
- **Запуск / остановка насосов**
- **Запуск глубинных насосов**
- **Закрытие клапанов выпуска воздуха**



Пример 1

Закрытие крана

# Модель системы – закрытие крана

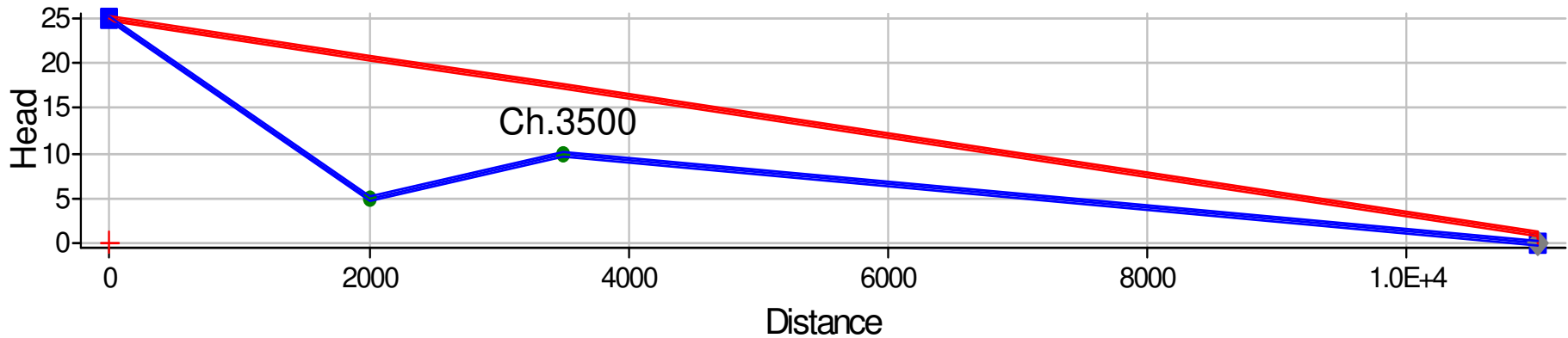
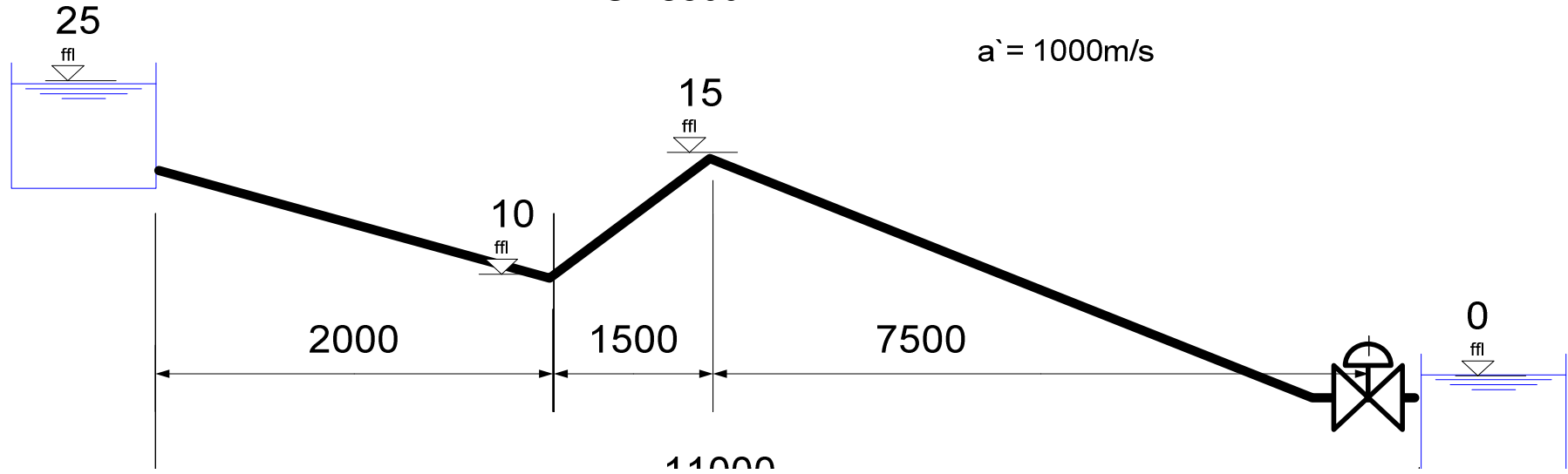


D= 600mm

Chw= 120

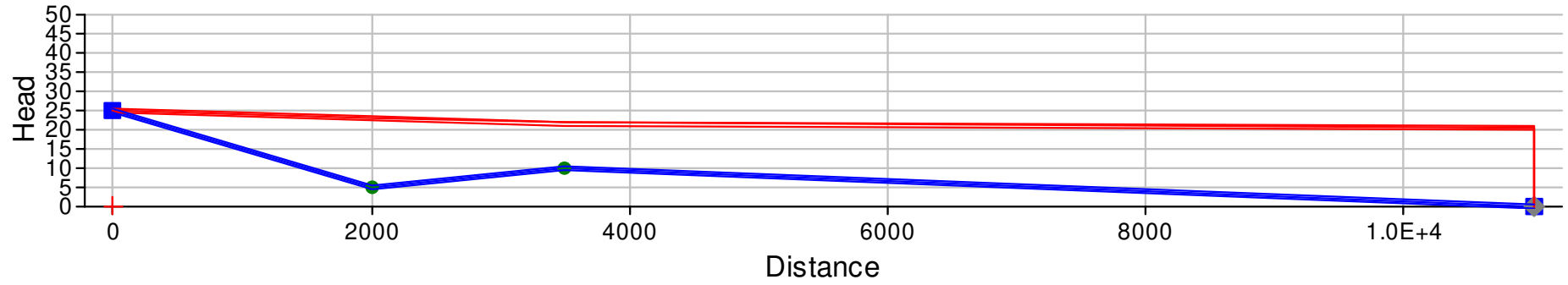
Q= 1080m<sup>3</sup>/h (0.3m<sup>3</sup>/s)

a`= 1000m/s

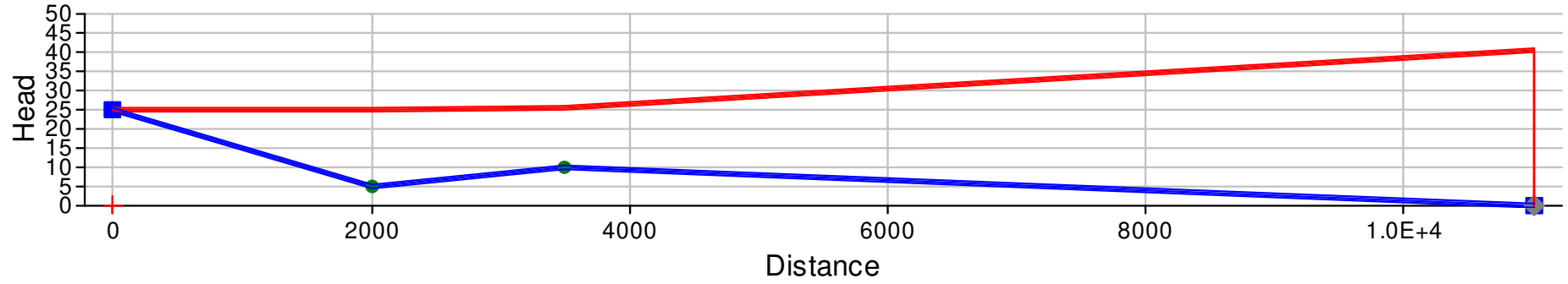




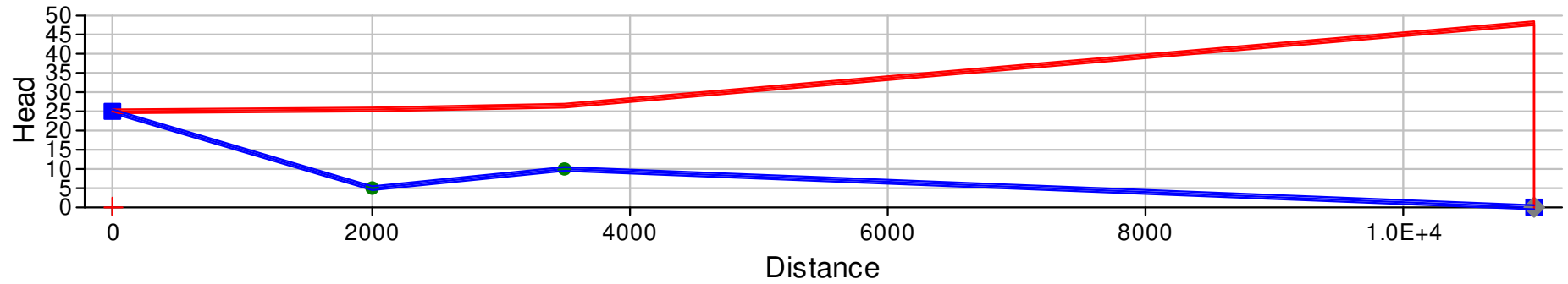
Time 49.067



Time 53.867



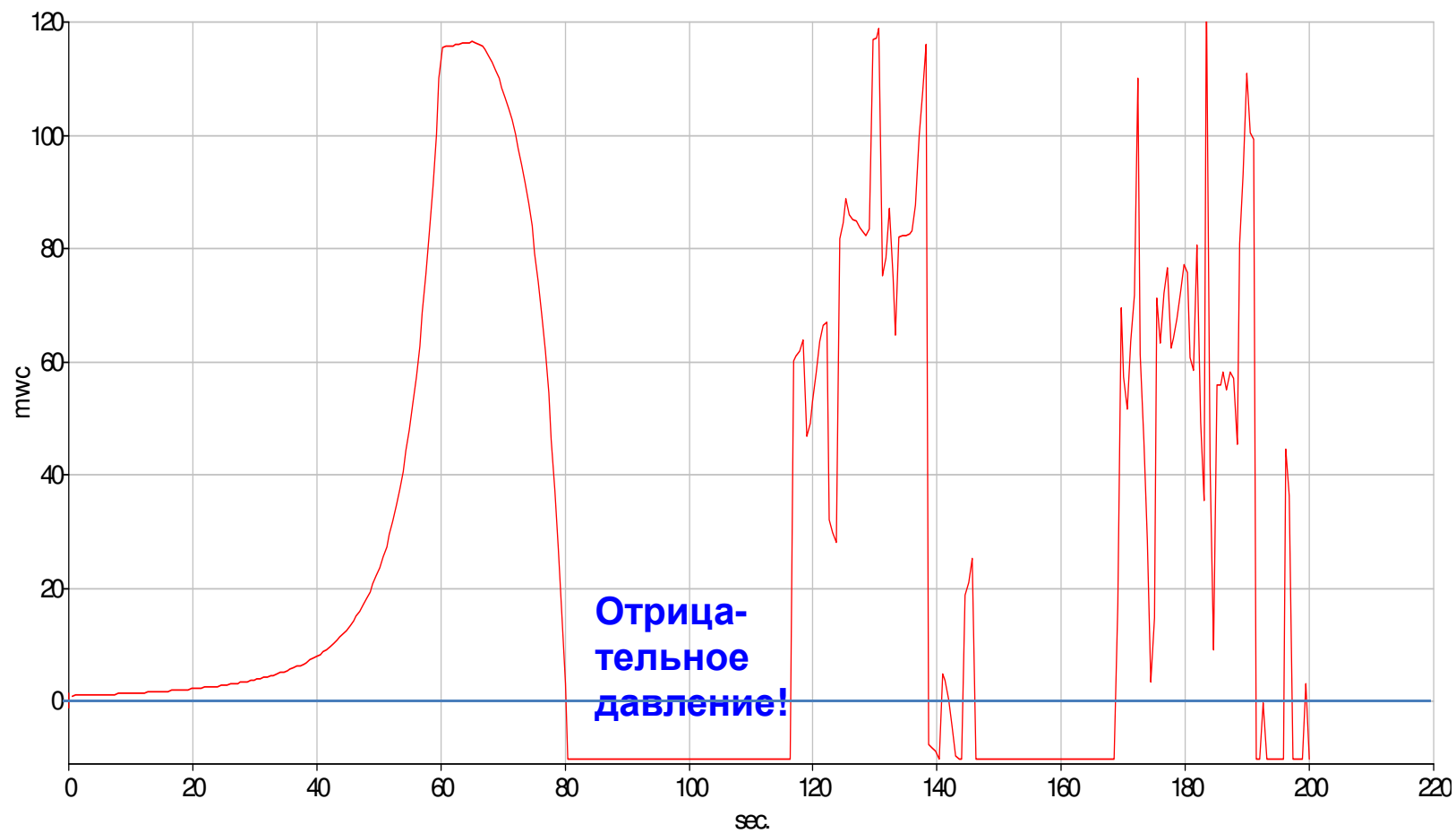
Time 54.934





# Заккрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью

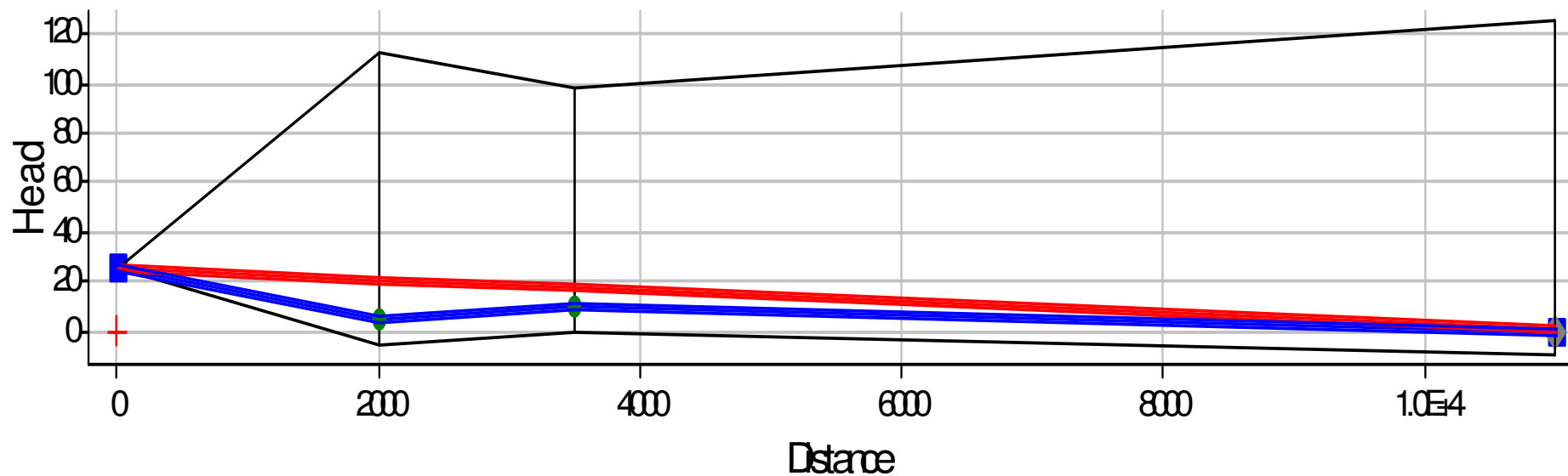
## Давление до клапана





## Заккрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью

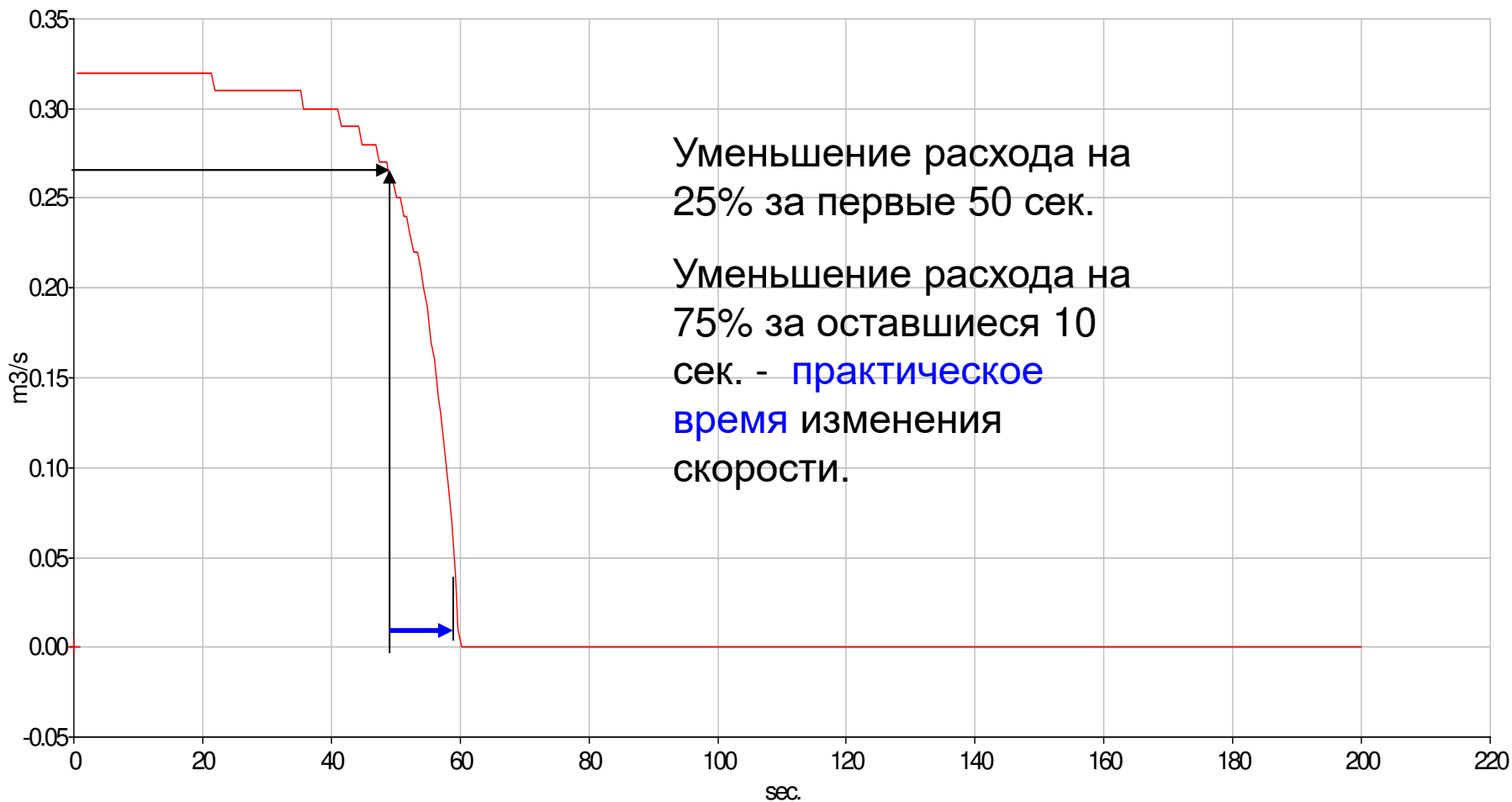
Конверт давления по трубопроводу





# Заккрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью

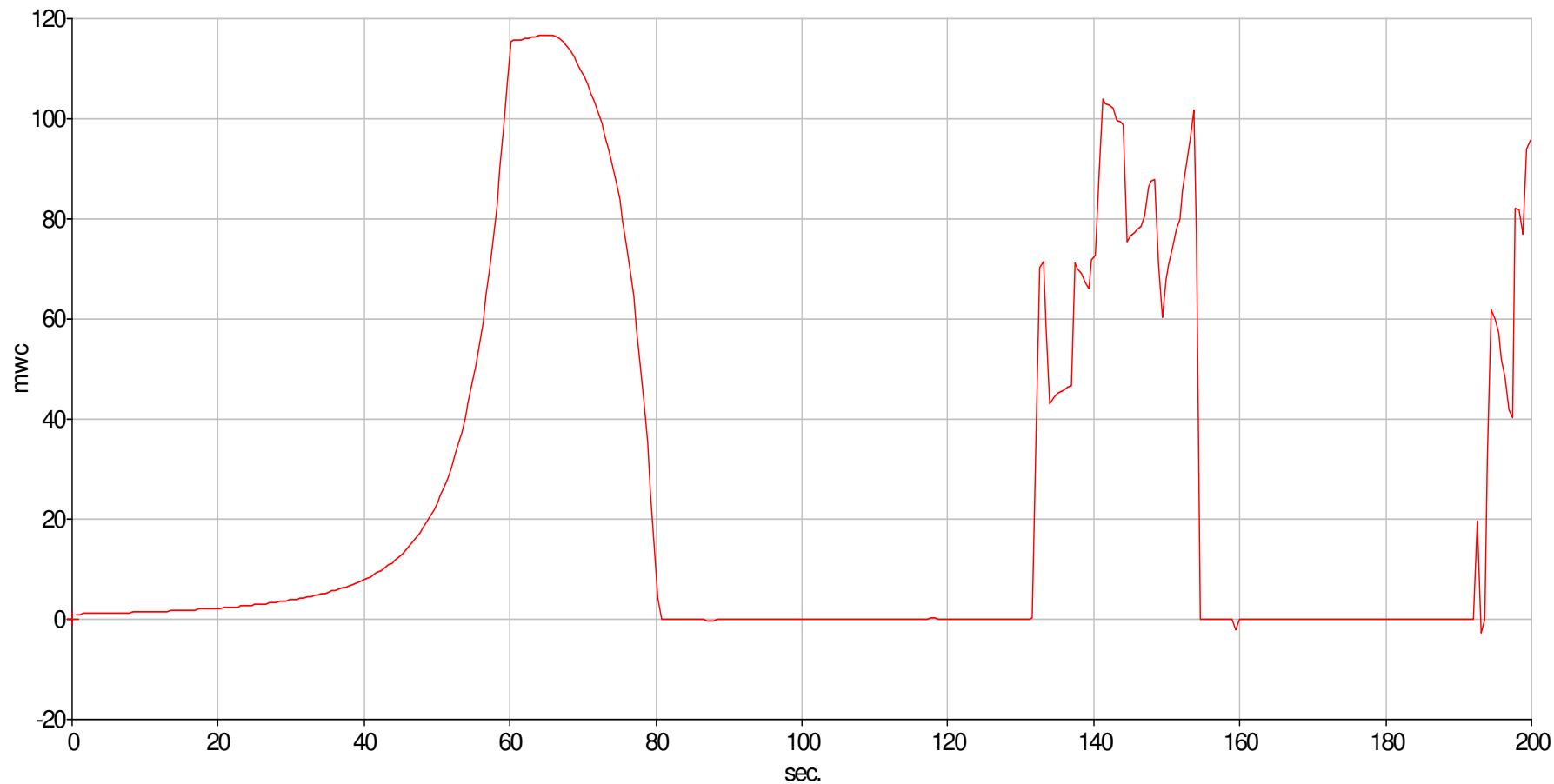
## Расход через клапан





Заккрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью  
при наличии клапанов сброса воздуха

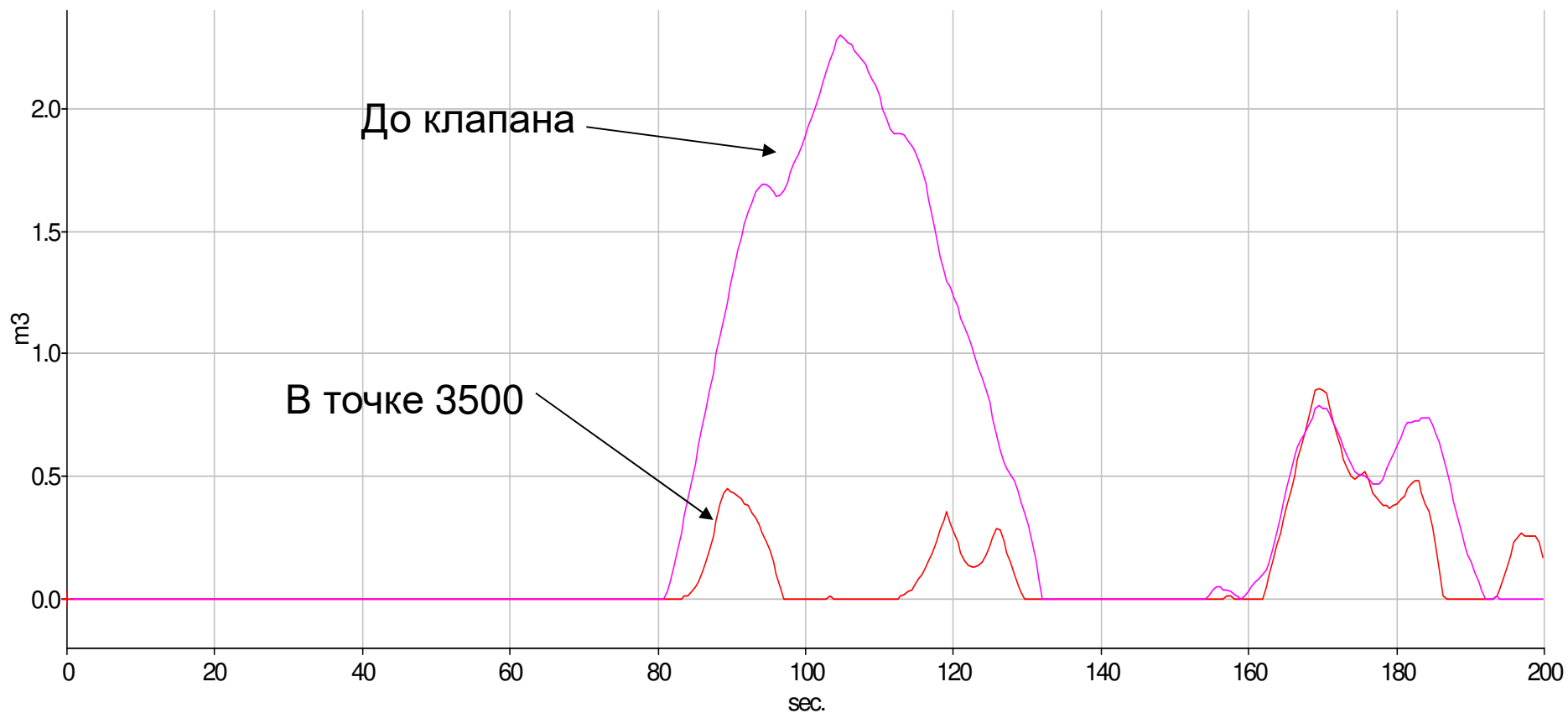
Давление до клапана





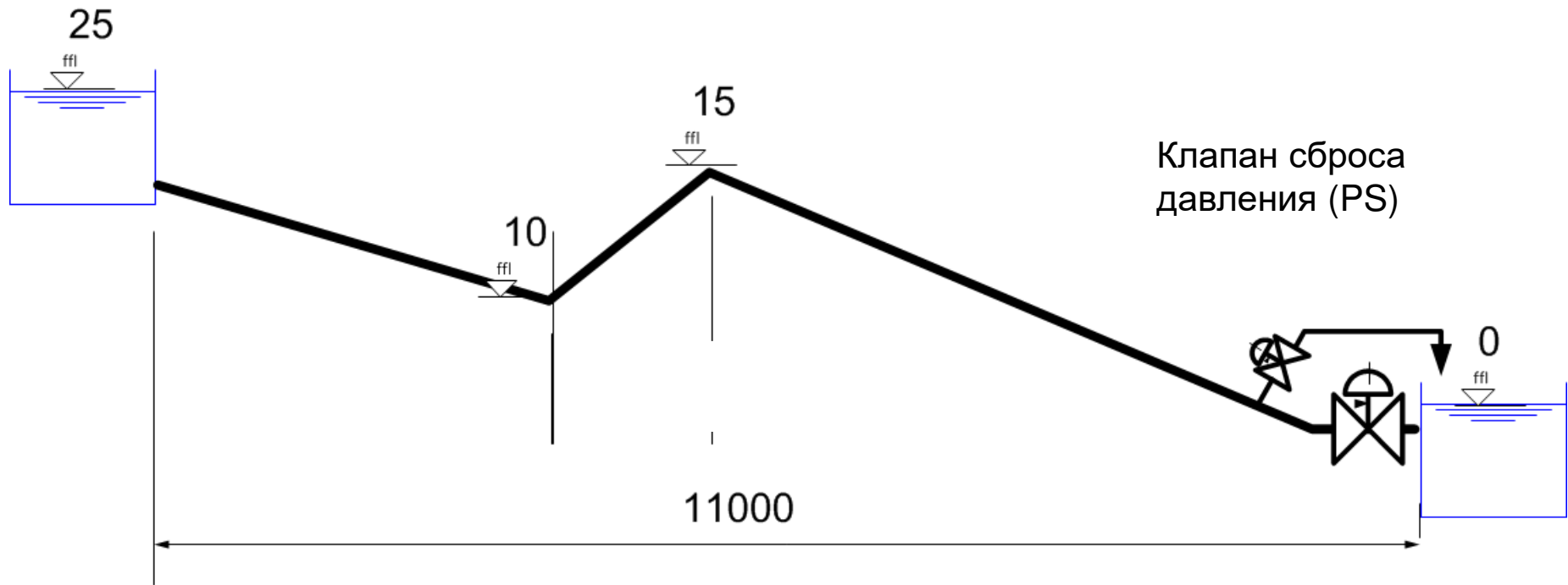
Закрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью  
при наличии клапанов сброса воздуха

### Объем воздуха



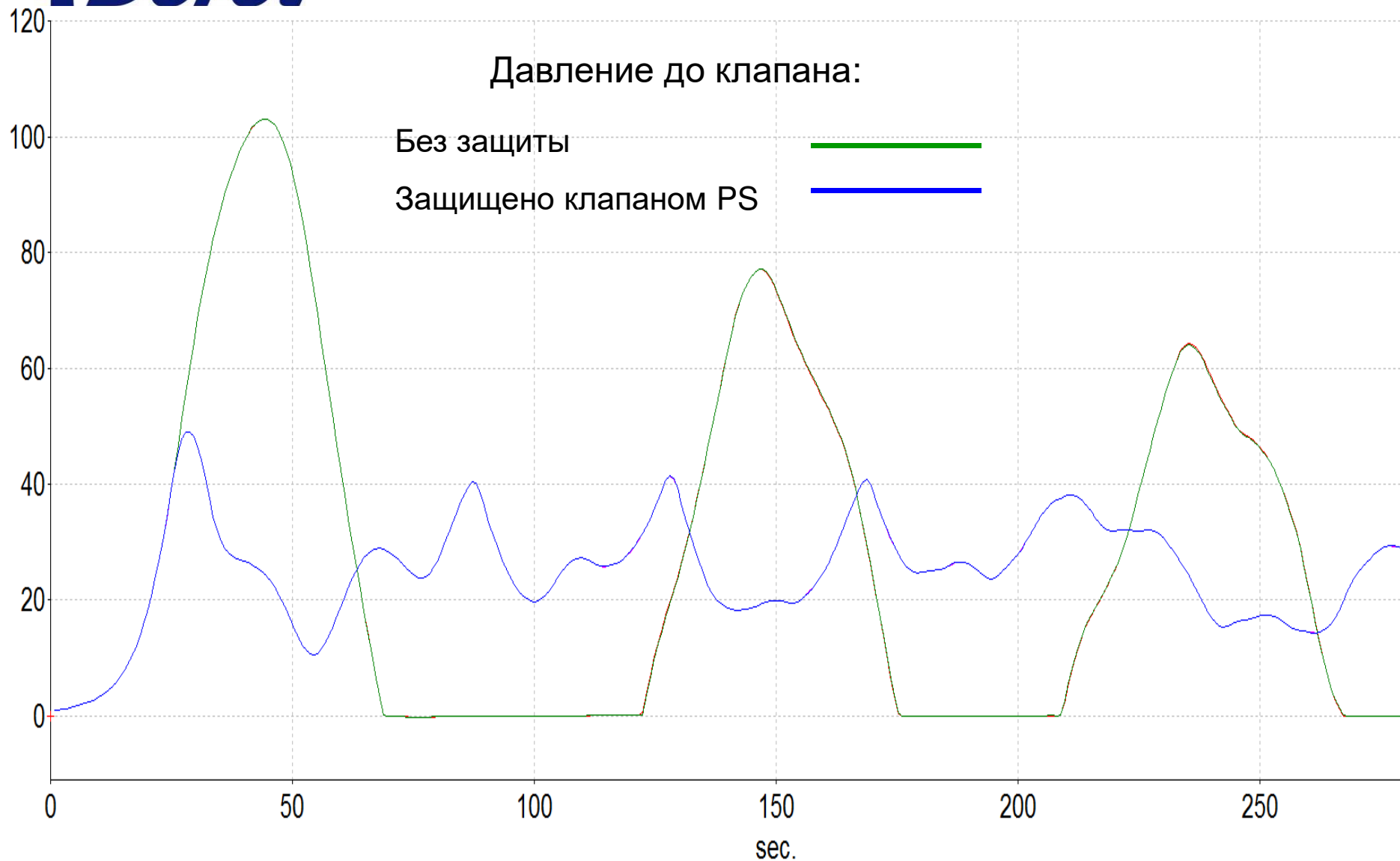


## Заккрытие клапана – модель системы





Закрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью  
при наличии клапанов сброса воздуха







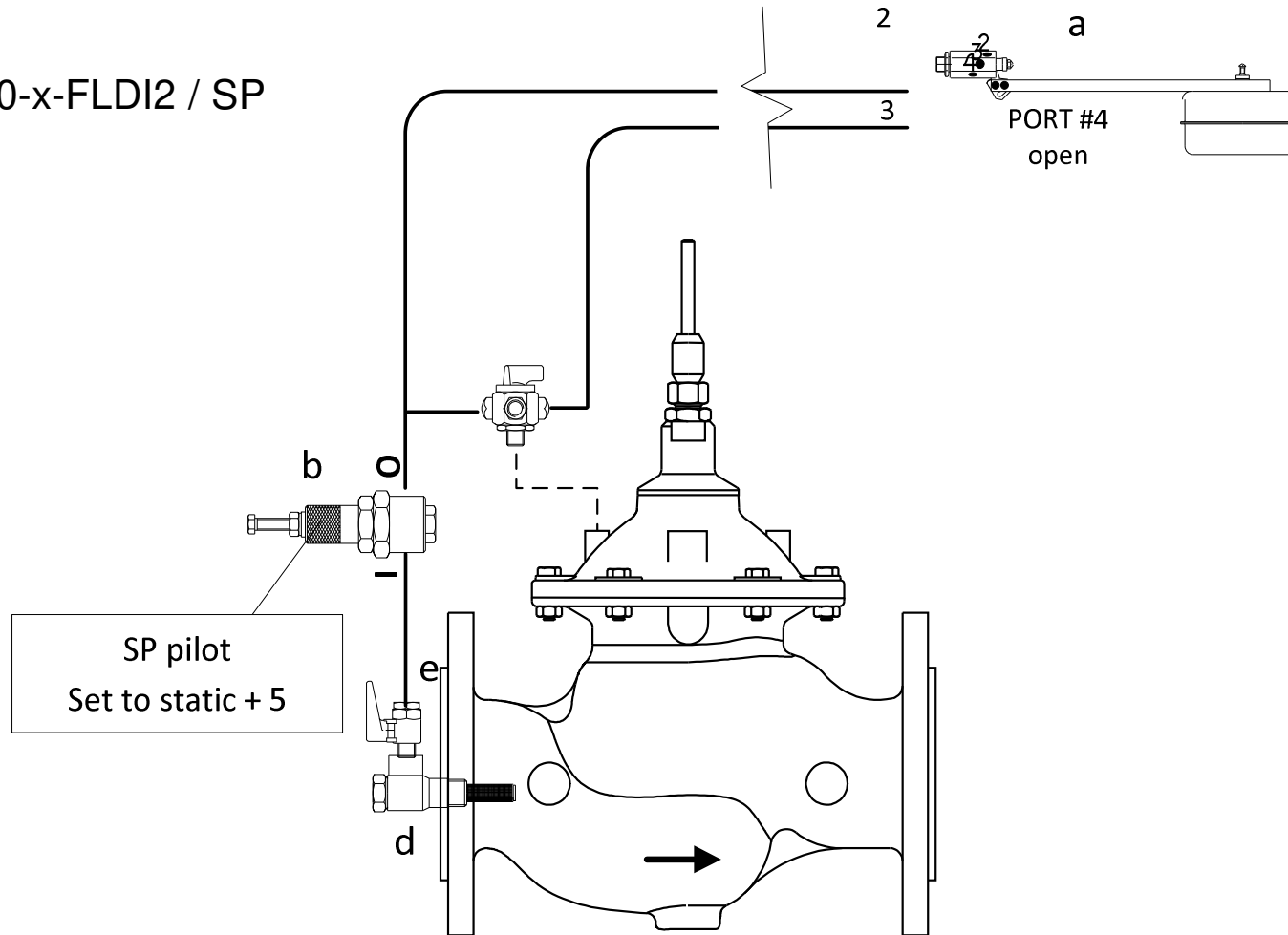
Заккрытие клапана за 60 сек. с постоянной скоростью  
Защищено клапаном PS





Заккрытие клапана – неравномерная скорость,  
используя систему управления клапаном

Клапан 30-х-FLDI2 / SP



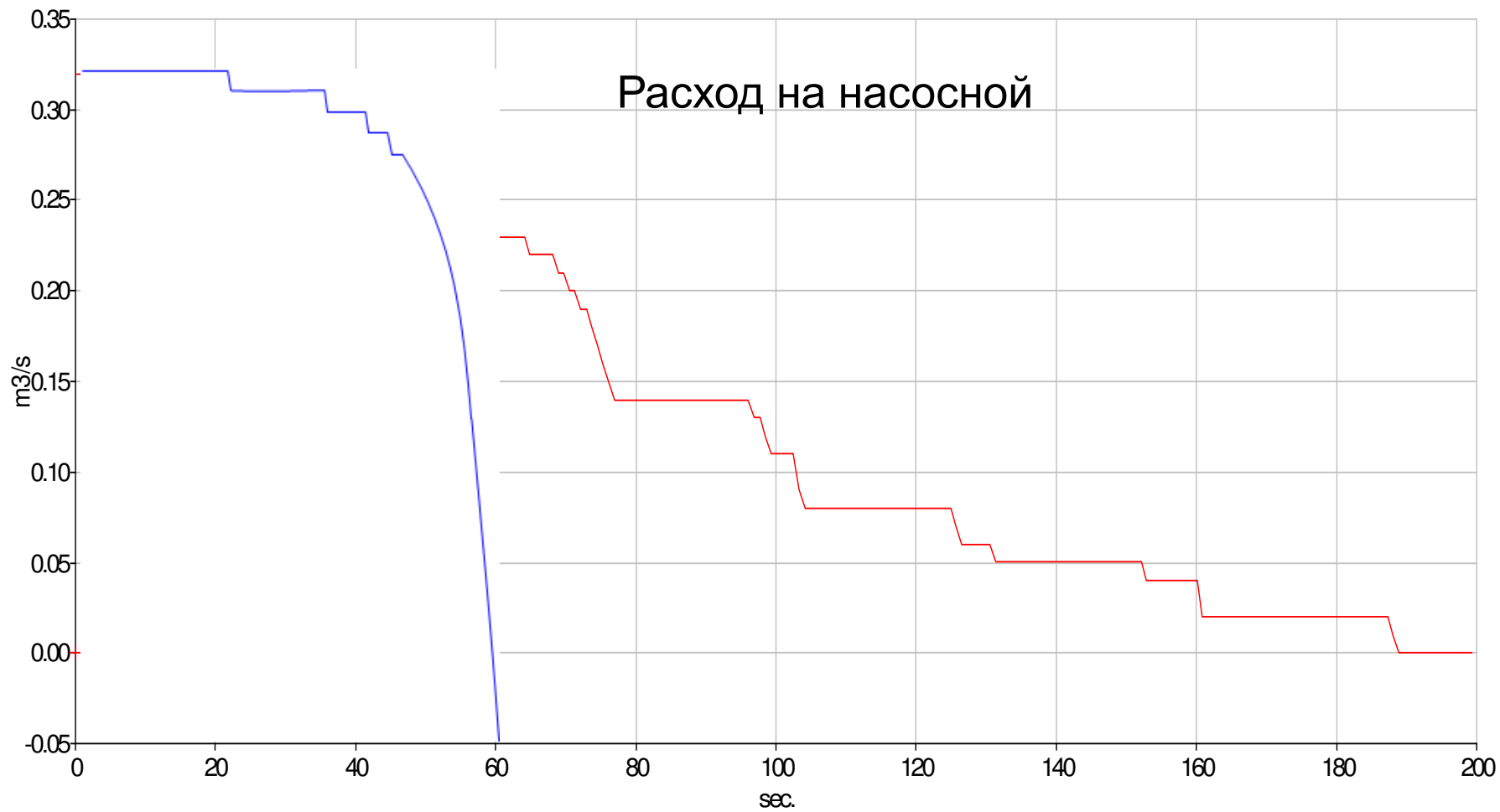


## Заккрытие клапана – контролируемая скорость





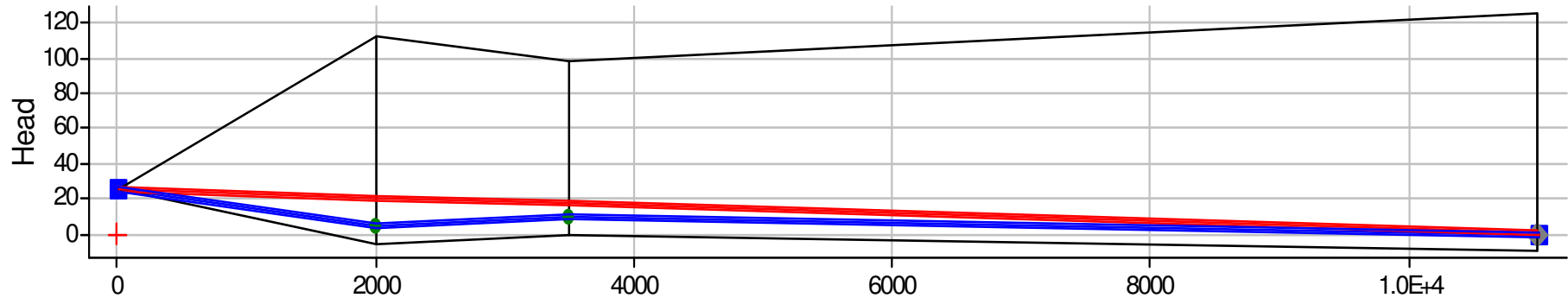
# Заккрытие клапана за 60 сек., контролируемая скорость



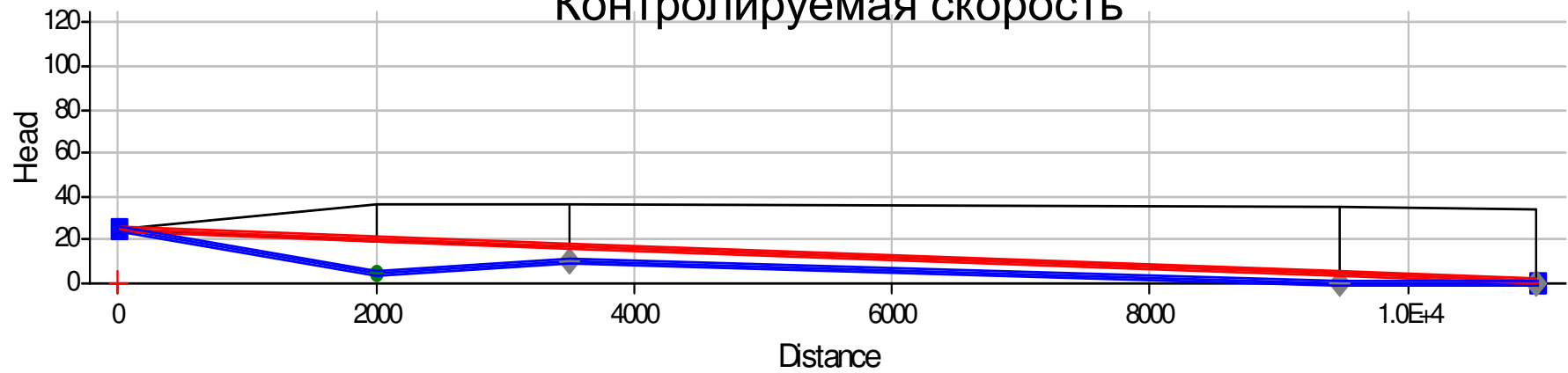


# Закрытие клапана - сравнение

## Постоянная скорость



## Контролируемая скорость





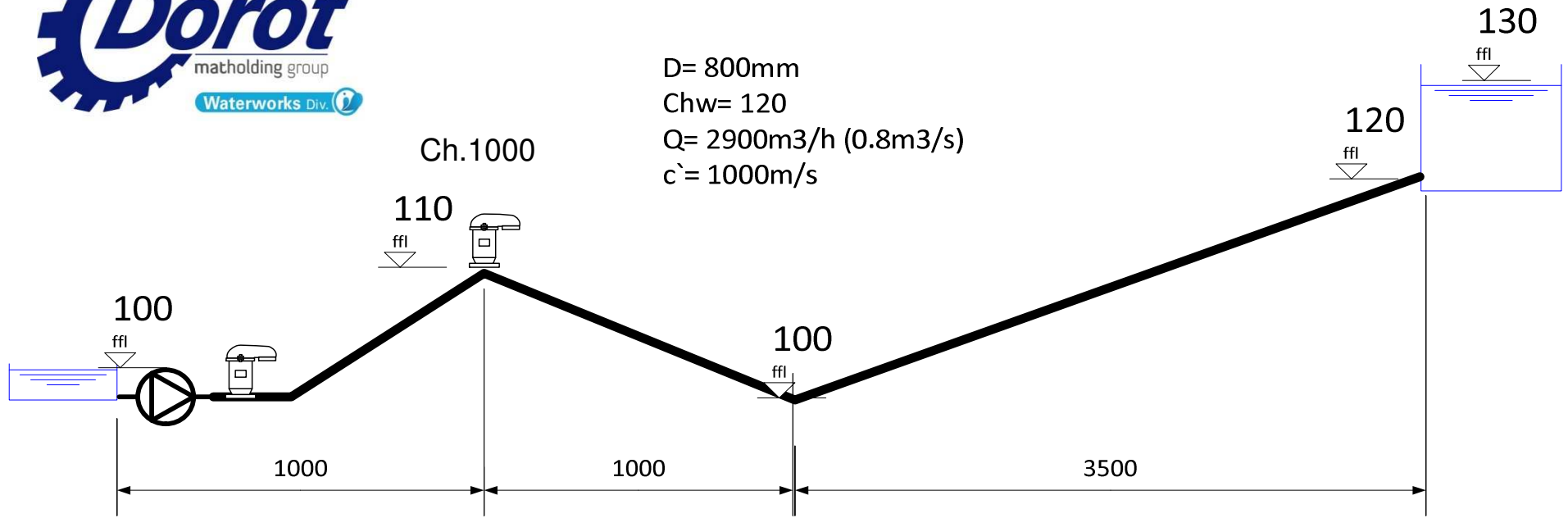
## Пример 2

# Внезапная остановка насосной

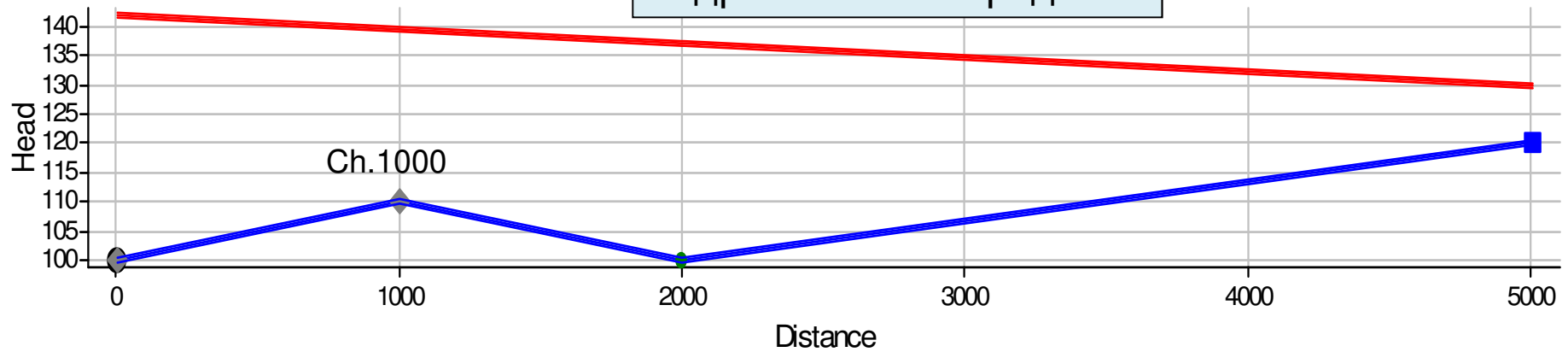


# Отключение насосной, модель системы

$D = 800\text{mm}$   
 $Chw = 120$   
 $Q = 2900\text{m}^3/\text{h} (0.8\text{m}^3/\text{s})$   
 $c = 1000\text{m/s}$



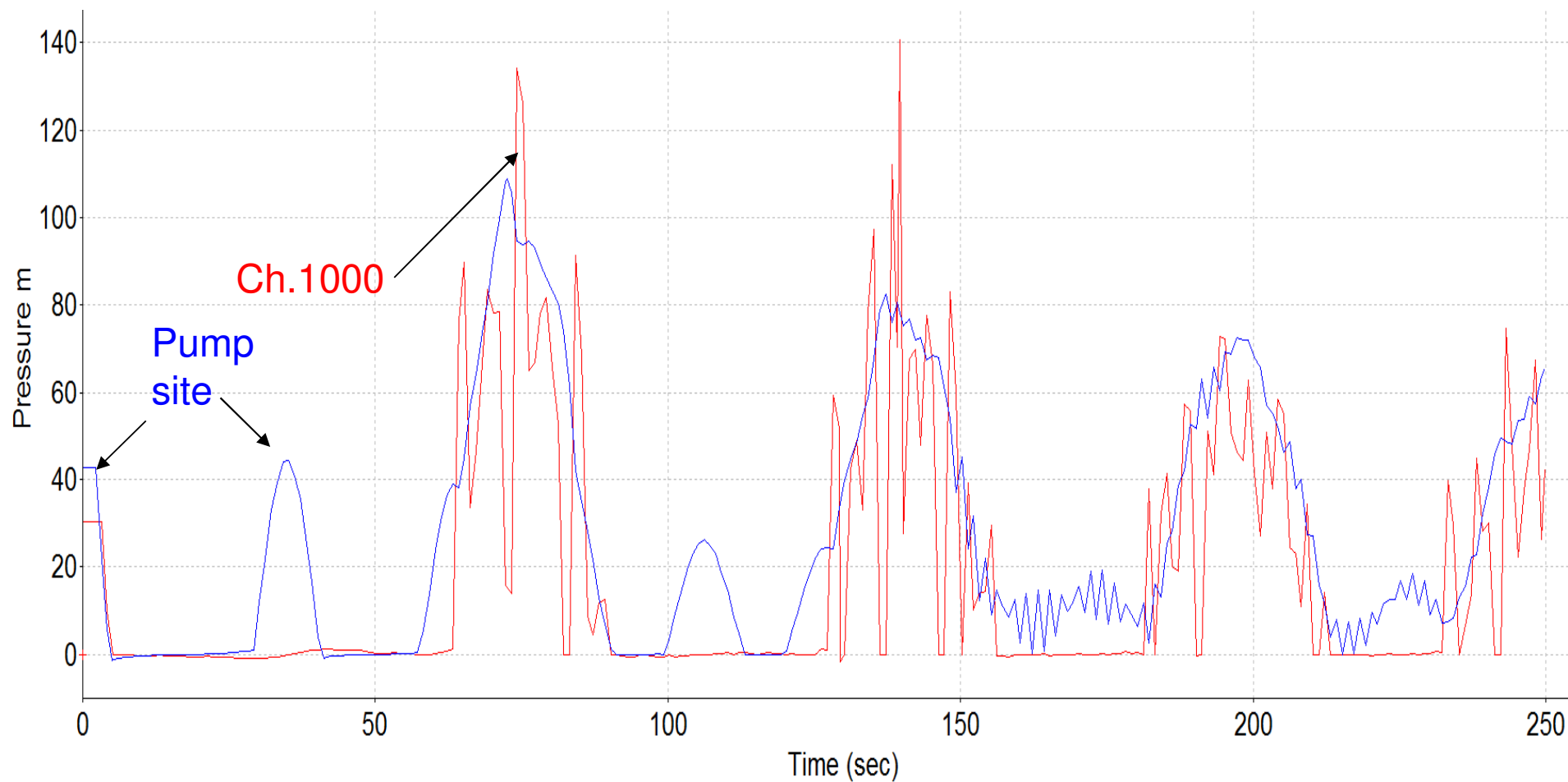
## Гидравлический градиент



# Отключение насосной, без защиты



## Давление на насосной и в точке ch.1000

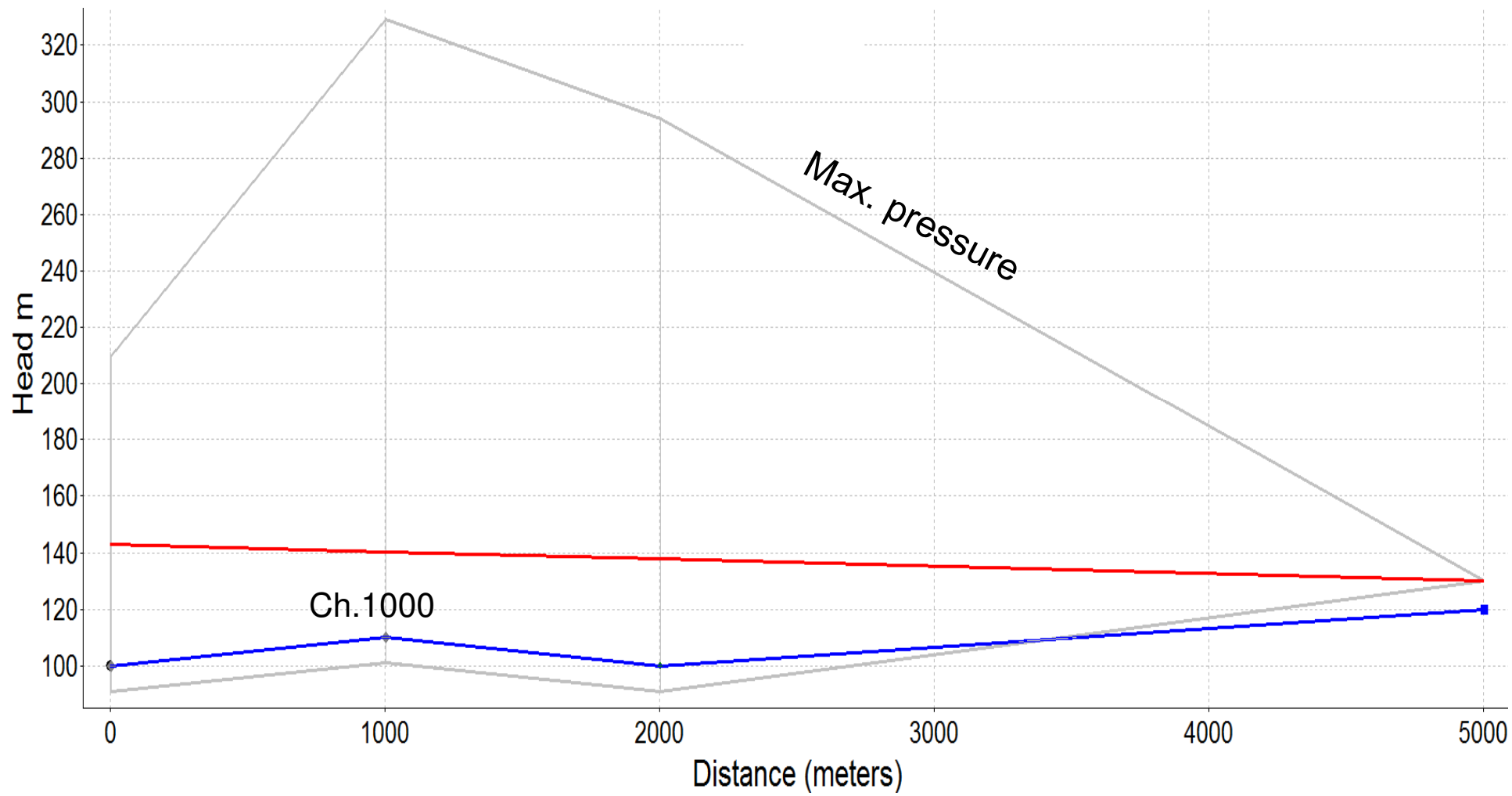






Отключение насосной, без защиты

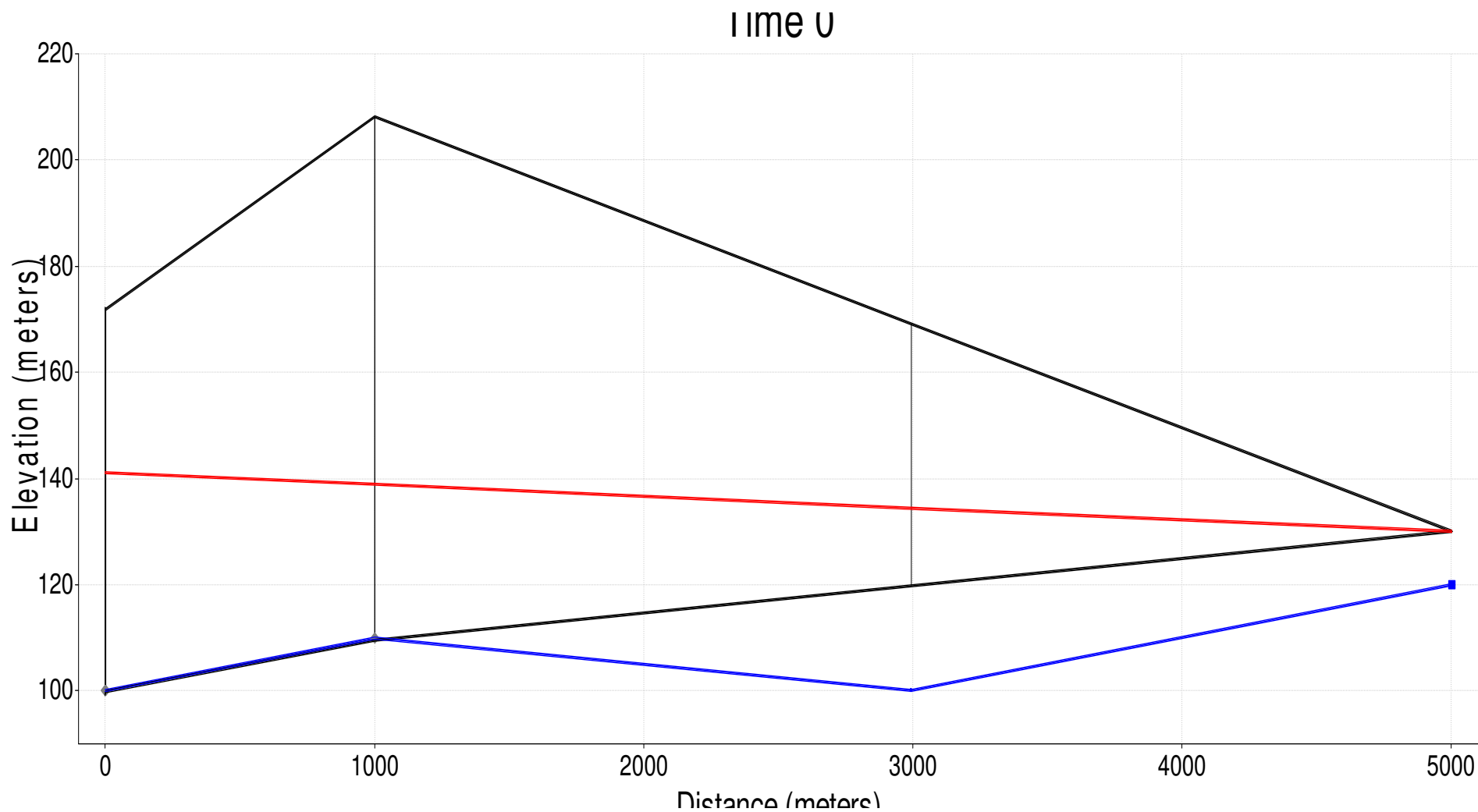
Конверт давления





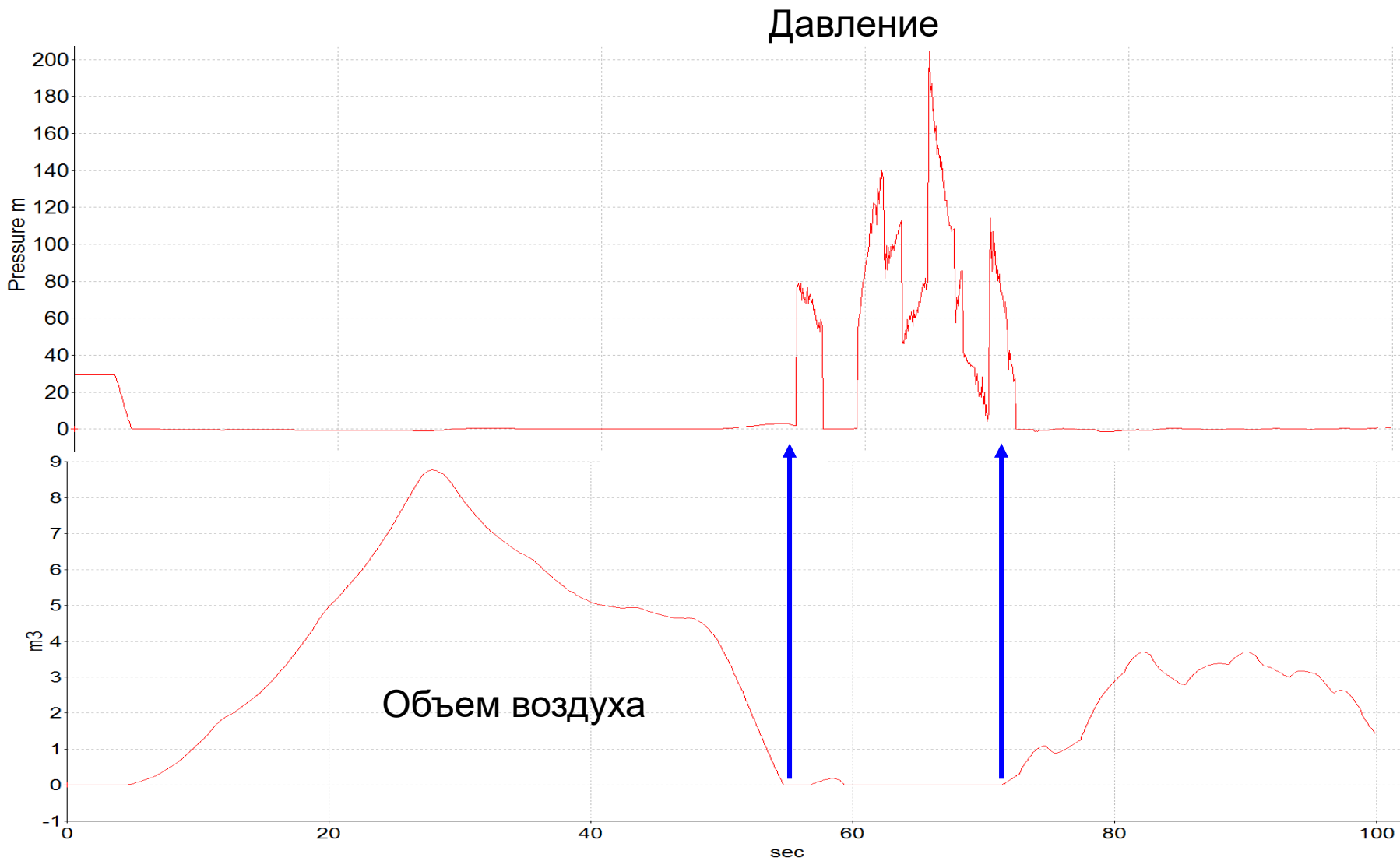
# Отключение насосной, без защиты с воздушными клапанами

## Конверт давления (макс./ мин. величины) по трубопроводу





# Отключение насосной, без защиты, точка Ch.1000



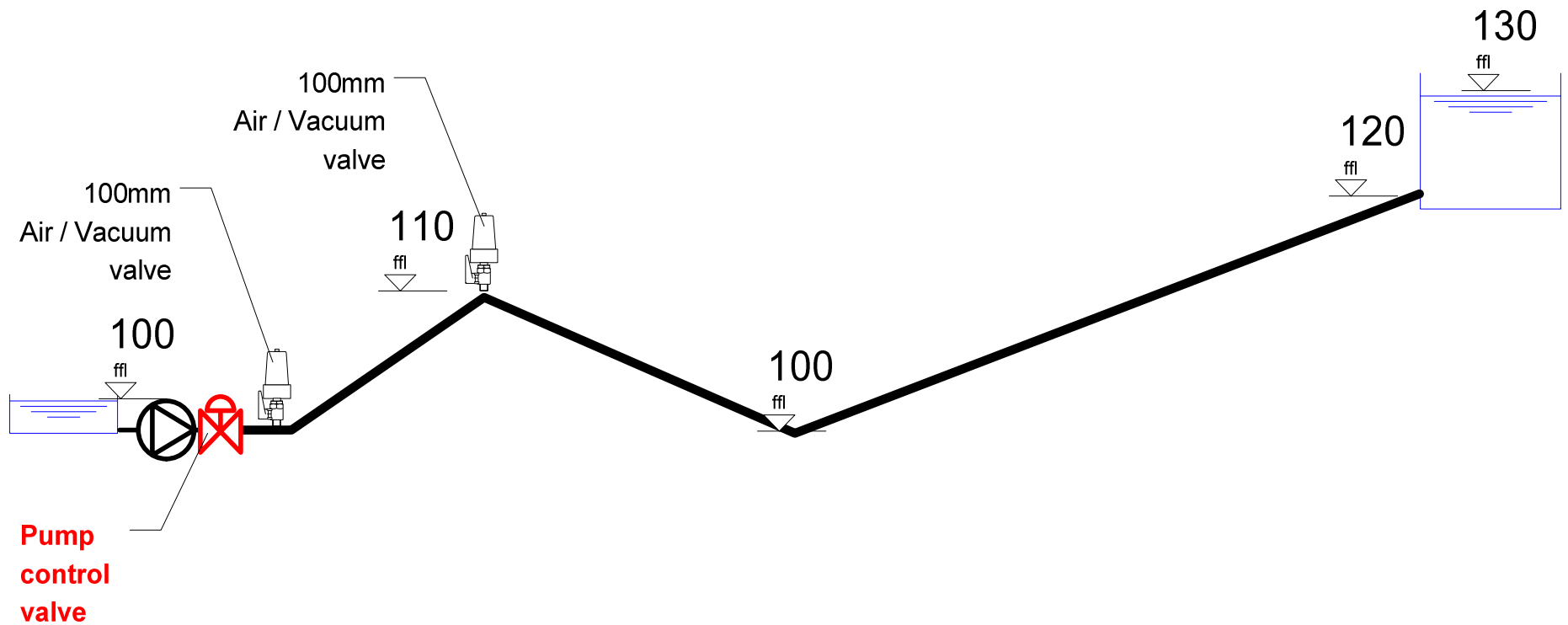


## Пример 3

# Клапан управления насосом



## Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом и воздушными клапанами

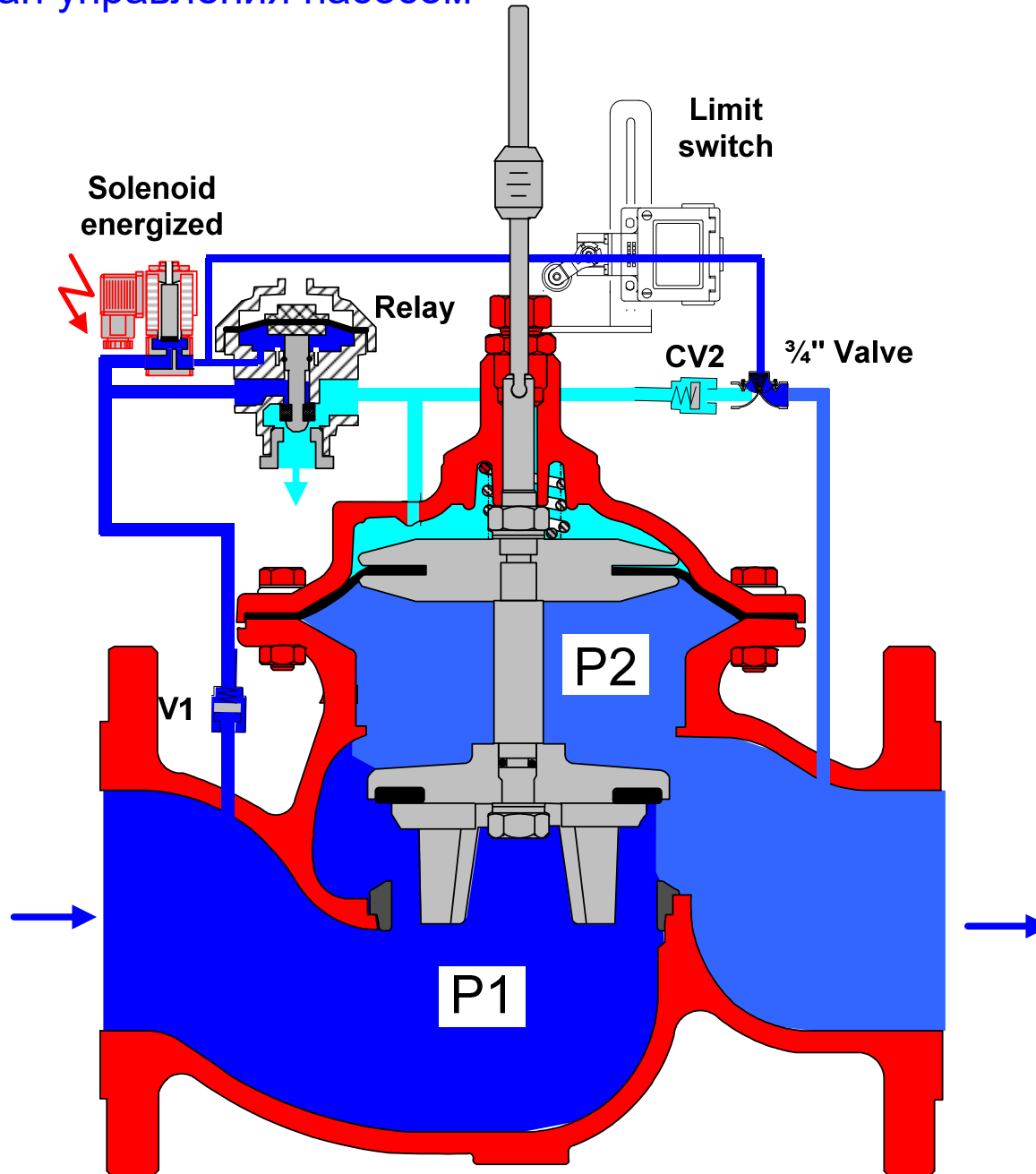




## Функции клапана управления насосом:

- a. Остается **закрытым** до запуска насоса
- b. **Открывается** одновременно с запуском насоса с контролируемой скоростью, предотвращая волну при старте.
- c. Остается **полностью открытым** во время работы насоса, создавая минимальные потери давления.
- d. **Закрывается** медленно перед остановкой насоса, плавно уменьшая скорость.
- e. **Останавливает двигатель насоса** после полного закрытия.
- f. Остается закрытым и работает как **обратный клапан**, когда насос остановлен.
- g. **Быстро закрывается** при отключении электричества, предупреждая обратный поток и обратное вращение насоса.

# Клапан управления насосом

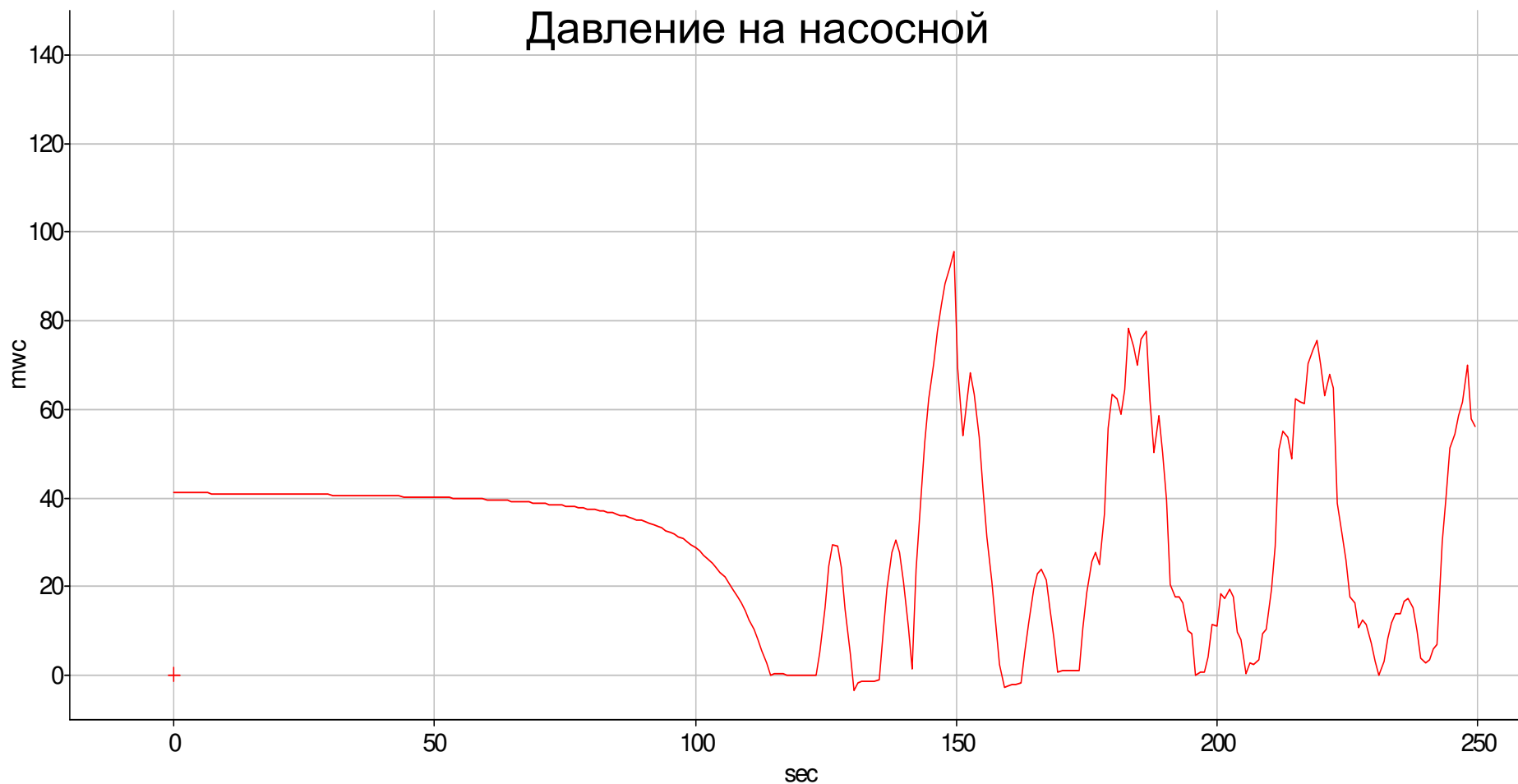




# Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом

Клапан закрывается равномерно за 120 сек.

Давление на насосной



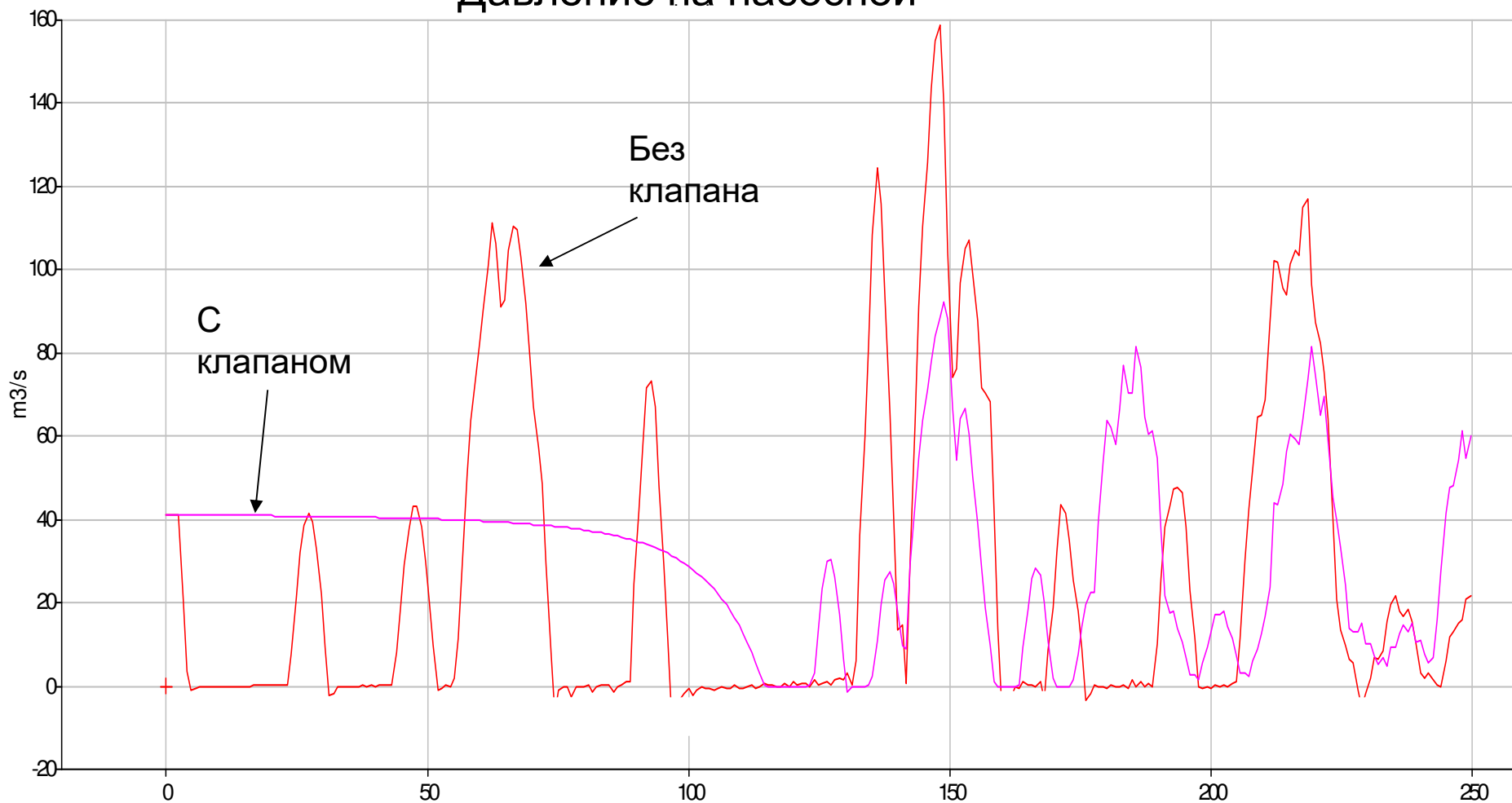




# Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом

Клапан закрывается равномерно за 120 сек.

Давление на насосной

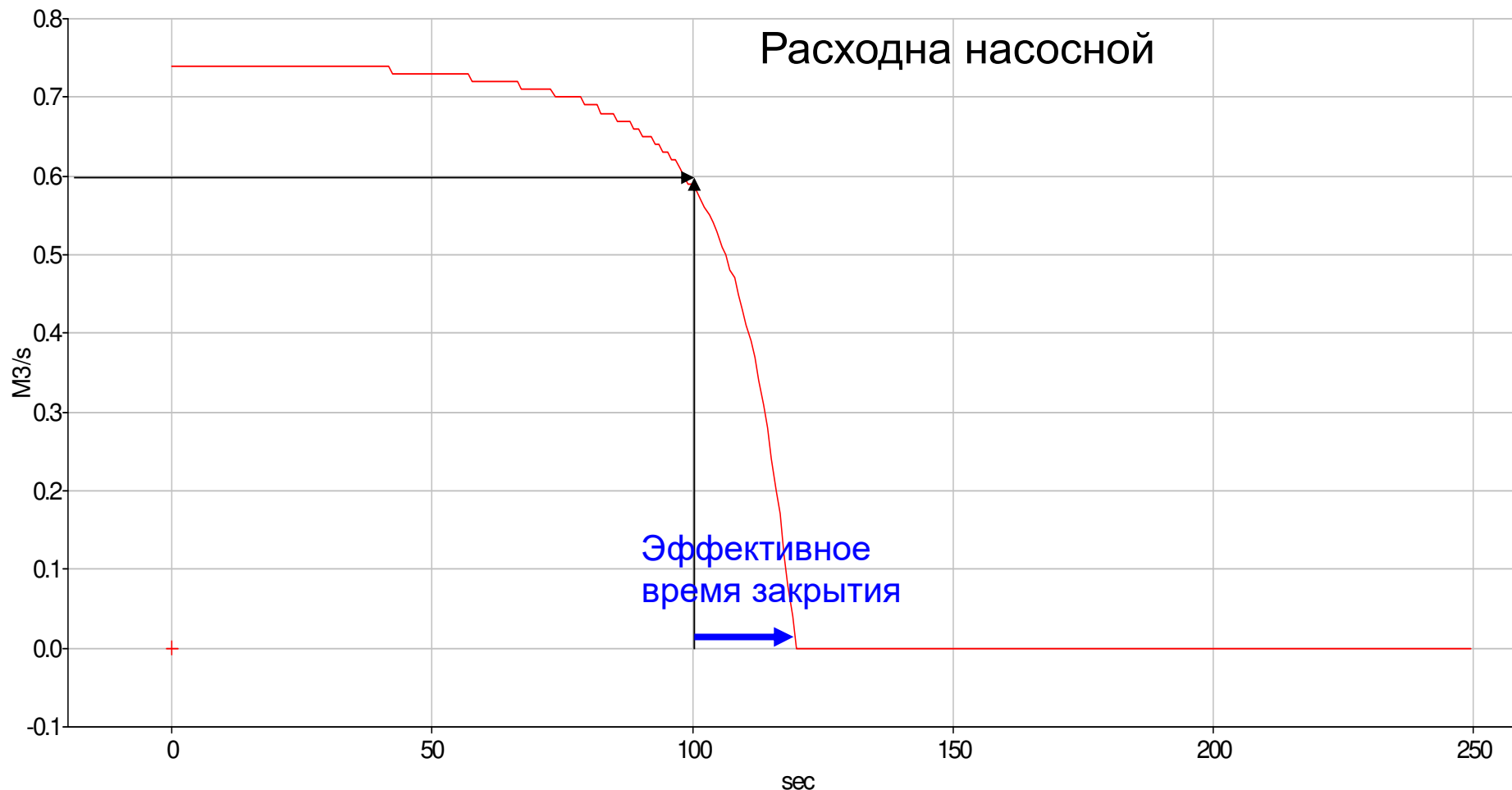


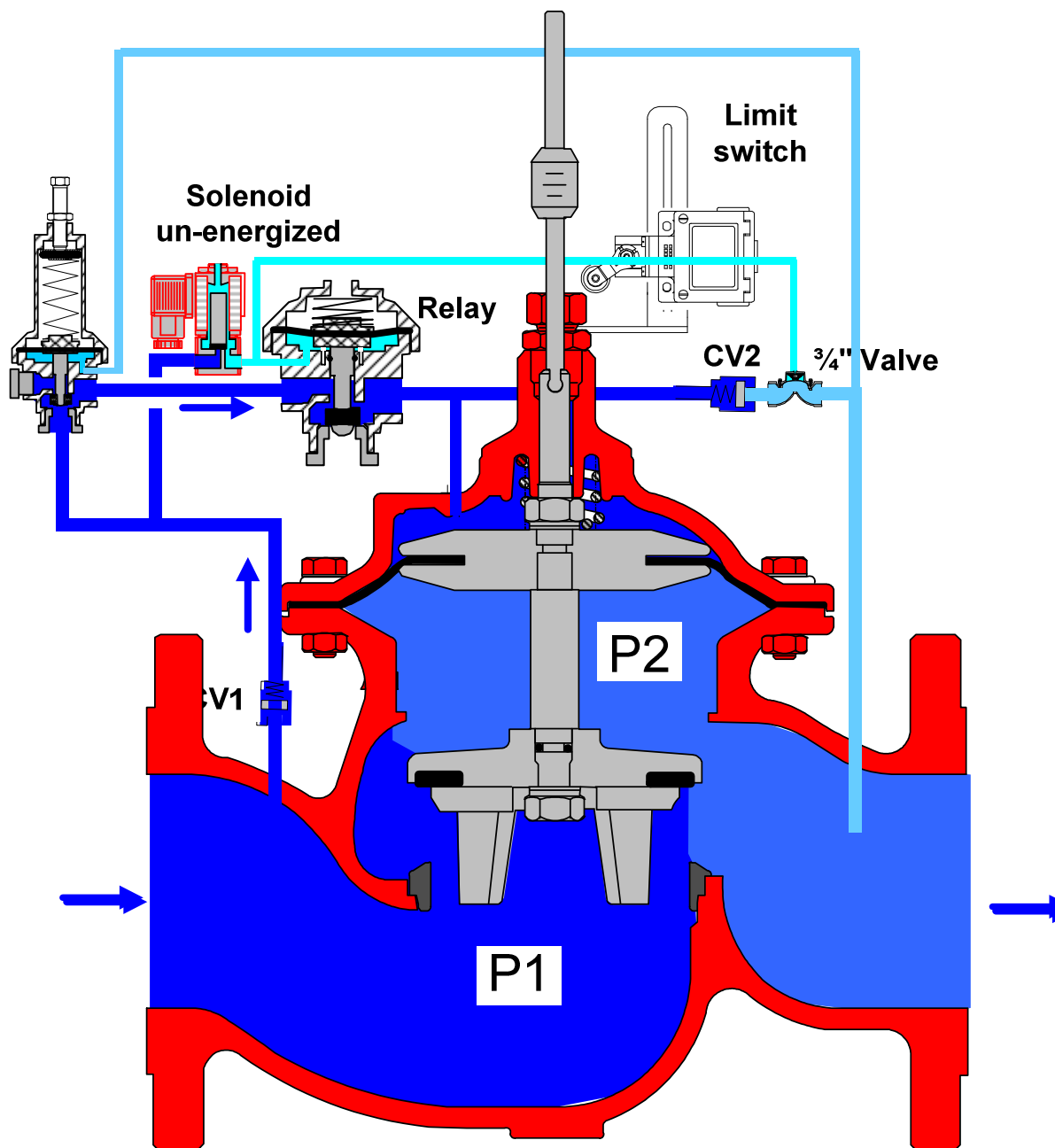
# Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом



Клапан закрывается  
равномерно за 120 сек.

Расходна насосной





Клапан управления насосом

Автоматическая регулировка темпа закрытия

Клапан прекращает закрытие, когда давление после него падает до статического.

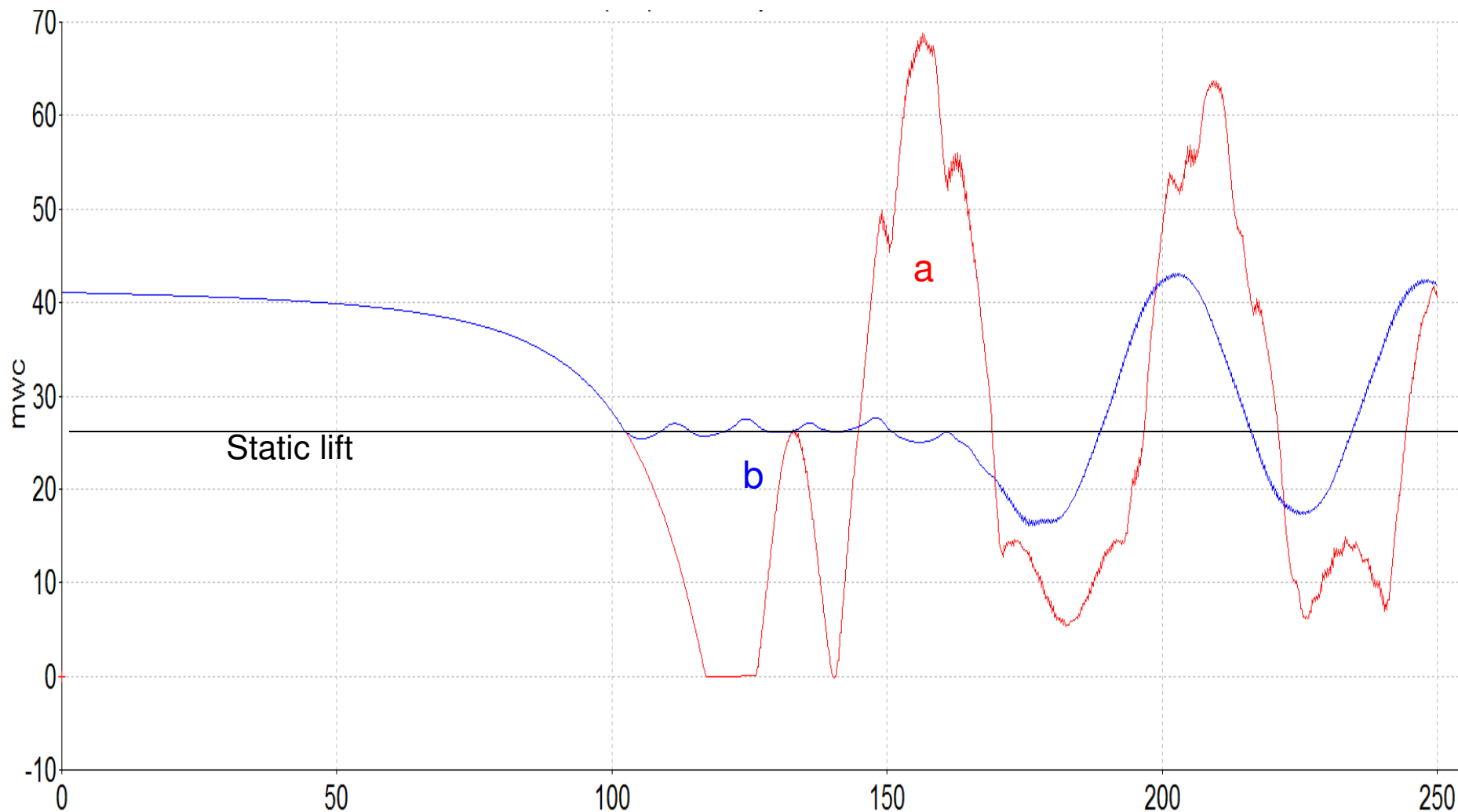
## Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом



Давление на насосной:

а. Клапан закрывается равномерно за 120 сек.

б. Клапан закрывается с автоматически регулируемой скоростью



## Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом



### Расход на насосной:

а. Клапан закрывается равномерно за 120 сек.

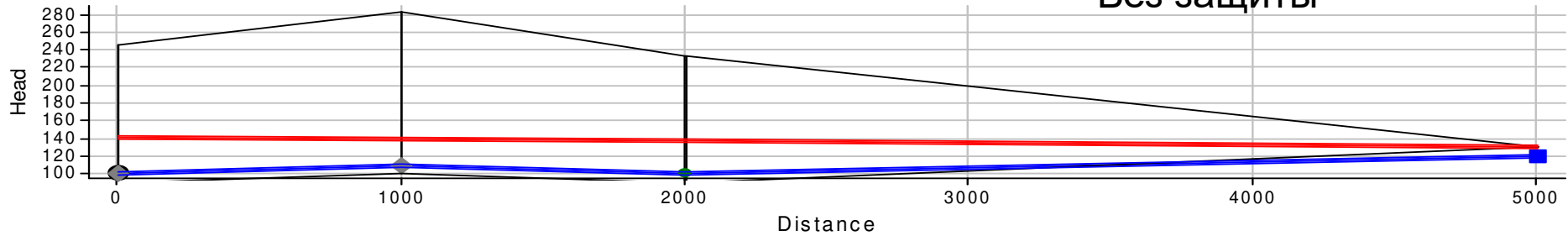
б. Клапан закрывается с автоматически регулируемой скоростью



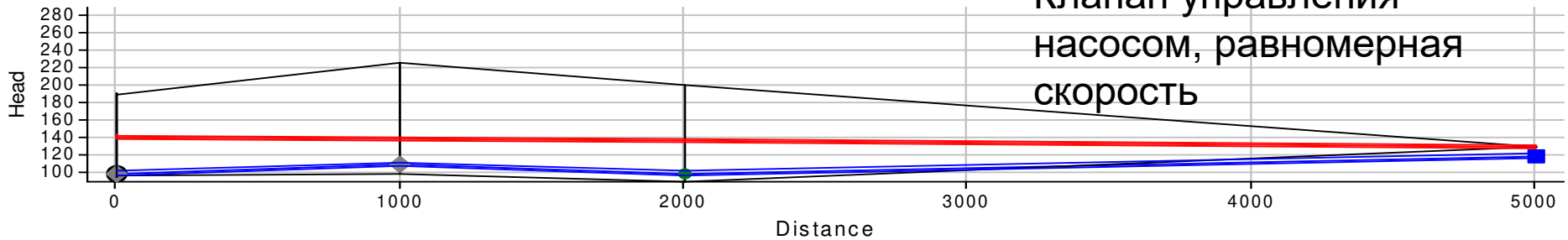
# Отключение насоса с защитой клапаном управления насосом



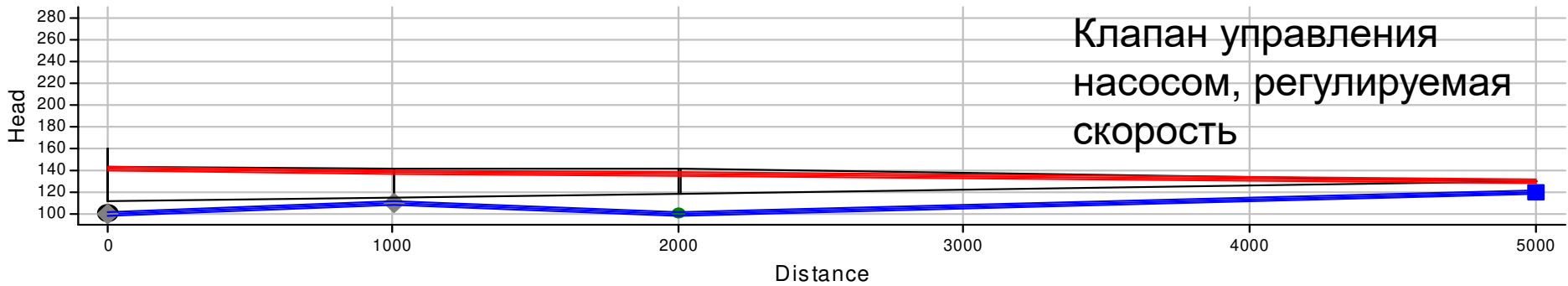
### Без защиты



### Клапан управления насосом, равномерная скорость



### Клапан управления насосом, регулируемая скорость

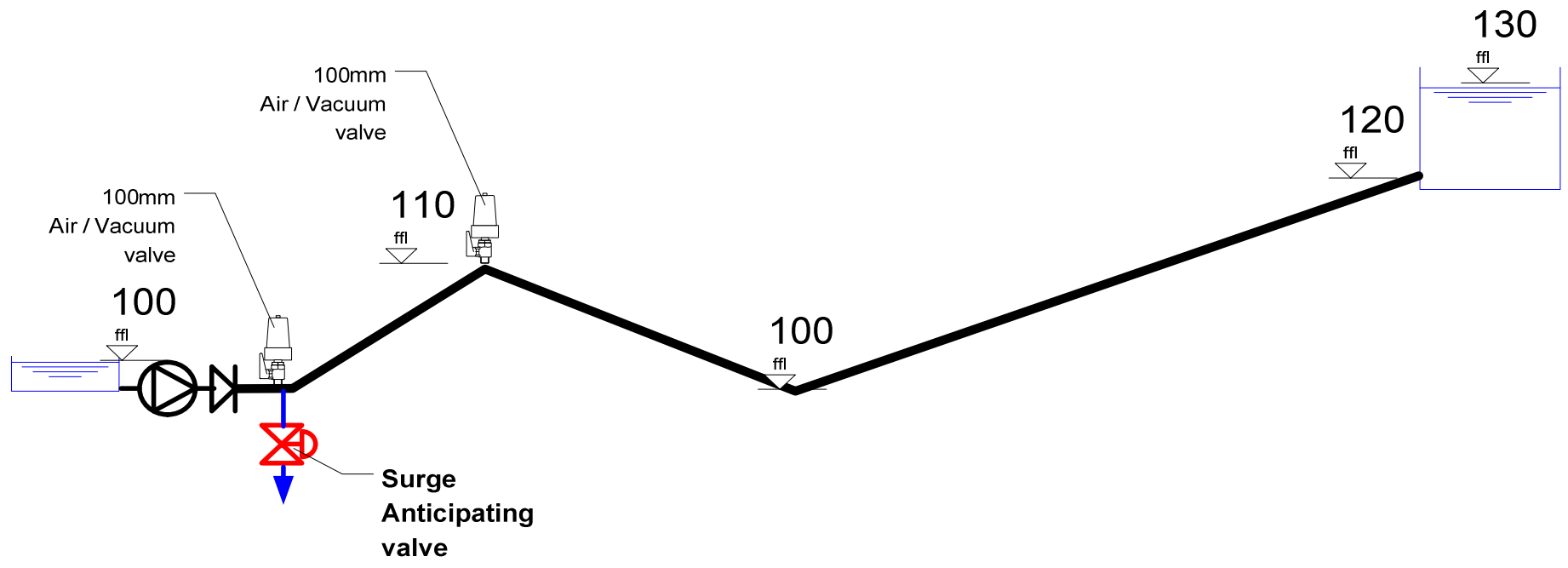




## Пример 4

Клапан предотвращения  
гидроудара

# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара





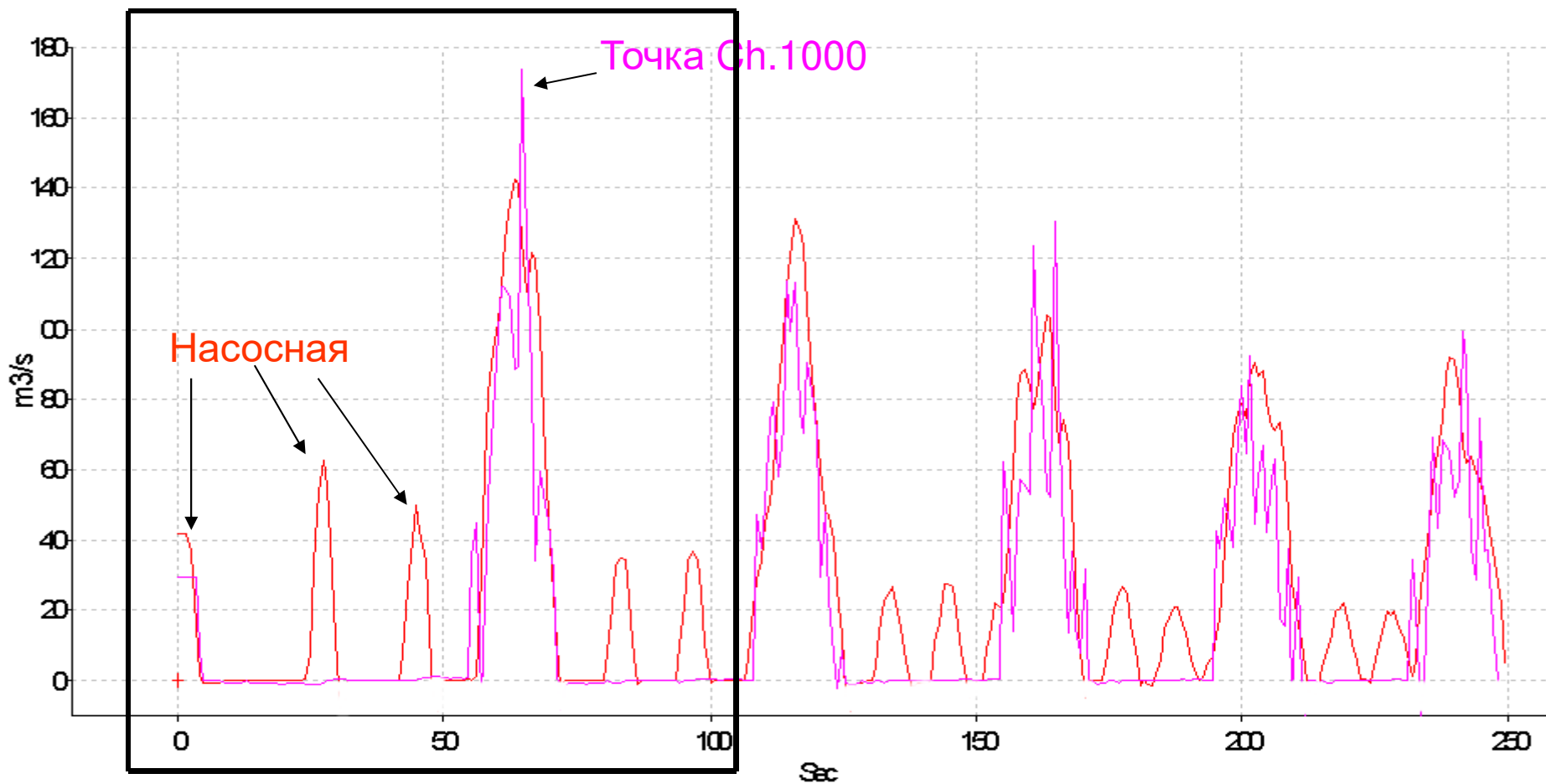


## Функции клапана предотвращения гидроудара:

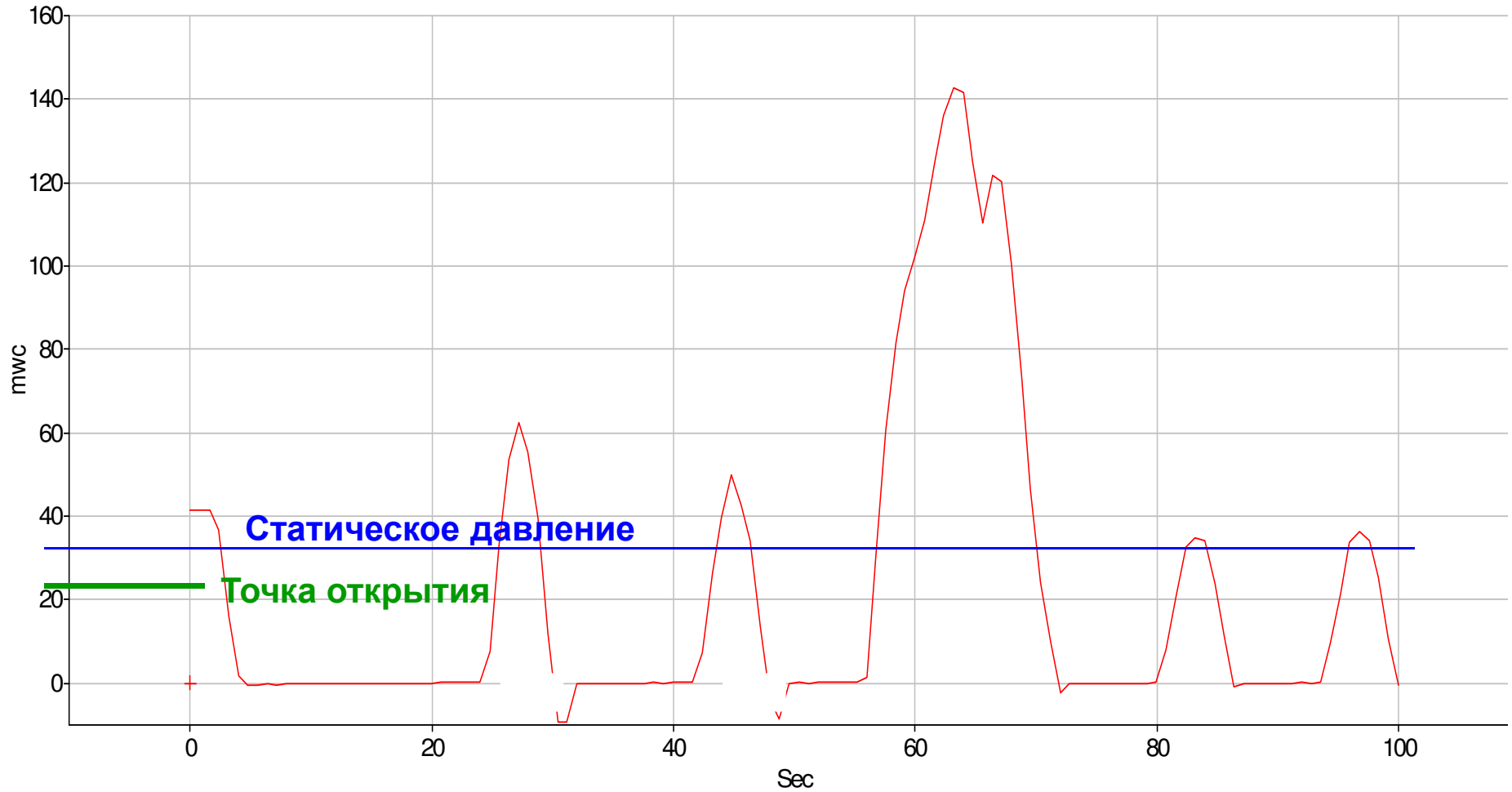
- a. Остается **закрытым** в нормальных условиях:
  - Статическое давление
  - Насос работает в нормальной рабочей точке
- a. **Открывается** немедленно при пропадании электричества
- b. Остается **полностью открытым** пока не пройдет обратная волна высокого давления
- c. **Закрывается** медленно, предотвращая вторичную волну от быстрого закрытия
- d. **Открывается** как сбросной клапан при скачках давления



# Остановка насоса без защиты с воздушными клапанами



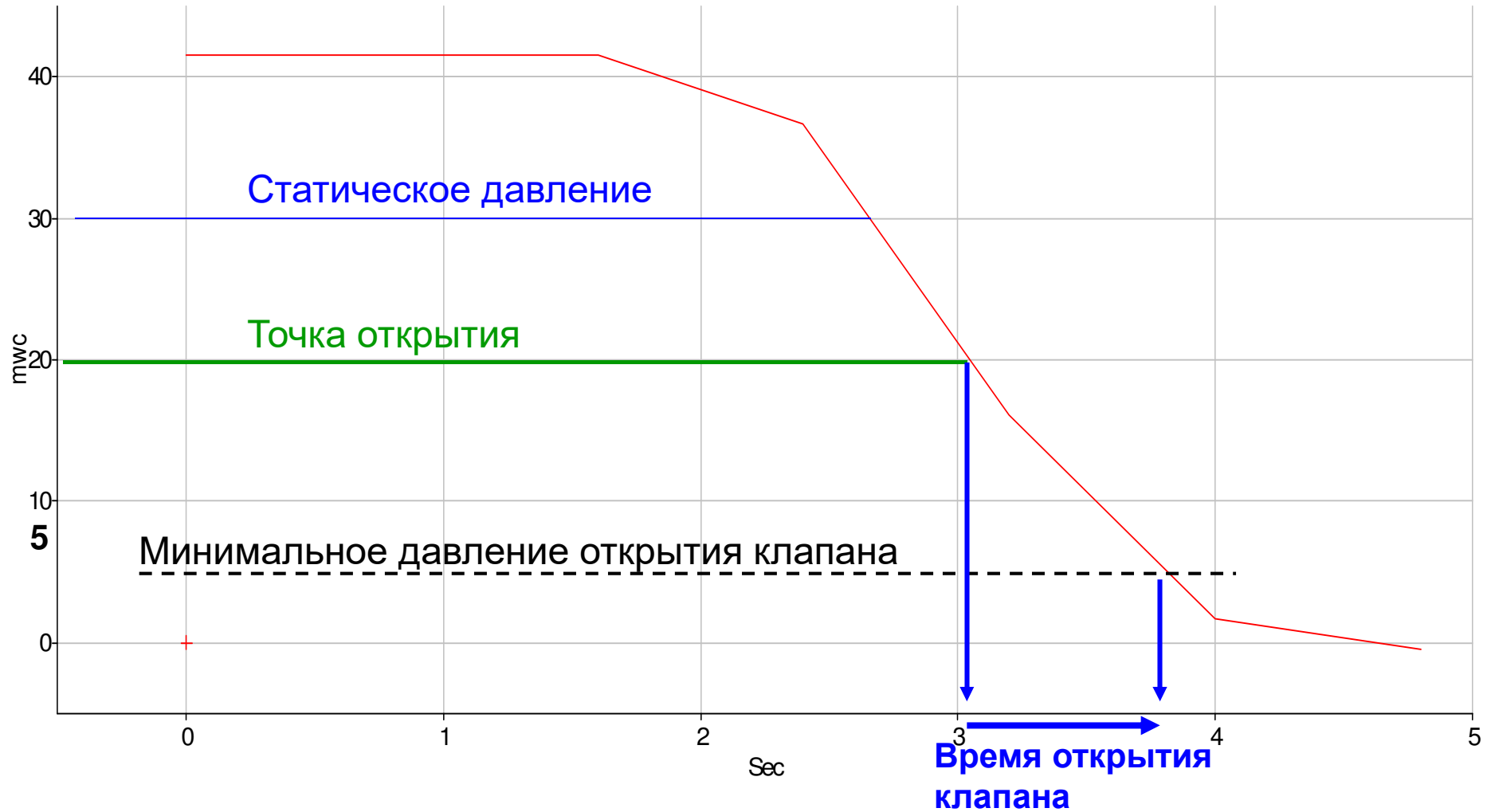
# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара



# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара



## Давление на насосной

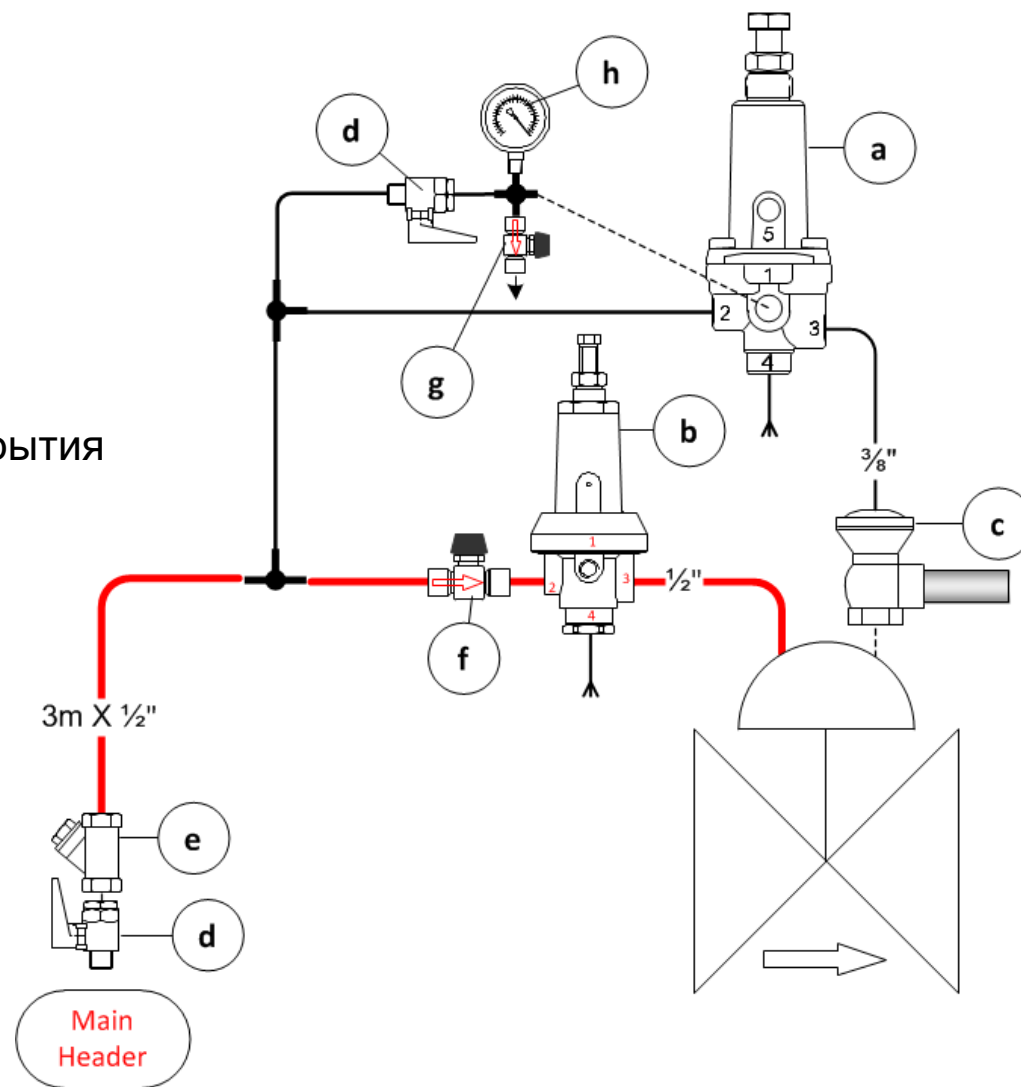


## Клапан предотвращения гидроудара, схема управления



### Основные детали:

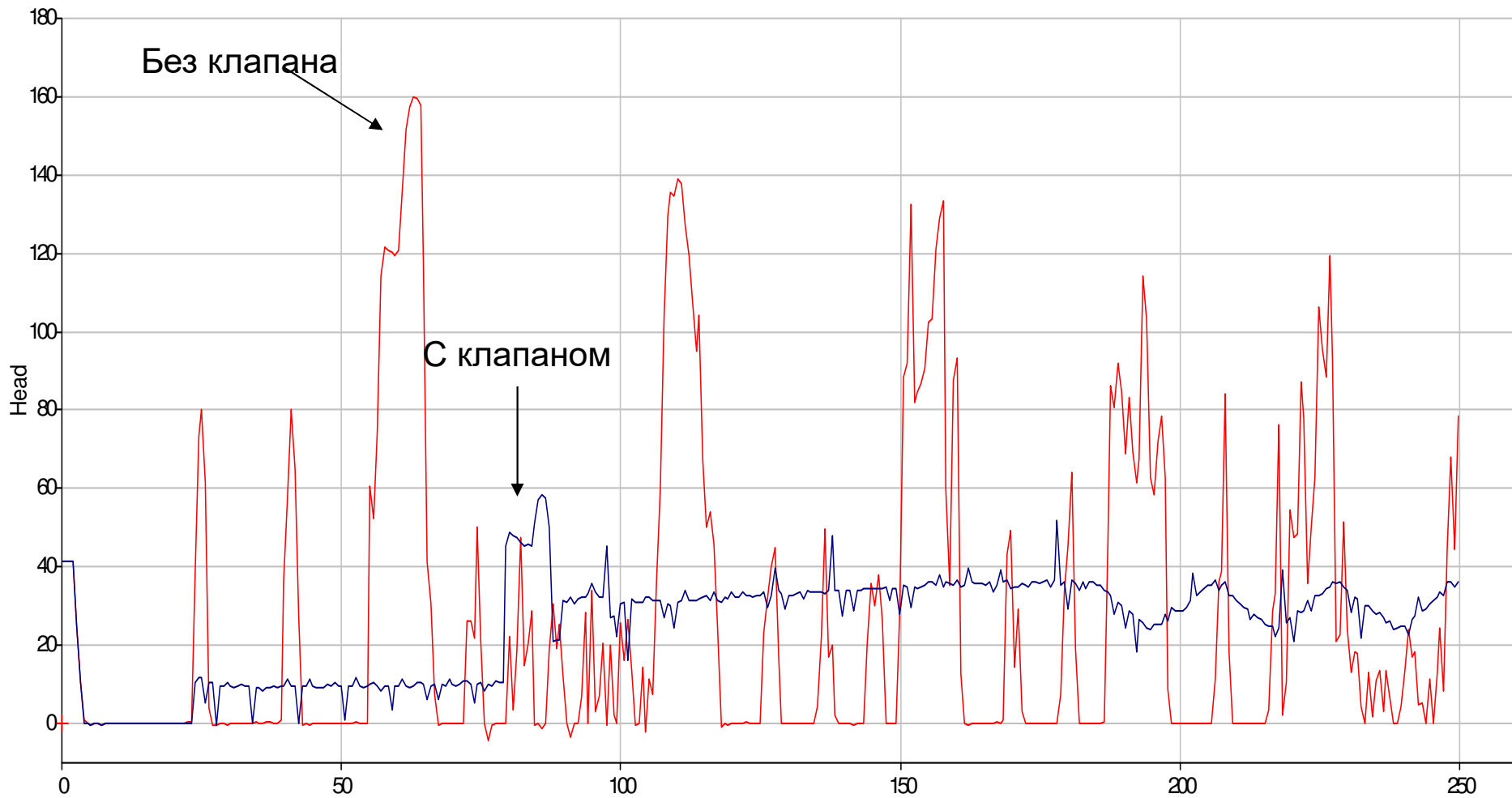
- a. Пилот низкого давления 3110R
- b. Пилот высокого давления 68710
- c. Гидравлический клапан 2» 09АН
- d. Изолирующий кран 1/2"
- e. Сетчатый фильтр
- f. Игольчатый кран 1/2" – скорость закрытия
- g. Игольчатый кран 1/4" – симуляция низкого давления
- h. Манометр





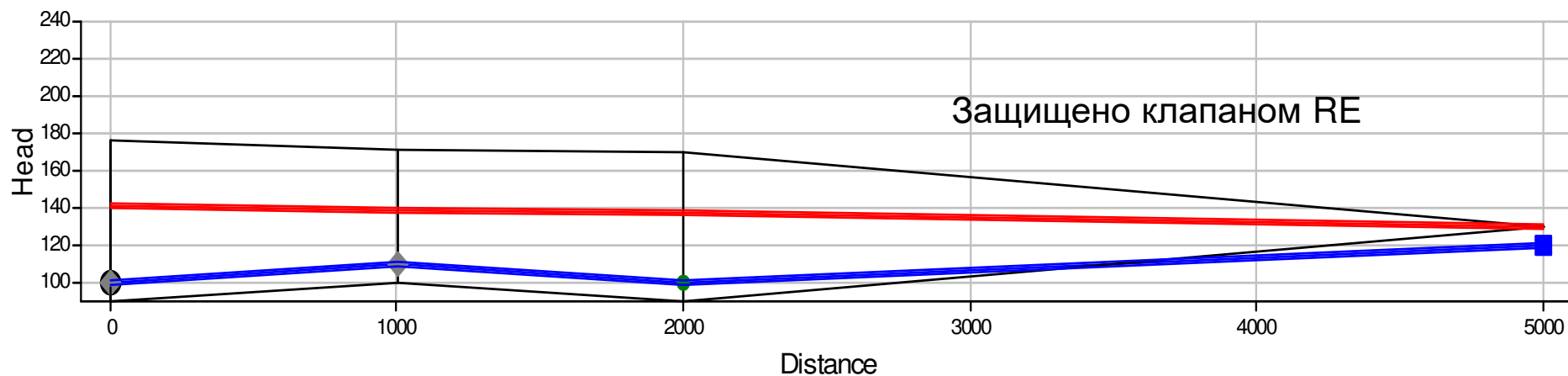
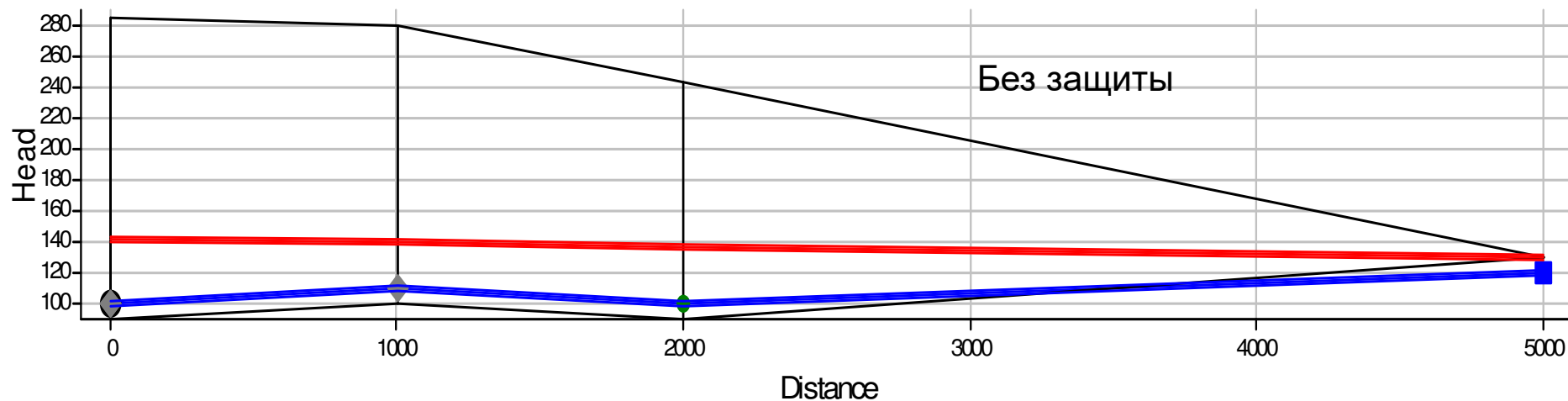
# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара ДУ300

## Сравнение максимального давления





# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара ДУ300





# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара ДУ300

## Расход через клапан





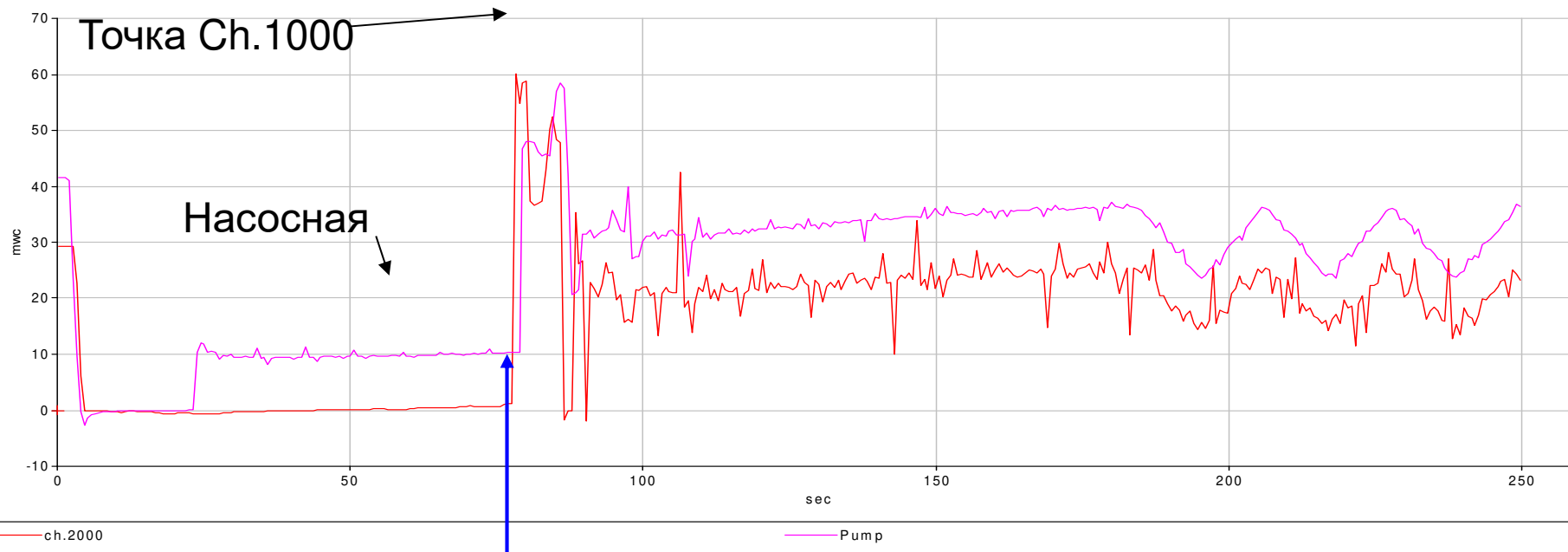


## Пример 5

Эффект от закрытия  
воздушного клапана

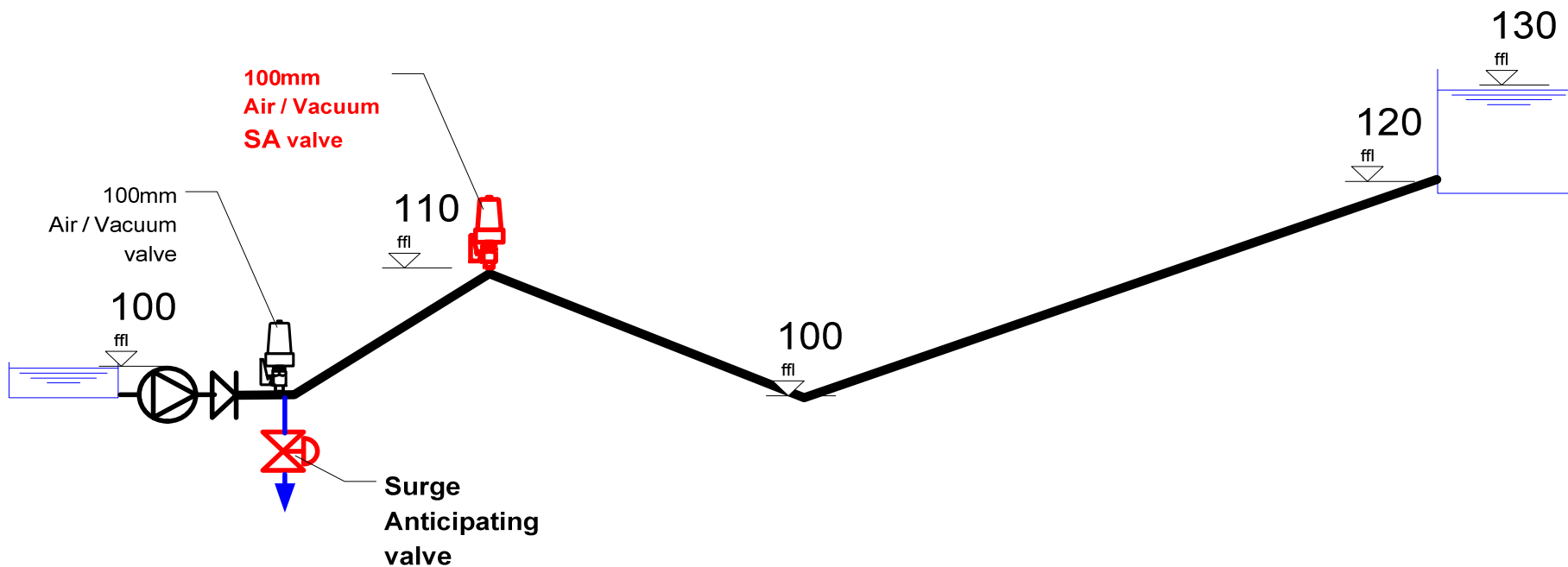


# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара





# Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара и воздушный клапан с добавкой SA





Отключение насоса, клапан предотвращения гидроудара и воздушный клапан с добавкой SA

Функции устройства предотвращения гидроудара  
воздушного клапана:

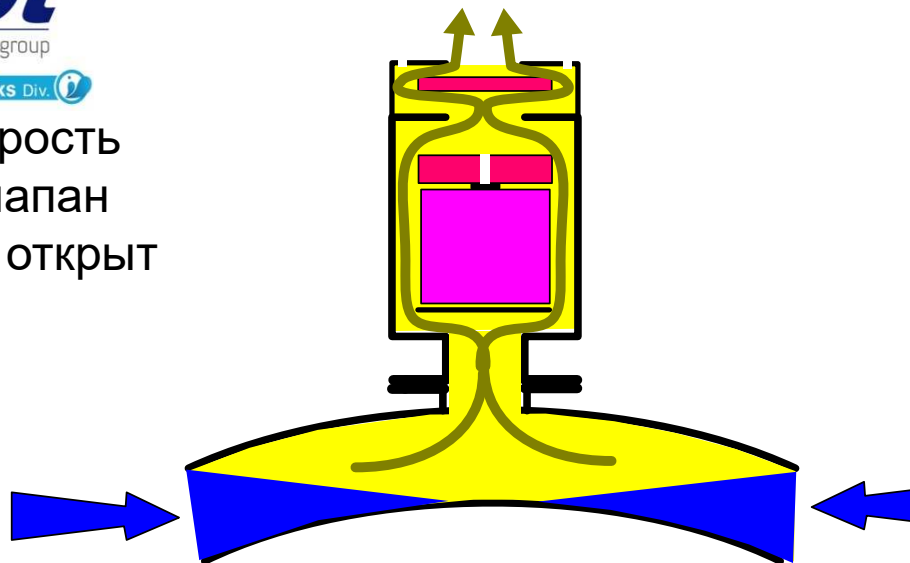
- a. Обеспечивает **неограниченный** впуск воздуха
- b. **Ограничивает** выпуск воздуха до объемной скорости, соответствующей **безопасной** скорости движения воды.



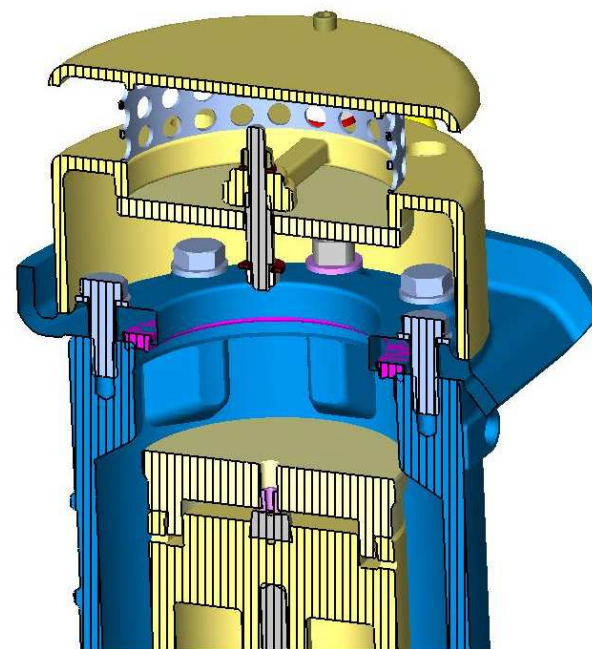
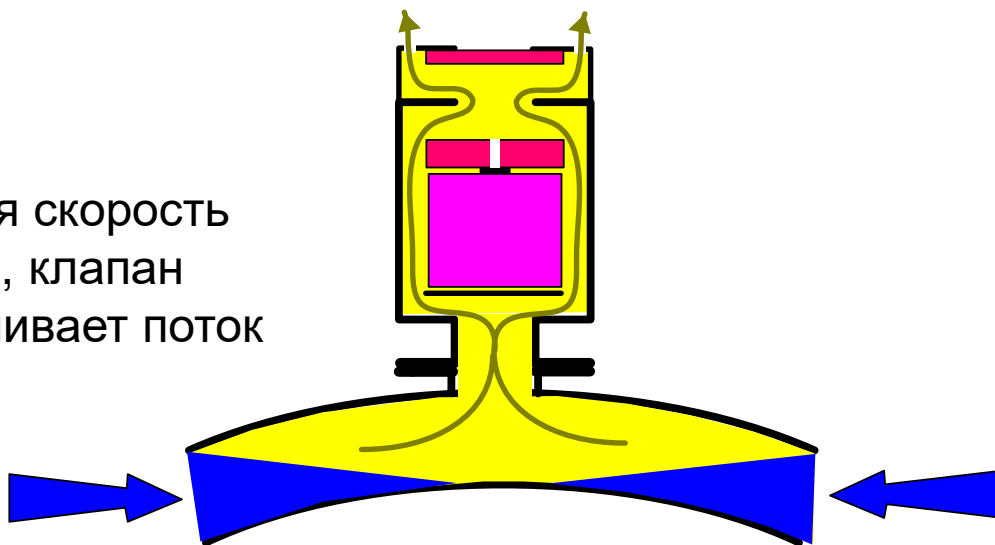
# Воздушный клапан с добавкой предотвращения гидроудара SA

## Принцип работы

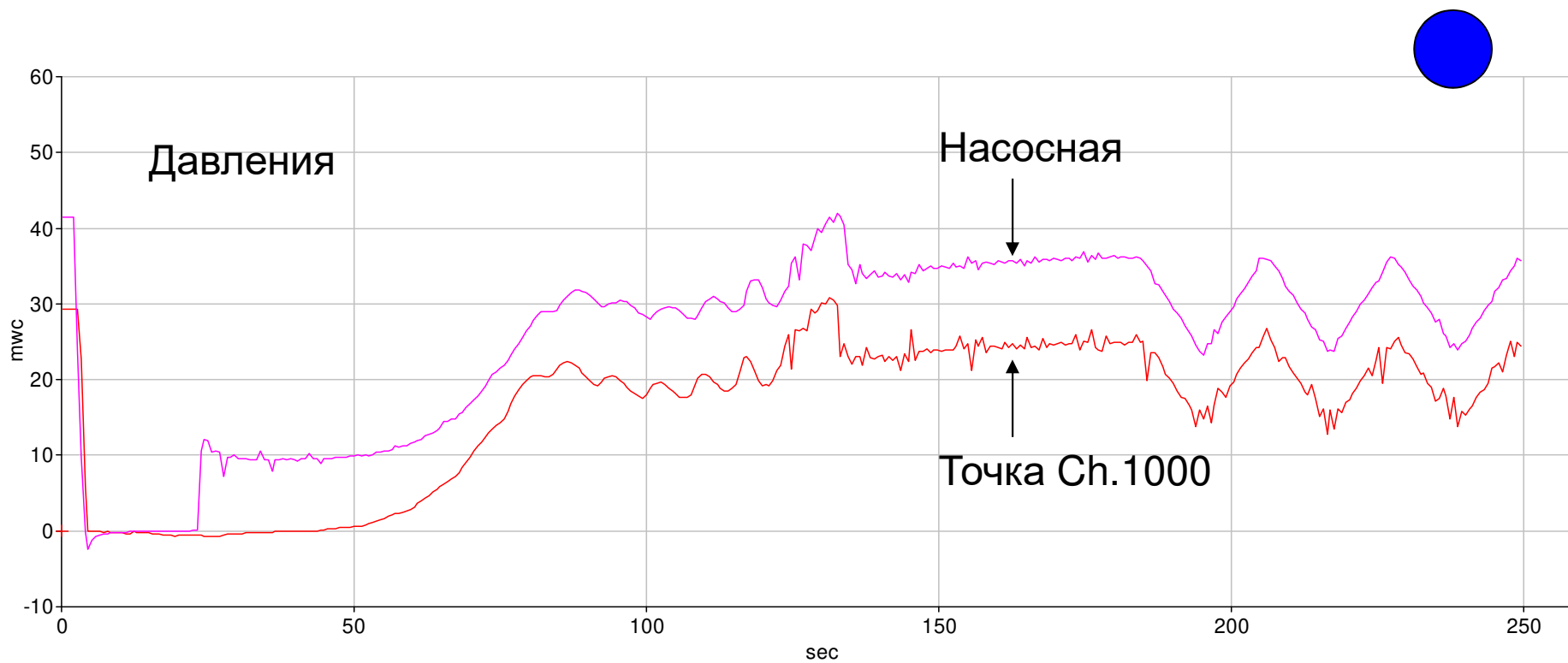
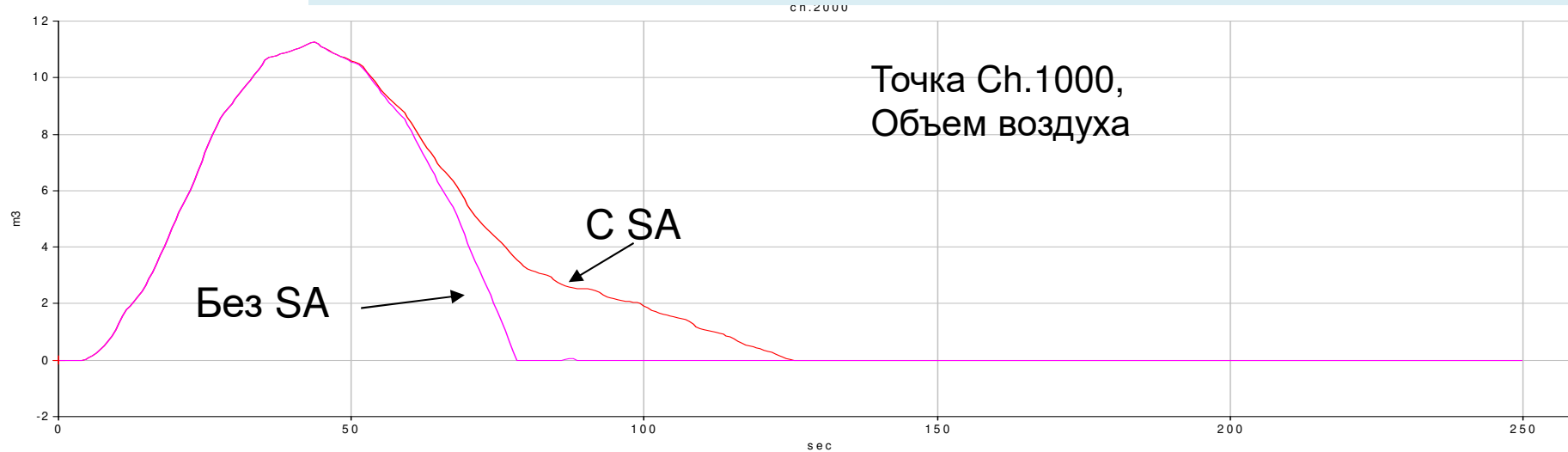
Низкая скорость  
воздуха, клапан  
полностью открыт



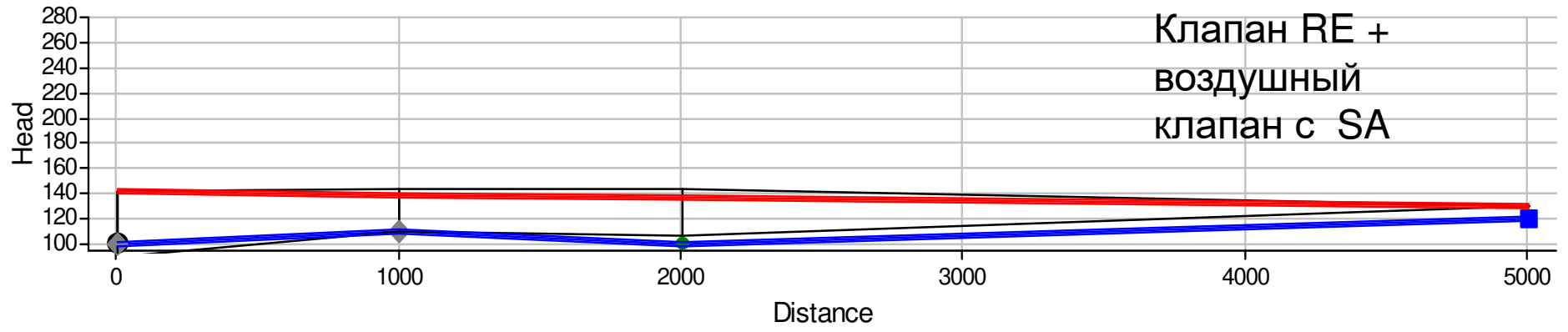
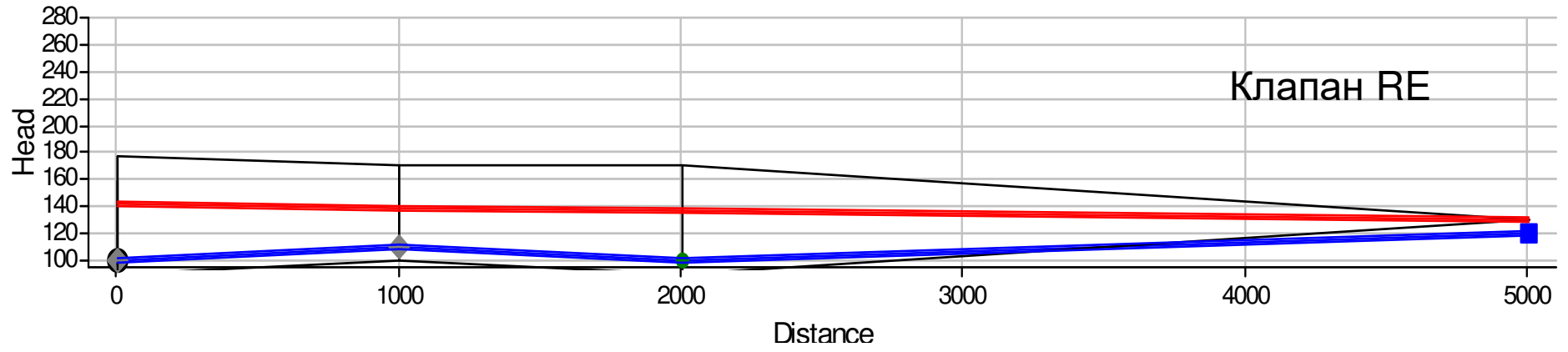
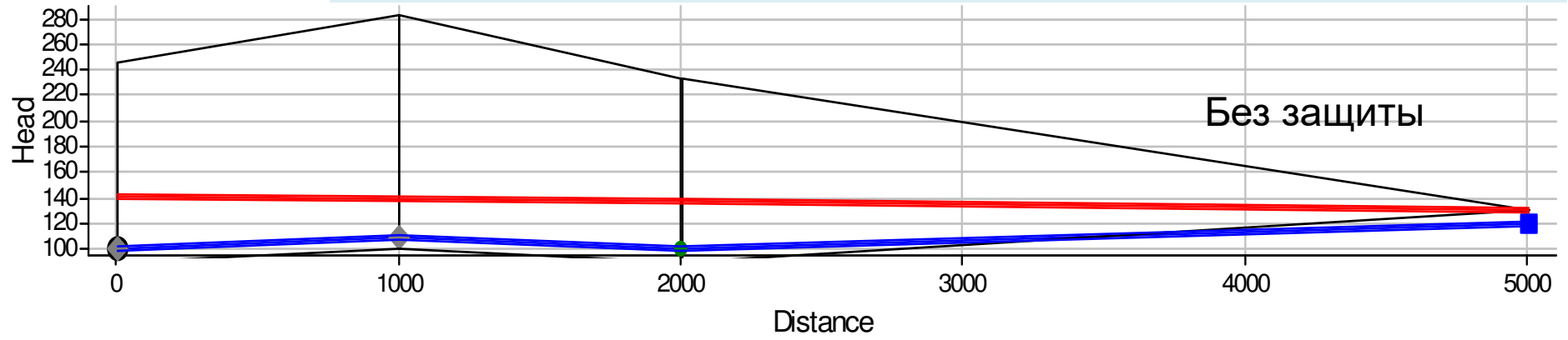
Высокая скорость  
воздуха, клапан  
ограничивает поток



# Отключение насоса, защита воздушный клапан с добавкой SA



# Отключение насоса, защита воздушный клапан с добавкой SA





## Пример 6

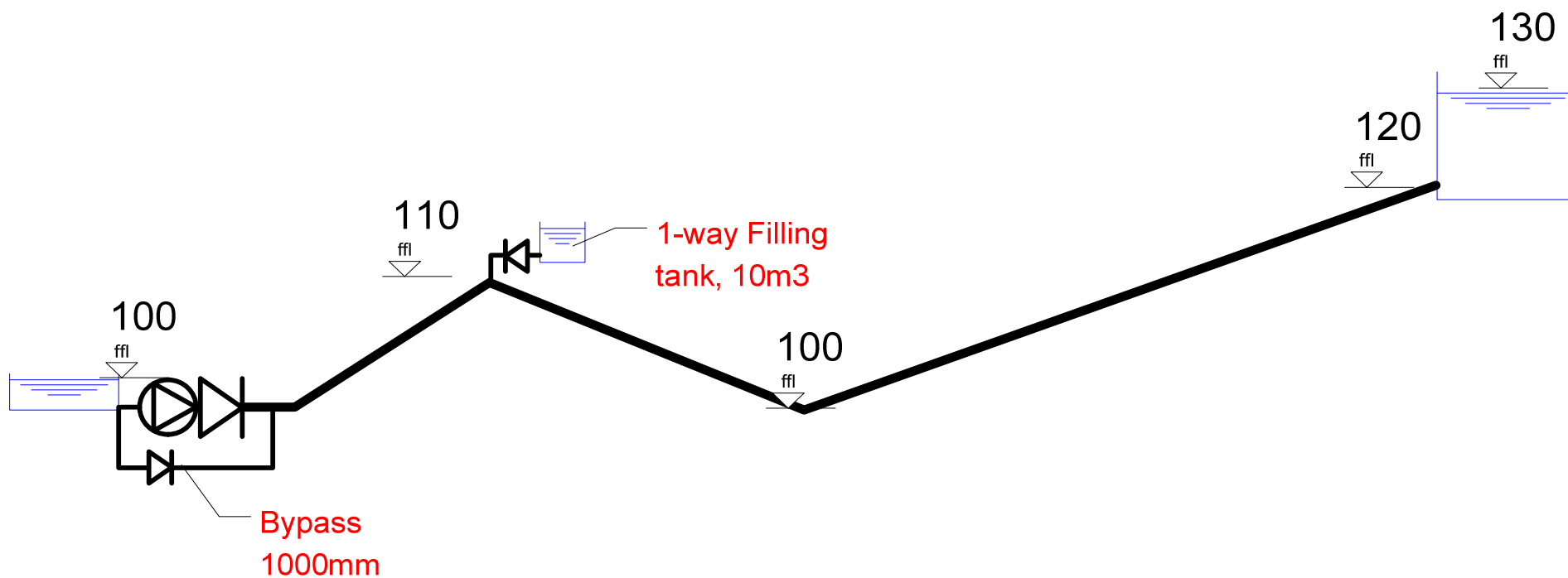
Одностороннее наполнение  
емкости

Байпас насоса





Отключение насоса, без защиты, одностороннее наполнение, байпас на насосной





## Функции емкости с односторонним наполнением:

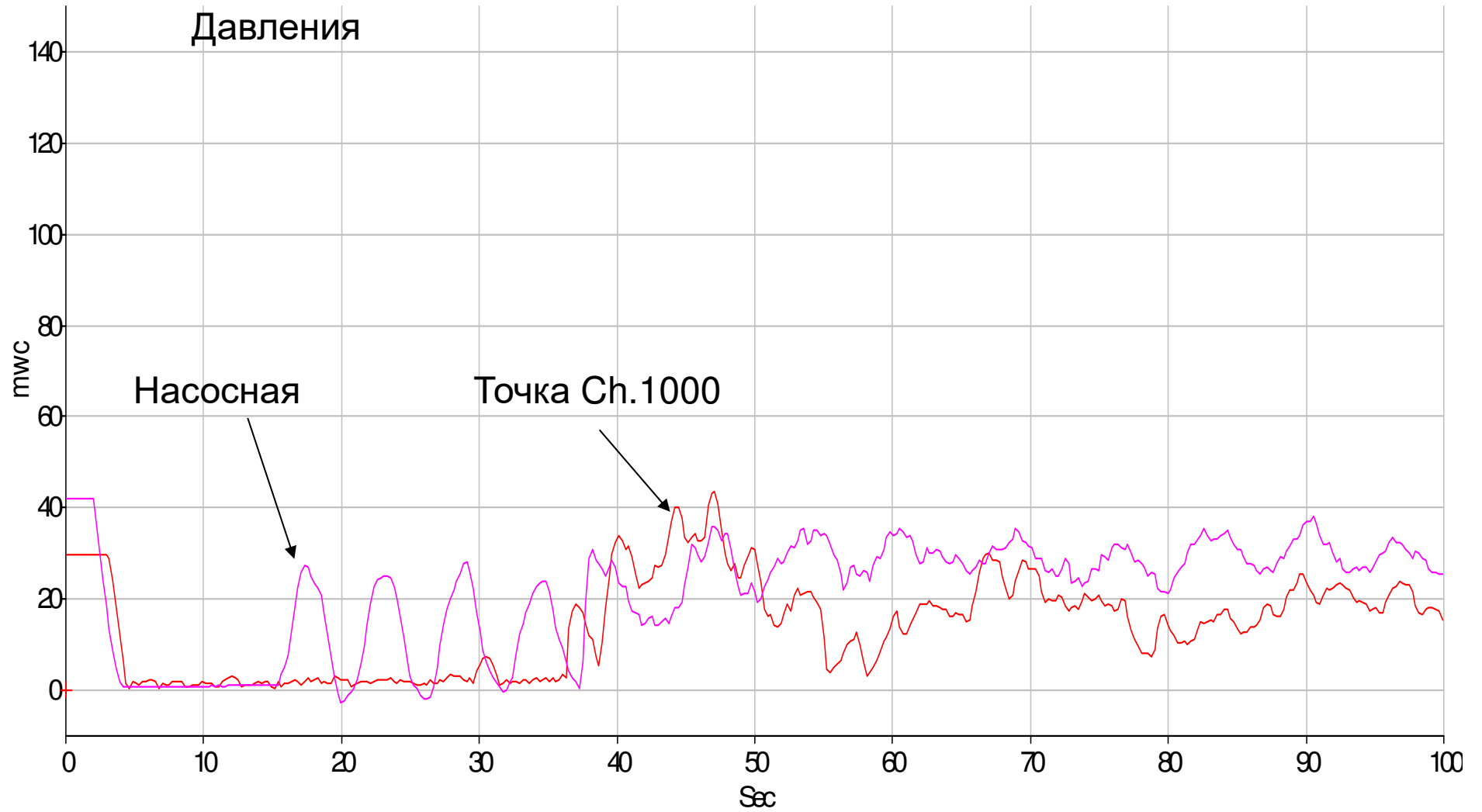
- a. **Предотвращение** отрицательного давления в месте ее расположения впуском воды в трубопровод, когда давление падает ниже атмосферного
- b. **Медленное** наполнение при нормальной работе системы

## Функции байпаса на насосной:

- a. Предотвращение отрицательного давления на насосной впуском воды в главную трубу, когда давление становится ниже давления всасывания насоса
- b. **Обратный клапан** закрывает байпас при работе насоса



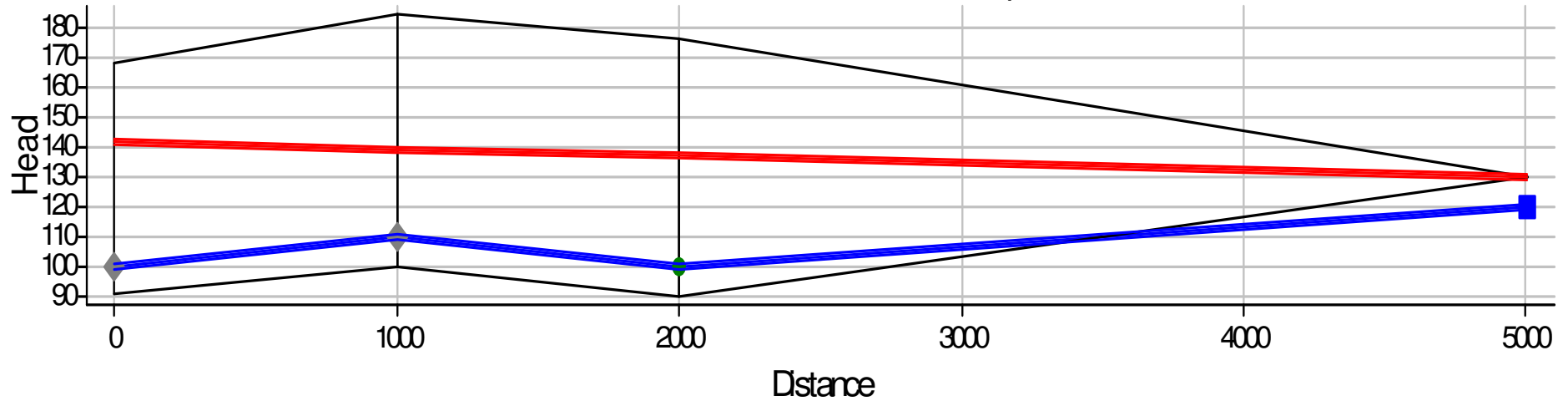
Отключение насоса, без защиты, одностороннее наполнение,  
байпас на насосной



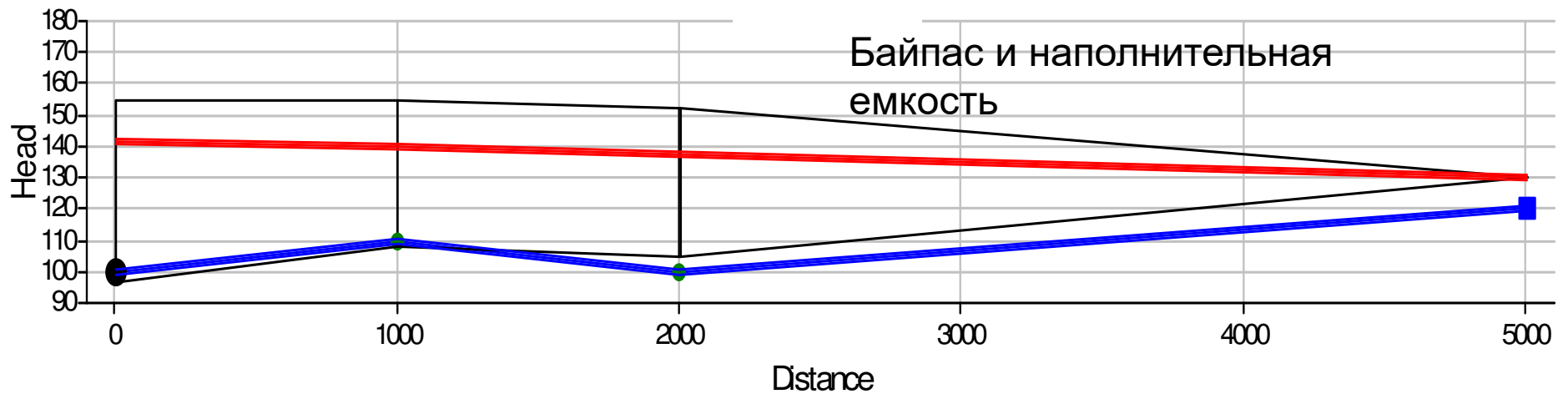


Отключение насоса, без защиты, одностороннее наполнение,  
байпас на насосной

Без защиты



Байпас и наполнительная  
емкость



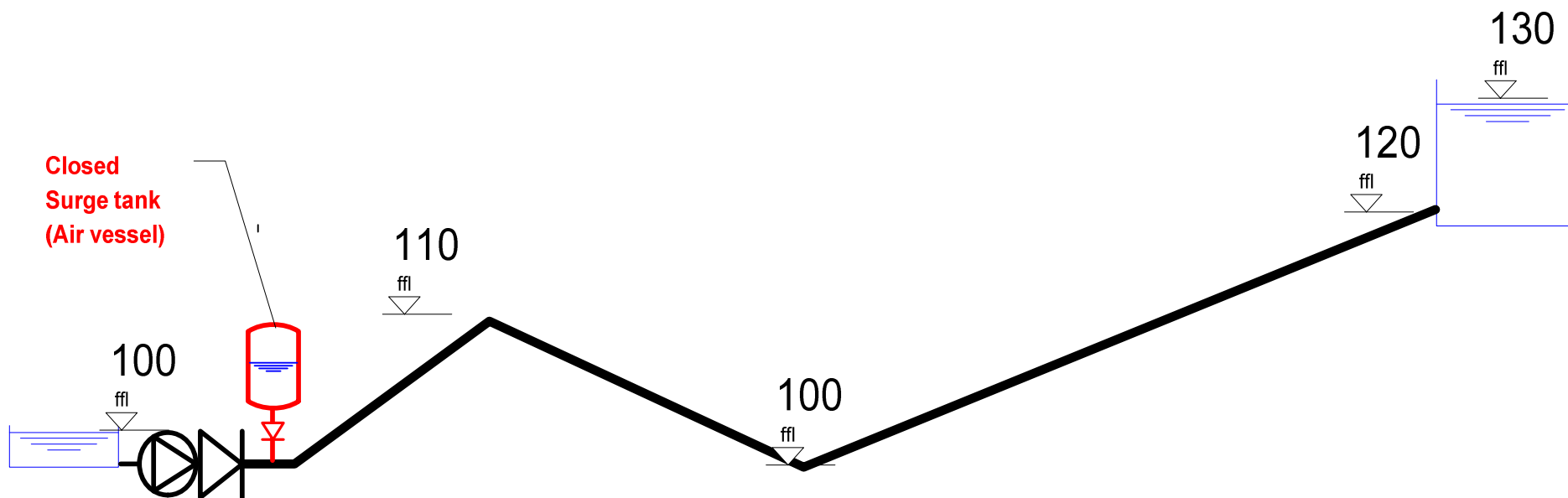


## Пример 7

Эффект от закрытой емкости  
для гашения гидроудара



# Отключение насоса, защита закрытой емкостью (воздушная емкость)





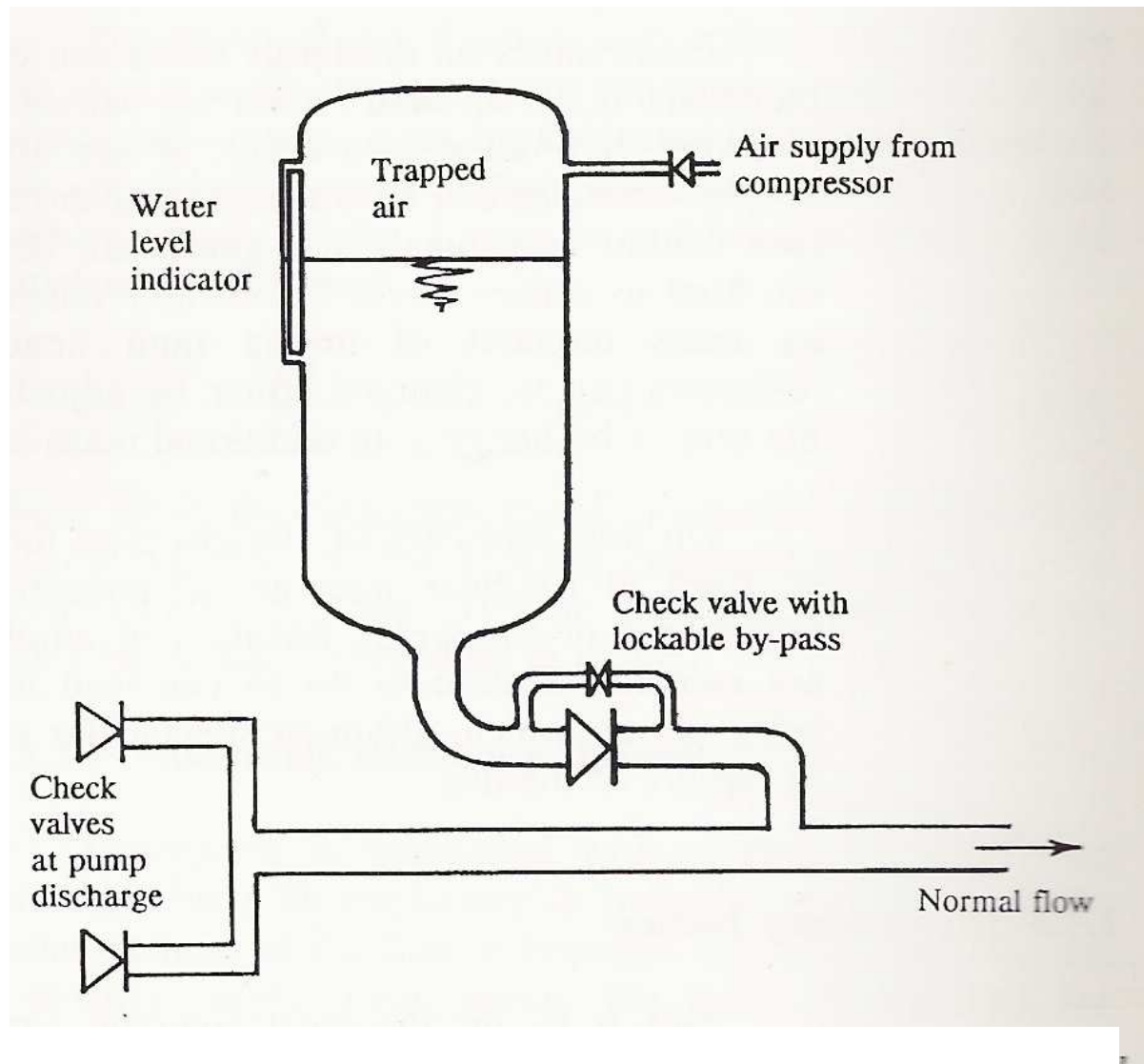
## Функции емкости:

- a. Поддерживать положительное давление в трубопроводе
- b. Рассеивание кинетической энергии обратной волны



# Отключение насоса, защита закрытой емкостью (воздушная емкость)

Закрытая емкость  
Общее описание

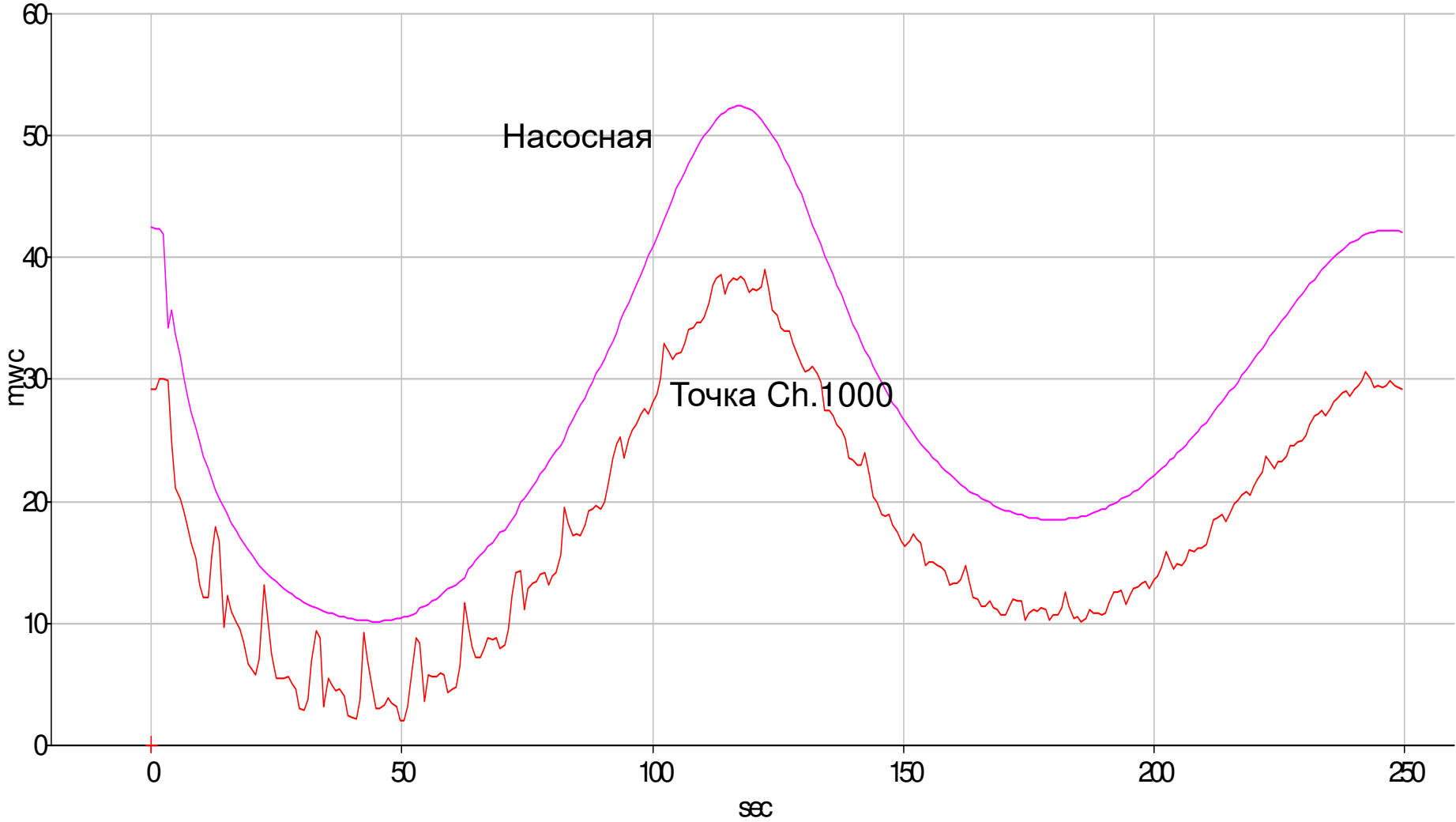




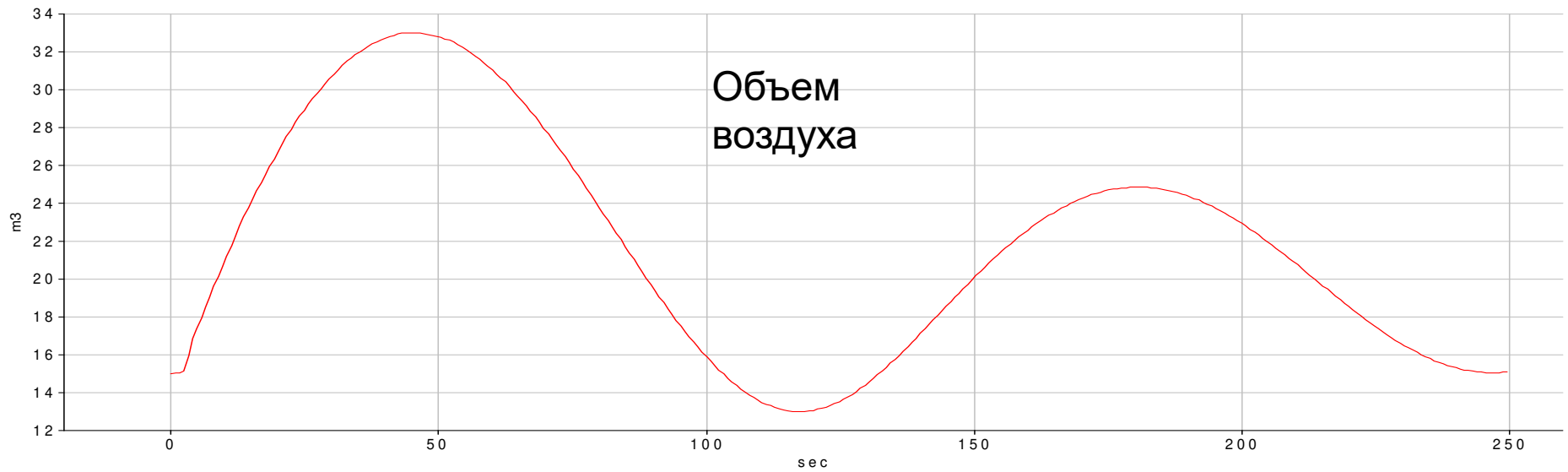
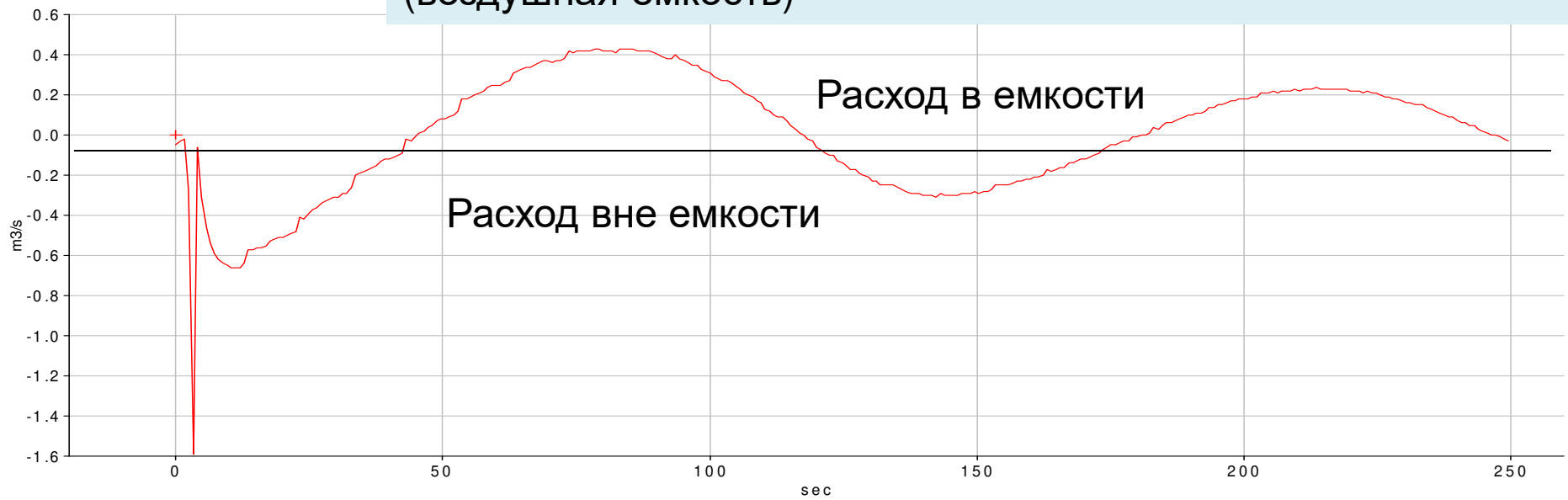


# Отключение насоса, защита закрытой емкостью (воздушная емкость)

Давления

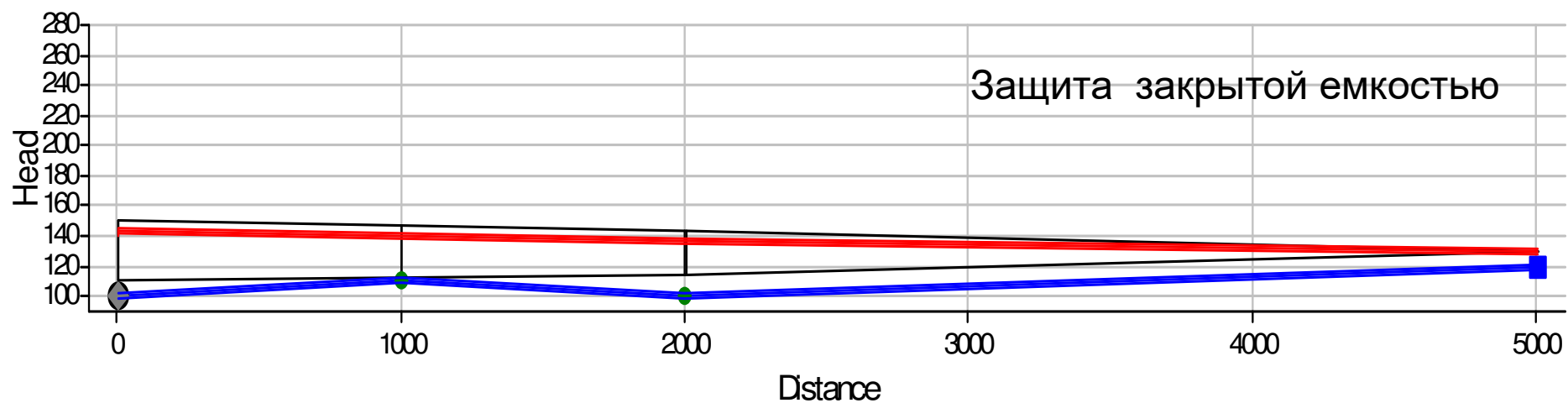
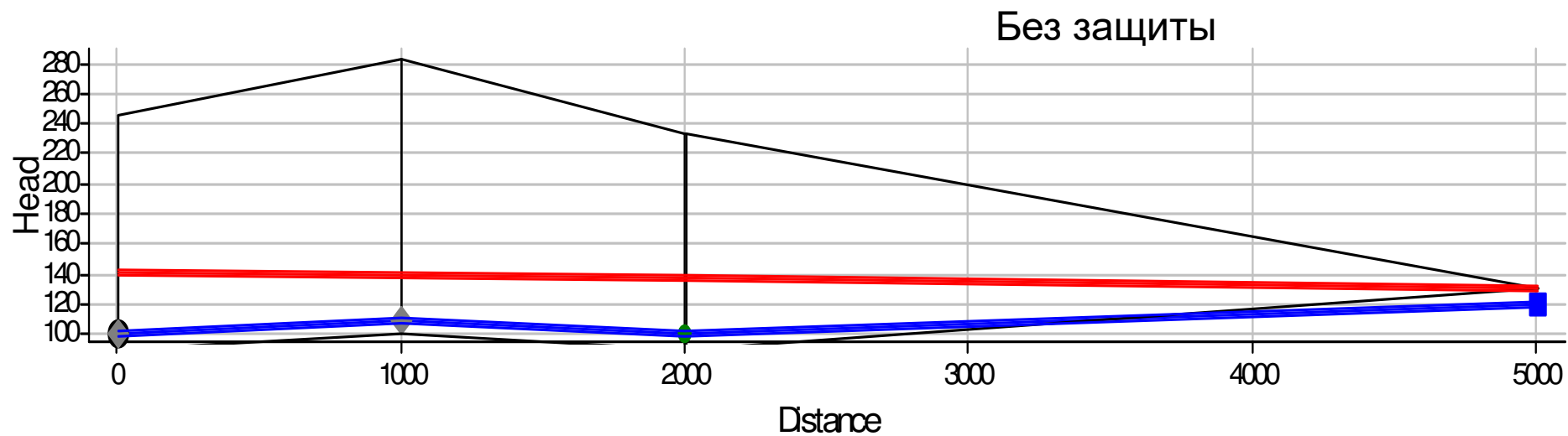


# Отключение насоса, защита закрытой емкостью (воздушная емкость)





## Отключение насоса, защита закрытой емкостью (воздушная емкость)





## Пример 8

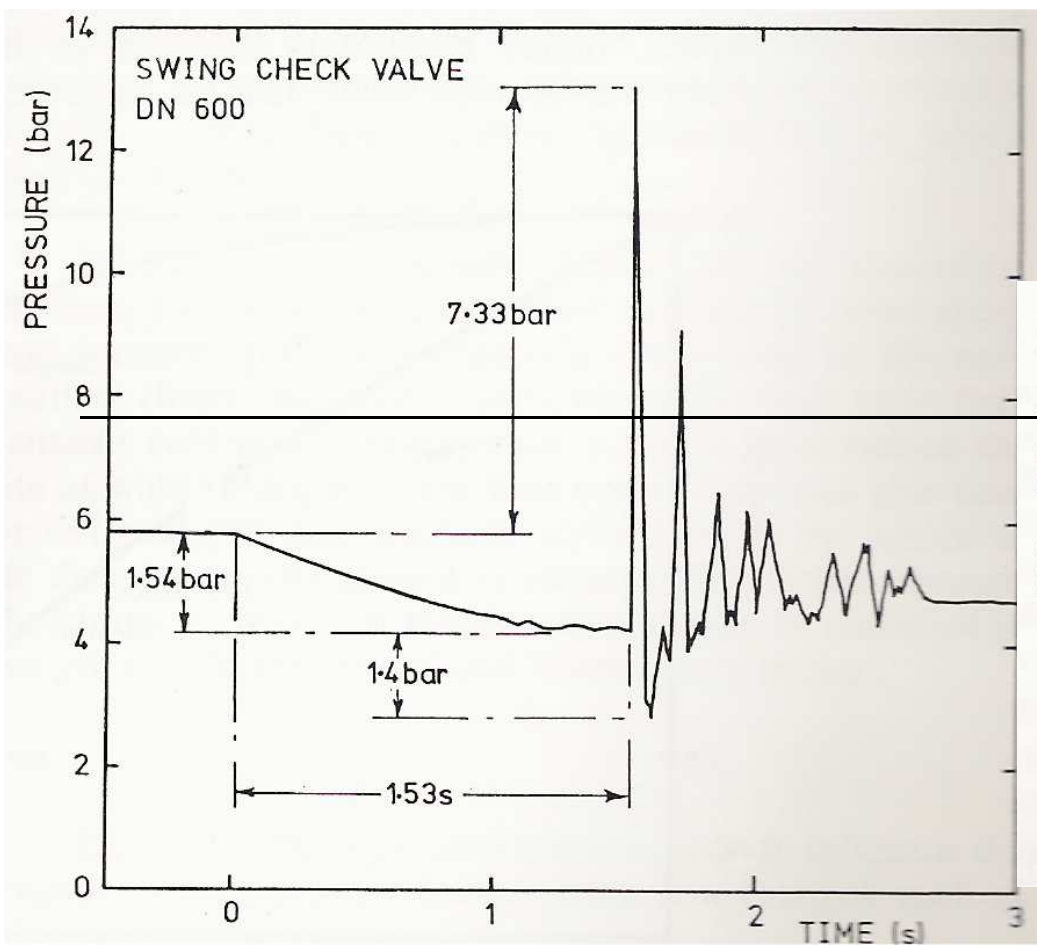
Эффект от обратного клапана



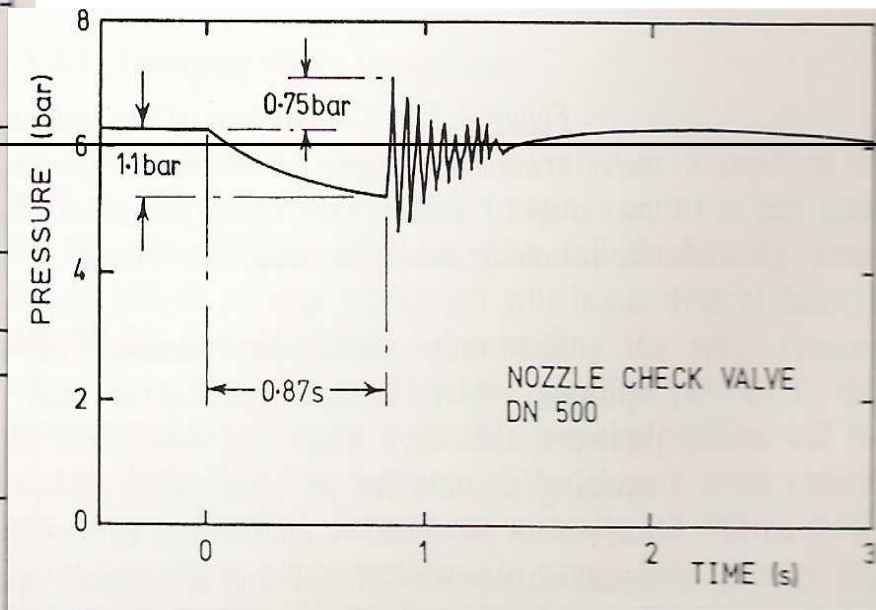
## Динамическая производительность обратного клапана

Волна давления, создаваемая различными типами обратных клапанов:

Поворотный обратный клапан



Обратный клапан с соплами





# Динамическая производительность обратного клапана

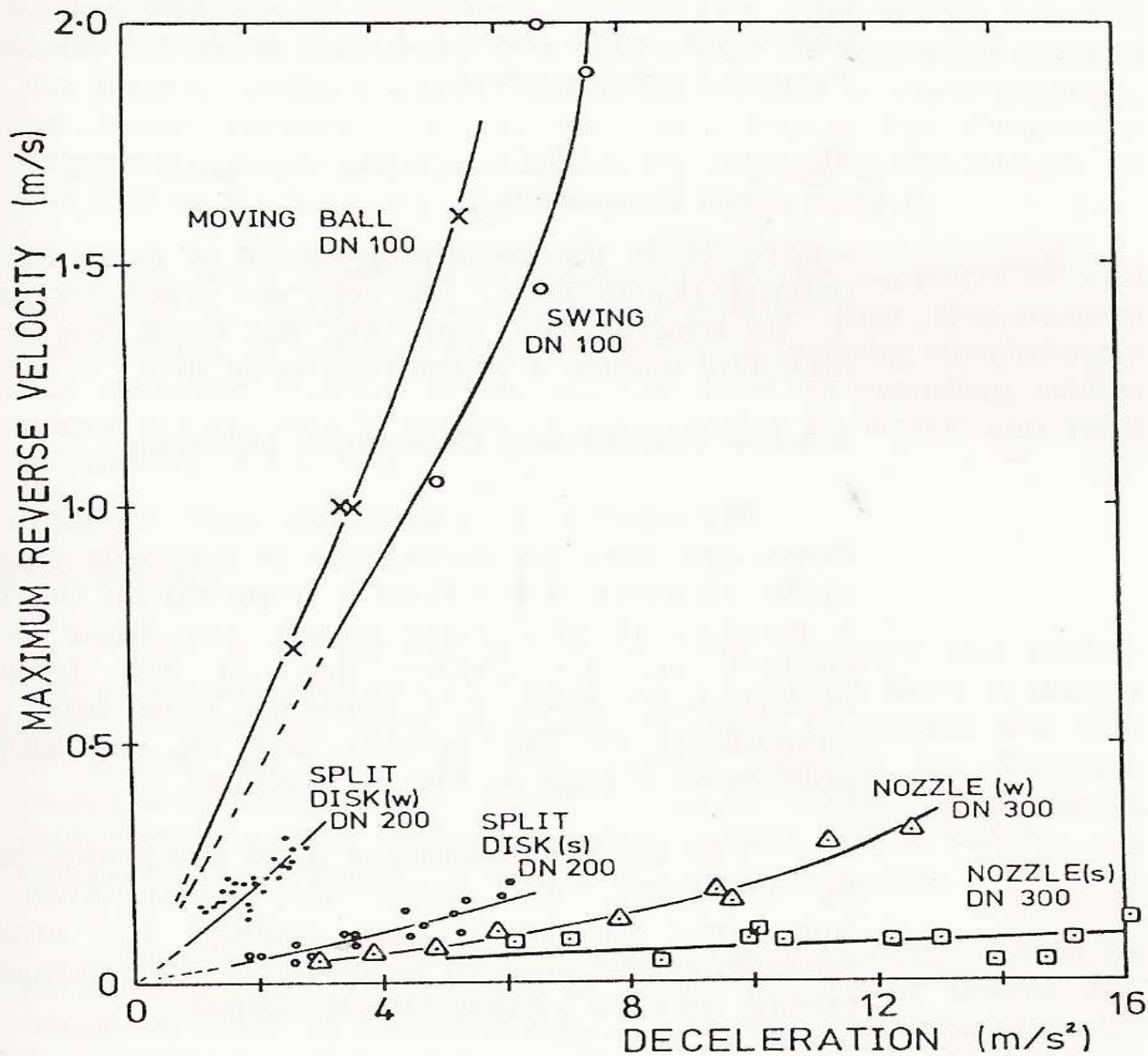


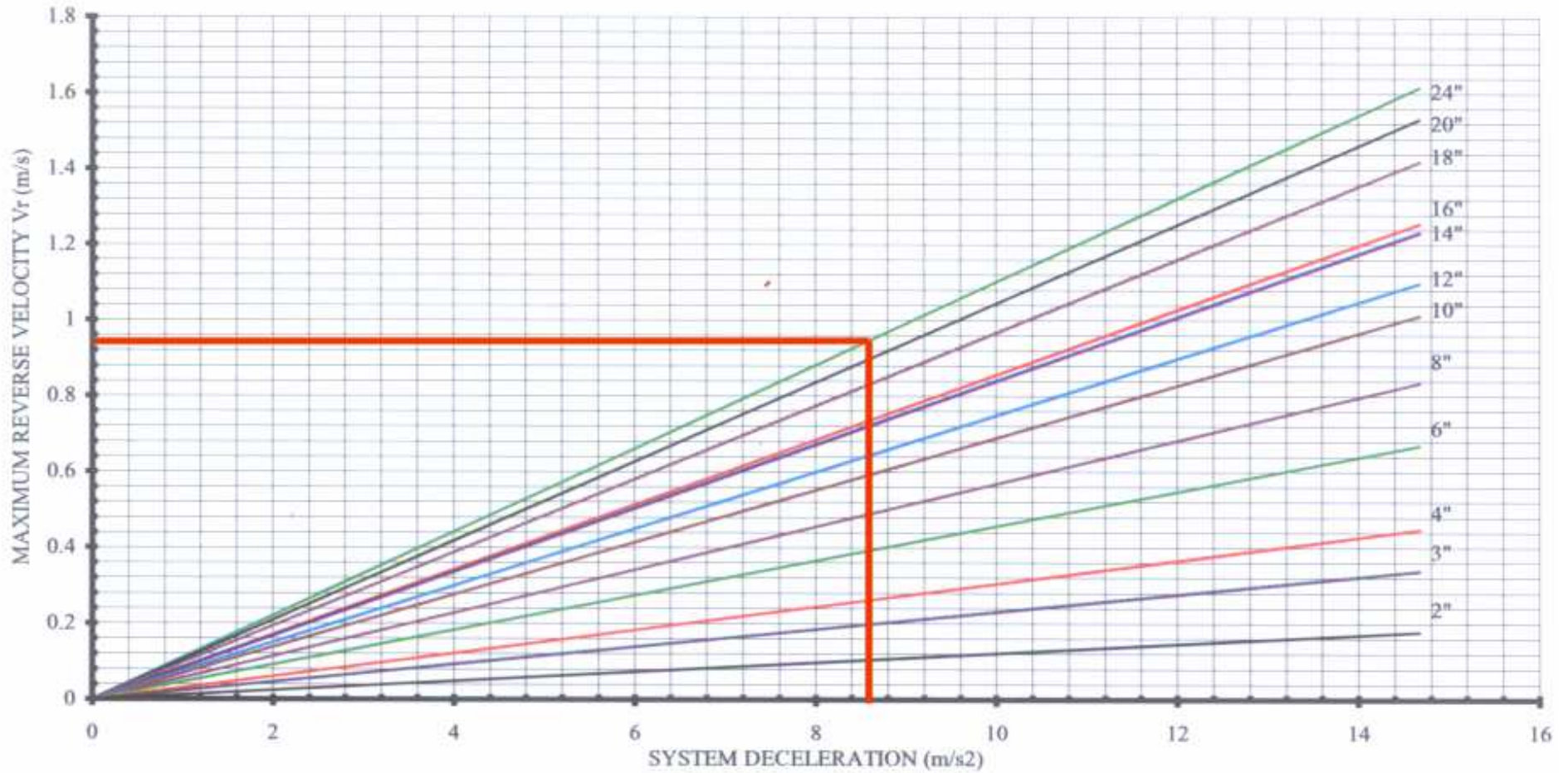
Figure 1.13 Typical dynamic performance characteristics for various types of check valve [(Thorley 1989)].



# Динамическая производительность обратного клапана

Пример кривых замедления  
(Goodwin co., UK)

2" to 24" Class 150/300





Функции обратного клапана с мягкой посадкой:

a. Быстро закрывается на 15-20% от полного открытия

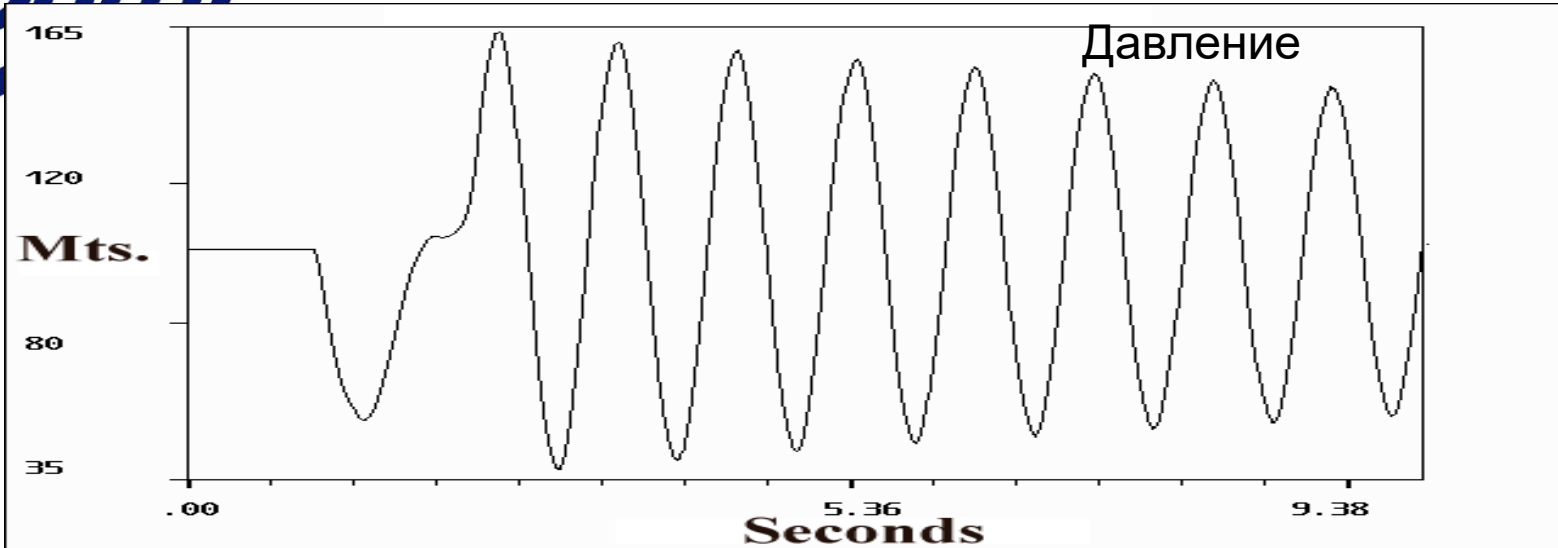
b. Медленно закрывается на остальном пути

**Нельзя использовать там, где запрещено обратное вращение насоса !**

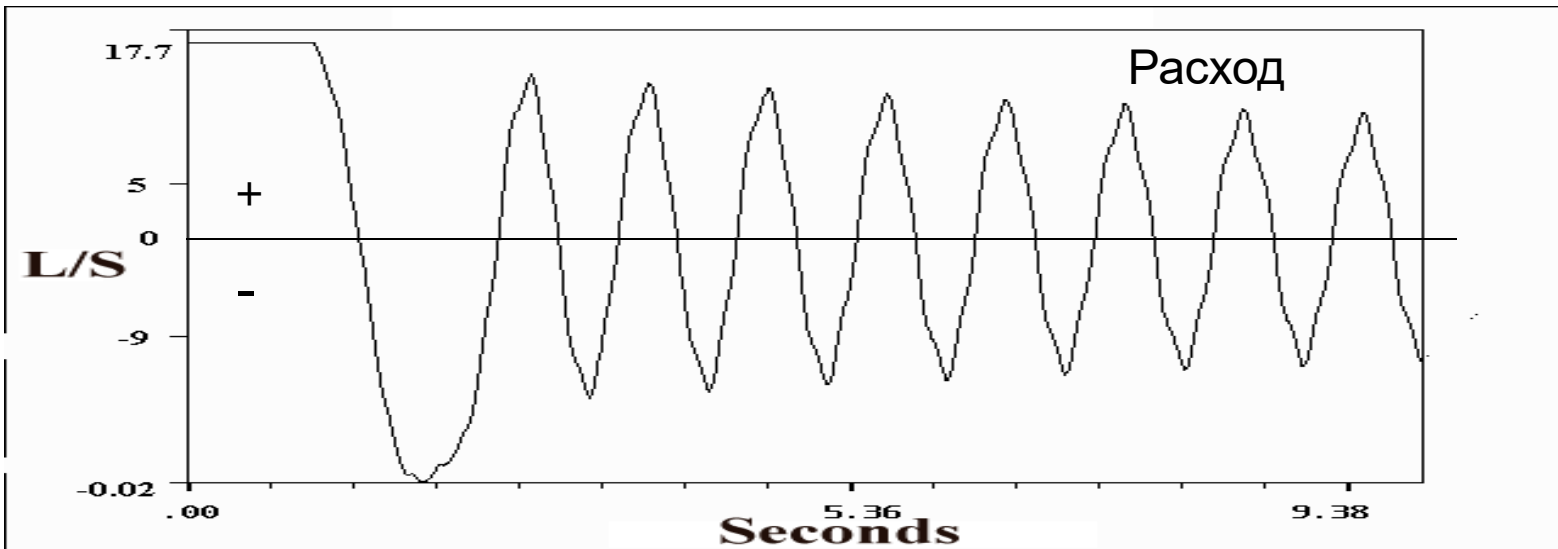




Динамическая производительность поворотного обратного клапана



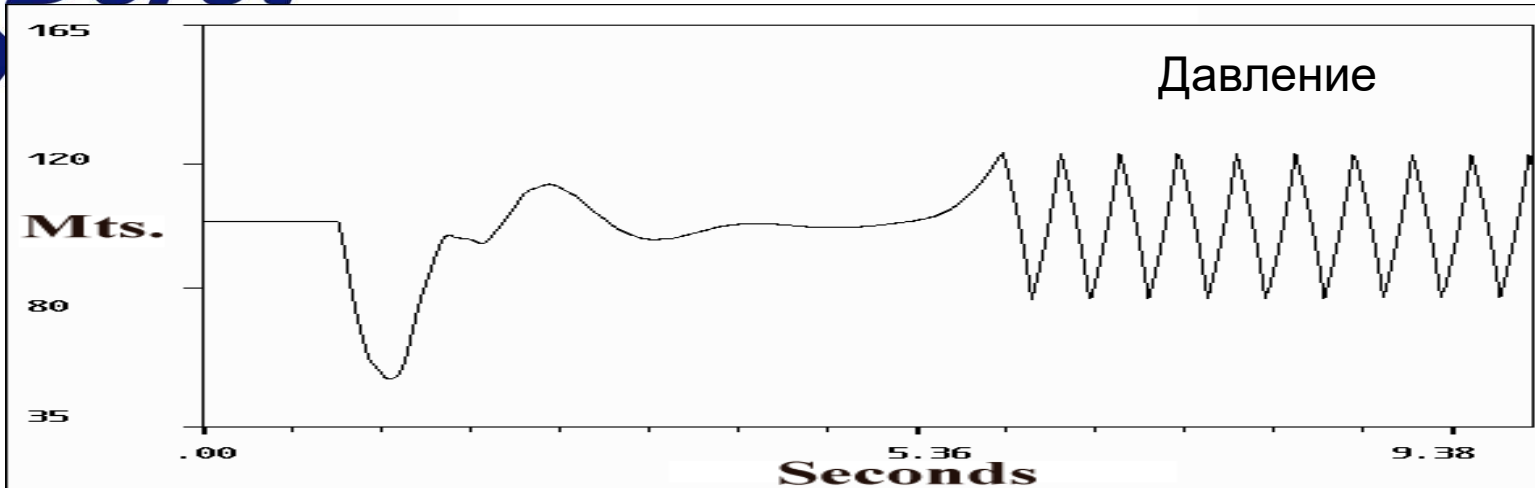
Drawing 2



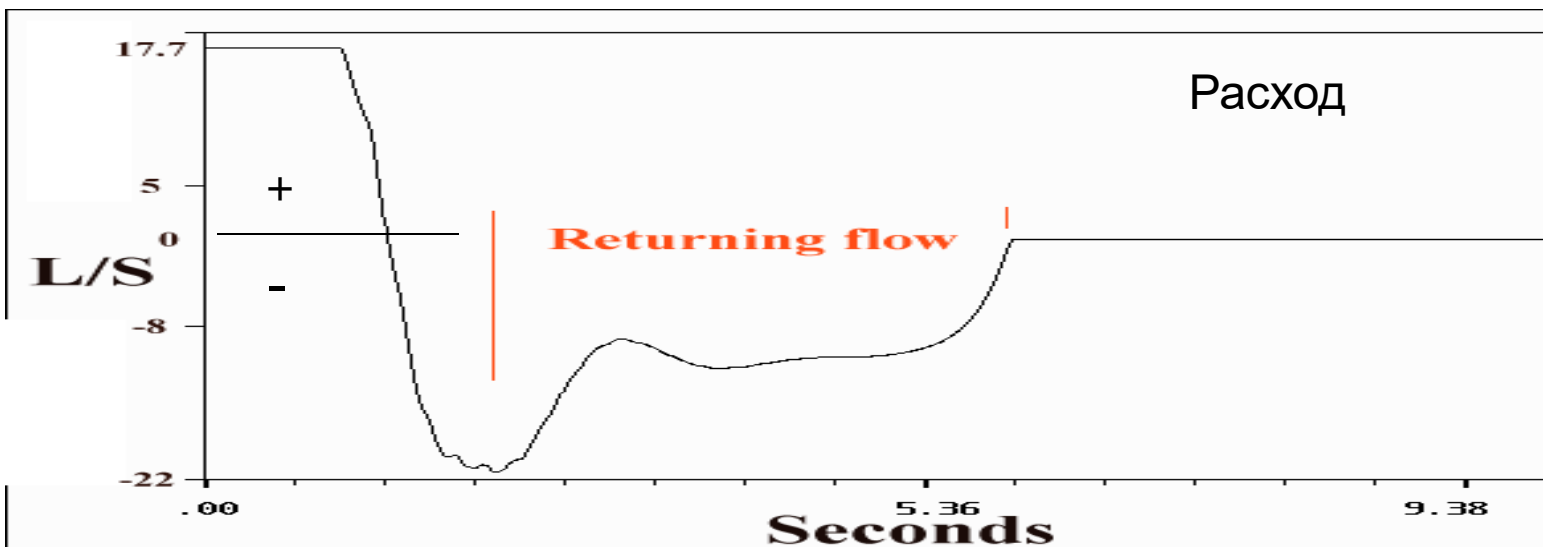
Drawing 3



Динамическая производительность обратного клапана с мягкой посадкой

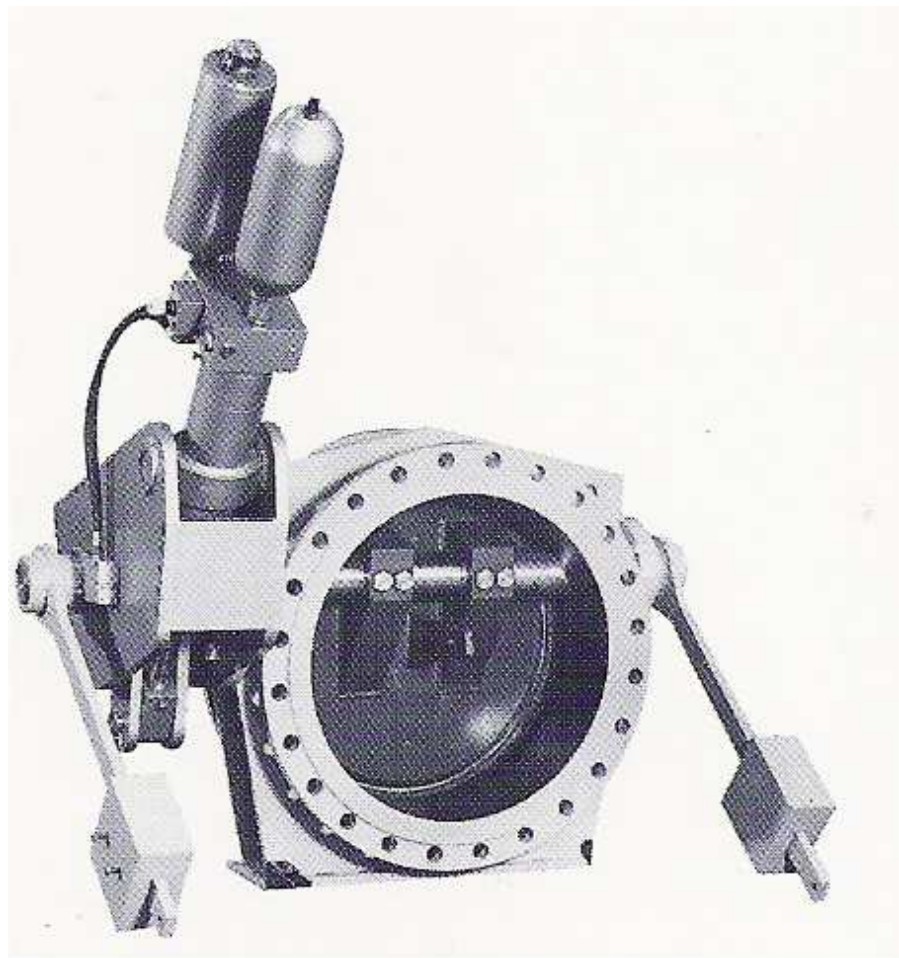
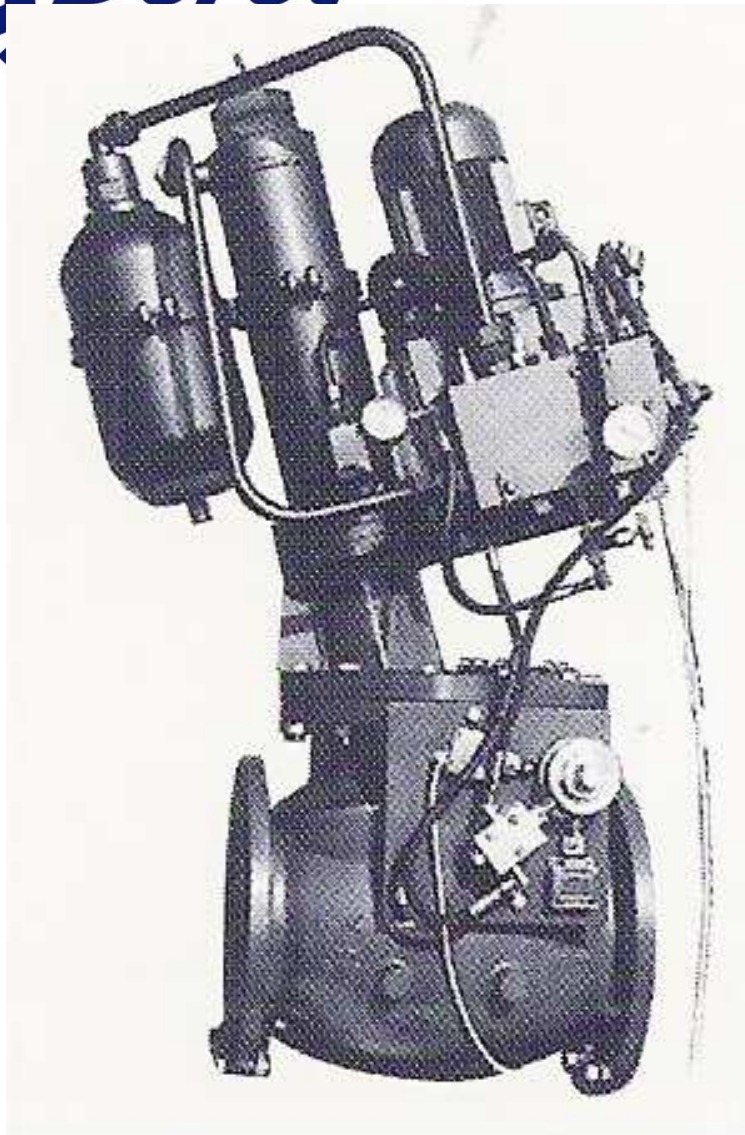


Drawing 4



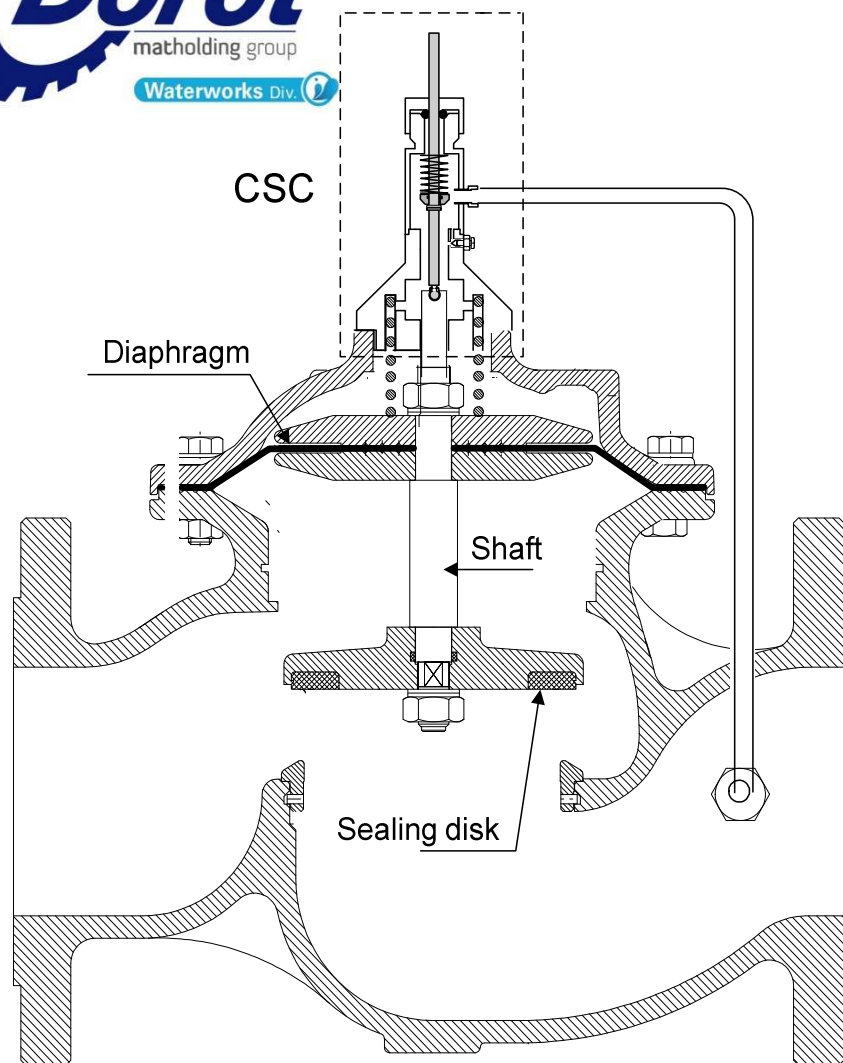


Обратный клапан с мягкой посадкой  
поворотный с газом или маслом





# Гидравлический обратный клапан с мягкой посадкой





Пример 9

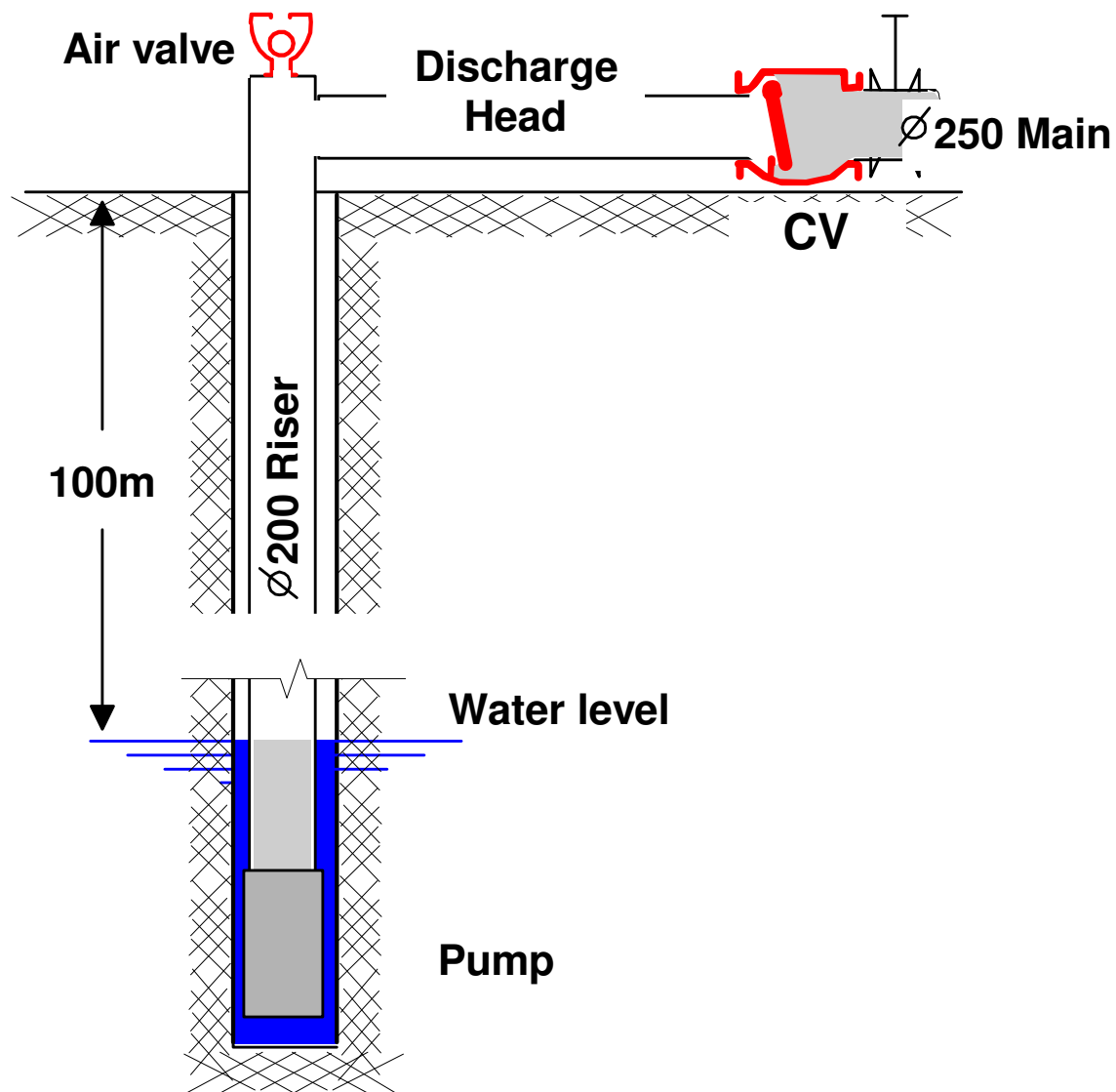
Запуск глубинного насоса



# Скважина

## Пример:

- Скважина, уровень воды 100 м ниже поверхности. Насос подает воду в трубу 250 мм длиной 1000 м.
- Труба заканчивается емкостью, расположенной на 50 м выше насоса
- Рабочая точка насоса 200 м<sup>3</sup>/ч при 158 м.
- Скважина заполняется водой за 50 сек. после запуска насоса.





## Скважина



Этап 1-(0-49 сек.)

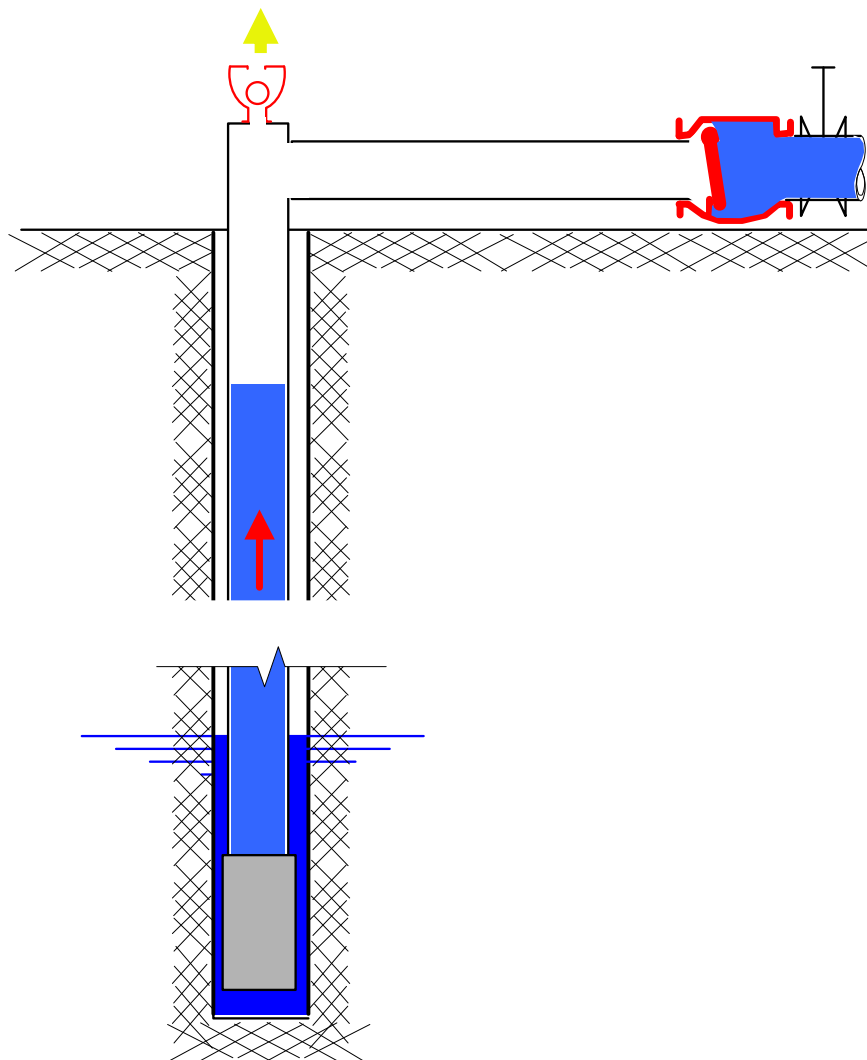
### Запуск насоса,

### заполнение скважины:

Вода начинает заполнять воздушный карман между уровнем воды и обратным клапаном.

Давление на насосе ниже, а расход выше, чем на нормальной рабочей точке.

Обратный клапан закрыт. Воздушный клапан открыт, воздух выходит из скважины.



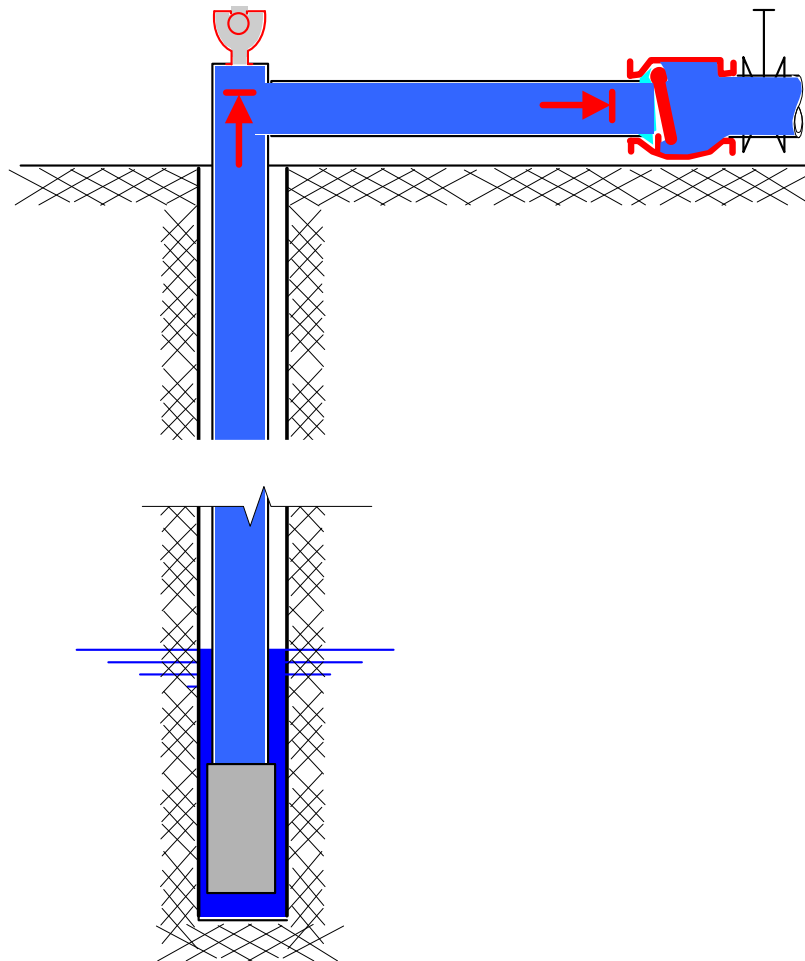
Этап 2- (Секунда 50.)

**Скважина заполнилась:**

Воздушный клапан внезапно закрывается, когда до него дошла вода.

Расход насоса падает почти до нуля из-за закрытого обратного клапана и массы воды в трубе.

В этот момент **генерируется очень высокая волна высокого давления** (в данном конкретном примере на 100м выше нормального рабочего давления).





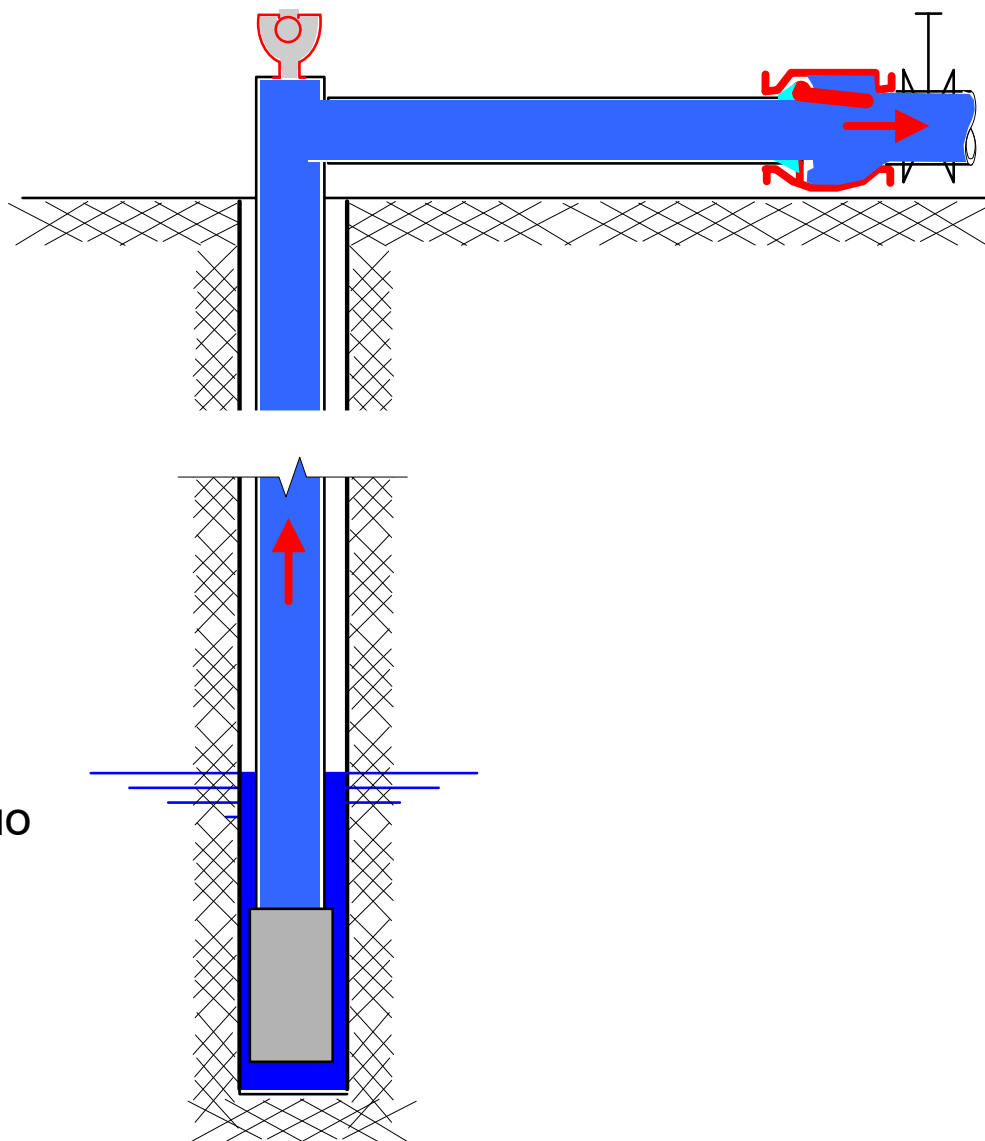


**Этап 3 - (51-70 сек.)**

**Вода начинает движение по трубопроводу**

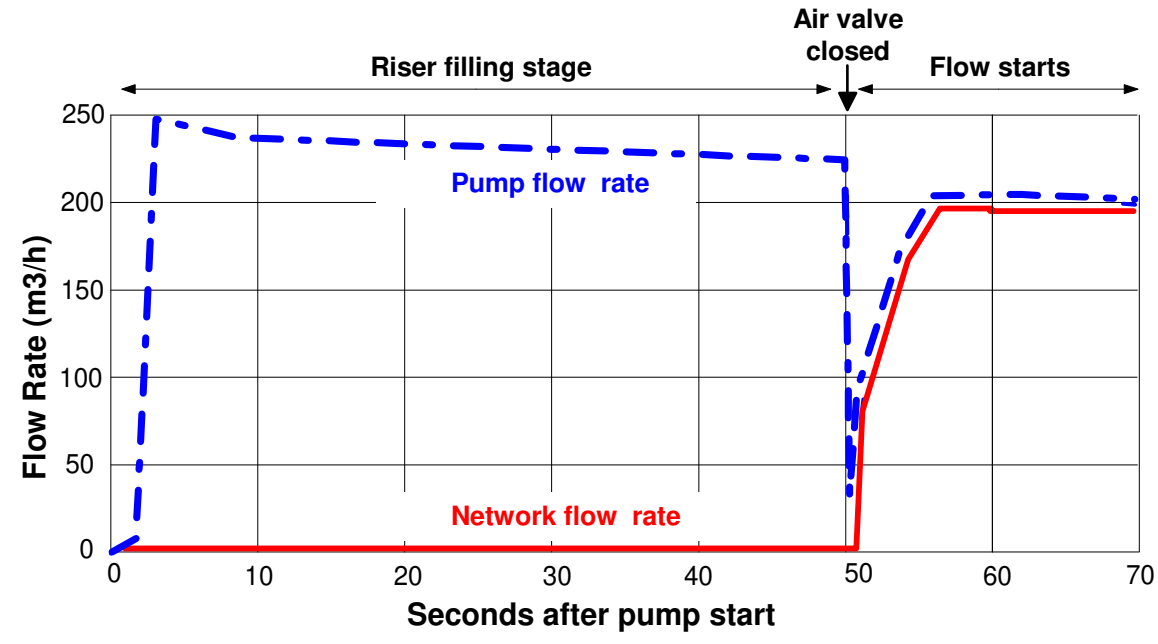
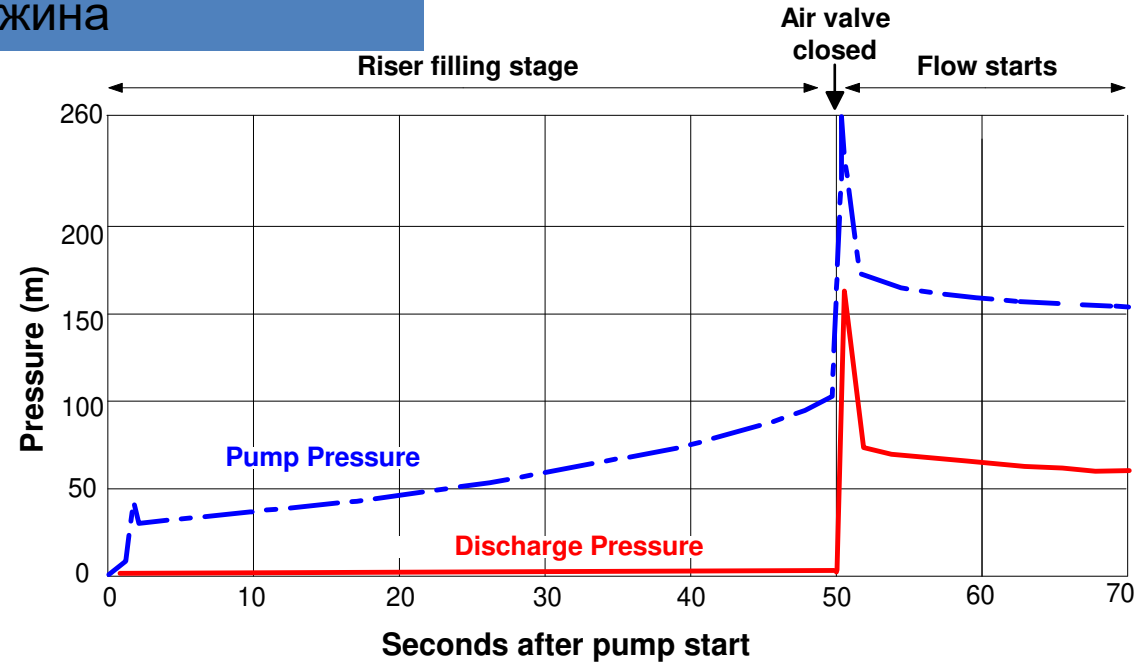
Обратный клапан открывается, когда давление превышает статическое и вода в трубе начинает движение.

Расход достигает расчетной величины, давление постепенно снижается до расчетного.





# Скважина

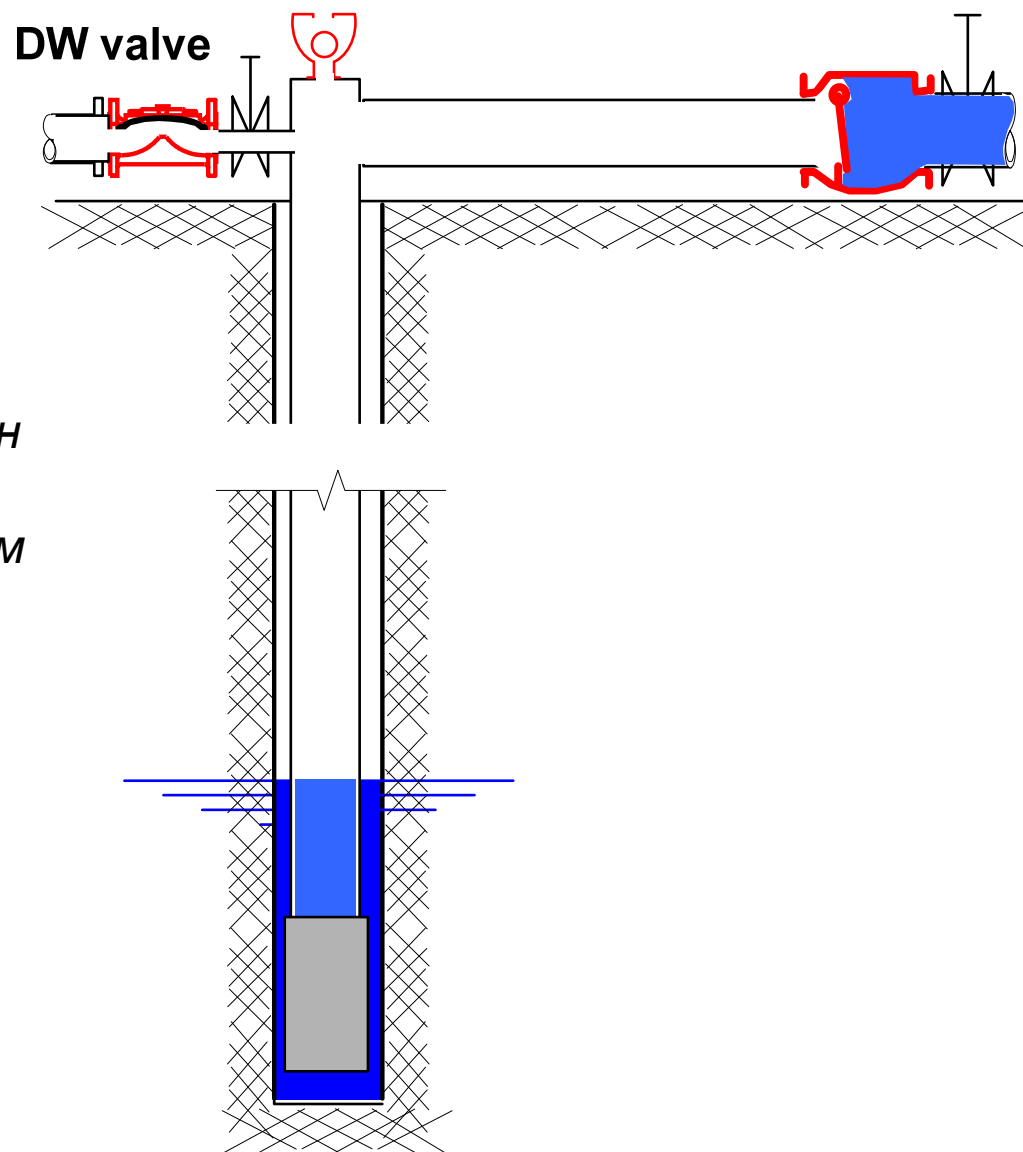




## Функции клапана управления глубинным насосом:

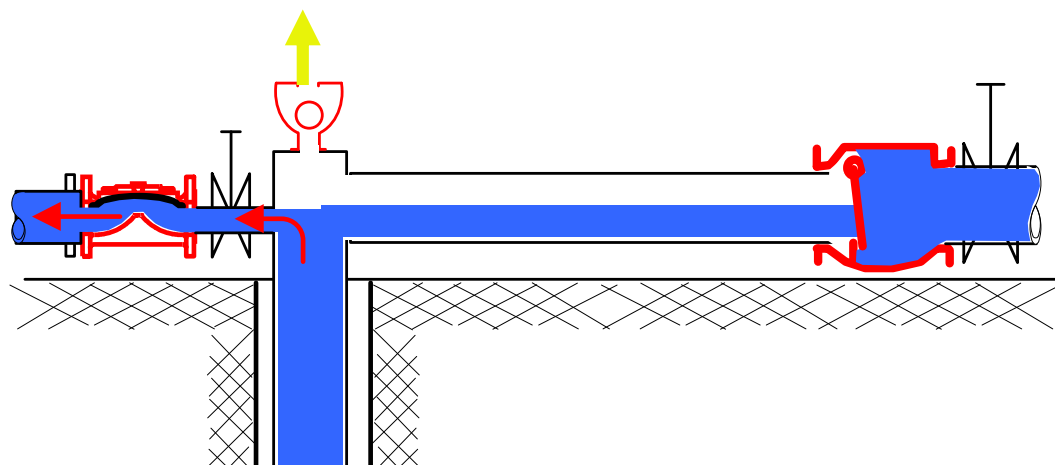
- a. Открыт в момент запуска насоса
- b. Сбрасывает начальный поток воды
- c. Закрывается медленно, плавно поднимая давление
- d. Медленно открывается перед остановкой насоса, плавно сбрасывая давление.

## Скважина, защищенная клапаном управления глубинным насосом



*Клапан 100 мм (4") установлен на отводе из скважины. Изолирующая задвижка 100 мм до клапана для обслуживания. В электрощит насоса добавляются нужные компоненты.*

## Скважина, защищенная клапаном управления глубинным насосом DW



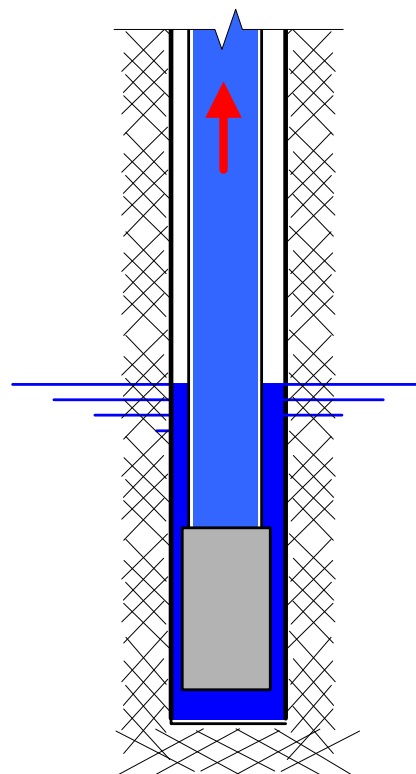
Этап 1 - (0-49 сек.)

**Запуск насоса:**

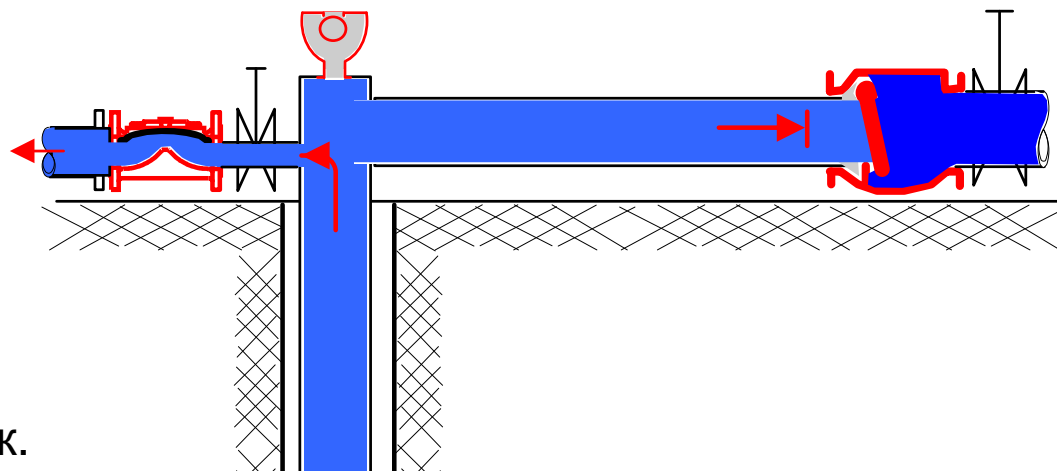
Открытый клапан DW сбрасывает поток.

Воздушный клапан открыт.

Обратный клапан закрыт.



## Скважина, защищенная клапаном управления глубинным насосом DW



Этап 2 - (секунда 50)

**Скважина заполнена:**

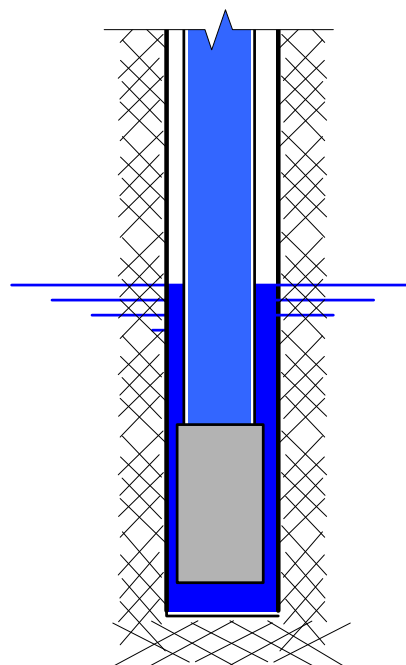
Клапан DW сбрасывает поток.

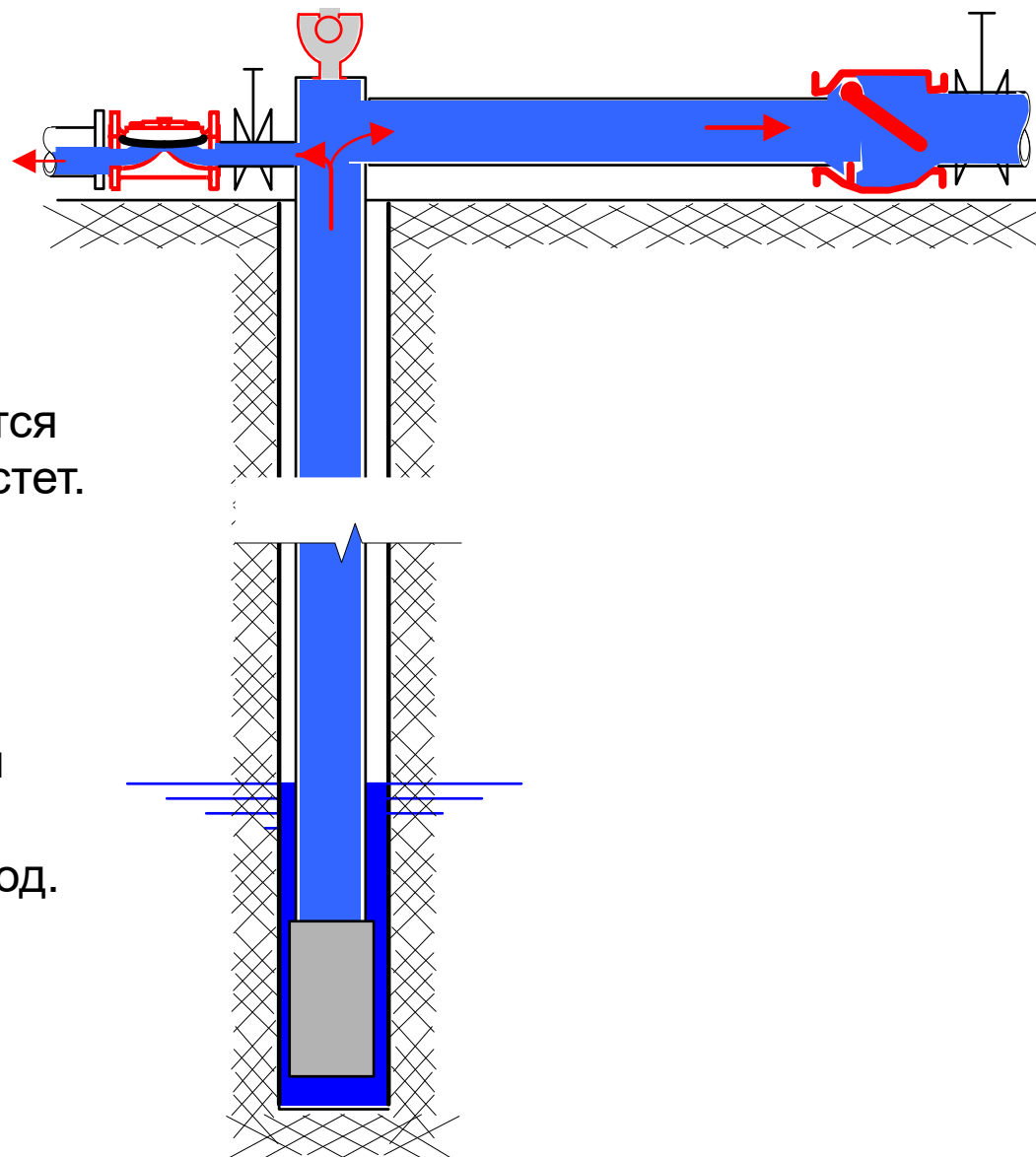
Воздушный клапан закрывается.

Обратный клапан закрыт т.к.

давление на входе в него ниже статического.

Очень маленькое снижение расхода создает незначительное увеличение давления.





**Этап 3 - (51- 69 сек.)**

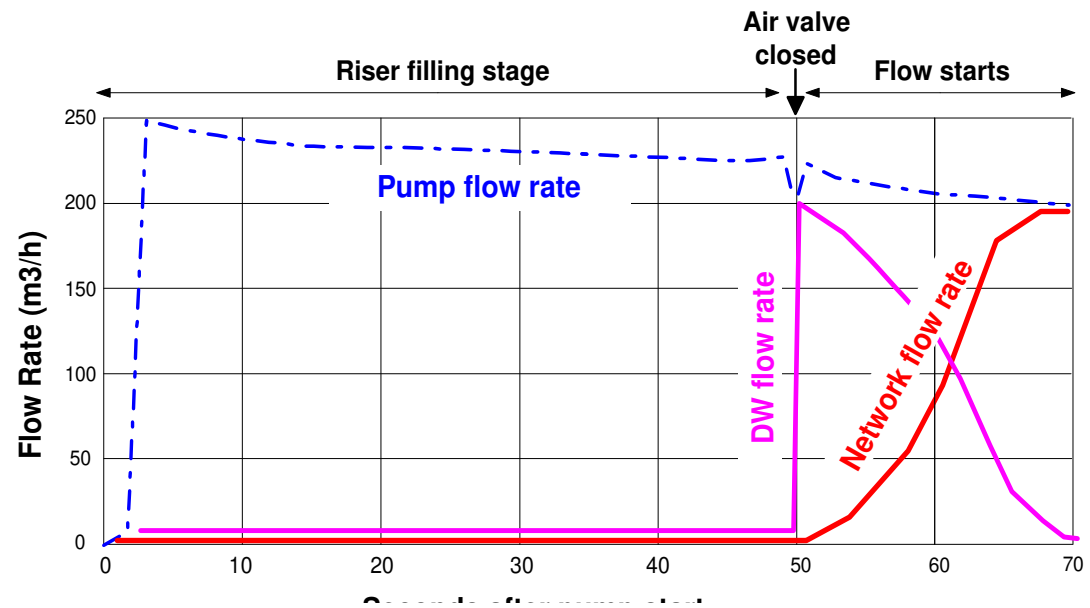
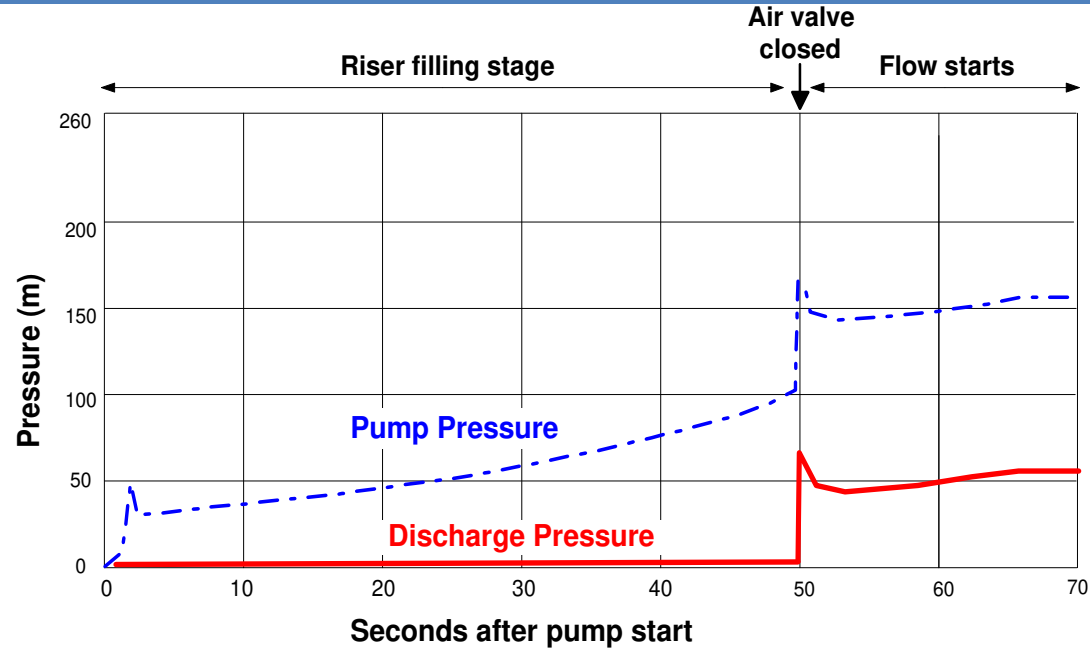
**Клапан DW закрывается:**

Сброс через клапан уменьшается и давление в трубопроводе растет.

Когда давление достигнет статического, открывается обратный клапан.

Расход в трубопроводе растет плавно до тех пор, пока клапан полностью не закроется и весь поток не перейдет в трубопровод.

# Скважина, защищенная клапаном управления глубинным насосом DW





# Скважина, защищенная клапаном управления глубинным насосом DW

