

УДК 622.692.4:621.67.001.5

**БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ  
НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ ХОДА  
РЕГУЛИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА**

**QUICK PRESSURE CONTROL SYSTEM PUMPING STATION  
AT A GIVEN SPEED CONTROL ELEMENT**

Вязунов Е.В., Бархатов А.Ф.,

ОАО «Гипротрубопровод», г. Москва, Российская Федерация

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет», г. Томск, Российская Федерация

E.V. Vyazunov, A.F. Barkhatov,

JSC «Giprotruboprovod», Moscow, the Russian Federation

FSBEI NPE "National Research Tomsk Polytechnic University", Tomsk,  
the Russian Federation.

e-mail: barkhatov-alexx@yandex.ru<sup>2</sup>

**Аннотация.** Система автоматического регулирования (САР) давления на станции должна обеспечивать отработку расчётного возмущения связанного с пуском одного насоса на следующей по потоку НПС и остановкой одного насоса на предыдущей по потоку НПС [1]. Создаваемая системой регулирования волна должна иметь противоположенный знак и крутизну фронта больше крутизны фронта набегающей волны. При проектировании новых и реконструкции существующих САР давления зачастую возникают вопросы, связанные с выбором оборудования САР давления способного выполнять указанное требование.

Для проверки данного требования необходимо рассчитать крутизну фронта волны, возникающей при отключении (пуске) одного насоса на

соседней станции и затухание волны при прохождении перегона от станции до станции. Усредненные значения возмущений и методика их расчетов известна [2].

В данной работе определяется крутизна фронта волны, создаваемой в процессе регулирования для двух методов регулирования: изменение частоты вращения ротора насоса (частотное регулирование) и регулирование дросселированием потока. Оценивается влияние различных факторов (диаметр трубопровода, подача насосов, количество регулирующих затворов, диаметр затворов, количество насосов с частотным приводом и т.д.) на крутизну фронта волны, создаваемой в процессе регулирования для различных методов регулирования. Делаются выводы о способности того или иного метода отрабатывать расчётные возмущения с учетом этих факторов. Даются рекомендации по выбору оптимальных параметров оборудования САР давления для обеспечения отработки расчётного возмущения.

В работе представлена математическая постановка задачи и приведены методы ее решения.

**Abstract.** The automatic control system (ACS) pressure at the station should provide practicing calculated perturbations associated with the start of one pump to include downstream OPS and stop at the previous one pump flow OPS [1]. Created a wave control system should have an opposite sign and front steepness greater slope of the front of the oncoming wave. When development of new and reconstruction of existing ACS pressure often have questions related to the selection of equipment capable of performing ACS pressure above requirement.

To verify this requirement, it is necessary to calculate the slope of the wave front that occurs when disconnecting (start) one pump at a nearby station and wave attenuation when passing haul from station to station. Averaged values of the perturbation and the method of their calculation is known [2].

In this paper we define the steepness of the wave front generated in the regulatory process for the two methods of regulation: changing the rotor speed

pump (frequency regulation) and throttling flow regulation. The influence of various factors (pipe diameter, feed pumps, regulating the number of gates, gate diameter, number of pumps with variable speed drive, etc.) on the slope of the wavefront generated in the regulatory process for different methods of regulation. Conclusions about the ability of a method to work out the perturbation calculation, taking into account these factors. Recommendations on the selection of optimal parameters of the equipment ACS pressure for mining settlement disturbance.

A mathematical formulation of the problem and its solution methods are presented.

**Ключевые слова:** частотное регулирование, дросселирование потока, затвор, крутизна фронта волны, скорость изменения давления, эффективная площадь.

**Key words:** frequency regulation, throttling the flow valve, the steepness of the wave front, the rate of change of pressure, the effective area.

Основным требованием к САР давления на нефтеперекачивающих станциях (НПС) нефтепроводов является отработка возмущения, вызванного отключением одного насоса на следующей НПС или пуска одного насоса на предыдущей НПС [1] – расчётного возмущения. Для выполнения данного требования САР давления должна создавать при регулировании волну противоположного знака с крутизной фронта не менее крутизны фронта набегающей волны.

Для проверки выполнения этого условия необходимо определить крутизну фронта волны, возникающей при отключении (пуске) одного из насосов на соседней НПС и затухание этой волны при её прохождении по участку нефтепровода между двумя соседними станциями. Решение этих задач известно [2]: крутизна фронта волн, возникающих при остановке (пуске одного) агрегата, достигает 3-4 кгс/см<sup>2</sup>/с, при прохождении участка

трубопровода между станциями волна затухает в 2-3 раза. Однако данные значения являются усреднёнными, при этом не учитывались появившиеся в последние годы нефтепроводы с давлением 10 МПа. Поэтому для конкретной САР необходимо используя методику, изложенную в указанной работе, рассчитать крутизну фронта волны расчётного возмущения и затухание этой волны.

Для решения поставленной задачи введём следующие обозначения:

- $m$  – число последовательно соединённых насосов с ЧРП;
- $n$  – число последовательно соединённых насосов без ЧРП;
- $k$  – число параллельно включённых регулирующих устройств (поворотных затворов, регулирующих клапанов);
- $x$  – относительная (по отношению к номинальной) частота вращения вала насоса;  
– относительный (по отношению к номинальному) ход затвора;
- $K_s$  – текущее значение эффективной площади регулирующего элемента;
- $K_{s0}$  – начальное значение эффективной площади регулирующего элемента;
- $c$  – скорость звука в трубопроводе;
- $S$  – проходное сечение трубопровода;
- $\rho$  – плотность жидкости;
- $P_d$  – величина дросселирования на регулирующем элементе;
- $P_{вх.}$  – давление на входе станции;
- $P_{вых.}$  – давление на выходе станции;
- $P_{см.}$  – давление создаваемое станцией,  $P_{см.} = P_{вых.} - P_{вх.}$ ;
- $Q$  – подача насосов (расход в трубопроводе);
- $Q_0$  – начальное значение подачи насосов;
- $K_v$  – пропускная способность регулятора;
- $a_0, a_1,$  – коэффициенты аппроксимации напорной характеристики;
- $a_2$  – насоса полиномом второй степени.

При любой системе регулирования в соответствии с формулой Жуковского изменения давления и расхода на входе и выходе промежуточной станции (безрезервуарного парка) связаны соотношениями:

$$\frac{dP_{вх.}}{dt} = -\frac{dP_{вых.}}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{dP_{см.}}{dt} = -\frac{\rho \cdot c \cdot dQ}{S \cdot dt}, \quad (1)$$

Изменение давления на входе и выходе промежуточной НПС равны, но противоположены по знаку при условии, что трубопроводы до и после станции одинакового диаметра.

Давление на входе станции с резервуарным парком в переходном процессе не изменяется, поскольку откачка нефти осуществляется из резервуаров, поэтому:

$$\frac{dP_{\text{вых}}}{dt} = \frac{dP_{\text{см}}}{dt} = \frac{\rho \cdot c \cdot dQ}{S \cdot dt}, \quad (2)$$

### Частотное регулирование

При частотном регулировании регулирующим элементом является насос (насосы) с известной напорной характеристикой. Возможности САР на базе частотного регулирования обрабатывать возмущения при переходных процессах зависят от максимальной скорости, изменения частоты вращения вала насоса. Согласно [1] данная характеристика составляет 150 об/мин/с, т.е. при номинальной частоте электродвигателя 3000 об/мин  $dx/dt = 0,05 \text{ об/с}^2$ .

Создаваемое станцией давление при последовательном включении одинаковых насосов,  $m$  из которых с ЧРП и  $n$  без ЧРП, можно представить в виде:

$$P_{\text{см.}} = (n \cdot (a_0 + a_1 \cdot Q_0 + a_2 \cdot Q_0^2) + m \cdot (a_0 \cdot x_0^2 + a_1 \cdot x_0 \cdot Q_0 + a_2 \cdot Q_0^2)) \cdot \rho \cdot g, \quad (3)$$

$$\frac{dP_{\text{см.}}}{dt} = (n \cdot a_1 \frac{dQ}{dt} + 2 \cdot n \cdot a_2 Q_0 \frac{dQ}{dt} + 2ma_0 x_0 \cdot \frac{dx}{dt} + ma_1 Q_0 \frac{dx}{dt} + ma_1 x_0 \frac{dQ}{dt} + 2ma_2 Q_0 \frac{dQ}{dt}) \cdot \rho \cdot g. \quad (4)$$

Выразив с помощью (1)  $\frac{dP_{\text{см.}}}{dt}$  и  $\frac{dQ}{dt}$  через  $\frac{dP_{\text{вых.}}}{dt}$ , подставив соответствующие выражения в (4) и решив получившиеся уравнение, получим скорость изменения давления на выходе НПС:

$$\left. \frac{dP_{\text{вых}}}{dt} \right|_{t=0} = \frac{(2 \cdot a_0 \cdot x_0 + a_1 \cdot Q_0) \cdot m \cdot \rho \cdot g \cdot c}{2 \cdot c - S \cdot g \cdot ((m \cdot x_0 + n) \cdot a_1 - 2 \cdot (m + n) \cdot a_2 \cdot Q_0)} \cdot \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0}. \quad (5)$$

Аналогично для НПС с резервуарным парком:

$$\left. \frac{dP_{\text{блх}}}{dt} \right|_{t=0} = \frac{(2 \cdot a_0 \cdot x_0 + a_1 \cdot Q_0) \cdot m \cdot \rho \cdot g \cdot c}{c - S \cdot g((m \cdot x_0 + n) \cdot a_1 - 2 \cdot (m + n) \cdot a_2 \cdot Q_0)} \cdot \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0}. \quad (6)$$

С учётом возможных значений параметров, числитель и знаменатель в (5), (6) всегда положительны, при этом значение знаменателя практически совпадает с первым слагаемым ( $2c$  или  $c$ ), поскольку остальные слагаемые пренебрежимо малы по сравнению с первым слагаемым. Тогда знак выражения (5, 6) определяется  $\frac{dx}{dt}$ , так если увеличивается частота, создается волна повышения - знак положительный, если частота уменьшается, создается волна понижения -  $\frac{dx}{dt} < 0$ . Из формул (5, 6) следует, что при прочих равных условиях скорость изменения давления на выходе станции:

- прямо пропорциональна скорости изменения частоты вращения ротора насоса;
- прямо пропорциональна количеству работающих насосов с ЧРП ( $m$ );
- зависит линейно от относительной начальной частоты вращения ротора ( $x_0$ ) и от начальной подачи насосов  $Q_0$ ;
- практически не зависит от проходного сечения трубопровода;
- на головной насосной станции скорость изменения давления на выходе станции в 2 раза больше, чем на промежуточной станции.

В качестве исходных данных для последующих расчетов примем параметры магистральных нефтепроводов (МН), запроектированных в соответствии с требованиями [3].

Расчет скорости изменения давления на выходе головной и промежуточной станции (таблица 1) выполнен для различных значений числа насосов с ЧРП ( $m$ ), первоначальной относительной частоты вращения ротора  $x_0$  и начальной подачи  $Q_0$ . Результаты, представленные в

таблице 1, подтверждают предварительные выводы, сделанные при анализе формул (5,6).

Таблица 1. Расчетные скорости изменения давления на выходе станции при частотном регулировании при  $\frac{dx}{dt} = -0.05$

D <sub>N</sub> , мм	Тип МНА	Q <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /ч	m, шт	n, шт	x <sub>0</sub>	$\frac{dP_{\text{вых.ст.}}}{dt}$ , кгс/см <sup>2</sup> /с	
						Головная НПС	Промежуточная НПС
720	НМ 2500-230	2500	1	2	1	-2,33	-1,16
					0,5	-1,16	-0,58
			2	1	1	-4,65	-2,33
					0,5	-2,33	-1,16
		2750	3	0	1	-6,98	-3,49
					0,5	-3,49	-1,75
			3	0	1	-6,98	-3,49
					0,5	-3,49	-1,75
820	НМ 3600-230	3600	1	2	1	-2,48	-1,24
					0,5	-1,24	-0,62
			2	1	1	-4,96	-2,48
					0,5	-2,48	-1,24
		3960	3	0	1	-7,44	-3,72
					0,5	-3,72	-1,86
			3	0	1	-7,44	-3,72
					0,5	-3,72	-1,86
1020	НМ 7000-210	7000	1	2	1	-2,77	-1,39
					0,5	-1,39	-0,69
			2	1	1	-5,55	-2,77
					0,5	-2,77	-1,39
		7700	3	0	1	-8,32	-4,16
					0,5	-4,16	-2,08
			3	0	1	-8,32	-4,16
					0,5	-4,16	-2,08
1220	НМ 10000-210	10000	1	2	1	-2,52	-1,26
					0,5	-1,26	-0,63
			2	1	1	-5,03	-2,52
					0,5	-2,52	-1,26
		11000	3	0	1	-7,55	-3,77
					0,5	-3,77	-1,89
			3	0	1	-7,55	-3,77
					0,5	-3,77	-1,89

Численные значения из таблицы 1 свидетельствуют о том, что:

- при работе 2 и 3 насосов с ЧРП САР способна обрабатывать усредненные значения расчётных возмущений во всем диапазоне возможных значений начальной частоты;
- при работе только одного насоса с ЧРП САР способна обрабатывать расчётное возмущение только при номинальной частоте;
- при номинальной подаче и при одинаковом количестве насосов с ЧРП вне зависимости от диаметра трубопровода САР создает скорость изменения давления на выходе станции практически одинаковую для всех трубопроводов.

### Дросселирование напора

В случае регулирования дросселированием, регулирующим элементом является поворотный дисковый затвор или регулирующий клапан с известной пропускной характеристикой.

Регламентированное время хода затвора из положения «полностью открыт» в положение «полностью закрыт» [1] и соответствующая скорость перемещения затвора представлены в таблице 2.

Таблица 2. Время и скорость перемещения затвора в зависимости от  $D_N$  магистрального нефтепровода

$D_N$	t, с	$\frac{dx}{dt}$ , %/с
1200	8-10	12,5-10
1000	12-15	8,3-6,6
$\leq 800$	20-25	5-4

Расход через затвор в  $\text{м}^3/\text{ч}$  определяется по формуле [4]:

$$Q = K_v \cdot \sqrt{\frac{\rho}{Pd}}, \quad (7)$$

где  $K_v$  – пропускная способность, численно равная расходу рабочей среды с плотностью  $1\text{ г/см}^3$ , протекающей через арматуру, при перепаде давления  $0,1\text{ МПа}$  ( $1\text{ кгс/см}^2$ ) [5].



Учитывая, что  $K_v$  внесистемная единица (все составляющие формулы в разных системах единиц), целесообразно пропускную способность регулятора выразить через его эффективную площадь ( $K_s$ ) [5]:

$$Q = K_s \cdot \sqrt{\frac{\rho}{Pd}} \quad (8)$$

Размерность  $K_s$  в системе СИ  $[K_s] = \text{м}^2$ . Связь между  $K_s$  и  $K_v$  определяется формулой:

$$K_s = 2,804 \cdot 10^{-5} \cdot K_v \quad (9)$$

Величину дросселирования при  $k$  параллельно включенных затворах (клапанах) из (8) можно представить:

$$Pd = \rho \cdot \frac{Q^2}{k^2 \cdot K_s^2} \quad (10)$$

Согласно данным производителя зависимость  $K_s(K_v)$  от относительного хода затвора для всех диаметров затворов одинаковая (рисунок 1). Численные значения максимальной пропускной способности для различных диаметров затворов были приняты согласно технической документации производителя, эффективная площадь пересчитана согласно (8) (таблица 3). Тогда из (10) можно определить перепад давления на двух полностью открытых регулирующих затворах для МН, запроектированных согласно [3] (таблица 4). Согласно [4] данный перепад давления не должен превышать 0,025 МПа.

Таблица 3. Максимальная пропускная способность и эффективная площадь в зависимости от диаметра затворов  $D_N$

$D_N$ , мм	$K_v$ , м <sup>3</sup> /ч	$K_s$ , м <sup>2</sup>
350	4450	0,12
400	5944	0,17
500	9927	0,28
600	15066	0,42
700	23982	0,67
800	30834	0,86
900	38543	1,08
1000	47964	1,34
1200	69377	1,95

Таблица 4. Расчетный перепад давления на двух регулирующих затворах

D <sub>N</sub> МН, мм	Тип МНА	Q, м <sup>3</sup> /ч	Pd при DN затвора, МПа					
			350	400	500	600	700	800
720	НМ 2500-230	2500	0,0068	0,0038	0,0014	0,0006	0,0002	0,0001
820	НМ 3600-230	3600	0,0142	0,0079	0,0028	0,0012	0,0005	0,0003
1020	НМ 7000-210	7000	0,054	0,030	0,011	0,005	0,002	0,001
1220	НМ 10000-210	10000	0,109	0,061	0,022	0,010	0,004	0,002

Из таблицы 4 следует, что на нефтепроводах  $D_N < 1020$  можно использовать любой  $D_N$  регулирующего затвора из представленного ряда, при  $D_N \geq 1020$  можно использовать только затвор  $D_N \geq 500$ . Для последующих расчетов затворы выбирались из условия обеспечения требований [4] по перепаду давления.

Максимальная эффективная площадь (затвор полностью открыт) достигается при степени открытия 94% (точка А, рисунок 1). Область правее точки А является нерабочей, т.к. в ней осуществляется неустойчивое регулирование (при закрытии затвора перепад на нем уменьшается). В области АВ зависимости  $K_s$  от  $x$  нелинейная и среднее значение  $\frac{dK_s}{dx}$  составляет 0,69. Соответственно, если затвор способен в данной области создать скорость изменения давления на выходе НПС равную или превышающую скорость набегающей волны, тогда в области ВС он также способен ее создать. В области ВС зависимость  $K_s$  от  $x$  практически линейная, данную область называют диапазоном регулирования [5], соответственно  $dK_s / dx = const$  и принимает максимальное значение  $\frac{dK_s}{dx} = 1,49$ . Если в САР давления в области АВ не способна отработать расчетное возмущение, а в области ВС способна, возможно ограничение области ее работы диапазоном регулирования (ВС), при этом повышается быстродействие, но увеличивается постоянное дросселирование.

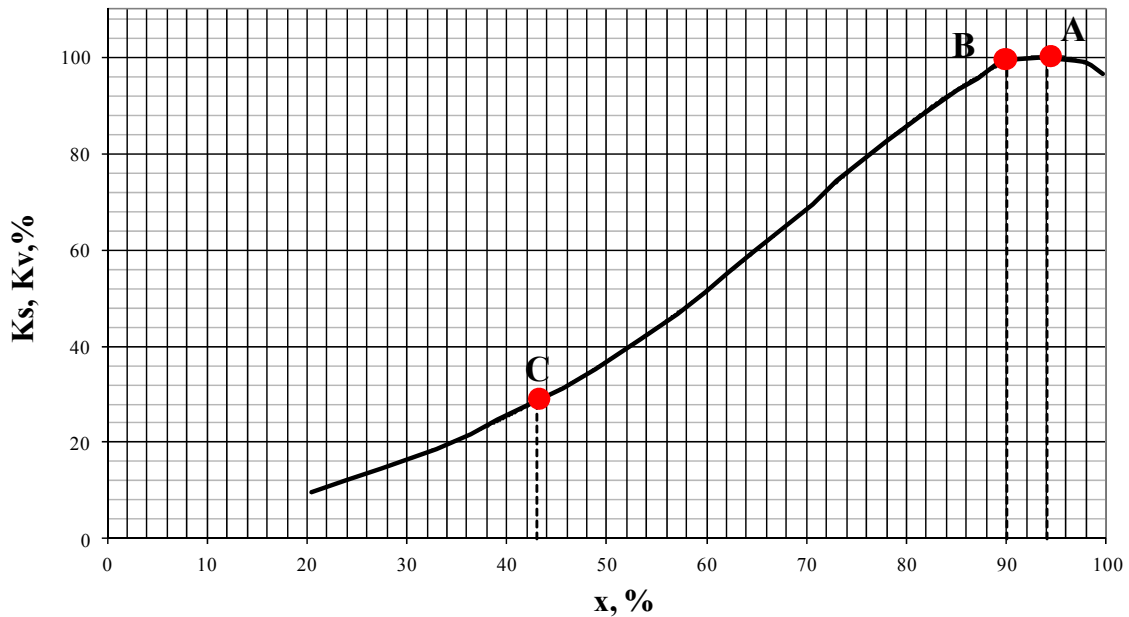


Рисунок 1. Относительная пропускная способность поворотного затвора

Суммарное давление последовательно включённых насосов:

$$P_{cm} = n \cdot \rho \cdot g \cdot (a_0 + a_1 \cdot Q + a_2 \cdot Q^2), \quad (11)$$

Тогда давление на выходе станции:

$$P_{вых} = P_{cm} - Pd, \quad (12)$$

Дифференцируя (10) и (11) по времени и подставляя результаты в (12),

получим:

$$\left. \frac{dP_{вых}}{dt} \right|_{t=0} = n \cdot \rho \cdot g \cdot (a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot Q_0) \cdot \left. \frac{dQ}{dt} \right|_{t=0} - \frac{2 \cdot \rho \cdot Q_0}{k^2 \cdot Ks_0^2} \cdot \left. \frac{dQ}{dt} \right|_{t=0} + \frac{2 \cdot \rho \cdot Q_0^2}{k^2 \cdot Ks_0^3} \cdot \left. \frac{dKs}{dx} \right|_{x=x_0} \cdot \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} \quad (13)$$

Выразив из (1)  $\frac{dQ}{dt}$  через  $\frac{dP_{вых}}{dt}$  и подставив в (13) получаем:

$$\left. \frac{dP_{вых}}{dt} \right|_{t=0} = \frac{2 \cdot \rho \cdot c \cdot Q_0^2}{S \cdot k^2 \cdot Ks_0^3} \cdot \frac{1}{\left( \frac{2 \cdot c}{S} + \frac{2 \cdot Q_0}{k^2 \cdot Ks_0^2} - n \cdot g \cdot (a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot Q_0) \right)} \cdot \left. \frac{dKs}{dx} \right|_{x=x_0} \cdot \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} \quad (14)$$

Для головной станции скорость изменения давления определяется:

$$\left. \frac{dP_{вых}}{dt} \right|_{t=0} = \frac{2 \cdot \rho \cdot c \cdot Q_0^2}{S \cdot k^2 \cdot Ks_0^3} \cdot \frac{1}{\left( \frac{c}{S} + \frac{2 \cdot Q_0}{k^2 \cdot Ks_0^2} - n \cdot g \cdot (a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot Q_0) \right)} \cdot \left. \frac{dKs}{dx} \right|_{x=x_0} \cdot \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} \quad (15)$$

Анализ формул (14, 15) показывает, что знаменатель в обоих случаях определяется скоростью звука, т.к. остальные слагаемые пренебрежимо малы, тогда с учетом возможных значений параметров знак выражения

(14, 15) определяется  $\frac{dx}{dt}$ . Так, если затвор открывается, знак положительный, если закрывается  $\frac{dx}{dt} < 0$  и выражение принимает отрицательное значение. Из формул (14, 15) следует, что скорость изменения давления на выходе станции:

- прямо пропорциональна  $Q_0^2$ ,  $\left. \frac{dKs}{dx} \right|_{x=x_0}$  и  $\left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0}$ ;
- обратно пропорциональна  $k^2$  и  $Ks_0^3$ ;
- не зависит от S;
- скорость изменения давления на выходе головной станции в два раза больше, чем на промежуточной НПС.

Расчетные скорости изменения давления на выходе головной и промежуточной станции при двух регулирующих затворах в зависимости от количества насосов, подачи, и хода затвора представлены в таблице 5. Время хода затвора принято минимальным в зависимости от  $D_N$  МН (таблица 2). Результаты расчетов подтверждают предварительно сделанные выводы при анализе формул (13, 14).

Из таблицы 5 следует, что:

- максимальные скорости изменения давления на выходе станции достигаются при работе затвора в области ВС, минимальные АВ (рисунок 1);
- при увеличении  $D_N$  затвора скорость изменения давления уменьшается;
- затворы с минимальным диаметром способны обрабатывать расчётное возмущение во всем диапазоне регулирования (АВ) при регламентированном времени хода затвора.

Из полученных результатов следует вывод, что наиболее технически и экономически оправдано устанавливать затворы с минимальным диаметром при условии обеспечения перепада давления согласно [4].

Тогда достигается максимальная скорость изменения давления на выходе станции с минимальными затратами на регуляторы давления.

Таблица 5. Расчетные скорости изменения давления на выходе станции при дресселировании

D <sub>N</sub> МН, мм	Тип МНА	Q <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /ч	k, шт	x <sub>0</sub>	$\frac{dx}{dt}$ , %/с	$\frac{dP_{\text{вых.ст.}}}{dt}$ , кгс/см <sup>2</sup> /с							
						Головная НПС				Промежуточная НПС			
						D <sub>N</sub> 350	D <sub>N</sub> 400	D <sub>N</sub> 500	D <sub>N</sub> 600	D <sub>N</sub> 350	D <sub>N</sub> 400	D <sub>N</sub> 500	D <sub>N</sub> 600
720	НМ 2500-230	2500	3	0,94	4	-4,72	-1,99	-0,43	-0,12	-2,37	-1,00	-0,21	-0,06
				0,92		-5,62	-2,36	-0,50	-0,14	-2,82	-1,18	-0,25	-0,07
				0,91		-6,04	-2,55	-0,55	-0,16	-3,03	-1,28	-0,27	-0,08
				0,85		-9,01	-3,79	-0,82	-0,23	-4,52	-1,90	-0,41	-0,12
		2125	2	0,75	-8,99	-3,78	-0,81	-0,23	-4,51	-1,90	-0,41	-0,12	
1250	1	0,60	-3,52	-1,48	-0,32	-0,09	-1,77	-0,74	-0,16	-0,05			
820	НМ 3600-230	3600	3	0,94	4	-9,72	-4,11	-0,89	-0,25	-4,90	-2,06	-0,44	-0,13
				0,92		-11,57	-4,81	-1,05	-0,30	-5,83	-2,45	-0,52	-0,15
				0,91		-12,44	-5,26	-1,13	-0,33	-6,27	-2,64	-0,57	-0,16
				0,85		-18,54	-7,83	-1,69	-0,48	-9,34	-3,93	-0,85	-0,24
		3060	2	0,75	-18,53	-7,82	-1,69	-0,48	-9,33	-3,92	-0,84	-0,24	
1800	1	0,60	-7,28	-3,06	-0,66	-0,19	-3,65	-1,54	-0,33	-0,09			
1020	НМ 7000-210	7000	3	0,94	6,6	*	*	-5,55	-1,60	*	*	-2,79	-0,80
				0,92		*	*	-6,61	-1,90	*	*	-3,32	-0,95
				0,91		*	*	-7,11	-2,04	*	*	-3,57	-1,02
				0,85		*	*	-10,59	-3,04	*	*	-5,32	-1,53
		5950	2	0,75	*	*	-10,58	-3,04	*	*	-5,31	-1,52	
3500	1	0,60	*	*	-4,14	-1,19	*	*	-2,08	-0,59			
1220	НМ 10000-210	10000	3	0,94	10	*	*	-16,83	-4,87	*	*	-8,50	-2,44
				0,92		*	*	-20,03	-5,79	*	*	-10,11	-2,90
				0,91		*	*	-21,54	-6,23	*	*	-10,87	-3,13
				0,85		*	*	-32,09	-9,28	*	*	-16,20	-4,66
		8500	2	0,75	*	*	-32,10	-9,27	*	*	-16,18	-4,65	
5000	1	0,60	*	*	-12,62	-3,63	*	*	-6,34	-1,82			

\*- не выполняется требование [4] по перепаду давления на полностью открытых затворах

## Выводы

По результатам выполненных расчетов можно отметить, что скорость изменения давления на выходе станции для различных методов регулирования зависит от многих факторов, но в целом оба метода регулирования способны обеспечивать выполнение требований [1], по обеспечению отработки расчётных возмущений, при соответствующем

подборе количества и характеристик технологического оборудования в соответствии с представленной методикой.

### **Список используемых источников**

1 РД-35.240.50-КТН-109-13. Автоматизация и телемеханизация технологического оборудования площадочных и линейных объектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные положения. М., 2013. 124 с.

2 Вязунов Е.В., Голосовкер Б.И. Определение крутизны фронта волн при типичных возмущениях на магистральных нефтепроводах // Транспорт нефти и нефтепродуктов. 1965. №10. С.3-5.

3 РД 153-39.4-113-01. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов. М., 2001. 44 с.

4 РД-75.180.00-КТН-198-09. Унифицированные технологические расчеты объектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. М., 2009. 204 с.

5 ГОСТ Р52720-2007. Арматура трубопроводная Термины и определения. М., 2007. 20 с.

### **References**

1 RD-35.240.50-KTN-109-13. Avtomatizatsiya i telemekhanizatsiya tekhnologicheskogo oborudovaniya ploshhadochnykh i linejnykh ob"ektov magistral'nykh nefteprovodov i nefteproduktoprovodov. Osnovnye polozheniya. M., 2013. 124 s. [in Russian].

2 Vyazunov E.V., Golosovker B.I. Opredelenie krutizny fronta voln pri tipichnykh vozmushheniyakh na magistral'nykh nefteprovodakh // Transport nefiti i nefteproduktov. 1965. №10. S.3-5. [in Russian].

3 RD 153-39.4-113-01. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya magistral'nykh nefteprovodov. M., 2001. 44 s. [in Russian].

4 RD-75.180.00-KTN-198-09. Unifitsirovannyye tekhnologicheskiye raschety ob"ektov magistral'nykh nefteprovodov i nefteproduktoprovodov. M., 2009. 204 s. [in Russian].

5 GOST R52720-2007. Armatura truboprovodnaya Terminy i opredeleniya. M., 2007. 20 s. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Вязунов Е.В., канд. техн. наук, старший научный сотрудник, главный специалист отдела математического моделирования ОАО «Гипротрубопровод», г. Москва, Российская Федерация.

E.V. Vyazunov, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Chief Specialist of the Mathematical Modeling of "Giprotruboprovod", Moscow, the Russian Federation.

Бархатов А.Ф., аспирант кафедры «Оборудование и технология сварочного производства», ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация.

A.F. Barkhatov, Postgraduate Student of the Chair "Equipment and welding technology", FSBEI NPE "National Research Tomsk Polytechnic University", Tomsk, the Russian Federation.

e-mail: barkhatov-alex@yandex.ru