

Ж.К. Касымбеков, Н.П. Ни, Б.С. Ботантаева

ИСПЫТАНИЕ ВОДОПРОВОДНОГО ВОЗДУХООТДЕЛИТЕЛЯ- НАПОРОГАСИТЕЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДЕЙСТВИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Установлено, что расположение воздухоотделителя центробежного действия в верхней точке перегиба трубопровода исключает в полной мере возникновение гидравлического удара особенно при воздухосодержании до 16% от расхода воды. При этом, степень воздухоотделения составляет 80...85% и данному условию работы соответствуют рациональные режимные параметры.

Использование воздухоотделителя-напорогасителя центробежного действия в верхней точке перегиба водовода исключает возникновение гидравлического удара в нисходящей ветви за счет выхода воздушного скопления из трубопровода

Ключевые слова: водопровод, воздухоотделитель центробежного действия, напорогаситель, испытание.

Наши авторы:

Касымбеков Жузбай Кожабиевич, д.т.н., академик Национальной инженерной академии РК, проф. кафедры «Инженерные системы и сети» Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева (Казахстан), 050036, Алматы, мкрн «Мамыр-3», д.22, кв. 18.
e-mail: jkk2004@mail.ru

Ни Надежда Поликарповна, к.т.н., ведущий научный сотрудник Казахского научно-исследовательского института водного хозяйства (Казахстан).

Ботантаева Бибигул Сарыбаевна, к.т.н., руководитель группы ПК «Казгипроводхоз» (Казахстан).

Как показывает практика, воздушные скопления, которые являются причиной гидравлических ударов, образуются в напорных водоводах за счет несовершенства отдельных линейных сооружений, оборудования, арматуры и других конструктивно-технологических особенностей. Они сужают сечение водовода, уменьшая тем самым пропускную способность, создают пульсации напора и приводят к авариям [1].

Основной арматурой по борьбе с воздушными скоплениями в водоводах служат различные клапаны и вантузы, которые устанавливаются согласно техническим условиям практически во множестве возвышенных точек перелома профиля водовода. Однако, они преимущественно срабатывают лишь в аварийных ситуациях и тем самым не обеспечивают преждевременного предохранения водоводов от образования в них воздушных скоплений.

Испытуемый воздухоотделитель-напорогаситель центробежного действия [2] предназначен для отделения и удаления воздуха из напорных водоводов условными диаметрами 50 ... 200 мм и гашения энергии фаз гидравлического удара (рис. 1).

При этом, отделение воздуха из потока воды происходит за счет тангенциального подвода и отвода воды из цилиндрического корпуса воздухоотделителя-напорогасителя

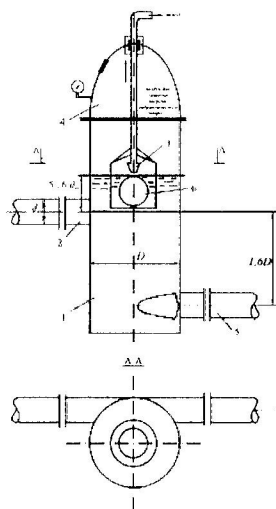
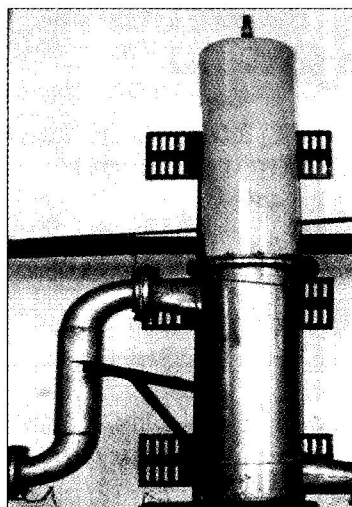


Рис. 1. Схематический разрез и общий вид гидроциклонного воздухоотделителя-напорогасителя

1 — корпус; 2 — подвод водовоздушной смеси;

3 — воздухоотводящая трубка; 4 — воздушный аккумулятор.



при различных углах наклона восходящей и нисходящей линий водовода (от 0° до 30°) и объема воздуха в воздушном колпаке воздухоотделителя-напорогасителя, назначаемом в последовательности от 0,0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04.

В ходе испытания установлено, что эффективность воздухоотделителя уменьшается с увеличением внутритрубного давления, т. к. часть объема воздуха раство-

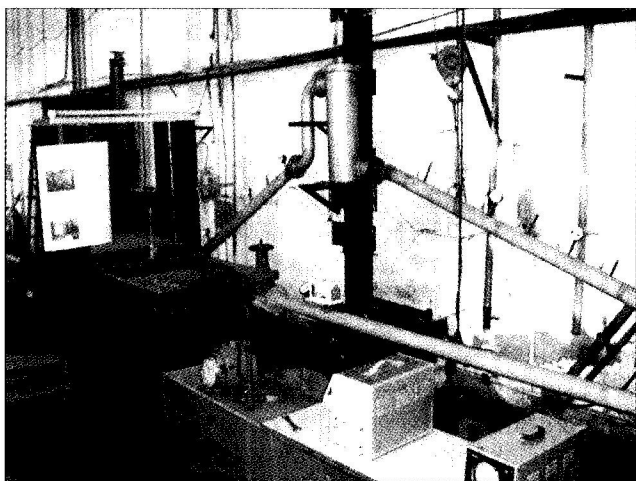


Рис. 2. Лабораторный стенд для испытания воздухоотделителя-напорогасителя центробежного действия

с образованием воздушного шнура в центральной части. Когда воздушный аккумулятор заполняется воздухом, уровень воды в корпусе воздухоотделителя понижается и поплавковый шар-клапан открывается. Скопившийся воздух выходит по воздухоотводящей трубе в атмосферу.

Испытания опытного образца проводились на лабораторном стенде, показанном на рисунке 2. Он состоит из замкнутого контура водопровода, измерительных приборов и испытываемого оборудования.

Измерение давления фаз гидравлического удара и гашение их энергии было проведено при различных углах наклона восходящей и нисходящей линий водовода (от 0° до 30°) и объема воздуха в воздушном колпаке воздухоотделителя-напорогасителя, назначаемом в последовательности от 0,0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04.

В ходе испытания установлено, что эффективность воздухоотделителя уменьшается с увеличением внутритрубного давления, т. к. часть объема воздуха растворяется в воде и не отделяется в воздухоотделителе. Увеличение давления вызывает переход на насыщенный режим работы воздухоотделителя центробежного действия. В этих условиях происходит турбулентное смешивание водовоздушной смеси в воздухоотделителе, что отрицательно отражается на эффективности его работы.

Фазы гидравлического удара и гашение их энергии в зависимости от объема воздуха в верхней части воздухоотделителя-напорогасителя при различных уклонах линий приведены в таблице 1.

Таблица 1.

**Фазы гидравлического удара и гашение их энергии в зависимости
от объема воздуха в верхней части воздухоотделителя-напорогасителя**

№, п/п	V_0 , м/с	$W_B = 0 \text{ м}^3$			$W_B = 0,01 \text{ м}^3$			$W_B = 0,02 \text{ м}^3$			$W_B = 0,03 \text{ м}^3$			$W_B = 0,04 \text{ м}^3$		
		Δh_1 , МПа	Δh_2 , МПа	Δh_3 , МПа	Δh_1 , МПа	Δh_2 , МПа	Δh_3 , МПа	Δh_1 , МПа	Δh_2 , МПа	Δh_3 , МПа	Δh_1 , МПа	Δh_2 , МПа	Δh_3 , МПа	Δh_1 , МПа	Δh_2 , МПа	Δh_3 , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Угол наклона восходящей и нисходящей линий равен 0°																
1	0,22	0,38	0,12	0,06	0,28	0,08	—	0,18	0,06	—	0,14	—	—	0,04	—	—
2	0,43	0,49	0,36	0,08	0,33	0,1	—	0,2	0,09	—	0,15	—	—	0,05	—	—
3	0,61	0,72	0,76	0,52	0,57	0,25	—	0,36	0,12	—	0,27	0,12	—	0,08	—	—
4	0,97	0,98	1,26	0,64	0,87	0,46	—	0,51	0,25	—	0,41	0,17	—	0,11	0,07	—
5	1,02	1,27	1,65	0,81	1,01	0,59	0,08	0,66	0,37	—	0,49	0,21	—	0,15	0,08	—
6	1,31	1,52	2,21	0,96	1,25	0,6	0,12	0,78	0,34	0,06	0,58	0,27	—	0,23	0,14	—
Угол наклона восходящей и нисходящей линий равен 10°																
1	0,22	0,39	0,24	0,08	0,29	0,08	—	0,18	0,07	—	0,13	—	—	0,04	—	—
2	0,43	0,51	0,36	0,09	0,34	0,09	—	0,21	0,07	—	0,16	0,06	—	0,045	—	—
3	0,61	0,76	0,84	0,31	0,64	0,61	0,28	0,38	0,42	0,2	0,28	0,31	0,16	0,09	0,18	—
4	0,97	1,04	1,51	0,81	0,93	0,92	0,41	0,59	0,54	0,19	0,43	0,41	0,2	0,13	0,27	0,13
5	1,02	1,34	1,92	0,87	1,06	1,15	0,56	0,69	0,74	0,38	0,51	0,5	0,25	0,16	0,37	0,17
6	1,31	1,64	2,28	1,11	1,32	1,36	0,68	0,84	0,85	0,43	0,62	0,55	0,27	0,28	0,48	0,22
Угол наклона восходящей и нисходящей линий равен 20°																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,22	0,41	0,26	0,1	0,31	0,09	—	0,19	0,08	—	0,14	—	—	0,045	—	—
2	0,43	0,56	0,41	0,16	0,38	0,1	—	0,23	0,08	—	0,17	0,06	—	0,05	—	—
3	0,61	0,83	0,9	0,4	0,66	0,66	0,31	0,41	0,46	0,22	0,31	0,34	0,17	0,09	0,2	—
4	0,97	1,08	1,6	0,86	0,94	0,92	0,41	0,61	0,56	0,25	0,45	0,43	0,2	0,14	0,27	0,1
5	1,02	1,43	2,08	1,06	1,13	1,2	0,6	0,74	0,79	0,38	0,53	0,53	0,26	0,17	0,39	0,18
6	1,31	1,72	2,41	1,24	1,38	1,42	0,72	0,88	0,89	0,45	0,65	0,55	0,28	0,29	0,44	0,23
Угол наклона восходящей и нисходящей линий равен 30°																
1	0,22	0,45	0,28	0,09	0,34	0,1	—	0,21	0,09	—	0,16	—	—	0,05	—	—
2	0,43	0,68	0,44	0,11	0,45	0,12	—	0,28	0,12	—	0,21	0,08	—	0,06	—	—
3	0,61	0,86	0,93	0,35	0,68	0,69	0,32	0,43	0,48	0,23	0,32	0,36	0,18	0,1	0,21	0,08
4	0,97	1,1	1,63	0,86	0,98	0,94	0,43	0,63	0,57	0,27	0,46	0,44	0,21	0,14	0,29	0,14
5	1,02	1,51	2,13	0,98	1,2	1,3	0,63	0,78	0,84	0,43	0,58	0,57	0,28	0,18	0,42	0,2
6	1,31	1,82	2,54	1,23	1,47	1,51	0,76	0,93	0,95	0,48	0,69	0,61	0,3	0,31	0,48	0,25

Анализ приведенных данных при нулевом объеме воздуха в воздушном колпаке ($W_B=0$) показывает, что давление во второй фазе, при скорости движения жидкости в водоводе более 0,5 м/с, превышает давление первой фазы в 1,2 ... 1,5 раза. Это вызвано разрывом сплошности потока жидкости, который возникает при остановке насосной установки, резким закрытием задвижки на напорной линии, а также в наклонных трубопроводах, когда в прямом направлении по инерции продолжают двигаться два потока жидкости — восходящий и нисходящий. Под действием гравитации и сил трения восходящий поток останавливается и начинает двигаться в обратном направлении, а нисходящий поток продолжает движение вниз по трубопроводу, вызывая в переломной точке водовода дополнительное вакуумирование.

В случае, когда восходящий поток жидкости при максимальном вакуумировании в верхней переломной точке водовода догонит нисходящий, то при их соударении возникнет дополнительное повышение ударного давления, которое можно определить по формуле [3]:

$$H = \frac{aV_0}{g} + (1,2 \dots 1,6)H_0, \quad (1)$$

где: a — скорость распространения ударной волны, м/с²;

g — ускорение силы тяжести, м/с²;

V_0 — установившаяся скорость течения жидкости, м/с;

H_0 — статический напор, МПа.

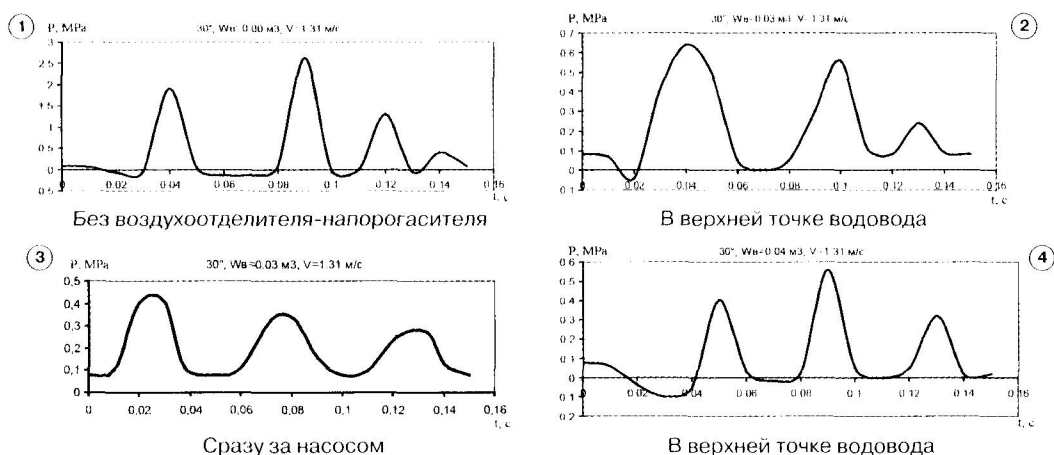
Оказалось, что, в случае аварийной остановки насосного оборудования или при резком закрытии запорного органа ($t_3 < 0,02$ сек) на водоводе для определения максимального давления фаз гидравлического удара, начинающегося с волны повышения давления, можно использовать зависимость [4]:

$$\Delta H_{\text{уд}} = \frac{a}{g} (V_0 - V_n), \quad (2)$$

где: V_0, V_n — скорости движения восходящего и нисходящего потоков жидкости, м/с.

На основе полученных опытных данных можно сделать вывод, что установка воздухоотделителя-напорогасителя центробежного действия в верхней точке перегиба водовода исключает возникновение гидравлического удара в нисходящей ветви за счет выхода воздушного скопления из трубопровода. Но, в восходящей ветви водовода, в случае аварийной остановки насоса или при резком закрытии задвижки на напорной линии, гашение энергии происходит не в полной мере. Поэтому, при монтаже предпочтительна установка воздухоотделителя центробежного действия за используемым насосом.

На рисунке 3 показаны графики фаз внутритрубных давлений, подтверждающие этот вывод.



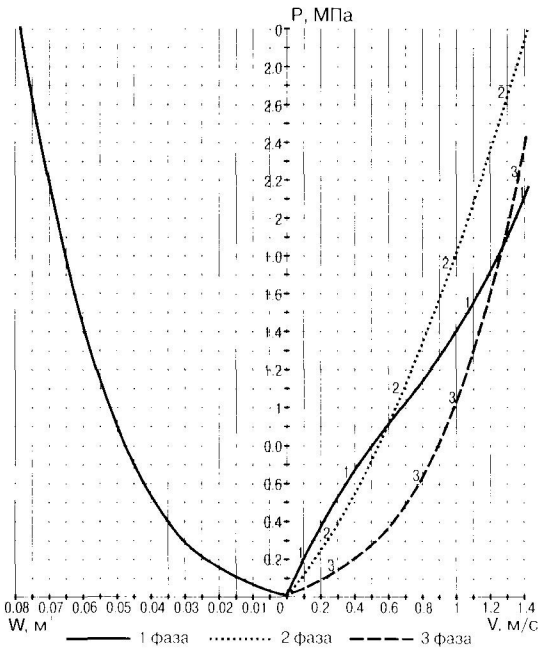


Рис. 4. Номограмма для определения объема воздушной камеры воздухоотделителя-напорогасителя, энергий фаз гидравлического удара

Компьютерная обработка экспериментальных данных позволила установить взаимосвязь и построить номограмму определения объема воздушной камеры воздухоотделителя-напорогасителя центробежного действия в зависимости от скорости движения воды в трубопроводе и давления фаз гидравлического удара (рис. 4).

Это позволяет выполнить оптимальную вариацию параметров воздухоотделителя при расчетах и изготовлении его, исходя из максимального давления фаз гидравлического удара по «Номограмме» в зависимости от скорости движения воды в трубопроводе

Использованная литература

1. Касымбеков Ж. К., Ботантаева Б. С. Исследование условия образования скоплений воздуха на изгибе напорного водовода в вертикальной плоскости // *Materialy V Miedzynarodowej naukowej konferencji «Wschodnia spolka — 2009»*, Volume 7 Techniczne nauki. — Пшемысль (Польша), Nauka i studia, 2009. С.27–31.
2. Патент РК № 20422. Воздухоотделитель-напорогаситель. // Ни Н. П., Рыбинцев Ю. П. и др. — Астана, 2007
3. Дикаревский В. С. Исследование гидравлических ударов в трубопроводах с учетом потерь энергии // *Сборник трудов ЛИИЖТа*, вып. 321. — Л., 1971.
4. Числов В. И. Защита водоводов насосных станций от гидравлических ударов с помощью гасителей // *Автореф. дисс. на к.т.н.* — Харьков, 1974.

Zh.K. Kasymbekov, N.P. Ni, B.S. Botantaeva

TESTING OF THE WATER-PIPE CENTRIFUGAL VENT VALVE-PRESSURE DAMPER IN LABORATORY CONDITIONS

It is found that placement of centrifugal vent valve in the top point of the pipe bend fully avoids water hammer especially when air content is up to 16% of the water flow. At this, degree of water separation is 80...85% and reasonable operating parameters meet this working condition.

Use of centrifugal vent valve -pressure damper in the top point of the pipe bend avoids water hammer in the descending branch by means of air output from pipelines.

Keywords: plumbing, vent valve, centrifugal action, pressure damper, test.

Authors:

Kasymbekov Zuzbay, Doc. Sci. Eng., academician of National Academy of Engineering, prof. Chair of Engineering systems and networks, Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev (Kazakhstan).

Ni Nadezhda, candidate of technical sciences, senior researcher at the Kazakh Scientific Research Institute of water management (Kazakhstan).

Botantaeva Bibigul, Ph. d., group leader, PC «Kazhyprovodkhoz» (Kazakhstan).

References:

1. Kasymbekov Zh. K., Botantaeva B. S. Issledovanie uslovii obrazovaniya skoplenij vozduha na izgibe napornogo vodovoda v vertikal'noj ploskosti [Investigation of conditions of air locks formation at the power conduit bend in vertical plane], *Materialy V Miedzynarodowej naukowej konferencji «Wschodnia spolka — 2009»*, Volume 7, Techniczne nauki, Przemysł (Poland), Nauka i studia, 2009, pp.27-31. (in Russian)
2. Patent RK № 20422. Vozduhootdelitel'-naporogasitel [Vent valve-pressure damper] Ni N. P., Rybincev Ju.P. at alias, Astana, 2007. (in Russian)
3. Dikarevskij V. S. Issledovanie gidravlicheskih udarov v truboprovodah s uchetom poter' jenergii [Investigation of water hammers in pipelines taking into account the energy losses], collection of works of Petersburg State Transport University, issue 321, SPb, 1971. (in Russian)
4. Chislov V. I. Zashhita vodovodov nasosnyh stancij ot gidravlicheskih udarov s pomoshh'ju gasitelej [Protection of pumping stations water conduits from water hammers with the use of dampers], synopsis of thesis by candidate of techn. science, Kharkov, 1974. (in Russian)