

# Системный каталог 1

**Электромагнитные клапаны** | Клапаны с пневмоуправлением  
и мембранные клапаны | Пневматика | Датчики | Аналитические клапаны  
Регуляторы расхода газа и пропорциональные клапаны



Разумный выбор систем для управления жидкостями

# Содержание

|   |         |
|---|---------|
| <b>Современные технологии в повседневной жизни</b>  | стр. 6  |
| <b>1. Электромагнитные системы электромагнитных клапанов</b>  | стр. 8  |
| 1.1. Основы   | стр. 8  |
| 1.2. Основные принципы работы электромагнита  | стр. 8  |
| 1.3. Электромагнитные катушки постоянного и переменного тока  | стр. 9  |
| 1.3.1. Электромагнитные катушки постоянного тока  | стр. 9  |
| 1.3.2. Электромагнитные катушки переменного тока  | стр. 10 |
| 1.4. Работа электромагнитов постоянного тока и электромагнитов переменного тока под воздействием подъемной силы | стр. 12 |
| 1.5. Конструкция катушки и саморазогревание   | стр. 13 |
| 1.6. Специальные катушки  | стр. 14 |
| 1.6.1. Электромагнитные катушки повышенной мощности   | стр. 14 |
| 1.6.2. Импульсные катушки   | стр. 14 |
| 1.6.3. Взрывозащищенные катушки   | стр. 15 |
| 1.7. Типы защиты и электрические соединения   | стр. 15 |
| 1.7.1. Класс защиты электрического оборудования   | стр. 15 |
| <b>2. Принципы работы</b>   | стр. 16 |
| 2.1. Символы переключения и их обозначение  | стр. 17 |
| 2.2. Электромагнитные клапаны прямого действия: плунжеры  | стр. 18 |
| 2.2.1. 2/2-ходовые электромагнитные клапаны плунжерного типа  | стр. 18 |
| 2.2.2. 3/2-ходовые электромагнитные клапаны плунжерного типа  | стр. 19 |
| 2.2.3. Электромагнитные клапаны прямого действия: рычажные клапаны  | стр. 20 |
| 2.2.4. Электромагнитные клапаны прямого действия: 3/2-ходовые качельные клапаны                                 | стр. 20 |
| 2.2.5. Характеристики и возможные области применения различных электромагнитных приводов                        | стр. 21 |
| 2.3. Сервоуправляемые электромагнитные клапаны  | стр. 22 |
| 2.3.1. 2/2-ходовые сервоуправляемые мембранные электромагнитные клапаны   | стр. 23 |
| 2.3.2. Сервоуправляемые поршневые электромагнитные клапаны  | стр. 24 |
| 2.3.3. Сервоуправляемые электромагнитные клапаны с принудительным поднятием                                     | стр. 25 |
| 2.3.4. Сервоуправляемые электромагнитные клапаны с 3/2-ходовым пилотным управлением                             | стр. 26 |
| <b>3. Основы динамики потоков</b>   | стр. 27 |
| 3.1. Режим потока жидкости через электромагнитные клапаны   | стр. 27 |
| 3.1.1. Различия в областях применения   | стр. 27 |
| 3.2. Режим потока и значение $K_v$  | стр. 27 |
| 3.2.1. Объемный расход и массовый расход  | стр. 27 |
| 3.2.2. Значение $K_v$   | стр. 28 |
| 3.2.3. Значения $c_v$ и $QN_n$  | стр. 28 |
| 3.2.4. Взаимосвязь между объемным расходом и значением $K_v$  | стр. 29 |
| 3.3. Режим потока газов   | стр. 29 |
| 3.3.1. Массовый расход и объемный расход газов  | стр. 29 |

|  |         |
|--|---------|
| 3.3.2. Функция истечения $\psi$ и коэффициент критического давления                  | стр. 30 |
| 3.3.3. Докритические и закритические потоки  | стр. 30 |
| 3.3.4. Повседневные формулы для расчета массового расхода и объемного расхода газов  | стр. 31 |
| 3.4. Процессы открытия и закрытия в трубопроводах с жидкостями                       | стр. 32 |
| 3.4.1. Возникновение и распространение волн давления                                 | стр. 32 |
| 3.4.2. Время открытия и закрытия электромагнитных клапанов                           | стр. 33 |
| 3.4.3. Возникновение скачков всасывания у жидкостей                                  | стр. 33 |
| 3.4.4. . Возникновение скачков давления у жидкостей                                  | стр. 34 |
| 3.4.5. Примеры расчетов  | стр. 36 |
| 3.4.6. Электромагнитные клапаны с регулируемым временем закрытия и открытия          | стр. 37 |
| <b>4. Материалы для электромагнитных клапанов Bürkert</b>                            | стр. 38 |
| <b>5. Сертификация</b>   | стр. 40 |
| 5.1. Европейские директивы ATEX  | стр. 40 |
| 5.2. Международные сертификаты взрывозащиты  | стр. 41 |
| 5.3. Национальные сертификаты  | стр. 41 |
| 5.3.1. Сертификат VDE  | стр. 41 |
| 5.3.2. Рекомендации KTW (пластик, имеющий контакт с питьевой водой)/ W270 DV6W       | стр. 41 |
| 5.3.3. Сертификат предохранительного отсечного клапана                               | стр. 41 |
| 5.4. Европейские сертификаты   | стр. 42 |
| 5.4.1. Сертификаты, имеющиеся у Bürkert  | стр. 42 |
| 5.5. Североамериканские сертификаты  | стр. 43 |
| 5.6. Международные сертификаты   | стр. 43 |
| <b>6. От применения к оптимальному выбору клапана</b>                                | стр. 44 |
| 6.1. Электромагнитные клапаны для воды и других нейтральных сред                     | стр. 44 |
| 6.2. Электромагнитные клапаны для нейтральных газообразных сред                      | стр. 46 |
| 6.3. Электромагнитные клапаны для агрессивных сред                                   | стр. 48 |
| 6.4. Электромагнитные клапаны для высоких температур и пара с температурой до 180 °C | стр. 50 |
| 6.5. Электромагнитные клапаны на высокое давление                                    | стр. 51 |
| <b>7. Всегда уникальное решение</b>  | стр. 52 |
| 7.1. Предохранительный клапан для управления горелкой                                | стр. 53 |
| 7.2. Распределение охлаждающей воды  | стр. 54 |
| 7.3. Регулятор смазывающего устройства   | стр. 55 |
| 7.4. Вакуумный блок контроля герметичности серийных деталей                          | стр. 56 |
| 7.5. Блок водяного охлаждения для компрессоров                                       | стр. 57 |
| 7.6. Клапанный блок для пищевой промышленности                                       | стр. 58 |
| 7.6.1. Сильфонные клапаны  | стр. 59 |
| 7.7. Электромагнитные клапаны в технологии топливных элементов                       | стр. 60 |
| <b>Указатель ключевых слов</b>   | стр. 62 |

## Современные технологии в «повседневной» жизни



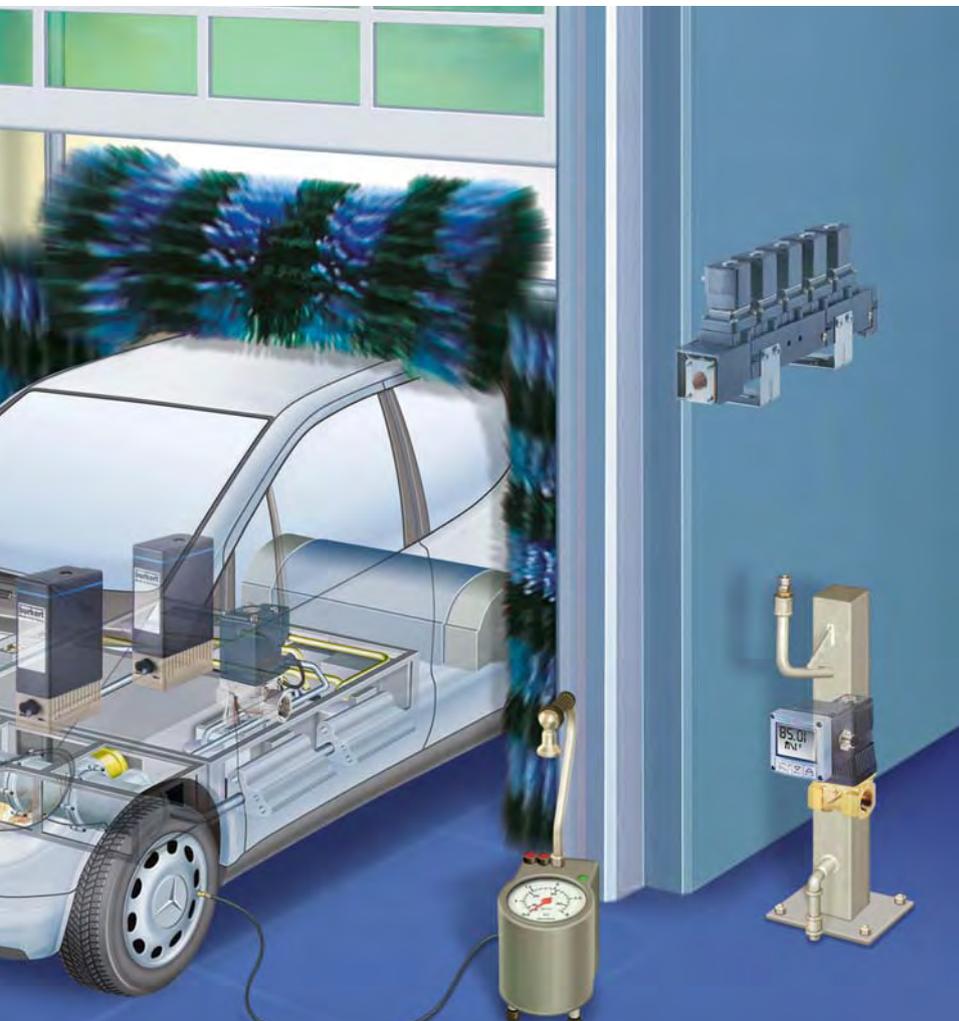
Технологии Burkert, в частности электромагнитные клапаны, можно найти не только в промышленных установках, но и во многих других областях. Ее можно обнаружить буквально на улице внутри многих полезных устройствах и аппаратах, которые облегчают нам жизнь. Например, в автосервисе. Форсунки топливных насосов срабатывают с точностью до одного процента благодаря электромагнитным клапанам Burkert. Давление в шинах проверяется, а масло заменяется с помощью на-

ших клапанов. При помощи наших клапанов осуществляются разнообразные автоматизированные моечные операции на автомобильных мойках. Электромагнитные клапаны Burkert также обеспечивают наполнение бензобаков и надежное функционирование поливочных машин. Даже чашка кофе, которую мы покупаем в торговом автомате, не является исключением: точное дозирование происходит при помощи клапанов Бюркерт. Компания очень гордится тем, что применение этих идей так

широко распространено в повседневной жизни.

### **Развитие основного направления**

Компания Бюркерт всегда самостоятельно развивала и совершенствовала технологию производства электромагнитных клапанов. Именно поэтому она занимает лидирующее положение на мировом рынке по производству систем для контроля и регу-



лирования потоков жидкостей. Эта технология является одной из основ успеха компании, прежде всего дающей преимущество нашим клиентам: постоянное развитие ранее разработанных систем, ориентированных на практическое применение, является гарантией революционных инноваций. Рынок подтверждает это. Компания занимает ведущее место в международном списке разработчиков высококачественных электромагнитных клапанов.

### **Интегрированные в процесс системные решения**

При разработке эффективной технологии производства электромагнитных клапанов компания постоянно руководствуется принципом максимальной пользы для клиента. Вне зависимости от того, необходим ли вам единственный компонент или комплексное системное решение, мы всегда сосредоточены на оптимальной надежности, эффективности и экономичности процесса. Двумя

важнейшими параметрами перспективного развития производства электромагнитных клапанов являются максимальная точность при производстве и минимальный простой. Здесь Бюркерт выдвигает на передний план свои преимущества, основанные на десятилетиях успешного опыта. Каждый день мы следуем нашей цели, передать этот опыт нашим клиентам и способствовать их успеху. Результатом являются системные решения, предлагающие оптимальную комбинацию технических и экономических преимуществ для каждого процесса.

### **Эффективная технология для ваших нужд**

Когда необходимо отсекать, подавать, дозировать, распределять или смешивать газы и жидкости, чаще всего применяются электромагнитные клапаны. Этим областям применения соответствуют богатый выбор специализированных и диверсифицированных решений, у которых есть одна общая черта. Мы предлагаем Вам воспользоваться нашим опытом для подбора правильного компонента или оптимальной системы. Поскольку мы постоянно наблюдаем за рынком, мы вероятно уже знакомы с вашими требованиями. Если же ваши потребности новы для нас, наши инженеры с радостью выполнят поставленную задачу.

# 1. Электромагнитные системы клапанов

## 1.1. Основы

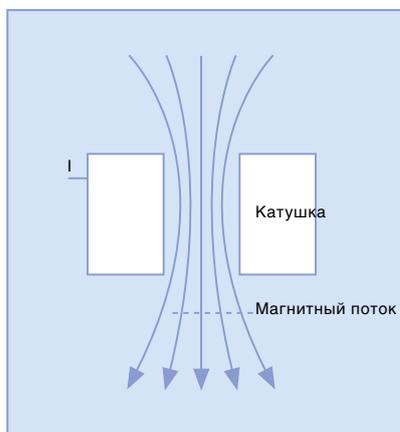
Электромагнитные клапаны являются элементами, наиболее часто используемыми для управления потоками жидкостей. Их задачами являются запираение, выпускание, дозировка, распределение и смешивание газов и жидкостей. Они должны соответствовать множеству требований в областях применения, например:

- быстрое и надежное переключение
- высокая надежность
- длительный срок службы
- хорошая совместимость используемых материалов с рабочей средой
- низкая потребляемая мощность
- компактная конструкция.

Кроме привода плунжерного типа, который применяется наиболее часто, также используются рычажные и качельные приводы.

## 1.2. Основные принципы работы электромагнита

В то время как система привода, механическая конструкция и функция в целом действительно могут различаться, основные элементы привода идентичны фактически по всем принципам приведения в действие. Сердце клапана состоит из электромагнита, который часто называют электромагнитной катушкой.



**Магнитный поток при поданном напряжении**

Если электрический ток течет через проводник, например, медную эмалевую проволоку, эта проволока также генерирует электромагнитное поле. Это магнитное поле может быть усилено с помощью фокусировки проводников в форме катушки. Кроме количества слоев обмотки и силы тока на получаемую магнитную силу также сильно влияет магнитная цепь вокруг катушки. Полярность обычно не имеет значения.

Далее мы объясним механическую конструкцию электромагнитного привода на примере привода плунжерного типа.

### Принцип работы электромагнита переменного тока с сердечником плунжерного типа

#### 1.3.1. Электромагнитные катушки постоянного тока

Конструкция катушки постоянного тока относительно проста. В зависимости от необходимого рабочего напряжения электрическая мощность получается от электрического сопротивления обмотки и соответствующего подаваемого напряжения. У катушек без встроенных электронных компонентов электрическое сопротивление и мощность можно рассчитать следующим образом:

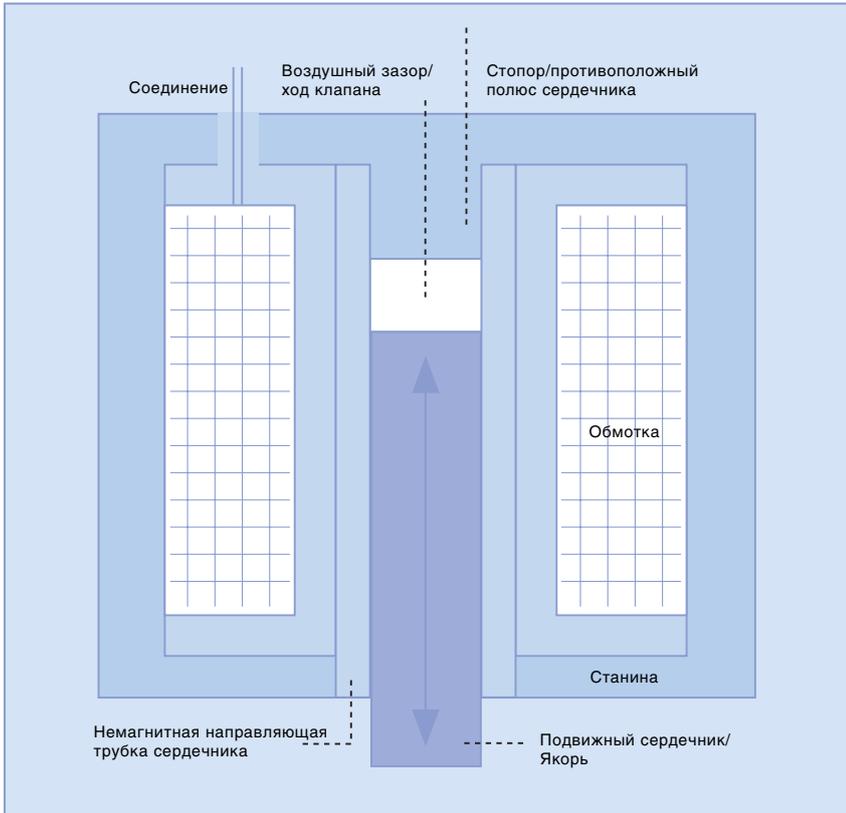
$$P = \frac{U^2}{R}$$

P = Активная мощность

U = Рабочее напряжение

R = Сопротивление катушки

В катушках постоянного тока не происходит вихревых потерь или гистерезисных потерь по току, поэтому магнитную цепь можно сконструировать сплошной. Таким образом, для того, чтобы получить низкую отводящую силу предпочтительны магнитопроводы с низкой остаточной магнитной индукцией. Если необходимы определенные возвратные условия, часто приходится включить в конструкцию воздушный зазор, который приводит к разрыву магнитной цепи и, таким образом, уменьшению остаточной магнитной индукции. Одним из основных преимуществ катушек постоянного тока является замедленное и мягкое поднятие якоря благодаря уменьшающемуся формированию тока, а также бесшумная функция удержания якоря катушки.



Магнитное поле, генерируемое электромагнитными катушками, создает силу притяжения на магнитном сердечнике, расположенном в центре, который часто называют плунжером. Магнитный сердечник удерживается катушкой, пока через нее проходит ток. Если поток электрического тока прерван, пружина сжатия снова отталкивает сердечник и отодвигает его назад в первоначальное положение.

К материалам, используемым в сердечнике, применяются строгие требования. Им необходимы следующие качества:

- хорошие намагничивающие свойства
- эффект низкой магнитной памяти
- высокая стойкость к износу
- высокая химическая стойкость к агрессивным средам

- хорошая механическая обрабатываемость.

Уплотнение, которое жестко соединено с сердечником, открывает и закрывает электромагнитный клапан.

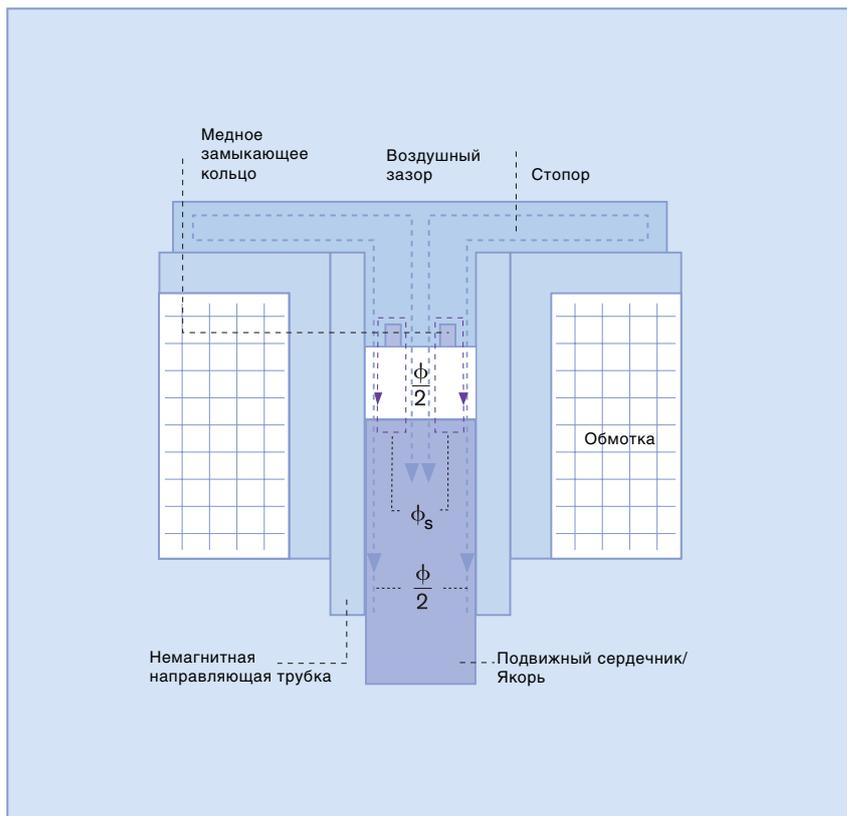
### 1.3. Электромагнитные катушки постоянного и переменного тока

В зависимости от конструкции с помощью этих двух типов катушек могут осуществляться специфические поступательные движения сердечника. Кроме того, для этих двух типов есть также специфические предпочтительные области применения и эксплуатационные ограничения в силу физических законов. Например, для полевых шин (Fieldbus) предпочтительно применение катушек постоянного тока.

### 1.3.2. Электромагнитные катушки переменного тока

У катушек переменного тока сила тока определяется не только омическим сопротивлением обмотки, но и индуктивным сопротивлением (реактивным сопротивлением). На индуктивное сопротивление оказывает значительное влияние положение сердечника. Если сердечник электромагнита опущен, индуктивное сопротивление меньше, а сила тока катушки выше. Таким образом, сила тока выше в фазе подъема, чем в фазе удержания. По сравнению с катушкой постоянного тока сопротивление катушки намного меньше при подаче одинакового напряжения. В противном случае существует риск перегрева катушки и перегорания в течение нескольких минут.

Индуктивное сопротивление также зависит от частоты в сети. Оно, например, выше при 60 Гц, чем при 50 Гц. Если электромагнитная катушка, сконструированная для частоты 50 Гц, эксплуатируется при частоте 60 Гц, магнитная сила притяжения на сердечнике будет меньше. Потеря силы составляет



Принцип работы электромагнита переменного тока

10–30% в зависимости от конструкции и размера. Для электромагнитных клапанов прямого действия это значит практическое ограничение диапазона давлений.

Если катушка, сконструированная для частоты 60 Гц, а эксплуатируется при 50 Гц, это приводит к увеличенному потреблению энергии и более высокой температуре катушки. В таких экстремальных режимах работы катушка может быть повреждена.

Еще одним особым фактором явля-

ется необходимость в электропроводном кольце (замыкающем кольце) внутри электромагнитной катушки. Если бы катушка переменного тока эксплуатировалась без замыкающего кольца, сам сердечник колебался бы постоянно с частотой в два раза большей, чем частота сети (50 Гц или 60 Гц), даже при очень слабой силе возвратной пружины при подаче напряжения, поскольку при каждом переходе через ноль синусоиды напряжения сети удерживающая сила, представляющая собой синусоидно-квадратную

кривую, падает практически до нуля дважды за цикл. Это значит, что сила возвратной пружины становится больше удерживающей силы дважды за цикл. Следовательно, сердечник будет опущен и поднят также дважды за цикл. Такое очень громкое колебание принимает форму очень неприятного гудения.

Если замыкающее кольцо правильного размера вставлено в рабочий разъем (обычно в неподвижный противоположный полюс якоря), напряжение индуцируется первичным потоком  $\Phi_p$  в замыкающем кольце при подаче напряжения на катушку, а это напряжение генерирует ток, у которого смещена фаза относительно первичного потока  $\Phi_p$  на угол  $\varphi$ . Это напряжение со смещенной фазой теперь генерирует вторичный поток  $\Phi_p$  в замыкающем кольце, который имеет фазу, смещенную по сравнению с первичным потоком  $\Phi_p$  на угол  $\rho$ . Этот дополнительный вторичный поток  $\Phi_p$  со смещенной фазой теперь вызывает совершенно другие результирующие силы, с помощью которых минимальная сила и вместе с ней удерживающая сила больше не падает до нуля. Достигаемая таким образом минимальная удерживающая сила

может использоваться при расчете силы возвратной пружины и, вместе с характеристикой поднимающей силы, представляет собой самый важный параметр при конструировании электромагнитных клапанов прямого действия.

Строгие требования относительно равномерности, плавности и амплитуды предъявляются к лицевым сторонам полюсов противоположной части якоря (стопору) и сердечника для того, чтобы добиться максимально высокой удерживающей силы без гудения.

Большие воздушные зазоры между полюсами значительно уменьшают удерживающую силу сердечника, поскольку магнитная проводимость воздуха значительно ниже проводимости магнитопровода. На практике даже оседание пыли может привести к гудению и иметь серьезные последствия для катушки и сердечника электромагнита. При переменном токе катушка постоянного тока может эксплуатироваться с последовательно соединенным выпрямителем.

## 1.4.

### Работа электромагнитов постоянного тока и электромагнитов переменного тока под воздействием подъемной силы

На поднимающие силы, действующие на сердечник, оказывает очень сильное влияние ход сердечника (воздушный зазор). Чем больше зазор, тем меньше будут поднимающие силы. Эту взаимосвязь называют подъемной силой.

Помимо силы пружины, возвращающей сердечник в исходное положение, поднятию сердечника также препятствует давление среды.

Работа катушек постоянного тока под воздействием силы хода отличается от работы катушек переменного тока при подаче одинакового активного напряжения из-за того, что магнитные удерживающие силы катушек постоянного тока выше подачи напряжения на сердечник электромагнита. Однако поднимающие силы при опущенном сердечнике электромагнита в целом меньше. Применительно к функции клапана это значит, что в большинстве случаев клапаны с катушками с переменным током могут работать при более высоких давлениях. Часто можно компенсировать этот дефицит катушки постоянного тока с помощью специальной конструкции сердечника электромагнита и геометрии стопора (конуса сердечника).

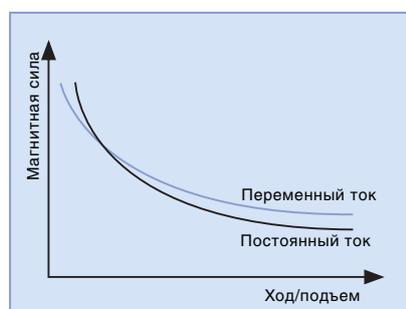
Кроме вышеописанных особенностей существуют также и другие отличия электромагнитов постоянного тока от электромагнитов переменного тока:

Электромагнит постоянного тока

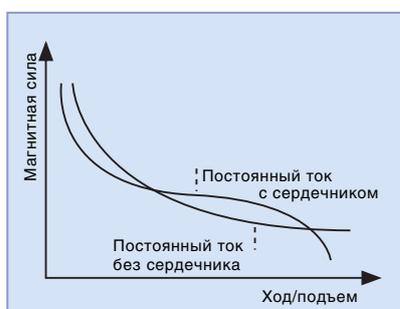
- тише
- меньший износ сердечника катушки
- высокая удерживающая сила электромагнита
- одинаковая мощность при подъеме и удержании
- не требуется замыкающего кольца.

Электромагнит переменного тока

- склонность гудеть
- риск перегорания электромагнитной катушки при заклинивании сердечника электромагнита
- высокая скорость переключения (в зависимости от угла сдвига фаз).



Кривая характеристик силы хода для катушек с фасонным якорем



Кривая характеристик силы хода для катушек без фасонного якоря

## 1.5.

### Конструкция катушки и саморазогревание

Каждая катушка наматывается индивидуально с различным диаметром проволоки и количеством витков в зависимости от ее габаритного размера, имеющегося объема для обмотки, номинального напряжения и требуемой номинальной мощности. Для достижения максимальной эффективности объем, имеющийся для обмотки, используется максимальным образом. Это значит, что катушки одного и того же габаритного размера часто различаются из-за использования различных диаметров проволоки и количества витков. Однако только в редких случаях можно эксплуатировать электромагнитные катушки при другом напряжении.

Электрическая мощность катушки преобразуется в тепловую энергию фактически на 100%. Это значит следующее: в ходе непре-

рывной эксплуатации катушка может очень сильно нагреваться, что в свою очередь подразумевает существенную зависимость максимальной номинальной мощности катушки от максимальной допустимой температуры, определяемой режимом работы (непрерывная эксплуатация или только краткосрочная работа), которую нельзя превышать в течение длительного времени, не повредив катушку.

Герметизирующие материалы и максимально возможная площадь поверхности катушки обеспечивают хорошую теплоотдачу и отвод тепла с поверхности. Кроме саморазогревания катушки на достигаемую полную температуру катушки также сильно влияют факторы, зависящие от применения или эксплуатационные характеристики:

- окружающая температура
- температура среды
- тип среды (жидкость или газы)

- теплоотводящие свойства (герметизация)
- теплопередача от катушки к среде
- непрерывная эксплуатация или кратковременная работа.

При непрерывной эксплуатации при нормальной температуре воздуха (20 °C) на поверхности электромагнитного клапана можно достичь температуры в 80–90 °C или даже больше.

Таким образом, максимальные эксплуатационные характеристики (температура воздуха, температура среды и т. д.) описываются в разделе “Технические характеристики” соответствующих проспектов типов клапанов. Если две эксплуатационные характеристики или более подпадают под ограничения для соответствующей области применения, пользователю необходимо обратиться за технической консультацией, для того чтобы достичь оптимального срока эксплуатации оборудования.

## **1.6.**

### **Специальные катушки**

#### **1.6.1. Электромагнитные катушки повышенной мощности**

Наибольшая электрическая мощность требуется от катушки при поднятии сердечника. Как показано на кривых подъемной силы (стр. 12), в этой точке катушка имеет наименьшую силу притяжения на сердечник. Для удержания сердечника требуется значительно меньшая сила. Для таких случаев Bürkert разработал электромагнитные катушки повышенной мощности с электронными схемами управления. Эти электронные схемы позволяют эксплуатировать катушку с намного большей мощностью в течение короткого промежутка времени до тех пор, пока катушка не поднимет сердечник. Приблизительно через 500 мс электрическая цепь переключается на намного меньшую удерживающую силу, которая не перегружает катушку даже в ходе непрерывной эксплуатации. Это значит, например, что рабочее давление среды может быть значительно увеличено при одном и том же размере катушки в отличие от стандартных катушек. Другими областями применения являются электромагнитные системы с длинным ходом клапана.

При использовании катушек повышенной мощности убедитесь, что клапан соединен с источником пи-

тания соответствующей мощности. Кроме того, клапан не следует включать слишком часто, поскольку катушка может перегреться в результате чрезмерного нагрева. Оптимальным максимальным количеством считается шесть переключений в минуту.

Различают два типа систем:

#### **1. Электромагнитные катушки со встроенными электронными схемами**

Эти катушки состоят из одной обмотки на подъем и одной удерживающей обмотки, которые сконструированы с параметрами витков, соответствующими необходимой мощности. Эта цепь имеет выпрямитель для того, чтобы обеспечить эксплуатацию клапана, как для переменного, так и для постоянного тока.

Преимущества: Не требуется дополнительных электронных схем  
Недостатки: Специальная катушка, более сложная, трудоемкое производство, 3 провода.

#### **2. Электромагнитные катушки с внешними электронными схемами**

В этой системе используется стандартная катушка более высокой номинальной мощности. Внешняя цепь выдает управляющий сигнал частотой приблизительно 1 кГц на катушку с помощью специфического импульсного рабочего режима после периода перевозбужде-

ния приблизительно в 500 мс. Клапан с такой катушкой также можно использовать для переменного и для постоянного тока.  
Преимущества: Недорогие, можно использовать стандартные катушки  
Недостатки: Требуется дополнительная управляющая электроника

#### **1.6.2. Импульсные катушки**

Импульсным катушкам для включения требуется только короткий импульс, подаваемый на поднимающую обмотку. В этот момент на электромагнит подается напряжение, и сердечник удерживается встроенными постоянными магнитами. Вторая опускающая обмотка, встроенная в катушку, создает противоположную силу, и сердечник опускается снова. Для удержания в соответствующем положении не требуется электрической мощности. Bürkert предлагает импульсные катушки плунжерного и рычажного типов. Эти катушки, также называемые "катушками в 0 ватт", используются в специальных областях.

Обычные сферы применения:

- управление с питанием от аккумуляторной батареи
- нежелательное нагревание катушки или отсутствие передачи тепла среде
- сохранение положения переключателя даже в случае нарушения энергоснабжения
- переключение систем с помощью импульсного управления.

### 1.6.3. Взрывозащищенные катушки

Конструкция взрывозащищенных катушек схожа с конструкцией катушек постоянного тока. Соответствующие меры, например, герметизация или изоляция электрических компонентов применяются, чтобы удостовериться в том, что взрывоопасные искры не вырвутся наружу и не вызовут взрыва даже в случае повреждения. Системы катушек обычно эксплуатируются при постоянном токе с помощью выпрямителя, запрессованного в катушке. Bürkert предлагает большой выбор разнообразных катушек, которые можно комбинировать со многими другими жидкостными клапанами.

Для получения дополнительной информации о взрывозащите смотрите в разделе “Сертификаты”.

#### Значения типов защиты (IP код)

| Цифра | Первая цифра – защита от попадания посторонних тел | Вторая цифра – защита от попадания воды |
|-------|--|---|
| 0     | Нет защиты   | Нет защиты                              |
| 1     | Посторонние тела > 50 мм                           | Вертикальное каплепадение               |
| 2     | Посторонние тела > 12 мм                           | Каплепадение (номинальный угол 15°)     |
| 3     | Посторонние тела > 2,5 мм                          | Дождевание                              |
| 4     | Посторонние тела > 1,0 мм                          | Сплошное обрызгивание                   |
| 5     | Пылезащищенное                                     | Действие струи                          |
| 6     | Пыленепроницаемое                                  | Сильное действие струй                  |
| 7     |  | Временное непродолжительное погружение  |
| 8     |  | Длительное погружение                   |

### 1.7. Типы защиты и электрические соединения

Герметизирующие материалы электромагнитных катушек, состоящие из полиамида или эпоксидной смолы, защищают электрическую систему от вредного воздействия, такого как пыль, грязь и влага. Эти герметизирующие материалы, обладающие высокой химической стойкостью, обеспечивают адекватную защиту в большинстве случаев даже против агрессивных сред. Вместе взятые, герметизированная катушка и электрическое соединение образуют одно целое. Это значит, что не только катушка, но и профессиональное электрическое соединение представляет собой важный критерий для определения типа защиты. Наиболее часто используемым соединением являются кабельные разъемы стандарта DIN 43650, тип А, В и С.

#### 1.7.1. Класс защиты электрического оборудования

В соответствии со стандартом EN 60529, класс защиты IP (изоляционная защита) определяется для защиты электропроводящих частей и приборов от попадания твердых или жидких посторонних тел. Класс защиты обозначается при помощи 2 цифр и, при необходимости, дополнительной буквы. Первая цифра обозначает защиту от попадания твердых посторонних тел, а вторая цифра – защиту от попадания воды или влаги.

Многие электромагнитные системы имеют степень защиты IP65 с установленным кабельным разъемом. Таким образом, они являются пыле- и водонепроницаемыми и соответствуют требованиям большинства режимов работы.

## 2. Принципы работы

Задачами клапанов или приводов являются отсечение/открывание, дозирование, распределение и смешивание жидкостей и газов. Требования, применяемые к клапанам, очень разнообразны и включают:

- быстрое и надежное переключение
- минимальная утечка в закрытом положении
- низкая потребляемая мощность
- применение для различных расходов и давлений
- использование для нейтральных и/или агрессивных жидкостей и газов
- различные конструкции корпусов, катушек (тип питания /принцип действия) и управляющих сигналов
- небольшие размеры
- длительный срок эксплуатации
- окружающие условия.

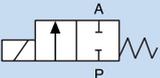
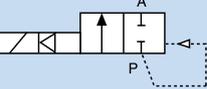
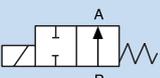
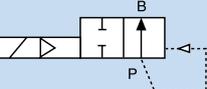
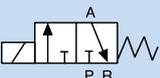
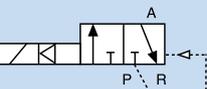
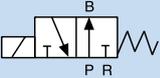
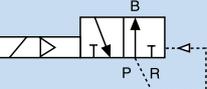
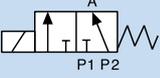
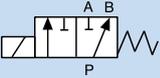
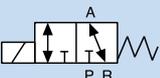
| Области применения                                  |
|---|
| Технологии /химическое машиностроение               |
| Проектирование оборудования/машиностроение          |
| Полупроводниковая промышленность (микроэлектроника) |
| Водоподготовка                                      |
| Экологически безопасная техника                     |
| Медицинское оборудование                            |
| Приборостроение оборудования/ Аналитическая техника |

Специальным условием применения клапанов называют многообразие вариантов, соответствующих определенным задачам. Со временем у производителей появились обозначения, в которых не всегда можно проследить логику, однако они прижились в повседневном использовании. При этом перемешались обозначения, в которых основную роль играет функция клапана (например, переключающий клапан, регулирующий клапан и т.д.) с названиями, характеризующими конструкцию клапана или один из его элементов (например, клапан плунжерного типа, рычажный клапан, качельный клапан, мембранный клапан или наклонный клапан и т. д.).

Электромагнитные клапаны предназначены для эксплуатации с нейтральными, агрессивными и специальными жидкостями, включая эксплуатацию в сложных условиях. Они служат для того, чтобы отсекать, распределять, смешивать или дозировать холодные и горячие жидкости (такие как вода, масла, топливо, растворители и солевые растворы и т. д.), а также газы и пар.

## 2.1.

### Символы переключения и их обозначение

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|    | <b>WW A</b><br>2/2-ходовой нормально закрытый клапан   |    | <b>WW A</b><br>2/2-ходовой нормально закрытый сервоуправляемый клапан |
|    | <b>WW B</b><br>2/2-ходовой нормально открытый клапан   |    | <b>WW B</b><br>2/2-ходовой нормально открытый сервоуправляемый клапан |
|    | <b>WW C</b><br>3/2-ходовой нормально закрытый клапан, в обесточенном состоянии отверстие A – выпускное                                 |    | <b>WW C</b><br>3/2-ходовой нормально закрытый сервоуправляемый клапан |
|  | <b>WW D</b><br>3/2-ходовой нормально открытый клапан, в обесточенном состоянии выход B под давлением                                   |  | <b>WW D</b><br>3/2-ходовой нормально открытый сервоуправляемый клапан |
|  | <b>WW E</b><br>3/2-ходовой смешительный клапан, в обесточенном состоянии отверстие P2 соединено с отверстием A, отверстие P1 перекрыто |  |   |
|  | <b>WW F</b><br>3/2-ходовой распределительный клапан, в обесточенном состоянии отверстие P под давлением и соединено с отверстием B     |  |   |
|  | <b>WW T</b><br>3/2-ходовой универсальный клапан, любое направление потока  |  |   |

WW = Функция

## 2.2.

### Электромагнитные клапаны прямого действия: плунжеры

Общие характеристики:

- прочная конструкция
- оптимальное соотношение цена/качество
- универсальное применение
- широкий выбор сечений
- исполнения для переменного, постоянного и универсального тока
- отсутствие смазки трущихся деталей приводит к уменьшению срока службы
- изоляция от среды приводит к уменьшению диапазона давления
- у 3/2-ходовых клапанов одно из отверстий проходит через катушку
- нормально открытое исполнение не у всех моделей
- взрывозащищенное исполнение
- съемная катушка.

#### 2.2.1. 2/2-ходовые электромагнитные клапаны плунжерного типа

2/2-ходовые электромагнитные клапаны прямого действия плунжерного типа (например, типы 6011 и 6013), также называемые проходными клапанами, являются отсечными клапанами с двумя отверстиями: одним впускным (P) и одним выпускным (A). На рисунке 1 входное отверстие P соединено с жидкостью или газом, находящимся под давлением. В обесточенном состоянии пружина сердечника с помощью давления жидкости толкает сердечник (плунжер) вместе с уплотнением к седлу клапана. Таким образом проход к выпускному отверстию A запирается. При подаче напряжения сердечник электромагнита вместе с уплотнением клапана втягивается в результате действия магнитной силы,

и клапан открывается. Таким образом, проход разблокирован снова.

Характеристики:

- в обесточенном состоянии направление потока проходит над седлом
- максимальное давление зависит от сечения и потребляемой мощности катушки
- используются слабые пружины, то есть выдерживает сравнительно небольшое противодавление (в зависимости от жесткости пружины и сечения).

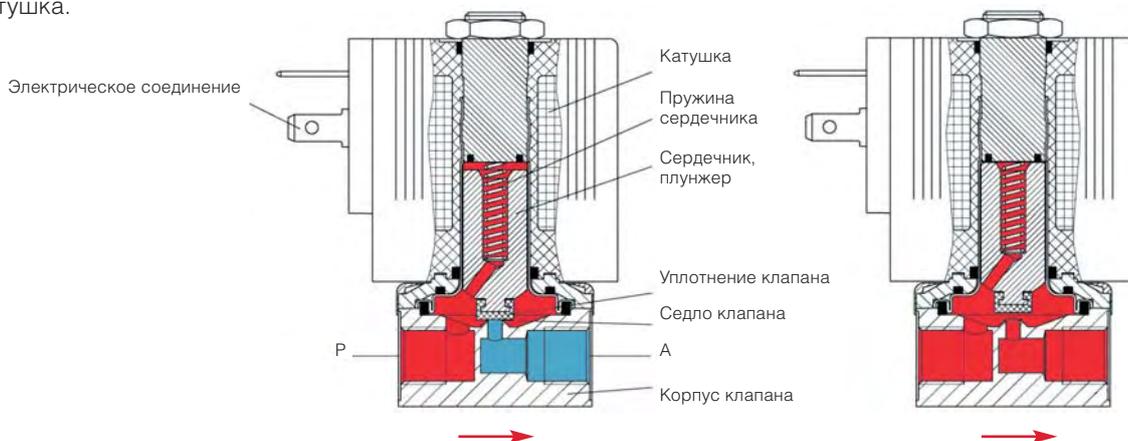


Рисунок 1:  
2/2-ходовой электромагнитный клапан прямого действия плунжерного типа, показан закрытым слева и открытым – справа

### 2.2.2. 3/2-ходовые электромагнитные клапаны плунжерного типа

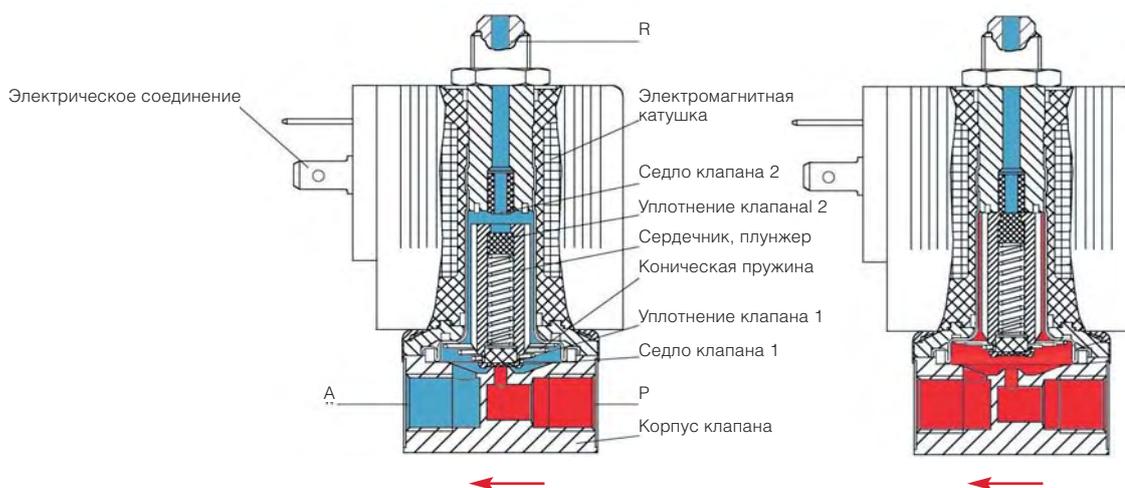
3/2-ходовые электромагнитные клапаны прямого действия плунжерного типа (например, типы 6012 и 6014) имеют три отверстия и два седла клапана. Одно из седел попеременно всегда закрыто или открыто.

Функция клапана зависит от того, как расположены отверстия, то есть как они соединены между собой. Для функции С (3/2-ходовой нормально закрытый), отверстие Р (см. Рис. 2) – входное, отверстие А – выходное, а отверстие R предназначено для сброса. В обесточенном состоянии коническая пружина толкает сердечник (плунжер) на седло

клапана 1 и блокирует входное отверстие Р. Отверстие А соединено с отверстием R. После подачи напряжения сердечник втягивается, в то время как седло клапана 2 закрывается уплотнением. Таким образом, отверстие R перекрывается. В то время как сердечник движется вверх, седло клапана 1 также открывается, а жидкость может течь из отверстия Р в отверстие А. При функции D (3/2-ходовой нормально открытый), отверстие R в обесточенном состоянии перекрывается.

Характеристики:

- в нормально закрытом исполнении направление потока проходит под седлом 1
- в нормально открытом исполнении входное отверстие расположено над катушкой (на рисунке отверстие R сверху)
- максимальное давление зависит от силы пружины и сечения (а не от потребляемой мощности катушки)
- сильные пружины для функции С и слабые пружины для функции D
- для функции С (3/2-ходовой н/з) рабочее давление не ограничено поднимающей силой катушки, но ограничено закрывающей силой конической пружины.



**Рисунок 2:**  
3/2-ходовой электромагнитный клапан прямого действия, отверстие Р закрыто, отверстие А соединено с отверстием R (слева), отверстие Р открыто и соединено с отверстием А (справа)

### 2.2.3. Электромагнитные клапаны прямого действия: рычажные клапаны

Рычажные клапаны имеют 3/2- и 2/2-ходовое исполнения. У рычажных 3/2-ходовых клапанов (например, тип 330, см. Рис. 3), все три отверстия расположены в корпусе клапана, а изолирующая мембрана не дает жидкости проникнуть в электромагнит. Рычажные клапаны в стандартной комплектации имеют ручной переключатель, а также могут опционально снабжаться оптическим индикатором положения или электрическим датчиком обратной связи.

Преимущества:

- высокая надежность
- все три отверстия расположены в одной плоскости
- изоляция от среды в стандартном исполнении
- длительный срок эксплуатации
- катушки для переменного, постоянного тока и универсального тока.
- оптический индикатор положения или электрический индикатор обратной связи (по запросу)
- взрывозащищенное исполнение (по запросу)
- возможно использование для агрессивных сред

Потенциальные недостатки

- затруднена замена частей
- дорогостоящий

### 2.2.4. Электромагнитные клапаны прямого действия: 3/2-ходовые качельные клапаны

#### 3/2-ходовые качельные клапаны

Электромагнитные качельные клапаны Bürkert (например, типы 6104 и 6106) сконструированы, в основном, для эксплуатации со сжатым воздухом; все три отверстия расположены в корпусе клапана. Клапан также часто используется как пилотный клапан в пневмораспределителях. Качели с уплотнениями попеременно закрывают седло 1 (входное отверстие P) или седло 2 для сброса воздуха (отверстие R) и выходное отверстие A (см. Рисунок 4), способом, аналогичным рычажным клапанам. Качельные клапаны изготавливаются как с разделительной мембраной, так и без нее.

Преимущества:

- Низкая масса движущихся частей
- 3 отверстия на одной плоскости
- Изолирующая мембрана
- Экономичен
- Длительный срок эксплуатации
- Компактная конструкция
- Низкая потребляемая мощность
- Высокая эффективность электромагнитной системы
- Взрывозащищенное исполнение (по запросу)

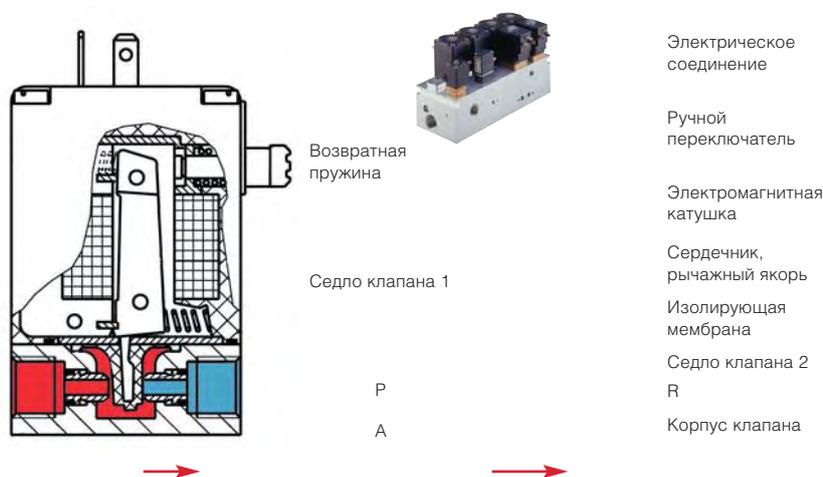
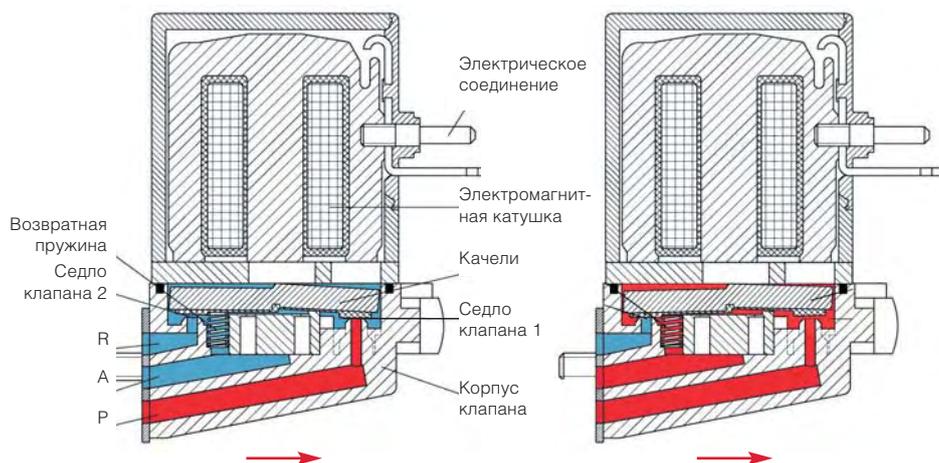


Рисунок 3: Рычажный электромагнитный клапан Bürkert

Потенциальные недостатки:

- небольшие сечения
- катушки только для постоянного тока или со встроенным выпрямителем (в катушке или кабельном разъеме)
- изоляция от среды уменьшает максимальный диапазон давления
- низкое входное давление (максимальное – 10 бар)
- без изолирующей мембраны – только для газообразных сред



**Рисунок 4:**  
**Качельный клапан**

### 2.2.5. Характеристики и возможные области применения различных электромагнитных приводов

|  | Плунжерный  | Рычажный   | Качельный  |
|--|---|--|--|
| Изоляция привода от среды                | Нет   | Изоляция от среды, стандартное исполнение  | Имеются варианты с изоляцией от среды и без нее  |
| Износ/срок службы                        | Подверженность сердечника электромагнита износу варьируется от умеренной до высокой – из-за трения  | Низкий износ, поскольку у якоря отсутствует функция скольжения   | Очень низкий износ и длительный срок эксплуатации (специальные исполнения без изолирующей мембраны)  |
| Универсальность и возможности применения | Имеются очень прочные электромагнитные катушки различных размеров с различной номинальной мощностью. Может использоваться для пер./пост. и универсального токов | Хорошо проверенные системы. Катушка только одного размера. Может использоваться для пер./пост. и универсального токов  | Небольшой компактный привод, в особенности в качестве пилотного клапана или для низких расходов. Может эксплуатироваться только при постоянном токе, при переменном токе – только с выпрямителем |
| Типичные среды                           | Нейтральные не абразивные жидкости и газы, например,<br>- вода (деминерализованная вода, ограниченно)<br>- воздух<br>- масла<br>- технические газы              | Нейтральные жидкости и газы, а также условно агрессивная и абразивная среда, в зависимости от применения и стойкости материала изолирующей мембраны, например:<br>- вода (включая деминерализованную воду)<br>- масла<br>- кислоты и щелочи<br>- сверхчистые среды | Без изоляции от среды: нейтральные газы, например, воздух.<br>С изоляцией от среды: агрессивные газы и жидкости с низкой вязкостью   |

## **2.3.**

### **Сервоуправляемые электромагнитные клапаны**

При высоком давлении в системе и при больших условных расходах электромагнитным клапанам прямого действия необходимы более высокие магнитные силы и потребляемая мощность. Большие электромагнитные катушки, нужные для этого, увеличили бы общий вес и габаритные размеры. Поэтому для этого используются сервоуправляемые клапаны.

У сервоуправляемых электромагнитных клапанов основной клапан управляется пилотным клапаном. Пилотный клапан имеет меньшее сечение и меньшую потребляемую мощность. Пилотный клапан может быть как 2/2- так и 3/2-ходовым. Основной клапан имеет мембрану или поршень в качестве исполнительного элемента для открытия и закрытия основного прохода.

Номенклатура клапанов Bürkert также включает сервоуправляемые электромагнитные клапаны, у которых сердечник пилотного клапана соединен с поршнем или мембраной основного клапана (принудительное поднятие мембраны). Для этих клапанов (например, типы 6213 или 290) не требуется минимального перепада давлений. В зависимости от исполнения для полного открытия клапана требуется минимальный перепад давлений. Этот принцип используется в основном в нормально закрытых и нормально открытых 2/2-ходовых клапанах. Клапан можно эксплуатировать только в одном направлении. Клапан не может использоваться в качестве обратного клапана.

### 2.3.1. 2/2-ходовые сервоуправляемые мембранные электромагнитные клапаны

В этом случае в качестве пилота используется плунжерный клапан. Уплотнение основного клапана открывается и закрывается с помощью мембраны. Таким образом, закрытие выполняется и с помощью силы пружины сжатия, и с помощью давления среды.

При открытии пилотного клапана давление в камере над мембраной падает. Давление среды под мембраной поднимает мембрану и открывает клапан. Если пилотный клапан закрыт, давление среды

над мембраной нарастает снова через дроссельное отверстие в мембране или через байпасный канал. Клапан закрывается из-за большей площади поверхности над мембраной.

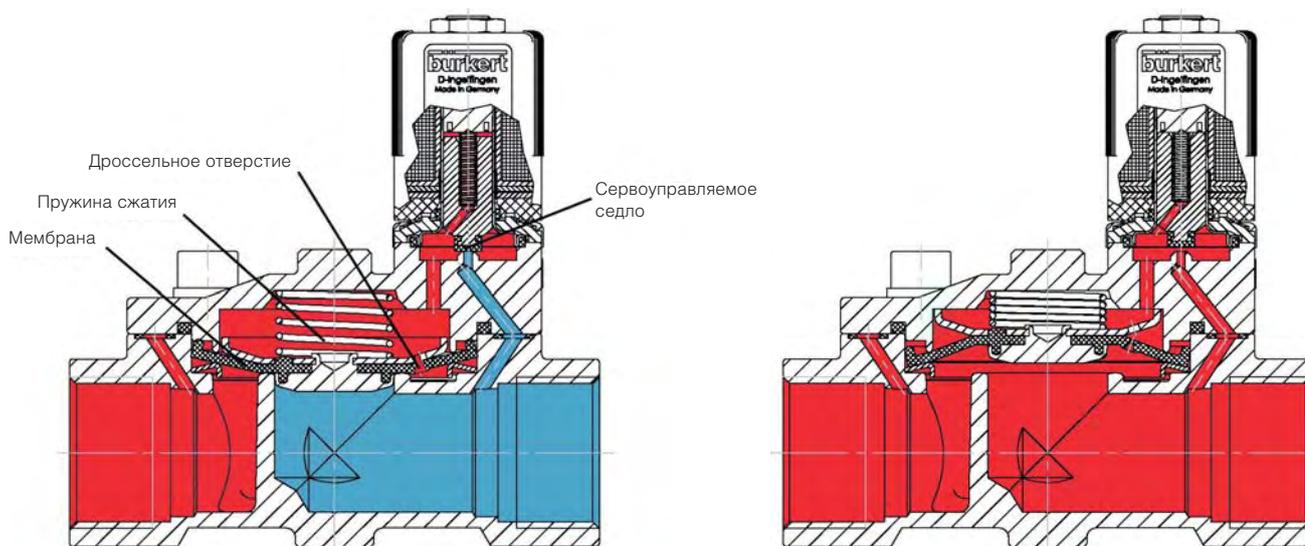
Основной областью применения мембранных сервоуправляемых электромагнитных клапанов является управление нейтральными и агрессивными жидкостями и газами в трубопроводах с большим сечением (10–65 мм). Самыми распространенными сервоуправляемыми клапанами, являются: 5281, 6212, 6211, а также 6228, 142.

Преимущества:

- экономичная конструкция
- низкая потребляемая мощность
- хорошая защита от гидроудара при закрытии
- необходим небольшой перепад давления.

Недостатки:

- чувствительность к загрязненной среде
- не подходит для температур, превышающих 120 °С
- ограниченный срок эксплуатации при использовании в газообразной среде.



**Рисунок 5:**  
**2/2-ходовой нормально закрытый сервоуправляемый мембранный электромагнитный клапан.**  
Показан закрытым слева и открытым – справа

### 2.3.2. Сервоуправляемые поршневые электромагнитные клапаны

У этих клапанов в качестве пилотного клапана также используется электромагнитная катушка плунжерного типа. Действие этого клапана (например, типы 5404 и 6221) основано на том, что жидкость может протекать из отверстия Р через управляющее отверстие поршня или перепускной канал основного клапана. Если камера над поршнем закрыта, а пилотный клапан обесточен, давление среды там возрастает, а поршень, одновременно образующий уплотнение клапана, закрывает седло основного клапана.

Основное условие для работы клапана – возможность падения да-

вления среды через отверстие А. До тех пор, пока существует перепад давлений между входным и выходным отверстиями основной клапан остается закрытым в результате действия закрывающих сил над поршнем. После подачи напряжения давление в камере над поршнем может упасть. Сила, действующая на нижнюю часть поршня в результате давления жидкостной системы, больше чем сила, действующая на верхнюю части поршня, – она поднимает поршень и открывает основной клапан. Для правильного открытия и закрытия сервоуправляемым электромагнитным клапанам, основанным на этом принципе, требуется минимальный перепад давлений. Электромагнитные клапаны со сцеплением (принудительное поднятие клапана) между сердечником электромаг-

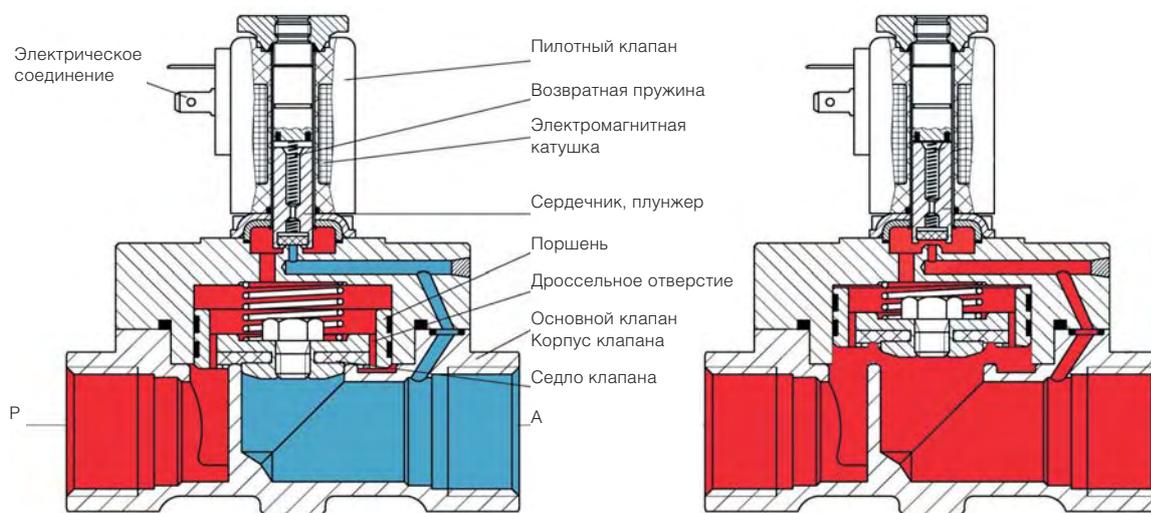
та и поршнем (например, тип 407) не требуют перепада давлений. Сервоуправляемые поршневые электромагнитные клапаны используются в основном для областей применения с высоким давлением, газообразной средой и паром с температурой до 180 °С.

Преимущества:

- более прочные, чем сервоуправляемые мембранные клапаны
- большой диапазон давления
- подходят для газов и пара.

Недостатки:

- более дорогие по сравнению с сервоуправляемыми мембранными клапанами
- опасность гидроудара при закрытии
- для открытия требуется больший перепад давлений.



**Рисунок 6:** 2/2-ходовой нормально закрытый сервоуправляемый поршневой электромагнитный клапан. Показан закрытым слева и открытым справа

### 2.3.3. Сервоуправляемые электромагнитные клапаны с принудительным поднятием

Сервоуправляемые электромагнитные клапаны с принудительным поднятием существенно отличаются от обычных сервоуправляемых электромагнитных клапанов благодаря сцеплению поршня или мембраны с сердечником электромагнита. Это сцепление может быть либо прямым, либо через пружину.

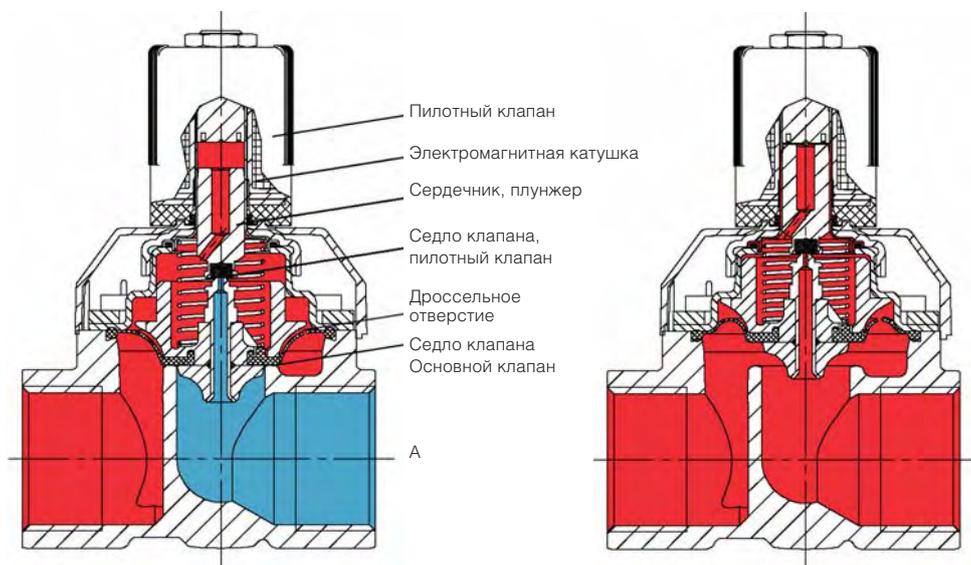
Функцией таких клапанов является сочетание функций клапанов прямого действия и сервоуправляемых клапанов. При низком дифференциальном давлении в клапане преобладает функция прямого действия, а сервоуправляемая функция преобладает при высоком перепаде давлений.

Преимущества:

- открывается без перепада давлений, может также использоваться в замкнутых системах или при низком рабочем давлении
- хорошая защита от гидроудара
- хорошее соотношение цена-эффективность
- универсальность.

Недостатки:

- чувствителен к загрязненной среде из-за маленького диаметра дроссельного отверстия в мембране
- только нормально закрытое исполнение
- для больших сечений требуются катушки большой номинальной мощности.



**Рисунок 7:** 2/2-ходовой нормально закрытый сервоуправляемый электромагнитный клапан с принудительным поднятием мембраны. Показан закрытым слева и открытым справа

### 2.3.4. . Сервоуправляемые электромагнитные клапаны с 3/2-ходовым пилотным управлением

В качестве пилотного клапана используется рычажный или качельный клапан с изолирующей мембраной. Существенным отличием от 2-ходового пилотного клапана является то, что среда не течет через пилотный клапан при открытом положении и, таким образом, сокращается риск засорения дроссельного отверстия. Кроме того, изолирующая мембрана защищает сердечник от вредного воздействия. Поэтому в основном эти клапаны (например, типы 142 и 5282) используются для загрязненных и агрессивных сред.

Преимущества:

- сечение управляющего канала около 2 мм
- отсутствие маленьких дроссельных отверстий в мембране, и, таким образом, меньшая чувствительность к загрязненным средам
- электромагнит защищен изолирующей мембраной
- лишь небольшое количество среды протекает через пилотный клапан при открытии и закрытии клапана

- среда не течет через пилотный клапан в открытом состоянии! Это важное преимущество по сравнению с клапанами с 2/2-ходовым пилотным управлением.
- время переключения регулируется с помощью регулирующих винтов
- преобразование клапана из н/з в н/о путем поворота катушки (пилотного клапана) на 180 °С.
- крайне высокая функциональная надежность
- взрывозащищенные исполнения.

Потенциальные недостатки:

- дорогостоящий
- не может использоваться в замкнутых системах, поскольку для открытия требуется перепад давления.

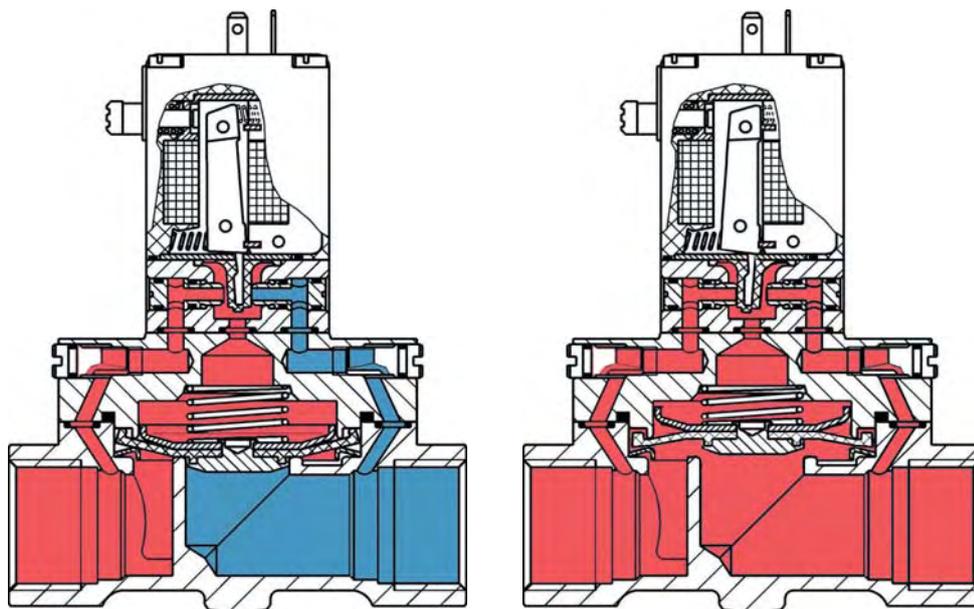


Рисунок 8: Сервоуправляемый мембранный клапан с изоляцией от среды и 3/2-ходовым пилотным клапаном

## 3. Основы динамики потоков

### 3.1.

#### Режим потока жидкости через электромагнитные клапаны

##### 3.1.1. Различия в областях применения

В жидкостях электромагнитные клапаны используются в основном в качестве переключающих клапанов. Они могут открывать или отсекают потоки (клапаны вкл/выкл) либо переключать поток с одного трубопровода на другой. Это задачи систем бинарного управления. Для задач регулирования используются клапаны, которые могут постоянно изменять степень своего открытия (клапаны непрерывного регулирования, пропорциональные клапаны).

При выборе электромагнитных клапанов для жидкостей основным вопросом является способность требуемого количества жидкости проходить через клапан при заданном перепаде давления, т.е. наличие у клапана сечения адекватной величины и достаточной мощности переключения. Для регулирующих клапанов также важна форма характерных кривых характеристик клапана (открытие, поток и рабочая характеристики).

### 3.2.

#### Режим потока и значение $k_v$ для жидкостей

##### 3.2.1. Объемный расход и массовый расход

Для жидкостей объемный расход, проходящий через клапан, обычно можно рассчитать на основе следующей формулы:

$$\dot{V} = \alpha \cdot A \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} = A \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\zeta \cdot \rho}}$$

где  $\alpha = \frac{1}{\sqrt{\zeta}}$

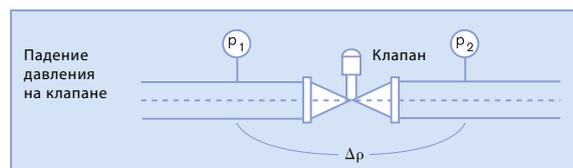
Уравнение 1

Значения переменных:

- $\alpha$  коэффициент расхода
- A: сечение
- $\Delta p$ : падение давления на клапане (потеря давления)
- $\rho$ : плотность жидкости
- $\zeta$ : индекс потери или коэффициент сопротивления

Здесь действует следующее уравнение

$$\Delta p = p_1 - p_2$$



Массовый расход рассчитывается таким образом:

$$\begin{aligned} \dot{M} &= \rho \cdot \dot{V} \\ \dot{M} &= \alpha \cdot A \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} = A \sqrt{\frac{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}{\zeta}} \end{aligned}$$

Уравнение 2

### 3.2.2. Значение $k_v$

Для описания расхода жидкости, проходящей через клапан, используется значение  $k_v$ :

- Значение  $k_v$  является объемным расходом

Объем воды  $\dot{V}$  (в м<sup>3</sup>/час)  
( $\rho_0 = 1$  кг/дм<sup>3</sup>) при температуре от 5°C до 40°C при падении давления (постоянное падение давления) на клапане  
 $\Delta p_0 = 100$  кПа.

Это уравнение позволяет рассчитать расход ( $k_v$ ):

$$k_v = \alpha \cdot A \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_0}{\rho_0}}$$

Уравнение 3

Для клапана значение  $k_v$  можно определить экспериментально на основе существующих в его определении условий ( $\rho_0$  и  $\Delta p_0$ ). При этом оно представляет собой величину, характеризующую клапан. Таким образом, значение  $k_v$  может в первую очередь использоваться для определения динамики расхода жидкости через клапан. При сравнении нескольких клапанов с одним и тем же сечением клапан с наибольшим значением  $k_v$  будет иметь наилучшую конструкцию с точки зрения динамики расхода.

Поскольку значение  $k_v$  обозначает объемный расход (м<sup>3</sup>/час), часто встречающееся обозначение “коэффициент расхода” или “коэффициент клапана” вводит в заблуждение, поскольку оно допускает безразмерность значения  $k_v$ .

### 3.2.3. Значение $c_v$ и $Q_{Nn}$

В странах, где принята дюймовая система основных единиц, вместо значения  $k_v$  для определения расхода используется значение  $c_v$ .

- Значение  $c_v$  является объемным расходом (галлоны США/мин.) воды при температуре 60 °F при потере давления 1 фунт на квадратный дюйм через клапан.

Где:

1 галлон США /минута = 0,227 м<sup>3</sup>/час  
и 1 фунт на квадратный дюйм = 0,069 бар.

Значение  $Q_{Nn}$ , которое определяется следующим образом, является еще одним параметром потока, используемым для пневматических клапанов. Значение  $Q_{Nn}$  является объемным расходом (в л/минута) воздуха при температуре +20°C и входном давлении 6 бар и падении давления в клапане в 1 бар.

Следующий коэффициент преобразования используется для преобразования  $k_v$  в  $c_v$  и  $Q_{Nn}$ :

$$k_v = 0.86 c_v$$

$$k_v = 1078 Q_{Nn}$$

### 3.2.4. Взаимосвязь между объемным расходом и значением $k_v$

Если мы разделим уравнение 3 на уравнение 1 и соответствующим образом его преобразуем, мы получим следующую формулу для расчета объемного расхода:

$$\dot{V} = k_v \sqrt{\frac{\rho_0 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \Delta p_0}}$$

Уравнение 4

При помощи уравнения 4 можно рассчитать объем, проходящий через клапан с известным значением  $k_v$  (с любым падением давления  $\Delta p$ ). Если преобразовать уравнение 4 соответствующим образом, то можно рассчитать падение давления  $\Delta p$  при любых объемах и для любых жидкостей.

С другой стороны, при известном объеме любой жидкости и известном допустимом падении давления можно определить значение  $k_v$  и тем самым подобрать соответствующий тип клапана.

При замене значения для  $\rho_0$  и  $\Delta p_0$  в уравнении 4 и при условии, что  $\dot{M} = \rho \dot{V}$ , возможно вывести следующую часто используемую формулу для жидкостей:

Объемный расход:

$$\dot{V} = 100 k_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

Массовый расход:

$$\dot{M} = 100 k_v \sqrt{\rho \Delta p}$$

## 3.3.

### Режим потока газов

#### 3.3.1. Массовый расход и объемный расход газов

Взаимосвязь, указанная для жидкостей, также может быть применена к газам, при условии поправок на различия, вызванные сжимаемостью и специальными аспектами докритического и закритического потоков, применимыми к газам.

Для жидкостей объем  $V$  и массовый расход  $M$  можно выразить как функцию падения давления на клапане  $\Delta p = p_1 - p_2$ , то есть, как функцию перепада давлений  $p_2$  и  $p_1$  (уравнения 1–4). Для газов же существует зависимость между соотношением давлений  $p_2$  и  $p_1$ , которую можно выразить как функцию истечения  $\psi$ . Таким образом, следующая формула первоначально применима к массовому расходу:

$$\dot{M} = \alpha \cdot A \cdot \psi \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}$$

Уравнение 5

Где:

- $\alpha$ : коэффициент потока
- $\psi$ : функция истечения (соотношение давления  $p_2/p_1$ )
- $A$ : сечение
- $\rho_1$ : плотность газа перед клапаном
- $p_1$ : давление газа перед клапаном

#### Часто используемые формулы для жидкостей, значения символов

$k_v$  Определенный объем воды в м<sup>3</sup>/час

$\dot{V}$  Объем в м<sup>3</sup>/час

$\dot{M}$  Массовый расход в кг/час

$p_1$  Абсолютное давление на входе клапана в МПа

$p_2$  Абсолютное давление на выходе клапана в МПа

$\Delta p$  Падение давления на клапане в МПа

$\rho$  Плотность в кг/м<sup>3</sup>

Таблица 1

| Специфические значения некоторых сред           |                         |   |                       |
|---|-------------------------|---|-----------------------|
| Тип газа  | $\kappa$<br>(константа) | $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{крит.}}$ | $\psi_{\text{макс.}}$ |
| Двухатомные газы, напр., $N_2$ , $O_2$ , и $CO$ | 1,400                   | 0,528   | 0,484                 |
| Воздух  | 1,402                   | 0,53  | 0,49                  |
| Трехатом.газы, напр., $CO_2$ ; перегрет.пар     | 1,300                   | 0,546   | 0,473                 |
| Насыщенный пар                                  | 1,135                   | 0,577   | 0,45                  |

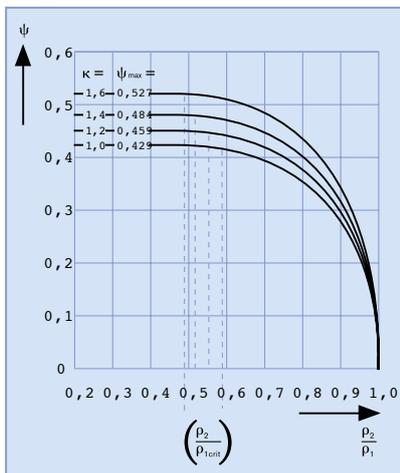
Таблица 2

Соответствующую зависимость можно составить для объемного расхода.

### 3.3.2. Функция истечения $\psi$ и коэффициент критического давления

Рисунок 9 отображает значение  $\psi$  в зависимости от соотношения давлений  $p_2/p_1$ . Кроме того,  $\psi$  мало зависит от показателя адиабаты  $\kappa$ , которую необходимо включить в расчеты в качестве параметра.  $\kappa$  является постоянной величиной для специфического идеального газа (смотри Таблицу 2).

Рисунок 9



### Функция истечения $\psi$

Если мы уменьшим соотношение давлений  $p_2/p_1$  начиная со значения 1, то есть уменьшим  $p_2$  при постоянном давлении  $p_1$ , то  $\psi$  и с этим в первую очередь  $M$  возрастает. Начиная с определенного коэффициента давления, который называют “критическим коэффициентом давления”, функция истечения  $\psi$  и с ней также массовый расход остаются постоянными ( $\psi_{\text{макс}}$  и  $M_{\text{макс}}$ ). Критический коэффициент давления рассчитывается следующим образом:

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{крит}} = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$$

Уравнение 6

Кроме показателя адиабаты  $\psi$  таблица 2 иллюстрирует критический коэффициент давления и значения  $\psi_{\text{макс}}$  для определенных газов.  $\psi_{\text{макс}}$  может принимать значение от 0,5 до 0,6 для часто встречающихся сред. Критические коэффициенты давления лежат приблизительно между 0,45 и 0,55. Для практических целей достаточно пользоваться следующим методом расчета критического коэффициента

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{крит}} \approx 0,5$$

$$(p_2 = 1/2p_1).$$

### 3.3.3. Докритические и закритические потоки

На основе этого коэффициента для газов, протекающих через клапан, существуют докритические и закритические потоки:

$$\frac{p_2}{p_1} > \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{крит}}$$

= докритический поток,

$$\frac{p_2}{p_1} \leq \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{крит}}$$

= закритический поток.

Различия между докритическим и закритическим потоками показаны на рис. 10.

В то время как в случае докритического потока массовый расход можно вычислить при помощи уравнения 5, в случае закритического потока это уравнение можно более точно сформулировать так:

$$\dot{M} = \alpha \cdot A \cdot \psi_{\text{макс}} \sqrt{2 \cdot p_1 \cdot p_1}$$

Уравнение 7

Приблизительно  $\psi_{\text{макс}}=0,5$ .

Если разделить уравнение 5 или уравнение 7 на уравнение 1, которое описывает значение  $k_v$ , и соответственно его преобразовать, то можно получить следующую зависимость для расчета массового расхода газов, исходя из значения  $k_v$ :

$$\dot{M} = k_v \cdot \psi \sqrt{\frac{\rho_0 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{\Delta p_0}}$$

Уравнение 8

для докритического потока

$$\dot{M} = k_v \cdot \psi_{\max} \sqrt{\frac{\rho_0 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{\Delta p_0}}$$

Уравнение 9

для закритического потока.

Таким же образом, с помощью уравнений 8 и 9 можно рассчитать значения массового расхода или объемного расхода газов, исходя из значений  $k_v$ .

### 3.3.4. Повседневные формулы для расчета массового расхода и объемного расхода газов

С практической точки зрения формулы для расчета массового расхода и объемного расхода вводятся различные корректирующие факторы, которые, помимо всего прочего, также рассчитаны для потока вязких жидкостей.

Значения символов:

- $k_v$ : Определенный объемный расход в м<sup>3</sup>/час
- $V$ : Объемный расход газов в м<sup>3</sup>/час (при 0,1 МПа и T = 20°C)
- $M$ : Массовый расход в кг/час
- $p_1$ : Абсолютное давление на входе клапана в МПа
- $p_2$ : Абсолютное давление на выходе клапана в МПа
- $\Delta p$ : Падение давления на клапане в МПа
- $\rho$ : Плотность газов в кг/м<sup>3</sup> (при 0,1 МПа и 20°C);
- $v_k$ : Специфический объем при  $p_1/2$  в м<sup>3</sup>/кг
- $T$ : Абсолютная температура на входе клапана в К.

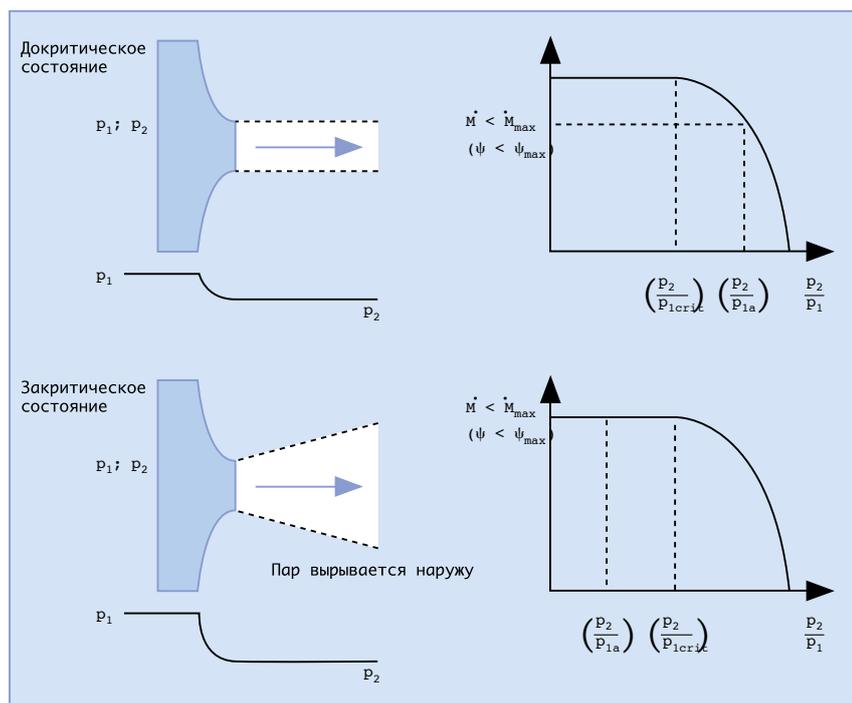


Рисунок 10: Докритический режим и закритическое истечение

| Повседневные формулы для газа и пара |   |   |   |
|--------------------------------------|---|---|---|
|                                      | Газы  | Объемный расход   | Пар   |
|                                      | Массовый расход   |   | Массовый расход                                 |
| Докритический                        | $\dot{M} = 5140 k_v \sqrt{\frac{\rho \Delta p p_2}{T}}$ | $\dot{V} = 5140 k_v \sqrt{\frac{\Delta p \cdot p}{\rho T}}$ | $\dot{M} = 100 k_v \sqrt{\frac{\Delta p}{v_2}}$ |
| Закритический                        | $\dot{M} = 2750 k_v p_1 \sqrt{\frac{\rho}{T}}$          | $\dot{V} = 2750 k_v p_1 \frac{1}{\sqrt{\rho T}}$            | $\dot{M} = 100 k_v \sqrt{\frac{p_1}{2v_k}}$     |

### 3.4.

## Процессы открытия и закрытия в трубопроводах с жидкостями

### 3.4.1. Возникновение и распространение волн давления

При изменении скорости потока жидкости в трубопроводе в результате открытия или закрытия клапана происходит преобразование кинетической энергии жидкости в волну давления, которая распространяется от клапана в противоположном направлении со скоростью распространения "а" (Рисунок 11) до выхода из емкости (точка отражения), где она отражается снова и т. д. Это приводит к провалам и скачкам давления, которые называют скачками всасывания или скачками давления или "гидравлическим ударом".

Для сжимаемых жидкостей скорость распространения "а" вследствие изменения давления и скорости равна скорости звука в данной жидкости.

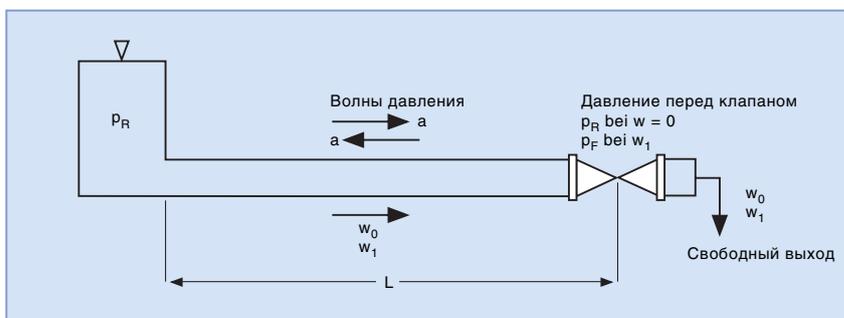


Рисунок 11:  
Схема обычного трубопровода

Скорость звука "а" для жидкостей в толстостенных жестких трубах:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ [m/s]}$$

Где:

$E$ : абсолютная величина эластичности в среде в  $\text{H/m}^2$

$\rho$ : плотность среды.

Скорость звука "а" для жидкостей в тонкостенных гибких трубах:

$$a = \sqrt{\frac{E_F}{\rho} \cdot \frac{1}{1 + \frac{D \cdot E_F}{S \cdot E_R}}} \text{ [m/s]}$$

Уравнение 10

Где:

$D$ : диаметр трубы

$S$ : толщина стенки

$E_F$ : абсолютная величина эластичности жидкости

$E_R$ : абсолютная величина эластичности материала трубы.

Для скорости распространения или скорости звука в воде можно использовать следующие значения:

Толстостенные металлические трубы:  $a \approx 1300 \text{ м/с}$

Тонкостенные металлические трубы:  $a \approx 1000 \text{ м/с}$ .

### 3.4.2. Время открытия и закрытия электромагнитных клапанов (время переключения)

Величина скачков всасывания или скачков давления также зависит от времени открытия и закрытия клапанов. Время открытия  $t_{откр}$  электромагнитных клапанов определяется временем, которое проходит до момента формирования магнитного поля после подачи напряжения на катушку. Время закрытия  $t_{закр}$  зависит от магнитной инерции катушки, механической инерции и силы давления пружины на сердечник, а также других гидравлических влияний, таких как тип среды (жидкая или газообразная) и вязкость.

В последующих двух разделах, посвященных возникновению и распространению скачков всасывания или скачков давления, мы в первую очередь будем исходить из того, что электромагнитные клапаны открываются и закрываются за время  $t = 0$ . После этого для каждого случая будет определено, как окончательное время открытия и закрытия влияют на величину скачков всасывания и давления.

### 3.4.3. Возникновение скачков всасывания у жидкостей

При внезапном открытии клапана на одном конце трубопровода, находящегося под давлением  $\Delta p$  (давление покоя  $p_R$  на Рисунке 11) за время  $t_{откр}=0$ , жидкость устремляется со скоростью:

$$w_0 = \frac{\Delta p}{a \cdot \rho}$$

Где:

$w_0$ : скорость после открытия клапана за период времени  $t=0$

$\Delta p$ : давление до открытия

$\rho$ : плотность жидкости

$a$ : скорость распространения волн давления.

Сразу после открытия клапана происходит внезапное падение давления, которое называют “скачком всасывания” или “отрицательным скачком давления”. Этот скачок всасывания приводит к “волне разряжения”, которая распространяется со скоростью звука от входа клапана против направления потока. Во всех точках, покрытых волной разряжения, жидкость первоначально движется со скоростью  $w_0$ , в то время как во всех других положениях трубопровода она находится в спокойном состоянии в направлении распространения волны перед волновым фронтом. Волна давления отражается на выходе емкости, движется назад ко входу клапана и снова отражается там и т. д. С такими волновыми движениями скорость потока растет постепенно до тех пор, пока в конце концов не достигается максимальная скорость  $w_1$  при стационарном потоке, которую можно рассчитать на основе следующей формулы:

$$w_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

Где:

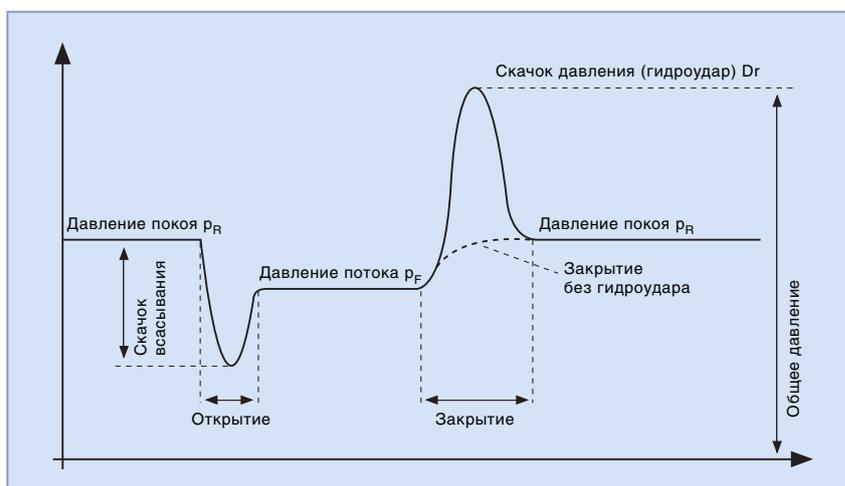
$w_1$ : скорость при стационарном потоке

$\Delta p$ : давление до открытия

$\rho$ : плотность жидкости.

Скачок всасывания, который вызывается внезапным открытием клапана за период времени  $t_{откр} = 0$ , уменьшает рабочее давление среды максимум до 0 бар. Скачок всасывания также не может превышать собственное рабочее давление и давления покоя. При этом скачок всасывания, как правило, не приводит к такому увеличению шума и повышенным нагрузкам на трубопровод, к какому приводит скачок давления, который может превышать рабочее давление (давление в спокойном состоянии) во много раз.

Время окончательного открытия клапана ( $t_{откр} > 0$ ) значит, что волны давления не достигают полной силы, а скачок всасывания практически не может достичь максимальной величины, то есть рабочего давления (см. рис. 12).



**Рисунок 12:**  
Изменения давления перед клапаном при его открытии или закрытии

#### 3.4.4. Возникновение скачков давления (гидравлический удар) у жидкостей

По внезапном закрытии клапана (время закрытия  $t_{закр} = 0$ ) при стационарном потоке со скоростью  $w_1$  происходит мгновенное замедление потока жидкости от  $w_1$  к  $w = 0$ . Это вызывает волну давления, которая проходит в противоположном направлении по отношению к потоку жидкости со скоростью звука "а". Волна давления отражается на выходе емкости (см. рис.11), движется назад ко входу клапана и отражается там снова и т. д. Наложение волн давления, идущих в противоположных направлениях потоку и рефлектирующих волн давления приводит к повышению давления, максимальное значение которого можно рассчитать в соответствии со следующим уравнением:

$$\Delta p_{max} = a \cdot \rho \cdot w_1$$

Уравнение 10

Где:

- $\Delta p_{max}$ : давление сразу после открытия клапана
- a: скорость распространения или скорость звука
- $\rho$ : плотность жидкости
- $w_1$ : скорость при стационарном потоке

Это превышение давления в соответствии с уравнением 10 называют скачком давления или «гидравлическим ударом». Он может превышать рабочее давление в несколько раз и, таким образом, привести к нежелательным шумам и, самое главное, к увеличению нагрузок на трубопровод.

Максимальный скачок давления  $\Delta p_{\max}$  уменьшается, если время закрытия клапана  $t_{\text{закр}}$  дольше времени распространения волны  $T_L$  от клапана до первой точки отражения волны давления (выход емкости на Рисунке 11) и обратно, то есть, если применимо следующее условие:

$$t_{\text{cl}} > T_L \quad \text{Условие 1}$$

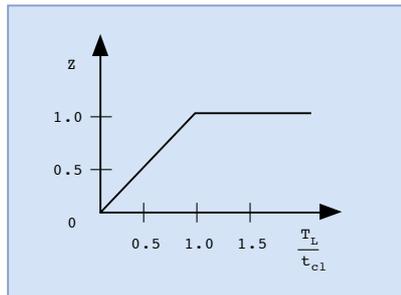
Если обозначить расстояние между клапаном и первой точкой отражения (см. рис. 11) как  $L$ , мы сможем рассчитать время распространения волны  $T_L$  следующим образом:

$$T_L = \frac{2L}{a}$$

При выполнении условия 1 волны давления не могут вырасти до полной силы. Из-за этого возникает дополнительная зависимость скачка давления  $\Delta p$  согласно уравнению 11 от соотношения  $T_L$  к  $t_{\text{закр}}$ . Это соотношение называют числом ударного действия  $Z$

$$Z = \frac{T_L}{t_{\text{cl}}} \quad \text{Уравнение 11}$$

Число ударного действия определяется только в диапазоне  $0 < Z < 1$ .  
 $Z = 1$  при  $t_{\text{cl}} < T_L$ .



Число ударного действия

Это приводит к следующей часто используемой формуле для расчета скачка давления для жидкостей:

$$\Delta p = Z \cdot a \cdot \rho \cdot w_1$$

Где:

$\Delta p$ : давление сразу после закрытия клапана

$a$ : скорость распространения или скорость звука

$\rho$ : плотность жидкости

$w_1$ : скорость при стационарном истечении

$Z$ : число ударного действия (см. рис.13)

Для газообразных сред действуют другие физические законы, которые здесь не рассматриваются, поскольку из-за низкой плотности газообразных сред скачки давления не такие резкие как у жидкостей.

### 3.4.5. Примеры расчетов

Результирующие скорости и давления при внезапном открытии и закрытии трубопровода будут продемонстрированы на примерах.

#### Постановка проблемы

В начале трубопровода расположена емкость с водой под давлением 100 бар =  $100 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> (см. рис.11). На конце трубопровода установлен электромагнитный клапан, который внезапно отсекает или перекрывает трубопровод за время  $t = 0$ . Предположим, что скорость звука  $a \approx 1000$  м/с. Плотность  $\rho = 103 \text{ кг/м}^3$ .

Сразу после открытия вода устремляется из клапана со следующей скоростью в соответствии с уравнением 12:

$$w_0 = \frac{100 \cdot 10^5}{10^3 \cdot 10^3} 10 \text{ м/с}$$

Уравнение 12

При этом давление в клапане внезапно падает со 100 бар до нуля. Волна падения давления -100 бар движется со скоростью звука к началу трубы А и достигает его через  $L/a$  с, таким образом, что вода здесь также начинает течь со скоростью 10 м/с.

Только после снижения движущихся в обоих направлениях по трубопроводу волн давления скорость потока начинает постепенно увеличиваться с 10 м/с до скорости стационарного потока, которую можно рассчитать в соответствии с уравнением 13:

$$w_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 10^5}{10^3}} \approx 140 \text{ м/с}$$

Уравнение 13

При внезапном закрытии клапана за время  $t = 0$  со стационарным потоком скорость потока уменьшается с 140 м/с до нуля. В этом случае следующий скачок давления рассчитывается в соответствии с уравнением 14:

$$\Delta p = a \cdot \rho \cdot w_1 = 10^3 \cdot 10^3 \cdot 140 = 1400 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2 = 1400 \text{ бар}$$

Уравнение 14

Это будет в 14 раз больше давления, первоначально приложенного к началу трубы. Это значение соответствует условию  $t_{\text{закр}} < T_L$ . Если время закрытия  $t_{\text{закр}}$ , например, в два раза больше, чем время распространения волны давления  $T_L$ , сила толчка давления сократится в 2 раза, т.е. до 700 бар.

### **3.4.6. Электромагнитные клапаны с регулируемым временем закрытия и открытия (время переключения)**

Для избежания гидроударов необходимо следить за тем, чтобы закрытие клапанов не было слишком быстрым. Огромное преимущество здесь имеют клапаны с регулируемым временем закрытия, которые в состоянии, таким образом, адаптироваться к таким ситуациям. Например, у клапана 5282 время закрытия регулируется при помощи дроссельного винта.

У сервоуправляемых 2/2-ходовых электромагнитных клапанов открывающее и закрывающее движение гасится. В этом случае время открытия и закрытия определяется размером дроссельных отверстий на входе и выходе из камеры над мембраной. Чем меньше дроссельное отверстие, тем медленнее закрывается клапан. На основе этой взаимозависимости можно изготавливать электромагнитные клапаны с регулируемым временем закрытия. Они обычно имеют постоянное сечение дроссельного отверстия, которое можно регулировать с помощью винта.

Дальнейшее гашение гидравлического удара может достигаться с помощью конструктивных особенностей и геометрической формы амортизирующего конуса, например, крепления мембранного держателя у мембранных клапанов.

## 4. Материалы электромагнитных клапанов Bürkert

Материалы для корпуса, уплотнения и привода отбираются и подбираются друг к другу для того, чтобы получить оптимальную продукцию с точки зрения функциональной надежности, совместимости с жидкостью, срока эксплуатации и экономичности.

В основном, при изготовлении клапанов используются материалы со свойствами, перечисленными в таблице. Информацию об использовании того или иного материала для каждого конкретного типа клапана можно найти в соответствующем техническом описании.

| Материалы                               | Сокращение | Общая химическая устойчивость  | Допустимая температура         |                                   |  |
|---|------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|--|
|   |            |  | Постоянная для нейтральн. сред | Кратковрем. для нейтральн. сред   | Постоянная для агрессив. сред                                |
| <b>Материалы катушки</b>                |            |  |                                |                                   |  |
| Эпоксидная смола                        | EP         | Устойчива к воздействию практически всех химических соединений. Не устойчива к воздействию низкомолекулярных органических кислот высокой концентрации и сильноокисляющих соединений. | -20 °C ...<br>+150 °C          |                                   |  |
| Polyamide                               | PA         | Смотри материалы корпуса (пластики).   |                                |                                   |  |
| <b>Материалы уплотнений и мембран</b>   |            |  |                                |                                   |  |
| EPDM<br>(Этилен-пропиленовый эластомер) | EPDM (A)   | Хорошая устойчивость к воздействию озона и эрозии, особенно хорошо подходит для агрессивных химических соединений. Не подходит для масел и жиров.                                    | -30 °C ...<br>+130 °C          |                                   | В зависимости от агрессивности среды и механической нагрузки |
| Витон                                   | FPM (F)    | Химические свойства наиболее благоприятны из всех эластомеров  | -10 °C ...<br>+150 °C          | -10 °C ...<br>+200 °C             |  |
| Пербуна                                 | NBR (B)    | Масло-жиростойкий. Не подходит для окисляющих сред.  | -10 °C ...<br>+90 °C           | -10 °C ...<br>+120 °C             |  |
| Хлоропрен<br>(неопрен)                  | CR (N)     | Химические свойства очень близки к свойствам ПВХ, пербунана и EPDM.  | -10 °C ...<br>+100 °C          | -10 °C ...<br>+110 °C             |  |
| Перфтоэластомер<br>Simriz, Kalrez       | FFKM       | Схож с тефлоном<br>(в зависимости от состава)  | -10 °C ...<br>+260 °C          | ...<br>+320 °C<br>(только Kalrez) |  |
| Chemraz                                 |            |  | +230 °C                        |                                   |  |
| Тефлон                                  | PTFE (E)   | Смотри материалы корпуса (пластики)  |                                |                                   |  |
| Сталь                                   | 1.4112     |  | -20 °C ...<br>+450 °C          |                                   | -20 °C ...<br>+150 °C  |

| Материалы                     | Сокращение           | Общая химическая устойчивость   | Допустимая температура         |                                 |                               |
|-------------------------------|----------------------|---|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
|                               |                      |   | Постоянная для нейтральн. сред | Кратковрем. для нейтральн. сред | Постоянная для агрессив. сред |
| <b>Металлические корпуса</b>  |                      |   |                                |                                 |                               |
| Нержавеющая сталь             |                      | Смотри таблицу устойчивости   | -20 °C ...<br>+400 °C          |                                 | -20 °C ...<br>+150 °C         |
|                               | 1.4401               | Также 1.4404, 1.4408, 1.4409, 1.44010   |                                |                                 |                               |
|                               | 1.4571               | Также 1.4581  |                                |                                 |                               |
|                               | 1.4305               | Также 1.4301, 1.4303  |                                |                                 |                               |
|                               | 1.4104               | Также 1.4105  |                                |                                 |                               |
| Серый чугун                   | GG 25                | Для нейтральных сред  | -20 °C ...<br>+180 °C          |                                 |                               |
| Чугун с шаровидным графитом   | GGG 40.3             | Для нейтральных сред  | -20 °C ...<br>+400 °C          |                                 |                               |
| Литая сталь                   | GS - C<br>C22, C25   | Для нейтральных сред  | -20 °C ...<br>+400 °C          |                                 |                               |
| Латунь                        | MS                   | Смотри таблицу устойчивости   | -20 °C ...<br>+250 °C          |                                 |                               |
| Бронза                        | RG                   | Смотри таблицу устойчивости   | -20 °C ...<br>+250 °C          |                                 |                               |
| <b>Пластиковые корпуса</b>    |                      |   |                                |                                 |                               |
| ПВХ<br>(поливинилхлорид)      | PVC                  | Устойчив к воздействию большинства кислот, щелочных и солевых растворов   | 0 °C ...<br>+60 °C             | 0 °C ...<br>+60 °C              | 0 °C ...<br>+40 °C            |
|                               | PVC-HT<br>chlor. PVC |   | 0 °C ...<br>+90 °C             | 0 °C ...<br>+110 °C             | 0 °C ...<br>+40 °C            |
| Полипропилен<br>Полиэтилен    | PP<br>PE             | Устойчивы к воздействию водных растворов кислот, щелочей и солей, а также большого количества органических растворителей. Не подходит для концентрирован. окисляющих кислот.    | 0 °C ...<br>+100 °C            |                                 | 0 °C ...<br>+60 °C            |
| Полиамид                      | PA                   | Устойчив к воздействию масел, жиров, восков, топлив, слабых щелочей, алифатических и ароматических углеводородов  | 0 °C ...<br>+100 °C            |                                 | 0 °C ...<br>+60 °C            |
| Тефлон                        | PTFE                 | Устойчив к воздействию фактически всех химических соединений. Не устойчив к воздействию жидкого натрия и фторсодержащих компонентов.  | -20 °C ...<br>+200 °C          | -20 °C ...<br>+260 °C           | -20 °C ...<br>+150 °C         |
| ПВДФ<br>(поливинилиденфторид) | PVDF                 | Не устойчив к воздействию горячих растворителей или кетона, сложного эфира или растворов сильных щелочей.   | -20 °C ...<br>+100 °C          |                                 |                               |
| ПФС<br>(полифенилсульфид)     | PPS                  | Устойчив к воздействию растворенных минеральных кислот, щелочей, алифатических и ароматических углеводородов, масел и жиров, воды, устойчив к гидролизу.                        | ... +200 °C                    |                                 | ... +260 °C                   |
| Полиэфирный кетон             | PEEK                 | Устойчив к воздействию большинства химических соединений. Неустойчив к воздействию концентрированной серной или азотной кислот и определенных галогенизированных углеводородов. | ... +250 °C                    | ... +300 °C                     |                               |

## 5. Сертификация

Для того чтобы обеспечить свободный обмен продукции на европейском рынке и гарантировать безопасную эксплуатацию, устанавливаются соответствующие требования по безопасности для потребителей и окружающей среды.

Со временем индивидуальные директивы и национальные стандарты развились в четкие стандарты, которые были утверждены национальным и международным законодательством.

Эти общепринятые стандарты гарантируют:

- совместимость оборудования из разных стран
- соблюдение производителями правил конструирования и производства

эти положения касаются следующих аспектов:

- защиту от рисков и опасностей
- координацию между техническими системами
- проверку и инспектирование продукции
- четкое описание содержания и характеристик продукции.

Государственные контролирующие органы требуют, чтобы потребители использовали только оборудование, соответствующее необходимым положениям безопасности. В номенклатуре продукции Bürkert есть большое количество клапанов, которые прошли соответствующую национальную и международную сертификацию.

Мы кратко опишем сертификаты и их содержание. Для получения более подробной информации обратитесь к отдельной брошюре “Сертификаты”.

### 5.1. Европейские директивы ATEX (ранее директивы Explosion Protection Direct - EEx)

Директива ATEX относится к оборудованию, компонентам и защитным системам для использования во взрывоопасных областях. Она также относится к технике безопасности эксплуатации оборудования вне взрывоопасных областей с учетом взрывоопасности.

Содержание:

- Горная промышленность и другие опасные области
- Стандарт для основных требований безопасности
- Комплексные системы защиты
- Защита от взрыва пыли
- Классификация устройств по данным категориям, которые, в свою очередь, могут применяться в соответствующих областях
- Соответствие систем качества изготовителей точно указанным целям и их сертификации соответствующими контролирующими органами
- Маркировка знаком CE и номером проверяющего органа
- Включение неэлектрического оборудования в область действия директивы



## 5.2.

### Международные сертификаты взрывозащиты:

В дополнение к европейским и североамериканским сертификатам по взрывозащите Bürkert также прошел сертификацию во многих других странах. Несколько примеров:

- Некоторые восточноевропейские страны, такие как: Россия, Польша, Чехия, Словакия, Венгрия, Хорватия
- Япония
- Австралия



## 5.3.

### Национальные сертификаты

Национальные сертификаты – это сертификаты, для которых еще нет европейских директив. Некоторые примеры, относящиеся к применению электромагнитных клапанов, приводятся ниже:

#### 5.3.1. Сертификат VDE (немецкого института инженеров-электриков) для клапанов, использующихся в контакте с бытовой водой

Самые важные требования:

- Требования по электрической безопасности
- Установленный режим работы
- Прочность на максимальное количество гидроударов
- Герметичность
- Механическая прочность компонентов.



#### 5.3.2. Рекомендации KTW - немецкого общества специалистов по газу и воде (пластик имеющий контакт с питьевой водой)/W270 DVGW:

Выполнение предписаний KTW также требуется при использовании

электромагнитных клапанов с сертификатом VDE в секторе питьевой воды. Гигиенические требования, применимые к неметаллическим материалам (например, эластомерным уплотнительным материалам), которые находятся в контакте со средой, принимаются за основу для этого предписания в соответствии с техническими условиями соответствующего федерального агентства.



#### 5.3.3. Сертификат предохранительного отсечного клапана

В качестве проверки определено соответствие европейскому стандарту EN 264 “Предохранительные устройства для отопительных установок, работающих на жидком топливе”. Испытательная лаборатория (например, TUV) составляет отчет о выполнении требований, таких как:

- установленный режим работы
- стойкость к непрерывной нагрузке
- требования по электрической безопасности
- герметичность
- механическая прочность компонентов.

Затем DIN CERTCO (сертифицирующая организация немецкого института стандартизации) выдает номер проверки и, таким образом, продукция сертифицируется.

## 5.4. Европейские сертификаты

Европейские сертификаты и знак CE необходимо рассматривать во взаимосвязи друг с другом. Поскольку продукция со знаком CE соответствует определенным правилам безопасности, продукция, маркированная таким образом, должна приниматься в государствах ЕС и европейской ассоциации свободной торговли (EFTA). Проводится различие между регулируемые и нерегулируемыми областями.

### Сертифицированная система качества

Проводится сертификация используемой системы качества в зависимости от охвата в соответствии со стандартами ISO 9000 – 9004. ISO 9001 охватывает системы качества от разработки продукции до заключительной инспекции продукции.

В нерегулируемой области в требовании содержится оговорка о том, что независимая организация должна провести проверку по типу принятому в ЕС.

К продукции Bürkert в зависимости от особенностей использования могут применяться следующие директивы:

- директива об оборудовании, работающем под давлением
- директива о газовых устройствах
- директива ATEX.

В нерегулируемой области прямой обязанностью изготовителя является проведение маркировки продукции с помощью знака CE. В этом случае от изготовителя может потребоваться декларация соответствия, определяющая применяемые стандарты. В зависимости от особенностей использования к продукции Bürkert могут быть применимы следующие директивы:

- директива о приборах работающих с пониженным напряжением
- директива об электромагнитной совместимости
- директивы о транспортных средствах
- директивы о медицинском оборудовании.

### 5.4.1. Сертификаты, имеющиеся у Bürkert

В регулируемой области Bürkert предлагает следующую продукцию:

- с сертификатом EEx
- в соответствии с директивами об оборудовании, работающем под давлением
- в соответствии с директивами о газовых устройствах.

В нерегулируемой области знак CE на продукции Bürkert указывает на:

- электромагнитную совместимость в областях применения
- соответствие директиве о приборах работающих с пониженным напряжением со следующими ограничениями:  
75–1500 В для постоянного тока  
50–1000 В для переменного тока
- соответствие директиве об оборудовании, работающем под давлением.



## 5.5.

### Североамериканские сертификаты

Они применяются в США и Канаде. Американское агентство по охране труда и здоровья (OSHA) составило правило OSHA. В стандарте 29 CFR требование к электрическим установкам или оборудованию разрешает монтаж только установок или оборудования, проверенного NRTL (национальной зарегистрированной испытательной лабораторией) на соответствие специфическим требованиям безопасности. Надзорные органы, определенные NRTL, включают в себя:

- Гарантийные лаборатории (Underwriters' Laboratories - UL) с тремя различными типами сертификатов:
  - UL-listed (зарегистрированный)
  - UL-recognized (признанный)
  - UL-classified (классифицированный)
- Канадская ассоциация стандартов (Canadian Standards Association - CSA).
- Система взаимного страхования предприятий (Factory Mutual - FM)

Bürkert имеет такой сертификат. Он также предлагает свои услуги в качестве сертификационного агента другим компаниям. Bürkert может обеспечить полный процесс получения сертификата CSA: от необходимых измерений до подготовки документации.

## 5.6.

### Международные сертификаты

Европейские директивы все чаще признаются и применяются в Восточной Европе.



## 6. От применения к оптимальному выбору клапана:

### 6.1. Электромагнитные клапаны для воды и других нейтральных сред

2/2-ходовые и 3/2-ходовые электромагнитные клапаны Bürkert для воды и других нейтральных сред

| Функция             |                      |                    |   | Принцип действия | Материал корпуса                         | Материал уплотнения |                  |         |          |      | Присоединения | Взрывозащита по запросу | Примечание                      |                          |                      |
|---------------------|----------------------|--------------------|---|------------------|--|---------------------|------------------|---------|----------|------|---------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 2/2-ходовой НЗ* (А) | 2/2-ходовой НО** (В) | 3/2-ходовой НЗ (С) | 3/2-ходовой НО (D) смеситель/распределитель/универсальный (E/F/I) | прямого действия | сервоуправляемый с принудит-ым поднятием | Латунь              | Нержавеюш; сталь | Пластик | Пербунан | EPDM |               |                         |                                 |                          | Витон                |
| •                   |                      |                    | •   | •                |  |                     |                  | •       |          |      | •             |                         | Фланец                          | изолированный от среды   | Тип 6124             |
| •                   | •                    |                    |   | •                | •  |                     |                  |         | •        |      | •             | •                       | Фланец                          | изолированный от среды   | Тип 6126             |
| •                   |                      | •                  | •   | •                |  |                     | •                | •       |          |      | •             | •                       | M5, G/NPT/RC 1/8<br>Фланец      |                          | Тип 6011             |
| •                   |                      | •                  | •   | •                |  |                     |                  |         | •        |      |               | •                       | Фланец, G/NPT/RC 1              | изолированный от среды   | Тип 6128             |
| •                   | •                    | •                  | •   | •                |  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/4<br>Фланец          | • изолированный от среды | Тип 0330<br>Тип 0331 |
|                     | •                    |                    |   |                  |  | •                   | •                | •       |          | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/8, 1/4<br>Фланец     | •                        | Тип 6013             |
|                     |                      |                    |   |                  | •  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/8, 1/4               |                          | Тип 0211B            |
| •                   |                      |                    |   | •                |  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/4, 3/8,<br>1/2       | •                        | Тип 0255             |
| •                   |                      |                    |   | •                |  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/4, 3/8,<br>1/2       | •                        | Тип 0256             |
| •                   |                      |                    |   |                  | •  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/4 - 1                |                          | Тип 6211             |
| •                   | •                    |                    |   |                  | •  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/4 - 1                | изолированный от среды   | Тип 6212             |
| •                   |                      |                    |   |                  | •  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/4 - 2                |                          | Тип 6213             |
| •                   |                      |                    |   |                  | •  |                     |                  | •       | •        |      |               |                         | Штуцер<br>G3/8, G3/4            | модульный                | Тип 6227             |
| •                   |                      |                    |   |                  | •  |                     |                  | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 3/8, 1/2               |                          | Тип 6228             |
| •                   |                      |                    |   |                  | •  | •                   |                  |         | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 3/8 - 2 1/2,<br>Фланец | •                        | Тип 5281             |
|                     | •                    |                    |   |                  | •  | •                   |                  |         | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 3/8 - 2 1/2,<br>Фланец |                          | Тип 0281B            |
| •                   | •                    |                    |   |                  | •  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | G/NPT/RC 1/2 - 2 1/2,<br>Фланец | • изолированный от среды | Тип 5282             |
| •                   |                      |                    |   |                  | •  | •                   | •                | •       | •        | •    | •             | •                       | 1/2 -2", Фланец (GG)            |                          | Тип 0290             |
|                     |                      | •                  | •   |                  | •  | •                   |                  |         |          | •    |               |                         | G/NPT 3/8 - 1 1/2               | •                        | Тип 0340             |

\* НЗ - нормально закрытый

\*\* НЗ - нормально открытый



## 6.2. Электромагнитные клапаны для нейтральных газов

2/2-ходовые и 3/2-ходовые электромагнитные клапаны Bürkert для нейтральных газообразных сред

| Функция             |                      | Принцип действия   |                    | Материал корпуса                               |                  | Материал уплотнения |                         |        |                  |         |          |      |       |                              |   |                         |            |  |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--|------------------|---------------------|-------------------------|--------|------------------|---------|----------|------|-------|------------------------------|---|-------------------------|------------|--|
| 2/2-ходовой НЗ* (А) | 2/2-ходовой НО** (В) | 3/2-ходовой НЗ (С) | 3/2-ходовой НО (D) | смеситель/распределитель/универсальный (E/F/G) | прямого действия | сервоуправляемый    | с принудит-ым поднятием | Латунь | Нержавеющ. сталь | Пластик | Пербунан | EPDM | Витон | Тефлон/перфторластомер       | Присоединения                                     | Взрывозащита по запросу | Примечание |  |
|                     |                      | •                  | •                  |  | •                |                     |                         |        |                  | •       |          |      | •     | Фланец                       | • Также с ручным переключателем                   | Тип 6104                |            |  |
|                     |                      | •                  | •                  | •  | •                |                     |                         |        |                  | •       |          |      | •     | Фланец                       | • Также с ручным переключателем                   | Тип 6106                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      | •                |         |          |      | •     | M5, G/NPT/RC 1/8<br>Фланец   |   | Тип 6011                |            |  |
|                     |                      | •                  | •                  |  | •                |                     |                         | •      | •                |         |          |      | •     | M5, G/NPT/RC 1/8<br>Фланец   | Также с ручным переключателем                     | Тип 6012                |            |  |
|                     | •                    |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      | •                |         | •        | •    | •     | G/NPT/RC 1/8, G1/4<br>Фланец | • Also DVGW                                       | Тип 6013                |            |  |
|                     |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      | •                |         | •        | •    | •     | G/NPT/RC 1/8, G1/4           |   | Тип 0211B               |            |  |
|                     |                      | •                  | •                  | •  | •                |                     |                         | •      | •                | •       |          |      | •     | G/NPT/RC 1/8, G1/4<br>Фланец | • Также с ручным переключателем                   | Тип 6014                |            |  |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |                     |                         | •      | •                |         | •        |      | •     | Фланец                       | изолированный от среды, с ручным переключателем   | Тип 6128                |            |  |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |                     |                         | •      | •                |         | •        | •    | •     | G/NPT/RC 1/4<br>Фланец       | • изолированный от среды, с ручным переключателем | Тип 0330<br>Тип 0331    |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      | •                |         | •        | •    | •     | G/NPT/RC 1/4, 1/8,<br>1/2    | •   | Тип 0255                |            |  |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      | •     | G3/8                         | • Также с ручным переключателем                   | Тип 6041                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      | •                |         | •        | •    | •     | G/NPT 1/4, 3/8, 1/2          | •   | Тип 0256                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      | •     | Rp 1/4, Rp 1/2               | DVGW  | Тип 0285                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      |       | G3/8, G1/2                   | DVGW  | Тип 0288                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      |       | G3/4, G1                     | DVGW  | Тип 0293                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        | •    | •     | G/NPT 1/4, 3/8, 1/2          |   | Тип 6211                |            |  |
| •                   | •                    |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      | •     | G/NPT/RC 3/8 - 1             | •   | Тип 6221                |            |  |
| •                   | •                    |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      | •     | G/NPT/RC 1/2 - 1"            | •   | Тип 5404                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        | •    | •     | 3/8 - 2 1/2, Фланец          | • Также с ручным переключателем                   | Тип 5281                |            |  |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |                     | •                       | •      | •                |         | •        | •    | •     | 1/2 -2", Фланец (GG)         |   | Тип 0290                |            |  |
|                     |                      | •                  | •                  |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      |       | G/NPT 3/8 - 1 1/2            | • С ручным переключателем                         | Тип 0340                |            |  |
|                     |                      | •                  | •                  |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      |       | G/NPT 3/8 - 1 1/2            | • С ручным переключателем                         | Тип 0343                |            |  |
|                     |                      | •                  | •                  |  | •                |                     |                         | •      |                  |         | •        |      |       | G/NPT 3/8 - 1 1/2            | • С ручным переключателем                         | Тип 0344                |            |  |

\* НЗ - нормально закрытый; \*\* НЗ - нормально открытый



## 6.3. Электромагнитные клапаны для агрессивных сред

2/2-ходовые и 3/2-ходовые электромагнитные клапаны Bürkert для агрессивных сред

| Функция             |                      | Принцип действия   |                    | Материал корпуса                               |                  |  |        |     | Материал уплотнения |     |      | Присоединения |   |               |          |      |  |                         |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--|------------------|--|--------|-----|---------------------|-----|------|---------------|---|---------------|----------|------|--|-------------------------|
| 2/2-ходовой НЗ* (А) | 2/2-ходовой НО** (В) | 3/2-ходовой НЗ (С) | 3/2-ходовой НО (D) | смеситель/распределитель/универсальный (E/F/I) | прямого действия | сервоуправляемый с принудит-ым поднятием | Латунь | ПФС | ПП                  | ПВХ | ПВДФ |               |   | Тефлон/Tefzel | Пербунан | EPDM | Витон  | Тефлон/перфторэластомер |
| •                   |                      |                    |                    | •  | •                |  |        | •   |                     |     |      |               |   |               | •        |      | Фланец   | Тип 6124                |
| •                   | •                    |                    |                    | •  | •                |  |        | •   |                     |     |      |               |   |               | •        | •    | Фланец   | Тип 6126                |
| •                   | •                    |                    |                    | •  | •                |  |        |     |                     |     |      |               |   |               | •        | •    | G/NPT 1/8, штуцер, фланец, UNF1/4 - 28           | Тип 0127                |
| •                   |                      |                    |                    |  | •                |  |        |     |                     |     |      | •             |   |               | •        | •    | G/NPT/RC 1/8<br>Фланец                           | Тип 0117                |
| •                   |                      | •                  |                    |  | •                |  |        |     | •                   |     | •    |               |   |               | •        | •    | G/NPT/RC 1/4, Фланец                             | Тип 6128                |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |  |        |     | •                   |     | •    |               |   |               | •        | •    | G/NPT/RC 1/8, G1/4                               | Тип 0124<br>Тип 0125    |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |  | •      |     |                     |     |      |               |   |               | •        | •    | G/NPT/RC 1/4, Фланец                             | Тип 0330<br>Тип 0331    |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |  | •      |     | •                   | •   | •    | •             |   |               | •        | •    | G3/8   | Тип 0121                |
| •                   |                      | •                  |                    |  | •                |  | •      |     |                     |     |      |               | • |               | •        |      | G/NPT/RC 1/4                                     | Тип 6041                |
| •                   | •                    | •                  | •                  | •  | •                |  |        |     |                     | •   | •    |               |   |               | •        | •    | G/NPT 3/8 - 3/4,<br>Муфта под склейку/под сварку | Тип 0131                |
| •                   |                      |                    |                    |  |                  | •  |        |     |                     | •   |      |               |   |               | •        | •    | G/NPT 3/8, 1/2, Муфта под склейку                | Тип 6642                |
| •                   | •                    |                    |                    |  |                  | •  |        |     |                     | •   | •    |               |   |               | •        | •    | G/NPT 1/2 - 2"<br>Klebe-, Schweilmuffe           | Тип 0142                |

\* НЗ - нормально закрытый

\*\* НЗ - нормально открытый



## 6.4. Электромагнитные клапаны для высоких температур и пара с температурой до 180 °С

Электромагнитные клапаны Bürkert для высоких температур и пара с температурой до 180 °С

| Функция             |                      |                    |                    | Принцип действия | Материал корпуса | Seal material | Диапазон давлений (бар)                        |                  |  |              |                             |               |     |      | Присоединения |      |      |      |                                      |          |       |      |      |  |  |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|---------------|--|------------------|--|--------------|-----------------------------|---------------|-----|------|---------------|------|------|------|--------------------------------------|----------|-------|------|------|--|--|
| 2/2-ходовой НЗ* (А) | 2/2-ходовой НО** (В) | 3/2-ходовой НЗ (С) | 3/2-ходовой НО (D) |                  |                  |               | смеситель/распределитель/универсальный (E/F/I) | прямого действия | сервоуправляемый с принудит-ым поднятием | Латунь       | Нержав. сталь               | Тефлон/графит | 0   | до 1 |               |      | до 2 | до 3 | до 4                                 | до 6     | до 16 |      |      |  |  |
|                     |                      |                    |                    |                  |                  |               |  |                  |  | Сечение в мм |                             |               |     |      |               |      |      |      |                                      |          |       |      |      |  |  |
|                     |                      |                    |                    |                  |                  |               |  |                  |  | 1.0          | 2.0                         | 3.0           | 4.0 | 6.0  | 8.0           | 12.0 | 16.0 | 20.0 | 25.0                                 | 32.0     | 40.0  | 50.0 | 65.0 |  |  |
| •                   |                      |                    |                    |                  | •                |               |  |                  | •  |              | [Pressure Range Indicators] |               |     |      |               |      |      |      | GNPT/RC 1/4, 1/8                     | Тип 6013 |       |      |      |  |  |
| •                   |                      |                    |                    |                  | •                |               |  | •                | •  |              | [Pressure Range Indicators] |               |     |      |               |      |      |      | GNPT/RC 1/4, 3/8, 1/2                | Тип 0255 |       |      |      |  |  |
| •                   |                      |                    |                    |                  | •                |               |  |                  | •  |              | [Pressure Range Indicators] |               |     |      |               |      |      |      | GNPT/RC 3/8 - 1                      | Тип 6038 |       |      |      |  |  |
| •                   |                      |                    |                    |                  |                  | •             |  | •                | •  |              | [Pressure Range Indicators] |               |     |      |               |      |      |      | G/NPT 1/2 - 1 1/2<br>DIN фланец (GG) | Тип 0406 |       |      |      |  |  |
| •                   |                      |                    |                    |                  |                  | •             |  | •                | •  |              | [Pressure Range Indicators] |               |     |      |               |      |      |      | G/NPT 1/2 - 2<br>DIN фланец (GG)     | Тип 0407 |       |      |      |  |  |

\* НЗ - нормально закрытый

\*\* НЗ - нормально открытый

## 6.5. Электромагнитные клапаны для высокого давления

Электромагнитные клапаны Bürkert на высокое давление

| Функция             |                      | Принцип действия   |                    |   | Материал корпуса |                  | Материал уплотнения     |        | Диапазон давлений (бар) |                   |          |                    |        |              | Присоединения | Взрывозащита по запросу |     |     |       |       |       |        |        |      |      |                 |   |          |  |
|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---|------------------|------------------|-------------------------|--------|-------------------------|-------------------|----------|--------------------|--------|--------------|---------------|-------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|--------|--------|------|------|-----------------|---|----------|--|
| 2/2-ходовой НЗ* (А) | 2/2-ходовой НО** (В) | 3/2-ходовой НЗ (С) | 3/2-ходовой НО (D) | смеситель/распределитель/универсальный (E/FT) | прямого действия | сервоуправляемый | с принудит-ым поднятием | Латунь | Нержав. сталь           | Полиэфирный кетон | Пербунан | Полихлорфторэтилен | Тефлон | от0          |               |                         |     | до1 | до 10 | до 25 | до 50 | до 100 | до 250 |      |      |                 |   |          |  |
|                     |                      |                    |                    |   |                  |                  |                         |        |                         |                   |          |                    |        | Сечение в мм |               |                         |     |     |       |       |       |        |        |      |      |                 |   |          |  |
|                     |                      |                    |                    |   |                  |                  |                         |        |                         |                   |          |                    |        | 1.0          | 1.2           | 2.0                     | 2.5 | 3.0 | 4.0   | 5.0   | 8.0   | 10.0   | 12.0   | 13.0 | 20.0 | 25.0            |   |          |  |
| •                   |                      |                    |                    |   | •                |                  |                         | •      | •                       |                   |          |                    | •      |              |               |                         |     |     |       |       |       |        |        |      |      | 1/4, 3/8, 1/2   | • | Тип 0255 |  |
| •                   | •                    |                    |                    |   | •                |                  |                         |        | •                       |                   |          |                    | •      |              |               |                         |     |     |       |       |       |        |        |      |      | GNPT 1/8-1/4    | • | Тип 2200 |  |
| •                   |                      |                    |                    |   |                  | •                |                         | •      |                         |                   | •        |                    | •      |              |               |                         |     |     |       |       |       |        |        |      |      | G/NPT RC 1/2-1" | • | Тип 5404 |  |
| •                   | •                    |                    |                    |   |                  | •                | •                       | •      | •                       | •                 | •        | •                  | •      |              |               |                         |     |     |       |       |       |        |        |      |      | G/NPT 1/4-1/2   | • | Тип 2400 |  |

\* НЗ - нормально закрытый

\*\* НЗ - нормально открытый

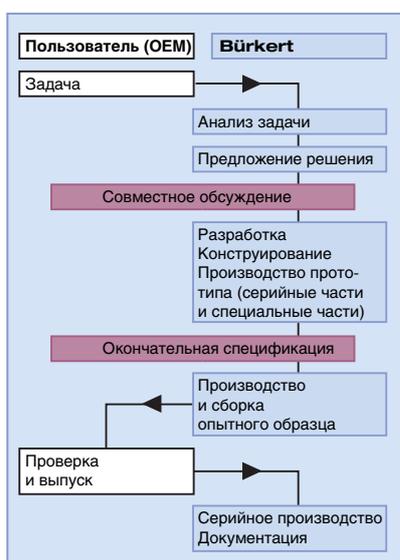
## 7. Всегда уникальное решение

### Все проблемы различны

Большое разнообразие компонентов, систем и подсистем, предлагаемых Bürkert – результат нескольких десятилетий опыта разработки продукции, востребованной рынком. Этот опыт формирует основу для охвата многих областей применения и выполнения многих задач. Однако в отдельных случаях этого может быть недостаточно для оптимального решения специфической задачи.

Наша концепция выполнения специальных технических требований с помощью скоординированного набора эксплуатационных характеристик позволяет нам предложить индивидуальное специализированное решение.

Такие решения часто содержат системы для стандартных функций, таких как смешение и дозирование, в комбинации со специально разработанными и произведенными частями. В большинстве случаев это индивидуально разработанные и произведенные соединительные элементы.



### Системный подход – в каждом решении Bürkert

Конечно, при разработке новых решений по индивидуальному заказу Bürkert полагается на свое всеобъемлющее конструкторское ноу-хау, современную производственную технологию, знание областей применения и опыт, полученные в ходе внедрения решений. Однако в процессе участвует еще один фактор: мотивация и решимость использовать все ресурсы, требуемые для выполнения вашей задачи в тесном сотрудничестве с вами, заказчиком и партнером.

### Системное сотрудничество

Вы знаете, что вам нужно. Мы знаем, что мы можем сделать. Тесное сотрудничество и непрерывный обмен информацией – вот путь, которым мы идем. Вне зависимости от того, являетесь ли вы OEM-партнером, производящим свое собственное комплексное оборудование, или “обычным” потребителем, – в лице Bürkert Вы выбрали правильную компанию для получения быстрого и эффективного решения. На решение проблемы требуется минимум времени.

### Проект – шаг за шагом

Дух сотрудничества: комбинация специфического опыта пользователя с ноу-хау опытного производителя оборудования.

## 7.1.

### Предохранительный клапан для управления горелкой

#### Область применения

Предохранительные клапаны устанавливаются в подводящий или обратный трубопровод для горелок на жидком топливе (солярка).

#### Конструкция

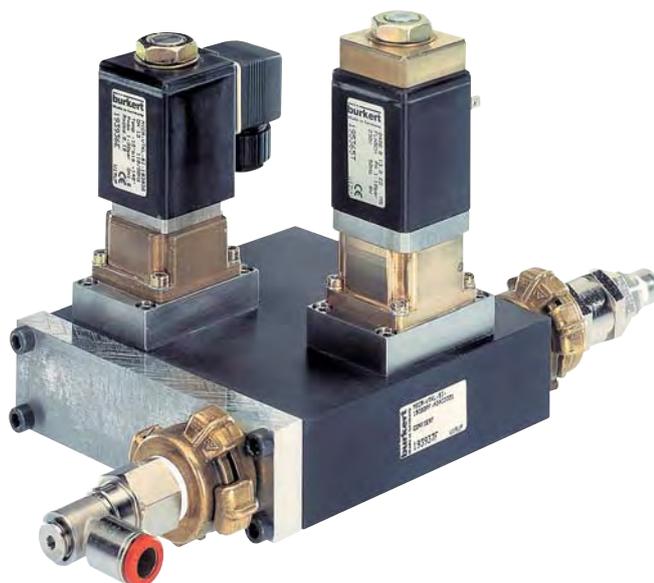
Два исполнения предохранительного клапана устанавливаются в блоке.

Используется как подающий клапан: нормально открытый клапан до 30 бар. Используется как возвращающий клапан: нормально закрытый клапан до 30 бар в направлении предохранительного отсека.

В то же время клапан работает как обратный клапан и открывается, начиная с давления в 0,15 бар в обратном направлении.

Если горелка или установка выключена, возвращающий клапан работает как обратный клапан (приводимый в действие пружиной).

Неиспользуемое топливо, течет беспрепятственно назад в бак. В предохранительном режиме подающий клапан запирается (оба клапана находятся под напряжением). Топливо не подается к горелке, а топливо, находящееся в трубопроводе перед горелкой, выпускается через обратный клапан.

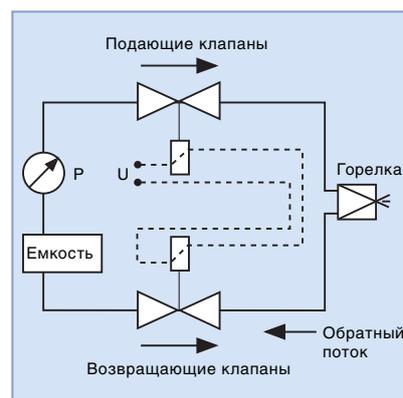


#### Характеристики

- Материал корпуса: латунь, нержавеющая сталь
- Материал седла: латунь, нержавеющая сталь
- Материал уплотнения: витон, тефлон, графит
- Среды: нейтральные газы и жидкости; масла и гидравлические жидкости
- Температура среды: от 10 до +140 °C
- Максимальная Температура воздуха: +55 °C
- Рабочее напряжение: 110 В, 50 Гц
- Допустимое отклонение напряжения: ±10%
- Длительность включения: непрерывная эксплуатация
- Электрическое соединение: кабельный разъем в соответствии с DIN 43 650 A,

например, тип 2508

- Положение при монтаже: любое, предпочтительно, чтобы привод был направлен вверх
- Класс защиты: IP 65 с кабельным разъемом
- Фильтр: использование клапанов разрешается только совместно с механическим сетчатым фильтром (отверстие в сетке менее 0,5 мм)



| Компоненты/Функция | Количество | Параметры   |
|--------------------|------------|---|
| Подающий клапан    | 1          | 2/2-ходовой н/о клапан; сечение 13 мм; расход = 2,0 м³/час; диапазон давлений - от 1 до 30 бар; противодействие 1 бар |
| Обратный клапан    | 1          | 2/2-ходовой н/з клапан; сечение 13 мм; расход = 2,0 м³/час; диапазон давлений - от 1 до 30 бар; противодействие 1 бар |

## 7.2.

### Распределение охлаждающей воды

#### Область применения

При управлении процессами, например, в автоматических машинах для нанесения покрытий, температурный режим отдельных процессов должен контролироваться с большой точностью. По этой причине измеряются температуры и расход охлаждающей воды перед напорной камерой. Благодаря подключению и отключению отдельных входов процесс охлаждения поддерживается на постоянном уровне.

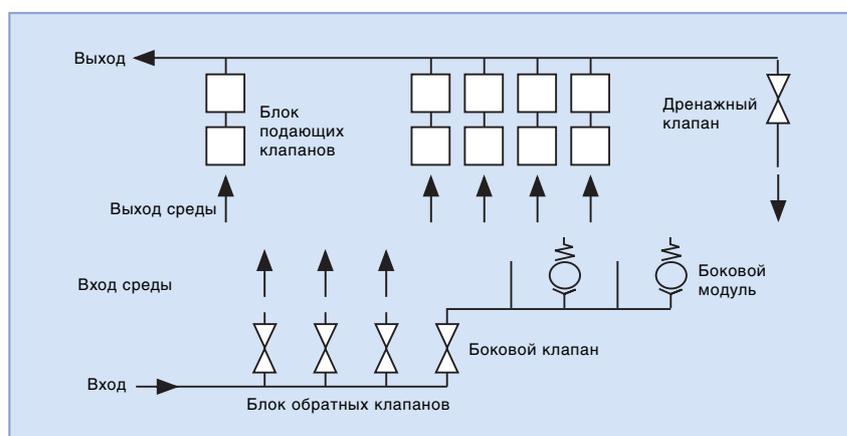
#### Конструкция

Основной смеситель на входе распределяет воду по трем клапанам. Эти клапаны напрямую соединены с различными охлаждающими каналами. Четвертый клапан управляет независимой охлаждающей трубой. Модульная конструкция обеспечивает внедрение очень большого количества различных расширительных ступеней с помощью простого фланцевого соединения. То же самое относится к обратному трубопроводу. Каждый модуль в этой секции содержит один расходомер и один температурный датчик.



#### Характеристики

- Общие линии из нержавеющей стали; блоки клапанов из пластика (POM)
- Уменьшение веса благодаря использованию пластика
- Модульная конструкция обеспечивает гибкое внедрение очень большого количества различных расширительных ступеней
- Возможность расширения модулей
- Фронтальная установка обеспечивает максимальное удобство обслуживания в ходе эксплуатации



| Компоненты/Функция                 | Количество | Параметры   |
|------------------------------------|------------|---|
| Блок подающих , клапанов, тип 6011 | 3          | Различные сечения, контур седла встроен в блоки                     |
| Боковой клапан, тип 6011           | 1          | Различные сечения, контур седла встроен в блоки                     |
| Боковой модуль                     | 1 - x      | Фланцевый распределительный блок со встроенными обратными клапанами |
| Блок обратных клапанов             | 1 - x      | Со встроенным расходомером и температурным датчиком                 |
| Дренажный клапан                   | 1          |   |

### 7.3.

## Регулятор смазывающего устройства

### Область применения

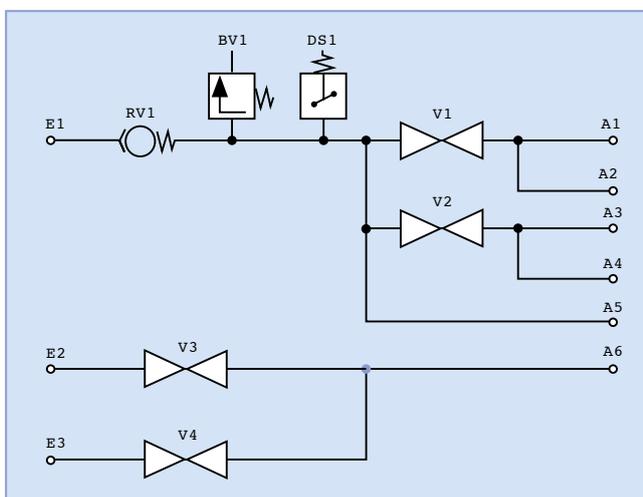
Регулятор регулирует нанесение смазки на поверхность. Среди прочих устройств он используется для смазки гребней колес железнодорожного подвижного состава. С помощью смазки минимизируется производимый шум.

### Конструкция

Блок клапанов сделан из анодированного алюминия. Предохранительный клапан защищает блок от чрезмерно высокого давления компрессора.

### Характеристики

- Корпус из анодированного алюминия
- Уплотнение - Пербунан
- Для нейтральных газов
- Температура среды от 0 до +50 °C
- Рабочее напряжение – 24 В
- Любое положение при монтаже.



| Компоненты/Функция                            | Количество | Параметры   |
|---|------------|---|
| 2/2-ходовой электромагнитный клапан, тип 6212 | 2          | От 0,2 до 10 бар, минимальное дифференциальное давление 0,5 бар |
| 2/2-ходовой электромагнитный клапан, тип 0375 | 2          | От 0 до 10 бар  |
| Предохранит. клапан                           | 1          | Давление открытия – 9 бар                                       |
| Реле давления                                 | 1          |   |
| Обратный клапан                               |            |   |

## 7.4.

### Вакуумный блок контроля герметичности серийных деталей

#### Область применения

Контроль герметичности упакованных товаров в процессе производства без повреждения или нарушения герметичности упаковки. Негерметичную упаковку необходимо обнаружить в течение короткого промежутка времени с тем, чтобы предпринять действия для вмешательства в неисправный процесс производства. Система в первую очередь используется в серийном производстве или упаковке.

#### Конструкция

Испытательный образец помещается и закрывается в камере. Последующие функции управляются с помощью блока клапанов. Воздух удаляется из камеры. Затем в камеру подается гелий. Через некоторое время гелий проникает в негерметичную упаковку. Это падение давления в камере измеряется. Затем гелий удаляется из камеры, и давление в ней выравнивается с атмосферным. Испытательный образец можно удалить.

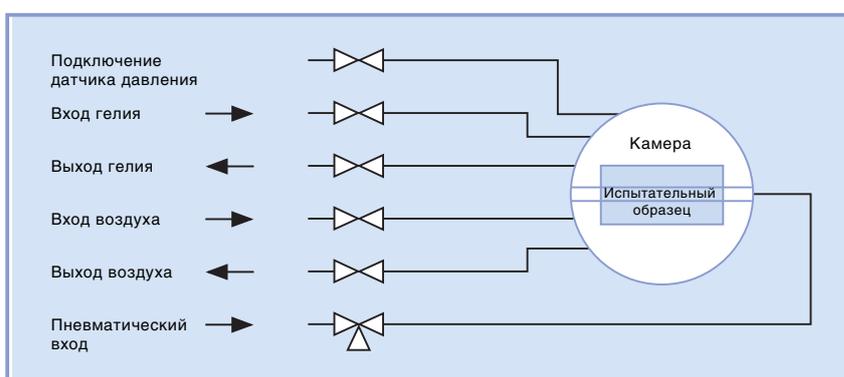


#### Характеристики

- Материал корпуса: алюминий
- Материал уплотнения: EPDM
- Среды: нейтральные газы
- Температура среды: от -10 ... +<50 °C
- Длительность включения: непрерывная эксплуатация
- Присоединения: разъем для пневматической трубки, Tri-clamp – с вакуумной стороны
- Очистка: специальная очистка для аналитических клапанов

Органический осадок в пределах миллиардной доли (ppb)

- Вакуумные клапаны проверены при  $1 \times 10^{-8}$  мбар • л/с
- Вакуумный блок проверен при  $1 \times 10^{-8}$  мбар • л/с
- Расширительные модули: встроены в блок клапанов. В некоторых случаях оборудуется дополнительными клапанами в зависимости от уровня автоматизации. Частично предусмотрены, дополнительные места под клапаны герметично перекрыты специальными пластинами.



| Компоненты/Функция | Количество | Параметры                                      |
|--------------------|------------|--|
| Клапан тип 0127    | 1          | 3/2-ходовой нормально открытый клапан          |
| Клапан тип 0256    | 4          | 3/2-ходовой нормально закрытый клапан; Ду 8 мм |
| Клапан тип 0301    | 1          | 3/2-ходовой фланцевый клапан                   |
| Клапан тип 6013    | 2          | 2/2-ходовой нормально закрытый клапан          |

## 7.5.

### Блок водяного охлаждения для компрессоров

#### Область применения

Блок клапанов используется в безмасленном винтовом компрессоре с водяным охлаждением. Компрессор приводится в движение с помощью клинового ремня и работает в замкнутом контуре. Для этой цели подаваемую воду необходимо постоянно подготавливать и охлаждать.

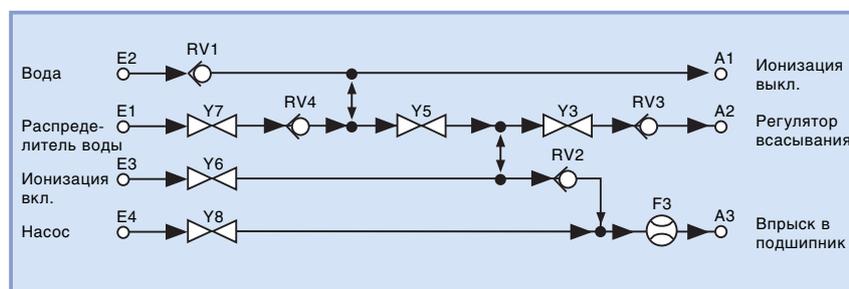
#### Конструкция

Компактный блок клапанов состоит из алюминиевого блока с 5 встроенными клапанами: тип 0280, 4 обратных латунных клапана и язычковое реле потока. Материал и конструкция обеспечивают использование деионизованной воды. У блока есть 4 входа и 3 выхода.



#### Характеристики

- Материал блока: анодированный алюминий
- Материал корпуса: клапана: латунь
- Материал обратного клапана: латунь
- Материал уплотнения: пербунан
- Среды: непитьевая деионизованная вода
- Давление среды: от 0,2 до 16 бар
- Температура среды: от -10 до +90 °C
- Максимальная окружающая температура: +55 °C
- Рабочее напряжение: 230 В, 50 Гц
- Класс защиты: IP 65



| Компоненты/Функция | Количество | Параметры                     |
|--------------------|------------|-------------------------------|
| Клапан, тип 0280   | 5          | Ду 13 мм; расход – 4,0 м³/час |
| Обратный клапан    | 4          |                               |
| Реле потока        | 1          |                               |

## 7.6.

### Клапанный блок для пищевой промышленности

#### Клапанный блок в испытательных установках

##### Область применения

Оптimalен в пищевой промышленности для дозирования вязких сред, например, йогурт или джем, или в качестве испытательной установки испытательных стендов для проверки герметичности образцов.

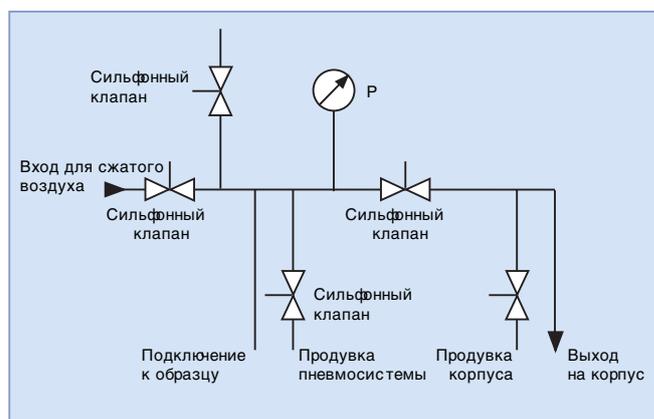
##### Конструкция

На данном примере рассматривается использование клапана как испытательной установки: в качестве клапанов управления процессом выступают сильфонные пневматические клапаны с установленными на них пилотными клапанами.

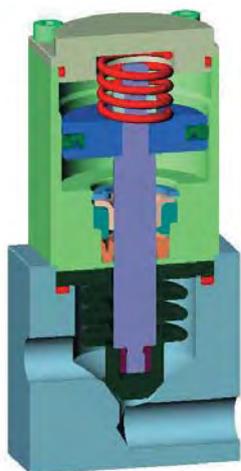


##### Характеристики

- Диапазон давлений среды: вакуум – 8 бар
- Управляющее давление сжатого воздуха: 4,5 – 5,5 бар
- Присоединение: G1/8
- Подключение сжатого воздуха: M5
- Диапазон температуры среды: от -30 до +100 °C
- Максимальная окружающая температура: от 0 до +55 °C
- Расположение входных и выходных отверстий: в зависимости от применения также сбоку для лучшей промывки или смешивания внутри клапана.



| Компоненты/Функция            | Количество | Параметры   |
|-------------------------------|------------|---|
| 2/2-ходовой сильфонный клапан | 2          | Пневмоуправляемый, Ду 6 мм; нормально закрытый                            |
| 2/2-ходовой сильфонный клапан | 3          | Пневмоуправляемый, Ду 6 мм; нормально открытый                            |
| Пилотный клапан               | 3          | 3/2-ходовой электромагнитный клапан с бистабильной (импульсной) катушкой  |
| Пилотный клапан               | 1          | Встроенные седла клапанов из нержавеющей стали 1.4305 (по запросу 1.4571) |



### 7.6.1. Сильфонный клапан

- 2/2-ходовой пневмоуправляемый клапан
- Изоляция от среды с помощью тефлонового сильфона
- Самоочищающаяся конструкция внутренней части клапана
- Асептическое уплотнение корпуса
- Легкий пневмопривод из алюминия

#### Характеристики

- Диапазон давлений среды: вакуум – 8 бар
- Управляющее давление: 4 – 8 бар
- Среда: нейтральные и агрессивные жидкости и газы
- Пневматика: сжатый воздух, подготовленный, а также сухой и безмасленный
- Подключение сжатого воздуха: М5
- Температура среды: от -30 до +100 °С
- Максимальная окружающая температура: от -20 до +100 °С.

Клапан WWB (нормально открытый)

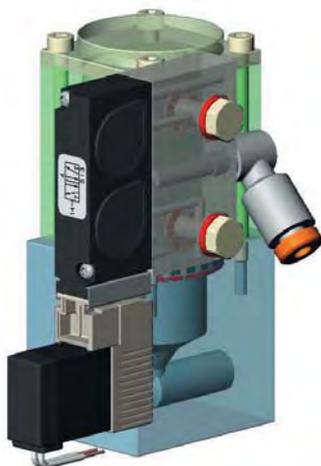
Клапан WWA (нормально закрытый)

### 3/2-ходовой пилотный клапан

- 3/2-ходовой пилотный клапан с бистабильной (импульсной) катушкой
- Универсальный (Функция Т)
- Присоединение к основному клапану при помощи специальной фланцевой плиты
- Диапазон давлений: вакуум - 5,5 бар
- Ду: 0,6 мм
- Потребляемая мощность: 1,5 Ватт
- Среда: нейтральные и агрессивные газы
- Подключение сжатого воздуха: М5
- Температура среды: от 0 до +50 °С
- Максимальная окружающая температура: +55 °С.

### 5/3-ходовой пилотный клапан

- 5/3-ходовой мембранный усилитель с 3/2-ходовым пилотным клапаном
- Пилотный клапан имеет бистабильную (импульсную) катушку
- Универсальный (Функция Н)
- Присоединение к основному клапану при помощи специальной фланцевой плиты
- Диапазон давлений: 2,5 – 5,5 бар
- Ду: 2,5 мм
- Потребляемая мощность: 1,5 Ватт
- Среда: нейтральные газы
- Подключение сжатого воздуха: М5
- Температура среды: от 0 до +50 °С
- Максимальная окружающая температура: +55 °С.



## 7.7.

### **Электромагнитные клапаны в технологии топливных ячеек**

#### **Область применения: выпускные клапаны**

Система служит для дренажа влаги из систем топливных ячеек, вне зависимости от того используются ли топливные ячейки в автомобилях, мобильных станциях или в стационарном оборудовании.

#### **Область применения: рециркуляция**

Система служит для рециркуляции среды внутри систем топливных элементов, вне зависимости от того, используются ли топливные элементы в автомобилях, мобильных станциях или в стационарном оборудовании.

Особенности:

- высокая герметичность в обратном направлении
- работа без перепада давлений

#### **Конструкция**

В зависимости от применения он встраивается либо как одиночный клапан, либо как модульное устройство в соответствующие системы. Одиночный клапан обычно устанавливается прямо в трубопровод. В случае модульного использования две дренажных функции или более комбинируются в клапанный блок. Затем этот блок клапанов легко встраивается в систему трубопровода.

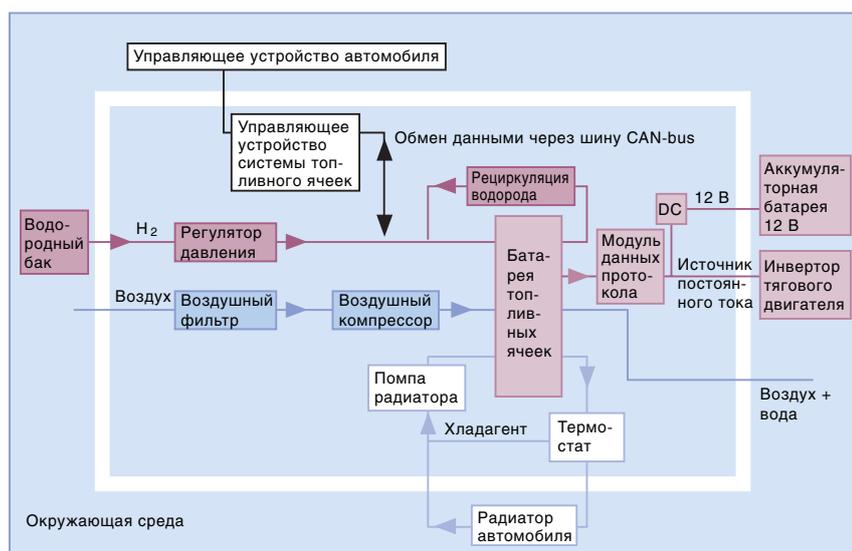


## Характеристики

- Благодаря изолирующей мембране, подходит для деионизованной воды, водорода, воздуха и агрессивных сред
- Низкий вес благодаря пластиковому корпусу
- Диапазон напряжений в соответствии с требованиями заказчика
- Возможна комплектация специальными автомобильными электрическими разъемами
- Конструкция блока предусматривает минимум отверстий (присоединений)
- Очень низкая доля утечки.



Основные типы используемых клапанов



| Компоненты/Функция | Количество | Параметры   |
|--------------------|------------|---|
| Одиночный клапан   |            | Габаритная ширина 10, 16 или 20 мм для очень высокой частоты переключений |
| Системное решение  |            | От 1 до x клапанов в блоке, в зависимости от требований заказчика         |

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| <b>A</b>                      |                     |
| ATEX                          | стр. 40, 42         |
| <b>C</b>                      |                     |
| CE                            | стр. 42             |
| CSA                           | стр. 43             |
| $c_v$                         | стр. 28             |
| <b>D</b>                      |                     |
| DVGW                          | стр. 41             |
| <b>I</b>                      |                     |
| IP                            | стр. 15             |
| <b>K</b>                      |                     |
| KTW                           | стр. 41             |
| $k_v$                         | стр. 27 – 29        |
| <b>Q</b>                      |                     |
| $Q_{Nn}$                      | стр. 28             |
| <b>U</b>                      |                     |
| UL Underwriters' Laboratories | стр. 43             |
| <b>V</b>                      |                     |
| VDE                           | стр. 41             |
| <b>B</b>                      |                     |
| Взрывозащита                  | стр. 19 – 21, 26,27 |
| Взрывозащищенные катушки      | стр. 15             |
| Взрывоопасные зоны            | стр. 40             |
| Время срабатывания            | стр. 33             |
| <b>Г</b>                      |                     |
| Герметизирующие материалы     | стр. 13, 15         |
| Гидравлический удар           | стр. 24,25,34,37,41 |
| Гидроудар                     | стр.24,25,34, 37,41 |
| <b>Д</b>                      |                     |
| Докритический расход          | стр. 30             |
| Дроссельное отверстие         | стр. 24 – 26, 37    |
| <b>З</b>                      |                     |
| Загрязненная среда            | стр. 26             |
| Закритический расход          | стр. 30             |
| Замыкающее кольцо             | стр. 10, 11         |
| <b>И</b>                      |                     |
| Изолирующая мембрана          | стр. 20, 21, 26     |
| Изоляция от среды             | стр. 21, 22         |
| Импульсные катушки            | стр. 14             |
| Индуктивное сопротивление     | стр. 10             |
| <b>К</b>                      |                     |
| Кабельный разъем              | стр. 15             |
| Катушка повышенной мощности   | стр. 14             |
| Качельный клапан              | стр. 20             |
| Качели                        | стр. 20             |
| Клапаны переменного тока      | стр. 10             |

|   |      |                 |
|---|------|-----------------|
| Клапаны постоянного тока                  | стр. | 9               |
| Клапаны прямого действия                  | стр. | 10              |
| Класс защиты                              | стр. | 15              |
| Коэффициент расхода                       | стр. | 29              |
| Критический коэффициент давления          | стр. | 30              |
| <b>М</b>                                  |      |                 |
| Магнитное поле                            | стр. | 8               |
| Магнитные силы                            | стр. | 8, 9            |
| Массовый расход                           | стр. | 29 – 31         |
| Мембрана                                  | стр. | 23, 25, 26      |
| <b>Н</b>                                  |      |                 |
| Нагревание катушки                        | стр. | 14, 15          |
| <b>О</b>                                  |      |                 |
| Отклонение напряжения                     | стр. | 13              |
| Объемный расход                           | стр. | 29, 31, 33      |
| <b>П</b>                                  |      |                 |
| Перепад давлений                          | стр. | 25, 26          |
| Превышение давления                       | стр. | 34              |
| Предохранительный отсечной клапан         | стр. | 41              |
| Пилотный клапан                           | стр. | 22 – 24         |
| Плунжер                                   | стр. | 8, 9, 18, 20–24 |
| Подъемная сила                            | стр. | 12              |
| Поршень                                   | стр. | 22, 24          |
| Принудительное поднятие клапана           | стр. | 22, 24, 25      |
| Проходные клапаны                         | стр. | 18              |
| <b>Р</b>                                  |      |                 |
| Регулирующий клапан                       | стр. | 27              |
| Рычажная катушка                          | стр. | 15, 20          |
| Рычажные клапаны                          | стр. | 20, 21          |
| <b>С</b>                                  |      |                 |
| Саморазогревание                          | стр. | 13              |
| Сервоуправляемый                          | стр. | 22 – 25         |
| Сервоуправляемые электромагнитные клапаны | стр. | 22, 24          |
| Сердечник                                 | стр. | 9, 18           |
| Сертификаты                               | стр. | 40              |
| Сертификаты взрывозащиты Страница41       |      |                 |
| Символы переключения                      | стр. | 17              |
| Скачок всасывания                         | стр. | 32 – 34         |
| Скачок давления                           | стр. | 32 – 34         |
| <b>У</b>                                  |      |                 |
| Универсальный ток                         | стр. | 18              |
| <b>Ф</b>                                  |      |                 |
| Функция                                   | стр. | 17, 19, 25, 26  |
| <b>Х</b>                                  |      |                 |
| Химическая устойчивость                   | стр. | 39              |
| <b>Э</b>                                  |      |                 |
| Эксплуатационные характеристики           | стр. | 13              |
| Электромагнитная совместимость            | стр. | 42              |
| Электрическое соединение                  | стр. | 15              |