

УДК 621.646.94

В.П. Овсянников (канд. техн. наук, доц.),**В.М. Оверко** (канд. техн. наук, доц.),**М.В. Оверко** (аспирант)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК

Рассмотрен алгоритм построения расчетной модели системы защиты параллельно соединенных напорных трубопроводов водоотливных установок. Показаны результаты моделирования для некоторых реальных условий.

Ключевые слова: водоотливная установка, защита, напорный трубопровод.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Исследования переходных процессов на шахтных водоотливных установках касаются, как правило, наиболее распространенного случая, когда напорная сеть представлена двумя трубопроводами, один из которых резервный [1]. Вместе с тем, при проектировании возможно использование и большего числа напорных трубопроводов, например, двух рабочих и одного резервного. На практике встречается применение четырех и более трубопроводов, из которых один рабочий (например, ш/у «Покровское», блок № 10) или один рабочий и два резервных, в случае, когда заиленные основные трубопроводы не позволяют эффективно откачивать воду и монтируется дополнительный став в стволе или скважине. В связи с этим возникает возможность использовать дополнительный трубопровод для воздействия на гидродинамические процессы в двух и более параллельно включенных рабочих трубопровода. И если для одного частного случая эту задачу можно считать решенной [2], то в более сложных условиях необходимо выработать специальный алгоритм.

Анализ исследований и публикаций. Выше отмечено, что как правило, в литературе рассматривается схема водоотливной установки состоящей из насосного агрегата и двух напорных трубопроводов [1] один из которых является резервным. Такая схема является классической, существуют правила эксплуатации этих водоотливных установок. В работах [3, 4], рассмотрены варианты систем защиты

таких водоотливных установок от гидравлических ударов и критерии выбора параметров этих устройств.

Таким образом, приведение гидравлической схемы водоотливной установки показанной на рисунке 1 к виду, показанному на рисунке 2, является актуальной задачей.

Постановка задачи. Настоящая статья является продолжением указанных работ. Основной целью данного исследования является создание алгоритма расчета переходного процесса при наличии нескольких напорных трубопроводов и подтверждение эффективности работы в этих условиях созданных ранее средств защиты.

Изложение материала и результаты. Искомый алгоритм приведения схемы, показанной на рис. 1а, к схеме на рис. 1б состоит из ряда шагов.

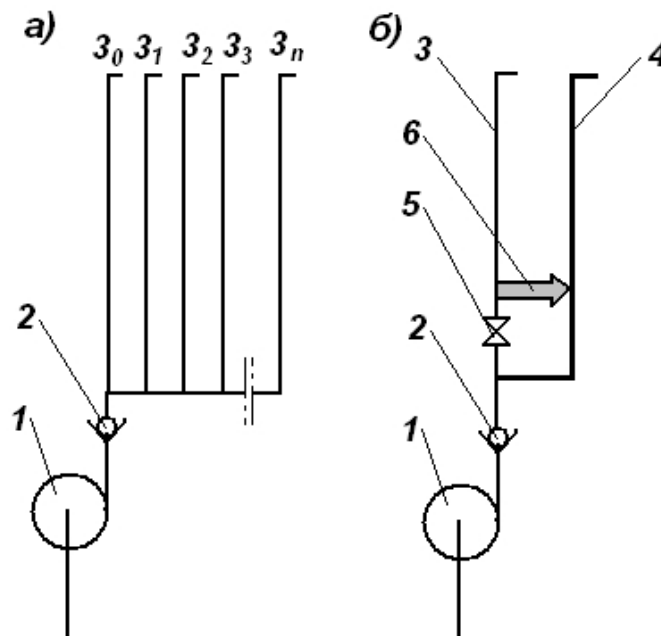


Рис. 1. Расчетные схемы водоотливной установки а) с $n+1$ параллельными трубопроводами, б) с эквивалентным рабочим трубопроводом. 1 – насос, 2 – обратный клапан, $3_0 - 3_n$ – параллельные трубопроводы, 3 – резервный трубопровод, 4 – эквивалентный рабочий трубопровод, 5 – задвижка, 6 – система защиты от гидравлических ударов

Во-первых, будем считать, что параметры трубопровода с нулевым номером (рис. 1) совпадают с параметрами резервного трубопровода 3 (рис. 2).

Во-вторых, допустим, что в водоотливной установке (рис. 1а) параллельно подключено k трубопроводов ($0 \leq k \leq n$), где n – общее количество параллельных напорных трубопроводов. Эквивалентный

диаметр рабочего трубопровода 2 (рис. 1б) приближенно можно найти из уравнения, полученного из формулы сопротивления сложного трубопровода при параллельном соединении и формулы Ф.А. Шевелева:

$$\frac{0,021^{-0,3} \sqrt[3]{d_x} \cdot \sum_j^m L_j}{2g \left(\frac{\pi(d_x)^2}{4} \right)^2 d_x} = a_T^e, \quad (1)$$

где d_x – эквивалентный диаметр трубопровода 4 (рис. 1б), L_j – длина $j^{\text{го}}$ участка трубопровода, m – количество участков, a_T^e – эквивалентное гидравлическое сопротивление k параллельно подключенных трубопроводов.

$$a_T^k = \frac{0,021^{-0,3} \sqrt[3]{d_k} \cdot \sum_j^m L_j}{2g \left(\frac{\pi(d_k)^2}{4} \right)^2 d_k} + \sum a_k^m,$$

где a_T^k – гидравлическое сопротивление $k^{\text{го}}$ участка, d_k – его диаметр, $\sum a_k^m$ – суммарное гидравлическое сопротивление всех местных сопротивлений $k^{\text{го}}$ трубопровода.

Поскольку $a_T^e = \left(\sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{a_T^j}} \right)^{-2}$, то нелинейное уравнение (1) со-

держит одно неизвестное d_x и может быть решено численно [5]. Кроме того, будем считать, что геометрические характеристики (длины участков и углы наклона) трубопроводов на рисунках 1а, 1б совпадают, а диаметр трубопровода 4 определяется из (1). Следовательно, параметры стационарного режима работы насоса для схемы на рис. 1а с k параллельно включенными трубопроводами совпадают с параметрами стационарного режима работы насоса для схемы на рис. 1б с найденными по рассмотренному выше алгоритму параметрами.

Для обеспечения правильной оценки опасности гидравлических ударов при параллельном подключении напорных трубопроводов и эффективности работы средств защиты в этом случае будем считать, что скорость распространения ударной волны в трубопроводах с эквивалентными параметрами определяется следующим образом:

$$c_x = \max(c_i), \text{ где } i = 0, \dots, k.$$

Такой выбор скорости распространения ударной волны в трубопроводе с эквивалентными параметрами обеспечивает оценку максимально возможного изменения давления при гидравлическом ударе и инвариантности от величины d_x . Поскольку, как известно [6],

$$\Delta p = \rho c \left(\frac{\pi d_x^2}{4} \right)^{-1} \Delta Q, \text{ где}$$

$\Delta p, \Delta Q$ – соответственно изменение давления и расхода в трубопроводе. То есть, если считать что $c=c_x$, то величина Δp будет максимально возможной.

На рисунке 2 показан график переходного процесса в двух параллельно включенных напорных трубопроводах ш/у «Покровское», блок №10

Рис. 2. Гидравлический удар, ш/у «Покровское», блок № 10 (два параллельно включенных трубопровода $d_x=0.422$ м).

№10 ($d_x= 0,422$ м, $Q_o= 393$ м³/час)

Геометрические параметры, приведенные на рисунках 2, 3, касаются трубопровода 4 (рис. 1б).

На рисунке 3 показан график переходного процесса в трех параллельно включенных напорных трубопроводах ш/у «Покровское», блок №10 ($d_x = 0,492$ м, $Q_o = 400$ м³/час)

Сравнение этих графиков показывает, что параллельное подключение трубопроводов само по себе снижает опасность гидравли-

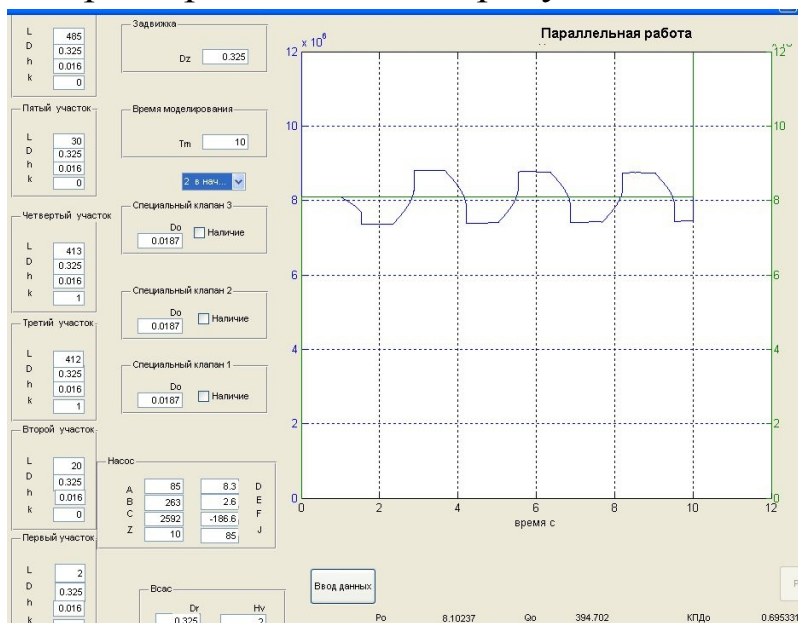


Рис. 3. График гидравлического удара ш/у «Покровское», блок № 10 (три параллельно включенных трубопровода $d_x=0,492$ м).

ческих ударов, поскольку при увеличении количества трубопроводов расход в установившемся режиме растет незначительно. Определяющим фактором в данном случае является характеристика насоса, а не сопротивление напорного трубопровода [1], при этом расход в каждом параллельно включенном трубопроводе уменьшается.

Очевидно что, относительное изменение эквивалентного сопротивления трубопровода при увеличении количества параллельно включенных участков определяется из уравнения:

$$\bar{a}_T^e = \left(\sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{a_T^j}} \right)^{-2} \left(\sum_{j=1}^{k+\Delta k} \frac{1}{\sqrt{a_T^j}} \right)^2,$$

где Δk – дополнительное количество параллельно соединенных участков.

Как известно [1],

$$Q_o(B, C, A, h_g, a_T^e, \rho, g) = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4(a_T^e + C)(A - \rho g h_g)}}{2(a_T^e + C)},$$

где Q_o – подача, создаваемая насосом в стационарном режиме работы,

A, B, C – параметры полинома, аппроксимирующего напорную характеристику насоса, представленную в виде: $p = A - BQ + CQ^2$ (p – давление, создаваемое насосом).

h_g – геометрическая высота подъема воды.

Величина

$$\begin{aligned} \bar{v}_Q(B, C, A, h_g, a_T^e, \rho, g) &= \frac{dQ_o(B, C, A, h_g, a_T^e, \rho, g)}{da_T^e} \frac{a_T^1}{Q_o(B, C, A, h_g, a_T^1, \rho, g)} = \\ &= \frac{a_T^1}{Q_o(B, C, A, h_g, a_T^1, \rho, g)} \left[\frac{A - \rho g h_g}{(a_T^e + C) \sqrt{B^2 + 4(a_T^e + C)(A - \rho g h_g)}} - \frac{B + \sqrt{B^2 + 4(a_T^e + C)(A - \rho g h_g)}}{2(a_T^e + C)^2} \right] \end{aligned}$$

определяет скорость изменения величины расхода в установившемся режиме работы насоса при изменении эквивалентного сопротивления параллельно включенных трубопроводов.

График зависимости относительного приращения расхода \bar{v}_Q от количества параллельно соединенных трубопроводов k для условий подобных условиям, рассматриваемых ранее [2] показан на рисунке

4. Из этого графика видно, что по мере роста количества параллельно включенных трубопроводов (от 2 до 10) скорость изменения величины расхода в установившемся режиме работы насоса уменьшается, что в частности подтверждает определяющее влияние на эту величину параметров напорной характеристики насоса.

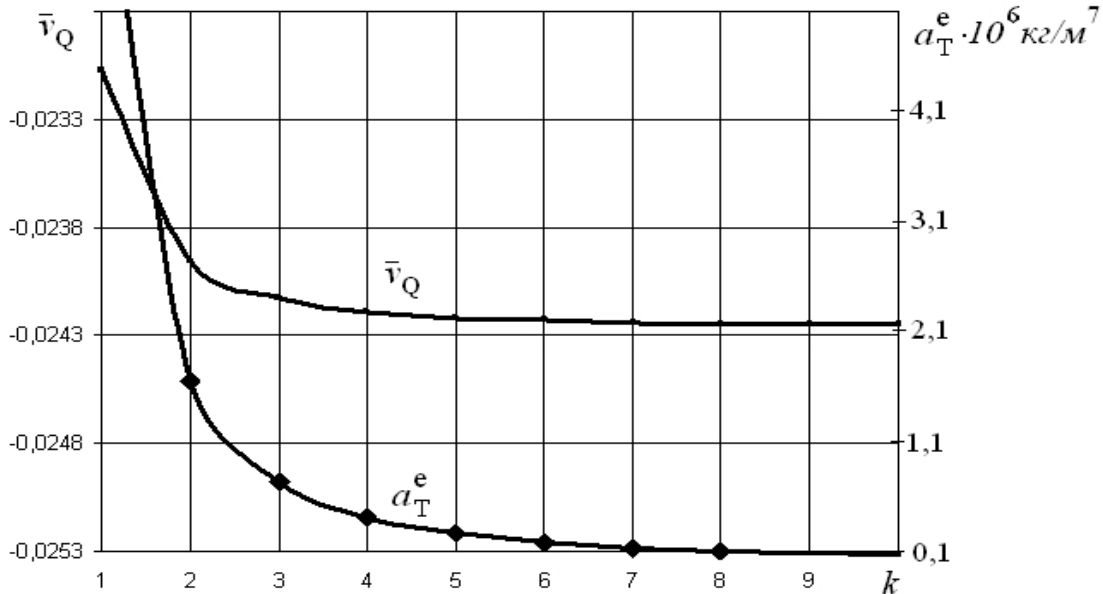


Рис. 4. График изменения приращения расхода от количества параллельно соединенных трубопроводов

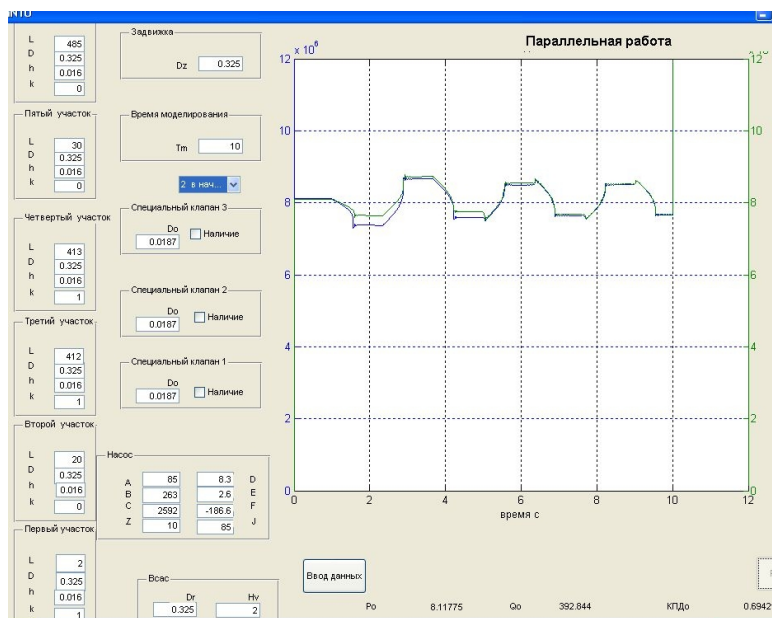


Рис. 5. График переходного процесса ш/у «Покровское», блок № 10 (два параллельно включенных трубопровода $d_x=0,422\text{м}$) и взаимодействия с резервным трубопроводом 3 через систему защиты б.

В том случае, если для защиты от гидравлических ударов используется резервный трубопровод и соответствующая система защиты [2] (рис. 2), эффективность ее работы можно оценить из графиков, приведенных на рис. 5.

На рисунке 6 показаны графики переходных процессов ш/у «Покровское», блок № 10, в случае подключения двух параллельных трубопроводов ($d_x=0,422\text{м}$), защищенных от гидравлического удара

при помощи специальных обратных клапанов [3], которые устанавливаются в каждый параллельно включенный трубопровод. устройства, связывающего резервный трубопровод с напорными (4 – рис.1 б).

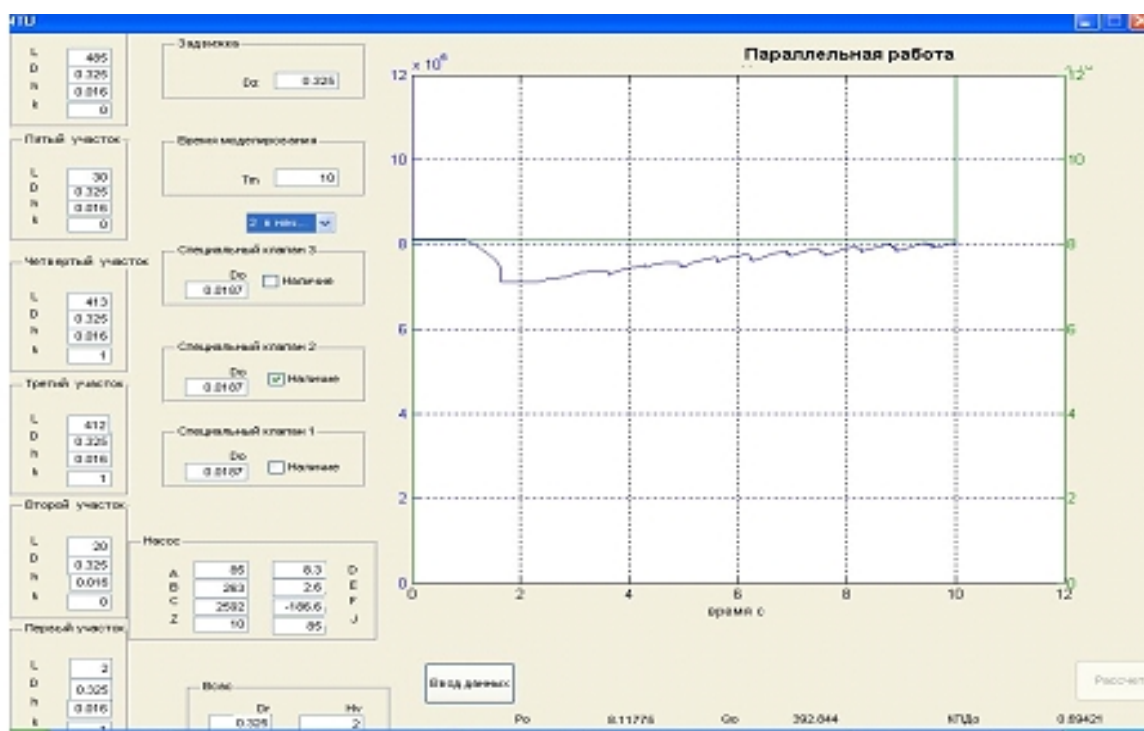


Рис. 6. График переходного процесса ш/у «Покровское», блок № 10 (два параллельно включенных трубопровода $d_x=0,422$ м) при использовании системы защиты от резервного става и специальных клапанов.

Можно отметить, что все соответствующие расчеты выполнены с использованием комплекса программ, адекватность которых подтверждена ранее. Приведение параметров параллельно включенных трубопроводов осуществлялось в соответствии с рассмотренным выше алгоритмом.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, предложен алгоритм приведения схемы водоотливной установки с параллельно соединенными трубопроводами к схеме с одним рабочим и одним резервным трубопроводом.

Рассмотрены переходные процессы в водоотливных установках с параллельно соединенными трубопроводами и возможность защиты от гидравлических ударов этих трубопроводов при помощи резервного става и специальных клапанов [3]. Результаты расчетов выполненных с использованием имитационной модели [2], показывают, что опасность гидравлических ударов при параллельном соединении

трубопроводов уменьшается, а эффективность соответствующих средств защиты возрастает.

Продолжение исследований предполагает экспериментальную проверку полученных результатов.

Список литературы

1. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки / В.М. Попов. – М.: Недра, 1972. – 340 с.
2. Кононенко А.П. Анализ динамических процессов в параллельно включенном трубопроводе / А.П. Кононенко, В.П. Овсянников, М.В. Оверко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2012. – Вип. (2)24. – С. 133-141.
3. Оверко В.М. Повышение надежности водоотливных установок, защищенных гидравлическими диодами / В.М. Оверко, В.П.Овсянников // Наукові праці Донецького національного технічного університету. –2010. – Вип. (18)172. – С. 226-233.
4. Бойко Н.Г. Выбор оптимальных способов функционирования и базовых параметров средств защиты трубопроводов от гидравлических ударов / Н.Г.Бойко, М.В. Оверко, В.П.Овсянников // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2012. – Вип. (23)196. – С. 30-36.
5. Лазарев Ю.Ф. MatLAB 6.5. Математическое моделирование физических процессов и технических систем: учебный курс / Ю.Ф.Лазарев. – К., 2004. – 474 с.
6. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / Д.А.Фокс. – М.: Энергоиздат, 1981. – 248 с.

Стаття надійшла до редакції 09.10.2013

В.П. Овсянников, В.М Оверко, М.В. Оверко. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Алгоритм побудови розрахункової моделі системи захисту паралельно з'єднаних трубопроводів високого тиску водовідливних установок

Розглянутий алгоритм побудови розрахункової моделі системи захисту паралельно сполучених трубопроводів високого тиску водовідливних установок. Показані результати моделювання для деяких реальних умов.

Ключові слова: водовідливна установка, захист, напірний трубопровід.

V. Ovsyannikov, V. Overko, M. Overko. Donetsk National Technical University

Algorithm of Constructing a Calculation Model of the Protection System of Multiple High-pressure Pipelines of Pumping Units

The paper considers an algorithm of constructing a calculation model of the protection system of multiple high-pressure pipelines of pumping units. Simulation results for some real conditions are provided.

Keywords: pumping unit, protection, pressure pipeline.