

**А. А. АНЦИФЕРОВ
Е. В. ЧИРКОВА
М. Н. КУЧЕРЕНКО**

УСТРАНЕНИЕ УДАРОВ ПРИ ЗАКРЫТИИ ДИСКОВОГО ЗАТВОРА НА ДРЕНАЖЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

ELIMINATION OF IMPACT WHEN CLOSING THE DISC VALVE ON THE DRAINAGE OF HORIZONTAL SEDIMENTS

Рассмотрены причины возникновения удара при закрытии дискового затвора, установленного на трубопроводах, отводящих шламовые воды с горизонтальных отстойников очистных сооружений. Экспериментально опровергнуто предположение о возможности гидравлического удара. Выдвинута гипотеза, что причиной удара является срыв потока жидкости при обтекании плоской пластины на критических углах атаки. Проведён численный эксперимент, заключающийся в моделировании движения потока воды в полностью заполненном замкнутом пространстве трубы. В результате эксперимента выявлено, что срыв потока вызван формированием зон повышенного и пониженного давлений соответственно до и после затвора. Это даёт дополнительную энергию, способствующую увеличению момента закрытия, сопоставимую с усилием пневматического привода, и приводит к гидравлическому удару.

Ключевые слова: горизонтальный отстойник, запорная арматура, затворы дисковые поворотные, режим эксплуатации, гидравлический удар, срыв потока, угол атаки

Применение современных материалов и технологий на водозаборных и очистных сооружениях порой сопровождается определёнными трудностями. Ниже рассматривается проблема, возникшая при замене стальных труб шламоотводов с горизонтальных отстойников очистных сооружений, которые отработали более 30 лет, на стеклобазальтовые трубы по ГОСТ Р 55068-2012 «Трубы и детали трубо-

The reasons for the occurrence of an impact when closing a butterfly valve installed on pipelines that discharge sludge water from horizontal sedimentation tanks of treatment facilities are considered. The assumption about the possibility of water hammer was experimentally refuted. It is hypothesized that the cause of the impact is the disruption of the fluid flow when flowing around a flat plate at critical angles of attack. A numerical experiment was carried out, which consists in modeling the movement of a water flow in a completely filled, closed space of a pipe. As a result of the experiment, it was revealed that the flow stall was caused by the formation of zones of high and low pressure, respectively, before and after the valve. This provides additional energy to increase the closing torque, comparable to the force of a pneumatic actuator, and results in an impact.

Keywords: sedimentation tank, shut-off valves, rotary disc valves, operating mode, hydraulic shock, flow failure, angle of attack

проводов из композитных материалов на основе эпоксидных связующих, армированных стекло- и базальтоволокнами. Технические условия». В качестве запорной арматуры применены дисковые поворотные затворы (ДПЗ) по ГОСТ 12.2.063-2015 «Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности». Они широко представлены на рынке запорной арматуры, и в последнее время заметно расширя-

ется сфера их применения. В отличие от клиновой задвижки, шарового или седельного крана, ДПЗ имеет довольно простую конструкцию, меньшие габаритные размеры, менее чувствителен к механическому загрязнению, не имеет застойных зон, ремонтпригоден [1, 2]. Однако расположенные в потоке жидкости ось и тело клапана создают дополнительное гидравлическое сопротивление, а при определённых режимах работы могут проявляться и другие недостатки, например удары при завершении закрытия затвора. Эффект удара при закрытии затвора отмечают некоторые производители, а эксплуатационники даже рекомендуют беречь руки при закрытии клапанов с ручным приводом [3]. Со временем такие удары могут привести к разрушениям уплотнителя затвора (рис. 1), посадочных мест штока, к выходу из строя привода. Целью настоящей работы является установление причины и разработка мероприятий по устранению удара затвора в момент закрытия.

Дренажная система горизонтальных отстойников состоит из отводящих трубопроводов $d_y = 250$ и магистрального трубопровода $d_y = 600$. На ответвлениях установлены ДПЗ, на концевом участке, перед сливом в открытый приёмник, установлена клиновая задвижка. Общая протяжённость системы составляет более 800 м.

Объектом исследования является дренажная система горизонтальных отстойников, предметом – дисковые поворотные затворы двух диаметров: $d_y = 250$ и $d_y = 600$ мм с пневматическим приводом, датчиком крайних положений, ручным дублёром/редуктором (рис. 2). Пневмопривод представляет собой силовой агрегат, предназначенный для преобразования давления рабочей среды в крутящий момент, имеет конструкцию с кулисным механизмом, в котором линейное перемещение поршня преобразуется в поворот выходного вала с углом поворота 90° . Оборудование установлено на трубопроводах, отводящих шламовые воды с горизонтальных отстойников очистных сооружений. Трубопроводы выполнены из стеклобазальтовых труб диаметром 250 и 600 мм в соответствии с СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования».

Непосредственно на дренажной системе горизонтальных отстойников проведены натурные испытания работы затворов, имитирующие опорожнение емкости. Выполнены серии испытаний из трех циклов «открытие–закрытие» двух затворов каждого диаметра. Проектный расход воды составлял 100 л/с по трубо-

проводу $d_y = 250$ и 270 л/с по $d_y = 600$, скорость воды – около 2 м/с. Из дренажной трубы диаметром 600 мм вода свободно изливалась в открытый приёмник. При завершении закрытия клапана отчетливо слышался характерный удар. На трубопроводах наблюдались небольшие до 10 мм обратимые смещения трубы и затухающая вибрация. Манометр с диапазоном измерений 0-1,6 МПа, классом точности 1,5, установленный на удалении 1,5 м от затвора $d_y = 250$, скачка давления не показал, что подтверждает отсутствие классического гидравлического удара [4]. Наиболее вероятный источник звука – удар затвора при закрытии о резиновый уплотнитель.

Так как натурные испытания не позволили выяснить причину удара, возникает необходимость в проведении численного эксперимента, позволяющего раскрыть новые аспекты проблемы.

Можно выдвинуть гипотезу, что причиной удара является срыв потока при обтекании плоской пластины в ограниченном цилиндром



Рис. 1. Разрушение уплотнителя затвора



Рис. 2. Дисковый поворотный затвор с пневмоприводом на трубопроводе $d_y = 600$ мм

пространстве. Известно, что полную гидродинамическую силу R можно разложить на три перпендикулярные составляющие в скоростной системе координат трубопровода [4]. В векторной форме

$$\bar{R} = \bar{X} + \bar{Y} + \bar{Z},$$

где \bar{R} – полная гидродинамическая сила;
 \bar{X} – сила лобового сопротивления;
 \bar{Y} – подъемная сила;
 \bar{Z} – боковая сила, в данном случае не учитывается.

По мере постепенного увеличения угла атаки подъемная сила увеличивается (рис. 3, а, б). Очевидно, что сопротивление тоже растет. Необходимо отметить, что на малых углах атаки подъемная сила растет значительно быстрее, чем сопротивление.

По мере увеличения угла атаки подъемная сила хотя и продолжает увеличиваться, но медленнее, а сопротивление растет быстрее, посте-

пенно обгоняя рост подъемной силы. В результате полная гидродинамическая сила \bar{R} начинает отклоняться назад (рис. 3, в). При дальнейшем закрытии затвора, за пластиной образуется мощный вихрь, подъемная сила резко падает, а сопротивление увеличивается (рис. 3, г). Образуется срыв потока – неконтролируемое нарушение баланса процессов ламинарного и турбулентного характера в движении жидкости относительно обтекаемого тела. При достижении критического угла атаки точка срыва потока смещается вдоль верхней поверхности пластины к передней кромке, вследствие чего резко падает подъемная сила и происходит резкое закрытие, которое может сопровождаться ударом [5, 6].

Эти рассуждения подтверждаются производителем «Festo» для ДПЗ, тип VZAV на диаграмме изменения коэффициента пропускной способности, построенной в координатах угол поворота–расход (рис. 4). При малых

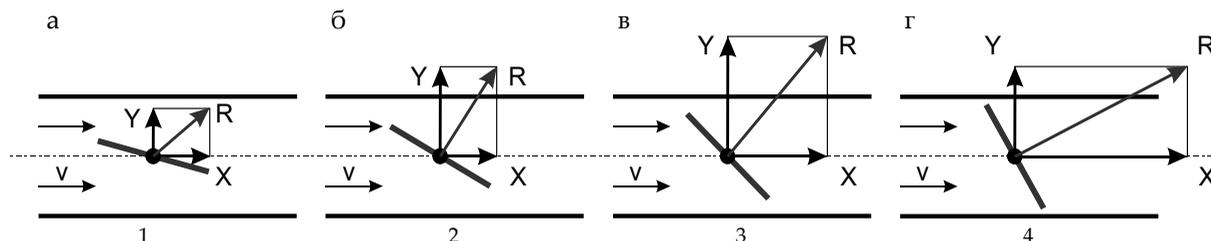


Рис. 3. Этапы закрытия затвора

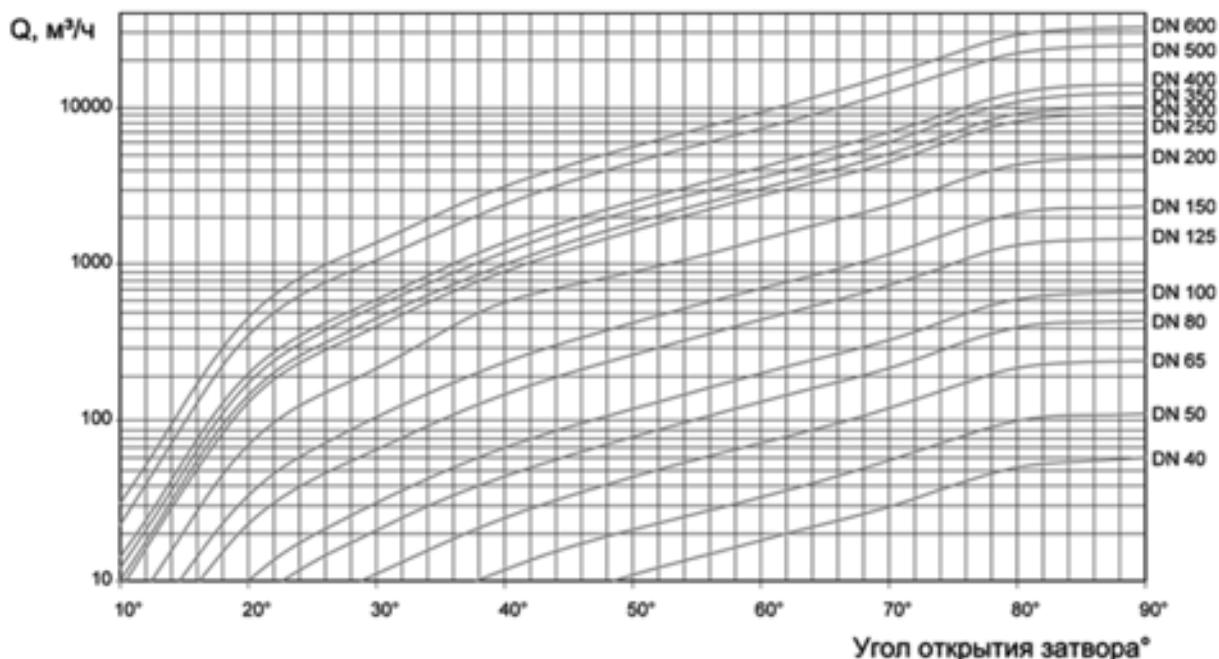


Рис. 4. Диаграмма изменения коэффициента пропускной способности дискового поворотного затвора

углах открытия затвора (0-25°) пропускная способность резко снижается, особенно для диаметров более 250 мм. Диаграмма позволяет выбрать наиболее характерные углы открытия ДПЗ для постановки численного эксперимента, основываясь на теории [4, 10].

Для проверки выдвинутой гипотезы был проведён численный эксперимент, заключающийся в моделировании движения потока воды в полностью заполненном замкнутом пространстве трубы диаметром 250 мм, длиной 1000 мм (по $20d_y$ до и после затвора). Конструктивные особенности реального затвора для решения поставленной задачи несущественны, и для упрощения модели затвор представляет собой плоскую пластину толщиной 10 мм. Построена 3D-модель с применением расчётно-графического пакета Solidworks производства Dassault Systèmes в приложении Solidworks Flow Simulation, предназначенном для параметрического моделирования потоковых процессов в текучей среде методом конечного объёма (CFD-анализ). Определены геометрические и гидравлические граничные условия, проведён расчет перепадов давлений и скоростей воды при обтекании затвора с различными углами открытия (25; 45; 75°). Скорость жидкости принималась равной 2 м/с, давление 101,3 кПа. На рис. 5 показана 3D-модель участка трубы и затвора с углом открытия 25°. Изолинии показывают распределение скоростей.

Визуализированные результаты численного эксперимента, показанные на рис. 6, дают представление о распределении давления. На

рис. 6 видно, как при закрытии увеличивается площадь воздействия повышенного давления. На рис. 6,а зона высокого давления разорвана на две части, а наибольший градиент давлений смещен к передней кромки. На рис. 6,б зона высокого давления увеличилась, стала однородной, воздействует практически на всю верхнюю часть затвора, а у нижней кромки формируется зона более низкого давления. На рис. 6,в вся верхняя часть затвора находится под высоким давлением, а задняя кромка – в зоне разрежения.

На рис. 7 показан сводный график распределения давлений в сечении по оси поворота затвора. При угле открытия 75° перепад давлений $\Delta P = 0,33$ кПа, при 45° – $\Delta P = 0,95$ кПа, при 25° – $\Delta P = 1,56$ кПа. Перепады давления при обтекании затвора дают дополнительную энергию для резкого закрытия, так как динамическое давление определяет кинетическую энергию, перемещаемую с определённой скоростью среды, что и подтверждает выдвинутую гипотезу.

Обобщение результатов проведённых экспериментов позволяет сделать следующий **вывод**: основной причиной резкого увеличения скорости поворота затвора при закрытии, т. е. при повороте до 25°, является срыв потока, обусловленный формированием зон повышенного и пониженного давления соответственно до и после затвора. Значительный перепад давления даёт дополнительную энергию, способствующую увеличению момента закрытия, сопоставимую с усилием пневмопривода, и приводит к удару диска затвора об уплотнитель. Этот процесс обусловлен особенностями конструкции именно пневматического привода.

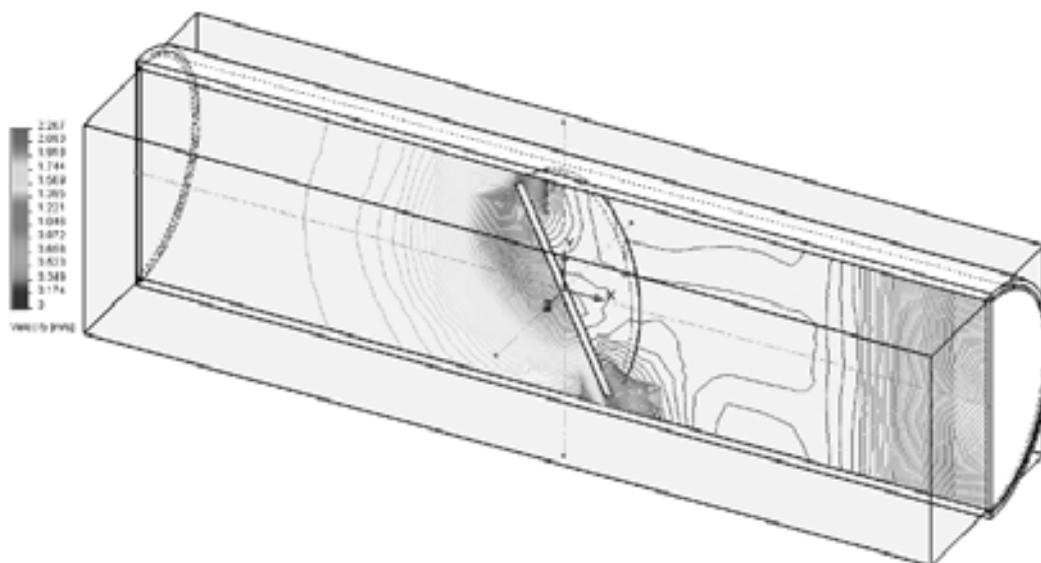


Рис. 5. 3D-модель участка трубы и затвора

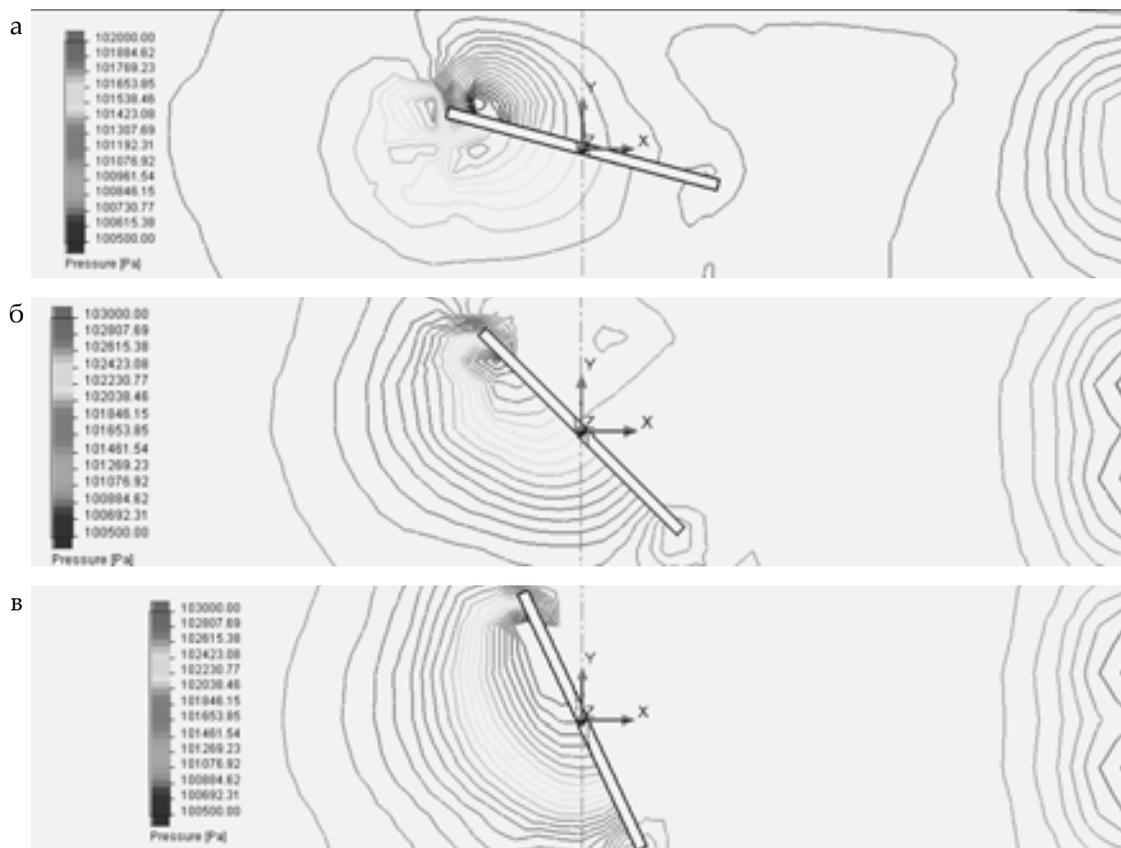


Рис. 6. Эпюра распределения давлений воды при обтекании затвора:
 а – угол открытия 75 °; б – угол открытия 45 °; в – угол открытия 25 °

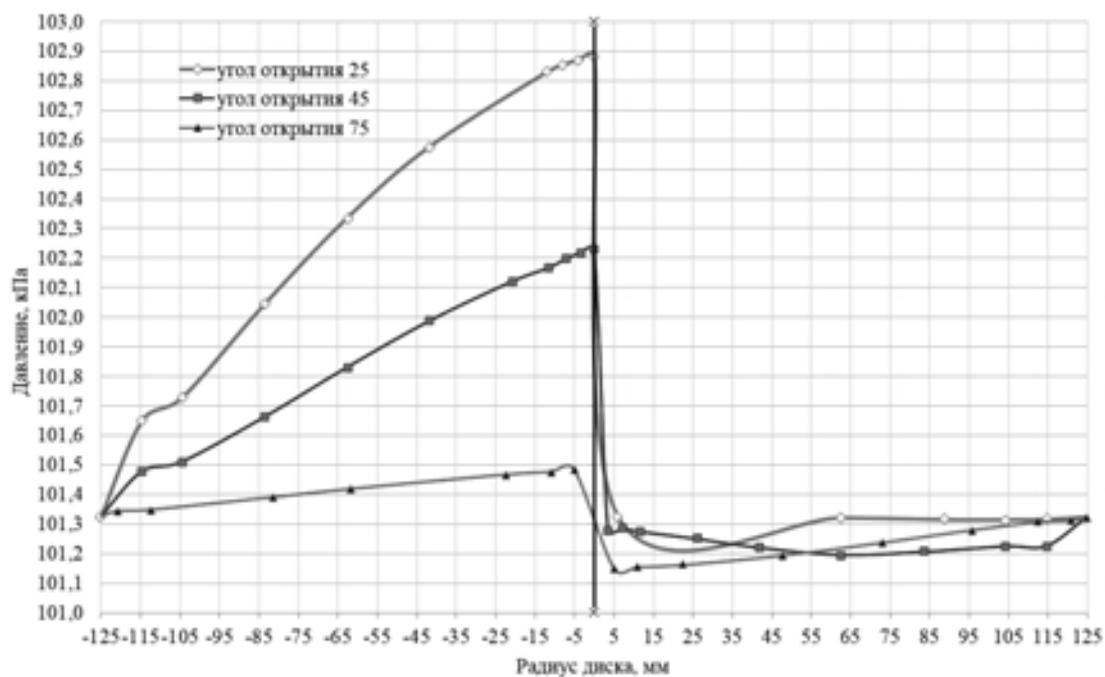


Рис. 7. Распределение давлений в сечении по оси поворота затвора

Для устранения описанной проблемы предлагаются следующие мероприятия:

1. Изменение режима опорожнения ёмкости. Данная рекомендация наиболее простая, малозатратная, не требует замены оборудования и дополнительных монтажных работ.

2. Замена пневмопривода на электропривод и экспериментальный подбор режима закрытия.

3. Изменение формы затвора на более обтекаемую. Решается путем замены затвора при наличии такового у производителя или изготовлении экспериментального образца (при этом требуется проведение дополнительных расчётов, моделирование, апробация).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Antsiferov S.A., Chirkova E.V., Usmanova E.A. Development and testing of a steel regulating thermostatic valve // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. 7 p. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/6/066013> (дата обращения: 20.08.2020).

2. Анциферов С.А., Усманова Е.А. Анализ влияния внутренней коррозии на эксплуатацию трубопроводов // Вестник НГИЭИ. 2015. № 6(49). 5с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-vnutrenney-korrozii-na-ekspluatatsiyu-truboprovodov> (дата обращения: 30.01.2019).

3. Тихонов Н.В., Гришаев С.Н. Преимущества и недостатки дисковых поворотных затворов // СОК. 2003. № 3. С. 19–22. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/preimuschestva-i-nedostatki-diskovyh-povorotnyh-zatvorov> (дата обращения: 18.09.2020).

4. Сайридин С.Ш. Основы гидравлики. М.: Издательство АСВ, 2014. 386 с.

5. Сайридин С.Ш. Особенности проектирования и эксплуатации систем водоснабжения высотных зданий // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, № 2. С. 38–47.

6. Лушкин И.А., Левкин Ю.С. Влияние вибрационного воздействия на гидродинамические параметры газожидкостного потока // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 1(197). 6с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vibratsionnogo-vozdeystviya-na-gidrodinamicheskie-parametry-gazozhidkostnogo-potoka> (дата обращения: 08.07.2020).

7. Рабинович Е.З. Гидравлика. 2-е изд., испр. и доп. М.: Недра, 1977. 304 с.

effect of internal corrosion on pipeline operation. Vestnik NGIEI [Bulletin of NGIEI], 2015, no. 6(49). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-vnutrenney-korrozii-na-ekspluatatsiyu-truboprovodov> (Accessed 30 January 2019) (in Russian).

3. Tihonov, N.V., Grishaev S.N. Advantages and disadvantages of butterfly valves. SOK [Plumbing heating air conditioning], 2003, no. 3, pp. 19-22. (in Russian).

4. Sajriddinov S.SH. Osnovy gidravliki: uchebnik dlya vuzov [Fundamentals of hydraulics: a textbook for universities]. Moscow, ASV Publishing House, 2014. 386 p.

5. Sajriddinov S.SH. Features of the design and operation of water supply systems for high-rise buildings. Gradostroitel'stvo i arhitektura [Urban Construction and Architecture], 2017, no. 2, pp. 38-47. (in Russian).

6. Lushkin I.A., Levkin YU.S. Influence of vibration action on the hydrodynamic parameters of a gas-liquid flow. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science], 2018, no. 1(197). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vibratsionnogo-vozdeystviya-na-gidrodinamicheskie-parametry-gazozhidkostnogo-potoka> (Accessed 07 December 2020) (in Russian).

7. Rabinovich E.Z. Gidravlika [Hydraulics]. Moscow, Nedra Publ., 1977. 304 p.

REFERENCES

1. Antsiferov S.A., Chirkova E.V., Usmanova E.A. Development and testing of a steel regulating thermostatic valve. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 698. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/6/066013> (Accessed 20 August 2020).

2. Anciferov S.A., Usmanova E.A. Analysis of the

Об авторах:

АНЦИФЕРОВ Сергей Александрович

старший преподаватель центра инженерного
оборудования
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
445667, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. +7(8482) 53-92-78
E-mail: salan63@mail.ru

ANCIFEROV Sergej A.

Senior Lecturer of engineering equipment center
Togliatti State University
Institute of Architecture and Civil Engineering
445667, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14,
tel. +7(8482) 53-92-78
E-mail: salan63@mail.ru

ЧИРКОВА Елена Владимировна

кандидат технических наук, доцент центра
инженерного оборудования
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
445667, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. +7(8482) 53-92-78
E-mail: chirkovaev@mail.ru

CHIRKOVA Elena V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of engineering equipment center
Togliatti State University
Institute of Architecture and Civil Engineering
445667, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14,
tel.: +7(8482) 53-92-78
E-mail: chirkovaev@mail.ru

КУЧЕРЕНКО Мария Николаевна

кандидат технических наук, доцент, доцент центра
инженерного оборудования
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
445667, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. +7(8482) 53-92-78
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru

KUCHERENKO Mariya N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of engineering equipment center
Togliatti State University
Institute of Architecture and Civil Engineering
445667, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14,
tel.: +7(8482) 53-92-78
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru

Для цитирования: Анциферов А.А., Чиркова Е.В., Кучеренко М.Н. Устранение ударов при закрытии дискового затвора на дренаже горизонтальных отстойников // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 1. С. 56–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.7.

For citation: Anciferov S.A., Chirkova E.V., Kucherenko M.N. Elimination of Impact When Closing the Disc Valve on the Drainage of Horizontal Sediments. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, Pp. 56–62. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.7.