

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040485**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.06.09

(51) Int. Cl. **B60T 17/22** (2006.01)
B60T 13/68 (2006.01)

(21) Номер заявки
202191389

(22) Дата подачи заявки
2019.12.17

(54) СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ОБЪЕМЕ

(31) **102018000020125**

(56) **WO-A1-2018007187**

(32) **2018.12.18**

(33) **IT**

(43) **2021.11.30**

(86) **PCT/IB2019/060885**

(87) **WO 2020/128808 2020.06.25**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФАЙВЕЛЕ ТРАНСПОРТ ИТАЛИА
С.П.А. (IT)**

(72) Изобретатель:
**Лукарелли Стефано, Миттино
Маурицио, Тионе Роберто (IT)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

(57) Описан способ регулирования давления воздуха в объеме (101) путем приведения в действие впускного клапана (103) и выпускного клапана (104), которые изменяют давление в объеме (101), включающий, помимо прочего, предоставление матрицы (900), в каждой ячейке которой указано время отпирания впускного клапана (103) или выпускного клапана (104); и, если исходное значение (PVi) давления в объеме (101), измеренное датчиком (108) давления, меньше, чем целевое значение (PVt) давления, которого необходимо достичь, отпирание по меньшей мере одного впускного клапана (103) на время, указанное в выбранной ячейке, уменьшение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке, если значение давления в объеме (101) превосходит целевое значение (PVt) давления на значение допуска, и увеличение значения времени, указанного в выбранной ячейке, если измеренное значение давления в объеме (101) меньше, чем целевое значение (PVt) давления, по меньшей мере, на значение допуска; а если исходное значение (PVi) давления в объеме (101) больше, чем целевое значение (PVt) давления, отпирание по меньшей мере одного выпускного клапана (104) на время, указанное в выбранной ячейке, увеличение значения времени, указанного в выбранной ячейке, если измеренное значение давления в объеме (101) превосходит целевое значение (PVt) давления на значение допуска, и уменьшение значения времени, указанного в выбранной ячейке, если значение давления в объеме (101) меньше, чем целевое значение (PVt) давления, по меньшей мере, на значение допуска.

B1**040485****040485****B1**

Область техники

Настоящее изобретение относится, в общем, к области способов регулирования давления для пневматических или гидродинамических систем. А именно, настоящее изобретение относится к способу регулирования давления воздуха в объеме путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана. В частности, предложенный способ применяют в контексте железнодорожных тормозных систем.

Уровень техники

Схема, показанная на фиг. 1, иллюстрирует типовую систему регулирования давления воздуха в объеме 101. На вход электропневматического впускного клапана 103, который разрешает или блокирует подачу газа в объем 101, подают газ под давлением P_s подачи от источника 102. Электропневматический выпускной клапан 104 разрешает или блокирует выпуск газа из объема 101 в атмосферу. На фиг. 1 проиллюстрированы электропневматические клапаны, тип которых подразумевает, что в случае обесточивания клапанов электропневматический впускной клапан 103 блокирует впуск газа, поступающего из источника 102, а электропневматический выпускной клапан 104 соединяет объем 101 с атмосферой, выравнивая давление в объеме 101 с атмосферным. Для повышения давления внутри объема 101, на оба клапана, электропневматический впускной клапан 103 и электропневматический выпускной клапан 104, должно быть подано питание. В этом случае электропневматический впускной клапан 103 обеспечивает впуск газа, поступающего из источника 102, повышая давление внутри объема 101, а электропневматический выпускной клапан 104 не соединяет объем 101 с атмосферой и блокирует выпуск газа из объема 101 в атмосферу.

Для поддержания давления внутри объема 101 ненулевым и неизменным электропневматический впускной клапан 103 должен быть обесточен, а на электропневматический выпускной клапан 104 должно быть подано питание. Уровни давления, обеспечиваемые в объеме 101, зависят, таким образом, от длительности временных интервалов, в течение которых подают питание на электропневматический впускной клапан 103 и электропневматический выпускной клапан 104.

Могут применяться и аналогичные конфигурации, в которых управляющая логика клапанов является нормально-закрытой вместо нормально-открытой, и наоборот.

Систему, проиллюстрированную на фиг. 1, применяют, как правило, в контексте железнодорожных тормозных систем. А именно, объем 101 может представлять собой объем тормозного цилиндра или объем пилотной камеры клапана управления, используемого для управления давлением в тормозном цилиндре.

В области железнодорожных перевозок применяют, как правило, но без ограничения указанным, различные давления P_s подачи в диапазоне между 2 и 10 бар.

В приведенном ниже описании рассмотрено гидродинамическое поведение электропневматического впускного клапана 103 и электропневматического выпускного клапана 104, которое можно сравнить с поведением сопла. Такое допущение возможно вследствие размерных соотношений между пневматическими каналами в электропневматических впускном и выпускном клапанах 103, 104 и объемом 101, в обоих случаях, где упомянутый объем 101 представляет тормозной цилиндр или пилотную камеру клапана управления.

Из гидродинамики известно, что кривая расхода при заполнении объема через сопло имеет характеристики, качественно показанные на фиг. 2. Допустим, что источник 102 имеет достаточно большой объем, и можно считать, что значение давления P_s подачи при заполнении объема 101 является постоянным, тогда для мгновенных значений P_v давления внутри объема 101, меньших, чем значение, при котором скорость потока переходит от звуковой (постоянный поток) к дозвуковой, обозначенных P_x на фиг. 2, скорость воздуха через отверстие является постоянной звуковой скоростью, значение расхода газа в эквивалентном отверстии, представленном электропневматическим впускным клапаном 103, имеет, соответственно, постоянную величину F ; а когда мгновенное значение P_v давления превышает значение P_x , кривая расхода принимает криволинейную форму, идущую от значения F до нулевого значения, где

$$P_v = P_s.$$

Из гидродинамики отверстий известно, что

$$P_x = 0,528 \times P_s.$$

Если начертить соответствующую кривую изменения мгновенного давления $P_v(t)$ как функцию времени t на фазе заполнения, получим кривую, качественно проиллюстрированную на фиг. 3. Для значений $P_s < P_x$ функция $P_v(t)$ является прямолинейной, поскольку в этом диапазоне давлений расход потока постоянен; а для значений $P_s > P_x$ значение $P_v(t)$ асимптотически стремится к горизонтальной прямой

$$P_v = P_s.$$

Для различных значений P_s существует множество кривых расхода как функции мгновенного давления $F(P_v)$, они показаны на фиг. 4, и им соответствует множество кривых $P_v(t)$, показанных на фиг. 5. При этом известно, что между кривыми для различных давлений подачи P_s имеется прямопропорциональное соотношение, за исключением пренебрежимо малой константы.

На фиг. 5 можно видеть, что интервалы времени от $P_v(t) = P_1$ до $P_v(t) = P_2$ значительно различаются

при различных значениях P_s , т.е. $T_1 > T_3 > T_4$.

Поведение давления $P_v(t)$ при опорожнении объема 101 отличается от поведения при заполнении объема 101. Из гидродинамики известно, что для моделирования поведения $P_v(t)$ в случае опорожнения объема 101 в атмосферу через электропневматический выпускной клапан 104, начиная с исходного давления P_v , давление $P_v(t)$ может быть достаточно хорошо аппроксимировано экспоненциальной кривой

$$P_v(t) = P_{Vi} \times e^{-t/\tau},$$

где τ - временная константа, характеризующая систему.

К сожалению, исходя из сказанного выше, это означает, что система может быть описана как асимметричная и весьма нелинейная.

Для регулирования давления в объеме 101 обычно применяют системы, проиллюстрированные на фиг. 1 и 6. Электронный блок 105 принимает запрос P_d давления и значение P_f обратной связи, соответствующее мгновенному значению давления P_v , считанному датчиком 108 давления. Алгоритм 600 управления принимает расхождение 601 между сигналом P_d запроса давления и значением P_f обратной связи и управляет электропневматическими впускным и выпускным клапанами 103, 104 при помощи управляющих сигналов 106, 107 с целью сведения расхождения 601 к нулю.

Упомянутый алгоритм управления может принимать различные формы, среди которых наиболее известными и распространенными являются релейное управление (включено-отключено с гистерезисом), пропорционально-интегрально-дифференциальное управление (Proportional Integrative Derivative, PID) и нечеткая логика.

Описанное ниже в отношении упомянутых алгоритмов известно специалистам по управлению процессами путем регулирования с замкнутым контуром.

Релейное управление обладает преимуществом крайней простоты реализации, однако абсолютно нестабильно, когда объем 101 мал, как, например, размер пилотной камеры клапана управления. В этом случае время заполнения и опорожнения объема очень короткое, всего на один порядок больше, чем время возбуждения и обесточивания электропневматических впускного и выпускного клапанов 103, 104. В таком случае, как известно специалистам в данной области техники, для обеспечения стабильности необходимо применять очень широкую зону допуска, чтобы компенсировать ошибку, вносимую задержкой срабатывания упомянутых электропневматических впускного и выпускного клапанов 103, 104. Очень широкая зона гистерезиса приводит к низкой точности системы.

ПИД-регулирование очень эффективно при управлении исполнительными механизмами с характеристиками, близкими к линейным. В случае, показанном на фиг. 1, значительную нелинейность необходимо компенсировать очень высокой частотой отсчетов и ШИМ-модулирования для возбуждения/обесточивания электромагнитных клапанов, из-за чего клапаны очень быстро изнашиваются, и стоимость обслуживания системы растёт.

Управление на основе нечеткой логики позволяет получить несколько лучшие результаты по сравнению с релейным управлением и ПИД-регулированием, поскольку благодаря своему принципу действия оно позволяет также учитывать в качестве входной переменной значение давления P_s подачи и затем менять параметры согласно изменениям P_s , выполняя частичную линеаризацию системы. Однако управление на основе нечеткой логики требует обширной параметризации и очень сложной настройки.

В документе WO 2018007187 предложен способ управления для электропневматической системы, проиллюстрированной на фиг. 1. Предложенный способ основан на хранении опорной системы при помощи кривой или таблицы, содержащей нормализованную информацию о значениях времени возбуждения, которые следует применять для электропневматических впускного и выпускного клапанов 103, 104. При помощи дополнительных операций, выполняемых в реальном времени над упомянутой нормализованной информацией о значениях времени возбуждения, причем упомянутые операции основаны на дополнительных параметрах, зависящих от гидродинамических характеристик конкретной системы, и на некоторых факторах, относящихся к текущему состоянию системы, например текущих давлениях P_{Vi} и P_{Vs} , получают фактические значения времени возбуждения, которые следует применять для электропневматических впускного и выпускного клапанов 103, 104.

Сущность изобретения

Соответственно, одна из целей настоящего изобретения - создать способ и систему регулирования, которые адаптируются к физическим и гидродинамическим величинам конкретной регулируемой системы и которые непрерывно компенсируют отклонения в поведении отдельных компонентов, принадлежащих регулируемой системе, из-за вариаций температуры, износа и старения, поддерживая необходимую точность. Дополнительные цели относятся к минимизации количества возбуждений электропневматических клапанов при любом состоянии системы и состояниях компонентов регулируемой системы без снижения точности управления, а также возможности проводить общую диагностику регулируемой системы без необходимости детального диагностического контроля каждого отдельного компонента системы.

Для получения этих результатов в настоящем изобретении предложены способ и система регулирования давления воздуха в объеме путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневма-

тического впускного клапана и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана.

Способ, предложенный в настоящем изобретении, основан на управлении электропневматическими впускным и выпускным клапанами 103, 104, которое осуществляют путем применения значений времени отпирания, заранее сохраненных в матрице, входные переменные которой зависят от текущей характеристики давления в системе, регулируемой при помощи предложенного способа.

В частности, такая процедура отличается от описанной в документе WO 2018007187 и является усовершенствованной по сравнению с ней за счет дополнительной коррекции содержимого матрицы в реальном времени на основе ошибки, вычисляемой как разность между предполагаемым давлением в объеме и давлением, фактически полученным в объеме, что позволяет компенсировать расхождение между предполагаемым и фактическим давлениями в последующих циклах. Также имеется возможность общей диагностики системы, регулируемой при помощи предложенного способа, в реальном времени путем наблюдения за изменением содержимого матрицы в ходе ее постепенного изменения посредством сравнения, в реальном времени или через заранее заданные интервалы, с исходным состоянием матрицы.

Описанные выше, а также другие цели и преимущества могут быть достигнуты, в соответствии с одним из аспектов настоящего изобретения, в способе регулирования давления воздуха в объеме путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана, имеющего характеристики, указанные в п.1 формулы изобретения, а также при помощи системы регулирования давления воздуха в объеме путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана. Предпочтительные варианты осуществления настоящего изобретения определены в зависимых пунктах формулы изобретения, содержание которых является неотъемлемой частью настоящего описания.

Краткое описание чертежей

Далее будут описаны функциональные и структурные характеристики некоторых из предпочтительных вариантов осуществления способа и системы регулирования давления воздуха в объеме путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана в соответствии с настоящим изобретением. Описание ссылается на приложенные чертежи, где

- на фиг. 1 проиллюстрирована первая система регулирования давления воздуха в объеме, выполненная в соответствии с существующим уровнем техники;
- на фиг. 2 - форма кривой расхода через сопло;
- на фиг. 3 - форма кривой мгновенных значений давления внутри объема как функция времени на фазе заполнения;
- на фиг. 4 - формы множества кривых расхода как функции давления P_s подачи;
- на фиг. 5 - множество кривых мгновенных значений давления внутри объема, полученных на основе множества кривых расхода, показанных на фиг. 4;
- на фиг. 6 - вторая система регулирования давления воздуха в объеме, выполненная в соответствии с существующим уровнем техники;
- на фиг. 7 - экспоненциальная кривая, которая аппроксимирует кривую, показанную на фиг. 3;
- на фиг. 8 - кривая, обратная кривой на фиг. 7; и
- на фиг. 9 - пример двумерной матрицы.

Подробное описание изобретения

Перед подробным рассмотрением множества вариантов осуществления настоящего изобретения отметим, что настоящее изобретение не ограничено в своем применении конструктивными деталями и конфигурациями компонентов, представленными в последующем описании или проиллюстрированными на чертежах. Настоящее изобретение может иметь и другие варианты осуществления и может быть осуществлено на практике различными путями. Также нужно понимать, что использованные выражения и терминология являются исключительно описательными и не должны рассматриваться как ограничивающие. Выражения "включает" или "содержит", а также их варианты, следует понимать как охватывающие перечисленные после них элементы и их эквиваленты, а также дополнительные элементы и их эквиваленты.

Приведенное ниже подробное описание настоящего изобретения будет ссылаться, без ограничения, на случай, проиллюстрированный на фиг. 1. То есть это случай, в котором упомянутые электропневматические клапаны являются нормально-закрытыми электромагнитными клапанами. Очевидно, что могут применяться и нормально-открытые электропневматические клапаны и наоборот.

В первом варианте осуществления настоящего изобретения способ регулирования давления воздуха в объеме 101 путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана 103 и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана 104 включает следующий шаг:

- а) предоставление по меньшей мере одной матрицы 900, в которой каждая ячейка предназначена для указания предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана 103 или предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропнев-

матического выпускного клапана 104 как функции по меньшей мере исходного значения P_{Vi} давления внутри объема 101 и целевого значения P_{Vt} давления, которого необходимо достичь внутри объема 101.

При этом, если фактическое исходное значение P_{Vi} давления внутри объема 101 меньше, чем целевое значение P_{Vt} давления, которого необходимо достичь внутри объема 101, т.е. необходимо повысить давление внутри объема 101 по сравнению с исходным давлением, способ включает следующие шаги:

b) отпирание упомянутого по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана 103 на предполагаемое время отпирания, указанное в ячейке матрицы, при этом ячейку выбирают, по меньшей мере, как функцию фактического исходного значения P_{Vi} давления внутри объема 101 и требуемого целевого значения P_{Vt} давления;

c) по истечении предполагаемого времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, измерение значения давления, достигнутого внутри объема 101;

d) сравнение измеренного значения давления, достигнутого внутри объема 101, с требуемым целевым значением P_{Vt} давления;

e) уменьшение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутого внутри объема 101, превышает требуемое целевое значение P_{Vt} давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска; и

f) увеличение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутого внутри объема 101, меньше требуемого целевого значения P_{Vt} давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

Если, напротив, фактическое исходное значение P_{Vi} давления внутри объема 101 больше, чем целевое значение P_{Vt} давления, которого необходимо достичь внутри объема 101, т.е. необходимо понизить давление внутри объема 101 по сравнению с исходным давлением, способ включает следующие шаги:

b') отпирание упомянутого по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана 104 на предполагаемое время отпирания, указанное в ячейке матрицы, при этом ячейку выбирают как функцию, по меньшей мере, фактического исходного значения P_{Vi} давления внутри объема 101 и требуемого целевого значения P_{Vt} давления;

c') по истечении предполагаемого времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, измерение значения давления, достигнутого внутри объема 101;

d') сравнение измеренного значения давления, достигнутого внутри объема 101, с требуемым целевым значением P_{Vt} давления;

e') увеличение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, превышает требуемое целевое значение P_{Vt} давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска;

f') уменьшение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, меньше требуемого целевого значения P_{Vt} давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

Путем применения предложенного способа обеспечивается непрерывная коррекция значений времени отпирания и непрерывно повышается точность достижения с помощью одной команды на возбуждение, целевого давления P_{Vt} внутри объема 101 в пределах заранее заданного интервала допуска, определенного заранее заданным значением допуска.

На различных шагах, когда это необходимо, давление внутри объема 101 может быть измерено, например, с использованием датчика 108 давления, показанного на фиг. 1.

Рассмотрим численный пример: если заранее заданное значение допуска равно 0,2 бар, исходное давление $P_{Vi}=1$, а целевое $P_{Vt}=5$, то, если после отпирания электропневматического выпускного клапана 103 на время, указанное в выбранной ячейке матрицы, давление внутри объема 101 находится в диапазоне между 4,8 и 5,2 бар, нет необходимости увеличивать или уменьшать время в ячейке матрицы. Если же давление внутри объема менее 4,8 бар, необходимо увеличить время, указанное в ячейке матрицы; а если давление в объеме больше чем 5,2, необходимо уменьшить время, указанное в ячейке матрицы.

Рассмотрим еще один пример в цифрах: если заранее заданное значение допуска равно 0,2 бар, исходное давление $P_{Vi}=5$, а целевое $P_{Vt}=1$, то, если после отпирания электропневматического выпускного клапана 104 на время, указанное в выбранной ячейке матрицы, давление внутри объема 101 находится в диапазоне между 0,8 и 1,2 бар, нет необходимости увеличивать или уменьшать время в ячейке матрицы. Если же давление внутри объема менее 0,8 бар, необходимо уменьшить время, указанное в ячейке матрицы; а если давление в объеме больше чем 1,2, необходимо увеличить время, указанное в ячейке матрицы.

Ниже описан один из возможных способов заполнения матрицы. Только с целью наглядного пояснения обратим внимание, что экспоненциальная кривая на фиг. 7 аппроксимирует кривую, показанную на фиг. 3.

Например, на фиг. 7 давление $P_s=1$ бар.

На основе значений $P_v(t)$ можно получить обратную кривую $t(P_v)$, показанную на фиг. 8. Соответственно, на основе кривой фиг. 8 можно получить продолжительности отпирания электропневматическо-

го впускного клапана 103, необходимые для доведения давления в объеме 101 от любого исходного значения P_{Vi} до любого целевого значения P_{Vt} , большего P_{Vi} . Продолжительности отпирания получают как разность момента времени, соответствующего целевому значению P_{Vt} , и момента времени, соответствующего исходному значению P_{Vi} . Очевидно, что тот же метод может быть аналогичным образом применен для электропневматического впускного клапана 104, чтобы получить продолжительности отпирания электропневматического впускного клапана 104, необходимые для доведения давления в объеме 101 от любого исходного значения P_{Vi} до любого целевого значения P_{Vt} , меньшего чем P_{Vi} .

Вычислив продолжительности отпирания электропневматических клапанов с помощью описанного выше метода для различных исходных значений P_{Vi} и для различных целевых значений P_{Vt} давления, можно получить двумерную матрицу, один из примеров которой показан на фиг. 9. По оси абсцисс приведены исходные значения P_{Vi} давления, а по оси ординат - целевые значения P_{Vt} давления. В точке пересечения находится время отпирания, которое необходимо назначить для впускного клапана 103 или выпускного клапана 104 для перехода от исходного давления P_{Vi} к выбранному целевому давлению P_{Vt} . К примеру, разрешение двумерной матрицы, показанной на фиг. 9, соответствует 0,05 бар.

Как можно видеть на фиг. 9, матрица имеет нули при координатах $P_{Vi}=P_{Vt}$ и $P_{Vi}>P_{Vt}$. Это наблюдение позволяет объединить матрицы, относящиеся к времени отпирания впускного клапана 103 для заполнения объема и к времени отпирания выпускного клапана 104 для опорожнения объема, в одну матрицу. Диагональ, соответствующая координатам $P_{Vi}=P_{Vt}$, останется нулевой и будет разделителем между двумя случаями.

В альтернативных решениях могут создаваться две матрицы, первая матрица для случая $P_{Vi}>P_{Vt}$, и вторая матрица - для случая $P_{Vi}<P_{Vt}$.

Матрица может быть также трехмерной, при этом каждая ячейка матрицы 900 может быть предназначена для указания предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана или по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана как функции исходного значения P_{Vi} давления, целевого значения P_{Vt} давления и значения P_s давления подачи.

Трехмерную матрицу используют, если давление P_s подачи также может меняться при работе системы. Трехмерная матрица, соответственно, имеет три измерения, P_{Vi} , P_{Vt} и P_s . В таком случае ячейка матрицы может выбираться как функция фактического исходного значения P_{Vi} давления внутри объема 101, требуемого целевого значения P_{Vt} давления и значения P_s давления подачи.

Или же матрица может быть двумерной, а каждая ячейка матрицы 900 может быть предназначена для указания предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана или по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана как функции отношения исходного значения P_{Vi} давления к значению P_s давления подачи и целевого значения P_{Vt} давления. В таком случае ячейка матрицы может выбираться как функция отношения фактического исходного значения P_{Vi} давления внутри объема 101 к значению P_s давления подачи и требуемого целевого значения P_{Vt} давления.

В еще одном из вариантов матрица 900 может быть также двумерной, при этом каждая ячейка матрицы 900 может быть предназначена для указания предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана или по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана как функции отношения исходного значения P_{Vi} давления к значению P_s давления подачи и разности между целевым значением P_{Vt} давления и исходным значением P_{Vi} давления. В таком случае ячейка матрицы может выбираться как функция отношения фактического исходного значения P_{Vi} давления внутри объема 101 к значению P_s давления подачи и разности между требуемым целевым значением P_{Vt} давления и фактическим исходным значением P_{Vi} давления внутри объема 101. При выборе ячейки матрицы как функции, по меньшей мере, исходного давления P_{Vi} и целевого давления P_{Vt} может потребоваться округлить исходное давление P_{Vi} и целевое давление P_{Vt} . К примеру, если нужно найти продолжительность отпирания для перехода от $P_{Vi}=0,37$ бар к $P_{Vt}=0,69$ бар, выбранная ячейка может соответствовать функциональной ячейке для $P_{Vi}=0,35$ бар и $P_{Vt}=0,7$ бар, т.е. ячейке 901, содержащей значение 0,85 с. Интервал допуска, с которым сравнивают достигнутое значение, должен быть выбран таким образом, чтобы ошибка, вводимая округлением P_{Vi} и P_{Vt} , была пренебрежимо мала. С этой целью интервал допуска может соответствовать по меньшей мере $\pm$ одному шагу дискретизации координат, т.е. в данном примере $\pm 0,05$ бар.

Специалистам в данной области известно, что при применении микропроцессорных систем управления регулировка управляемых систем осуществляется с фиксированной частотой, называемой частотой отсчетов; в таком случае, если время отпирания электропневматического клапана, взятое из двумерной матрицы, длительнее периода взятия отсчетов, то в каждом новом периоде взятия отсчетов в пределах времени отпирания электронный блок может, при необходимости, обновлять время отпирания, беря новое значение из двумерной матрицы, с использованием текущего значения P_f обратной связи на момент отсчета в качестве исходного давления. Таким образом, электронный блок в реальном времени может компенсировать возможные отклонения между предполагаемым поведением системы, описанным

двумерной матрицей, и реальным поведением системы под его управлением.

Вернемся к рассмотрению способа регулирования давления воздуха в объеме 101 путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана 103 и по меньшей мере одного электропневматического выпускного 104 клапана, применяемых для изменения давления внутри упомянутого объема 101. Шаги b, c, d, e и шаги b', c', d', e', f могут повторяться до тех пор, пока измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, не будет попадать в заранее заданный диапазон допуска, заданный как требуемое целевое давление $PVt \pm$ значение допуска.

То есть, если исходное значение PVi давления внутри объема 101 меньше, чем целевое значение PVt давления, которого необходимо достичь внутри объема 101, описанные выше шаги b, c, d, e, f могут повторяться до тех пор, пока измеренное значение давления, достигнутое в объеме 101, не превысит целевое значение PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска, или до тех пор, пока измеренное значение давления, достигнутое в объеме 101, меньше целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска. Такое повторение необходимо в том случае, когда путем однократного отпирания впускного клапана 103 в объеме 101 не удалось достичь измеренного значения давления, превосходящего целевое значение PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска, или не удалось достичь значения давления, которое ниже целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

С другой стороны, если исходное значение PVi давления внутри объема 101 выше, чем целевое значение PVt давления, которого необходимо достичь внутри объема 101, описанные выше шаги b', c', d', e', f могут повторяться до тех пор, пока измеренное значение давления, достигнутое в объеме 101, не будет меньше целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска, или до тех пор, пока измеренное значение давления, достигнутое в объеме 101, больше целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска. Такое повторение необходимо в случае, когда путем однократного отпирания выпускного клапана 104 в объеме 101 не удалось достичь измеренного значения давления, меньшего целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска, или не удалось достичь значения давления, большего целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

В еще одном из аспектов настоящего изобретения шаг измерения значения давления, достигнутого внутри объема 101, может выполняться по истечении периода времени, необходимого для стабилизации давления внутри объема после момента запираания по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана 103 или по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана вслед за его отпиранием на время отпирания, указанное в выбранной ячейке матрицы. Время стабилизации может быть выбрано таким образом, чтобы угасли флуктуации давления в объеме 101, которые могут возникать после запираания электропневматического впускного клапана 103 или электропневматического выпускного клапана 104.

Очевидно, что значение времени отпирания на шаге e может быть уменьшено на первое заданное значение, значение времени отпирания на шаге f может быть увеличено на второе заданное значение, значение времени отпирания на шаге e' может быть увеличено на третье заданное значение, и значение времени отпирания на шаге f' может быть уменьшено на четвертое заданное значение. Первое заданное значение, второе заданное значение, третье заданное значение и четвертое заданное значение могут, но не обязательно, быть равными и соответствовать заранее заданным постоянным значениям коррекции, которые могут храниться, например, на носителе данных.

Первое заданное значение, второе заданное значение, третье заданное значение и четвертое заданное значение могут также определяться как функции разности между измеренным значением давления, достигнутым внутри объема 101, и целевым значением PVt давления.

В еще одном из аспектов настоящего изобретения, если фактическое исходное значение PVi давления внутри объема 101 меньше, чем целевое значение PVt давления, которого необходимо достичь внутри объема 101, способ может включать следующие шаги:

g) уменьшение значения времени отпирания, указанного, по меньшей мере, в ячейках, имеющих первую степень смежности с выбранной ячейкой матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, превосходит целевое значение PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска;

h) увеличение значения времени отпирания, указанного, по меньшей мере, в соседних ячейках, имеющих первую степень смежности с выбранной ячейкой матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, меньше целевого значения PVt давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

Если, напротив, фактическое исходное значение PVi давления внутри объема 101 больше, чем целевое значение PVt давления, которого необходимо достичь внутри объема 101, способ может включать следующие шаги:

g') увеличение значения времени отпирания, указанного, по меньшей мере, в ячейках, имеющих первую степень смежности с выбранной ячейкой матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, превосходит целевое значение PVt давления, по меньшей мере, на заранее за-

данное значение допуска;

h') уменьшение значения времени отпирания, указанного, по меньшей мере, в ячейках, имеющих первую степень смежности с выбранной ячейкой матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема 101, меньше целевого значения P_{Vt} давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

При этом на шагах g, h и g', h' могут также быть увеличены или уменьшены значения времен отпирания, указанные, по меньшей мере, в ячейках, имеющих вторую степень смежности, большую, чем первая степень смежности. Очевидно, что описанный выше принцип может быть реализован и для более чем двух степеней смежности.

Значения времени отпирания, указанные в соседних ячейках с различными степенями смежности, могут быть увеличены или уменьшены на то же самое значение, на которое увеличивают или уменьшают выбранную ячейку матрицы.

Альтернативно, значения времени отпирания, указанные в соседних ячейках, имеющих различные степени смежности, могут быть увеличены или уменьшены на промежуточное значение между значением центральной ячейки и нулем.

В еще одном альтернативном варианте значения времени отпирания, указанные в соседних ячейках с различными степенями смежности, могут быть увеличены или уменьшены на отличающиеся друг от друга значения, которые также отличаются от значения, на которое увеличивают или уменьшают выбранную ячейку матрицы. К примеру, значения времени отпирания могут увеличиваться или уменьшаться на более низкое корректирующее значение с увеличением степени смежности ячеек.

Первая степень смежности относится к 8 ячейкам, которые имеют одну общую сторону или вершину с выбранной ячейкой 901, которые обозначены на фиг. 9 прямоугольником 902. Могут быть введены и более высокие степени смежности. К примеру, второй степенью смежности могут обладать 16 ячеек, содержащиеся между прямоугольником 902 и прямоугольником 903, что соответствует ячейкам, имеющим общие стороны или вершины с ячейками первой степени смежности. Аналогичная логика может использоваться и для ячеек с более высокими степенями смежности.

Такой же принцип смежности может применяться аналогичным образом и для трехмерной матрицы. В случае трехмерной матрицы соседние ячейки увеличивают или уменьшают в трех измерениях вместо двух.

Очевидно, что коррекция соседних ячеек ускоряет процесс общей коррекции матрицы. Значения коррекции, применяемые для соседних ячеек, могут отличаться для различных степеней смежности.

Способ регулирования давления воздуха в объеме 101 путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана 103 и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана 104, описанный в рассмотренном выше варианте осуществления настоящего изобретения, может быть реализован, например, при помощи электронного блока 105, показанного на фиг. 1. Как правило, электронный блок 105 может включать микропроцессор или аналогичные управляющие элементы.

В еще одном из аспектов настоящего изобретения могут применяться решения, обеспечивающие сжатие матрицы.

Рассмотрим реальный случай, в котором рабочие давления относятся к железнодорожной тормозной системе. Давление P_s подачи и мгновенные значения давления могут достигать 6 бар, с разрешением 50 мбар, это значит, что двумерная матрица будет состоять из $(6/0,05)^2=14400$ ячеек, а трехмерная из $(6/0,05)^3=1728000$ ячеек. Если значения времени в матрице имеют размерность миллисекунд (мс), одного байта на ячейку будет недостаточно, поскольку максимально представимая величина времени в таком случае будет ограничена 255 мс. Использование двух байтов на ячейку для трехмерной матрицы потребует $1728000 \times 2 = 3456000$ байт или около 3,5 мегабайт памяти. В микропроцессорных системах управления, применяемых в железнодорожной области, такой объем памяти считается очень малым. Однако в специализированных применениях с низким потреблением энергии, где используют 8-битные микропроцессоры с ограниченной встроенной памятью, может быть необходимо радикальное сжатие данных в матрице.

В этих целях используют пропорциональность расхода через отверстие как функции от давления выше по потоку относительно этого отверстия, что графически проиллюстрировано на фиг. 4. Благодаря этому свойству график $P_v(t)/P_s$ всегда будет соответствовать одной и той же кривой для любого значения P_s давления, по меньшей мере, в диапазоне $2 < P_s < 6$ бар, что имеет место в случае применений в железнодорожных тормозах. Поэтому подобный принцип позволяет вернуться к применению двумерной матрицы с одной входной переменной, соответствующей исходному нормализованному значению P_{Vt}/P_s давления, и второй входной переменной, соответствующей целевому нормализованному значению P_{Vt}/P_s давления. В этом случае, если необходимо также получить точность 50 мбар в достижении P_{Vt} , для диапазона давления подачи $P_s=6$ бар, будет снова получена матрица, состоящая из $(6/0,05)^2=14400$ ячеек.

Один из методов еще большего сжатия двумерной матрицы заключается в представлении времени отпирания как суммы двух стратегий управления.

На первом шаге электронный блок 105 управления подает питание на электропневматический впу-

ской клапан и измеряет в каждом периоде взятия отсчетов значение P_{Va} давления, достигнутое в объеме.

Когда значение $\Delta P = (P_{Vt} - P_{Va})$ меньше, чем заранее заданное значение $\Delta P_{\max}$, электронный блок 105 управления берет время из двумерной матрицы, в которой по одной оси расположены нормализованные значения P_{Vi}/P_s исходного давления, а по другой оси - значение $\Delta P = (P_{Vt} - P_{Va})$. Это время применяют как время продолжения отпирания электропневматического впускного клапана 103.

Аналогичным образом поступают с электропневматическим выпускным клапаном 104.

При использовании подобного метода, если также необходимо получить точность 50 мбар для достижения $P_v(t)$, в случае давления подачи $P_s = 6$ бар, и применяя, например, значение $\Delta P_{\max} = 1$ бар, будет получена матрица, состоящая из $(6/0,05) \times (1/0,05) = 2400$ ячеек.

Настоящее изобретение относится также к системе регулирования давления воздуха в объеме 101 путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана 103 и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана 104, предназначенных для изменения давления в упомянутом объеме 101; при этом система регулирования давления воздуха в объеме 101 сконфигурирована для выполнения способа по любому из предшествующих пунктов формулы изобретения и дополнительно включает энергонезависимый носитель данных, на котором хранят заранее сформированную матрицу 900, а также энергозависимый носитель данных, на который матрицу 900, хранимую на энергонезависимом носителе, копируют при запуске системы регулирования. Матрицу, скопированную на энергозависимый носитель данных, обновляют, когда изменяют любую из ячеек матрицы.

Матрица, хранимая на энергонезависимом носителе данных, может сравниваться с обновленной матрицей, хранимой на энергозависимом носителе данных системы регулирования. Система может быть сконфигурирована для формирования сигнала предупреждения, если ячейка матрицы, хранимая на энергонезависимом носителе, отличается от соответствующей ячейки обновленной матрицы на энергозависимом носителе данных в системе регулирования, по меньшей мере, на заданный порог соответствия.

Таким образом, эта система может адаптировать двумерную расчетную матрицу управления к индивидуальным характеристикам конкретного блока после запуска системы. Аналогичным образом, система может динамически, в реальном времени, адаптировать матрицу к изменениям поведения компонентов системы, например, к изменениям рабочей температуры в течение суток.

В одном из примеров осуществления настоящего изобретения матрицу сначала загружают в область энергонезависимой памяти микропроцессорной системы 105. При включении микропроцессорная система 105 копирует содержимое матрицы в область энергозависимой памяти упомянутой микропроцессорной системы 105, благодаря чему ее содержимое может модифицироваться в реальном времени в соответствии с описанной выше процедурой коррекции. С заранее заданной частотой микропроцессорная система 105 выполняет сравнение значений из матрицы энергонезависимой памяти, используемой в качестве опорной, и значений из матрицы энергозависимой памяти, которые подвергаются адаптивной коррекции. Если соответствующие значения ячеек отличаются более чем на заданный порог, который задают с учетом допустимых адаптивных изменений, то микропроцессорная система 105 регистрирует диагностическое указание на недопустимый дрейф в системе, указывающий на неисправность или на дрейф характеристик ее субкомпонента, и затем микропроцессорная система 105 выдает эту информацию в качестве диагностической.

Таким образом, преимущество настоящего изобретения состоит в возможности создать способ и систему регулирования, которые адаптируются к физическим и гидродинамическим параметрам конкретной регулируемой системы и которые непрерывно компенсируют отклонения в поведении отдельных компонентов, принадлежащих регулируемой системе, из-за вариаций температуры, износа и старения, поддерживая необходимую точность. Дополнительные преимущества относятся к минимизации количества возбуждений электропневматических клапанов при всех состояниях системы и состояниях компонентов регулируемой системы без снижения точности управления, а также возможности проводить общую диагностику регулируемой системы без необходимости детального диагностического контроля каждого отдельного компонента системы.

Были описаны различные аспекты и варианты осуществления способа и системы регулирования давления воздуха в объеме путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического впускного клапана и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана в соответствии с изобретением. Нужно понимать, что любой из вариантов осуществления изобретения может комбинироваться с любым другим вариантом его осуществления. Однако изобретение не ограничено только описанными вариантами осуществления и может быть модифицировано в пределах своего объема, определенного приложенной формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ регулирования давления воздуха в объеме (101) путем приведения в действие по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (103) и по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (104), предназначенных для изменения давления внутри упомянутого объема (101), включающий следующие шаги:

а) предоставление матрицы (900), каждая ячейка которой предназначена для указания предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (103) или предполагаемого времени отпирания по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (104) как функции, по меньшей мере, исходного значения (PVi) давления внутри объема (101) и целевого значения (PVt) давления, которого необходимо достичь внутри объема (101); и

если фактическое исходное значение (PVi) давления внутри объема (101), измеренное датчиком (108) давления, ниже, чем целевое значение (PVt) давления, которого необходимо достичь в объеме (101), то

б) отпирание упомянутого по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (103) на предполагаемое время отпирания, указанное в ячейке матрицы, при этом ячейку выбирают, по меньшей мере, как функцию фактического исходного значения (PVi) давления внутри объема (101) и требуемого целевого значения (PVt) давления;

с) по истечении предполагаемого времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, измерение значения давления, достигнутого внутри объема (101);

д) сравнение измеренного значения давления, достигнутого внутри объема (101), с требуемым целевым значением (PVt) давления;

е) уменьшение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема (101), превышает требуемое целевое значение (PVt) давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска; и

ф) увеличение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема (101), ниже требуемого целевого значения (PVt) давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска;

а если фактическое исходное значение (PVi) давления внутри объема (101) выше, чем целевое значение (PVt) давления, которого необходимо достичь в объеме (101), то

б') отпирание упомянутого по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (104) на предполагаемое время отпирания, указанное в ячейке матрицы, при этом ячейку выбирают, по меньшей мере, как функцию фактического исходного значения (PVi) давления внутри объема (101) и требуемого целевого значения (PVt) давления;

с') по истечении предполагаемого времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, измерение значения давления, достигнутого внутри объема (101);

д') сравнение измеренного значения давления, достигнутого внутри объема (101), с требуемым целевым значением (PVt) давления;

е') увеличение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема (101), превышает требуемое целевое значение (PVt) давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска; и

ф') уменьшение значения времени отпирания, указанного в выбранной ячейке матрицы, если измеренное значение давления, достигнутое внутри объема (101), ниже требуемого целевого значения (PVt) давления, по меньшей мере, на заранее заданное значение допуска.

2. Способ по п.1, в котором шаги b, c, d, e, f и шаги b', c', d', e', f повторяют до тех пор, пока измеренное значение давления, достигнутое внутри объема (101), не попадет в заранее заданную зону допуска, определенную как целевое значение (PVt) давления $\pm$ значение допуска.

3. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором шаг измерения значения давления, достигнутого внутри объема (101), выполняют по истечении периода времени стабилизации давления внутри объема после записывания по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана (103) или по меньшей мере одного электропневматического выпускного клапана вслед за его отпиранием на время отпирания, указанное в выбранной ячейке матрицы.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором

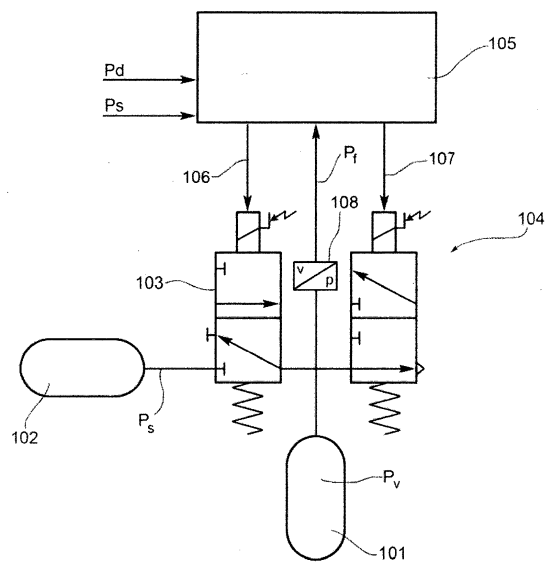
значение времени отпирания уменьшают на шаге e на первое заданное значение;

значение времени отпирания увеличивают на шаге f на второе заданное значение;

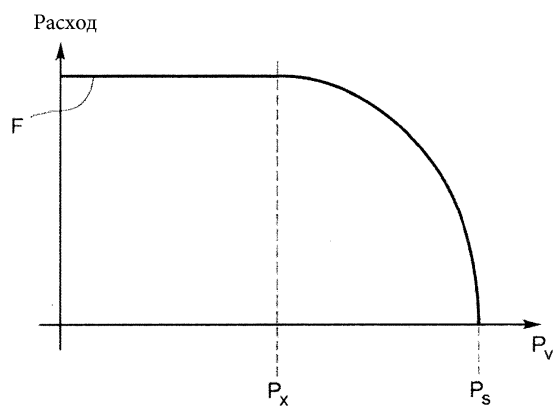
значение времени отпирания увеличивают на шаге e' на третье заданное значение;

значение времени отпирания уменьшают на шаге f' на четвертое заданное значение.

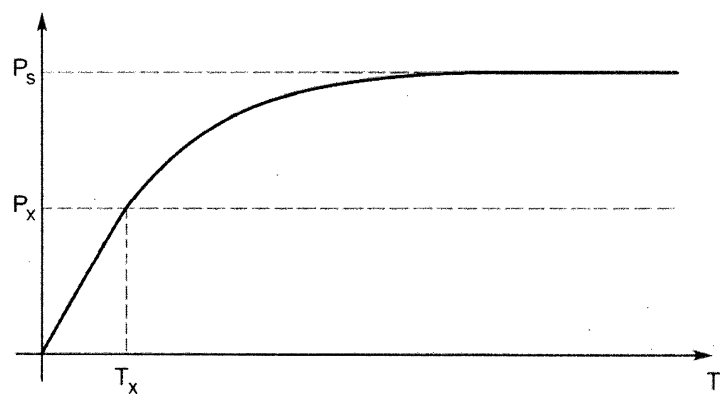
5. Способ по п.4, в котором первое заданное значение, второе заданное значение, третье заданное значение и четвертое заданное значение соответствуют заранее заданному постоянному коррекционному значению.



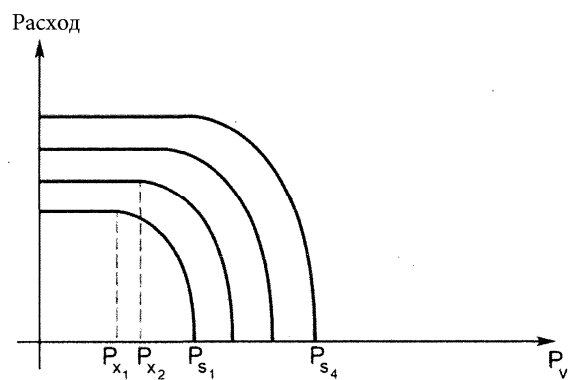
Фиг. 1
Уровень техники



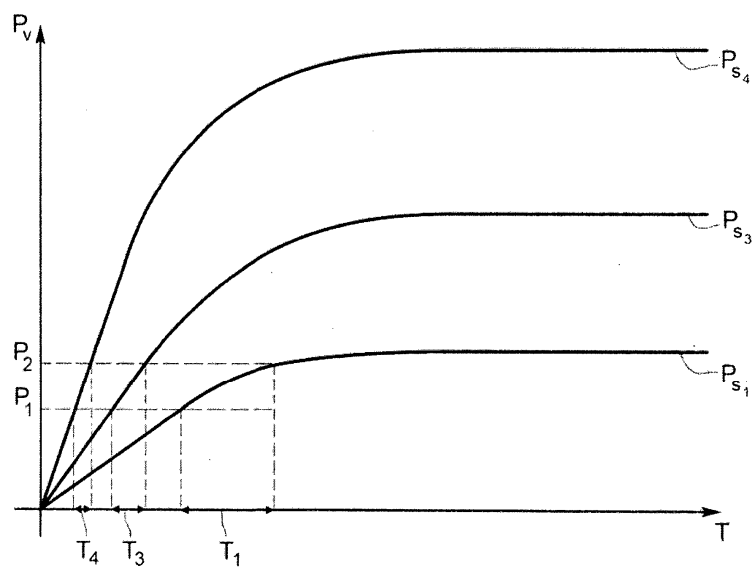
Фиг. 2



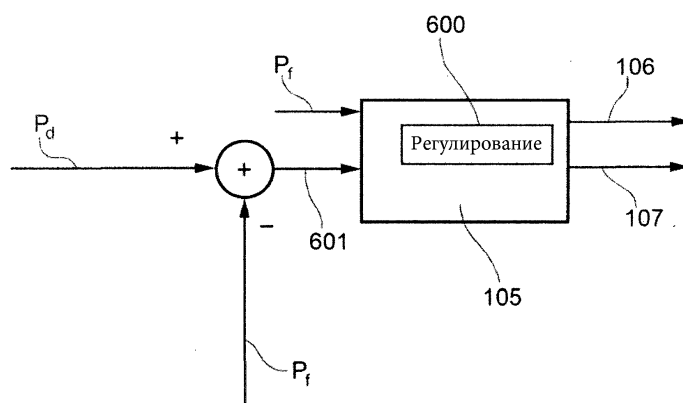
Фиг. 3



Фиг. 4

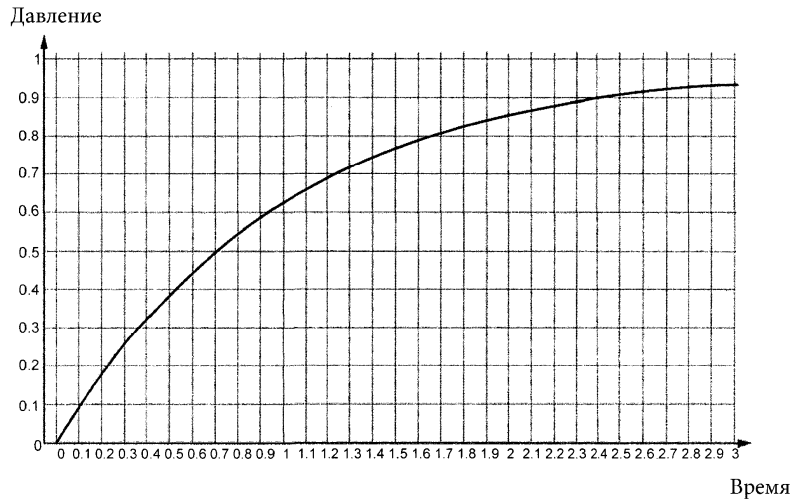


Фиг. 5

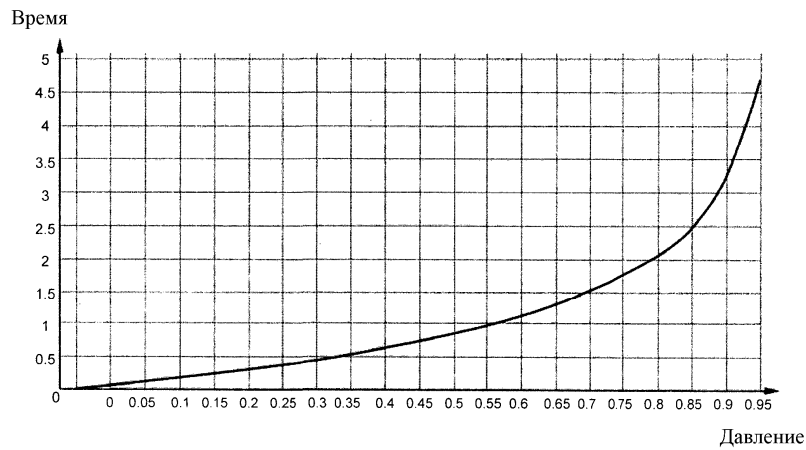


Фиг. 6

Уровень техники



ФИГ. 7



ФИГ. 8

[illegible]

ФИГ. 9