

О влиянии профиля обратного клапана на динамические характеристики исполнительного устройства

© С.Н. Прудников

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

В пневматических и гидравлических исполнительных устройствах с большими диаметрами условного прохода и значительными перепадами давления на валу регулирующих органов возникают неуравновешенные усилия и крутящие моменты, что приводит к необходимости использования приводов с увеличенной мощностью. При применении мембранных исполнительных механизмов для улучшения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик, а также коэффициента качества системы автоматического регулирования необходимо значительно снижать неуравновешенные усилия и моменты на валу дроссельных заслонок и поворотных клапанов, при этом целесообразно использовать профилированные регулирующие органы. Приведены результаты экспериментальных исследований профилированных дисков на аэродинамических стендах, моментные характеристики, позволяющие применять пневматические и гидравлические приводы со значительно уменьшенной мощностью, а также практические рекомендации по профилированию дисков дроссельных заслонок и обратных клапанов поворотного типа.

Ключевые слова: *крутящий момент, динамические характеристики, пневматический и гидравлический приводы, гидравлическое сопротивление.*

Регулирующие органы поворотного типа широко используются в различных отраслях промышленности: химической, нефтеперерабатывающей, в криогенном и вакуумном машиностроении [1–3] в качестве элементов систем автоматического регулирования и дистанционного управления [4, 5]. Такие регулирующие органы применяются в трубопроводах с диаметром условного прохода $D_y = 100 \dots 1000$ мм и могут работать в диапазоне значений давления 0,06...2,5 МПа. В качестве приводов для регулирующих органов поворотного типа используют мембранные или поршневые исполнительные механизмы [6–8] (рис. 1).

В ряде систем (системы перепуска газа в регенераторах и др.) регулирующие органы поворотного типа не связаны с каким-либо приводом и обеспечивают не только регулирование потока, в основном они играют роль обратных клапанов. При этом из-за смены направления прямых и обратных потоков газа, а также перепадов давления эти регулирующие органы не всегда могут своевременно открываться влестствие своей неуравновешенности в потоке и могут зависать (занимать промежуточное положение), что приводит к появлению

значительных гидравлических сопротивлений и большим потерям мощности.

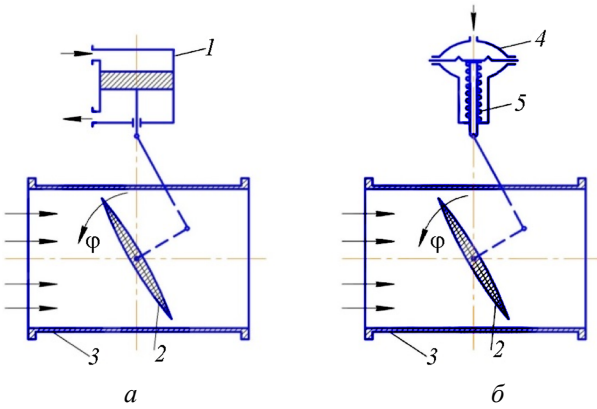


Рис. 1. Поршневое (а) и мембранное (б) исполнительные устройства:

1 — пневмопривод двойного действия; 2 — регулирующая дроссельная заслонка;
3 — трубопровод; 4 — мембранный механизм; 5 — пружина

Устранить данные недостатки можно только за счет применения профилированных регулирующих органов, которые позволяют также получить необходимые моментные и гидравлические характеристики. Как известно, одним из способов получения моментной характеристики регулирующего органа является его профилирование.

При обтекании потоком плоской регулирующей дроссельной заслонки (рис. 2, 3) противодействующий крутящий момент определяется кривой $M = f(\varphi)$, а максимальный крутящий момент от угла поворота заслонки, кг·м, может быть определен по следующей зависимости [9]:

$$M_{\max} = 0,0654D^3 p, \quad (1)$$

где D — диаметр заслонки, м; Δp — перепад давления, мм вод. ст.

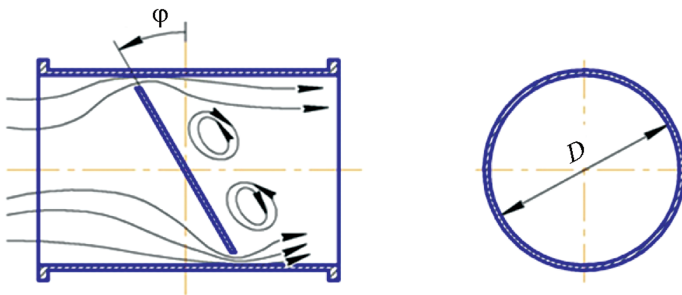


Рис. 2. Картина обтекания потоком плоской регулирующей заслонки:
 φ — угол поворота заслонки от положения полного закрытия; D — диаметр заслонки

Результаты проведенных ранее исследований показали, что путем профилирования и использования вогнуто-выпуклых профилей заслонок максимальный гидродинамический крутящий момент может быть уменьшен в 18 — 20 раз при использовании заслонок без несущей втулки в прямоугольном трубопроводе и в 3,0 — 3,5 раза в заслонках с несущей втулкой в трубопроводе круглой формы.

Эффект увеличения или уменьшения гидродинамического крутящего момента за счет профилирования регулирующего или перекрывающего органа можно применить и в поворотных обратных клапанах. При работе обратного клапана (рис. 4) происходит взаимодействие газовых (гидродинамических) сил и сил тяжести подвижных частей. Схема обратного клапана со сферическим диском представлена на рис. 4, а. Обратный клапан поворачивается (открывается) при действии на диск газодинамических сил со стороны потока газа (жидкости). При этом необходимо, чтобы момент действия газодинамических сил M_T преодолел момент сопротивления M_c , возникающий от действия силы тяжести подвижных частей M_G и сил трения в опорах $M_{тр}$.

Обратный клапан закрывается, когда момент M_G превышает суммарный момент M_T и $M_{тр}$. При отсутствии потока клапан закрывается в результате действия момента силы тяжести диска (см. рис. 4).

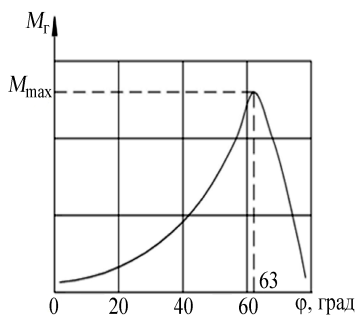


Рис. 3. Моментная характеристика плоской дроссельной заслонки (зависимость крутящего момента на валу заслонки от угла ее поворота)

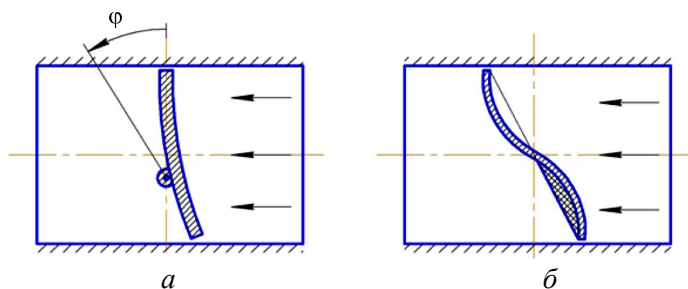


Рис. 4. Поворотные обратные клапаны:

а — со сферическим диском; б — с диском вогнуто-выпуклой формы с утяжеленной нижней частью

При использовании обратных клапанов в воздухоразделительных установках для достижения заданного угла открытия φ_{\max} , значение которого выбирается близким к 90° , необходимо максимально увеличивать напор (гидродинамическое давление) на верхнюю активную

часть профиля клапана. Для таких клапанов характерно «зависание» на промежуточных углах открытия, что приводит к резкому повышению коэффициента сопротивления ζ и износу опор, так как при этом наблюдаются постоянные колебания диска.

Для надежной работы установки разделения воздуха целесообразно использовать обратные клапаны на диаметр условного прохода от $D_y = 200 \dots 800$ мм, применяя при этом диски вогнуто-выпуклой формы (рис. 4, б). На верхнюю вогнутую часть профиля будет действовать больший газодинамический импульс P , и крутящий момент будет значительно увеличиваться, что позволит клапану достичь заданного максимального угла открытия (см. рис. 4, б). Для высокоскоростных жидкостных систем высокого давления применяют клапаны с утяжеленной нижней частью для обеспечения закрытия при отсутствии потока жидкости (см. рис. 4, б).

Продувка обратных клапанов на газодинамическом стенде подтвердила возможность получения увеличенного гидродинамического крутящего момента у дисков с вогнутой верхней частью профиля (рис. 5, б).

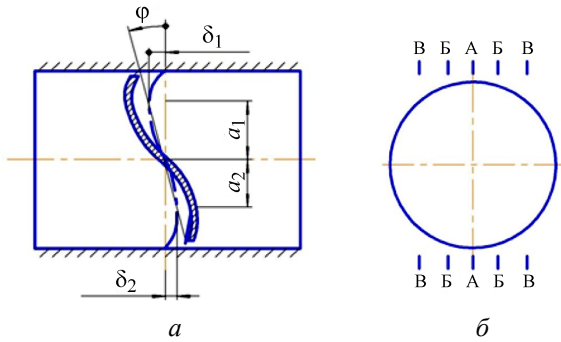


Рис. 5. Формы геометрии диска

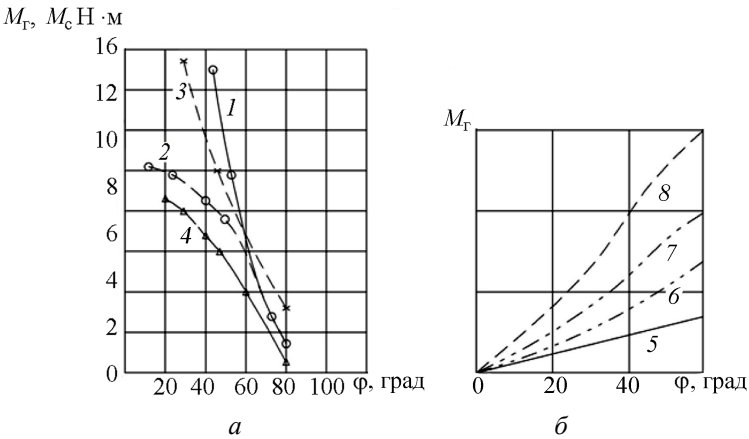


Рис. 6. Зависимости M_T и $M_c(a)$ и $M_T(b)$ от угла поворота ϕ для различных профилей диска:

$1(M_T)$, $2(M_c)$, $5(M_T)$ — сферический диск; $3(M_T)$, $4(M_c)$ — диск вогнуто-выпуклого профиля; $6 - 8$ — диск вогнуто-выпуклого профиля при различных геометрических соотношениях параметров δ_1 , δ_2 , a_1 , a_2

Варьируя геометрией такого профиля, а именно, изменяя прогибы δ_1 и δ_2 с учетом этих же пропорций в сечениях $A-A$, $B-B$, $V-V$, а также параметры a_1 и a_2 , можно получать необходимые моментные характеристики (см. кривые на рис. 6, б). Форма клапанов (δ_1 , δ_2 , a_1 , a_2) зависит от конкретных условий работы: диаметра трубопроводов и напорных характеристик систем.

Таким образом, специально спрофилированные диски обратных клапанов позволяют повысить моментные коэффициенты в диапазоне углов открытия $\varphi = 60 \dots 85^\circ$ в 1,5 — 2 раза, что обеспечивает их надежную работу — открытие при принятых скоростях потока в трубопроводах установок разделения воздуха [10, 11].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Романенко Н.Т., Куликов Ю.Ф. *Криогенная арматура*. Москва, Машиностроение, 1998, 110 с.
- [2] Беляков В.П. *Криогенная техника и технология*. Москва, Энергоиздат, 1982, 272 с.
- [3] Демихов К.Е., Панфилов Ю.В., Никулин Н.К. *Вакуумная техника. Справочник*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва, Машиностроение, 2009, 590 с.
- [4] Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. *Сб. науч. тр. Междунар. симп. по измерительным информационным системам*. Казань, 5 — 7 декабря. Москва, Краус, 2006, с.152–159.
- [5] Пупков К.А., Егупов Н.Д., ред. *Нестационарные системы автоматического управления*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, 632 с.
- [6] Попов Д.Н., ред. *Гидромеханика*. 3-е изд., испр. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 317 с.
- [7] Наземцев А.С. *Гидравлические и пневматические системы. Ч. 1: Пневматические приводы и средства автоматизации*. Москва, Форум, 2004, 240 с.
- [8] Наземцев А.С. *Гидравлические и пневматические системы. Ч. 2: Пневматические приводы и системы. Основы*. Москва, Форум, 2007, 250 с.
- [9] Макаров А.Н., Шерман Я.Я. *Расчет дроссельных устройств*. Москва, Металлургия, 1953.
- [10] Наземцев А.С. *Пневматические и гидравлические приводы и системы*. Омск, Изд-во ОмГТУ, 2008, 88 с.
- [11] Никитин О.Ф. *Гидравлика и гидропневмопривод*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 414 с.

Статья поступила в редакцию 27.07.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Прудников С.Н. О влиянии профиля обратного клапана на динамические характеристики исполнительного устройства. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 8. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/1303.html>

Прудников Сергей Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: пневматические исполнительные устройства систем автоматического регулирования и дистанционного управления.

On the influence of the profile of the check valve on the dynamic characteristics of the actuator

© S.N. Prudnikov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

Unbalanced forces and torques occur in pneumatic and hydraulic actuating devices with large nominal diameters and significant pressure drop on the shaft of regulators. That causes the necessity of using drives with enlarged power. It is necessary to significantly reduce the unbalanced forces and moments on the shaft of the throttle and rotary valves when using membrane actuators to improve the amplitude-frequency and phase response, as well as quality factor of automatic control systems. In the process it is expedient to use profiled regulators. The article presents results of experimental investigation of compacted disks on aerodynamic test bench, torque characteristics, allowing for application of pneumatic and hydraulic actuators with significantly decreased power, as well as practical recommendations on profiling drives of the throttle and check valves of the swing type.

Keywords: torque moment, dynamic characteristics, pneumatic and hydraulic actuators, hydraulic resistance.

REFERENCES

- [1] Romanenko N.T., Kulikov Yu.F. *Kriogennaya apmatura* [Cryogenic fittings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1998, 110 p.
- [2] Belyakov V.P. *Kriogennaya tekhnika i tekhnologiya* [Cryogenic Engineering and Technology]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1982, 272 p.
- [3] Demikhov K.E., Panfilov Yu.V., Nikulin N.K. *Vakuumnaya tekhnika. Spravochnik* [Vacuum Equipment. Handbook]. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009, 590 p.
- [4] Popov D.N. *Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem* [Dynamics and regulation of hydraulic and pneumatic systems]. *Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnogo simpoziuma po izmeritelnyim informatsionnym sistemam* [Collection of scientific papers of the International symposium for measuring information systems], Kazan, 5–7 December, 2006. Moscow, Kraus Publ., 2006, pp. 152–159.
- [5] Pupkov K.A., Egupov N.D., ed. *Nestatsionarnyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya* [Nonstationary automatic control systems]. Moscow, BMSTU Publ., 2007, 632 c.
- [6] Popov D.N., ed. *Gidromekhanika* [Hydromechanics]. 3rd ed., corrected. Moscow, BMSTU Publ., 2014, 317 p.
- [7] Nazemtsev A.S. *Gidravlicheskie i pnevmaticheskie sistemy* [Hydraulic and Pneumatic systems]. *Chast' 1. Pnevmaticheskie privody i sredstva avtomatizatsii* [Part 1. Pneumatic drives and automation means]. Moscow, Forum Publ., 2004, 240 p.
- [8] Nazemtsev A.S. *Gidravlicheskie i pnevmaticheskie sistemy* [Hydraulic and Pneumatic systems]. *Chast' 2. Pnevmaticheskie privody i sistemy. Osnovy* [Part 1. Pneumatic drives and systems. Basic foundation.]. Moscow, Forum Publ., 2007, 250 c.

- [9] Makarov A.N., Sherman Ya.Ya. *Raschet drosselnykh ustroystv* [Calculation of throttling devices]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1953.
- [10] Nazemtsev A.S. *Pnevmaticheskie i gidravlicheskie privody i sistemy* [Pneumatic and hydraulic drives and systems]. Omsk, OmSTU Publ., 2008, 88 p.
- [11] Nikitin O.F. *Gidravlika i gidropnevmoпривод* [Hydraulic and Pneumatic Fluid Power]. Moscow, BMSTU Publ., 2010, 414 p.

Prudnikov S.N., Ph.D., assoc. professor of the Vacuum and Compressor Equipment Department at Bauman Moscow State Technical University.