

УДК 621.311.1

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В СИСТЕМАХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ЗАКРЫТИИ ЗАДВИЖКИ
OCCURRENCE OF HYDRAULIC SHOCK IN HEAT SUPPLY SYSTEMS
WHEN THE VALVE IS CLOSED

Ракевич С.И., Назаров В.И., к-т техн. наук., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
S.Rakevich, V.Nazarov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация. В данной статье рассмотрено возникновение гидравлического удара в системах теплоснабжения при закрытии задвижки, приведены выражения Н.Е. Жуковского для определения изменения напора в сети, приведены результаты расчета роста напора в сети при гидравлическом ударе, от закрытия задвижки.

Abstract. This article discusses the occurrence of hydraulic shock in the heat supply systems when the valve is closed, the expressions of N.E. Zhukovsky for determining the change in pressure in the network are given, the results of calculating the increase in pressure in the network during hydraulic shock, from the closing of the engine are given.

Ключевые слова: гидравлический удар, фаза гидравлического удара, скачек давления, ударная волна, система теплоснабжения, трубопроводы.

Keywords: hydraulic shock, hydraulic shock phase, pressure jump, shock wave, heat supply system, pipelines.

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические удары в водяных системах теплоснабжения могут быть вызваны неправильной работой или отказом оборудования, что приводит к быстрому изменению скорости движения и сопровождаются скачком давления в системе трубопроводов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Причинами неправильной работы системы теплоснабжения могут быть: пуск насосов с неправильно собранной тепловой схемой, ошибочные действия персонала при маневрировании запорно-регулирующей арматурой, снижение статического давления ниже расчетного, отключение питания насосной станции с последующим ее самозапуском или включение резервных насосов с большим запаздыванием по времени.

Мероприятия, ограничивающие это повышение давления, принимаются на основании расчетов гидравлического удара с учетом условий работы системы теплоснабжения.

Согласно теории, разработанной Н.Е. Жуковского, изменения напора зависит от изменения скорости движения воды в напорном трубопроводе и выражается формулой [1]:

$$P_z = P_0 + \frac{\rho(v_0 - v)}{g}, \quad (1)$$

где P_z – давление жидкости в трубопроводе при гидроударе, МПа;

P_0 – давление жидкости в трубопроводе до гидроудара, МПа;

a – скорость волны давления в трубопроводе, м/с;

ρ – средняя плотность жидкости, кг/м³;

$(v_0 - v)$ – падение скорости потока жидкости в момент гидроудара, м/с.

Скорость звука при отсутствии торцевого закрепления трубы определяется по формуле:

$$a = \sqrt{\frac{E_{жс}}{\rho \left(1 + \frac{C \cdot D \cdot E_{жс}}{\delta \cdot E_m} \right)}}, \quad (2)$$

где, $E_{жс}$ – модуль упругости среды, МПа;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

C – коэффициент учитывающий способ крепления труб в продольном направлении, для труб имеющих компенсационные устройства принимается $C = 1$;

D – диаметр трубопровода, м;

δ – толщина стенки трубы, м;

E_m – модуль упругости материала из которого изготовлены трубы, МПа.

При изменении проходного сечения задвижки или режима работы насосной установки возникают волны скоростей движения и изменения давления сетевой воды в трубопроводах систем теплоснабжения. Такие волны называются прямыми. При подходе прямых волн к местам разрыва сплошности потока возникает отражение этих волн, которые распространяются в обратном направлении движению прямых волн и достигают того места, где возникло возмущение – задвижки или насоса.

Время, в течение которого волна скачка давления возвратится к источнику возмещения, называется фазой удара:

$$t_\phi = \frac{2 \cdot l}{a} \quad (3)$$

В магистральных системах теплоснабжения в основном происходят не прямые гидравлические удары, когда отраженная волна успевает подойти к затвору до момента его полного закрытия, т. е.:

$$t_\phi < T$$

Время закрытия электропривода запорной арматуры зависит от вида арматуры и его диаметра, и рабочего проходного сечения.

При закрытии затвора, вследствие дополнительного сопротивления, его скорости течения воды в трубопроводе уменьшаются. Благодаря изменениям скоростей течения перед затвором возникают прямые волны повышения давления, распространяющиеся против течения вдоль трубопровода со скоростью a . При подходе прямых волн к местам изменения сплошности потока возникают отраженные обратные волны, которые с той же скоростью a распространяются от резервуара к затвору. Если сосредоточить все гидравлические сопротивления трубопровода в условной диафрагме, установленной перед затвором, то средняя скорость v при данной степени открытия затвора и увеличении напора на ΔP от гидравлического удара выразится так:

$$P_0 + \Delta P = (\xi_0 + \xi_s) \frac{v^2}{2g}, \quad (4)$$

где ξ_0 – безразмерный коэффициент сопротивления системы без учета регулирующего затвора;

ξ_s – коэффициент сопротивления затвора при данной степени его открытия.

В течение первой фазы гидроудара нарастание напора будет следовать закону Жуковского. Если к концу первой фазы затвор не успеет закрыться, то отраженная волна понижения давления достигнет затвора раньше, чем произойдет полное повышение напора. Обратная волна понижения давления, подойдя к затвору, уменьшит скорость течения в трубопроводе перед затвором и давление прямой волны: эта новая прямая волна, в свою очередь, будет распространяться по трубопроводу и вновь вызовет отраженную обратную волну. Вследствие этого, изменение напора в сечении у затвора в течение второй и всех последующих k -х фаз будет определяться взаимодействием прямых и обратных волн по формуле [2]:

$$\Delta P_k = 2P_0 \left\{ \left[\rho - \frac{1}{P_0} \sum_{i=1}^{k-1} \Delta P_i + \left(\rho \frac{\varphi_k}{\varphi_0} \right)^2 \right] - \rho \frac{\varphi_k}{\varphi_0} \sqrt{1 + 2 \left(\rho - \frac{1}{P_0} \sum_{i=1}^{k-1} \Delta P_i \right) + \left(\rho \frac{\varphi_k}{\varphi_0} \right)^2} \right\}, \quad (5)$$

где φ_0 – коэффициент скорости в начальный момент времени определяется из выражения

$$\varphi_0 = \frac{1}{\sqrt{\xi_0 + \xi_s}} \quad (6)$$

Зависимость изменения нарастания давления по фазам при закрытии задвижки, рассчитанная по формуле 5, приведена на рисунке 1. Примем длину участка тепловой сети равной 2000 м, скорость звука равной составляет 1000 м/с, давление сетевой воды в месте возникновения возмущения – 0,85 МПа. До

степени закрытия затвора равной $h / d = 0,65$, при котором сопротивление затвора составляет примерно 8 % от начального сопротивления трубопровода, повышение напора считаем как для первой фазы. При этом закрытие задвижки до 0,65 происходит за 52 с.

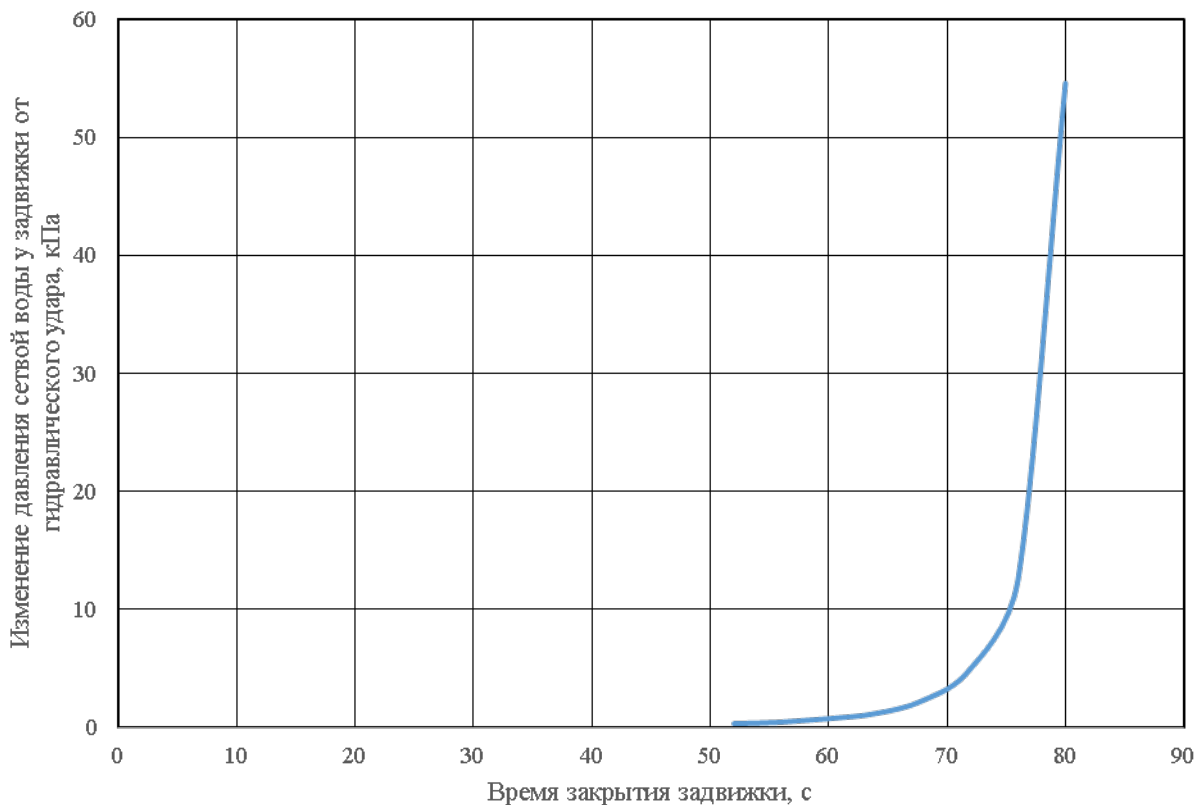


Рисунок 1 – Изменения давления сетевой воды у задвижки от времени закрытия задвижки при гидравлическом ударе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из рисунка видно, что понижение давления через фазу после закрытия задвижки, по формуле (5) составит 55 кПа и не превышает расчетного максимально допустимого давление в тепловой сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. / Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах / Н.Е. Жуковский. – М: ГИТТЛ, 1949. – 117 с.
2. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты сетей водоснабжения и водоотведения: Справочник / Под общ. ред. А.М. Курганова 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 440 с.: ил.