

Разработка установки для проведения гидравлических испытаний трубопроводной арматуры

Р.Х. Текеев¹, Е.С. Назарова¹, Е.В. Карпова²

¹*Институт конструкторско-технологической информатики РАН (ИКТИ РАН)*
²*ООО «Алгоритм»*

Аннотация: Трубопроводные сети на сегодняшний день являются основным и одним из самых безопасных способов транспортировки всевозможных сред. Данная инженерная система состоит из различных элементов, одним из которых является трубопроводная арматура, регулирующая параметры рабочих сред и предохраняющая трубопроводы от избыточного давления. В целях контроля работоспособности трубопроводной арматуры ее необходимо подвергать комплексным испытаниям, одно из них - проверка на герметичность. Представленное исследование описывает разработанную конструкцию установки технологической гидравлической, предназначенную для применения в составе технологического оборудования для проведения внутриводных испытаний трубопроводной арматуры. Приведены результаты моделирования напряженно-деформируемых состояний основных узлов, а также гидравлический расчет испытательного контура установки.

Ключевые слова: поворотный обратный затвор, трубопроводная арматура, трубопроводная система, математическое моделирование, метод конечных-элементов, прочностной анализ, напряженно-деформированное состояние, вычислительная гидрогазодинамика, гидравлические испытания, установка технологическая гидравлическая.

Введение

Исторически развитие трубопроводных систем является неотъемлемым фактором развития цивилизации в целом, поскольку для обеспечения жизнедеятельности человеческого общества необходимо стабильное водоснабжение [1, 2]. В настоящее время трубопроводные сети нашли применение не только в системах водоснабжения, канализации, отопления, но и в нефтегазовой, энергетической, химической отраслях промышленности, и даже в составе космической техники [3 – 5]. При этом, на современных промышленных объектах доля стоимости трубопроводных сетей может составлять до 25-30% от стоимости всего комплекса, установленного на предприятии оборудования [6, 7].

В общем случае трубопроводная сеть представляет собой сложную транспортирующую пространственную систему, состоящую из плотно

соединенных между собой участков труб и фасонных частей трубопроводов, по которым перемещается транспортируемая среда, трубопроводной арматуры различного назначения, соединительных, уплотнительных и защитных элементов и устройств, различных контрольно-измерительных приборов и средств автоматического управления [8].

Одним из ключевых элементов в обеспечении безопасной эксплуатации трубопроводных сетей любого назначения является трубопроводная арматура [9 – 11]. Согласно ГОСТ 24856-2014 «Арматура трубопроводная. Термины и определения», трубопроводная арматура – устройство, предназначенное для управления потоками рабочих сред в трубопроводах с помощью изменения площади проходного сечения. При этом, под управлением понимается распределение и регулирование рабочих сред, которые могут быть газообразными, жидкими, порошкообразными, суспензиями и т.п., а также их отключение и смешивание [12 – 14]. К трубопроводной арматуре для особых условий работы относятся изделия, предназначенные для работы с одно- или многофазными коррозионными, агрессивными, абразивными, горючими, взрывоопасными или токсичными средами, различной вязкости, сыпучими материалами, при высоких параметрах давления или, наоборот, при вакууме в системе, при высоких или низких температурах, а также при перепаде температур, с требованиями по сейсмо-и взрывоустойчивости и т.д. [15 – 17].

Современные конструкции трубопроводной арматуры развиваются в направлении расширения диапазона значений рабочих параметров как в сторону сверхмалых, так и в сторону сверхбольших мощностей [18, 19]. Это приводит к существенному увеличению износа контактирующих поверхностей, в результате чего может произойти нарушение их макро- и микрогеометрических характеристик, что в итоге приведет к нежелательным последствиям, таким, как повышение температуры за счет роста

коэффициентов трения, нежелательные вибрации, нарушение герметичности, вплоть до возможного заклинивания и нарушения сплошности материала [20, 21].

При проектировании всех видов трубопроводной арматуры одними из основных требований являются обеспечение прочности и необходимых показателей герметичности затворов и соединительных элементов [22 – 24].

Методики исследования герметичности трубопроводной арматуры делятся на четыре группы: газоаналитическая, манометрическая, гидроаналитическая и объемная (пузырьковая) [25]. Каждая из них, в свою очередь, включает большое количество методов и способов, различающихся схемой проведения испытаний, используемыми техническими средствами, и позволяющих контролировать герметичность затворов не только во время производства, но и в процессе эксплуатации изделий [26]. В связи с развитием современных технологий и постоянным усложнением конструкций трубопроводных систем, возникает необходимость в развитии методов автоматизированной оценки работоспособности трубопроводной арматуры [27, 28]. Однако, в настоящее время актуальна проблема комплектации испытательным оборудованием производственных объектов, связанная с тем, что значительная часть парка оборудования была разработана и введена в эксплуатацию еще в советский период и в настоящее время уже не способна выполнять поставленные задачи, а при этом закупка зарубежного оборудования зачастую затруднительна ввиду санкционных ограничений, высокой стоимости и сложности логистики [29, 30].

Таким образом, целью исследования является разработка установки технологической гидравлической, предназначенной для проведения внутризаводских гидравлических испытаний трубопроводной арматуры испытательной средой (водой) под высоким давлением (в диапазоне от 1 до 20 МПа) с целью определения их герметичности.

Описание конструкции установки

Установка на рис. 1 представляет собой сборную металлическую конструкцию, состоящую из следующих узлов: бака водяного (1); бака масляного (2); насоса нагнетающего (3); приспособления (4); гидроцилиндра (5); основания (6); комплекта присоединительного оборудования, включающего распределительные трубки (7), ванну для испытаний (8), оснастку для подключения затворов; а также средств измерения давления (манометры) для контроля давления в гидроцилиндре и узлах соединения.

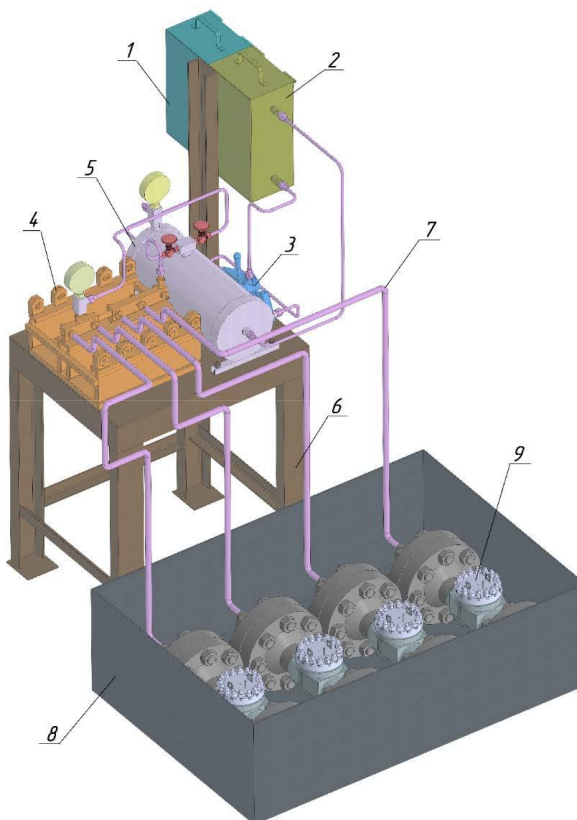


Рис. 1. – Конструкция установки технологической гидравлической:

1 – бак водяной; 2 – бак масляный; 3 – насос нагнетающий; 4 – приспособление; 5 – гидроцилиндр; 6 – основание; 7 – распределительные трубки; 8 – ванна для испытаний; 9 – испытываемый затвор

Баки водяной и масляный (п. 1, 2 рис. 1) предназначены для хранения испытательной среды и технического масла, соответственно. Конструктивно баки представляют собой сварную герметичную металлическую оболочку размерами 235×166×410 мм с крышкой, устанавливаемой на петлях и оснащенной ручкой для удобства открытия/закрытия баков, и технологическими отверстиями для подключения соответствующих трубопроводов и слива рабочих жидкостей. На дне бака водяного предусмотрен штуцер для подсоединения трубки подачи воды в полость гидроцилиндра. На боковой части бака масляного предусмотрены штуцеры для подсоединения трубок подачи и забора масла. Присоединение трубок осуществляется с помощью конусного соединения с накидной гайкой. Такое соединение обеспечивает высокую степень надежности и герметизации, а также удобство монтажа. Баки устанавливаются и закрепляются на стойку основания. Конструкция баков предусматривает их удобное наполнение, слив жидкости через сливной штуцер, промывку и просушку.

Насос нагнетающий (п. 3 рис. 1) представляет собой сборную конструкцию обеспечивающую заданный уровень давления в гидроцилиндре, необходимый для проведения гидравлических испытаний. Конструкция насоса (рис. 2) состоит из двух главных частей, качающего узла (1) и гидравлического бака (2). Насос устанавливается на стол основания и закрепляется посредством болтового соединения.

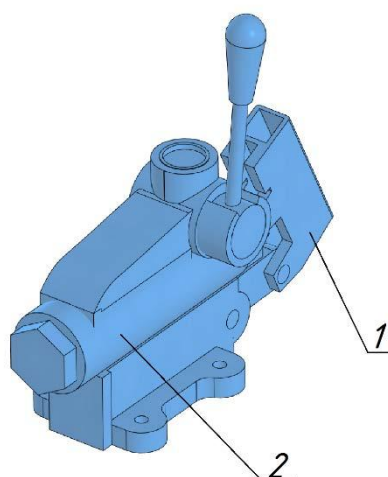


Рис. 2. – Насос:

1 – качающий узел; 2 – гидравлический бак

Приспособление (п. 4 рис. 1) представляет собой сборную металлическую конструкцию с габаритными размерами 385×400×217 мм, состоящую из металлической плиты, на которой устанавливаются четыре ребра, сохраняющих устойчивое положение, благодаря боковым стяжкам. На центральных ребрах устанавливаются длинная и короткая колодки, соединенные стяжкой. На колодках предусмотрены штуцеры для подключения к линиям подачи испытательной среды и индикатору давления (манометру) для контроля давления в испытательном контуре установки. Конструкция приспособления предусматривает возможность подключения одновременно от пяти до десяти изделий, в зависимости от габаритных размеров испытываемой трубопроводной арматуры. Приспособление предназначено для подключения испытываемой трубопроводной арматуры к гидравлической системе установки и равномерного распределения давления испытательного среды нагнетаемого насосом и гидроцилиндром.

Гидроцилиндр (п. 5 рис. 1) представляет собой сварной герметичный металлический резервуар для подачи испытательной среды под высоким

давлением в испытываемую трубопроводную арматуру рис. 3. Гидроцилиндр предназначен для увеличения давления в гидравлической системе до требуемого при проведении испытаний конкретного типа трубопроводной арматуры уровня. Габаритные размеры гидроцилиндра составляют 235×250×515 мм. Конструкция гидроцилиндра предусматривает возможность повышения и быстрого сброса давления в гидравлической системе установки за счет открытия/закрытия подачи воды и масла в полости гидроцилиндра. Для контроля давления в гидроцилиндре используется индикатор давления (манометр), обеспечивающий непрерывный контроль заданных параметров давления испытательной среды.

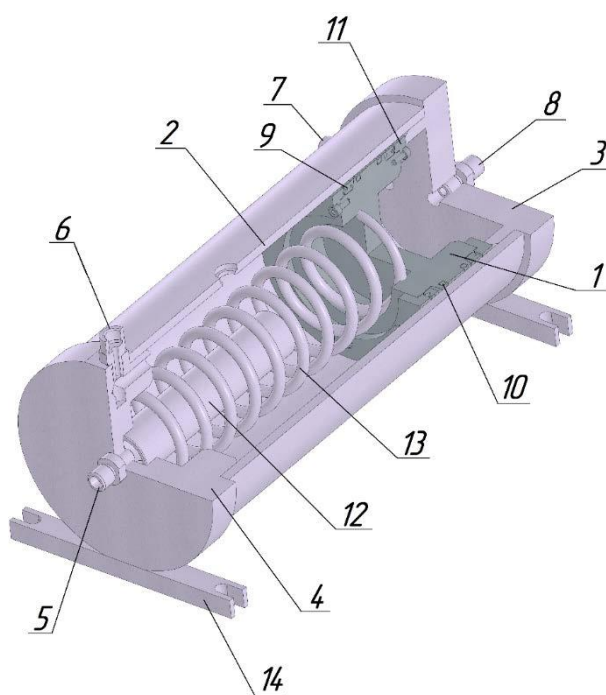


Рис. 3. – Конструкция гидроцилиндра:

1 – поршень; 2 – гильза; 3 – задняя крышка; 4 – передняя крышка;
5, 6, 7, 8 – штуцеры, для присоединения трубопроводов и индикаторов
давления; 9 – поршневая манжета; 10 – резиновые кольца; 11 – фланец
поршня; 12 – направляющая; 13 – пружина; 14 – опора

Основание (п. 6 рис. 1) представляет собой сварную металлическую конструкцию, обеспечивающую устойчивое надежное крепление всех агрегатов, узлов и испытательного оборудования. Оно выдерживает нагрузку не менее 100 кг. Основание предназначено для монтажа основных элементов конструкции установки: баков водяного и масляного, гидроцилиндра, приспособления, контрольно-измерительного блока, кронштейнов, коллектора и комплекта присоединительного оборудования.

Для подключения между собой оборудования, устанавливаемого на установке, и различных типоразмеров испытываемой трубопроводной арматуры, используется комплект присоединительного оборудования, который включает в себя различные присоединительные фитинги, распределительные трубопроводы (п. 7 рис. 1), оснастки, прокладки, уплотнители, обеспечивающие надежность и герметичность узлов установки.

Наличие индикаторов давления испытательной среды (манометров) в гидроцилиндре и испытательном контуре, обеспечивает возможность непрерывного контроля и регулировки давления посредством регулирующих устройств – вентилях, обеспечивающих экстренное перекрытие потока испытательной среды в случае превышения заданных параметров давления.

В качестве средства контроля утечки в испытываемой трубопроводной арматуре выступает металлическая мерная ванна (п. 8 рис. 1) с габаритными размерами 1300×900×400 мм. Индикатором утечки является наличие испытательной среды возле погруженной в ванну испытываемой трубопроводной арматуры (п. 9 рис. 1).

Методика проведения исследования

Для исследования напряженно-деформированного состояния установки использован метод конечно-элементного моделирования. Возможность

настройки в широких пределах позволяет адаптировать расчетную схему к особенностям геометрии рассматриваемой области и граничным условиям, что является важным достоинством данного метода и позволяет значительно сократить время вычислений. Решение задачи гидродинамического расчета испытательного контура проводилось путем моделирования течения несжимаемой жидкости в объеме модели данного узла установки. Геометрические модели узлов установки оптимизировались для проведения расчетов путем исключения фасок, несущественных элементов конструкции и мелких неровностей геометрии. Для построения корректной конечно-элементной сетки использовались встроенные возможности параметризации и настройки размеров и формы элементов рис. 4.

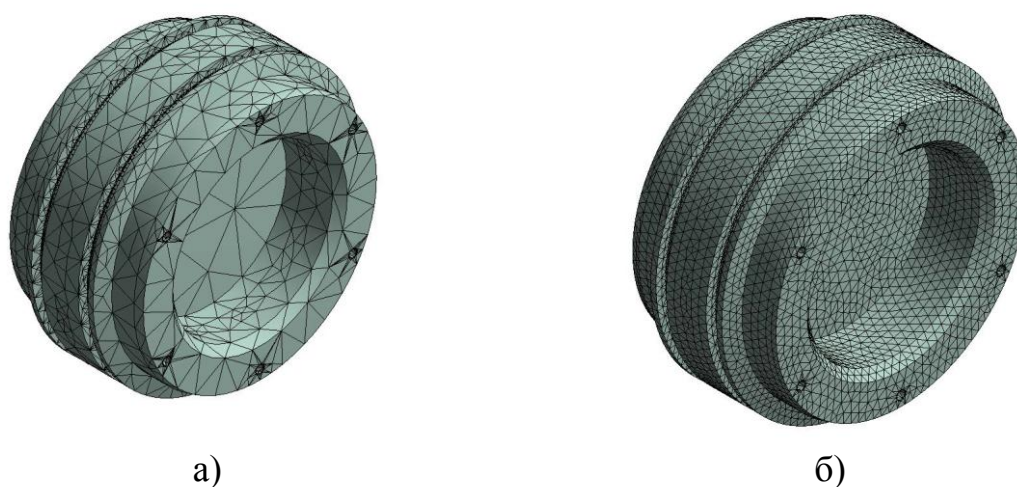


Рис. 4. – Конечно-элементная сетка в объеме модели поршня гидроцилиндра, созданная в автоматическом режиме (а) и параметризованная с учетом особенностей детали (б)

Результаты моделирования

Результатами исследований являются данные о максимальных деформациях, напряжениях и перемещениях элементов конструкции

установки, представленные на рис. 5 - 13, показанных далее. Помимо этого, на рис. 14, 15 представлены результаты гидравлического расчета испытательного контура, а именно линии тока и распределение давления испытательной среды (воды) в объеме модели данного узла установки.

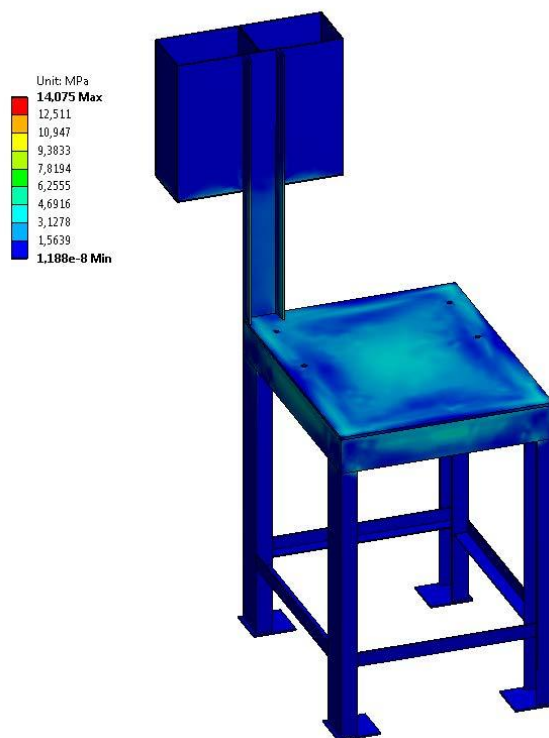


Рисунок 5. – Распределение эквивалентных напряжений в объеме модели несущей конструкции установки

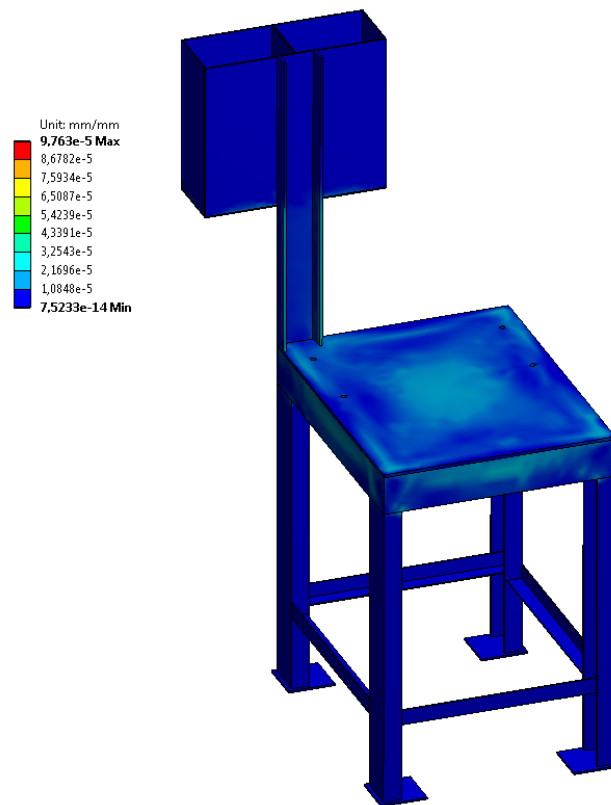


Рис. 6. – Распределение эквивалентных деформаций в объеме модели несущей конструкции установки

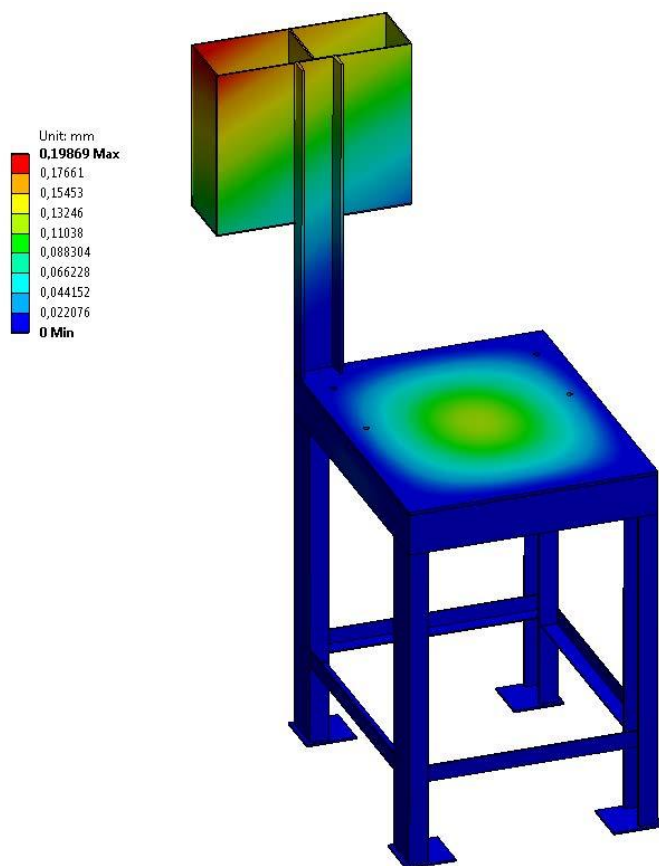


Рис. 7. – Распределение максимальных перемещений в объеме модели несущей конструкции установки

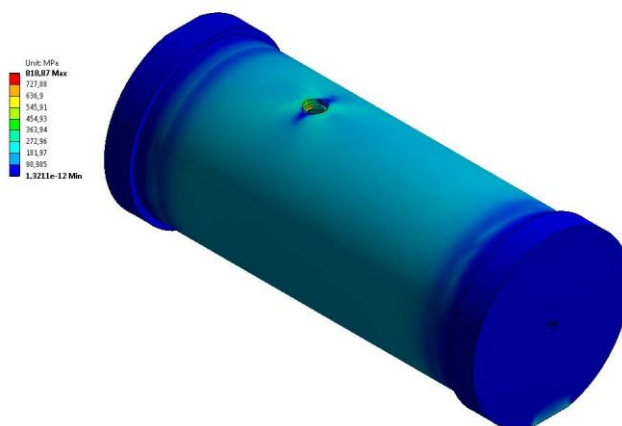


Рис. 8. – Распределение эквивалентных напряжений в объеме модели гидроцилиндра

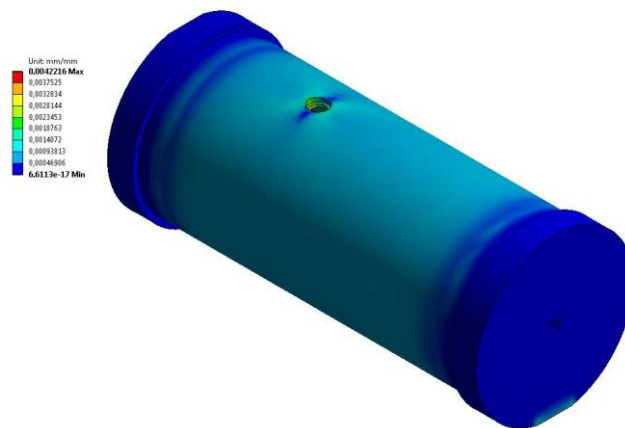


Рис. 9. – Распределение эквивалентных деформаций в объеме модели гидроцилиндра

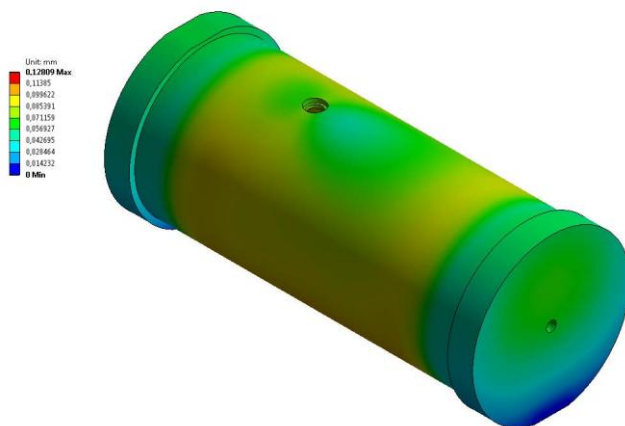


Рис. 10. – Распределение максимальных перемещений в объеме модели гидроцилиндра

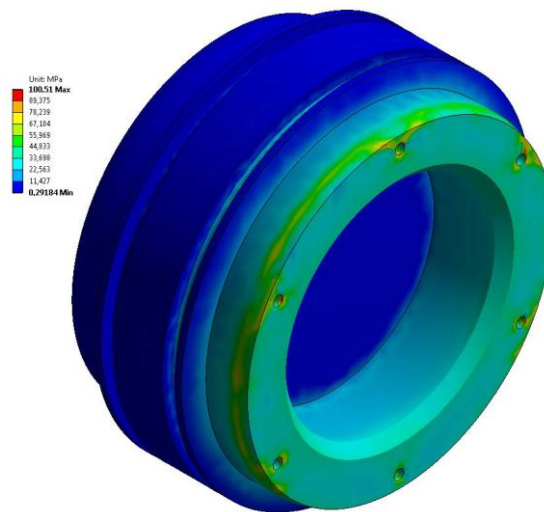


Рис. 11. – Распределение эквивалентных напряжений в объеме модели поршня гидроцилиндра

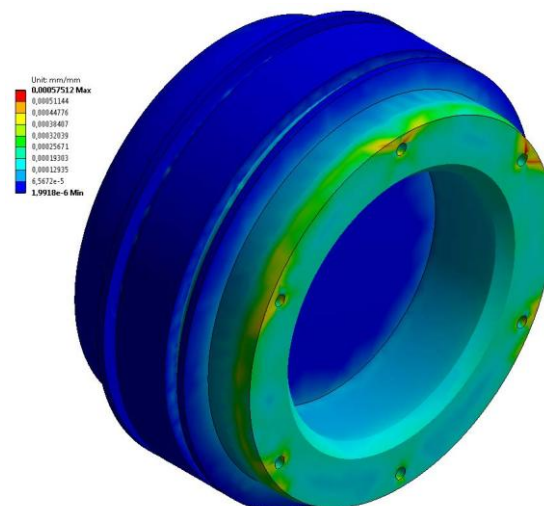


Рис. 12. – Распределение эквивалентных деформаций в объеме модели поршня гидроцилиндра

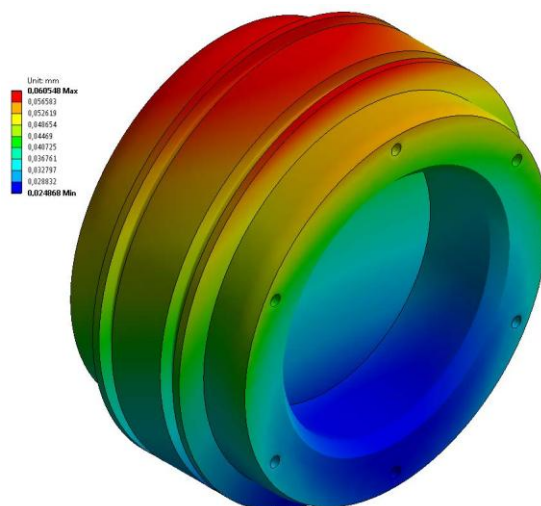


Рис. 13. – Распределение максимальных перемещений в объеме модели поршня гидроцилиндра

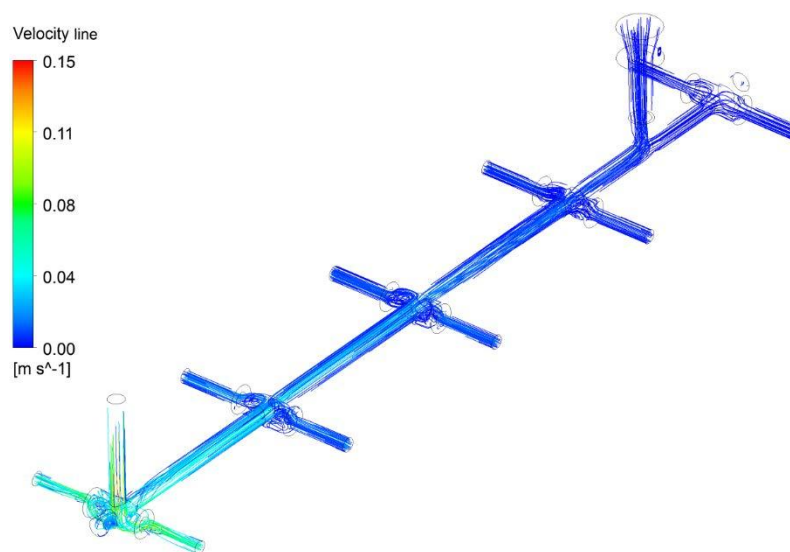


Рис. 14. – Линии тока испытательной среды (воды) в расчетной модели внутреннего объема испытательного контура установки

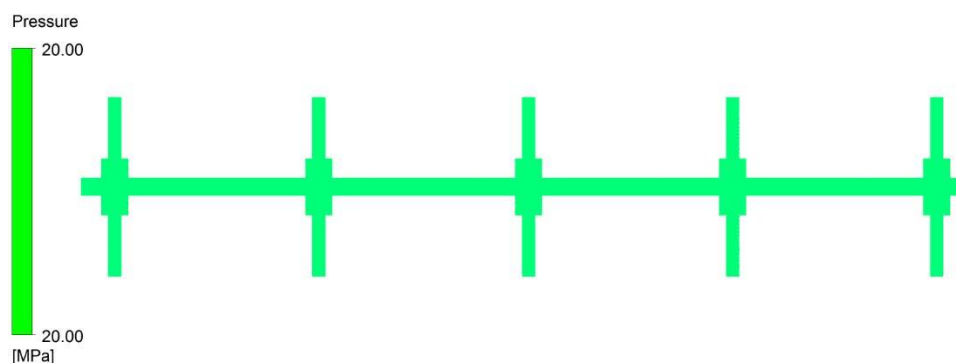


Рис. 15. – Распределение давления испытательной среды (воды) в продольном сечении расчетной модели внутреннего объема испытательного контура установки

Выводы

Анализ результатов моделирования напряженно-деформированного состояния несущей конструкции и элементов установки позволяет сделать вывод о достижении требуемого уровня прочности, необходимого для безопасной работы конструкции. Полученное равномерное распределение потока испытательной среды гарантирует одинаковые давления на выходах, что обеспечивает одинаковые условия нагружения для каждого испытываемого изделия. Данный результат подтверждает работоспособность разработанной конструкции и позволяет перейти к этапу практической отработки.

Информация о финансовой поддержке

Отдельные результаты настоящей работы получены в рамках работ по Соглашению о предоставлении субсидии от 24 июня 2021 года № 075-11-2021-041 по теме: «Разработка и освоение серийного производства модельного ряда поворотных обратных затворов для трубопроводных систем опасных производственных объектов со сверхвысокими параметрами рабочей среды» с Министерством науки и высшего образования РФ.

Литература

1. Косухин М. М., Косухин А. М. Водоотводящие инженерные сети в прошлом, настоящем и будущем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №6. С. 29-34. DOI: 10.12737/article_5926a059462d34.75656700
 2. Горохова Н. В. Исторические предпосылки появления и формирования терминов трубопроводного транспорта // Вестник Башкирского университета. 2013. №1. С. 114-120.
 3. Давыденко О.В. Обзор современных проблем и перспектив развития водоснабжения и водоотведения на территории Ставропольского края // Инженерный вестник Дона, 2011, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/427.
 4. Кульчечев В. М., Иванов Е. А., Дадонов Ю. А., Мокроусов С. Н. Трубопроводный транспорт природного газа, нефти и нефтепродуктов и его роль в обеспечении развития и стабильности топливно-энергетического комплекса // Безопасность труда в промышленности, 2002. № 7. С. 4-12.
 5. Семенов В. К., Беляков А.А. Прогнозирование повреждений трубопроводов ТЭС и АЭС // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2010. №S. С. 24-27.
 6. Васильев А.С., Шегельман И.Р., Шукин П. О. Патентный поиск в области конструкций запорной арматуры для АЭС, ТЭС и для магистрального трубопроводного транспорта // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1770.
 7. Филиппов В. В. Исследование сопротивления гидравлической сети // Альманах современной науки и образования. 2008. №12. С. 209-213.
 8. Горохова Н. В. Номенклатурные единицы в терминологии трубопроводного транспорта // Вестник МГПУ. Серия: Филология. Теория языка. Языковое образование. 2016. №4(24). С. 84-94.
-



9. Дудников Ю. В. Обеспечение безопасности магистральных нефтепроводов эффективным использованием запорной арматуры // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. №6. С. 45-48.
 10. Тарасьев Ю. И., Дунаевский С. Н. Вопросы надежности и безопасности трубопроводной арматуры // Территория Нефтегаз. 2008. №9. С. 64-69.
 11. Потапов В. В. Герметичность систем безопасности АЭС // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. №6. С. 257-261.
 12. Mahmood W. K., Abdulkarim M. H., Abdulbari H. A. Surfactant–solid complex for enhancing the flow in pipelines: an experimental approach // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2022. V. 11. №1. DOI: 10.1186/s43088-022-00267-3
 13. Iskandarov E. X. O., Baghirov S. A. O. Analytical and wave-depression methods of elimination of the onset of hydration in subsea gas pipelines // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2022. V. 2022. №4. pp. 96-108. DOI: 10.32014/2022.2518-170X.203
 14. Namballa D. R., Dhirendra N. T., Surendra K. B. Rheological study and numerical analysis of high concentration iron ore slurry pipeline transportation // Materials Today. 2020. V. 22. pp. 3197-3202. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.457
 15. Мялин М. И., Ильиных Е. А. Рациональный выбор материалов и технологий их обработки при получении деталей трубопроводной арматуры // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК: материалы Международной научно-практической конференции, Курган, 25 марта 2021 года. 2021. С. 47-50.
 16. Рудаченко А. В., Дрягин С. В. Прогрессивная система мониторинга состояния магистрального газопровода при эксплуатации в особых условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №S4-1. С. 338-351.
-

17. Тихонов Е. А., Маганов И. А., Григорьев И. В., Куницкая О. А., Базыкин В. И., Фарзиев А. К., Матвеев Е. К. Задвижка клиновая с пьезоэлектрическим приводом повышенной сейсмоустойчивости. Патент на изобретение RU 209434. Бюл. № 8. 2022. URL: fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=209434&ki=PM
 18. Мозжечков В. А., Борисов В. К., Савин А. С. Электроприводы трубопроводной арматуры серии ЭП4 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. №5. С. 21-32.
 19. Афанасьева О. В., Бакулина А. А., Коркунов С. Б. Обзор российского рынка трубопроводной арматуры и приводов в 2020 году // Арматуростроение. 2021. №2(131). С. 28-31.
 20. Погодин В. К., Огар П. М., Вайнапель Ю. Л. Экспериментальная оценка безопасного ресурса работы затворного узла трубопроводной арматуры по критерию герметичности // Системы. Методы. Технологии. 2014. №1 (21). С. 33-37.
 21. Zagretidinov A. R. , Kazakov R. B., Mukatdarov A. A. Control the tightness of the pipeline valve shutter according to the change in the Hurst exponent of vibroacoustic signals // E3S Web of Conferences. 2019. V. 124. P. 03005. DOI: 10.1051/e3sconf/201912403005
 22. Татарканов А. А., Александров И. А., Михайлов М. С., Муранов А. Н. Разработка алгоритма автоматизированной оценки герметичности контактных уплотнительных соединений запорной арматуры // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 10(107). С. 27-37. – DOI 10.30987/1999-8775-2021-10-27-37.
 23. Alexandrov I. A., Muranov A. N., Mikhailov M. S. The analysis of ways to increase the durability of shut-off valves loaded elements // Journal of Advanced Materials and Technologies. 2021. V. 6. №. 3. P. 225. DOI: 10.17277/jamt.2021.03. pp.225-235
-

24. Лебединский К. В., Костромитин В. Н. Научные подходы, технологии и оборудование в проблеме обеспечения герметичности уплотнений металл-металл шаровых кранов // Трубопроводная арматура и оборудование. 2022. №4(121). С. 24-25.
25. Сухорукова И. Г. Анализ методов измерения герметичности конструкций для автоматического испытания запорной арматуры // Труды БГТУ. №6. Физико-математические науки и информатика. 2010. №6. С. 125-129.
26. Поникаров С. И., Валеев С. И., Вилохин С. А., Рачковский С. В., Арматура трубопроводная. Монтаж, техническая диагностика и ремонт // Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Издательство "Фэн" Академии наук Республики Татарстан, 2020. 356 с. ISBN: 978-5-9690-0693-5
27. Alexandrov I. A., Muranov A. N., Mikhailov M. S. Development of an Algorithm for Automated Evaluation of the Operability of Structural Elements of Shut-off Valves // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 06–10 сентября 2021 года. – Yaroslavl, 2021. – pp. 257-261. – DOI 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642718.
28. Tatarkanov A. A., Alexandrov I. A., Mikhailov M. S., Muranov A. N. Algorithmic Approach to the Assessment Automation of the Pipeline Shut-Off Valves Tightness // SSRG International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2021. – Vol. 69. – No 12. – pp. 147-162. – DOI 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P218.
29. Афанасьева О. В., Коркунов С. Б., Тер-Матеосянц И. Т. Тенденции развития российского рынка трубопроводной арматуры в 2015 г. в условиях санкций и контрсанкций // Территория Нефтегаз. 2016. №6. С. 96-101.
-

30. Шумкин А. В., Донькин Д. А., Митянина Ю. В. Организация системы контроля технического обслуживания трубопроводной арматуры магистральных газопроводов // Современные наукоемкие технологии. 2022. №8. С. 103-108. DOI 10.17513/snt.39274

References

1. Kosuhin M. M., Kosuhin A. M. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2017. №6. pp. 29-34. DOI: 10.12737/article_5926a059462d34.75656700
2. Gorohova N. V. Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2013. №1. pp. 114-120.
3. Davydenko O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/427.
4. Kulechev V. M., Ivanov E. A., Dadonov Yu. A., Mokrousov S. N. Bezopasnost' truda v promyshlennosti 2002. №7. pp. 4-12.
5. Semenov, V. K., Beljakov A.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki. 2010. №5. pp. 24-27.
6. Vasil'ev A.S., Shegel'man I.R., Shhukin P. O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1770.
7. Filippov V. V. Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija. 2008. №12. pp. 209-213.
8. Gorohova N. V. Vestnik MGPU. Serija: Filologija. Teorija jazyka. Jazykovoje obrazovanie. 2016. №4(24). pp. 84-94.
9. Dudnikov Ju. V. Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. 2012. №6. pp. 45-48.
10. Taras'ev Ju. I., Dunaevskij S. N. Territorija Neftegaz. 2008. №9. С. 64-69.
11. Potapov V. V. Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. 2017. №6. pp. 257-261.

12. Mahmood W. K., Abdulkarim M. H., Abdulbari H. A. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2022. V. 11. №1. DOI: 10.1186/s43088-022-00267-3
 13. Iskandarov E. X. O., Baghirov S. A. O. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2022. V. 2022. №4. pp. 96-108. DOI: 10.32014/2022.2518-170X.203
 14. Namballa D. R., Dhirendra N. T., Surendra K. B. Materials Today. 2020. V. 22. pp. 3197-3202. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.457
 15. Mjalin M. I., Il'inyh E. A. Inzhenernoe obespechenie v realizacii social'no-jekonomicheskikh i jekologicheskikh programm APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kurgan, 25 marta 2021 goda. 2021. pp. 47-50.
 16. Rudachenko A. V., Drjagin S. V. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2013. №S4-1. pp. 338-351.
 17. Tihonov E. A., Maganov I. A., Grigor'ev I. V., Kunickaja O. A., Bazykin V. I., Farziev A. K., Matveev E. K. Zadvizhka klinovaja s p'ezojelektricheskim privodom povyshennoj sejsmoustojchivosti [Wedge gate valve with piezoelectric actuator of high seismic resistance]. Patent na izobretenie RUS 209434. URL: fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=209434&ki=PM
 18. Mozzhechkov V. A., Borisov V. K., Savin A. S. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2011. №5. pp. 21-32.
 19. Afanas'eva O. V., Bakulina A. A., Korkunov S. B. Armaturostroenie. 2021. № 2(131). pp. 28-31.
 20. Pogodin V. K., Ogar P. M., Vajnapel' Ju. L. Sistemy. Metody. Tehnologii. 2014. №1 (21). pp. 33-37.
 21. Zagretdinov A. R., Kazakov R. B., Mukatdarov A. A. E3S Web of Conferences. 2019. V. 124. P. 03005. DOI: 10.1051/e3sconf/201912403005
-

22. Tatarkanov A. A., Aleksandrov I. A., Mikhailov M. S., Muranov A. N. Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2021. №. 10 (107). pp. 27-37.
 23. Alexandrov I. A., Muranov A. N., Mikhailov M. S. Journal of Advanced Materials and Technologies. 2021. V. 6. №. 3. P. 225. DOI: 10.17277/jamt.2021.03.pp.225-235
 24. Lebedinskij K. V., Kostromitin V. N. Truboprovodnaja armatura i oborudovanie. 2022. №4 (121). pp. 24-25.
 25. Suhorukova, I. G. Trudy BGTU. №6. Fiziko-matematicheskie nauki i informatika. 2010. №6. pp. 125-129.
 26. Ponikarov S. I., Valeev S. I., Vilohin S. A., Rachkovskij S. V. Armatura truboprovodnaja. Montazh, tehničeskaja diagnostika i remont [Pipeline valves. Installation, technical diagnostics and repair]. Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tehnologičeskij universitet. Kazan': Izdatel'stvo "Fjen" Akademii nauk Respubliki Tatarstan, 2020. 356 p.
 27. Alexandrov I. A., Muranov A. N., Mikhailov M. S. 2021 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS). 2021. DOI: 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642718
 28. Tatarkanov A. A., Alexandrov I. A., Mikhailov M. S., Muranov A. N. International Journal of Engineering Trends and Technology, V. 69. № 12. pp. 147–162. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P218
 29. Afanas'eva O. V., Korkunov S. B., Ter-Mateosjanc I. T. Territorija Neftegaz. 2016. №6. pp. 96-101.
 30. Shumkin A. V., Don'kin D. A., Mitjanina Ju. V. Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2022. №8. pp. 103-108. DOI 10.17513/snt.39274
-