

УДК 621.646

**И.Р. Чиняев**<sup>1</sup>, e-mail: ruk\_mkt@mail.ru; **А.В. Фоминых**<sup>1</sup>, e-mail: prof\_fav@mail.ru;

**Е.А. Пошивалов**<sup>1</sup>, e-mail: poshivalov\_79@mail.ru; **Е.А. Ильиных**<sup>1</sup>, e-mail: ilinykh-82@bk.ru

<sup>1</sup> ООО НПФ «МКТ-АСДМ» (Челябинск, Россия).

## Опыт использования ГОСТ Р 55508-2013 при определении гидравлических и кавитационных характеристик запорно-регулирующего клапана клеточного

Обоснована актуальность исследования и установления закономерностей движения проводимой среды в запорно-регулирующих клапанах. Наличие экспериментальных гидравлических и кавитационных характеристик в паспорте на трубопроводную арматуру повышает ее потребительские свойства. Представлены схема и характеристика гидравлического стенда в лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ». Оборудование лаборатории позволяет проводить исследования при расходах до 75 м<sup>3</sup>/ч и давлении до 3,2 МПа при использовании центробежных насосов и до 30,0 МПа при использовании плунжерного насоса. Получена линейная пропускная характеристика клеточного клапана с условной пропускной способностью  $Kv_y = 32$  м<sup>3</sup>/ч. Расчетная и действительная (экспериментальная) пропускные характеристики совпадают.

Проанализированы методики определения кавитационных характеристик трубопроводной арматуры. В РМ4-163-77 изложены пояснения к кавитационным характеристикам трубопроводной арматуры, показан график зависимости объемного расхода жидкости через регулирующий орган от квадратичного корня из перепада давления. График разбит на области, в каждой из которых справедлива своя зависимость между расходом и перепадом давления и показано отклонение этой зависимости от линейной зависимости. При анализе методики и графика возникли вопросы: нет пояснений, в каких диапазонах изменять значения давлений до и после регулирующего органа и как значения этих давлений повлияют на пропускную характеристику и значение коэффициента кавитации  $K_c$  трубопроводной арматуры; не указано, изменяется или остается постоянным и как поддерживается значение давления  $P_1$  при увеличении перепада давления на регулирующем органе за счет уменьшения давления  $P_2$ ; не указано, при каком значении  $P_1$  получена характеристика расхода жидкости в зависимости от квадратного корня из перепада давления  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$ ; при испытаниях на воде области V, видимо, не существует, поскольку дальнейшего, после области IV, увеличения  $\Delta P$  за счет уменьшения  $P_2$  нет. Аналогичные графики приведены в РТМ 108.711.02-79 и в СТ ЦКБА 029-2006. Методики определения критериев кавитации и критического расхода регулирующей арматуры в СТ ЦКБА 029-2006 и ГОСТ Р 55508-2013 одинаковые.

При экспериментальном определении по ГОСТ Р 55508-2013 кавитационных характеристик клапана клеточного в лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ» выполнено 189 замеров при подаче воды на плунжер и 48 замеров при подаче воды под плунжер. При этом число Рейнольдса изменялось от 10 тыс. до 500 тыс. Кавитационные характеристики определялись при минимально возможном значении давления  $P_2$ , равном 124 630–202 650 Па (абсолютное). Перепад давления  $\Delta P$  увеличивается за счет увеличения давления  $P_1$ . По методике ГОСТ Р 55508-2013 не удалось определить начало отклонения расходной характеристики от линейной зависимости во всем диапазоне хода плунжера и не удалось определить значение коэффициента кавитации. При этом через прозрачное стекло в трубопроводе после клапана наблюдалось течение двухфазной жидкости (пузыри газа и жидкость). Необходимо совершенствование методики определения кавитационных характеристик регулирующей арматуры, приведенной в ГОСТ Р 55508-2013.

**Ключевые слова:** расход проводимой среды, перепад давления, ход плунжера, пропускная характеристика, кавитационные характеристики.

.....

**I.R. Chinyayev**<sup>1</sup>, e-mail: ruk\_mkt@mail.ru; **A.V. Fomin**<sup>1</sup>, e-mail: prof\_fav@mail.ru;

**E.A. Poshivalov**<sup>1</sup>, e-mail: poshivalov\_79@mail.ru; **E.A. Ilinykh**<sup>1</sup>, e-mail: ilinykh-82@bk.ru

<sup>1</sup> Research and production company MKT-ASDM LLC (Chelyabinsk, Russia).

## Experience of use of GOST R 55508-2013 when determining hydraulic and cavitation characteristics of cellular stop-control valve

The relevant character of the research and the establishment of the laws of the conductive medium motion in the shut-off and regulating valves are defined. The presence of the experimental hydraulic and cavitation characteristics in the datasheet for pipeline valves increases its consumer properties. A diagram and description of the hydraulic bench in the laboratory of NPF MKT-ASDM LLC are represented. Laboratory equipment allows research at flow rates of up to 75 m<sup>3</sup>/h and pressures of up to 3.2 MPa using centrifugal pumps and up to 30.0 MPa using a plunger pump. A linear flow characteristic of the cell valve with nominal capacity  $Kv_y=32$  m<sup>3</sup>/h is obtained. Estimated and actual (experimental) flow characteristics are the same.

The methodology for the cavitation characteristics determination of pipeline valves are analyzed. RM4-163-77 presents explanation of cavitation characteristics of pipeline valves, the dependence graph of the volumetric flow rate of fluid through the control unit on the quadratic root of differential pressure is shown. The graph is divided into regions, each of which holds the relationship between its flow rate and pressure drop, and shows the deviation of this dependence from a linear dependence. The analysis of the methodology and graph originated the following questions: no explanations for the ranges where pressures should be changed at the control unit input and output and how these pressures affect the flow characteristics and value of cavitation coefficient of pipeline valves; no information about  $P_1$  pressure changes or whether it remains constant and how it is maintained at a pressure drop increase at the control unit by reducing pressure  $P_2$ ; no information about the value of  $P_1$  at which the fluid flow characteristics were obtained depending on the square root of the pressure drop  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$ ; when tested on the water the V area, apparently, does not exist, as further after IV area  $\Delta P$  increase by reducing  $P_2$  does not exist. Similar graphs are given in PTM 108.711.02-79 and ST CKBA 029-2006. Methodology for determination of cavitation criteria and critical flow rate of control valves in ST CKBA 029-2006 and GOST R 55508-2013 are similar.

In the experimental determination of cavitation characteristics of cell valve according to GOST R 55508-2013 in the laboratory of NPF MKT-ASDM LLC 189 measurements were performed with water fed on the plunger and 48 measurements with water fed under the plunger. The Reynolds number ranged from 10 th. up to 500 th. The cavitation characteristics were determined at the lowest possible pressure value  $P_2$  equal to 124630-202650 Pa (absolute).  $\Delta P$  pressure drop increases due to the increased pressure  $P_1$ . The procedure of GOST R 55508-2013 failed to determine the start of the flow characteristics deviation from linearity over the entire range of the plunger stroke and to determine the value of the cavitation coefficient. Thus a two-phase fluid (liquid and gas bubbles) was observed through a transparent glass in the pipeline at the valve output. The methodology for determining the cavitation characteristics of the control valve shown in GOST R 55508-2013 should be improved.

**Keywords:** flow rate of conducting fluid, pressure differential, plunger travel, flow characteristic, cavitation characteristics.

Вопросы исследования и установления закономерностей движения проводимой среды в запорно-регулирующих клеточных клапанах (далее – клапаны) и взаимодействия жидкости с затворным узлом с целью определения рациональных значений конструктивных параметров деталей проточной части клапанов, для повышения точности регулирования потоков проводимой среды и исключения повреждения от кавитации затворного узла во всем диапазоне хода плунжера являются актуальными. Наличие экспериментальных гидравлических и кавитационных характеристик в паспорте на трубопроводную арматуру повышает ее потребительские свойства.

ГОСТ Р 55508-2013 «Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик» [1] утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 августа 2013 г. № 527-ст. Введен впервые. Настоящий стандарт разработан на основе СТ ЦКБА 029-2006 «Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик» [2]. Расчетная пропускная способность клапана  $Kv$ , м<sup>3</sup>/ч при  $i$ -м положении плунжера определяется [3, 4]:

$$Kv = 3600 \cdot \mu \cdot FN \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – расчетные значения коэффициента расхода;

$FN$  – площадь проходного сечения, м<sup>2</sup>;  
 $\Delta P=100\ 000$  Па – перепад давления на клапане;

$\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – плотность проводимой среды (вода).

Пропускная способность при  $i$ -м положении плунжера определяется [1]:

$$Kv = 3,57 \cdot 10^4 \cdot Q / \sqrt{\rho / \Delta P}, \quad (2)$$

где  $Q$  – экспериментальное значение расхода жидкости, м<sup>3</sup>/с;

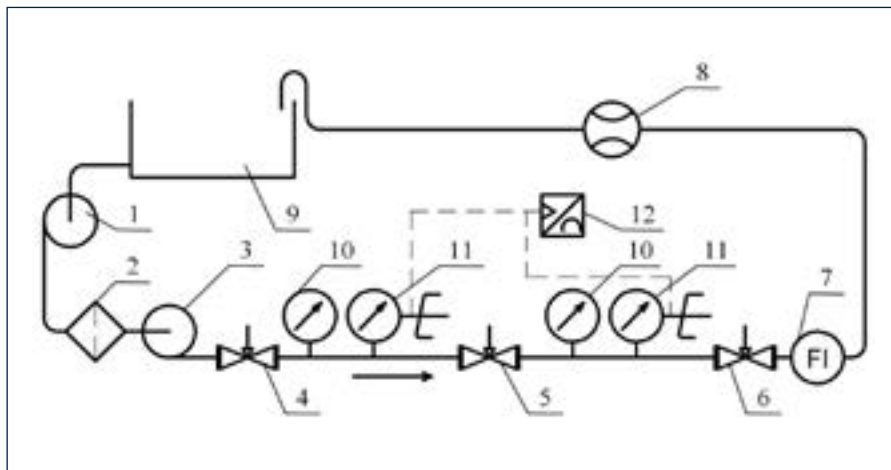
$\Delta P$  – экспериментальное значение перепада давления, Па.

В соответствии с ГОСТ Р 55508-2013, определены гидравлические характери-

Ссылка для цитирования (for citation):

Чиняев И.Р., Фоминых А.В., Пошивалов Е.А., Ильных Е.А. Опыт использования ГОСТ Р 55508-2013 при определении гидравлических и кавитационных характеристик запорно-регулирующего клапана клеточного // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 7–8. С. 96–100.

Chinyayev I.R., Fomin A.V., Poshivalov E.A., Ilinykh E.A. Experience of use of GOST R 55508-2013 when determining hydraulic and cavitation characteristics of cellular stop-control valve (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 7–8, pp. 96–100.



→ – подача среды (воды)  
 → – medium feed (water)

Рис. 1. Схема стенда «Гидрокольцо» ООО НПФ «МКТ-АСДМ»

1 – насос центробежный ЛМ 80-45/28-С; 2 – фильтр сетчатый; 3 – насос центробежный ЦНС 38-220; 4, 6 – задвижка регулирующая; 5 – запорно-регулирующий клеточный клапан; 7 – участок трубопровода с прозрачным стеклом; 8 – электромагнитный расходомер ЭРСВ-550Ф; 9 – емкость с водой (46 м³); 10 – манометр; 11 – датчик давления; 12 – АЦП «Экограф-Т»

Fig. 1. Hidrokoltso bench diagram of NPF MKT-ASDM LLC

1 – centrifugal pump LM 80-45/28-C; 2 – strainer; 3 – centrifugal pump CNS 38-220; 4, 6 – control valve; 5 – shut-off and control cell valve; 7 – section of the pipeline with transparent glass; 8 – solenoid flowmeter ERSV-550F; 9 – water tank (46 m³); 10 – pressure gage; 11 – pressure sensor; 12 – ADC Ekograf-T

стики клеточного клапана DN50 PN160 в лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ» (рис. 1). Оборудование лаборатории позволяет проводить исследования при расходах до 75 м³/ч и давлениях до 3,2 МПа при использовании центробежных насосов и до 30,0 МПа – при использовании плунжерного насоса [3, 4]. При проведении экспериментальных исследований из емкости 9 объемом 46 м³, среда (вода) поступает в центробежный насос 1 (ЛМ 80-45/28-С), который подает воду через сетчатый фильтр 2 в основной центробежный насос 3 (ЦНС 38-220). Далее вода по трубопроводу поступает в регулирующую задвижку 4. Изменяя положение регулирующего органа, добиваемся заданного условиями эксперимента давления  $P_1$  до клапана 5. Давление фиксируется манометрами 10 и датчиками давления 11, установленными до и после исследуемого клапана 5. Информация с датчиков 11 передается и записывается в АЦП «Экограф-Т» 12. Пройдя через клапан 5, вода по трубопроводу поступает во вторую

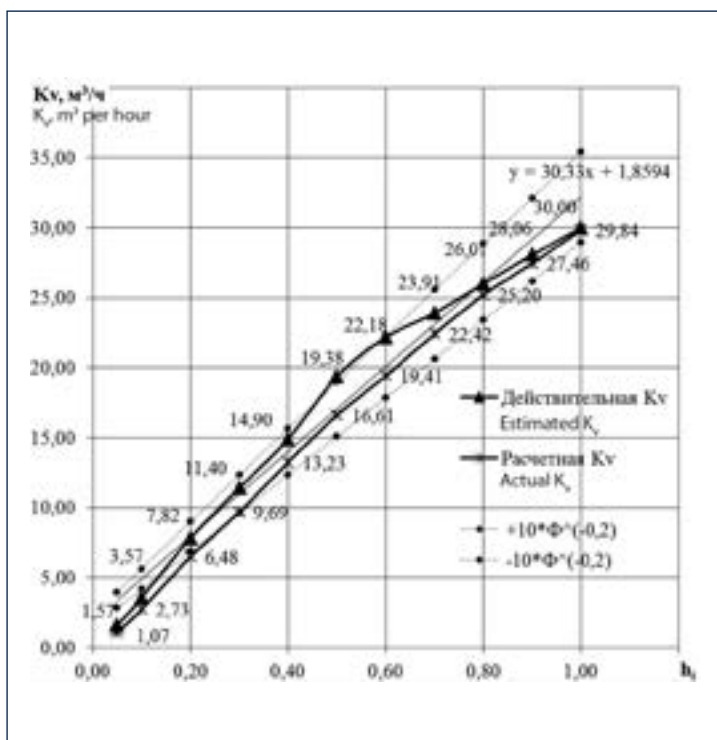


Рис. 2. Расчетная и действительная пропускные характеристики запорно-регулирующего клеточного клапана DN50 PN160 по методике ГОСТ Р 55508-2013

Fig. 2. Estimated and actual flow characteristics of shut-off and control cell valve DN50 PN160 by the GOST R 55508-2013 method

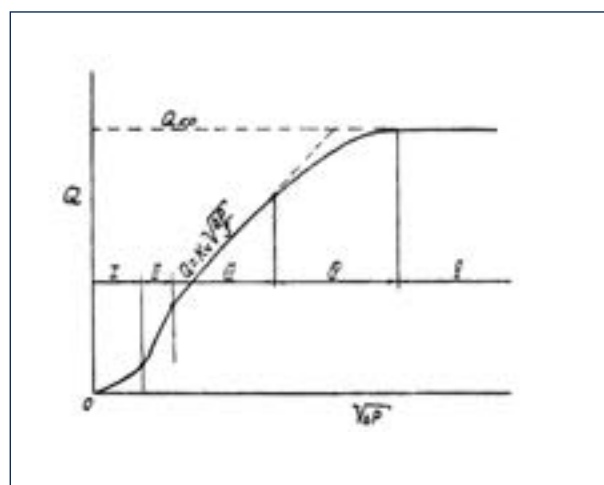


Рис. 3. РМ4-163-77, стр. 14. Расход жидкости через регулирующий орган в зависимости от квадратного корня из перепада давления (для положения «открыто»):

I – область ламинарного движения; II – переходная область; III – турбулентное однофазное движение в квадратичной области; IV – область кавитации; V – критическое течение двухфазной смеси

Fig. 3. РМ4-163-77, page 14. Fluid flow rate through the control unit, depending on the square root of the pressure drop (for the “open” position):

I – area of laminar flow; II – transition area; III – single phase turbulent movement in the quadratic area; IV – area of cavitation; V – critical flow of two-phase mixture

регулирующую задвижку 6, где выставляется необходимое после клапана давление  $P_2$ . Для визуального контроля процесса кавитации после регулирующей задвижки 6 установлен участок трубопровода с прозрачным стеклом 7. Для фиксации расхода  $Q$  воды на обратном трубопроводе гидрокольца установлен электромагнитный расходомер 8 (ЭРСВ-550Ф). Пройдя через расходомер 8, вода по трубопроводу возвращается в емкость 9.

Контролируемые параметры проведения эксперимента: среда – вода;  $P_1$  – абсолютное давление до испытуемого клапана;  $P_2$  – абсолютное давление после испытуемого клапана;  $Q$  – объемный расход;  $\tau$  – время.

Результаты расчетов и экспериментального определения пропускной характеристики  $K_v$  клапана [5] представлены на рисунке 2.

Получена линейная пропускная характеристика запорно-регулирующего клеточного клапана DN50 PN160 с условной пропускной способностью  $K_v = 32 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расчетная и действительная (экспери-

ментальная) пропускные характеристики совпадают.

В РМ4-163-77 изложены пояснения к кавитационным характеристикам трубопроводной арматуры [6]. На странице 14, рисунок 3, показан график зависимости объемного расхода жидкости через регулирующей орган от квадратного корня из перепада давления. Этот график рассмотрим на рисунке 3. График разбит на области, в каждой из которых справедлива своя зависимость между расходом и перепадом давления. В РМ4-163-77 [6] на стр. 15 даны пояснения к графику: «При увеличении перепада давления на регулирующем органе  $\Delta P$  (уменьшение давления после регулирующего органа  $P_2$ ) расход  $Q$  возрастает, и, как показано на рисунке, поток попадает в область кавитации IV».

**ПРИ ЭТОМ ВОЗНИКАЮТ СЛЕДУЮЩИЕ ВОПРОСЫ:**

- нет пояснений, в каких диапазонах изменять значения давлений до и после регулирующего органа и как значения этих давлений повлияют на пропускную

характеристику и значение коэффициента кавитации  $K_c$  трубопроводной арматуры;

- не указано, как изменяется или остается постоянным и как поддерживается значение давления  $P_1$  при увеличении перепада давления на регулирующем органе за счет уменьшения давления  $P_2$ ;
- не указано, при каком значении  $P_1$  получена характеристика расхода жидкости в зависимости от квадратного корня из перепада давления  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$ .

- при испытаниях на воде области V, видимо, не существует, так как дальнейшего, после области IV, увеличения  $\Delta P$  за счет уменьшения  $P_2$  нет. Рассматриваемый график из РМ4-163-77 также приведен в статье А.Ю. Горелова [7] на стр. 55.

Аналогичный график приведен в РТМ 108.711.02-79 [8], однако не изложена методика получения таких зависимостей. Из графика не ясно: давление  $P_1$  увеличивается, но расход остается постоянным? Почему давление  $P_1$  увеличивается именно по такому закону? В СТ ЦКБА 029-2006 приведен анало-

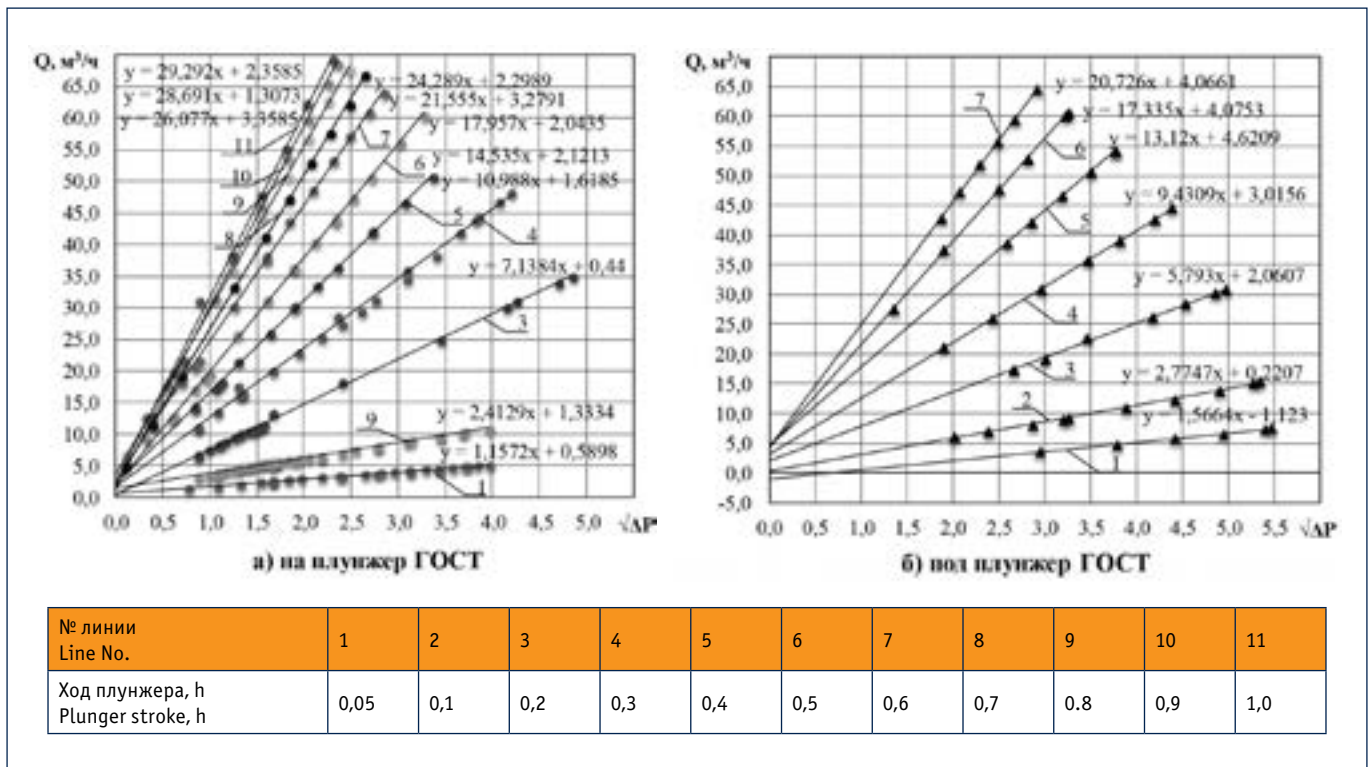


Рис. 4. Зависимость расхода воды через клеточный клапан DN 50 PN 160 от корня квадратного из перепада давления (кг/см²), полученная по методике ГОСТ Р 55508-2013

Fig. 4. The dependence of water flow through the cell valve DN 50 PN 160 on the square root of pressure drop (kg/cm²) obtained by the method of GOST R 55508-2013: a) on the plunger GOST, b) under the plunger GOST

гичный график и изложена методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик [2]. Коэффициент кавитации определяется:

$$K_c = \Delta P_c / (P_1 - P_{нн}), \quad (3)$$

где  $\Delta P_c$  – перепад давления на клапане, соответствующий началу отклонения расходной характеристики вида  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$  от линейной зависимости, Па;  $P_1$  – абсолютное давление до клапана, Па;  $P_{нн}$  – абсолютное давление насыщенных паров, Па. Коэффициент критического перепада давления определяется:

$$K_m = \Delta P_m / (P_1 - r_c \cdot P_N), \quad (4)$$

где  $\Delta P_m$  – критический перепад давления, соответствующий запиранью расхода, Па;  $r_c$  – полуэмпирический коэффициент критического отношения давлений, зависящий от физических свойств среды (воды).

Методики определения критериев кавитации и критического расхода регулирующей арматуры в СТ ЦКБА 029-2006 и ГОСТ Р 55508-2013 одинаковые.

При экспериментальном определении по ГОСТ Р 55508-2013 кавитационных характеристик клапана клеточного в лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ» выполнено 189 замеров при подаче воды на плунжер и 48 замеров при подаче воды под плунжер. При этом число Рейнольдса изменялось от 10 тыс. до 500 тыс. Кавитационные характеристики определялись при минимально возможном значении давления  $P_2$ , равном 124 630–202 650 Па (абсолютное). Перепад давления  $\Delta P$  увеличивается за счет увеличения давления  $P_1$ . Результаты эксперимента приведены на рисунках 4а и б.

Из рисунка видно, что при всех положениях плунжера отклонения от линейной характеристики нет. По методике ГОСТ Р 55508-2013 не удалось определить начало отклонения расходной характеристики  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$  от линейной зависимости во всем диапазоне хода плунжера. При этом через прозрачное

стекло 7 в трубопроводе после клапана наблюдалось течение двухфазной жидкости (пузыри газа и жидкость).

## ВЫВОДЫ

1. По методике ГОСТ Р 55508-2013 не удалось определить начало отклонения расходной характеристики  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$  от линейной зависимости во всем диапазоне хода плунжера.

2. Определенная по методике ГОСТ Р 55508-2013 зависимость  $Q=f(\sqrt{\Delta P})$  – это линия предельного расхода, минимального расхода при развитой кавитации.

3. При изменении давления  $P_{1ф}$  расход через задвижку  $Q$  не может оставаться постоянным или изменяться в диапазоне  $(Q \pm \Delta Q)$ . Расход изменяется при изменении  $P_{1ф}$  в соответствии с уравнением [3, 4].

$$Q = \mu \cdot S_1 \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}. \quad (5)$$

4. Необходимо совершенствование методики определения критериев кавитации и критического расхода регулирующей арматуры, приведенной в ГОСТ Р 55508-2013.

## Литература:

1. ГОСТ Р 55508-2013 Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик.
2. Стандарт ЦКБА 029-2006 ЗАО НПФ «Центральное конструкторское бюро арматуростроения». Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик.
3. Чиняев И.Р., Фоминых А.В., Сухов С.А. Повышение надежности и эффективности работы шиберной запорно-регулирующей задвижки // Экспозиция нефть газ. 2013. № 3. С. 80–82.
4. Чиняев И.Р., Фоминых А.В., Пошивалов Е.А., Сухов С.А. Определение пропускной характеристики задвижки шиберной запорно-регулирующей // Экспозиция нефть газ. 2015. № 2. С. 38–40.
5. ГОСТ 12893-2005 Клапаны регулирующие односедельные, двухседельные и клеточные. Общие технические условия.
6. РМ4-163-77 Руководящий материал. Расчет и применение регулирующих органов в системах автоматизации технологических процессов.
7. Горелов А.Ю. Комментарии к статье // Арматуростроение. 2015. № 4. С. 55.
8. РТМ 108.711.02-79 Арматура энергетическая. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики.

## References:

1. GOST R 55508-2013 Pipeline fittings. The method of experimental determination of the hydraulic and cavitation characteristics. (In Russian)
2. Standard CKBA 029-2006 CJSC NPF «Central design Bureau of valve industry». Pipeline fittings. The method of experimental determination of the hydraulic and cavitation characteristics. (In Russian)
3. Chinyayev I.R., Fominykh A.V., Sukhov S.A. Improving the reliability and efficiency of slide gate shut-off and regulating valves. Ekspozitsiya neft' gaz = Exposition oil gas, 2013, No. 3, pp. 80–82. (In Russian)
4. Chinyayev I.R., Fominykh A.V., Pochivalov E.A., Sukhov S.A. Determination of capacity characteristics valves shut-off and regulating. Ekspozitsiya neft' gaz = Exposition oil gas, 2015, No. 2, pp. 38–40. (In Russian)
5. GOST 12893-2005 Control valves single seat, double-seat and cellular. General technical conditions. (In Russian)
6. RM4-163-77 Guidance material. The calculation and application of regulators in systems of automation of technological processes. (In Russian)
7. Gorelov A.Y. Comments on the article. Armaturostroenie = Valve Industry, 2015, No. 4, p. 55. (In Russian)
8. RTM 108.711.02-79 Valves energy. Methods for determining throughput capacity of the regulatory bodies and the choice of the optimal flow characteristics. (In Russian)