

Установка для проведения пневматических испытаний запорной арматуры – проектирование и расчет

А.Х. Лампежеев¹, Ю.А. Соболева¹, А.М. Керимов¹, О.В. Романов²

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

Аннотация: Трубопроводная арматура, являющаяся одним из основных элементов любого типа трубопроводных сетей, бывает различного назначения: запорная, обратная, предохранительная, регулирующая, разделительная, отключающая и т.д. В целях контроля работоспособности данного элемента необходимо в установленном порядке проводить различные испытания, к основным из которых относят пневматические. Данное исследование посвящено разработке оборудования для внутризаводских пневматических испытаний поворотных обратных затворов для трубопроводных систем опасных производственных объектов со сверхвысокими параметрами рабочей среды. Для данной конструкции установки было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния элементов установки, а также газодинамический расчет испытательного контура установки.

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

Введение

Трубопроводные сети нашли применение в водо-, тепло-, газо- и нефтеснабжении, а также в экономической, энергетической, химической и других областях промышленности [1 – 3]. Поскольку данный вид транспортировки разнообразных сред является одним из наиболее востребованных и зачастую экономически выгодных, общая протяженность и разветвленность трубопроводных сетей различного назначения только увеличивается [4, 5]. С повышением уровня сложности разрабатываемых и эксплуатируемых объектов растут требования к их надежности [6, 7]. Также встает вопрос об уровне автоматизации и технических характеристиках разрабатываемого оборудования [8, 9].

При разработке трубопроводной системы для создания конструктивного исполнения в полной мере соответствующего заданным

техническим условиям между собой взаимодействуют высококвалифицированные специалисты различных направлений. При этом, решения, принятые на ранней стадии проектирования, влияют на инвестиционные, строительные и эксплуатационные затраты, регламент технического обслуживания и, что также немаловажно, экологические аспекты и безопасность системы в целом [10]. Комплекс действий, необходимых на этом этапе, включает геотехнические исследования, моделирование гидрогазодинамических, тепловых, химических и других процессов, имеющих место при функционировании трубопроводных систем, исследования условий окружающей среды вдоль трассы пролегания трубопровода, изучение поведения конструкционных материалов в условиях нагружения, соответствующих эксплуатационным, исследование характеристик рабочих сред, а также их взаимодействия с конструкционными материалами системы и т.д. [11].

Несмотря на то, что трубопроводы являются одним из самых надежных и безопасных способов транспортировки, каждый год происходят сотни отказов, приводящих к загрязнению окружающей среды, потери пропускной способности и затратам на ремонт [12, 13].

Немаловажную роль в обеспечении стабильной и безопасной работы трубопроводных сетей различного назначения играет трубопроводная арматура [14, 15]. Согласно ГОСТ 24856-2014 «Арматура трубопроводная. Термины и определения», это оборудование, устанавливаемое на трубопроводах и предназначенное для управления потоками рабочих сред с помощью изменения площади проходного сечения. За счет клапанов происходит запуск, управление, распределение и регулирование рабочих сред, их отключение и смешивание. Под рабочими средами понимаются жидкости, газообразные и порошкообразные вещества, суспензии. Также

арматура может выполнять функцию двойной изоляции для предотвращения утечек.

Трубопроводную арматуру подвергают основным (обязательным) испытаниям, которые состоят из гидравлических и (или) пневматических испытаний [16]. Они необходимы для проверки функционирования, герметичности затворов, герметичности относительно внешней среды подвижных и неподвижных соединений, прочности и плотности материала сварных швов и корпусных деталей [17].

В настоящее время ведутся активные работы по созданию испытательного оборудования для проведения пневматических испытаний трубопроводной арматуры [18 – 20]. Это связано с тем, что значительная часть парка существующего оборудования морально устаревает и не позволяет получать результаты требуемого качества [21].

Целью настоящего исследования является разработка оборудования для внутривоздушных пневматических испытаний поворотных обратных затворов для трубопроводных систем опасных производственных объектов со сверхвысокими параметрами рабочей среды.

Описание конструкции установки

В качестве объекта исследования в работе рассматривается установка технологическая пневматическая, предназначенная для проведения пневматических испытаний трубопроводной арматуры испытательной средой (воздухом) под высоким давлением (в диапазоне от 1 до 20 МПа) для определения их герметичности. Исследуемая установка рис. 1 представляет собой сборную металлическую конструкцию, состоящую из следующих узлов: коллектора (1); контрольно-измерительного блока, включающего в себя средства измерения давления (манометры) (2) для контроля давления в системе; основания (3); запорных устройств (4, 10); приспособления (5); бака (6); комплекта присоединительного оборудования, включающего

распределительные трубки (7), ванну для испытаний (8), оснастку для подключения испытываемой трубопроводной арматуры; распределителя (11); пневмоцилиндра (12).

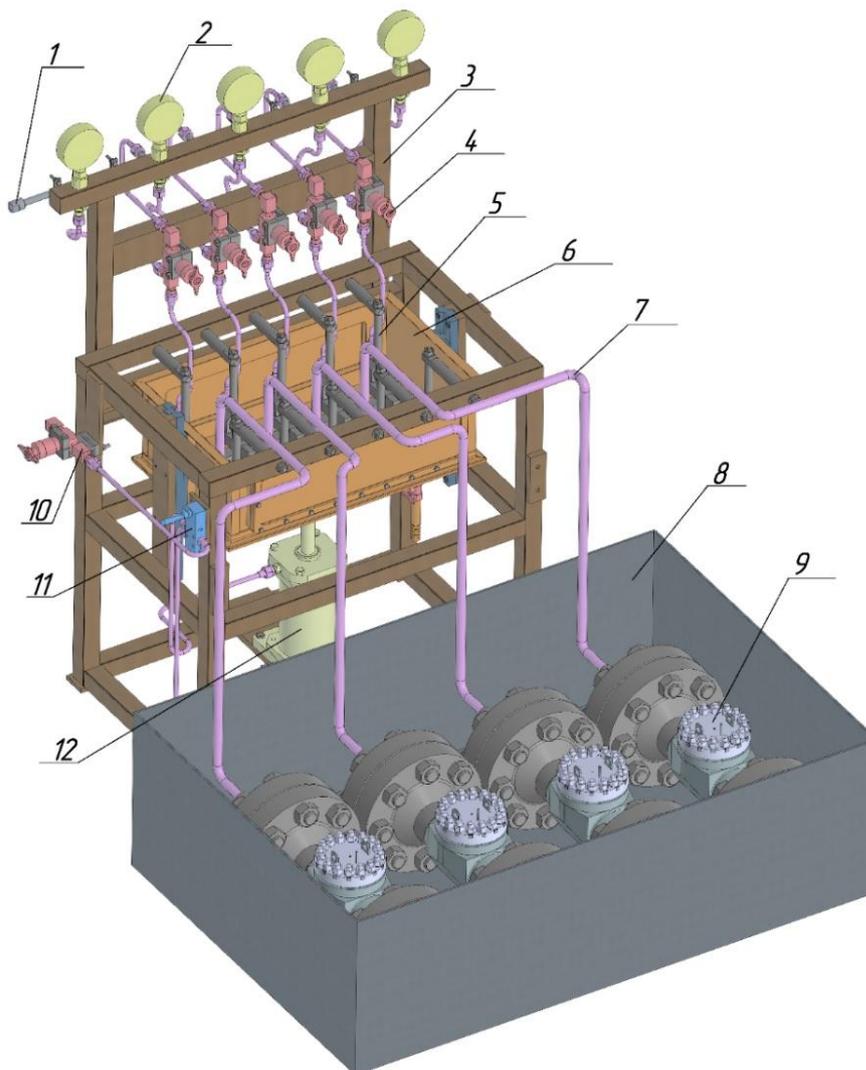


Рис. 1. – Конструкция установки технологической пневматической:
1 – коллектор; 2 – индикатор давления; 3 – основание (рама); 4 – запорное устройство; 5 – приспособление; 6 – бак; 7 – распределительные трубки; 8 – ванна для испытаний; 9 – испытываемая трубопроводная арматура; 10 – запорное устройство пневмоцилиндра; 11 – распределитель; 12 – пневмоцилиндр

Коллектор пневматической системы представляет собой металлическую гребенку, оборудованную пятью патрубками с штуцерным соединением и одной соединительной муфтой. Задача коллектора - обеспечить в достаточной степени равное распределение давления испытательной среды (воздуха) для всех подключаемых к приспособлению испытываемых изделий при однорядном групповом подключении распределительных трубок пневматической системы, соединяющих источник высокого давления и приспособление для проведения испытаний. Равномерность величины давления контролируется установленными индикаторами давления – манометрами. Присоединение распределительных трубок к коллектору обеспечивается посредством штуцерно-ниппельного соединения рис. 2. Внутренняя поверхность ниппеля (3), обращенная к штуцеру (2), имеет коническую форму, угол, образующий которую, совпадает с углом развальцовывания штуцера, что обеспечивает герметичность соединения. С другой стороны ниппеля герметично припаивается конец распределительной трубки (4).

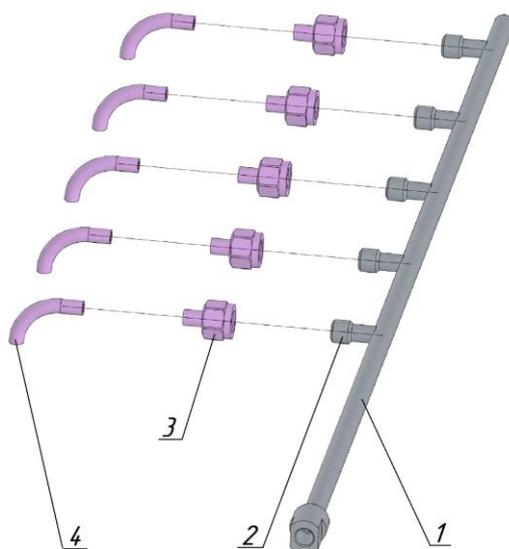


Рис. 2. – Присоединение распределительных трубок к коллектору:
1 – коллектор; 2 – штуцер; 3 – ниппель; 4 – распределительная трубка

Основание – несущая рама установки представляет собой сварную металлическую конструкцию, обеспечивающую устойчивое надежное крепление всех агрегатов, узлов и испытательного оборудования. Основание предназначено для монтажа основных элементов конструкции установки: бака, пневмоцилиндра, испытательного приспособления, контрольно-измерительного блока, кронштейнов, коллектора и комплекта присоединительного оборудования. На боковой стороне рамы устанавливаются распределитель и запорное устройство линии подачи сжатого воздуха в полости пневмоцилиндра. На нижней части рамы расположена специальная плита для установки пневмоцилиндра. На внутренней части рамы по бокам предусмотрены планки с пазом для крепления направляющих бака. Соединение планок и направляющих осуществляется посредством шипового и винтового соединений. На балках рамы предусмотрены отверстия для крепления шпилек с неполной односторонней резьбой и ушком для крепления приспособления на раме. На спинке рамы с помощью кронштейнов и колодок устанавливаются запорные устройства системы распределительных трубок для перекрытия/открытия подачи сжатого воздуха от внешнего источника (компрессора, магистрали высокого давления, баллона со сжатым газом). На верхней балке рамы предусмотрены пластики для крепления коллектора. Также верхняя балка рамы имеет отверстия для установки манометров для контроля давления в системе.

Приспособление (5) предназначено для подключения испытываемой трубопроводной арматуры к пневматической системе и представляет собой сборную металлическую конструкцию в виде прямоугольной рамы, на которой при помощи винтов закрепляются пять параллельно устанавливаемых опор. На опорах приспособления закреплены присоединительные устройства: патрубки подачи испытательной среды,

идущие от коллектора, распределительные трубки, ведущие к испытываемой арматуре, а также крепежи и фитинги, для соединения системы трубок. Конструкция приспособления предполагает подключение одновременно до пяти испытываемых затворов.

Бак представляет собой прямоугольную сварную герметичную металлическую оболочку, заполняемую в процессе испытаний жидкой рабочей средой (водой). Бак предназначен для хранения жидкой рабочей среды, которая используется для контроля герметичности приспособления и выявления протечки испытательной среды (воздуха) при проведении испытаний трубопроводной арматуры малого размера. С двух сторон по бокам бака предусмотрены ребра жесткости с отверстиями под крепежные детали. Конструкция бака предусматривает его удобное наполнение и слив жидкой рабочей среды, промывку и последующую сушку.

Ванна для испытаний предназначена для размещения крупногабаритных испытываемых изделий трубопроводной арматуры и контроля их герметичности в процессе испытания путем выявления протечки испытательной среды. Соответственно, аналогично баку, ванна представляет собой прямоугольную сварную герметичную металлическую оболочку, заполняемую в процессе испытаний жидкой рабочей средой (водой). Индикатором наличия утечки служит образование пузырьков и падение давления в системе.

Пневмоцилиндр представляет собой устройство, позволяющее преобразовать энергию потока сжатого воздуха, поступающего от внешнего источника, в энергию линейного перемещения выходного звена. Пневмоцилиндр предназначен для плавного вертикального регулирования рабочего положения (перемещения) и фиксации конструкции бака в процессе проведения испытаний. В рассматриваемой установке используется

конструкция пневмоцилиндра двухстороннего действия с односторонним штоком (рис. 3).

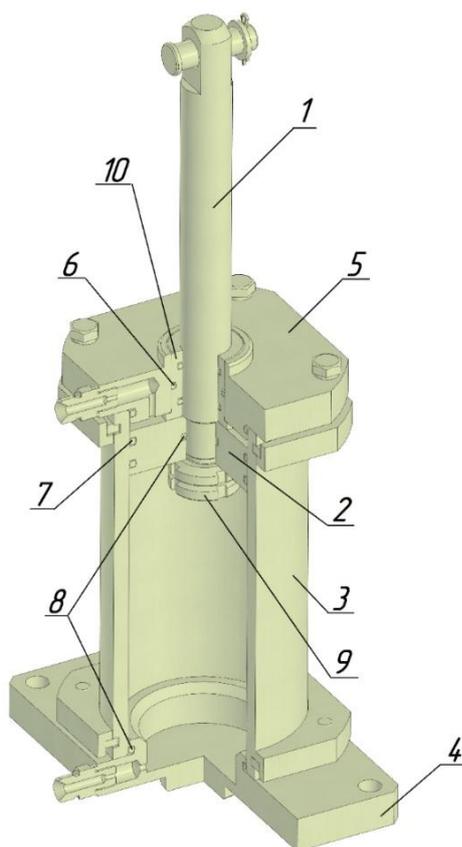


Рис. 3. – Конструкция пневмоцилиндра:

1 – шток; 2 – поршень; 3 – гильза; 4 – задняя крышка; 5 – передняя крышка;
6 – штоковая манжета; 7 – поршневая манжета; 8 – резиновые кольца; 9 – гайка; 10 – направляющая втулка.

Методика проведения исследования

Прочностный анализ установки проводится для определения наиболее нагруженных областей и элементов конструкции при условиях эксплуатации. Анализ напряженно-деформированного состояния элементов конструкции проводится методами математического моделирования с использованием программных комплексов конечно-элементного моделирования. В целях

и распределение давления газа в объеме модели данного узла установки, на основе которых оценивается равномерность распределения нагрузки на испытываемые изделия трубопроводной арматуры.

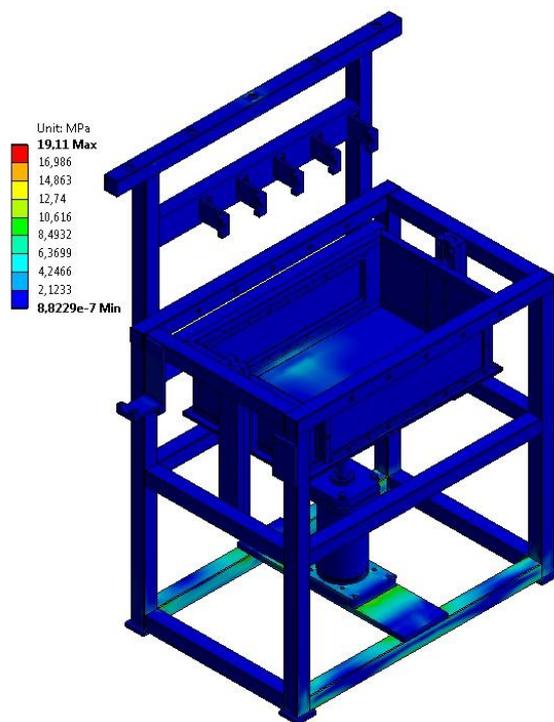


Рис. 5. – Распределение эквивалентных напряжений в объеме модели несущей конструкции установки

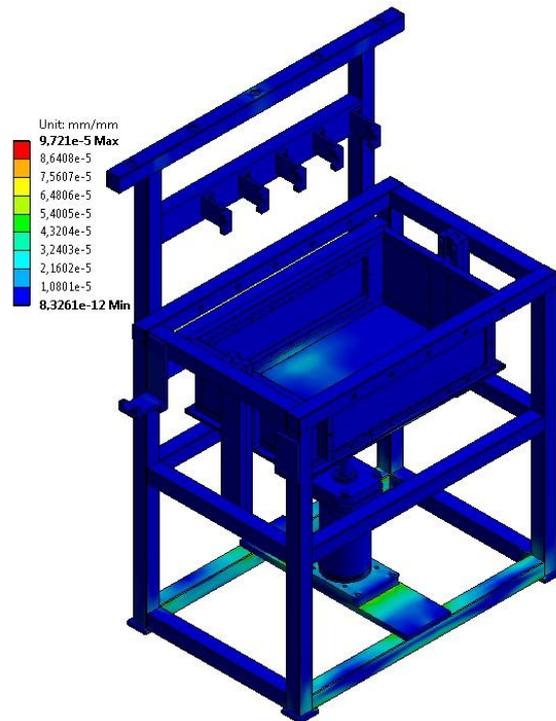


Рис. 6. – Распределение эквивалентных деформаций в объеме модели несущей конструкции установки

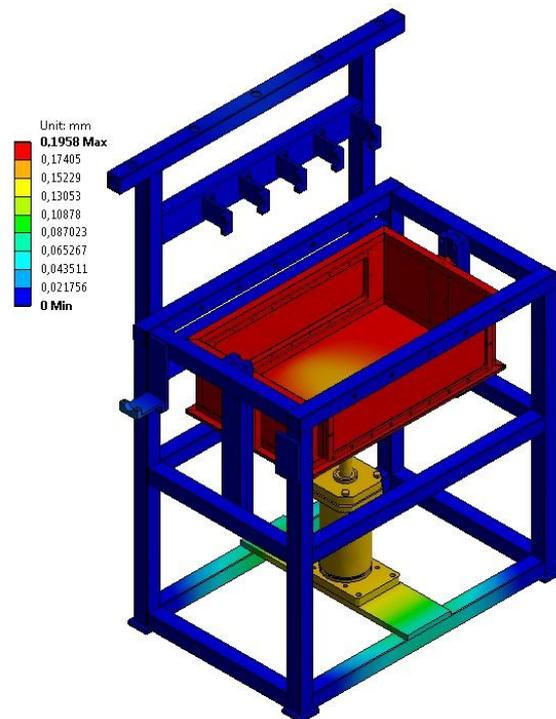


Рис. 7. – Распределение максимальных перемещений в объеме модели несущей конструкции установки

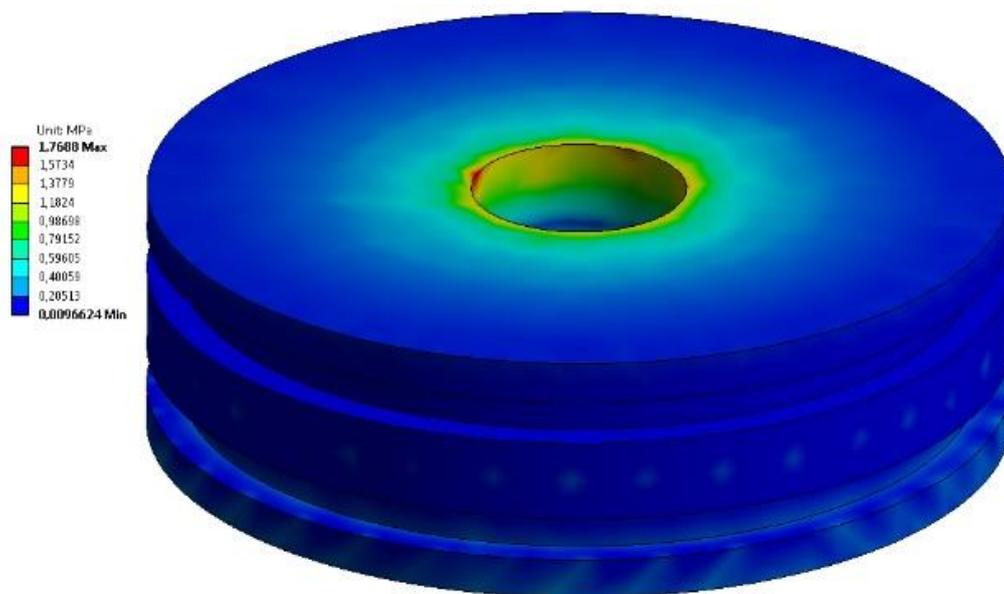


Рис. 8. – Распределение эквивалентных напряжений в объеме модели поршня пневмоцилиндра

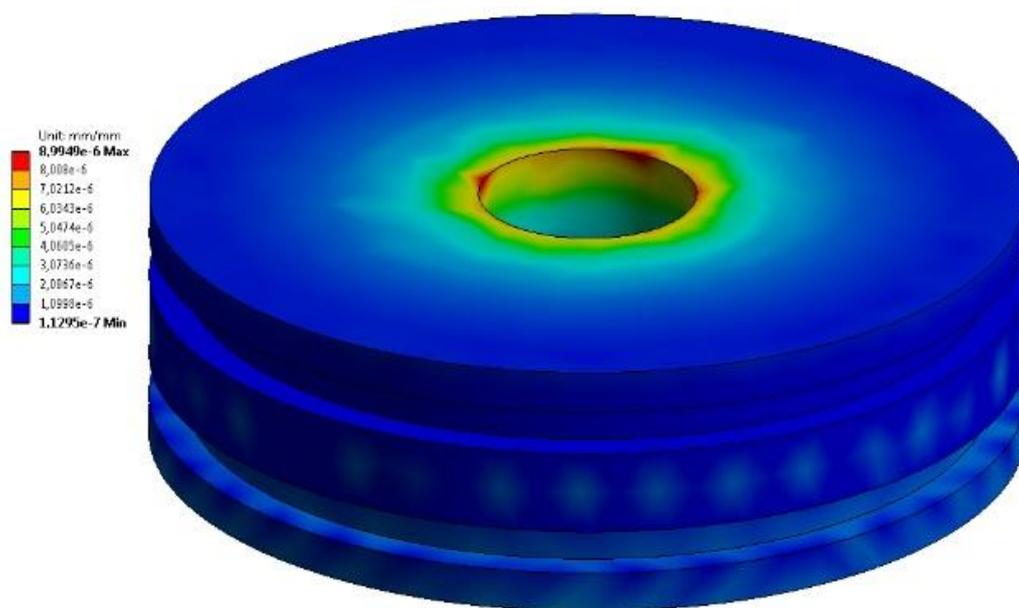


Рис. 9. – Распределение эквивалентных деформаций в объеме модели поршня пневмоцилиндра

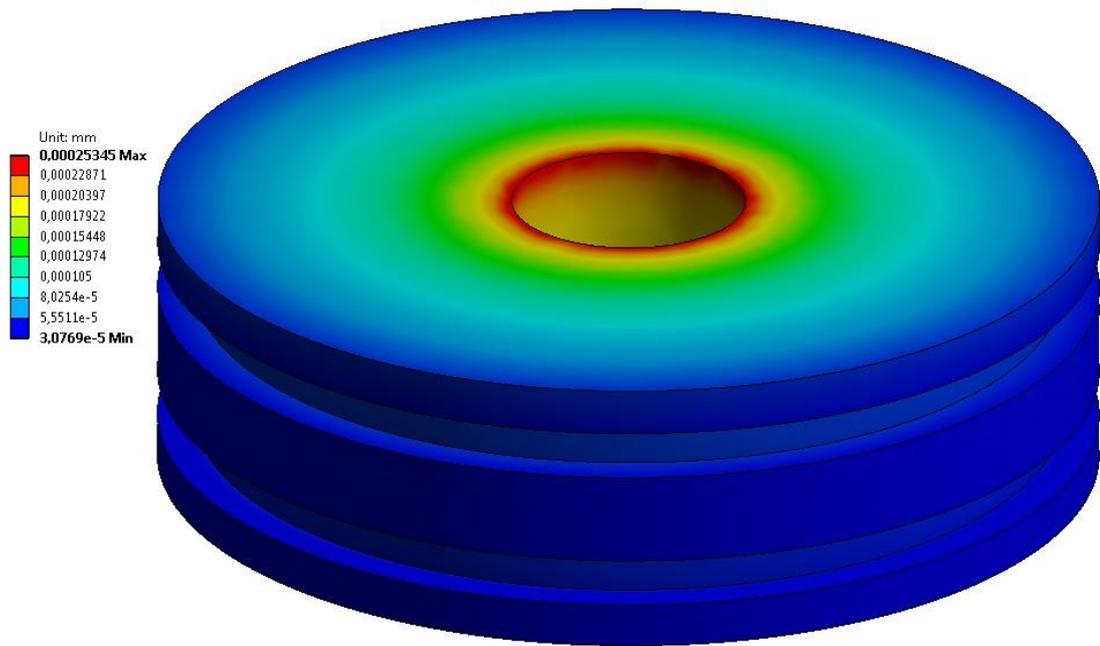


Рис. 10. – Распределение максимальных перемещений в объеме модели поршня пневмоцилиндра

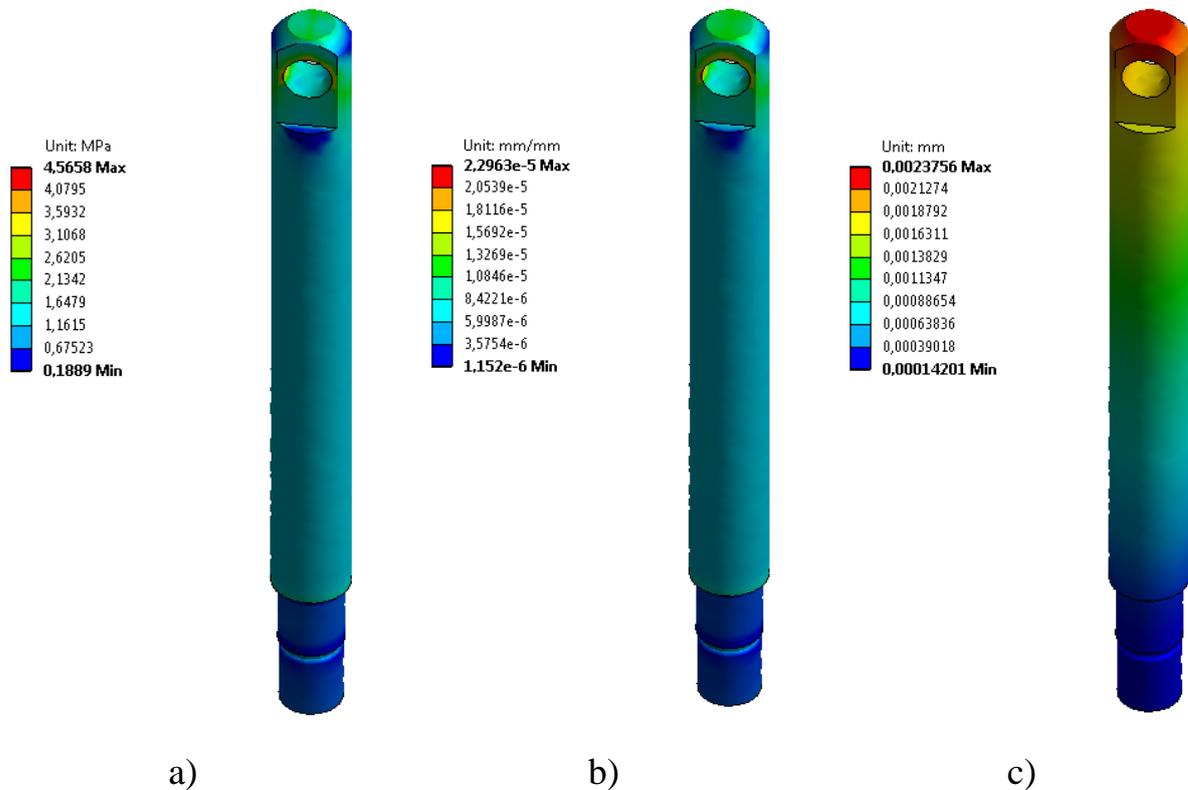


Рис. 11. – Распределение эквивалентных напряжений (а), деформаций (б), перемещений (с) в объеме модели штока пневмоцилиндра

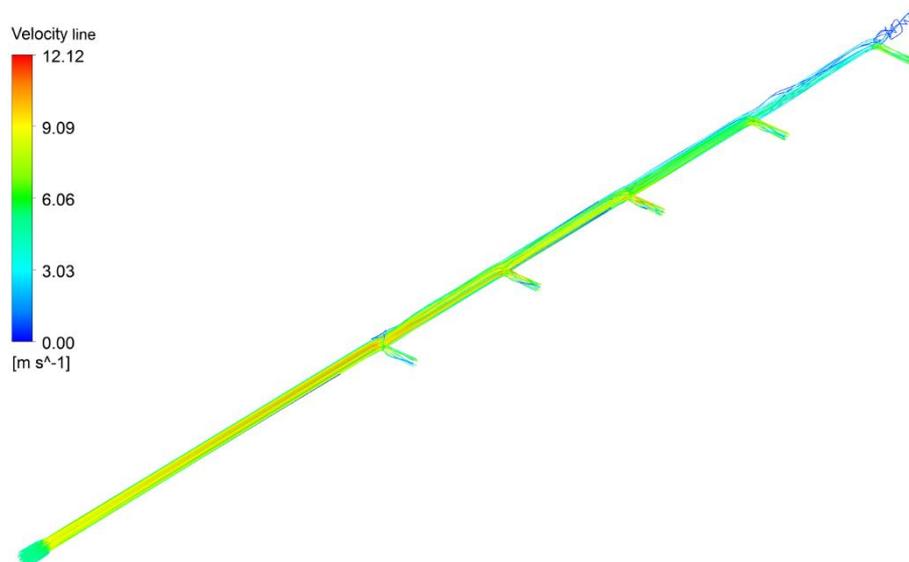


Рис. 12. – Линии тока испытательной среды (воздуха) в расчетной модели внутреннего объема коллектора

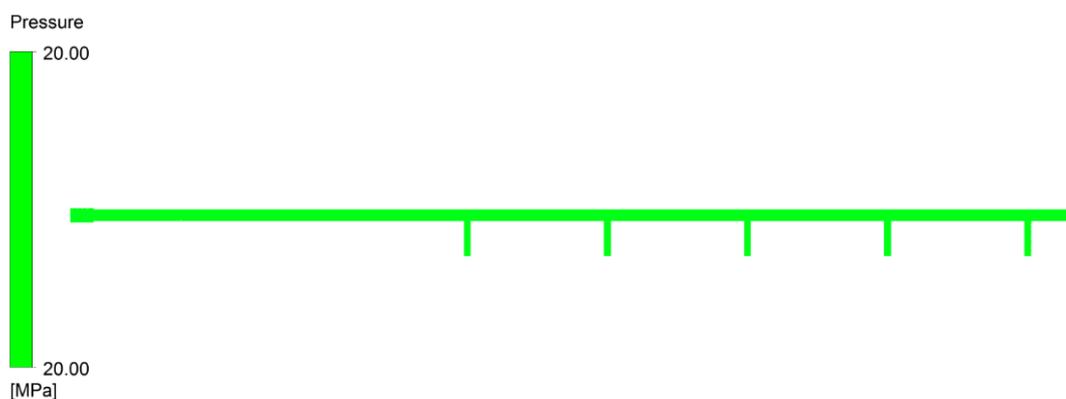


Рис. 13 – Распределение давления испытательной среды (воздуха) в продольном сечении расчетной модели внутреннего объема коллектора

Выводы

Анализ полученных результатов моделирования распределения эквивалентных напряжений, деформаций и перемещений элементов конструкции стенда позволяет сделать вывод о достижении требуемого уровня прочности, необходимого для безопасной работы конструкции.

Устройство коллектора обеспечивает равномерное распределение потока воздуха и давления на выходах патрубков подключения распределительных трубок, что обеспечивает одинаковые условия нагружения для каждого испытываемого изделия. Таким образом, подтверждена работоспособность предложенного конструктивного исполнения, что в свою очередь позволяет перейти на этап изготовления и практических испытаний опытного образца стенда.

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. 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.
2. Гостинин И. А., Вирясов А. Н., Семенова М. А. Анализ аварийных ситуаций на линейной части магистральных газопроводов // Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1618
3. Садомский Я. А. Промышленная безопасность и химическое трубопроводное оборудование // Евразийский научный журнал. 2015. №7. С. 92-94.

4. Маков В. М. Анализ развития магистрального транспорта нефти в России // Вестник экономики и менеджмента. 2017. №3. С. 13-18.
 5. Семенов В. К., Беляков А. А., Щербнев В. С. Прогнозирование накопления дефектов на трубопроводах ТЭС и АЭС. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2009. № 2. С. 48-51.
 6. 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. pp. 225-235. DOI: 10.17277/jamt.2021.03
 7. 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 // 2021 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS). 2021. DOI: 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642718
 8. 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 // International Journal of Engineering Trends and Technology, V. 69. № 12. pp. 147–162. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I12P218
 9. 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.
 10. Baumrucker В.Т., Biegler L.T. MPEC strategies for cost optimization of pipeline operations // Computers and Chemical Engineering. 2010. V. 34. №6. pp. 900-913. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2009.07.012
 11. Тарасьев Ю. И., Дунаевский С. Н. Вопросы надежности и безопасности трубопроводной арматуры // Территория Нефтегаз. 2008. №9. С. 64-69.
-



12. Alamilla J.L., Sosa E., Sánchez-Magaña C.A., Andrade-Valencia R., Contreras A. Failure analysis and mechanical performance of an oil pipeline // *Materials & Design*. 2013. V. 50. № 9. pp. 766-773. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.03.055
 13. Sosa E., Alvarez-Ramirez J. Time-correlations in the dynamics of hazardous material pipelines incidents // *Journal of Hazardous Materials*. 2009. V. 165. pp. 1204-1209. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.09.094
 14. Гумеров А. Г., Азметов Х. А., Григорьева Н. В., Павлова З. Х. Обеспечение безопасной эксплуатации магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов путем оптимального размещения линейной запорной арматуры // *Безопасность жизнедеятельности*. 2008. № 3(87). С. 44-46.
 15. Азметов, Х. А. Павлова З. Х., Дудников Ю. В. Техно-технологические решения по обеспечению надежности и безопасности магистральных нефтепроводов // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2014. № 3(97). С. 117-122.
 16. Скрыбин В. А. Развитие и модернизация пневмоуправляемых насосных станций для проведения испытаний трубопроводной арматуры // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2019. №12. С. 16-22. DOI: 10.31044/1684-2561-2019-0-12-16-22
 17. Степаненко М. В., Пикалов Ю. А. Испытания трубопроводной арматуры // *Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 30–31 мая 2019 года / Юго-Западный государственный университет. – Курск: Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 197-199.*
 18. Барабанов Г. П., Барабанов В. Г., Лупушор И. И. Автоматизация контроля герметичности газовой трубопроводной арматуры // *Известия*
-

Волгоградского государственного технического университета. 2011. №13(86). С. 65-68.

19. Сейнов С. В., Сейнов Ю. С., Новиков А. Ф. Стенд для испытаний трубопроводной арматуры, ее элементов и фитингов на прочность, плотность и герметичность затвора. Патент на изобретение RU 2670675. Бюл. № 35. 2018. URL: new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2670675&TypeFile=html

20. Кудряшов М. Н., Леонов П. Г., Меньшиков К. А. Информационно-измерительная система стенда испытаний трубопроводной арматуры // Современные информационные технологии. Теория и практика: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции (Череповец, 5 декабря 2019 г.), Череповец, 05 декабря 2019 года / Под редакцией Т.О. Петровой. – Череповец: Череповецкий государственный университет. 2020. С. 19-22.

21. Боботков К. М. Совершенствование качества испытаний трубопроводной арматуры // Актуальные вопросы менеджмента и систем качества: Материалы региональной научно-практической конференции, Курган, 16 декабря 2016 года / Ответственный за выпуск В.В. Марфицын. – Курган: Курганский государственный университет. 2017. С. 6-7.

References

1. Davydenko O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/427.

2. Gostinin I. A., Virjasov A. N., Semenova M. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1618

3. Sadomskij Ja. A. Evrazijskij nauchnyj zhurnal. 2015. №7. pp. 92-94.

4. Makov V. M. Vestnik jekonomiki i menedzhmenta. 2017. №3. pp. 13-18.

5. Semenov V. K., Beljakov A. A., Shhebnev V. S. Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. 2009. № 2. pp. 48-51.



6. Alexandrov I. A., Muranov A. N., Mikhailov M. S. Journal of Advanced Materials and Technologies. 2021. V.6. №3. pp. 225-235. DOI: 10.17277/jamt.2021.03
 7. 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
 8. 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
 9. Tatarkanov A. A., Alexandrov I. A., Mikhailov M. S., Muranov A. N. Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2021. №. 10 (107). pp. 27-37.
 10. Baumrucker B.T., Biegler L.T. Computers and Chemical Engineering. 2010. V. 34. №6. pp. 900-913. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2009.07.012
 11. Taras'ev Ju. I., Dunaevskij S. N. Territorija Neftegaz. 2008. №9. С. 64-69.
 12. Alamilla J.L., Sosa E., Sánchez-Magaña C.A., Andrade-Valencia R., Contreras A. Materials & Design. 2013. V. 50. № 9. pp. 766-773. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.03.055
 13. Sosa E., Alvarez-Ramirez J. Journal of Hazardous Materials. 2009. V. 165. pp. 1204-1209. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.09.094
 14. Gumerov A. G., Azmetov H. A., Grigor'eva N. V., Pavlova Z. H. Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2008. № 3(87). pp. 44-46.
 15. Azmetov, H. A. Pavlova Z. H., Dudnikov Ju. V. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov. 2014. № 3(97). pp. 117-122.
 16. Skrjabin V. A. Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. 2019. №12. С. 16-22. DOI: 10.31044/1684-2561-2019-0-12-16-22
-

17. Stepanenko M. V., Pikalov Ju. A. Upravlenie kachestvom na jetapah zhiznennogo cikla tehniceskikh i tehnologicheskikh sistem : sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Kursk, 30–31 maja 2019 goda. Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. 2019. С. 197-199.
18. Barabanov G. P., Barabanov V. G., Lupushor I. I. Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. 2011. №13(86). С. 65-68.
19. Sejnov S. V., Sejnov Ju. S., Novikov A. F. Stend dlja ispytanij truboprovodnoj armatury, ee jelementov i fittingov na prochnost', plotnost' i germetichnost' zatvora [Test stand for pipeline fittings, its elements and couplers for strength and trim impermeability]. Patent na izobrenenie RU 2670675. Bjul. № 35. 2018. URL: new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2670675&TypeFile=html
20. Kudrjashov M. N., Leonov P. G., Men'shikov K. A. Sovremennye informacionnye tehnologii. Teorija i praktika: Materialy V Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Cherepovec, 5 dekabrja 2019 g.), Cherepovec, 05 dekabrja 2019 goda. Pod redakciej T.O. Petrovoj. Cherepovec: Cherepoveckij gosudarstvennyj universitet. 2020. С. 19-22.
21. Bobotkov K. M. Aktual'nye voprosy menedzhmenta i sistem kachestva: Materialy regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kurgan, 16 dekabrja 2016 goda. Otvetstvennyj za vypusk V.V. Marficyn. Kurgan: Kurganskij gosudarstvennyj universitet. 2017. С. 6-7.