

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЁТОВ ДИСКОВЫХ ЗАТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION И SOLIDWORKS SIMULATION

¹Национальный горный университет, г. Днепр

В статье рассмотрена методика поверочных расчётов регулирующих дисковых затворов. На примере затвора ДХО DN 400 PN 2,5 показана разработка расчётных моделей для исследования работы затвора с помощью пакетов SolidWorks Flow Simulation и SolidWorks Simulation. Полученные модели использованы для исследования гидродинамического воздействия потока на прочность затвора.

ВСТУПЛЕНИЕ

Одним из наиболее распространённых видов трубопроводной арматуры является дисковый затвор. Его особенность состоит в том, что рабочий орган имеет форму диска. Диск вращается вокруг оси, перпендикулярной направлению потока рабочей среды либо расположенной под углом к нему. Дисковый затвор может выполнять как запорную, так и регулирующую функцию. Оптимальным является применение дисковых затворов для трубопроводов больших диаметров при малом давлении рабочей среды и пониженных требованиях к герметичности запорного органа [1, 2].

В настоящее время обоснование параметров и поверочные расчёты дисковых затворов производятся по инженерным методикам [3]. Однако традиционный подход ограничивает поиск конструкции, обладающей заданной прочностью и жёсткостью при минимальных массовых характеристиках. В связи с развитием компьютерных технологий моделирования и анализа появилась возможность уточнять параметры конструкций данного типа. Таким образом, разработка научно обоснованной методики поверочных расчётов дискового затвора на основе современных методов компьютерного моделирования является актуальной научной задачей.

В качестве методов исследования использованы: для геометрического моделирования – программный комплекс SolidWorks, для моделирования гидродинамических процессов – модуль SolidWorks Flow Simulation (далее – Flow Simulation), для моделирования напряжённо-деформированного состояния затвора – модуль SolidWorks Simulation (далее – Simulation). Данная комбинация программных продуктов выбрана ввиду высокого уровня их интеграции (в SolidWorks создаётся параметрическая модель, затем она используется для расчёта во Flow Simulation, полученные кинематические и динамические параметры потока жидкости передаются в Simulation для изучения напряжённо-деформированного состояния конструкции).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве примера дискового затвора рассмотрена модель ДХО DN 400 PN 2,5 [4,5]. Данный затвор относится к регулирующей арматуре. Рабочей средой для него является коксовый газ с температурой не более 100 °С при номинальном давлении 0,25 МПа (2,5 атм). Гидравлические испытания проводятся при давлении рабочей среды 0,375 МПа (3,75 атм). Отличительной чертой рассматриваемого затвора является наличие МЭОФ (механизма электрического однооборотного фланцевого).

Анализ конструкции (рис. 1) показал, что в закрытом положении диск 1 упирается в корпус, отсекая поток, а в частично открытом положении поток проходит сквозь затвор. Цилиндрическая часть корпуса делится на входной патрубком 2 и выходной патрубком 3. В полностью открытом положении диск сдерживается от дополнительного поворота воздействием МЭОФ 4. Диск и корпус нагружены давлением потока. Диск укреплен рёбрами жёсткости 5 (12 шт.), приваренными к диску и дисковой трубе 6. Корпус прикреплен к магистрали 7 посредством фланцев 8. Вращающий момент передаётся с МЭОФ на вал 9. Вал и дисковую трубу скрепляет болтовое соединение 10. Из анализа работы конструкции следует, что при регулировании потока газа или жидкости нагрузку воспринимают диск и вал, однако определить величину этих нагрузок с помощью методов гидравлики затруднительно в силу сложности воздействий, которые их вызывают.

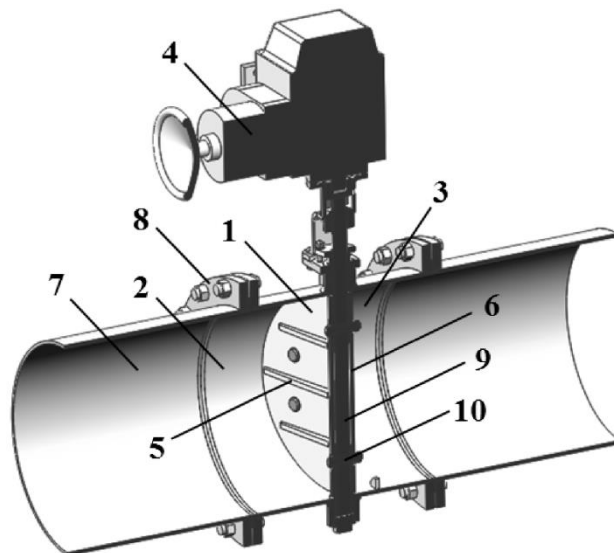


Рисунок 1 – Затвор ДХО DN 400 PN 2,5 в соединении с магистралью:

1 – диск; 2 – входной патрубок; 3 – выходной патрубок; 4 – МЭОФ; 5 – рёбра жёсткости; 6 – дисковая труба; 7 – магистраль; 8 – фланцы; 9 – вал; 10 – болтовое соединение

В закрытом положении затвора угол между плоскостью диска и плоскостью, перпендикулярной оси магистрали, составляет 15° (рис. 2, а). В полностью открытом положении данный угол составляет 90° (рис. 2, б). В дальнейшем будем называть этот угол углом поворота диска.

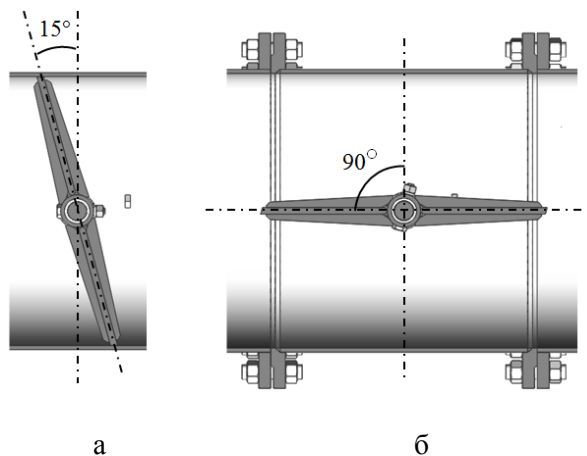


Рисунок 2 – Положение диска относительно корпуса:
а – при угле поворота 15° ; б – при угле поворота 90°

Расчётная модель для закрытого положения затвора (модель «Закрытая») отличается от расчётной модели для частично открытого положения затвора (модель «Частично открытая»). Поскольку в первом случае движение потока отсутствует, отпадает необходимость расчёта во Flow Simulation. Качественное отличие состоит также в том, что в закрытом положении боковые грани диска непосредственно контактируют с корпусом. Данный факт изменяет распределение нагрузок на конструкцию и влияет на задание направления потока. В конструкторской документации к затвору указано, что направление потока рабочей среды может быть любым. Анализ конструкции в закрытом положении показал, что рациональным является направление, проиллюстрированное на рис. 3 (обозначено прямой стрелкой). Конструктивные особенности диска позволяют ему вращаться лишь в одном направлении (на рис. 3 показано дугообразной стрелкой). При этом направление потока должно быть таким, чтобы в закрытом положении диск был прижат к корпусу потоком. В противном

случае для удержания диска в закрытом положении придётся постоянно держать включённым МЭОФ, что нецелесообразно с экономической точки зрения.

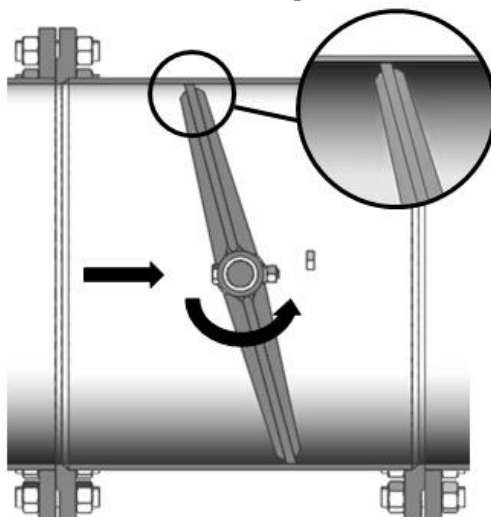


Рисунок 3 – Определение направления потока

Для создания расчётной модели «Частично открытая» из твердотельной сборки затвора устранены все узлы и детали, не являющиеся принципиально важными для расчёта во Flow Simulation и Simulation. Расчётной областью Flow Simulation является замкнутый объём, образованный гранями геометрической модели и заполненный жидкостью. Поэтому на входе и выходе корпуса поставлены заглушки – имитация твёрдых тел, созданная инструментарием Flow Simulation для формирования замкнутого объёма [6].

Тестирование модели во Flow Simulation осуществлено при следующих граничных условиях: давление на входе 0,375 МПа и атмосферное давление на выходе. Произведена серия итераций для различных углов поворота диска.

Тестирование продемонстрировало возникновение обратного потока в выходном патрубке корпуса (на рис. 4 приведена иллюстрация для угла поворота диска 30°).

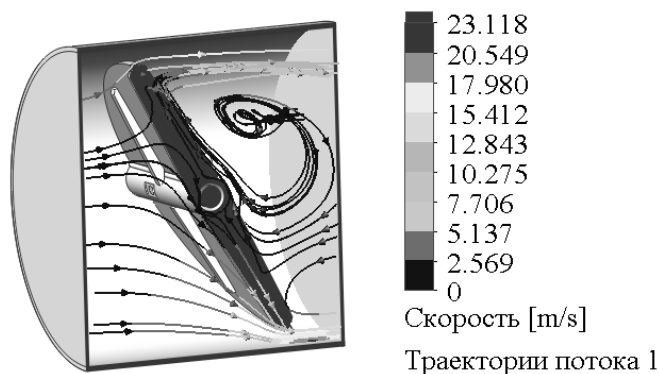


Рисунок 4 – Возникновение обратного потока во Flow Simulation

Анализ конструкции показал, что причиной является малая длина патрубков. В реальности обратный поток в корпусе не возникает, поскольку патрубки присоединены к магистрали. Экспериментальным путём было установлено, что для моделирования реальных условий работы целесообразно удлинить входной патрубков с 200 мм до 500 мм, а выходной – с 200 мм до 2500 мм. В таком случае обратный поток при расчёте во Flow Simulation не возникает и результат решения – распределение линий тока жидкости – отвечает физическому смыслу (рис. 5).

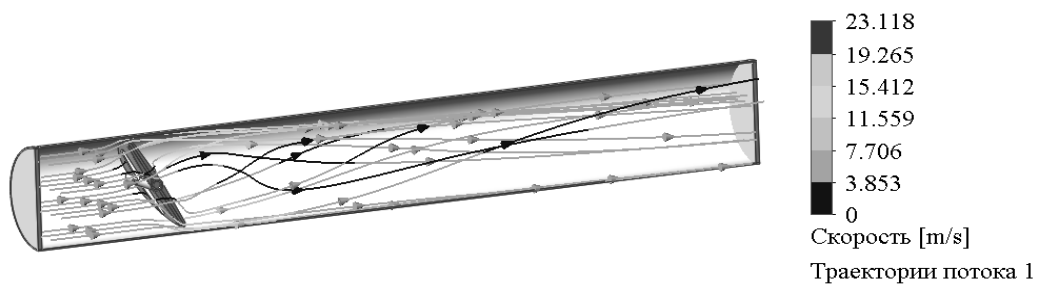


Рисунок 5 – Распределение линий тока жидкости при угле поворота диска 30°

Результаты расчёта во Flow Simulation экспортированы в Simulation и использованы для изучения напряжённо-деформированного состояния затвора. Поскольку характер нагрузки на диск и корпус не меняется во времени, выбран тип исследования «Статический анализ». Заглушки для Flow Simulation исключены из расчёта (погашены).

Граничные условия выбраны из следующих соображений.

Верхний участок вала сообщается с МЭОФ. Повернув вал на определённый угол, МЭОФ фиксирует его в заданном положении и препятствует дальнейшему вращению. На вал воздействует давление потока, стремящееся сдвинуть его в горизонтальном направлении. Однако вал упирается в корпус, препятствующий сдвигению. При этом ничто не удерживает вал от вертикального перемещения. Следовательно, необходимо запретить вращение и горизонтальное перемещение верхнего участка вала, разрешив его вертикальное перемещение.

Нижний участок вала также не может перемещаться горизонтально, т. к. этому препятствует корпус. Вертикальное перемещение низа вала исключено из-за особенностей взаимного расположения деталей. Однако ничто не мешает нижнему участку вала вращаться (МЭОФ накладывает подобный запрет только на верх вала, с которым он связан). Следовательно, необходимо запретить вертикальное и горизонтальное перемещение нижнего участка вала, при этом разрешив его вращение.

Требуемые ограничения реализованы с помощью соединения Simulation «Штифт», позволяющего запрещать вращение и/или перемещение вала в различных направлениях [7]. Данное соединение применено к следующим деталям:

- 1) верхний участок вала и корпус: тип соединения «С ключом»;
- 2) нижний участок вала и корпус: тип соединения «С удерживающим кольцом».

Из зоны действия соединения «Штифт» необходимо устранить глобальный контакт «Связанные», который Simulation по умолчанию применяет к соприкасающимся поверхностям. С этой целью в модели создан зазор между внешней поверхностью вала и гранью, образованной отверстием в корпусе. Для обеспечения замкнутости объёма, необходимой для Flow Simulation, зазор закрыт созданной в SolidWorks твердотельной накладкой.

Рассмотрим задание граничных условий для корпуса. Корпус с двух сторон присоединён к трубопроводу посредством фланцев. Поскольку магистраль обладает конечной жёсткостью, она допускает незначительные перемещения корпусных узлов в осевом направлении. По этой причине сила реакции в корпусе меньше, чем при полностью жёстком закреплении. Для моделирования этих условий на торцы корпуса заданы следующие крепления:

- 1) на левый торец – крепление «Зафиксированный» (жёсткая заделка);
- 2) на правый торец – крепление «На плоских гранях» (запрет тангенциальных перемещений в плоскости фланца).

Болтовые соединения заменены телами цилиндрической формы для уменьшения ресурсоёмкости вычислений. В наборах контактов Simulation задана опция «Связанные» для рёбер и диска (для лучшего распознавания программой их контакта).

Для расчёта в Simulation необходимо подобрать оптимальные параметры сетки. С одной стороны, сетка должна быть достаточно точной для обеспечения достоверных результатов. Показателем достоверности при расчёте методом конечных элементов служит отсутствие резких цветовых переходов между соседними элементами сетки. С другой стороны, чрезмерно высокая точность расчёта может не понадобиться для данной конструкции, однако потребует много вычислительной мощности. Экспериментальным путём было выяснено, что оптимальной для данной

модели является сетка на основе кривизны с максимальным размером элемента 40 мм и числом точек Якобиана 4 [7].

Полученная модель «Частично открытая» использована для создания расчётной модели «Закрытая». При задании граничных условий учтён тот факт, что в закрытом положении боковые грани диска упираются в корпус. Чтобы Simulation гарантированно распознал этот контакт, в разделе «Соединения» заданы наборы контактов «Набор соприкосновения (связанные)». Поскольку движение потока отсутствует, отпадает необходимость расчёта во Flow Simulation. Следовательно, нет надобности и в удлинении патрубков корпуса. Давление потока на диск задано в Simulation.

Экспериментальным путём было установлено, что параметры сетки для модели «Частично открытая» являются оптимальными и для модели «Закрытая». Таким образом, для модели «Закрытая» применена сетка на основе кривизны с максимальным размером элемента 40 мм и числом точек Якобиана 4.

Полученные расчётные модели использованы для проведения серии итераций, исследующих напряжённо-деформированное состояние затвора при различных углах поворота диска, составляющих 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. Угол 15° соответствует закрытому положению затвора, поэтому для расчёта использована модель «Закрытая». Для остальных случаев использована модель «Частично открытая».

Расчёт в Simulation модели «Закрытая» показал картину распределения давления в затворе (рис. 6). Для наглядности результаты приведены с использованием опции SolidWorks «Деформированная форма» (коэффициент деформации – 250). Модель показана упрощённо.

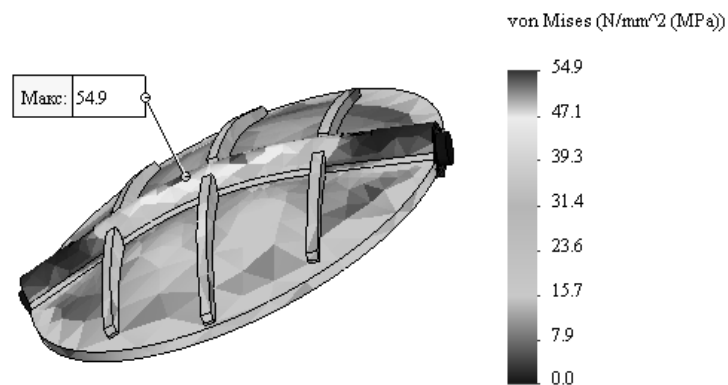


Рисунок 6 – Напряжённо-деформированное состояние диска в закрытом положении

Из рис. 6 следует, что максимальная интенсивность напряжения в закрытом положении приходится на дисковую трубу. Характер деформации даёт понять, что дисковая труба работает на изгиб.

Осуществлён расчёт в Simulation модели «Частично открытая» для разных углов поворота диска. В качестве примера на рис. 7 приведён результат расчёта для угла 75°.

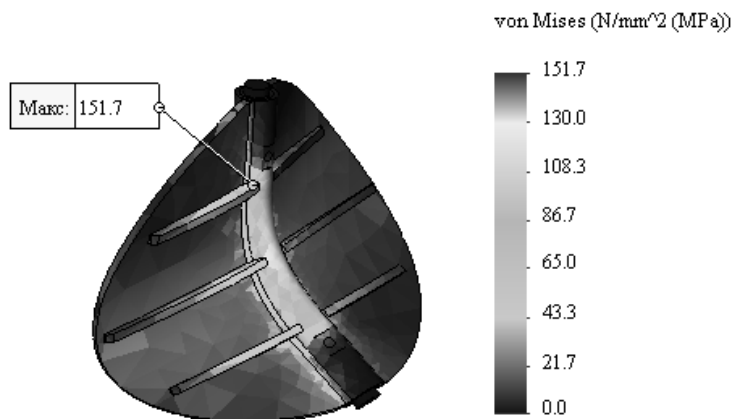


Рисунок 7 – Напряжённо-деформированное состояние затвора при повороте диска на 75°

Расчёт показал, что при всех углах поворота диска, кроме 90° , максимум напряжения приходится либо на дисковую трубу, либо на рёбра жёсткости диска. При полностью открытом положении максимум наблюдается на боковой грани диска, однако он крайне незначителен и связан со спецификой взаимодействия потока с диском в рассматриваемой позиции. Следовательно, при проверке прочности затвора данным случаем можно пренебречь.

Для обобщения полученных результатов целесообразно ввести коэффициент динамичности напряжения K_d . Данный коэффициент вычисляется как отношение напряжения при некотором угле поворота диска к напряжению в том же участке конструкции при закрытом положении затвора. Зависимость коэффициента динамичности от угла поворота диска проиллюстрирована рис. 8.

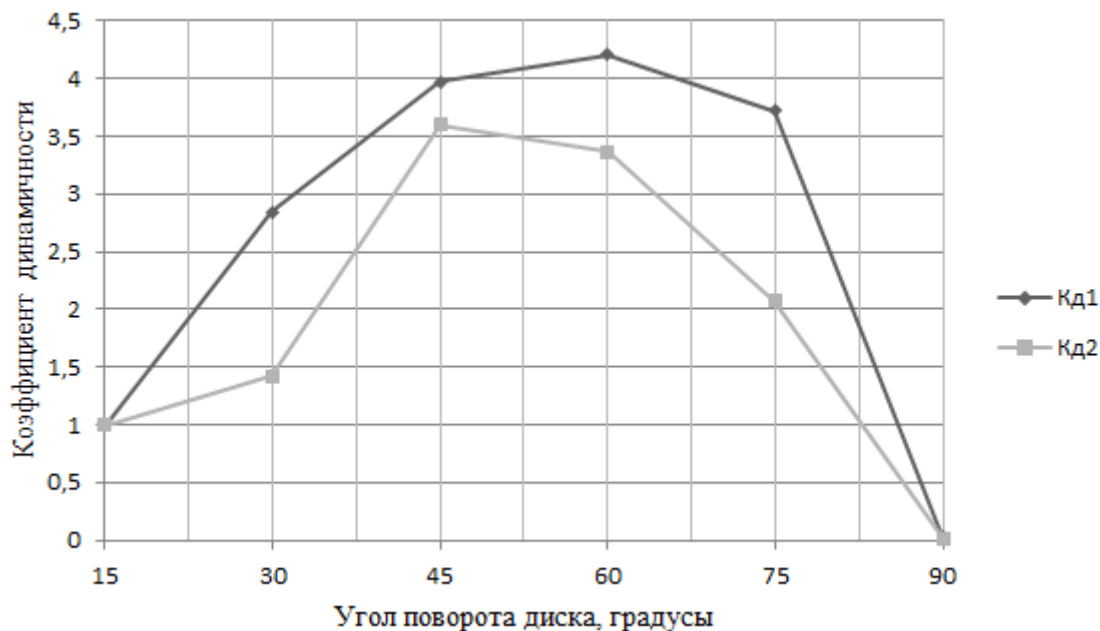


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента динамичности напряжения в рёбрах ($K_{д1}$) и дисковой трубе ($K_{д2}$) от угла поворота диска

Рис. 8 демонстрирует, что и дисковая труба, и диск работают на изгиб. При этом дисковой трубе мешают прогибаться диски, которые увеличивают её жёсткость. Изгибная жёсткость диска остаётся постоянной. Изгибная жёсткость дисковой трубы включает в себя как её собственную изгибную жёсткость, так и изгибную жёсткость диска и зависит от угла между плоскостью изгиба дисковой трубы и плоскостью изгиба диска. Этот угол, в свою очередь, зависит от угла поворота диска. Как следствие, максимумы кривых не совпадают.

Для поверочного расчёта затвора необходимо сравнить максимальное напряжение с допускаемым напряжением для данных условий. Также необходимо осуществить расчёт вала на срез. Для этого в Simulation определяется сила реакции заделки в жёстко закреплённом фланце [7]. Дальнейший расчёт осуществляется методами сопротивления материалов [8].

ВЫВОДЫ

1. Впервые предложена методика поверочных расчётов регулирующих дисковых затворов с использованием созданной в SolidWorks параметрической модели и передачей результатов расчёта в пакеты SolidWorks Flow Simulation и SolidWorks Simulation.
2. Разработаны расчётные модели для определения давления потока на затвор и исследования его напряжённо-деформированного состояния.
3. Установлена зависимость коэффициента динамичности напряжений от угла поворота диска.
4. Полученная методика может быть использована при разработке методов определения оптимальных конструкций дисковых затворов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич Д. Ф. Трубопроводная арматура : справочное пособие / Д. Ф. Гуревич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981. – 368 с. : ил.
2. Гошко А. И. Арматура трубопроводная целевого назначения : в 3 кн. Кн. 1. Выбор, эксплуатация, ремонт / А. И. Гошко. – М. : Машиностроение, 2003. – 432 с.
3. Гуревич Д. Ф. Расчёт и конструирование трубопроводной арматуры : Расчёт трубопроводной арматуры / Д. Ф. Гуревич. – 5-е изд. – М. : ЛКИ, 2008. – 480 с. – (Классика инженерной мысли: нефтяные технологии).
4. Трубопроводная арматура : Номенклатурный каталог-справочник : в 4 т. Т. 1. Краны. Указатели уровня. Затворы дисковые поворотные / под общ. ред. Ю. Д. Логанова. – М. : Алекс : Бизнесполиграфия, 2006. – 615 с.
5. Трубопроводная арматура с автоматическим управлением : справочник / [Д. Ф. Гуревич, О. Н. Заринский, С. И. Косых и др.] ; под общ. ред. С. И. Косых. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 320 с. : ил.
6. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / [А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарёв]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с. : ил. + DVD – (Мастер).
7. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 562 с.
8. Стёпин П. А. Сопrotivление материалов : учебник / П. А. Стёпин. – 12-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2012. – 320 с. : ил.

REFERENCES

1. Gurevich D. F. Truboprovodnaya armatura : Spravochnoe posobie / D. F. Gurevich. – 2-e izd., pererab. i dop. – L. : Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1981. – 368 s. : il.
2. Goshko A. I. Armatura truboprovodnaya celevogo naznacheniya : v 3 kn. Kn. 1. Vybor, ekspluatatsiya, remont / A. I. Goshko. – M. : Mashinostroenie, 2003. – 432 s.
3. Gurevich D. F. Raschyot i konstruirovaniye truboprovodnoy armatury : Raschyot truboprovodnoy armatury / D. F. Gurevich. – Izd. 5-e. – M. : Izdatel'stvo LKI, 2008. – 480 s. – (Klassika inzhenernoj mysli: neftyanye tekhnologii).
4. Truboprovodnaya armatura : Nomenklaturnyy katalog-spravochnik. V 4 t. T. 1. Kranyy. Ukazateli urovnya. Zatvory diskovyye povorotnyye / [Pod obshh. red. Yu. D. Loganova]. – M. : Aleks : Biznespoligrafiya, 2006. – 615 s.
5. Truboprovodnaya armatura s avtomaticheskim upravleniem : Spravochnik / [D. F. Gurevich, O. N. Zarinskij, S. I. Kosyx i dr.] ; pod obshh. red. S. I. Kosyx. – L. : Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1982. – 320 s. : il.
6. Alyamovskij A. A. SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike / [A. A. Alyamovskij, A. A. Sobachkin, E. V. Odinczov, A. I. Haritonovich, N. B. Ponomaryov]. – SPb. : BHV-Peterburg, 2008. – 1040 s. : il. DVD – (Master).
7. Alyamovskij A. A. SolidWorks Simulation. Inzhenernyy analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendacii / A. A. Alyamovskij. – M. : DMK Press, 2015. – 562 s.
8. Styopin P. A. Soprotivlenie materialov : Uchebnik / P. A. Styopin – 12-e izd., ster. – SPb. : Lan'. 2012. – 320 s. : il.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПОВІРОЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ДИСКОВИХ ЗАТВОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТІВ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION I SOLIDWORKS SIMULATION

¹Національний гірничий університет, м. Дніпро

Об'єкт дослідження – регулювальний дисковий затвор ДХВ DN 400 PN 2,5.

Мета роботи – розробка методики повірочних розрахунків регулювальних дискових затворів з використанням комп'ютерних технологій моделювання та аналізу.

На прикладі затвора ДХВ DN 400 PN 2,5 обґрунтовано методику повірочних розрахунків регулювальних дискових затворів. Розроблено розрахункові моделі для встановлення тиску потоку на затвор в SolidWorks Flow Simulation і напружено-деформованого стану затвора в SolidWorks Simulation. Проведено серію розрахунків для різних положень дискового регулювального органу. Проаналізовано залежність коефіцієнта динамічності напружень від кута повороту диска. Показано, що значний вплив на напружено-деформований стан конструкції чинить гідродинамічна дія потоку.

Практичне значення отриманої методики полягає в полегшенні пошуку раціональної конструкції затвора серед масиву можливих варіантів конструкції.

Ключові слова: дисковий затвор, повірочний розрахунок, розрахункова модель, зворотний потік, напруга, коефіцієнт динамічності, solidworks.

Заболотний Костянтин Сергійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гірничих машин та інжинірингу, Національний гірничий університет, , e-mail: mmf@ua.fm

Жупієв Олександр Леонідович, старший викладач кафедри гірничих машин та інжинірингу, Національний гірничий університет, e-mail: alexzh@ua.fm

Косенко Юлія Олександрівна, студентка механіко-машинобудівного факультету, Національний гірничий університет, e-mail: jkoss@meta.ua

K. Zabolotnyi¹, O. Zhupiiiev¹, Yu. Kosenko¹

ELABORATION OF THE METHODS OF VERIFICATION CALCULATIONS OF THE BUTTERFLY VALVES WITH THE USE OF THE PACKAGES SOLIDWORKS FLOW SIMULATION AND SOLIDWORKS SIMULATION

¹National Mining University, Dnipro

The object of research is a regulating butterfly valve TCS DN 400 PN 2,5.

The purpose of the work is elaboration of the methods of verification calculations of the regulating butterfly valves using the computer technologies of modeling and analysis.

The methods of verification calculations of the regulating butterfly valve are grounded by the example of the butterfly valve TCS DN 400 PN 2,5. The calculation models for defining pressure of the flow on the valve in SolidWorks Flow Simulation and stress-strain state of the valve in SolidWorks Simulation are elaborated. A series of calculations for different positions of the disk closing mechanism is made. Dependence of the coefficient of stress dynamism on valve rotation angle is analyzed. It is shown that hydrodynamic impact of the flow makes significant influence on the stress-strain state of the construction.

Practical importance of the received methods lies in facilitation of the search of the rational valve construction among the massif of the possible variants of the construction.

Key words: butterfly valve, verification calculation, calculation model, return flow, stress, coefficient of stress dynamism, solidworks.

Zabolotnyi Kostiantyn, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief of the Department of Mining Machines and Engineering, National Mining University, e-mail: mmf@ua.fm

Zhupiiiev Oleksandr, Senior lecturer of the mining machines department, State Higher Educational Institution “National mining university”, e-mail: alexzh@ua.fm

Kosenko Yuliia, student of the Faculty of Mechanical Engineering, National Mining University, e-mail: jkoss@meta.ua

К. С. Заболотный¹, А. Л. Жупиев¹, Ю. А. Косенко¹

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЁТОВ ДИСКОВЫХ ЗАТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТОВ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION И SOLIDWORKS SIMULATION

¹Национальный горный университет, г. Днепр

Объект исследования – регулирующий дисковый затвор ДХО DN 400 PN 2,5.

Цель работы – разработка методики поверочных расчётов регулирующих дисковых затворов с использованием компьютерных технологий моделирования и анализа.

На примере затвора ДХО DN 400 PN 2,5 обоснована методика поверочных расчётов регулирующих дисковых затворов. Разработаны расчётные модели для установления давления потока на затвор в SolidWorks Flow Simulation и напряжённно-деформированного состояния затвора в SolidWorks Simulation. Произведена серия расчётов для различных положений дискового регулирующего органа. Проанализирована зависимость коэффициента динамичности напряжений от угла поворота диска. Показано, что значительное влияние на напряжённно-деформированное состояние конструкции оказывает гидродинамическое воздействие потока.

Практическое значение полученной методики заключается в облегчении поиска рациональной конструкции затвора среди массива возможных вариантов конструкции.

Ключевые слова: дисковый затвор, поверочный расчёт, расчётная модель, обратный поток, напряжение, коэффициент динамичности, solidworks.

Заболотный Константин Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горных машин и инжиниринга, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», e-mail: mmf@ua.fm

Жупиев Александр Леонидович, старший преподаватель кафедры горных машин и инжиниринга, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», e-mail: alexzh@ua.fm

Косенко Юлия Александровна, студентка механико-машиностроительного факультета, Национальный горный университет, e-mail: jkoss@meta.ua