Math-Net.Ru
Общероссийский математический портал

Ю. И. Островский, Пневматический экстремум-регулятор, *Автомат. и телемех.*, 1957, том 18, выпуск 11, 1045–1051

https://www.mathnet.ru/at13239

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
https://www.mathnet.ru/rus/agreement

Параметры загрузки:
IP: 18.97.14.87
17 января 2026 г., 03:11:33

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ЭКСТРЕМУМ-РЕГУЛЯТОР

Ю. И. ОСТРОВСКИЙ

(Москва)

Описывается пневматический экстремум-регулятор, разработанный в Институте автоматики и телемеханики АН СССР, и приводятся результаты его лабораторных испытаний.

1. Принцип действия пневматического экстремум-регулятора

Описываемый экстремум-регулятор работает по принципу «запоминания» максимума. Поиск максимума осуществляется непрерывно путем принудительного изменения регулятором входной координаты объекта X (рис. 1, *а*).

На рис. 1, *в* изображено изменение давления воздуха P_x на выходе экстремум-регулятора. Величина P_x пропорциональна входной координате объекта X (рис. 2).

На рис. 1, *б* показано соответствующее изменение давления воздуха P_y, пропорциональное выходной координате объекта Y. В момент $t_э$ величина P_y достигает максимального значения $P_{y\,макс}$ и при дальнейшем изменении P_x начинает уменьшаться. В случае, если объект обладает инерционностью, величина $P_{y\,макс}$ будет меньше, чем величина $P'_{y\,макс}$, соответствующая статической характеристике объекта.

Величина $P_{y\,макс}$ фиксируется специальным устройством — «блоком запоминания» (рис. 2 и 3). Давление $P_з$ в камере запоминания этого блока следит за давлением P_y при его увеличении. Когда P_y начинает уменьшаться, величина $P_з$ остается неизменной.

«Блок сравнения» (рис. 2) сравнивает текущее значение давления P_y с его максимальным значением, зафиксированным в камере запоминания. Когда в момент t_p разность $\delta = P_{y\,макс} - P_y$ достигает заданного значения $\delta_{макс}$, на выходе блока сравнения появляется импульс давления воздуха P_u (рис. 1, *г*), который подается на шаговый переключатель (рис. 2).

Давление P_p на выходе шагового переключателя (рис. 1, *е*) может принимать два дискретных значения: $P_p = 0$ и $P_p = P_{p1}$. Переключение осуществляется в момент подачи импульса P_u. В интервале между импульсами сохраняется значение давления P_p, которое установилось в результате предыдущего импульса.

Давление P_p поступает на вход «блока постоянного перепада» (рис. 2). Если $P_p = P_{p1}$, то давление P_x на выходе этого блока возрастает с постоянной скоростью. Если $P_p = 0$, то P_x уменьшается с такой же скоростью.

Давление P_x управляет изменением входной координаты регулируемого объекта.

Кроме реверса входной координаты объекта, импульс P_u выполняет следующие функции:

а) осуществляет самоблокировку блока сравнения;

б) «сбрасывает» запоминание;

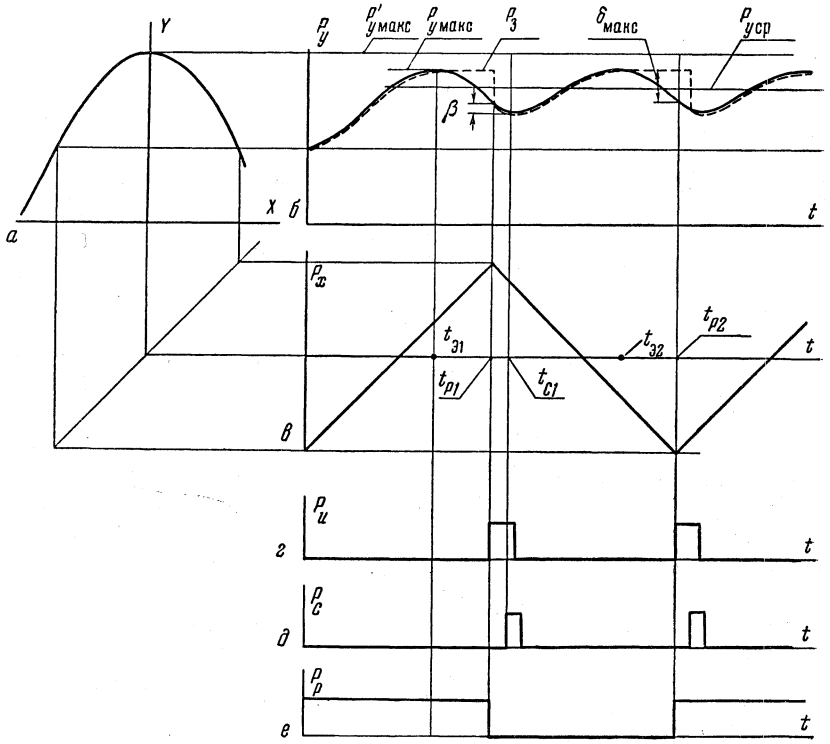

Рис. 1. Последовательность работы пневматического экстремум-регулятора с запоминанием максимума

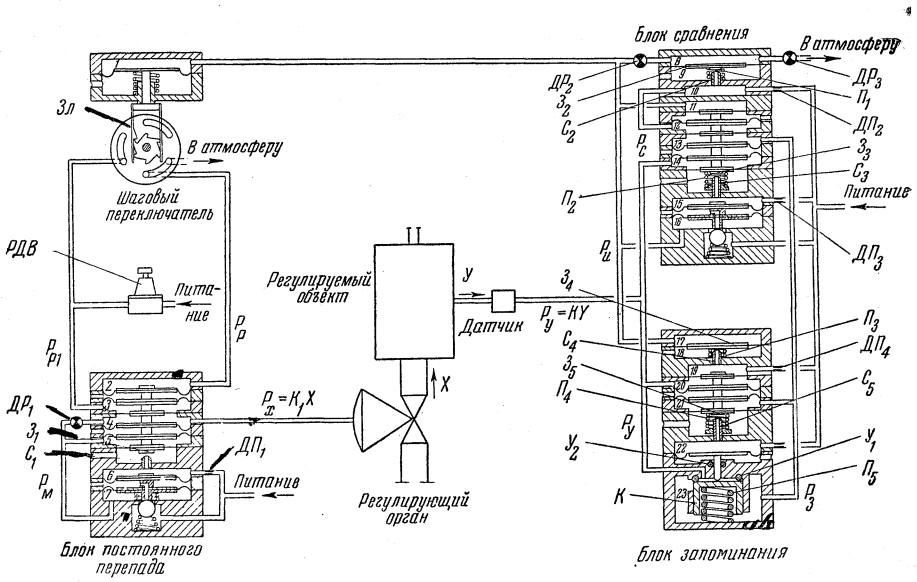

Рис. 2. Схема пневматического экстремум-регулятора с запоминанием максимума

в) снимает самоблокировку блока сравнения (через элемент запаздывания).

«Сброс» запоминания осуществляется путем соединения камеры запоминания с магистралью P_y. При этом давления $P_з$ и P_y уравниваются, но благодаря наличию самоблокировки давление $P_и$ на выходе блока сравнения сохраняется.

Если объект инерционный, то после реверса его входной координаты выходная координата Y и пропорциональное ей давление P_y будут еще некоторое время уменьшаться, а затем снова начнут возрастать.

Если блок запоминания снова включится в работу в момент t_p, то он «запомнит» соответствующее значение P_y и в случае, если $\beta > \delta$ (рис. 1, *б*), будет иметь место ложный реверс направления изменения P_x. Чтобы этого не произошло, импульс $P_и$ снимается с некоторым запаздыванием.

В момент t^c на выходе элемента запаздывания появляется импульс давления P_c (рис. 1, *д*). Этот импульс снимает самоблокировку блока сравнения. Давление в магистрали $P_и$ падает до нуля. Начиная с этого момента блок запоминания снова может фиксировать максимум величины P_y. Падение давления $P_и$ вызывает также падение давления P_c с некоторым запаздыванием.

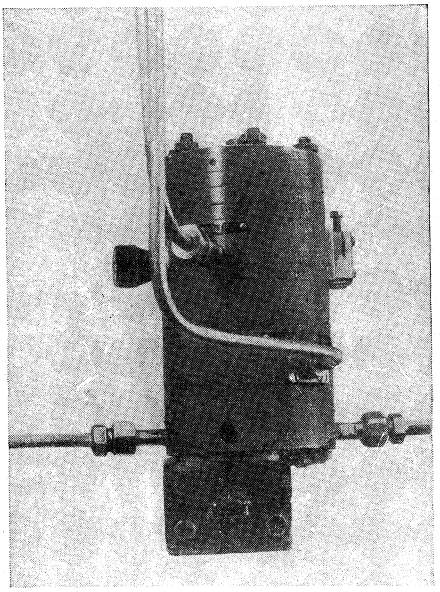

Рис. 3. Блок запоминания

В момент $t_{э2}$ давление P_y снова достигает максимума, блок запоминания фиксирует соответствующую величину $P_{y\,макс}$, в момент t_{p2} снова происходит реверс направления изменения P_x и цикл повторяется.

2. Устройство пневматического экстремум-регулятора

Схема экстремум-регулятора, представленная на рис. 2, предусматривает использование значительного количества стандартных деталей пневматической агрегатной системы. Регулятор состоит из четырех блоков: блока запоминания, блока сравнения, шагового переключателя и блока постоянного перепада. Назначение блоков указано выше.

Давление P_y, пропорциональное выходной координате регулируемого объекта Y, поступает в камеру *20* блока запоминания и в камеру *14* блока сравнения. Когда клапан K открыт, магистраль P_y сообщается также с камерой запоминания *23*. Клапан K закрывается пружиной $П_5$ и открывается при подаче давления в камеру *22*. Герметичность в седле клапана осуществляется при помощи резинового уплотнительного кольца $У_1$. Давление $P_з$ из камеры запоминания подается в камеры *13* и *21*, где оно сравнивается с давлением P_y.

Проходное сечение сопел C значительно больше проходного сечения постоянных дросселей *ДП*. Поэтому при большом зазоре между соплом C и соответствующей заслонкой *3* давление в пневматической камере между соплом и постоянным дросселем незначительно отличается от атмосферного. При уменьшении зазора между соплом и заслонкой давление в камере возрастает.

Когда $P_y > P_з$, то сопло C_3 открыто, давление в камерах *8—12*, *15—17* и *19* равно атмосферному, заслонка $З_5$ перекрывает сопло C_5,

управляющее открытием клапана K. Клапан K открыт, и давление P_y поступает в камеру запоминания. Таким образом, при увеличении выходной координаты объекта давление в камере запоминания следит за увеличивающимся давлением P_y. Когда выходная координата объекта перестает возрастать, давления в камере запоминания и в магистрали P_y уравниваются. При этом пружина $П_4$ приподнимает мембраны, заслонка $З_5$ отходит от сопла C_5, давление в камере *22* падает и клапан K закрывается. При уменьшении P_y клапан K продолжает оставаться закрытым. Таким образом, давление $P_з$ в камере запоминания равно максимальному достигнутому значению $P_y = P_{y\text{макс}}$. Когда разность $\delta = P_{y\text{макс}} - P_y$ достигает значения $\delta_{\text{макс}}$, устанавливаемого при помощи пружины $П_2$, заслонка $З_3$ перекрывает сопло C_3 и давление P_u на выхода блока сравнения начинает возрастать. Благодаря положительной обратной связи, поданной в камеру *11* этого блока импульс P_u быстро нарастает. При этом подается давление в камеру *1* и шаговый переключатель поворачивает золотник *Зл* на один зубец храповика.

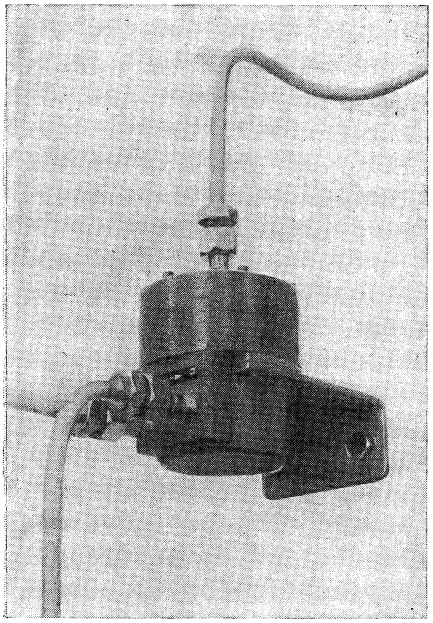

Рис. 4. Шаговый переключатель с плоским золотником

В положении, показанном на схеме, золотник соединяет магистраль P_p с атмосферой. Следующий импульс P_u соединит магистраль P_p с магистралью, в которой поддерживается давление P_{p1}.

Давление P_u, поданное в блок запоминания, преодолевает усилие пружины $П_3$ и перекрывает сопло C_4 заслонкой $З_u$. При этом возрастает давление в камерах *19* и *22*, клапан K открывается, сообщая камеру запоминания с магистралью P_y. Давления в камерах *13* и *14* блока сравнения уравниваются, но сопло C_3 остается закрытым благодаря наличию давления P_u в камере *11*.

После выдержки времени, определяемой проходным сечением дросселей $ДР_2$ и $ДР_3$, давление в камере *8* элемента запаздывания преодолевает усилие пружины $П_1$ и перекрывает сопло C_2 заслонкой $З_2$. При этом импульс давления P_c поступает в камеру *12*, открывается сопло C_3 и импульс P_u снимается. После снятия импульса P_u восстанавливается исходное состояние схемы.

Рассмотрим теперь работу блока постоянного перепада. Когда давление в камере *2* отсутствует, давление P_{p1} в камере *3*, устанавливаемое редуктором давления воздуха *РДВ*, уравновешивается разностью давлений P_x и $P_м$ в камерах *4* и *5*, причем $P_x > P_м$. При этом происходит истечение воздуха из мембранной головки регулирующего органа в атмосферу. Ввиду того, что перепад давлений на дросселе $ДР_1$ поддерживается постоянным, регулирующий орган перемещается с постоянной скоростью. Если, например, перепад на дросселе $ДР_1$ уменьшается, то возрастает зазор между заслонкой $З_1$ и соплом C_1. При этом давление в камерах *5*, *6* и *7* уменьшается и восстанавливается заданная величина перепада. Когда в камеру *2* подано давление P_p, то происходит наполнение мембранной головки с постоянной скоростью, определяемой регулируемым перепадом на дросселе $ДР_1$.

Шаговый переключатель с плоским золотником, описанный выше (см. также рис. 4), конструктивно значительно отличается от остальных блоков, выполненных на базе пневматической агрегатной системы.

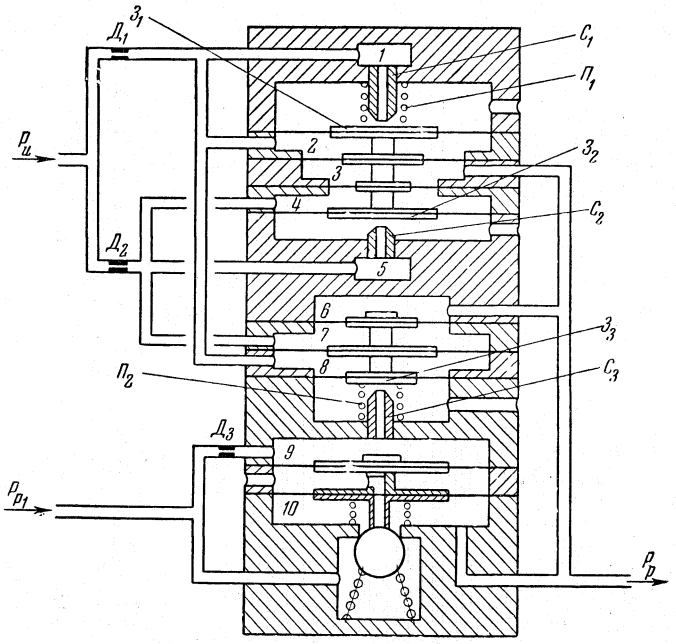

Рис. 5. Шаговый переключатель, построенный на базе пневматической агрегатной системы

На рис. 5 приведена схема шагового переключателя, выполненного на базе агрегатной системы. К преимуществам этой схемы следует отнести отсутствие притертого золотника и других деталей, подвергающихся износу, а также отсутствие значительных перемещений подвижных частей, что должно обеспечить большее быстродействие.

Работа описываемого блока происходит в следующей последовательности (рис. 5).

В исходном положении до поступления первого импульса давления P_u сопла C_1 и C_3 открыты благодаря пружинам $П_1$ и $П_2$. Сопло C_2 закрыто заслонкой $З_2$. Давление в полостях *1—10* равно атмосферному.

При подаче импульса давления P_u появляется давление в полостях *5*, *4* и *7*. Заслонка $З_3$ перекрывает сопло C_3. На блок постоянного перепада подается давление P_p. Это же давление поступает в полости *3* и *6*. Когда импульс снят, сопло C_3 продолжает оставаться закрытым благодаря наличию давления в камере *6*. Давление P_p сохраняется. Давление в полости *3* перекрывает сопло C_1 заслонкой $З_1$.

При следующем импульсе P_u давление поступает в камеры *1*, *2* и *8*. Сопло C_3 открывается. Давление в магистрали P_p падает до атмосферного. После снятия импульса P_u восстанавливается исходное положение. Давление в магистрали P_p остается равным атмосферному до следующего импульса P_u Затем цикл повторяется.

3. Результаты лабораторных испытаний пневматического экстремум-регулятора

На рис. 6 представлена схема установки, на которой производились испытания опытного образца описанного регулятора.

Модель объекта с нелинейной статической характеристикой вида

$Y = k(X - a)^2 + b$ набрана на электронной модулирующей установке типа ЭМУ-5. Коэффициенты k, a и b могут изменяться в процессе работы системы при помощи переменного сопротивления R_k и потенциометров R_a и R_b.

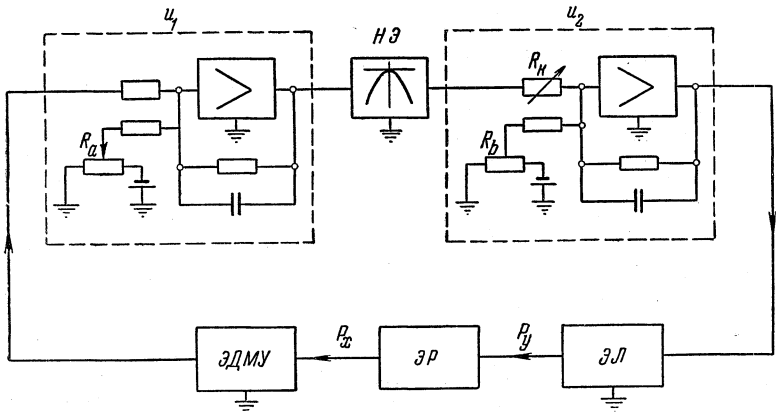

Рис. 6. Схема экспериментальной установки

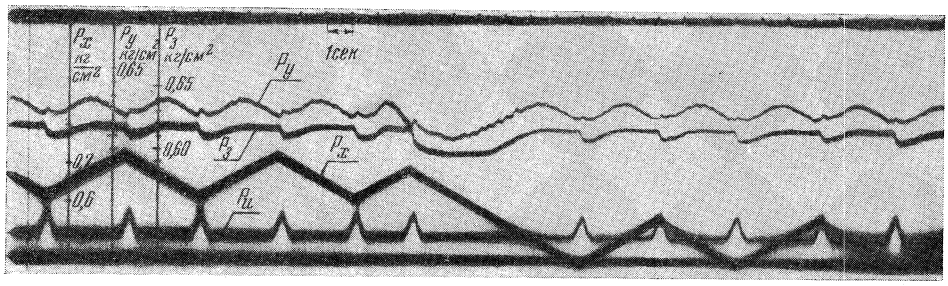

Рис. 7. Работа экстремум-регулятора при резком смещении экстремума по горизонтали

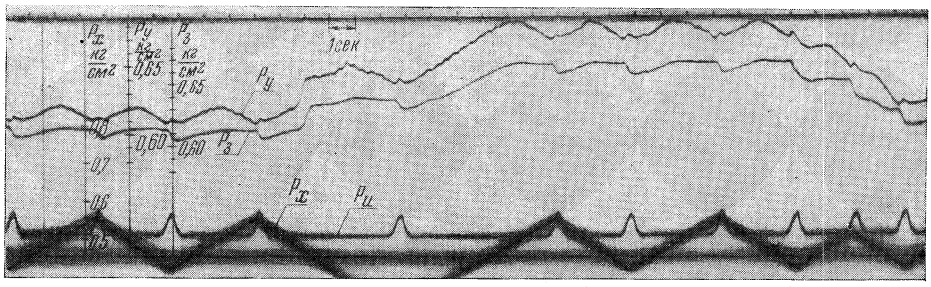

Рис. 8. Работа экстремум-регулятора при резком смещении экстремума по вертикали

Модель объекта состоит из безынерционного нелинейного элемента *НЭ* с параболической характеристикой и двух инерционных звеньев первого порядка u_1 и u_2.

Давление воздуха P_x на выходе экстремального регулятора *ЭР* преобразуется в электрический сигнал при помощи потенциометрического датчика типа ЭДМУ-1. Сигнал на выходе моделирующей установки преобразуется в давление воздуха P_y при помощи электропневматического преобразователя *ЭП*.

Давления P_x, P_y, $P_з$ и P_u (рис. 1) записывались при помощи осциллографа.

На осциллограммах рис. 7 и 8 представлена работа экстремум-регулятора с безынерционным объектом (постоянные времени звеньев u_1 и u_2 равны нулю). На этих осциллограммах записаны установившиеся автоколебания вокруг экстремума и переходные процессы, которые имеют место при изменении коэффициента b статической характеристики (рис. 7) или коэффициента a (рис. 8).

Испытания описанного опытного образца экстремум-регулятора позволяют сделать следующие выводы.

1. Схема обеспечивает четкое «запоминание» максимума. Падение давления в камере запоминания при начальном давлении $P_з = 0{,}5$ *ат* и $P_y = 0$ *ат* составляло примерно 1 *мм* рт. ст. в час. В случае необходимости герметичность камеры запоминания может быть, по-видимому, увеличена.

2. Четкая работа системы экстремум-регулирования была получена при $\delta = 0{,}015$ *кг/см*^{2}. (Рабочий диапазон давлений $P_y = 1$ *кг/см*^{2}). По-видимому, при дальнейшей доводке регулятора величину δ удастся уменьшить.

3. Экстремум-регулятор следит за максимумом при медленном его смещении и находит новое значение максимума при резком смещении его по горизонтали (рис. 7) или по вертикали (рис. 8).

В настоящее время проводится более детальное исследование описанной системы.

Поступила в редакцию
24 января 1957 г.

PNEUMATIC OPTIMALIZING CONTROLLER

Yu. I. OSTROVSKY

Summary

Pneumatic optimalizing controller elaborated in the Institute of Automation and Remote Control of the Academy of Sciences of the USSR is described. The data of its being tested are presented.