

Въпрос 27

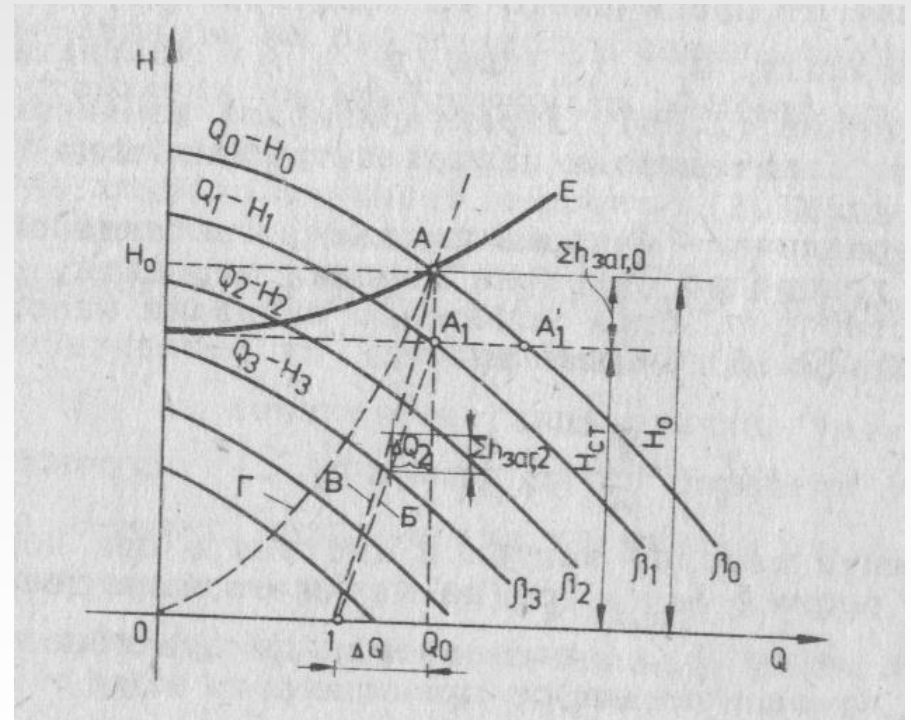
Защита на напорни тръбопроводи от въздействията на хидравличния удар

1) Общи сведения

- Задачата за защита на тръбопроводите от хидравличен удар се разделя на следните етапи:
 - *Определяне на възможните места на разкъсване на водната струя*
 - *Избор на средства за намаляване на напора при хидравличен удар*
 - *Определяне на максималния напор в тръбопровода вследствие хидравличен удар при избрани средства за защита (или без тях)*
 - *Статическо изследване и проверка на носимоспособността на опорни блокове и тръбите за максималните напори в системата за хидравличен удар*
- Местата на възможните вакуумни зони по трасето на водопровода се определят чрез съпоставяне на линията на минималните напори при внезапно изключване на помпените агрегати с надлъжния профил на тръбопровода.
- Параметрите, характеризиращи линията на минималните напори, зависят от характеристиката $Q-H$ на помпата, от инерционния момент на ротиращите маси на агрегата J и от скоростта на разпространение на ударната вълна a .

1) Общи сведения

- Хидравлична система:
- 1) центробежна помпа
- 2) напорен тръбопровод
- 3) напорен резервоар със свободна водна повърхност и значителен обем
- Работната точка при нормален работен режим е т. А



1) Общи сведения

- При внезапно изключване на електрозахранването вследствие на намаляване на честотата на въртене характеристиката Q_0-H_0 се редуцира, като за определени стойности на относителните честоти на въртене β_i заема съответни положения Q_i-H_i .
- Всяка точка от първоначалната характеристика се премества към координатното начало по параболата на хидродинамично подобие, определена от съвместното решаване на уравненията:

$$\frac{Q_i}{Q_0} = \frac{n_i}{n_0} = \beta_i$$

$$\frac{H_i}{H_0} = \left(\frac{n_i}{n_0} \right)^2 = \beta_i^2$$

$$\Rightarrow \Delta Q_i = \frac{g}{a} \cdot F \cdot \Delta H_i$$

ΔQ_i – водно количество, с което намалява дебитът на помпата

F – напречно сечение на тръбопровода

1) Общи сведения

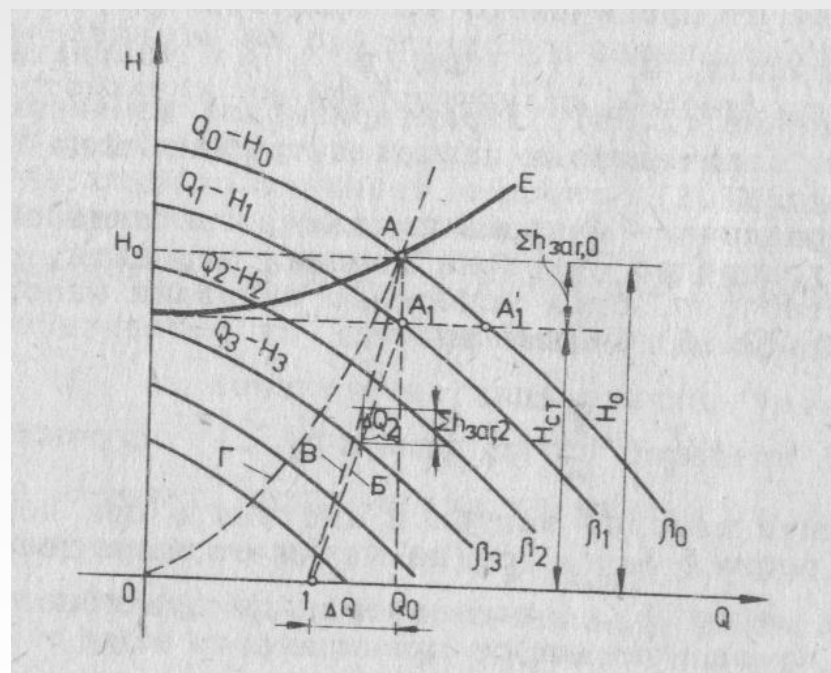
- Във всеки момент t_i , след като се изключи електрозахранването, работната точка на системата ще се определя от пресичането на съответната характеристика на помпата Q_i-H_i и ударната права

$$\Delta Q_i = \frac{g}{a} \cdot F \cdot \Delta H_i,$$

- характеризираща изменението на водното количество и напора в тръбопровода при хидравличен удар

1) Общи сведения

- Ако общите напорни загуби в системата при нормален работен режим са по-малки от една десета от статичния напор, те могат да се пренебрегнат и ударната права може да се прекара през т. А1 (права Б).
- При напорни загуби между 10% и 20% от статичния напор, напорните загуби могат да се представят като загуби, дължащи се само на местни съпротивления. Хидродинамичната линия ще се трансформира в 1-1 със скок в началото на тръбопровода.
- Когато напорните загуби са по-големи от 20% от статичния напор, условната хидродинамична линия е 2-2.

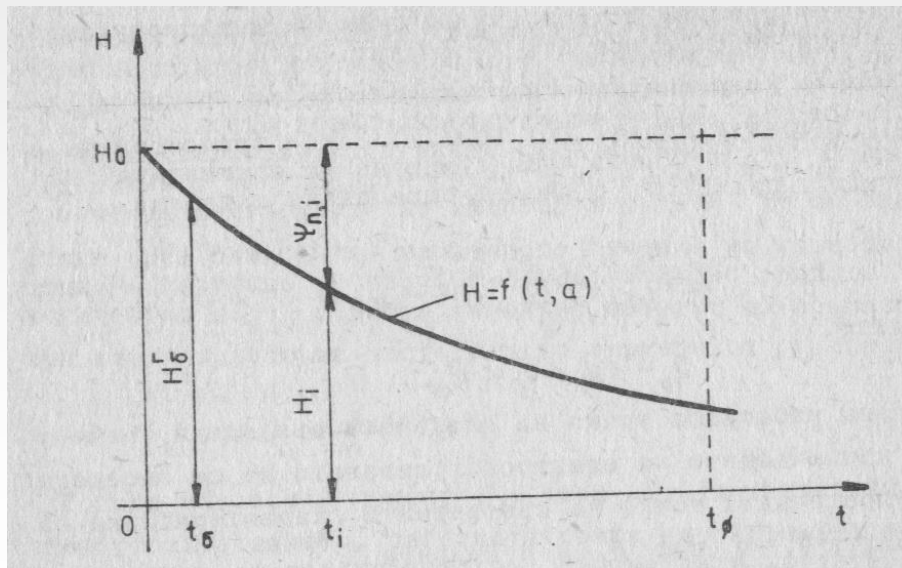


1) Общи сведения

- Когато хидравличните напорни загуби се вземат под внимание, ударната права Б се трансформира в кривата В, чрез сумиране на ординатите на ударната права Б с кривата, определена с израза:

$$\sum h_{заг.,i} = \left(\frac{Q_i}{Q_0} \right)^2 \cdot \sum h_{заг.,0}$$

- Ординатите на пресечните точки на Q_i - H_i кривата В определят напорите в началото на тръбопровода (при помпата) в момента t_i от началото на хидравличния удар.
- Може да се построи графическа зависимост $H=f(t,a)$ в интервала от време от 0 до t_{ϕ} . Кривата може да се използва за определяне на линията на минималните напори във всяка точка от системата.



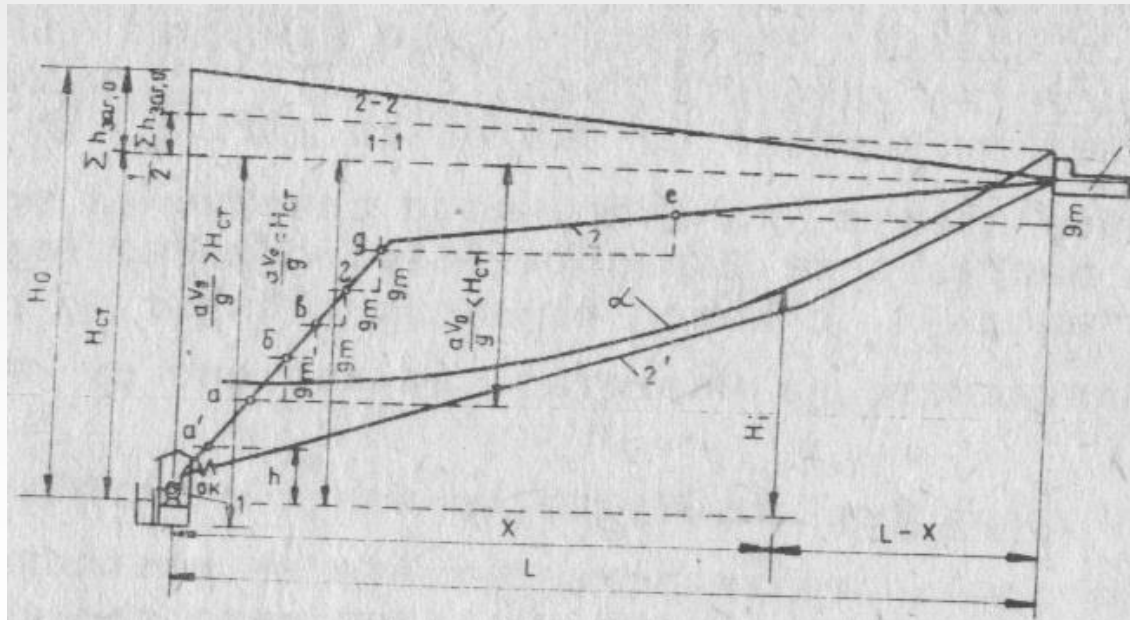
1) Общи сведения

- След изчисляване на времето на достигане на вълните с повишено налягане до няколко произволни сечения по тръбопровода

$$t' = \frac{2.L - x}{a};$$

$$t'' = \frac{2.L - x}{a} - \frac{x}{a} = \frac{2.(L - x)}{a}$$

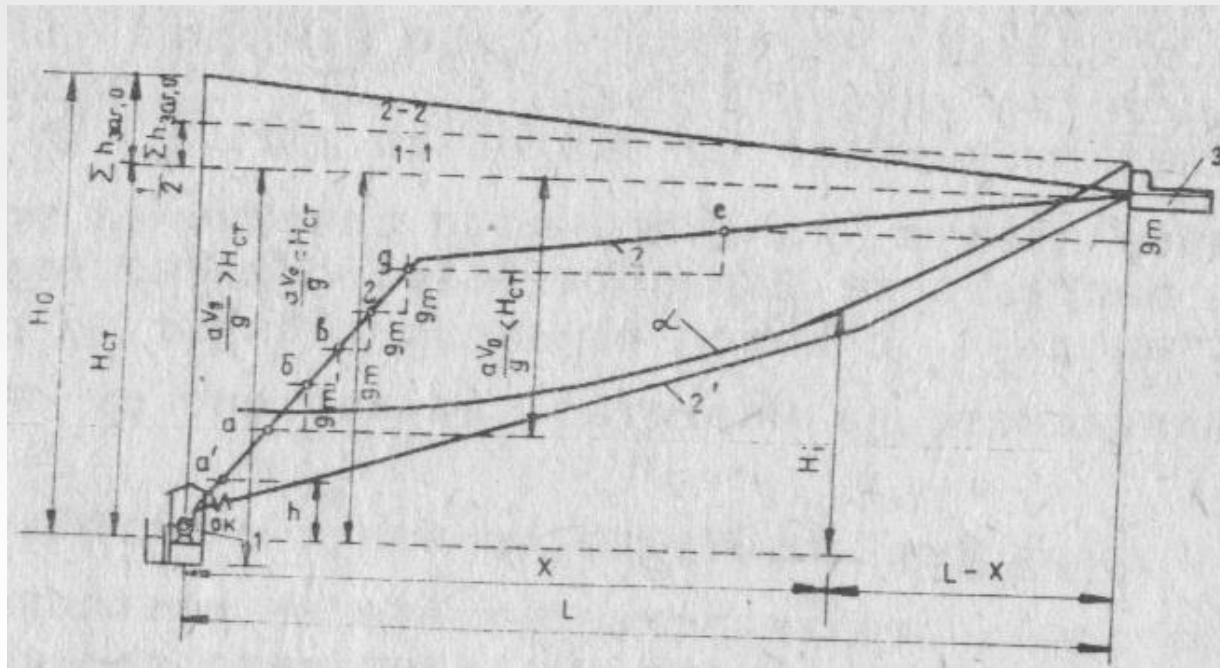
- и отчитане на съществуващите напори може да се построи линията на минималните напори за системата при определена скорост на ударните вълни.



1) Общи сведения

- В участъците на тръбопровода, които попадат над линията на минималните напори (трасе 2) се образува вакуум. Когато денивелацията между оста на тръбопровода и линията на минималните напори превиши 8-9 м, практически настъпва разкъсване на водната струя. В това отношение при равни други условия трасето 2' е в по-благоприятно отношение.
- Разкъсване може да се получи във всяка точка от вакуумната зона на тръбопровода при вакуум >8-9 м.
- При спадане на скоростта в тръбопровода до 0, напорът спада с:

$$\Delta H = \frac{a}{g} \cdot v_0$$



1) Общи сведения

- Ако

$$\frac{a}{g} \cdot v_0 < H_{ст.}$$

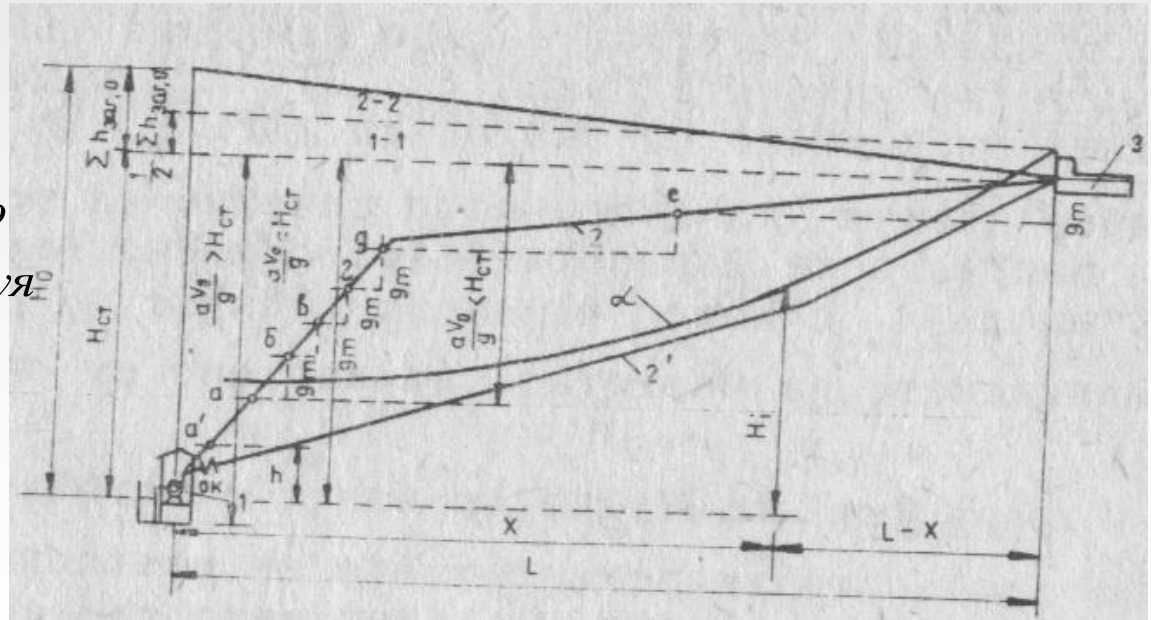
- От точка а нагоре по тръбопровода се образува вакуумна зона. В участъка след т. б, която е с 8-9 м денивелация от т. а, във всяка точка от тръбопровода е възможно разкъсване на водната струя поради превишаване на пределния вакуум.

- Ако

$$\frac{a}{g} \cdot v_0 = H_{ст.}$$

⇒ т. а'

Вучасъка над а' е възможно разкъсване на водната струя



2) Средства за намаляване на напора при хидравличния удар

- При наличие на обратна клапа след помпата и разкъсване на водната струя максималният напор в тръбопровода може да достигне стойности, значително превишаващи статичния напор.
- Начини за намаляване на максималното налягане при хидравличен удар:
 - А) използване на агрегати с по-голям махов момент на ротиращите части;
 - Б) изпускане на вода през помпите при застопорено работно колело или при обратно въртене на същото (ако това се допуска за съответните агрегати);
 - В) монтиране при помпите на затворни органи с програмно действие;
 - Г) монтиране на обратни клапи по тръбопровода над местата, в които се очаква разкъсване на водната струя с вземане на допълнителни мерки против разкъсването на потока;
 - Д) пускане на вода или въздух в местата, в които се очаква разкъсване на водната струя;
 - Е) изпускане на вода от тръбопровода чрез съоръжения, които се задействат при повишено налягане (удароубиватели) или при понижено налягане (ударогасители).
 - Ж) монтиране на хидрофори по трасето на тръбопровода или при помпената станция
- З) монтиране на аварийни диафрагми, които изпускат вода от тръбопровода, като се разрушават при надвишаване на определено налягане.

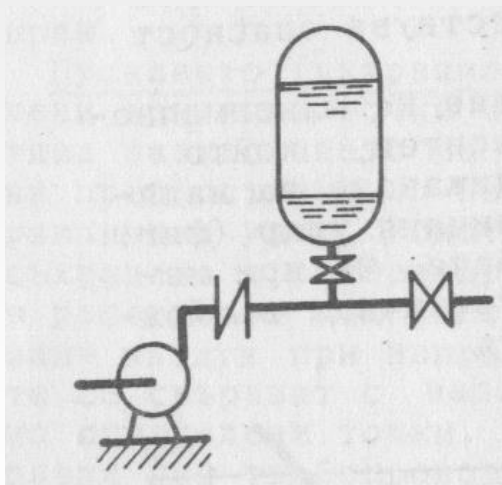


2) Средства за намаляване на напора при хидравличния удар

- Помпените агрегати с голям махов момент по-бавно намаляват честотата си на въртене при внезапно изключване на електрическия ток, като се намалява значително големината на хидравличния удар.
- Обратното пропускане на вода през помпите намалява в най-голяма степен хидравличния удар, но е свързано с определени изисквания спрямо агрегатите, като специални салници, лагери и електродвигатели.
- Затворни органи с програмно действие са ефикасни, ако времето за тяхното затваряне е определено правилно. Главен недостатък – оказват значителни хидравлични съпротивления при нормален режим на работа, което води до допълнителни разходи за електроенергия. Освен това е необходимо да се предвидят устройства за предотвратяване на разкъсването на потока.
- Пускането на вода или въздух или вода в определени критични точки от напорния тръбопровод предотвратява разкъсването на водната струя, с което се създават предпоставки за намаляване на големината на хидравличния удар. Водата се съхранява в резервоари. Резервоарите се свързват с напорния тръбопровод в предварително определени точки. Подобни съоръжения са подходящи за диаметри на тръбопровода > 700 мм.
- При наличие на обратна клапа след помпата и при малки и средни диаметри подходящи устройства за намаляване на големината на хидравличния удар са различни видове предпазни клапани – ударогасители и удароубиватели, както и обходна връзка около обратна клапа. Монтират се в шахти близо до помпената станция. Прилагането на удароубиватели трябва да се комбинира с устройства за предотвратяване на разкъсването на водната струя.

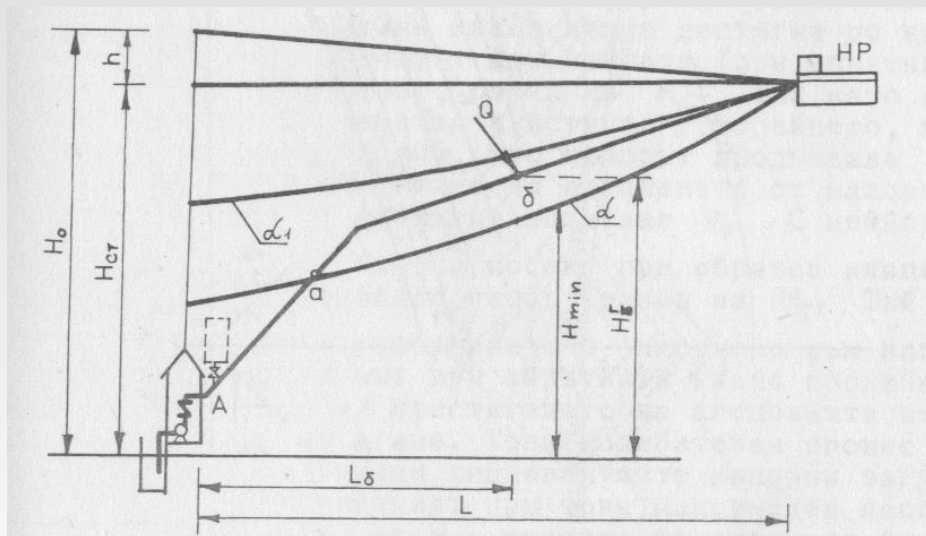
2) Средства за намаляване на напора при хидравличния удар

- Хидрофорите са един от най-ефикасните и най-често използваните средства за намаляване на големината хидравличния удар. Те представляват напорни метални съдове, монтирани по трасето на тръбопровода, най-често до помпената станция и са подходящи за диаметри до 600 мм. При нормална работа в хидрофора се намират определени обеми вода и въздух под действието на съответното работното налягане. При понижаване на налягането в тръбопровода вследствие на аварийно изключване, сгъстеният въздух изтласква водата от хидрофора в напорния тръбопровод. При пулсационното изменение на налягането хидрофорът последователно отдава и приема определени обеми вода, като по този начин удължава времетраенето на хидравличния удар и ограничава неговата големина. Предвижда се компресор, който периодично да възстановява разтварящия се във водата въздух.



3) Определяне на максималния напор в системата при хидравлически удар

- Метод на Шнидер-Бержерон за графично определяне на изменението на напорите на помпата.



- Линията на минимални напори осигурява непрекъснатост на водната струя при хидравлически удар.
- A_0 – нормална работа. Определя се от пресичането на E характеристиката и Q_0-H_0 .
- При внезапно изключване на захранването характеристиката се изменя с изменение на честотата на въртене по закона на хидродинамичното подобие. Имаме интерференция на ударни вълни, които се представят графично в $Q-H$ координатна система.

3) Определяне на максималния напор в системата при хидравличен удар

- За периода от 0 до t_f работната точка на системата във всеки момент ще се определя от пресичането на съответната характеристика Q_i-H_i и съответната ударна права.
- Възникналите при помпата прави вълни на понижено налягане достигат за време $t_f/2$ напорния резервоар, откъдето се отразяват като обратни вълни на повишено налягане. Тези вълни достигат до помпената станция в момента t_f след възникването на там и вълна на понижено налягане и се отразяват от фронта на налягането, създадено от помпата в този момент, като вълни на понижено налягане. Това продължава многократно, докато работното колело продължава да се върти в първоначалната посока. Тези работни точки определят линията на минимални напори на помпата, изменящи се във времето до затваряне на обратната клапа, което става в момента, когато дебитът на помпата стане 0. от този момент нататък обратните вълни на повишено налягане се отразяват от обратната клапа като вълни на повишено налягане.

3) Определяне на максималния напор в системата при хидравлически удар

