

От редакции

Оригинальная статья была опубликована в журнале Valve Magazine, Winter, 2016, с. 16, издаваемом Американской Ассоциацией Арматуростроителей ([www.vma.org](http://www.vma.org)). Перевод Т.С. Складовой.

Фото с сайта: simbirskenergo.ru



## ОБЗОР УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Mohammad A. Malek

**Предмет:** Благодаря своему предназначению устройства сброса и снижения давления защищают наши жизни и имущество. Они выполняют важнейшие задачи по защите оборудования от катастрофических отказов, ради этого разработаны и применяются самые разные конструкции, для изготовления которых используются различные материалы.

### Основные темы:

- Устройства защиты от избыточного давления;
- Требования к таким устройствам;
- Применяемые стандарты и правила;
- Какая арматура подходит для данных функций.

**Выводы:** Тот, кто отвечает за выбор предохранительной техники, должен знать и те трудности, с которыми он столкнется, и те широкие возможности выбора, которые сегодня имеются.

» Если давление внутри оборудования – такого, например, как котлы или иные сосуды высокого давления – повысится сверх допустимого уровня, избыточное давление может привести к катастрофическим последствиям. Чтобы избежать подобного, для защиты оборудования применяются предохранительные устройства, настроенные за заранее установленное давление (рис. 1).

Недаром предохранительные устройства называют порой «последней линией обороны» оборудования, работающего под давлением. Аварии нередко случаются именно тогда, когда сами эти устройства выходят из строя, не выполнив те функции, для которых были сконструированы. Увы, производственники слишком часто пренебрегают данными устройствами или недоценивают их важности.



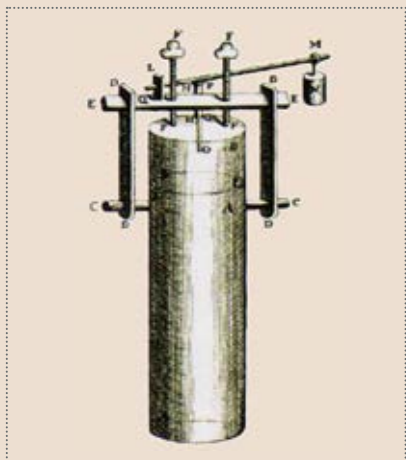
Рис. 1. Огневую трубу парогенератора защищают два предохранительных клапана.

**Об авторе**

**Mohammad A. Malek**, доктор наук, получил образование в Стэнфордском университете, занимается системами, работающими под давлением. Он также является консультантом ASME. Dr. Malek – автор книги «Устройства защиты от избыточного давления» (Pressure Relief Devices), опубликованной издательством McGraw-Hill. Пишите ему по адресу: [malekm@asme.org](mailto:malekm@asme.org).

**Первые шаги**

Предохранительные устройства известны еще с 17 века. Их изобретателем принято считать французского конструктора Дениса Папина, который в 1682 г. впервые применил предохранительный клапан для защиты котла. Клапан Папина поддерживался в закрытом положении с помощью рычага и подвижного груза. Перестановка груза вдоль рычага позволяла клапану открываться, регулируя давление пара (рис. 2). Конструкция стала широко применяться по всей Европе для различных целей.



**Рис. 2.** Конструкция первых предохранительных клапанов

В Соединенных Штатах к применению подобных предохранительных устройств подтолкнули взрывы более чем 1700 котлов, приведшие с 1905 по 1911 гг. к гибели 1300 человек. В 1915 году Общество американских инженеров-механиков (ASME) опубликовало свой первый стандарт по котлонадзору – «Правила разработки стационарных котлов и допустимые рабочие давления», в который были включены требования к разработке и установке на котлы предохранительных устройств.

С момента введения в действие ASME правил котлонадзора появилось множество новых разработок, развивающих конструкцию и принцип действия предохранительных устройств. Власти большинства штатов и Канады официально подтвердили требования к предохранительным устройствам, отразив их в своих национальных стандартах и сводах правил.

**Стандарты и своды правил**

Сегодня все предохранительные устройства, рассчитанные на давление настройки свыше 15 psi, разрабатываются, проектируются, подвергаются контролю и испытаниям, маркируются и сертифицируются в соответствии с Правилами по котлам и сосудам высокого давления ASME<sup>1</sup>. Каждое устройство имеет сертификационный знак и одно из восьми его обозначений (рис. 3).



**Рис. 3.** Сертификационный знак

Восемь обозначений сертификационного знака согласно Правилам по котлам и сосудам высокого давле-

ния ASME, разделы с I по XII издания 2015 г., таковы:

- V** Предохранительные клапаны для паровых котлов.
- NV** Предохранительные клапаны для атомных энергетических установок.
- HV** Предохранительные клапаны для отопительных котлов.
- UV** Предохранительные клапаны для оборудования, работающего под давлением.
- UV3** Предохранительные устройства для сосудов высокого давления с максимально допустимым рабочим давлением свыше 10,000 psi.
- UD** Разрывные устройства для оборудования, работающего под давлением.
- TV** Предохранительные клапаны для транспортных цистерн.
- TD** Разрывные устройства для транспортных цистерн.

В Правилах по котлам и сосудам высокого давления ASME не рассматриваются предохранительные устройства, рассчитанные на давление настройки ниже 15 psi. Не попадая под требования ASME, такие устройства могут разрабатываться и конструироваться в соответствии с другими стандартами.

Эксплуатационные характеристики предохранительных устройств определены ASME в Правилах по проведению гидравлических испытаний (ASME PTC 25-2014). Кроме того, в данных Правилах приведены определения типов и деталей предохранительных устройств.

Американский институт нефти (API) также разработал и издал Правила и стандарты по определению размеров, выбору, установке и контролю и испытаниям предохранительных устройств. Например, API RP 520,

<sup>1</sup> Имеется в виду в США. В мире применяется также API 520-2014, ISO 4126, в Европе – PED 97/23/ЕС, в России действуют Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», ГОСТ 24570-81, ГОСТ 12.2.085-2002, ГОСТ 31294-2005, ПБ 03-583-03, ИПКМ-2005, и др. (прим. ред.)

часть 1-2014 очень широко применяется для определения размеров и служит руководством по выбору предохранительных устройств в нефтяной промышленности.

**Разновидности предохранительных устройств и клапанов**

Предохранительные устройства управляются статическим давлением на входе. Они спроектированы таким образом, чтобы открываться при возникновении аварийной ситуации или нарушении заданных условий эксплуатации, и предназначены для защиты от чрезмерного давления среды, превышающего заданные или установленные значения.

Устройства применяются на всех типах оборудования высокого давления – от водонагревателей до парогенераторов, даже на космических кораблях. Назначением таких устройств является защита сосудов от избыточного давления, хотя они могут быть разработаны и для защиты от вакуума. А вот от чего они не защищают, так это от поломок, которые могут иметь место при нарушении условий эксплуатации, например, при высокой температуре во время пожара.

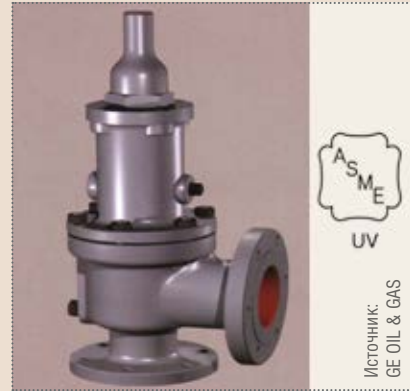
Сегодня на рынке представлено множество вариантов предохра-

нительных устройств. Основные их виды – это предохранительные устройства многократного использования и предохранительные устройства однократного применения.

**Предохранительные устройства многократного использования**

Предохранительные устройства многократного использования разработаны таким образом, чтобы после срабатывания вновь закрываться. Разновидности предохранительных устройств многократного использования приведены на **рис. 4**. Единственный вариант конструкции таких устройств – это предохранительный клапан. (Устройства однократного срабатывания включают разрывные мембраны и стержни. В первой части настоящей статьи рассказано об устройствах многократного применения. Об устройствах однократного срабатывания речь идет во второй части, которую можно найти на сайте [www.VALVEMagazine.com](http://www.VALVEMagazine.com)).

Основная функция предохранительных клапанов состоит в том, чтобы открыть затвор, сбросить избыточное давление, а после восстановления нормальных условий эксплуатации закрыть затвор, предотвратив дальнейший сброс рабочей среды (**рис. 5**). Сопутствующей функци-

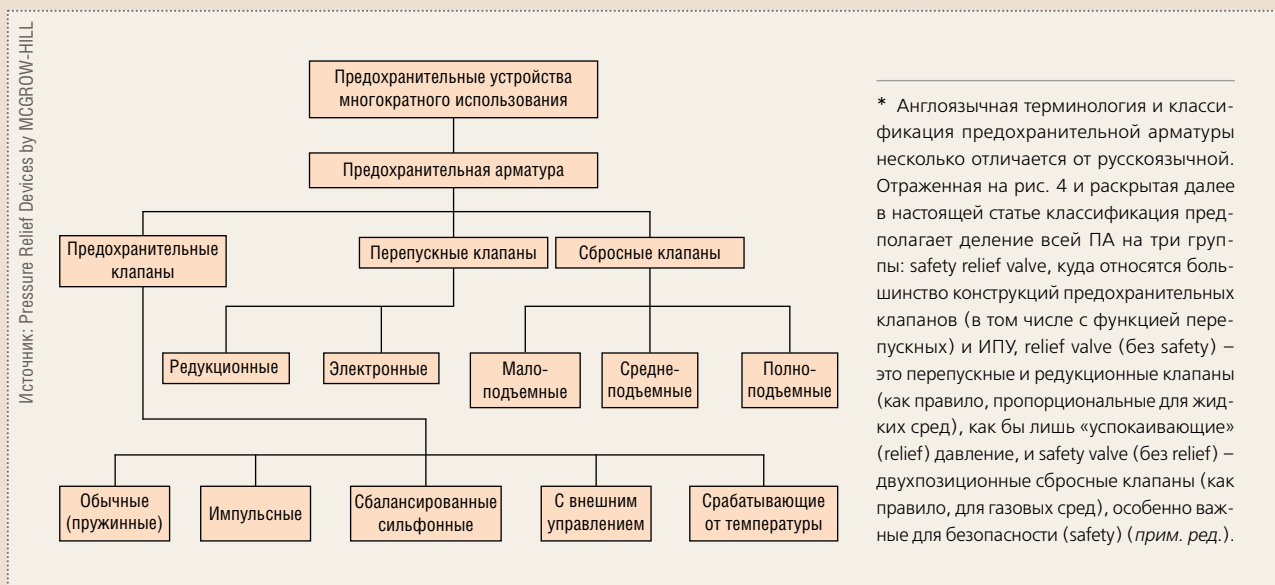


**Рис. 5.** Предохранительный клапан

ей является сведение к минимуму ущерба другим элементам системы при срабатывании. Предохранительные клапаны (устройства), разработанные в соответствии с требованиями ASME «Правила по котлам и сосудам высокого давления», должны иметь сертификационный знак и иметь одно из сертификационных обозначений: V, NV, HV, UV, UV3 или TV.

Преимущества предохранительных клапанов (устройств):

- Надежность, при условии правильно подобранных размеров и условий эксплуатации.
  - Они разнообразны и могут применяться во множестве отраслей промышленности.
- Недостатки предохранительных клапанов:
- На давление сброса влияет противодавление (давление, которое



**Рис. 4.** Разновидности предохранительных устройств многократного использования\*

\* Английская терминология и классификация предохранительной арматуры несколько отличается от русскоязычной. Отраженная на рис. 4 и раскрытая далее в настоящей статье классификация предполагает деление всей ПА на три группы: safety relief valve, куда относятся большинство конструкций предохранительных клапанов (в том числе с функцией перепускных) и ИПУ, relief valve (без safety) – это перепускные и редукционные клапаны (как правило, пропорциональные для жидких сред), как бы лишь «успокаивающие» (relief) давление, и safety valve (без relief) – двухпозиционные сбросные клапаны (как правило, для газовых сред), особенно важные для безопасности (safety) (прим. ред.).

может иметь место на выходе предохранительного клапана).

- При очень высоком динамическом противодействии может возникнуть вибрация.

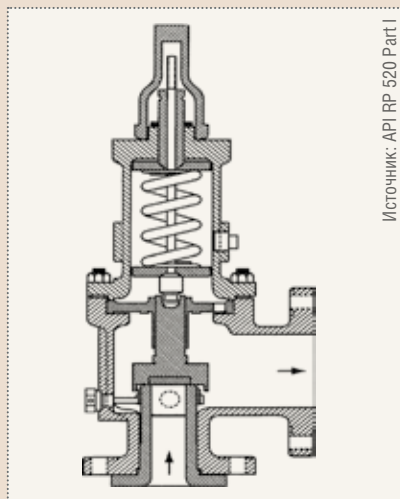
Существующие разновидности предохранительной арматуры базируются на различных конструкциях и технологиях. В целом, можно выделить предохранительные, перепускные и сбросные клапаны. Предохранительные клапаны, в зависимости от условий применения, могут применяться как в качестве редуцированных, так и в качестве сбросных клапанов.

Предохранительные клапаны (устройства) подразделяются на:

1. Обычные предохранительные клапаны (прямого действия).
2. Сбалансированные сильфонные клапаны.
3. Импульсные предохранительные устройства.
4. Клапаны непрямого действия.
5. Клапаны, срабатывающие по заданной температуре или давлению.

### Обычные предохранительные клапаны

Обычные предохранительные клапаны – пружинные предохранительные клапаны с разгрузкой, характеризующиеся быстротой срабатывания. Дан-



Источник: API RP 520 Part I

Рис. 6. Обычный пружинный предохранительный клапан

ные клапаны применяются в таких условиях эксплуатации, когда в системе отсутствует слишком высокое или слишком изменчивое противодействие. Эксплуатационные характеристики таких клапанов напрямую зависят от изменений противодействия в клапане.

Пример обычного предохранительного клапана приведен на рис. 6. Он состоит из следующих элементов:

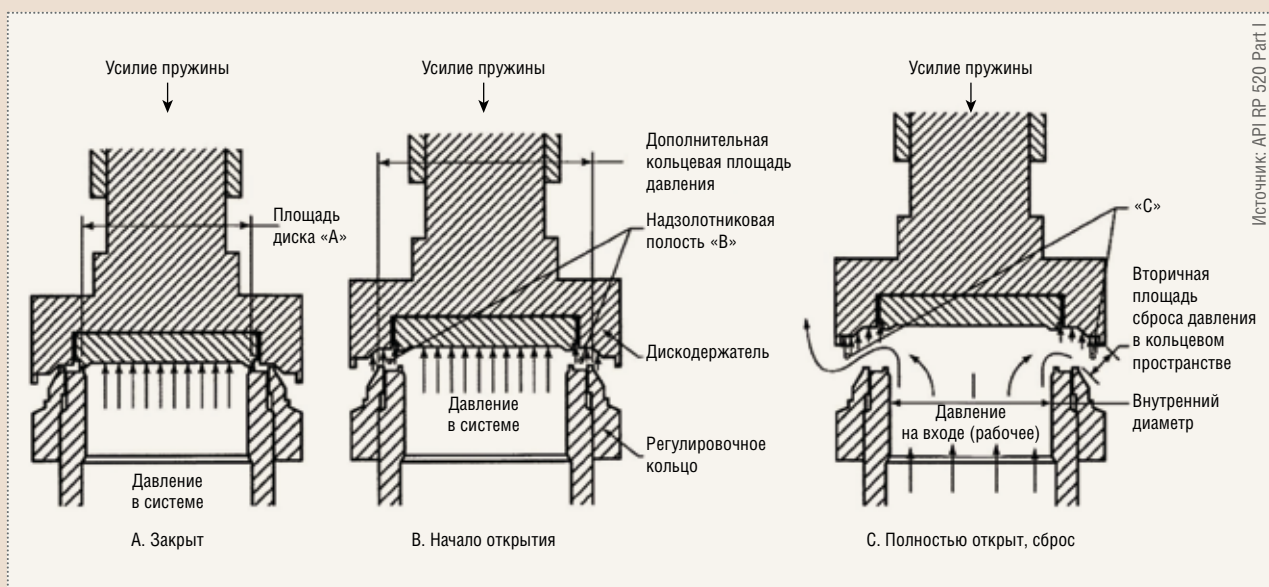
- входного патрубка, соединенного с защищаемым сосудом или системой;
- подвижного диска (тарелки), который регулирует расход;
- пружины, которая контролирует положение диска.

Принцип работы обычного предохранительного пружинного клапана основан на равновесии сил. Сила поджатия пружины задана так, чтобы она была равна силе, действующей на диск со стороны среды на входе при давлении в системе, равном давлению настройки клапана.

Диск остается в закрытом положении, пока давление на входе ниже давления настройки. Если давление на входе станет выше давления настройки и сможет преодолеть усилие пружины, клапан откроется. А как только давление на входе упадет ниже уровня давления настройки, он снова закрывается.

На рис. 7 показан принцип действия пружинного предохранительного клапана. При нормальных условиях, когда клапан закрыт, давление среды действует на поверхность диска (А), удерживаемого на седлах усилием пружины. Если давление в сосуде станет чуть выше давления настройки, среда через уплотнение седла проникнет в прилегающую к седлу кольцевую полость (В). Давление, возникшее в полости, преодолет усилие пружины, вызвав подъем диска и быстрое открытие клапана.

Когда клапан открывается, растет давление еще и в области (С). При разгрузке это добавочное давление заставляет диск подняться



Источник: API RP 520 Part I

Рис. 7. Принцип работы предохранительного клапана

до упора. Клапан закрывается, лишь когда давление на входе упадет существенно ниже давления настройки. Давление, при котором клапан закрывается, называется давлением закрытия (ранее называвшееся давлением обратной посадки). Разность (перепад) между давлением настройки и давлением закрытия – это давление сброса.

В традиционных конструкциях клапанов особое внимание следует обращать на герметичность в затворе. Утечки в затворе могут привести к постоянным потерям рабочей среды в системе и вызывать прогрессирующий износ поверхностей седел. В зависимости от материала уплотнения клапаны подразделяются на:

- *Клапаны с уплотнением металл по металлу.* Металлические седла изготавливаются из нержавеющей стали или других высокопрочных сталей; такие клапаны применяются, в основном, для высокотемпературных (например, пар) и агрессивных сред.
- *Клапаны с мягким уплотнением в затворе.* Там, где необходима более высокая герметичность, одна или обе уплотнительные поверхности покрываются эластичными материалами. Такие клапаны обычно применяются для газообразных и жидких сред. Для покрытий имеется широкий выбор материалов, но наиболее популярными являются витон, нитрил или ЕПДМ (каучук на основе этилен-пропилендиенового мономера).

### Сбалансированные сифонные предохранительные клапаны

Сбалансированные сифонные предохранительные клапаны – пружинные клапаны, в состав конструкции которых входит сифон, позволяющий минимизировать воздействие противодавления (рис. 8). Сифоны не только смягчают это воздействие (жесткость сифона добавляется к жесткости пружины), но и обеспе-

чивают герметичность по отношению к внешней среде, не позволяя рабочей среде попасть в атмосферу. Они защищают пружину, крышку и поверхности направляющих от контакта с рабочей средой.

Сбалансированные сифонные предохранительные клапаны рекомендуются устанавливать в системах, где имеется переменное противодавление, превышающее 10% от давления настройки.

Преимущества сбалансированных сифонных предохранительных клапанов:

- Противодавление не влияет на выпускное давление.
- Клапаны могут работать при более высоком уровне противодавления.
- Пружина защищена от коррозии.
- Высокая стойкость к химическим средам и высокой температуре.

Сбалансированные сифонные предохранительные клапаны можно разделить на две категории:

- *Клапаны сбалансированные сифонные.* По конструкции это те же обычные предохранительные клапаны, но с сифонным уплотнением по штоку, с помощью которого осуществляется балансировка.
- *Клапаны сбалансированные сифонные со вспомогательным балансирующим поршнем.* В таких клапанах сифоны не позволяют рабочей среде контактировать

с крышкой и ходовыми деталями. Вспомогательный уравнивающий поршень обеспечивает корректную работу клапана, компенсируя противодавление в случае выхода из строя сифона.

### Импульсные предохранительные устройства

Импульсное предохранительное устройство – это устройство, в котором основной предохранительный клапан объединен с вспомогательным предохранительным клапаном, который управляет основным (рис. 9).

Основное отличие импульсных предохранительных устройств (ИПУ) от пружинных клапанов заключается в том, что в ИПУ для удержания его в закрытом положении используется рабочее давление среды вместо усилия пружины. Импульсный клапан играет роль чувствительного элемента и воспринимает давление рабочей среды для нагнетания или сброса давления в камере ИПУ, т.е. применяется для передачи импульса на открытие или закрытие главного клапана.

ИПУ состоит из главного клапана, несбалансированного поршня (или мембраны) и внешнего импульсного (пилотного) клапана. Импульсный клапан регулирует давление в камере над несбалансированным подвижным элементом главного клапана.

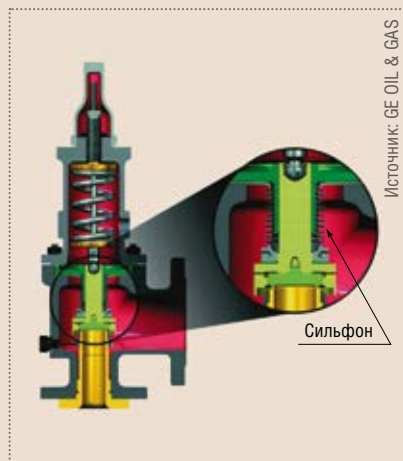


Рис. 8. Сбалансированный сифонный клапан



Рис. 9. Импульсное предохранительное устройство: основной клапан вместе со вспомогательным импульсным

Упругие седла, как правило, устанавливаются в нижней части.

При давлении в системе ниже уровня настройки давление с противоположных сторон подвижного элемента одинаково. Когда давление в системе становится равным давлению настройки, импульсный клапан открывается, давление в верхней полости сбрасывается<sup>2</sup>, и подвижный элемент (поршень или мембрана) перемещается вверх, заставляя главный клапан открыться и сбросить избыточное давление. Когда рабочее давление падает до установленного уровня, импульсный клапан закрывается, перекрывая линию разгрузки, закрывается и главный клапан.

Преимущества импульсных клапанов:

- Противодействие не влияет на давление настройки.
  - Клапаны отличаются более высокой герметичностью при больших соотношениях рабочего давления и давления настройки, позволяя операторам вплотную приблизиться к максимально допустимому рабочему давлению оборудования.
  - Клапаны больших диаметров стоят дешевле.
  - Менее чувствительны к вибрации.
- Импульсные клапаны подразделяются:
- В зависимости от типа привода (подвижного элемента):
  - Поршневого типа, в котором в роли неуравновешенного подвижного элемента выступает поршень.
  - Мембранного типа, в котором вместо поршня и его сальникового уплотнения применяется эластичная мембрана.
  - В зависимости от типа импульсного клапана:
  - Управляющий клапан с подрывом дает импульс главному клапану на полное открытие при заданном давлении без избыточного давления.

- Управляющий клапан модулирующего действия открывает главный клапан ровно настолько, чтобы отвечать требованиям заданной пропускной способности.
- В зависимости от прохода среды в импульсном клапане:
- Импульсный клапан проточного типа позволяет рабочей среде непрерывно проходить через него в открытом положении.
- Импульсный клапан непроточного типа не позволяет рабочей среде непрерывно проходить при открытом главном клапане.

### **Предохранительные клапаны непрямого действия**

Предохранительные клапаны непрямого действия (управляемые приводами) – это клапаны, в которых основное устройство управления сбросом (клапан) управляется другим устройством (приводом), требующим внешнего источника энергии.

Направление перемещения штока клапана на открытие или закрытие полностью зависит от источника энергии – будь то электрическая, пневматическая или гидравлическая энергия. Клапан может сбрасывать среду в атмосферу или в емкость, находящуюся под более низким давлением. Пропускная способность может зависеть от рабочих условий на выходе.

В основном, предохранительные клапаны непрямого действия (управляемые приводами) применяются для парогенераторов с наддувом с четко заданным уровнем пара или воды. Они также используются на атомных электростанциях.

### **Предохранительные клапаны, срабатывающие по температуре или давлению**

Предохранительные клапаны, срабатывающие по температуре или давлению<sup>3</sup> – клапаны, которые мо-



**Рис. 10.** Клапаны, срабатывающие по заданной температуре или давлению, защищающие водонагреватель

гут управляться не только давлением на входе, но и температурой (рис. 10).

Это клапаны двойного назначения: во-первых, они предотвращают повышение температуры внутри сосудов высокого давления сверх заданной границы (как правило, это 210 °F или 98 °C). Во-вторых, не позволяют давлению в сосуде подняться сверх заданного значения.

В таких клапанах имеются два главных контрольных элемента: пружина и термодатчик.

Обычно такие клапаны используются для водонагревателей питьевой воды и систем отопления.

### **Пропорциональные предохранительные клапаны**

Пропорциональные (перепускные) клапаны управляются статическим давлением на входе и открываются постепенно, как правило, пропорционально превышению рабочего давления над давлением открытия. Такие клапаны могут оснащаться герметичным кожухом пружины, пригодным для использования в системах закрытого типа, в которых рабочая среда может отводиться в специальную емкость.

<sup>2</sup> В статье описан принцип действия ИПУ с приводом разгрузки (прим. ред.).

<sup>3</sup> Кратко называемые по-английски T&P safety relief valve.

Обычно перепускные клапаны применяются на жидких средах, особенно на малых расходах и на средах с тепловым расширением. Они также могут применяться с насосами.

Пропорциональные клапаны подразделяются на:

- *Редукционные клапаны (Регулируемые перепускные клапаны)*, которые удобны возможностью настройки заданного давления на выходе. Они применяются в системах без сброса среды в атмосферу или со сбросом во внутренние ёмкости в химии, нефтехимии и в газовой промышленности (особенно для газов высокой чистоты).
- *Перепускные клапаны с электронным управлением* – клапаны с импульсным управлением с нулевыми утечками. Они объединяют в себе отсечной клапан, обеспечивающий 100% герметичность, с электрическим пультом управления, позволяющим отслеживать и регулировать давление в системе. Такие клапаны обеспечивают защиту от избыточного давления как в системах с ограничением расхода, так и в обычных случаях.

### **Предохранительные сбросные клапаны**

Основным устройством, применяемым для предотвращения возникновения избыточного давления на паросиловых установках, является предохранительный сбросной клапан (ПСК). В целом, принцип действия такого клапана тот же, что и у обычного предохранительного клапана. Сбросной клапан управляется статическим давлением на входе и отличается быстрым открытием или подрывом (рис. 11). ПСК, разработанный по требованиям первого раздела «Правил по котлам и сосудам высокого давления – Паровые котлы», должен иметь сертификационный знак и сертификационное обозначение V.

ПСК обычно применяются для защиты от избыточного давления кот-



Источник: Spirax Sarco, U.S.

**Рис. 11.** Предохранительный сбросной клапан

лов и для других целей, например, для устранения скачков давления газа после регулятора. Такие клапаны устанавливаются в обвязке котла всюду, где максимально допустимое рабочее давление может быть с большой вероятностью превышено. ПСК применяются также для сжимаемых газов, прежде всего, пара и воздуха.

ПСК классифицируются по высоте подъема диска (тарелки). Термин «подъем» относится к ходу клапана, который он совершает из закрытого положения в положение, необходимое для обеспечения заданной пропускной способности.

По этому критерию ПСК подразделяются на малоподъемные, среднеподъемные и полноподъемные, что отражается на их пропускной способности.

- *Малоподъемные* – сбросные клапаны, у которых высота подъема равна  $\frac{1}{24}$ -ой диаметра седла<sup>4</sup>. Их пропускная способность значительно меньше, чем у клапанов других типов.
- *Среднеподъемные* – сбросные клапаны, у которых высота подъема равна, по меньшей мере,  $\frac{1}{12}$ -ой диаметра седла. Средне-

подъемные клапаны применяются для сжимаемых сред, там, где необходимо обеспечить пропорциональный расход.

- *Полноподъемные* – сбросные клапаны, у которых высота подъема равна, по меньшей мере,  $\frac{1}{4}$ -ой диаметра седла. Полноподъемные клапаны считаются наилучшим выбором для энергетических систем.

### **Вспомогательные устройства предохранительных клапанов**

Предохранительные клапаны оснащаются множеством вспомогательных устройств, жизненно важных для их работоспособности:

- *Испытательные заглушки* применяются для удержания предохранительного клапана в закрытом положении при проведении гидравлических испытаний. Резьбовые заглушки во избежание повреждения шпинделя и/или седел затягиваются не до конца.
- *Подъемные механизмы* применяются для управления рычагами и пневматическими подъемными устройствами.
- *Крышки на болтах* могут устанавливаться на обычных клапанах сброса давления в дополнение к резьбовым крышкам.
- *Указатели положения запорного органа* – микровыключатели, применяемые для дистанционного контроля открытия клапана.

### **Заключение**

Существует множество самых разных вариантов защиты от избыточного давления, и понимание того, какой из них будет правильным для конкретного случая, критически важно для конечного потребителя. Настоящая статья дает читателю общее представление о предохранительных устройствах многократного действия, это лишь первая часть. Вторую часть, о предохранительных устройствах однократного действия, см. на сайте VALVEMagazine.com.

<sup>4</sup> В наших конструкциях применяются другие граничные значения: малоподъемные – до 0,05 диаметра седла; среднеподъемные – от 0,05 до 0,25; полноподъемные – не менее 0,25 диаметра седла (прим. ред).

# ЗАО «ТУЛАЭЛЕКТРОПРИВОД»

**НОВЫЕ МНОГООБОРОТНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ  
ДЛЯ АРМАТУРЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРОИЗВОДСТВ**



- **ДИАПАЗОН КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ  
15-24000 Н·м**
- **ДИАПАЗОН ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ ВЫХОДНОГО  
ВАЛА ОТ 5,6 ОБ/МИН ДО 180 ОБ/МИН**
- **МАРКИРОВКА ВЗРЫВОЗАЩИТЫ 1ExdII BT4**
- **СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ ОТ ПЫЛИ И ВЛАГИ IP67**
- **ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ИНТЕРФЕЙСУ  
RS485, ПРОТОКОЛ ОБМЕНА MODBUS, Profibus**



301114, Тульская область, Ленинский район,  
пос. Плеханово, улица Заводская, дом 1, корпус «А»  
Тел.: (4872) 72-45-11, 72-47-09. Факсы: (4872) 72-45-11, 72-47-17  
market@tulaprivod.ru, www.tulaprivod.ru