ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ КЛИНОВОЙ ЗАДВИЖКИ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

THREE-DIMENSIONAL SIMULATION OF A NEW LARGE DIAMETER WEDGE VALVE DESIGN

И. А. Лопатин
Ivan A. Lopatin

АО «Благовещенский
арматурный завод»,
Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Blagoveshchensk Valve Plant JSC,
Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

М. А. Бикмухаметова
Marina A. Bikmuhametova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Р. Б. Тукаева
Rimma B. Tukaeva

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

В настоящее время для транспортировки нефти, газа и других продуктов на дальние расстояния все в большей степени применяются трубопроводы большого диаметра от 600 до 1400 мм. Соответственно, возрастает необходимость в производстве задвижек указанных диаметров. Однако производство такой арматуры в России находится на начальном этапе и во многих случаях применяются импортные задвижки. При этом задвижки большого диаметра обычно изготавливают по индивидуальным заказам, а номенклатура ограничена. В связи с этим встает проблема импортозамещения крупногабаритных задвижек, а также осуществления быстрого проектирования и изготовления клиновых задвижек в любом количестве в короткие сроки с заданными заказчиком параметрами. Одним из заводов, который приступил к решению данных задач, является Акционерное общество «Благовещенский арматурный завод».

Показано, что конструирование и изготовление задвижек большого диаметра может быть осуществлено в два этапа. Первый заключается в разработке унифицированной модели клиновой задвижки с различными параметрами, а второй – в проведении исследований напряженно-деформированного состояния корпуса задвижки и выбора оптимальной конструкции, удовлетворяющей всем требованиям с точки зрения прочности и герметичности с минимальной массой и наибольшей долговечностью.

В статье приводятся результаты первого этапа решения данной проблемы. В качестве исходного объекта была выбрана задвижка клиновая литая, имеющая диаметр магистрального прохода DN 800 мм и работающая под давлением PN 4,0 МПа (40 кг/см²). Построение модели осуществлялось на основе программного обеспечения «Компас-3D». Кратко описан процесс создания деталей, выбора форм и размеров элементов задвижки. На данном этапе спроектированы модели основных элементов задвижки, на основе которых создана трёхмерная модель клиновой задвижки. Ее отличительной особенностью является то, что на ее основе возможно создание в короткие сроки задвижек с различными параметрами и конструктивными вариантами в соответствии с требованиями заказчика.

Ключевые слова

трубопроводный транспорт;
задвижка клиновая
большого диаметра; трехмерное
моделирование; Компас-3D;
операции при проектировании;
элементы задвижки

Nowadays, large-diameter pipelines from 600 to 1400 mm are commonly used to transport oil, gas and other products over long distances. Accordingly, the need for the production of gate valves of the indicated diameters is increasing. However, the production of such valves in Russia is at an early stage and in many cases imported valves are used. At the same time, large-diameter gate valves are usually made according to custom designs, and the range of items is limited. In this regard, the import substitution of large-sized gate valves problem arises. As well as the problem of the implementation of wedge valves agile design and their manufacture in any quantity in a short time with the parameters specified by customers. One of the factories that has started solving these problems is the Blagoveshchensk Valve Plant JSC.

It is shown that the design and manufacture of large diameter gate valves can be carried out in two stages. The first stage is to develop a unified model of a wedge-gate valve with various parameters. The second stage is the research practice on the stress-strain state of the valve body and the selection of an optimal design that meets all the requirements in terms of strength and tightness with minimum weight and the greatest durability. The article shows the results of the first stage of solving this problem. As a source object, we chose a cast wedge-gate valve with a main passage diameter DN 800 mm and operating under the pressure of PN 4.0 MPa (40 kg/cm²). The model was built using the Compass-3D software. The process of creating parts, choosing the shapes and sizes of valve elements is briefly described. At this stage, we designed models of the gate valve main elements, on the basis of which we created a three-dimensional model of the wedge-gate valve. Its distinctive feature is that on its basis it is possible to create valves with various parameters and design options in accordance with customers' requirements in a short period of time.

Трубопроводный транспорт (ТТ) во многом определяет развитие топливно-энергетического комплекса в России, поскольку по трубопроводам транспортируется 2/3 добываемого топлива, около 95 % сырой нефти и весь газ. В настоящее время продолжается разработка и реализация новых проектов как по строительству современных нефтеперерабатывающих предприятий, так и по прокладке нефте- и газопроводов. Поэтому потребность в новых трубопроводах растет, а вместе с этим и увеличивается необходимость в разработке и изготовлении задвижек [1].

Известно, что эффективность трубопровода зависит от того, как быстро через него можно перекачать заданный объем продукта. Скорость перекачки зависит от давления на подающем конце трубы. Но так как не всегда можно увеличить давление в трубопроводе, в настоящее время актуальным способом повышения эффективности ТТ является изготовление труб большого диаметра, свыше 600 мм. Такие трубопроводы позволяют перекачивать больший объем жидкостей или газа, без увеличения давления на подающем конце трубы [2, 3].

Производство арматуры данных типоразмеров в нашей стране только начинает развиваться. При этом во многих случаях задвижки изготавливают с ограниченным сроком гаран-

Key words

pipeline transportation;
large diameter wedge-gate valve;
three-dimensional modeling;
Compass-3D; design operations;
gate valve elements

тии и по индивидуальным заказам, обычно на фланцевых соединениях только одного исполнения, при этом по устаревшим ГОСТам на фланцы и т.д.

Поэтому весьма актуальна проблема разработки и изготовления российских задвижек большого размера различного материального исполнения, отличающихся способом присоединения к трубопроводу (под приварку, вентузное или фланцевое с различными видами исполнения присоединительных поверхностей). При этом решались бы задачи импортозамещения и быстрого проектирования и изготовления клиновой задвижки в любом количестве в короткие сроки с заданными заказчиком параметрами [4].

Одним из заводов, который приступил к решению данных задач, является Акционерное общество «Благовещенский арматурный завод» [5, 6].

Материал и методики исследований

Как известно, создание новой техники может идти по пути экспериментальных исследований на натурных образцах. Но данный вариант является экономически невыгодным, так как приходится изготавливать большое количество образцов.

Поэтому в настоящей работе на первом этапе разработки новой конструкции за-

движки большого диаметра применили метод компьютерного моделирования экспериментальных моделей трубопроводной арматуры [7]. В дальнейшем планируется провести прочностные расчеты по исследованию напряженно-деформированного состояния элементов задвижки в одном из программных комплексов и выдать рекомендации по выбору оптимальных геометрических параметров в зависимости от различных факторов [8].

При этом задвижка должна отвечать всем современным требованиям, предъявляемым к запорной арматуре, в частности, иметь большую долговечность, достаточную прочность при низкой металлоемкости, должна выдерживать заданные нагрузки без деформаций, обеспечить надежное функционирование после длительного нахождения в закрытом или открытом положении, герметичность по отношению к внешней среде, герметичность в затворе и т.д. [9]

В качестве исходного объекта была выбрана задвижка клиновая литая, имеющая диаметр магистрального прохода DN 800 мм и работающая под давлением PN 4,0 МПа (40 кг/см²).

Изучив программное обеспечение (ПО), применяемое для 3D-проектирования для построения модели и осуществления прочностных расчетов были выбраны, соответственно, ПО «Компас-3D» [10] и ANSYS [11, 12]. Это объясняется тем, что в настоящее время данные специализированные программные комплексы являются одними из самых востребованных у компаний, осуществляющих разработку и изготовление трубопроводной арматуры, а также предоставляют полный спектр действий и возможностей, необходимых для осуществления поставленных задач.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе выполнения данной работы были созданы предварительные модели всех основных деталей клиновой задвижки: корпуса, стержня корпуса, клина, крышки, шпинделя, бугеля.

Для проектирования моделей был проведен анализ ОСТов, ГОСТов, СТО и другой нормативной документации на трубопроводную арматуру [13–18], на основе которого были выбраны все необходимые размеры деталей. В частности, на первом этапе был выбран присоединительный фланец — тип 21 для корпуса задвижки с уплотнительной поверхностью исполнения Е и F, т.е. «выс-

туп — впадина» с 24 отверстиями диаметром 56 мм для крепления трубопроводных фланцев шпильками М52х270. Форма корпуса, крышки и бугеля определялись исходя из прошлого опыта проектирования клиновых задвижек. Клин задвижки был выбран упругой конструкции.

Были рассмотрены основные элементы интерфейса, приемы, операции при работе в системе «Компас-3D», которые могут использоваться при проектировании элементов клиновой задвижки.

На основании этого для проектирования в системе «Компас-3D» было выбрано несколько основных операций: выдавливание вращением, вырезание вращением, массивы и создание отверстий. При этом при построении объемной твердотельной модели стержня корпуса использовали последовательно операции выдавливание вращением, вырезание, выдавливание и зеркальный массив (рисунок 1).

Процесс создания корпуса клиновой задвижки заключался в применении тех же операций, описанных при создании трехмерной модели стержня, а также применении дополнительной булевой операции, которая позволяет вырезать стержень из корпуса (рисунок 2).

Аналогично были построены модели других деталей клиновой задвижки, представленные на рисунке 3.

Далее в ПО «Компас-3D» создали сборочные единицы элементов задвижки и соединили все основные детали в одну модель с помощью операции сопряжение. Разработанная трёхмерная модель клиновой задвижки в разрезе показана на рисунке 4.

Отличительной особенностью данной модели является то, что ее можно спроектировать в короткие сроки и она является унифицированной, т.е. возможны варианты моделирования с различным присоединением к трубопроводу (фланцевое различного исполнения, на сварке), а также в нее можно внести необходимые изменения по требованию заказчика и изготовить любое количество задвижек.

Далее планируется провести серию расчетов для разработанной модели для различных модификаций конструктивного исполнения по исследованию напряженно-деформированного состояния корпуса задвижки и проверке прочности всех ее элементов в ПО ANSYS для выбора оптимальных параметров, позволяющих увеличить долговечность конструкции,

Рисунок 1. Создание стержня корпуса

Рисунок 2. Создание модели корпуса с вырезом стержня

а)

б)

в)

г)

Рисунок 3. Основные детали клиновой задвижки: бугель (а), клин (б), крышка (в), шпиндель (г)

Рисунок 4. Трехмерная модель клиновой задвижки в разрезе

снизить металлоемкость и осуществить, при необходимости, массовое производство.

Выводы

Показано, что в настоящее время актуальной проблемой с точки зрения импортозамещения и расширения номенклатуры является разработка и изготовление задвижек большого диаметра для трубопроводного транспорта нефти, газа и нефтепродуктов.

Решение данной проблемы предлагается осуществить в два этапа, на первом из которых разрабатывается трехмерная модель клиновой задвижки, а на втором проводятся исследования напряженно-деформированного состояния корпуса и выбор оптимальных параметров задвижки, удовлетворяющих всем требованиям к задвижкам с точки зрения обеспечения прочности, герметичности, большей долговечности и низкой металлоемкости.

В статье приводятся результаты первого этапа, на котором разработана трехмерная модель клиновой задвижки диаметром 800 мм.

Моделирование осуществлялось в ПО «Компас-3D». Описаны принципы выбора формы и геометрических параметров элементов модели клиновой задвижки, а также ос-

новные операции, применяемые при моделировании.

Разработанная методика трехмерного моделирования клиновой задвижки позволяет в

короткие сроки осуществить моделирование и изготовление большого количества задвижек с различными параметрами в соответствии с требованиями заказчика.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьева О.В., Бакулин А.А., Коркунов С.Б. Обзор российского рынка трубопроводной арматуры в 2018 году. Часть 1 // Арматуростроение. 2019. № 3 (120). С. 44–46.
2. Гамзаем Б.А. Состояние и особенности развития трубопроводного транспорта России на современном этапе // Молодой ученый. 2019. Вып. 3 (241). С. 155–159.
3. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура: справ. пособие. Л.: Машиностроение, 1981. 368 с.
4. Перспективы развития трубопроводного транспорта // РБК ТЭК360. URL: <http://tek360.rbc.ru/articles/53> (дата обращения: 11.07.2020).
5. Каталог продукции АО «БАЗ». URL: https://omk.ru/upload/docs/baz/BAZ_Catalog_2019.pdf (дата обращения: 08.07.2020).
6. Мисюля О.Б. Год высокого давления // Вестник арматуростроителя. 2020. Вып. 4 (60). С. 16.
7. Белобородов А.В. Совершенствование методики проектирования запорной арматуры с использованием численных методов: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень: 2005. 148 с.
8. Иванова Е.И. Совершенствование методики прочностного расчета деталей клиновых задвижек с учетом параметров технологического потока: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2008. 115 с.
9. Кольцов В.П., Попова Е.С., Герасимова Е.О. Трубопроводная арматура нового поколения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 9 (56). С. 27–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/truboprovodnaya-armatura-novogo-pokoleniya> (дата обращения: 11.07.2020).
10. Компас-3D. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 23.05.2020).
11. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. М.: ДМК Пресс, 2006. 248 с.
12. Маркова Е.В., Чечуга О.В. Использование программы ANSYS для анализа работоспособности конструкций // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 8–2. С. 206–209. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-programmy-ansys-dlya-analiza-rabotosposobnosti-konstruktsiy> (дата обращения: 11.08.2020).
13. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). М.: Стандартинформ, 1969. 72 с.
14. ГОСТ 24856-2014. Арматура трубопроводная. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014. 78 с.
15. ГОСТ 33259-2015. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования (с Поправками). М.: Стандартинформ, 2015. 108 с.

16. ГОСТ 3706-93. Задвижки. Строительные длины. М.: Стандартинформ, 1993. 10 с.

17. ГОСТ 9698-86. Задвижки. Основные параметры. М.: Стандартинформ, 2005. 7 с.

18. СТ ЦКБА 052-2008. Арматура трубопроводная. Требования к материалам арматуры, применяемой для сероводородсодержащих сред. СПб.: ЗАО НПФ ЦКБА, 2008. 37 с.

REFERENCES

1. Afanaseva O.V., Bakulin A.A., Korkunov S.B. Obzor rossiiskogo rynka truboprovodnoi armatury v 2018 godu. Chast' 1 [Overview of the Russian Market of Pipeline Valves in 2018. Part 1]. *Armaturostroenie — Valve Industry*, 2019, No. 3 (120), pp. 44–46. [in Russian].
2. Gamzaem B.A. Sostoyanie i osobennosti razvitiya truboprovodnogo transporta Rossii na sovremennom etape [State and Features of the Development of Pipeline Transport in Russia at the Present Stage]. *Molodoi uchenyi — Young Scientist*, 2019, Issue 3 (241), pp. 155–159. [in Russian].
3. Gurevich D.F. *Truboprovodnaya armatura: Spravochnoe posobie* [Pipe Fittings: A Reference Guide]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1981. 368 p. [in Russian].
4. *Perspektivy razvitiya truboprovodnogo transporta* [Prospects for the Development of Pipeline Transport]. RBC TEK360. Available at: <http://tek360.rbc.ru/articles/53/> (accessed 11.07.2020). [in Russian].
5. *Katalog produktsii AO «BAZ»* [Product catalog of JSC «BAZ»]. URL: https://omk.ru/upload/docs/baz/BAZ_Catalog_2019.pdf (accessed 08.07.2020). [in Russian].
6. Misyulya O.B. God vysokogo davleniya [High Pressure Year]. *Vestnik armaturostroitel'ya — Valve Manufacturer Newsletter*, 2020, Issue 4 (60), pp. 16. [in Russian].
7. Beloborodov A.V. *Sovershenstvovanie metodiki proektirovaniya zapornoj armatury s ispol'zovaniem chislennykh metodov: dis. kand. tekhn. nauk* [Improving the Methodology for Designing Shut-Off Valves Using Numerical Methods: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Tyumen, 2005. 148 p. [in Russian].
8. Ivanova E.I. *Sovershenstvovanie metodiki prochnostnogo rascheta detalei klinovykh zadvizhek s uchetom parametrov tekhnologicheskogo potoka: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improvement of the Methodology for Strength Calculation of Wedge Gate Valve Parts Taking into Account the Parameters of the Process Flow: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Ufa, UGNTU Publ., 2008. 115 p. [in Russian].
9. Koltsov V.P., Popova E.S., Gerasimova E.O. *Truboprovodnaya armatura novogo pokoleniya* [Pipeline Fittings of a New Generation]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2011. № 9 (56). pp. 27–35. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/truboprovodnaya-armatura-novogo-pokoleniya> (accessed 11.07.2020). [in Russian].
10. Kompas-3D. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (accessed 23.05.2020). [in Russian].

11. Basov K.A. *Graficheskii interfeis kompleksa ANSYS* [ANSYS Graphical Interface]. Moscow, DMK Press Publ., 2006. 248 p. [in Russian].
12. Markova E.V., Chechuga O.V. Ispol'zovanie programmy ANSYS dlya analiza rabotosposobnosti konstrukttsii [Using the Software ANSYS to Analyze the Health of Structures]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki — Izvestiya Tula State University*, 2016, No. 8–2, pp. 206–209. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-programmy-ansys-dlya-analiza-rabotosposobnosti-konstrukttsiy> (accessed 11.08.2020). [in Russian].
13. GOST 15150-69. *Mashiny, pribory i drugie tekhnicheskie izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh raionov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, khraneniya i transportirovaniya v chasti vozdeistviya klimaticheskikh faktorov vneshnei sredy* [State Standard 15150-69. Machines, Instruments and Other Industrial Products. Modifications for Different Climatic Regions. Categories, Operating, Storage and Transportation Conditions as to Environment Climatic Aspects Influence]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 72 p. [in Russian].
14. GOST 24856-2014. *Armatura truboprovodnaya. Terminy i opredeleniya* [State Standard 24856-2014. Pipe-line Valves. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 78 p. [in Russian].
15. GOST 33259-2015. *Flantsy armatury, soedinitel'nykh chastey i truboprovodov na nominal'noe davlenie do PN 250. Konstruktsiya, razmery i obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [State Standard 33259-2015. Flanges for Valves, Fittings and Pipelines for Pressure to PN 250. Design, Dimensions and General Technical Requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 108 p. [in Russian].
16. GOST 3706-93. *Zadvizhki. Stroitel'nye dliny* [State Standard 3706-93. Gate Valves. End-to-End Lengths]. Moscow, Standartinform Publ., 1993. 10 p. [in Russian].
17. GOST 9698-86. *Zadvizhki. Osnovnye parametry* [State Standard 9698-86. Gate Valves. Main Parameters]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 7 p. [in Russian].
18. ST TsKBA 052-2008. *Armatura truboprovodnaya. Trebovaniya k materialam armatury, primenyaemoy dlya serovodorodsoderzhashchikh sred* [ST TsKBA 052-2008. Pipe Fittings. Requirements for Materials of Fittings Used for Hydrogen Sulfide-Containing Environments]. Saint Petersburg, ZAO NPF TsKBA Publ., 2008. 37 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Лопатин Иван Александрович, магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ; специалист по техническому развитию, АО «Благовещенский арматурный завод», г. Уфа, Российская Федерация

Ivan A. Lopatin, Undergraduate Student of Process Machinery and Equipment Department, USPTU; Specialist for Technical Development, Blagoveshchensk Valve Plant JSC, Ufa, Russian Federation

e-mail: vanya.lopatin95@gmail.com

Бикмухаметова Марина Александровна, канд. эконом. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Marina A. Bikmukhametova, Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor of Process Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: maribik@mail.ru

Тукаева Римма Борисовна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rimma B. Tukaeva, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Process Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: tukaeva_rb@mail.ru