

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРУЙНОЙ АВТОМАТИКЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ  
ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ СТРУЙНЫХ УСТРОЙСТВ

проф., д.т.н. Залманзон Л.А.  
Институт проблем управления АН СССР

Рассматриваются вопросы использования элементов аэрогидродинамического действия для генерирования случайных сигналов и выполнения других операций при построении струйных стохастических устройств. В связи с тем, что струйные генераторы случайных сигналов начинают применяться и при изучении рабочего процесса струйных элементов обычного типа, дается краткий обзор принятых сейчас статистических методов исследования динамических характеристик.

В системах струйной автоматики обычно применяются элементы детерминированного действия, с помощью которых выполняются различные функции управления [1]. Вместе с тем исследования, которые провели В.Г. Шолохов, Т.В. Комиссарова, R. Massen, H.J. Tafel, P.A. Orner, J. Pill, K. Toyoda, I. Jimura, H. Natanaka /см. [2-9] / и другие специалисты, на работы которых делаются далее ссылки, показали, что в некоторых случаях может быть полезным использование в данной области техники управления и специально построенных стохастических струйных элементов, а также может быть полезным использование статистических методов для исследования динамики струйных устройств обычного вида.

В части, касающейся струйных стохастических элементов, задачами, поставленными при проведении настоящей работы было: проанализировать области их рационального применения; рассмотреть совместно описывающиеся ранее в отдельности принципы построения струйных генераторов случайных сигналов и выяснить

в какой мере широкий класс случайных процессов может воспроизводиться с их помощью; показать как с помощью струйных элементов может производиться автоматическое регулирование для стабильного поддержания заданной вероятности поступления двоичных случайных сигналов, получаемых в генераторе случайных сигналов, исследовавшемся Т.В. Комиссаровой. В отношении статистических методов изучения динамики струйных элементов и устройств ставилось целью: сравнить их со статистическими методами, используемыми при исследовании других устройств пневмогидроавтоматики и при исследовании различных объектов автоматического управления /см., например, [10, 11] /; дать краткий очерк общего состояния вопроса. Были поставлены также следующие задачи: указать при каких условиях может быть полезным использование струйной аппаратуры для определения характеристик случайных процессов и проиллюстрировать примерами возможные принципы ее построения; выяснить какие вопросы, относятся ко всей рассматриваемой области струйной техники автоматического управления, нуждаются в дальнейшем изучении. В следующих разделах указываются выводы, сделанные при проведении этих исследований.

#### Оценка областей рационального использования струйных стохастических элементов в технике автоматического управления

Проведенный анализ показал, что имеются следующие перспективные области применения струйных стохастических элементов:

1. Струйные генераторы случайных процессов целесообразно применять при воспроизведении в лабораторных автоматически управляемых испытательных установках различного вида случайных воздействий на реальные объекты управления и на устройства автоматики и целесообразно использовать их при исследовании шумов, возникающих при работе струйных элементов обычного типа.

2. Стохастические устройства, строящиеся на струйных и других проточных элементах, в некоторых случаях могут рациональным образом использоваться и при выполнении основных функций управления.

Остановимся на тех и других применениях более подробно.

Часто возникает необходимость в проведении лабораторных испытаний, при которых должны воспроизводиться случайные воздействия: действие неровностей дороги на поддресоренную систему в транспортных машинах; действие порывов ветра на строительные сооружения; другие случайные воздействия, оказывающие влияние на эксплуатационные качества различных машин и сооружений, на их рабочие характеристики, усталостную прочность и т.п. При применении пневмо- и гидроприводов вместе с соответствующими системами автоматического управления может быть желательным, чтобы были также пневматическими или гидравлическими и генераторы случайных сигналов, так как такие генераторы сигналов более просто соединяются с приводными устройствами и не нужно использовать в установке различные источники энергии.

Изучение шумов, возникающих при работе систем струйной автоматики, и разработка мер к уменьшению их уровня имеет большое значение для струйной аналоговой техники /см. раздел в §4 гл. II в книге [1] и указанную в этом разделе литературу/. Является существенным и влияние, которое оказывают на работу струйных элементов шумы, генерируемые во внешней среде и во входных и выходных каналах. Для их воспроизведения при проведении экспериментальных исследований также могут использоваться генераторы случайных сигналов, схемы построения которых рассматриваются в следующем разделе. Для элементов струйной дискретной техники большое значение имеет изучение случайных задержек переключения при поступлении сигналов управления. Это является существенным, если иметь в виду работу устройств, в которых должна обеспечиваться согласованная по времени работа соединенных между собой элементов. При выводе струйных реле и элементов памяти на работу в режиме максимального быстрого действия вопросы задержек переключения становятся основными: от того устраняются ли случайные срывы потока и исключаются ли большие задержки в передаче сигналов зависит возможность достижения относительно больших значений частоты переключений,

при которых струйные элементы еще являются работоспособными. При работе на режимах, близких к режиму максимального быстрого действия, указанные выше обычные струйные элементы должны рассматриваться как стохастические и соответствующими должны быть подходы к изучению процессов их функционирования. Струйные генераторы случайных сигналов эффективно могут использоваться при изучении динамических характеристик струйных элементов различных типов.

Анализ применений струйных стохастических элементов, отнесенных ко второй из указанных выше групп, привел к следующим заключениям. Является целесообразным создание в системах струйной автоматики помехоустойчивых линий связи для передачи аналоговых сигналов, кодируемых методом стохастического кодирования, рассмотренным в работе [6]. Выполнение с помощью струйных стохастических элементов вычислительных операций /суммирование сигналов на основе использования теоремы сложения вероятностей, при применении струйного логического элемента ИЛИ, и получение произведения сигналов на основе использования теоремы умножения вероятностей, при применении струйного логического элемента И) для обычных систем струйной автоматики вряд ли является оправданным, так как не обеспечивается достаточно высокая точность выполнения операций и может быть практически сложным выполнение требований, которым должны удовлетворять входные сигналы /если для выполнения операции умножения достаточно, чтобы исходные случайные события были независимыми, то для выполнения операции сложения по простейшей схеме необходимо, чтобы они были и несовместимыми/. Вопрос о таком использовании струйных стохастических элементов в системах управления, работающих при нормальных условиях, является дискуссионным [5, 4]. Однако и такое и другие применения струйных вычислительных стохастических элементов целесообразны при работе устройств управления в условиях, при которых создаются столь интенсивные шумы и помехи, что оказывается невозможной работа элементов обычного типа. Одной из перспективных областей применения струйных стохастических элементов являются пневматические

поисковые системы, работающие по принципу случайного поиска /возможность реализации средствами струйной автоматики стохастических поисковых систем показана В.Г. Шолоховым/.

### Струйные генераторы случайных сигналов

Схемы построения струйных генераторов случайных сигналов приведены на рис. 1. На рис. 1,а изображен элемент, использованный В.Г. Шолоховым при исследовании возможности использования струйных элементов в устройстве, реализующем алгоритм случайного поиска. Профильная вставка здесь такого же вида, как и в струйных элементах, описанных в [12]. В.Г. Шолохов показал, что перемещая вставку в направлении, показанном на рисунке стрелками, можно установить ее в положение, при котором отрыв потока от стенки и его примыкание к стенке происходят случайным образом, причем распределение вероятности числа переключений для заданного интервала времени следует закону Пуассона. На этой и на следующих позициях рис. 1:  $p_0$  - давления питания струйного элемента,  $p_1$  - выходное давление.

Показанный на рис. 1, в струйный элемент может в принципе быть использован, как было показано Т.В. Комиссаровой, для получения случайных двоичных сигналов [2, 3, 4]. Элемент работает следующим образом: при последовательном многократном создании и снятии давления  $p_0$  вытекающая из сопла струя при соответствующей настройке элемента, осуществляемой путем создания давления  $p_2$  в канале управления, случайным образом примыкает к нижней или к верхней стенке, причем в первом случае создается /сигнал "1"/, а во втором отсутствует /сигнал "0"/, давление  $p_1$  в выходном канале. Опыты, проведенные Т.В. Комиссаровой, показали, что вероятность  $P$  поступления сигналов "1" изменяется в функции от давления настройки  $p_2$  следующим образом:  $P = C_1 - C_2 p_2$ . При каждом значении  $p_0$  величина  $p_2$ , при которой получается данная вероятность  $P$ , может быть малой или сколь угодно большой в зависимости от степени дросселирования канала настройки, и соответствующим образом при этом изменя-

ются коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ . Это является удобным, так как можно использовать при необходимости различные давления настройки. Особый интерес представляет получение по этой схеме двоичных случайных сигналов, появляющихся с равной вероятностью ( $P=0,5$ ), так как используя эти сигналы можно, также как это делается в электронной вычислительной технике, строить различные стохастические устройства. В качестве примера в работе [ 4 ] приведена схема построения на элементах пневмоники генератора случайных двоичных чисел  $a_n \dots a_2 a_1$ , где  $a_1, a_2, \dots, a_n$  случайным образом принимают значения "1" или "0". С помощью струйных элементов, как было отмечено в [4], можно получать и последовательности псевдослучайных чисел с большей скоростью, чем это делается при использовании других пневматических элементов /см. [13] /.

На рис. 1, с изображен струйный генератор случайных сигналов, который P.A. Orner использовал для экспериментального определения статистического метода частотных характеристик струйных пропорциональных усилителей, серийно выпускаемых фирмами Aviation Electric и Corning [8]. Он представляет собой простейший струйный элемент типа сопло-приемный канал, помещенный в камеру. В качестве источника случайных сигналов здесь используются естественные турбулентные пульсации давления. Типичная характеристика спектральной плотности  $S(w)$  сигнала, получаемого на выходе такого элемента, имеет в диапазоне частот  $w = 0-1$  кГц участки, на которых величина  $S(w)$  резко изменяется с изменением  $w$ , и участки в диапазоне  $w = 1-2$  кГц, на которых изменение  $S(w)$  менее резкое <sup>1/</sup>.

На рис. 1, d представлен струйный генератор случайных сигналов, который K. Toyoda, I. Jimura и H. Hatanaka применили для определения статистическим методом частотных характе-

---

<sup>1/</sup> Об определении спектральной плотности см. далее в разделе о статистических методах исследования динамических характеристик струйных элементов и устройств.

ристик различных элементов пневмоники: струйного пропорционального усилителя, пневматической камеры с дросселем, коммуникационных каналов [9]. В этом генераторе случайных сигналов имеются два сопла, в общем случае несоосных, на входе в которые создаются давления  $p_{o1}$  и  $p_{o2}$  и имеется перпендикулярно по отношению к осям сопел расположенный приемный канал, соединенный с длинной трубкой и имеющий выходной отросток. Особенностью этого генератора случайных сигналов является то, что он позволяет получать сигналы вида белого шума, для которых  $S(w) = \text{const}$  /получены такие сигналы для диапазона частот  $w = 0-1$  кГц/ и то, что изменяя положение сопел и меняя давления  $p_{o1}$  и  $p_{o2}$  можно в широких пределах варьировать параметры, характеризующие получаемые сигналы.

Возможности использования флуктуаций струйных течений для получения простым образом случайных сигналов различного вида не ограничиваются вышесказанным. С помощью струйных элементов могут генерироваться случайные величины, имеющие самые различные законы распределения плотности вероятности. Например, в обычных струйных элементах дискретного действия, работающих с отрывом потока от стенки, таких как показанный на рис. 1, е плотность вероятности времени задержки переключения /при импульсном создании давления  $p_2$  в канале управления, когда поддерживается постоянное давление питания  $p_o$ , распределена, как показывают экспериментальные исследования, по закону Вейбулла [14, 15, 16]. Часто приходится встречаться для сигналов, генерируемых струйными устройствами, с нормальным гауссовским распределением, в связи с тем, что формирование сигнала происходит в результате естественного действия ряда независимых первичных случайно изменяющихся факторов, причем первичные случайные величины сравнимы между собой по порядку величины дисперсии. При необходимости искусственного перехода от независимых случайных величин, имеющих произвольные законы распределения, к случайной величине, имеющей нормальный закон распределения, такой переход может производиться путем соединения по показанной на рис. 1, f схеме группы струйных генерато-

ров первичных случайных сигналов с выполняющими операцию ИЛИ струйными логическими элементами.

Указанные выше струйные генераторы случайных сигналов могут использоваться при моделировании работы многих технических устройств. Из изложенного выше следует, что с помощью струйных элементов могут получаться случайные сигналы различных видов.

#### Регулятор струйного генератора случайных двоичных сигналов

При использовании изображенного на рис. 1, б струйного элемента в качестве генератора равновероятных или появляющихся с другой вероятностью двоичных сигналов, заданная вероятность появления "1" и "0" обеспечивается лишь при условии, что сохраняется строго постоянным давление настройки  $p_2$ , причем последнее должно быть согласовано с амплитудным значением входных импульсов давления  $p_0$ . Если с течением времени изменяются величины  $p_0$  и  $p_2$ , то вероятность получения двоичных сигналов "1" и "0" будет меняться. То же самое может быть при оседании на нижней наклонной стенке камеры элемента пыли или других частиц, выпадающих из струи, а также и в связи с действием других факторов. Стабилизация заданной вероятности получения сигналов может быть достигнута в процессе длительной работы путем автоматического регулирования, осуществляемого, например, по схеме, представленной на рис. 2, а. Струйным генератором колебаний 1 генерируются импульсы давления, поступающие на вход струйного элемента 2, такого же, как показанный на рис. 1, б, которые с выхода элемента 2 передаются к струйному триггерному счетчику 3. Импульсы давления от генератора колебаний 1 через струйный триггер со счетным входом 4, выполняющий функции делителя частоты на два, поступают к другому струйному триггерному счетчику 5 /рассматривается схема стабилизации получения равной вероятности следования сигналов "1" и "0"; если бы нужно было получать сигналы "1" с вероятностью в два раза меньшей, чем сигналы "0", следовало бы вместо одного триггера со счетным входом 4 последовательно включить два таких триггера



и т.д./ . В блоке 6 сравниваются показания счетчика 3 и 5: истинная частота поступления сигналов "1" сравнивается с заданной. С выхода блока 6, в котором имеются и элементы управления работой блока, пневматические цифровые сигналы, отражающие знак и величину рассогласования между указанными частотами, передаются через цифроаналоговый преобразователь 7 к исполнительному устройству 8 регулятора, которое изменяет величину давления  $p_2$  так, чтобы обеспечивалось равновероятное формирование струйным элементом 2 сигналов "1" и "0". Формирование и передача управляющего воздействия производится циклически. Период работы задается струйным генератором колебаний 9. Последний по окончании каждого периода выдает сигнал, по которому нужным образом изменяется величина  $p_2$  и затем автоматически производится установка счетчиков на нуль, что необходимо для того, чтобы мог начаться следующий цикл работы. Импульсы давления с выхода элемента 2 передаются через струйный релейный элемент 10 в выходной канал 11. Изменяя давление в канале 12 или меняя настройку дросселя 13 можно получать с заданной вероятностью выходные сигналы любого уровня, что практически невозможно при использовании только лишь одного струйного элемента 2, так как в последнем изменение давления  $p_0$  потребовало бы каждый раз коррекции давления  $p_2$ , без которой изменялась бы вероятность появления выходных сигналов "1" и "0". На рис. 2, в показан упрощенный вариант регулятора, отличающийся тем, что отсутствует цифроаналоговый преобразователь и дискретные сигналы "1" или "0", получаемые на выходе блока сравнения, прямо передаются к исполнительному устройству, которое здесь содержит вихревой струйный элемент и пневматическую камеру.

Статистические методы исследования динамических характеристик струйных элементов и устройств. Методы исследования прохождения случайных сигналов через элементы системы струйной автоматики.

Подходы к изучению статистическими методами динамики струйных элементов и устройств могут быть различными. Однако,

специфическим является лишь использование тех или других типов струйных генераторов случайных сигналов, схемы построения которых были рассмотрены выше /см., например, работы [8, 9] /. В остальном же методика исследования такая же, как и для объектов других видов /см. [10, 11] /. Могут быть различия в зависимости от того, какие экспериментальные данные принимаются за исходные /что связано с видом применяемой испытательной аппаратуры/ и как они используются для получения искомых характеристик. Во всех случаях опытным путем находят корреляционные функции или спектральные плотности сигналов. Для входного сигнала  $x(t)$  /см. рис. 3, на котором показаны : 1 - входной канал; 2 - исследуемый элемент или система элементов; 3 - выходной канал/ определяется его автокорреляционная функция

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t-\tau)dt, \text{ где } \tau - \text{величина сдвига}$$

по времени,  $T$  - интервал времени, на протяжении которого производятся измерения; теоретически  $T \rightarrow \infty$ , практически же на протяжении конечного  $T$  производится достаточно большое число измерений, при которых находятся для каждого из выбранных моментов времени  $t$  величины произведений  $x(t)x(t-\tau)$  и при их суммировании и делении затем суммы на число таких произведений, полученных при каждой величине  $\tau$ , находится приближенное значение  $R_x(\tau)$ . Аналогично определяется для выходного сигнала  $y(t)$  его автокорреляционная функция

$$R_y(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)y(t-\tau)dt$$

и определяется характеризующая корреляционную связь между  $x(t)$  и  $y(t)$  взаимная корреляционная функция

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t-\tau)dt.$$

Спектральная плотность, или по другому энергетический спектр, является косинус-преобразованием Фурье для соответствующей корреляционной функции. Например, для сигнала  $x(t)$  спектральная плотность

$$S_x(\omega) = 2 \int_0^{\infty} R_x(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \text{ где } \omega - \text{частота.}$$

С другой стороны,

$$R_X(\tau) = \frac{1}{\pi} S_X(w) \cos \tau w dw$$

С помощью последних формул просто производится переход от  $R(\tau)$  к  $S(w)$  или наоборот, от  $S(w)$  к  $R(\tau)$ . Например, для корреляционной функции вида  $R(\tau) = Ae^{-a|\tau|} \cos b\tau$  интегрирование дает

$$S(w) = A\{2a(a^2+b^2+w^2)/|w^4+2(a^2-b^2)w^2+(a^2+b^2)^2|\};$$

также получаются и выражения  $S(w)$  для корреляционных функций другого вида.

Располагая указанными выше характеристиками получают следующие данные, необходимые для суждения о динамических свойствах исследуемых элементов и устройств. Достаточно располагать лишь каким либо из них для того, чтобы можно было легко получить и другие. Это во-первых, дифференциальное уравнение, описывающее переходные процессы в рассматриваемом устройстве:  $D(p)y(t) = K(p)x(t)$ , где  $D(p)y(t)$  и  $K(p)x(t)$  соответственно сокращенная операторная запись левой и правой части дифференциального уравнения /предполагается, что процесс может быть описан линейным дифференциальным уравнением,  $D(p)$  и  $K(p)$  полиномы от  $p$ ,  $p$  - оператор дифференцирования/. К числу исходных данных относится и передаточная функция  $W(s) = K(s)/D(s)$ , представляющая собой отношения лапласовых изображений  $y(t)$  и  $x(t)$  при нулевых начальных условиях, которая получается из указанного выше дифференциального уравнения при замене в  $D(p)$  и  $K(p)$  обозначения  $p$  на  $s$ , где  $s$  - комплексная переменная<sup>1/</sup>. При замене  $s$  на  $jw$ , где  $j = \sqrt{-1}$  и  $w$  - частота, получается  $W(jw)$  - выражение амплитудно-фазовой частотной характеристики. Из характеристик изменения выходной координаты  $y$  по времени  $t$  определяющими являются временная характеристика  $f(t)$ , получаемая при ступенчатом скачкообразном изменении при  $t = 0$  входной координаты  $x$  от 0 до 1, и так называемая весовая функция

---

<sup>1/</sup> О преобразовании Лапласа и его свойствах, используемых в теории аэрогидродинамических систем автоматического управления см. в 1, стр. 173, 370.

или по другому импульсная переходная характеристика  $g(t) = df(t)/dt$ , получаемая дифференцированием  $f(t)$  по времени. Характеристика  $g(t)$  по другому определяется как переходный процесс для  $y$ , получаемый при измерении  $x$  по закону идеального импульса единичной мощности /  $\delta$  - функция Дирака/; передаточная функция  $W(s)$  представляется как лапласово изображение реакции на указанный выше идеальный импульс.

Какие либо из указанных данных, а по ним и другие, получаются при следующей обработке полученных из опыта характеристик корреляционных функций или характеристик спектральной плотности. При принятии для стационарных и стационарно-связанных случайных функций  $x(t)$  и  $y(t)$  за исходные для последующего анализа корреляционных функций  $R_x(\tau)$  и  $R_{xy}(\tau)$ , весовая функция находится как решение интегрального уравнения Винера-Хопфа

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} g(t) R_x(t-\tau) dt \quad \text{/для } \tau \geq 0 \text{ и } g(t)=0 \text{ при } t < 0/$$

или уравнения Фредгольма 1-го рода

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} g(t) R_x(t-\tau) dt \quad \text{/для } -\infty < \tau < \infty/,$$

которые при указанных в [11] условиях сводятся к уравнению Вольтерра 1-го рода, решаемому в помощь преобразования Лапласа. Однако, практически решение производить не нужно, т.к. можно пользоваться указанным в работах [11, 17, 18] методом типовой идентификации: по раз и навсегда составленным таблицам с различными графиками типовых  $R_x(\tau)$  и  $R_{xy}(\tau)$  без каких либо вычислений, кроме пересчета масштабов, определяются общие выражения передаточной функции, весовой функции и дифференциального уравнения исследуемого объекта и затем определяются и численные значения их коэффициентов. Для получения более точных данных кроме корреляционных функций  $R_x(\tau)$  и  $R_{xy}(\tau)$  используется также и функция  $R_y(\tau)$ . Если исходными являются определяемые из опыта спектральные плотности  $S_x(\omega)$   $S_y(\omega)$ , то по ним выражение модуля  $|W(j\omega)|$  амплитудно-фазовой частотой характеристики находится следующим образом:

$$|W(j\omega)| = \sqrt{S_y(\omega)/S_x(\omega)} .$$

Определение таким образом  $|W(jw)|$  еще более упрощается в тех случаях, когда входным сигналом является белый шум - стационарный случайный процесс, при котором не имеется корреляционной связи между значениями аргумента; для такого сигнала автокорреляционная функция с точностью до постоянного коэффициента равна  $\delta$  - функции, а спектральная плотность  $S_x(w) = \text{const}$ .

Обратной по отношению к указанной выше является задача исследования прохождения случайных сигналов через элементы и устройства системы управления. Если исходными являются характеристики  $S_x(w)$  и  $|W(jw)|$ , то находится  $S_y(w) = |W(jw)|^2 S_x(w)$ . Это дает возможность определить и другие характеристики выходного сигнала. Например, среднее квадратичное значение величины  $y$  находится планиметрированием площади, ограниченной кривой  $S_y(w)$  и осью  $w$  при  $0 < w < \infty$ :

$$\bar{y}^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S(w) dw .$$

Аналогичным образом в части, касающейся случайных сигналов, проводятся исследования и при решении задач фильтрации, когда стремятся обеспечить прохождение по возможности без затухания основных сигналов и отфильтровать от них шумы или же сделать так, чтобы шумы генерировались только в заданном диапазоне частот /о методах фильтрации сигналов в струйных системах см. [19]/.

Перспективы применения струйных и других проточных элементов при создании аппаратуры для определения характеристик случайных процессов.

Существует хорошо разработанная электронная аппаратура для определения характеристик случайных процессов [20]. Она может использоваться как при проведении исследований, так и в составе систем автоматического управления, при работе которых производятся анализ и преобразование случайных сигналов. С помощью элементов аэрогидродинамического действия не представляется возможным выполнять те же функции при таком объеме обрабатываемой информации и с такой скоростью, какие возможны для электронной техники. Поэтому представляется целесообраз-

ным применение рассматриваемых здесь элементов в аппаратуре, служащей для определения характеристик случайных процессов, только в специальных случаях, когда применение электронных устройств является нерациональным или невозможным. Например, в некоторых случаях может дать преимущества применение осуществляющих обработку инфранизкочастотной информации пневматических корреляторов, предназначенных для работы вместе с пневматическими датчиками технологических параметров в системе автоматического управления медленно протекающими производственными процессами; делались попытки построения таких корреляторов на пневматических мембранных элементах /см. [21] /, представляется целесообразным использование при их разработке струйных элементов. Другим примером могут служить устройства, предназначенные к использованию в условиях высоких температур, при интенсивных помехах, радиационных и других воздействиях, при которых электронная аппаратура неработоспособна.

С помощью струйных и других проточных элементов могут определяться основные величины, характеризующие случайный процесс. Например, могут просто определяться приближенные значения математического ожидания и дисперсии случайным образом изменяющегося с течением времени давления воздуха, которое может отражать изменение и других величин, преобразуемых в давление. Для получения усредненного значения давления могут использоваться задресселированные на входе и на выходе пневматические камеры или струйные интеграторы /принципы их построения описаны в книге [1] ; с вопросами осреднения давлений связаны вопросы фильтрации сигналов в струйных системах, рассмотренные в работе [19] /. Простейшим усредняющим устройством является задресселированная на входе пневматическая камера, показанная на рис. 4,а /см. графические обозначения, принятые в книге [1] , см. в последней стр. 378-381; на рис. 4,а показан дополнительно поршневой элемент, служащий для изменения объема при настройке величины постоянной времени камеры/. Оптимальными, если иметь в виду выполнение операции усреднения, являются величина сопротивления дросселя и объем камеры, ус-

танавливаемые так, чтобы дальнейшее их увеличение не влияло на величину получаемого в выходном канале усредненного давления, а при уменьшении их последнее изменялось бы вследствие передачи в камеру пульсаций входного давления. Один из ранее предложенных вариантов построения струйного дисперсиометра был описан в [22]. На рис. 4,в показана схема другого струйного устройства, также предназначенного для приближенной оценки случайной величины давления  $x(t)$ . Давление в выходном канале струйного пропорционального усилителя I отражает величину разности  $x(t) - \overline{x(t)}$ , где  $\overline{x(t)}$  усредненное значение  $x(t)$ . Струйным элементом 2 величина  $x(t) - \overline{x(t)}$  возводится в квадрат. Принцип построения струйных множительных устройств этого типа описан в [1]: если давление на выходе струйного аналогового элемента меняется при данном значении давления во входном канале пропорционально давлению в канале управления и наоборот, при постоянном значении второго из них пропорционально первому, то выходное давление отражает величину произведения этих давлений. При показанном на рис. 4,в соединении указанных каналов и при введении в схему дросселя 3, выходное давление при соответствующей настройке струйного элемента пропорционально квадрату входного давления, отражающего величину  $x(t) - \overline{x(t)}$ . В выходном канале 4 получается давление, пропорциональное усредненной величине  $\overline{(x(t) - \overline{x(t)})^2}$ . При дополнении элементов, очерченных на рис. 4,в пунктирным контуром, элементами, изображенными в правой части рис. 4,с получается струйное устройство, предназначенное для приближенной оценки средне квадратичного отклонения случайного процесса  $x(t)$ . Показанными в правой части рис. 4,с элементами выполняется операция извлечения квадратного корня, причем получается выходное давление, отражающее величину

$$\sigma = \sqrt{\overline{(x(t) - \overline{x(t)})^2}}.$$

Это осуществляется следующим образом. Давление на выходе струйного квадратора I/такого же, как квадратор 2 на рис. 4,в/ поддерживается равным  $\overline{(x(t) - \overline{x(t)})^2}$  с помощью системы автоматического регулирования, содержащей струйный элемент сравнения 2,

являющийся чувствительным элементом системы регулирования, указанный выше элемент 1, и содержащей кроме элементов 1 и 2 камеру 3 и канал обратной связи 4. При работе этой системы на входе в струйный элемент 1 автоматически поддерживается давление, отражающее указанную выше величину  $\sigma$ . Это давление является выходным. Приведенными выше схемами лишь иллюстрируется принципиальная возможность выполнения рассматриваемых функций с помощью струйных элементов. Возможны при этом различные способы их реализации.

#### Вопросы, требующие дальнейшего исследования

Так как разработка струйных стохастических элементов и использование статистических методов при изучении динамики струйных устройств находятся сейчас только в начальной стадии, требуют дальнейшего исследования по существу все перечисленные выше вопросы. Кроме них необходимо изучение также и следующих. До сих пор строились лишь пневматические генераторы случайных сигналов и рассматривались возможности построения других также пневматических стохастических элементов; является актуальным создание и гидравлических элементов этого типа. Статистические методы исследования динамических характеристик струйных устройств в основном применялись до сих пор в предположении, что их рабочий процесс может быть описан линейными дифференциальными уравнениями. Представляется необходимым изучение динамики струйных элементов и с учетом нелинейности исходных характеристик. При этом могут быть использованы общие подходы к определению структуры и характеристик нелинейных объектов, указанные в работе [11]. Важное значение имеет и выявление того в какой мере шумы, возникающие при работе струйных элементов, коррелированы с шумами в потоке рабочей среды в подходящих каналах и с внешними шумами. Оба вопроса были рассмотрены в работе [8], в которой было отмечено, что реакция струйных элементов на случайные воздействия может быть качественно различной в зависимости от того являются ли они слабыми или сильными. Все это требует дальнейшего изучения. Экспериментально-статистические методы могут иметь в рассматриваемой области



техники и другие применения. Целесообразно использовать их при проектировании проточной части струйных устройств. Первые результаты проведенных в этом направлении работ были описаны в книге 23 и в литературе, на которую были сделаны в ней ссылки. Является актуальным развитие данного направления исследовательских и проектных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Залманзон Л.А.: Теории аэрогидродинамических систем автоматического управления.  
Изд-во "Наука", 1977 .
2. Комиссарова Т.В.: Исследование вопроса получения случайных двоичных сигналов с помощью элементов пневмоники.  
В сб. "Пневмоавтоматика", Изд-во "Наука", 1972.
3. Комиссарова Т.В.: Про застосування принципів в струминній пневмоавтоматиці для одержання виподкових двійкових сигналів.  
В сб. "Планування експерименту при дослідженні промислових об'єктів, тов. "Знання", Київ, 1971.
4. Залманзон Л.А., Комиссарова Т.В.: О стохастических элементах пневмоники.  
В сб. "Приборы и устройства струйной техники", ЛДНТП, "Знание", Л., 1973.
5. Massen R.: Stochastic fluidic computing systems, Proc. of the 5th Cranfield Conference, BHRA, 1972.
6. Tafel H.J.: Fluidische Informationsübertragung-Möglichkeiten und Grenzen, Msr., No.3, 1975.
7. Orner P.A., Pill J.: Random signal testing of fluid amplifiers, Fluidics Quarterly, Vol. 1, No.3, 1968.
8. Orner P.A.: Stochastic testing methods for fluid amplifiers, Journal of Basic Eng-ng, Trans. of the ASME, Ser. D., Vol.91, No.2, 1969.
9. Toyoda K., Iimura I., Hatanaka H.: The measurement of dynamics of fluidic devices by using random signals, Papers of the 11th Fluidics Symposium, Sendai, Japan, The Soc. of Instr. and Control Engineers, 1976.
10. Fischer J.: Experimentální výzkum hydraulických prvků statistickými metodami, Automatizace, No.6, 1977.

11. Райбман Н.С., Чадеев В.М.: Построение моделей процессов производства.  
Изд-во "Энергия", 1975.
12. Zalmanzon L.A.: Method of automatically controlling pneumatic or hydraulic elements of instruments and other devices.  
Пат. США № 3295543 кл.137 по заявке ИАТ АН СССР от 12.02.1960, опубл. 03.01.1967 /см. также англ. пат. 913848 по заявке ИАТ АН СССР от 15.12.1959; ФРГ № 1136518 от 14.12.1960/, приоритет в СССР от 13.04.1959.
13. Fasol K.H., Kopacek P., Wohlfart H., Vingron P.: Ein pneumatischer Generator zur Erzeugung von binären Pseudo-Zufallsignalen, Msr, 12, H.5, 1969.
14. Hanafusa H., Miyata K.: Statistical studies on the accuracy of fluidic comparators, Proc. of the 6th Cranfield Fluidics Conference, BHRA, 1974.
15. Harada M., Oyama O., Kaneura A.: Switching delay of wall attachment devices, Papers of the 11th Fluidics Symposium, Sendai, Japan, The Soc. of Instr. and Control Engineers, 1976.
16. Miyata K., Hanafusa H.: Operating condition of wall attachment fluidic device using pulse, Papers of the 11th Fluidics Symposium, Sendai, Japan, The Soc. of Instr. and Control Engineers, 1976.
17. Райбман Н.С., Анисимов С.А., Яралов А.А., Меняйленко В.А., Зайцева И.С.: Оценка структуры модели при типовой идентификации линейных объектов.  
Издание Ин-та проблем управления, М., 1973.
18. Райбман Н.С., Анисимов С.А., Яралов А.А., Меняйленко В.А., Зайцева И.С.: Оценка параметров модели при типовой идентификации линейных объектов.  
Издание Ин-та проблем управления, М.б 1973.

19. Kohl A.: Desisn of transmission line filters and their application in fluidic circuits, Fluidics Quarterly, Vol.7, No.1, 1975.
20. Мирский Г.Я.: Аппаратурное определение характеристик случайных процессов.  
Изд-во "Энергия", 1972.
21. Дарховский Б.С., Хвилевичкий Л.О.: Пневматический коррелог-граф.  
В сб. "Новое в пневмо-гидравлической автоматике".,  
Изд-во АН СССР, 1962.
22. Dexter E.M.: Statistical device, Пат. США № 3459206  
кл. 137-81.5, заявл. 22.10.1965, опубл. 05.08.1968.
23. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С.: Элементы струйной автоматки.  
Изд-во "Машиностроение", 1973.

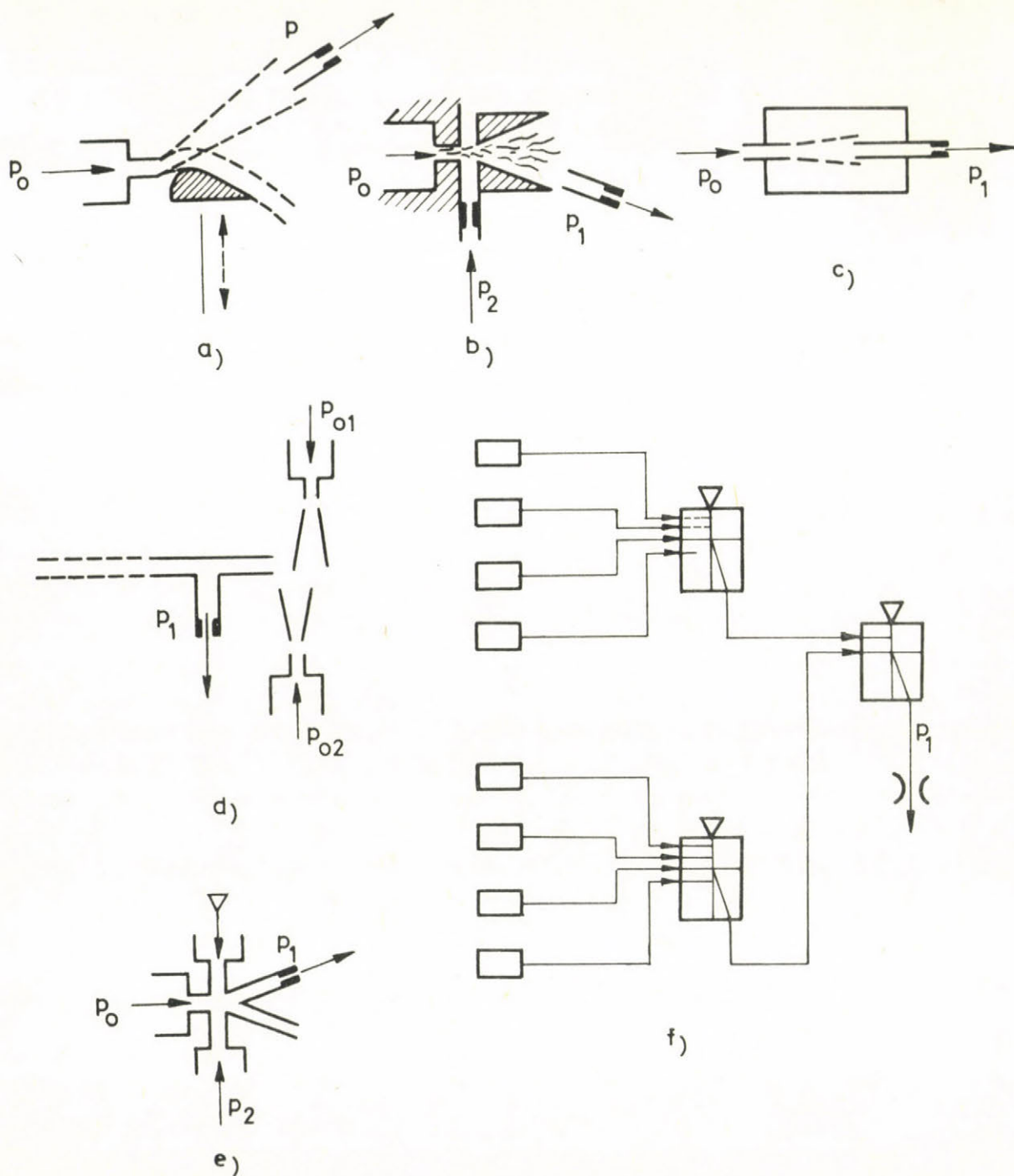
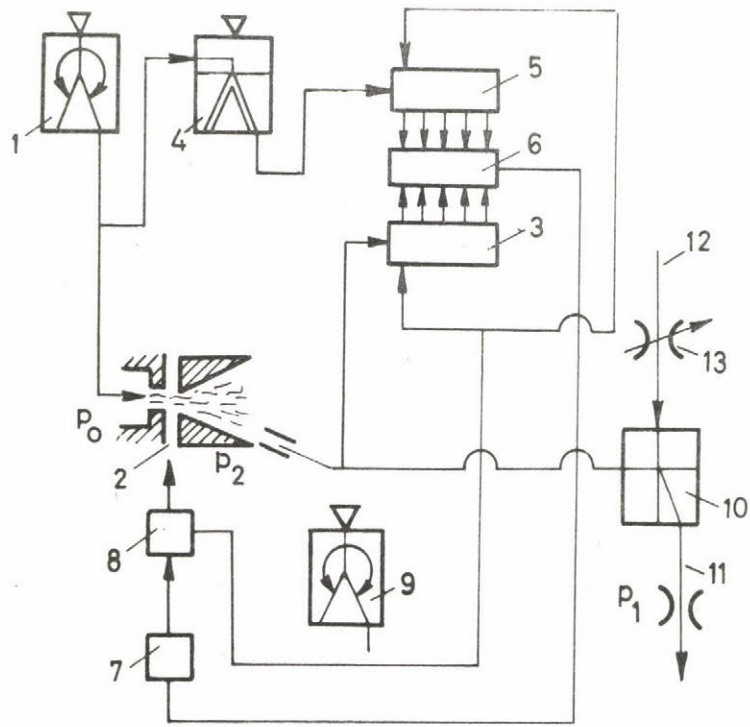
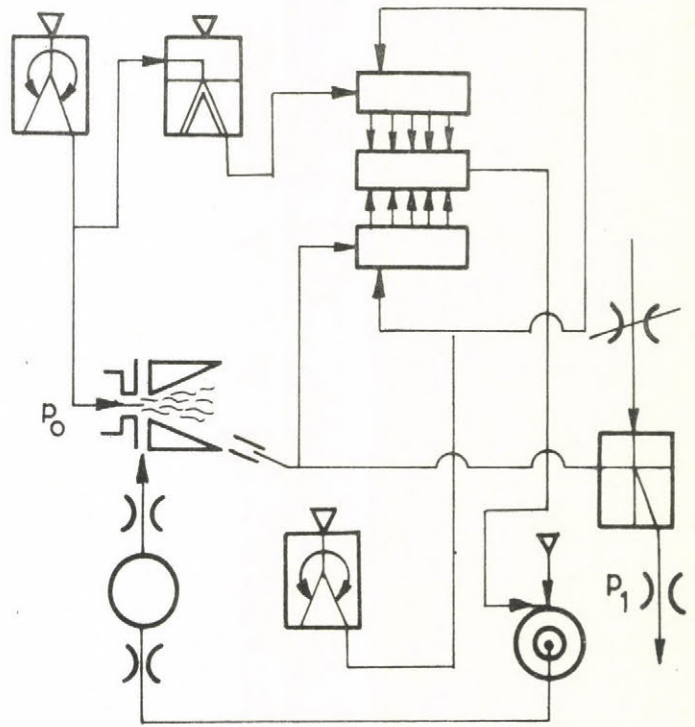


Рис. 1.



a)



b)

Рис. 2.

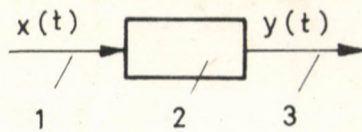
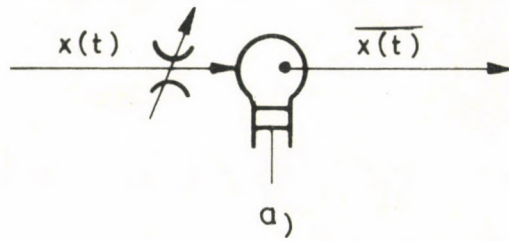
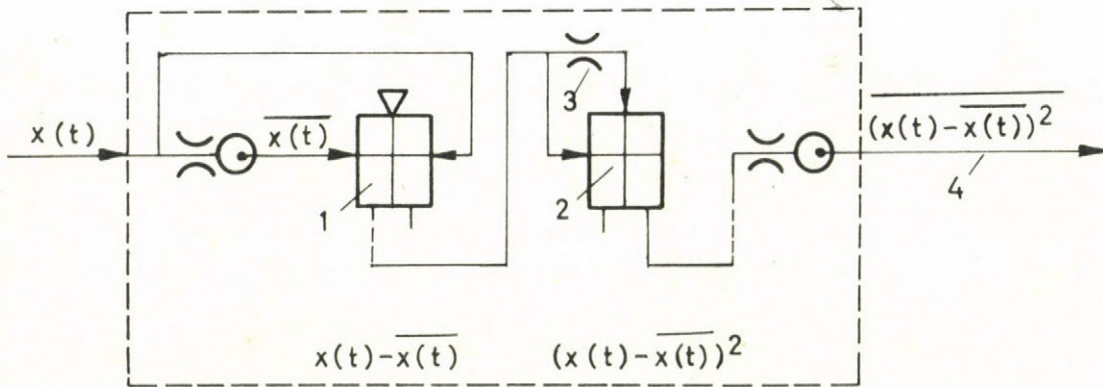


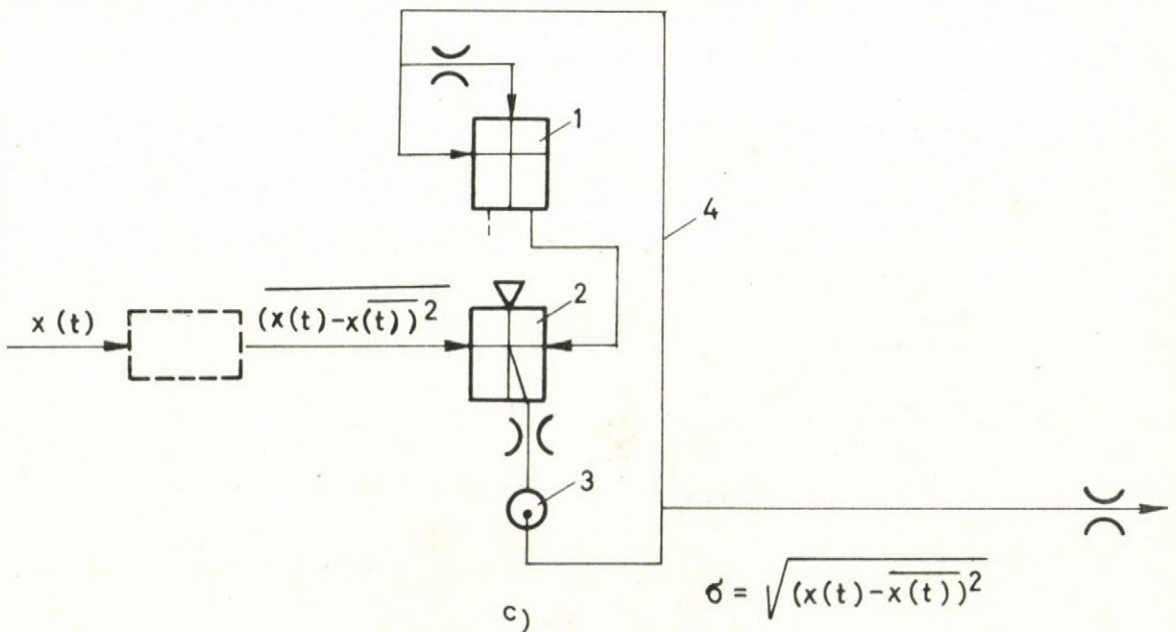
Рис. 3.



a)



b)



c)

Рис. 4.