

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038485**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.09.06**

(51) Int. Cl. **F01D 17/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202092022**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.09.24**

---

(54) **СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТУРБИНОЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

---

(31) **2019134807**

(56) JP-A-S61-116005  
RU-C2-2565626  
US-A-4088875

(32) **2019.10.29**

(33) **RU**

(43) **2021.05.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"УРАЛЬСКИЙ ТУРБИННЫЙ  
ЗАВОД" (RU)**

(72) Изобретатель:  
**Турецков Алексей Васильевич,  
Шехтер Михаил Валерьевич (RU)**

(74) Представитель:  
**Сорочан И.П. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к энергетике и может быть использовано при производстве, реконструкции и эксплуатации систем регулирования турбин. Целью изобретения является повышение ресурса работы системы регулирования и надежности турбины в целом, качества управления турбиной, а также степени автоматизации турбины в переходных режимах. Поставленная цель достигается применением способа и устройства управления турбиной, реализуемым в электрической части системы автоматического регулирования (САР), когда при изменении общего расхода рабочего тела на турбину в переходных режимах системой регулирования расходы рабочего тела через сопловые сегменты изменяют одновременно, подобно дроссельному типу распределения рабочего тела, а не исходно предусмотренному для длительного установившегося режима работы турбины, обеспечивая при этом неизменную зависимость общего расхода рабочего тела на турбину, и оптимизируют режим работы сопловых сегментов для обеспечения минимального дросселирования рабочего тела в регулирующих органах. Техническим результатом заявленного способа и устройства является снижение уровня температурных напряжений в сопловых коробках в переходных режимах работы турбины; повышение качества переходных процессов при комбинаторном способе управления регулирующими органами турбины.

**038485**  
**B1**

**038485**  
**B1**

Изобретение относится к энергетике и может быть использовано при производстве, реконструкции и эксплуатации систем регулирования турбин.

Известен комбинаторный способ управления регулирующими клапанами паровой турбины, при котором изменение расхода пара на турбину осуществляется не последовательным введением в работу сопловых сегментов, а путем комбинации различных их сочетаний для снижения потерь на дросселирование в регулирующих клапанах (Бойко А.В., Усатый А.П. Комбинаторный алгоритм управления регулирующими клапанами системы соплового парораспределения. - Вестник НГУ "ХПИ", 2011, №5 и патент №2565626 РФ на изобретение Сопловое парораспределение с минимальным дросселированием пара, А.В. Билан; заявитель и патентообладатель, опубл. 20.10.2014). При этом для каждого сегмента сопел определяется зависимость расхода пара через него и величин открытия, соответствующих ему клапанов в зависимости от требуемого общего расхода пара на турбину. Получаемые зависимости при таком способе управления имеют участки резких открытий и закрытий клапанов при смене комбинаций (рекомбинации) работающих сопловых сегментов.

Недостатки такого способа управления:

- на режиме работы турбины около точки смены комбинации регулирующих клапанов отработка системой регулирования внешних возмущений приводит к резким открытиям и закрытиям клапанов, что в свою очередь, приводит к резким нагружениям и разгрузкам сопловых коробок (сопловых сегментов) и возникновению в них повышенных температурных напряжений;

- искажение статической характеристики регулирования турбины из-за резких открытий и закрытий клапанов при отработке системой регулирования внешних возмущений около точки смены комбинации клапанов, а также из-за ограниченной максимальной скорости хода регулирующих клапанов;

- при переходных режимах работы турбины происходит резкое разнонаправленное изменение положения регулирующих клапанов вплоть до полного их закрытия или открытия, иногда по несколько раз, пока не будет достигнуто заданное положение регулирующих клапанов согласно статической характеристике, что значительно снижает надежность и ресурс работы системы регулирования;

- в случае использования механических узлов для обеспечения комбинаторного способа управления, таких как шестерни, подшипники, кулаки, повышается нечувствительность, снижается надежность и точность работы системы регулирования.

Цель изобретения - повышение ресурса работы системы регулирования и надежности турбины в целом, качества управления турбиной, а также степени автоматизации турбины в переходных режимах.

Предлагаемый способ управления турбиной отличается от известного тем, что при изменении общего расхода рабочего тела на турбину в переходных режимах системой регулирования расходы рабочего тела через сопловые сегменты изменяют одновременно, подобно дроссельному типу распределения рабочего тела, а не исходно предусмотренному для длительного установившегося режима работы турбины (например, сопловому типу), обеспечивая при этом неизменную зависимость общего расхода рабочего тела на турбину, и оптимизируют режим работы сопловых сегментов для обеспечения минимального дросселирования рабочего тела в регулирующих органах.

На фиг. 1 и 2 приведены схемы предлагаемого способа управления турбиной на примере работы двух сегментов сопел. Схема управления для любого другого количества сегментов сопел аналогична.

Заявленный способ управления турбиной может быть реализован в электрической части системы автоматического регулирования (САР) следующим образом.

Общий расход рабочего тела на турбину  $G^T$  равен сумме расходов  $G^I$  и  $G^{II}$  через соответствующие сопловые сегменты. При нагружении (фиг. 1) или разгрузке (фиг. 2) турбины сигнал управляющего воздействия  $X$  от САР, который представляет собой текущий требуемый общий расход рабочего тела на турбину, изменяется с произвольной скоростью от значения  $X_1$  до значения  $X_2$ . При этом величина открытия регулирующих органов изменяется таким образом, чтобы расходы  $G^I$  и  $G^{II}$  через соответствующие сопловые сегменты изменялись одновременно, подобно дроссельному типу распределения рабочего тела (пунктирные линии), а не исходно предусмотренному для длительного установившегося режима работы турбины (сплошные линии), причем зависимость общего расхода рабочего тела на турбину  $G^T$  от сигнала управляющего воздействия  $X$  остается неизменной, обеспечивая тем самым основополагающее условие для постоянства статизма САР. Во время или после завершения переходного процесса возможно возвращение работы сопловых сегментов на исходно предусмотренную (оптимальную) зависимость (сплошные линии) для обеспечения минимального дросселирования рабочего тела в регулирующих органах.

Техническим результатом заявленного способа является:

- снижение уровня температурных напряжений в сопловых коробках в переходных режимах работы турбины;

- повышение качества переходных процессов при комбинаторном способе управления регулирующими органами турбины;

- повышение ресурса и надежности САР;

- возможность применения в качестве приводов регулирующих органов механизмов с меньшими скоростями работы в режиме регулирования по сравнению с традиционными;

упрощение конструкции САР и её обслуживания.

Заявителем не известно использование в науке и технике отличительных признаков устройства для реализации предлагаемого способа управления турбиной с достижением указанного технического результата.

Для достижения указанного технического результата предложено устройство для автоматического управления турбиной, выполненное с возможностью реализации операций способа, охарактеризованного в независимом п.1 формулы, содержащее по крайней мере один элемент, замедляющий изменение сигнала, компаратор, по крайней мере один элемент вычисления функции и по крайней мере один переключатель. Элемент, замедляющий изменение сигнала дополнительно содержит элемент дистанционного управления степенью замедления. Для исключения деления на ноль по крайней мере один элемент вычисления функции дополнительно содержит ограничители величин аргументов.

На фиг. 3 приведен фрагмент электрической части 1 САР, включающей элементы, с которыми связано устройство, и само устройство на примере управления двумя сопловыми сегментами. Для управления большим количеством сопловых сегментов используется несколько аналогичных устройств.

На фиг. 4 приведен фрагмент электрической части САР, включающей элементы, с которыми связано заявленное устройство, и само устройство, с установленным сумматором согласно зависимому п.5 формулы.

Элементы заявленного устройства, встраиваемого в электрическую часть САР:

4 - элемент, замедляющий изменение сигнала (например, элемент ограничения скорости изменения сигнала или апериодическое звено);

7 - элемент вычисления функции;

8 - элемент вычисления функции;

9 - компаратор;

10 - переключатель.

Далее рассмотрен пример реализации устройства, где в качестве элемента 4 применен элемент ограничения скорости изменения сигнала, а функции, вычисляемые элементами 7 и 8, являются линейными.

Сигнал управляющего воздействия  $X$  регуляторов САР, представляющий собой текущий требуемый общий расход рабочего тела на турбину, поступает от элемента-формирователя 3 управляющего воздействия на элемент ограничения скорости изменения сигнала 4, элементы вычисления функций 7, 8 и компаратор 9. Сигнал на выходе элемента ограничения скорости изменения сигнала 4 соответствует сигналу управляющего воздействия  $X$  в точке  $X_1$  (фиг. 1 и 2), который поступает также на компаратор 9, элементы вычисления функций 7, 8 и задатчик 6 расхода рабочего тела через сопловой сегмент. Задатчик 6 определяет требуемый расход рабочего тела через сопловой сегмент по заранее рассчитанной зависимости для длительного установившегося режима работы турбины и заложенной в табличном или аналитическом виде, которая обеспечивает минимальное дросселирование рабочего тела в регулирующих органах. Сигнал на выходе задатчика 6 соответствует точке  $G_1$  (фиг. 1 и 2) и поступает также на элементы вычисления функций 7 и 8. Элементы вычисления функций 7 и 8 определяют текущий требуемый расход рабочего тела и его зависимость от сигнала управляющего воздействия  $X$  для обеспечения дроссельного принципа управления сопловыми сегментами в переходном режиме. Выходы элементов вычисления функции 7 и 8 поступают на переключатель 10, которым управляет компаратор 9, в зависимости от знака изменения требуемого общего расхода рабочего тела на турбину относительно первоначального состояния. Элемент вычисления функции 8 строит линейную функцию через две точки - начало координат  $(0, 0)$  и  $(X_1, G_1)$ , определяя текущий требуемый расход  $G_2$  через сопловой сегмент в промежуточной точке  $X_2$  в сторону разгрузки турбины относительно первоначального состояния:

$$G_2 = X_2 \cdot G_1 / X_1$$

Элемент вычисления функции 7 строит линейную функцию через две точки  $(X_1, G_1)$  и  $(X_{\max}, G_{\max})$ , определяя текущий требуемый расход  $G_2$  через сопловой сегмент в промежуточной точке  $X_2$  в сторону нагружения турбины относительно первоначального состояния:

$$G_2 = (X_2 \cdot (G_1 - G_{\max}) + X_1 \cdot G_{\max} - G_1 \cdot X_{\max}) / (X_1 - X_{\max})$$

Сигнал с переключателя 10 поступает на элемент 12, где вычисляется величина открытия регулирующего органа. С элемента 12 сигнал поступает в регулятор положения 13 регулирующего органа, а с него - на привод 14 регулирующего органа. Аналогичное устройство 2, содержащее все элементы заявленного устройства, управляет расходом рабочего тела через другой сопловой сегмент, сигнал от которого поступает на элемент 15, где вычисляется величина открытия регулирующего органа, а затем - в регулятор положения 16 регулирующего органа, а с него - на привод 17 регулирующего органа.

В первоначальном состоянии величина сигналов  $X_1$  и  $X_2$  совпадает ( $X_1=X_2$ ), и сопловые сегменты работают с минимальным дросселированием рабочего тела в регулирующих органах, то есть рабочие точки требуемых расходов через сопловые сегменты  $G_1$  и  $G_2$  находятся на сплошной линии, при этом

величины сигналов  $G_1$  и  $G_2$  совпадают ( $G_1=G_2$ ). При изменении сигнала управляющего воздействия  $X$  со скоростью, более определенной для элемента ограничения скорости изменения сигнала 4, сигнал на входах элементов 4, 7 и 8 соответствует величине сигнала управляющего воздействия  $X$  в точке  $X_2$  (фиг. 1 и 2) при этом  $X_1 \neq X_2$ . Элементы вычисления функции 7 и 8 вычисляют новое значение требуемого расхода  $G_2$ , которое соответствует дроссельному режиму и лежит на пунктирной линии (фиг. 1 и 2). Одновременно компаратор 9, воздействуя на переключатель 10 в зависимости от того, в какую сторону изменяется сигнал управляющего воздействия  $X$  относительно первоначального, осуществляет выбор сигнала  $G_2$  с элемента вычисления функции 7 или 8 для направления его в элемент 12, вычисляющий величину открытия регулирующего органа. Для возвращения расходов через сопловые сегменты на оптимальный режим элемент ограничения скорости изменения сигнала 4 доводит величину сигнала  $X_1$  до величины сигнала  $X_2$  с определенной скоростью при этом точка  $(X_1, G_1)$  следует заранее рассчитанной зависимости (сплошная линия), выдаваемой элементом 6, что вызывает перестроение линейных функций элементами 7 и 8. В процессе перестроения линейных функций происходит изменение величин  $G_2$  сопловых сегментов и смещение точек  $(X_2, G_2)$  в направлении оптимальной зависимости (промежуточная точка  $X'$  на фиг. 1 и 2), при этом выход на оптимальный режим может осуществляться при неизменном общем расходе рабочего тела на турбину, если переходный режим турбины завершен (если  $X_2 = \text{const}$ ). В процессе одновременной работы сопловых сегментов по дроссельным зависимостям и выхода на оптимальный режим не происходит искажения линейной функции  $G^T=f(X)$  за счет того, что сумма линейных функций, вычисляемых элементами 7 и 8, также является линейной функцией, а точки, через которые они строятся, принадлежат исходным зависимостям для длительного установившегося режима работы турбины, сумма которых является также линейной функцией  $G^T=f(X)$ . Кроме этого, скорость работы элемента ограничения изменения сигнала 4 является одинаковой для всех сопловых сегментов для сохранения зависимости  $G^T=f(X)$ . Скорость работы элемента ограничения 4 может быть переменной, например, при проходе через участок переключения сегментов сопел скорость может быть снижена по условиям ограничения температурных напряжений в узлах турбины.

В случае применения нелинейных функций в элементах 7 и 8 или для обеспечения нелинейной характеристики  $G^T=f(X)$  требуемый расход по крайней мере через один из сопловых сегментов вычисляется сумматором 18 (фиг. 4), который из сигнала общего требуемого расхода вычитает требуемые расходы через остальные сопловые сегменты.

Для возможности дистанционного включения и отключения устройства в него могут быть добавлены элементы 5 и 11.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ управления турбиной, отличающийся тем, что с целью повышения ресурса работы системы регулирования и надежности турбины в целом, качества управления турбиной, а также степени автоматизации турбины расходы рабочего тела через сопловые сегменты при изменении общего расхода рабочего тела на турбину в переходных режимах системой регулирования изменяют одновременно, подобно дроссельному типу распределения рабочего тела, а не исходно предусмотренному для длительного установившегося режима работы турбины, и оптимизируют режим работы сопловых сегментов для обеспечения минимального дросселирования рабочего тела в регулирующих органах.

2. Способ управления турбиной в переходных режимах по п.1, отличающийся тем, что он может быть реализован в электрической части системы автоматического регулирования.

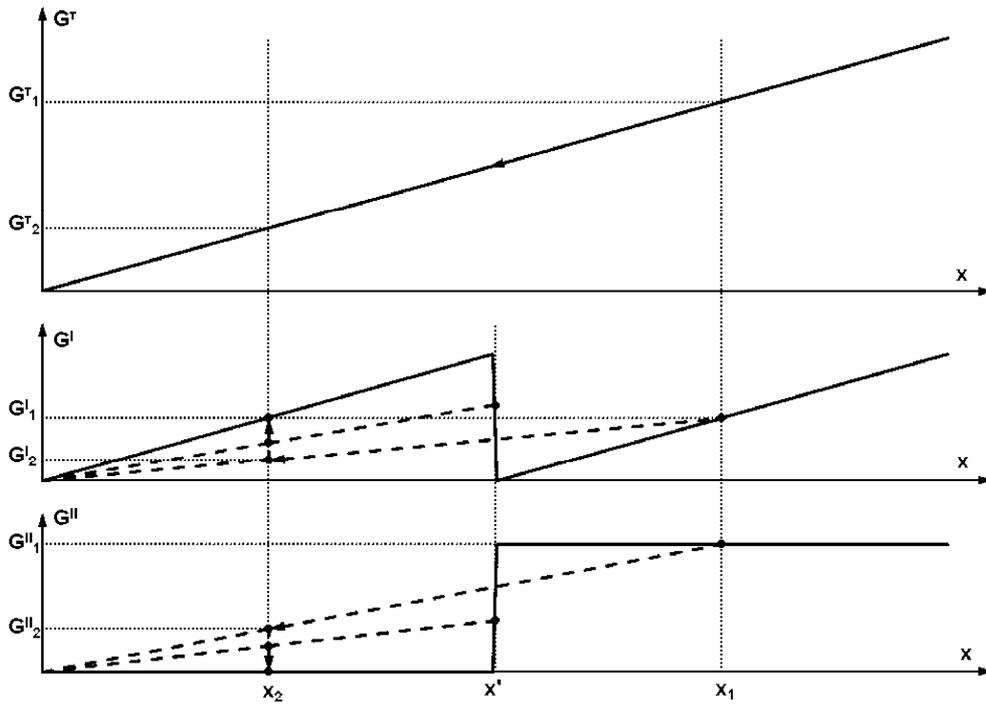
3. Устройство для автоматического управления турбиной, выполненное с возможностью реализации операций способа по п.1, содержащее по крайней мере один элемент (4), замедляющий изменение сигнала, компаратор (9), по крайней мере один элемент вычисления функции (7, 8) и по крайней мере один переключатель (10).

4. Устройство для автоматического управления турбиной по п.3, отличающееся тем, что оно дополнено сумматором (18) для вычисления требуемого расхода рабочего тела по крайней мере через один из сопловых сегментов.

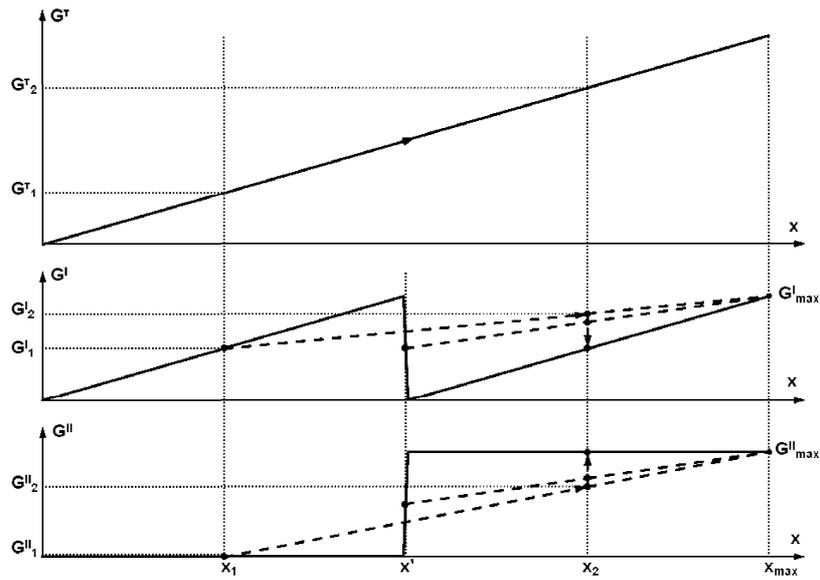
5. Устройство для автоматического управления турбиной по п.3, отличающееся тем, что дополнительно содержит элементы (5, 11) дистанционного включения и отключения.

6. Устройство для автоматического управления турбиной по п.3, отличающееся тем, что элемент, замедляющий изменение сигнала (4), дополнительно содержит элемент дистанционного управления степенью замедления.

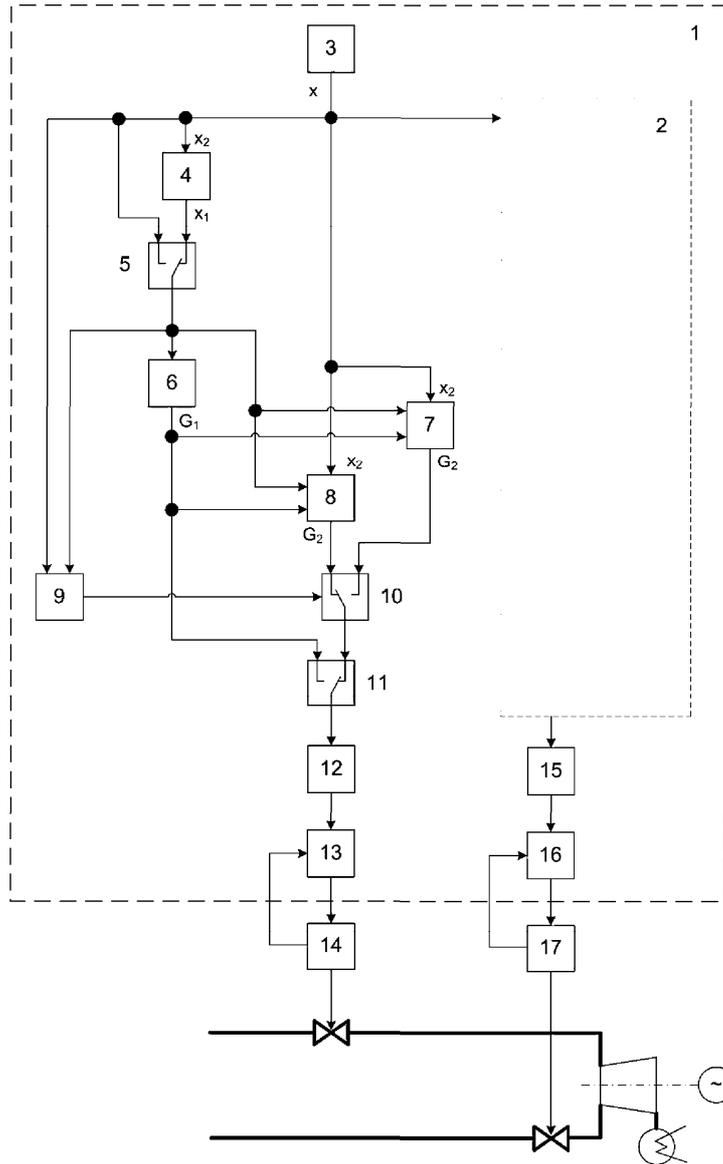
7. Устройство для автоматического управления турбиной по п.3, отличающееся тем, что по крайней мере один элемент вычисления функции (7, 8) дополнительно содержит ограничители величин аргументов для исключения деления на ноль.



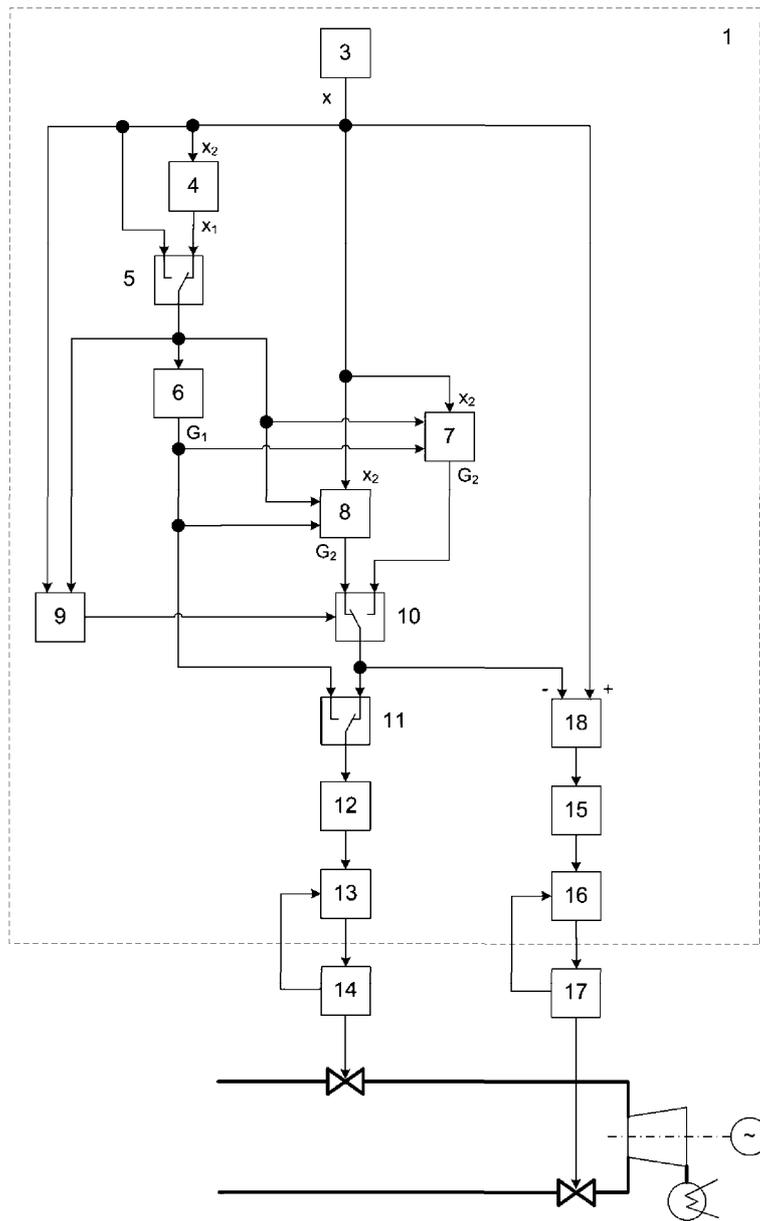
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4