

УДК 62-50

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОНИКИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

И.А. Замманзон

Чтобы оценить возможности применения пневмоники в вычислительных системах, следует рассмотреть следующие вопросы:

1. Параметры элементов пневмоники, возможности их дальнейшего улучшения.
2. Области рационального использования пневмоники.
3. Особенности аналоговых струйных систем.
4. Некоторые вопросы теории систем пневмоники, связанные с анализом областей ее применения.

1. Параметры элементов пневмоники, возможности их дальнейшего улучшения

Общие сведения об элементах пневмоники были приведены в [1]. Размеры проходного сечения каналов у ранее разработанных струйных элементов — порядка десятых долей мм. Анализ отечественных конструкций устройств пневмоники, проведенный М.Н.Алексеевым, В.В. Беловым и др., показал, что минимальный объем части устройства, приходящий на 1 струйный элемент — около $1,5 \text{ см}^3$ [2]. Минимальные уровни рабочих сигналов — порядка тысячных долей атмосферы (по избыточному давлению), мощность, затрачиваемая

ная на работу активного струйного элемента, сотые доли вт. Времени переключения струйных реле — порядка миллисекунды.

Проведенные у нас исследования показали, что нормальная работа струйных элементов может быть обеспечена и при уменьшении в несколько раз площади проходного сечения каналов [2]. Работы, направленные на миниатюризацию струйных элементов, интенсивно ведутся за рубежом: канадская фирма Aviation Electric сообщила о том, что были размещены 100 активных струйных элементов в 1 куб. дм и что поставлена задача увеличения количества элементов, размещенных в этом объеме, еще в 10 раз [3]. Известно сообщение о постановке такой же задачи фирмой Martin Marietta (США); пока же, как указывается, были построены элементы с размерами сечения канала 0,1 мм и несколько элементов, у которых эти размеры составили 0,05 мм [4].

Дальнейшее уменьшение размеров струйных элементов встречает на своем пути трудности технологического характера. Если они будут преодолены, могут быть существенно улучшены такие параметры элементов пневмоники, имеющие значение при их использовании в вычислительной технике, как скорость выполнения операций, плотность размещенных элементов, мощность потоков воздуха, необходимая для работы элементов.

II. Области рационального использования пневмоники

I. Основное назначение элементов пневмоники. На II-й Всесоюзной конференции по вычислительным средам был поставлен вопрос о возможности и целесообразности применения пневмоники при построении высокопроизводительных вычислительных систем, содержащих очень большое число элементов. Если иметь в виду обычные условия эксплуатации вычислительных устройств, то на этот вопрос следует ответить отрицательно. К этому имеются следующие основания. Хотя скорость передачи и преобразования сигналов с созданием элементов пневмоники значительно увеличилась по сравнению с той, которая ранее была достижима для элементов пневмоавтоматики, и в струйных системах в ряде случаев близка к скорости звука, она

на много порядков меньше, чем скорость передачи и преобразования сигналов электронными элементами. Элементы пневмоники намного меньше, чем ранее применявшиеся пневматические элементы; разработаны принципы построения струйных интегральных схем, изготовляемых способом прессования, прецизионного литья или фотохимического травления. Однако по габаритным размерам функциональные пневматические ячейки никак не могут сравниваться с ячейками сверхмалых интегральных электронных схем.

Применение элементов пневмоники является перспективным, в основном, для вычислительных устройств, используемых при управлении производственными процессами, например, технологическими процессами в нефтехимической и газовой промышленности, при управлении станками и точными линиями, и т.д., т.е. для устройств локального назначения. При определении места и роли последних необходимо учитывать следующее.

Все большее развитие получает принцип иерархического управления. Управление устройства делится на локальное, в функции которых входит управление отдельными процессами, и на центральное (различных уровней), осуществляющее управление сложными комплексами (цехи, предприятия, отрасли, целые отрасли промышленности и т.д.). Из каждой ступени иерархической системы управления в более высокую ступень передается лишь выборочная информация, и, соответственно, в обратном направлении поступают только основные команды управления.

Развитие техники привело к необходимости использования вычислительных устройств на всех этих ступенях, причем для локальных систем управления нужны относительно простые вычислительные устройства, часто содержащие всего лишь десятки, сотни или тысячи первичных элементов; для выполнения же наиболее сложных функций централизованного управления иногда необходимы вычислительные системы, содержащие миллиарды элементов.

Основная область рационального использования элементов пневмоники в вычислительной технике — простейшие вычислительные устройства локальных систем управления. Такие устройства, построенные на элементах пневмоники, высококачественны, просты в эксплуатации, могут работать непосредственно в производственных помещениях при наличии в них педаро- и взрывоопасных сред. Скорость выполнения ими операций достаточна для управления

большинством технологических процессов. Представляется перспективным применение вычислительных устройств на элементах и в таких специфических отраслях, как управление силовыми установками летательных аппаратов, измерительная техника, моделирование процессов, причем описать такие имеются в виду специализированные устройства ([1] - [5]).

2. Условия, при которых может возникнуть необходимость в применении элементов пневмоники при построении сложных управляющих и вычислительных устройств. Выполнение операций, связанных с переработкой большой по объему информации, должно производиться при нормальных условиях эксплуатации электронными вычислительными машинами. Однако могут быть особые условия, при которых элементы пневмоники работоспособны, а электронные и другие известные сейчас элементы работать не могут. Это высокие уровни радиации и очень высокие температуры. Элементы пневмоники нечувствительны к радиационным воздействиям, а при изготовлении их из жаростойких сплавов или из керамики могут в принципе работать при температурах окружающей среды до 1000°C и выше. При возникновении таких условий может появиться необходимость в использовании элементов пневмоники даже и для построения относительно сложных систем, хотя заведомо последние не будут столь быстродействующими и миниатюрными, как электронные системы аналогичного назначения. При дальнейшем обсуждении вопросов применения элементов пневмоники будем считать, что на соответствующих ступенях иерархической системы управления имеются надлежащие условия для использования как электроники, так и струйной техники.

3. Задачи создания комбинированных электропневматических вычислительных устройств. Вопросы использования струйных и электронных вычислительных устройств во многих случаях являются независимыми. Вместе с тем для ряда приложений существенно то, что те и другие устройства могут быть

объединены в одну единую систему.

Одна из основных задач при создании таких комбинированных систем - разработка пневмоэлектрических и электропневматических преобразователей. Особый круг задач возникает в связи с возможностями использования элементов пневмоники непосредственно во входных и выходных устройствах электронных цифровых машин (например, струйные лентопрокатные механизмы [6] и др.). Анализ схем использования элементов пневмоники в сочетании с электронными цифровыми вычислительными машинами показал, что струйная часть системы может обеспечивать работу на аварийных режимах [7].

Опубликованы данные фирмы Applied Fluidics (США), согласно которым стоимость комбинированной электронно-пневматической вычислительной системы оказалась на 50% меньше стоимости чисто электронной системы, причем она превзошла последнюю по качеству работы и по надежности [8].

II. Особенности аналоговых струйных систем

Большая часть прикладных работ в области пневмоники была до сих пор направлена на создание струйных элементов и устройств дискретного действия. Между тем разумное решение связанных с локальным управлением задач вычислительной техники во многих случаях возможно только при применении аналоговых элементов или при их использовании вместе с дискретными элементами: часто не требуется, чтобы информация перерабатывалась с высокой точностью и тогда сложные цифровые вычислительные устройства могут быть заменены значительно более простыми аналоговыми. Выполнение аналоговых операций было предусмотрено при разработке первой отечественной системой модулей струйной техники СМСТ. Необходимо включение аналоговых элементов и модулей и в другие разрабатываемые сейчас у нас системы. К этому вопросу за рубежом также привлечено внимание многих фирм, приступивших к выпуску на продажу струйных аналоговых модулей и приборов (см., например, [9], [3], [10]).

Остановимся более подробно на следующих вопросах, связанных

ных с построением аналоговых устройств пневмоники.

При разработке типовых модулей должны учитываться требуемая точность выполнения операций и необходимая степень универсальности строящихся на данных модулях устройств. Если ставящиеся в этой части требования немыслимы, возможно существенное упрощение схемы и конструкции соответствующего модуля. Проиллюстрируем это на примере получения сигнала производной от заданной исходной величины, представляемой в пневматических системах значением давления воздуха.

На потоках воздуха выполняются различные аналоговые операции, однако до сих пор не были указаны методы запоминания непрерывно меняющихся давлений воздуха (или другой проточной среды) и запоминания максимального и минимального за процесс значения давления. Покажем, что на потоках могут выполняться также и эти операции.

1. Пример, иллюстрирующий различные подходы к построению аналоговых устройств пневмоники. Рассмотрим возможные методы получения сигнала производной от исходной величины — операции, необходимость выполнения которой часто возникает при стабилизации замкнутых систем регулирования. На рис. I, а показана схема струйного дифференцирующего звена [1].

В состав его входят пневматическая камера I и построенные на релейных усилителях сумматор 2 и вычитатель 3. На рис. I, б приведена схема струйного устройства, выполняющего функции сумматора и вычитателя; составной его частью является многокаскадный струйный усилитель 4, схема которого представлена на рис. I, в.

На базе показанного на рис. I, б модуля могут строиться не только рассматриваемое здесь, но и другие аналоговые струйные устройства, и в этом отношении он является универсальным. Вместе с тем при формировании управляющего воздействия по производной в системах регулирования во многих случаях не требуется, чтобы эта операция выполнялась с большой точностью, и допустимо ее сочетание с инерционным воздействием, осуществляемым простейшим односвязным звеном. При этом относительно сложное

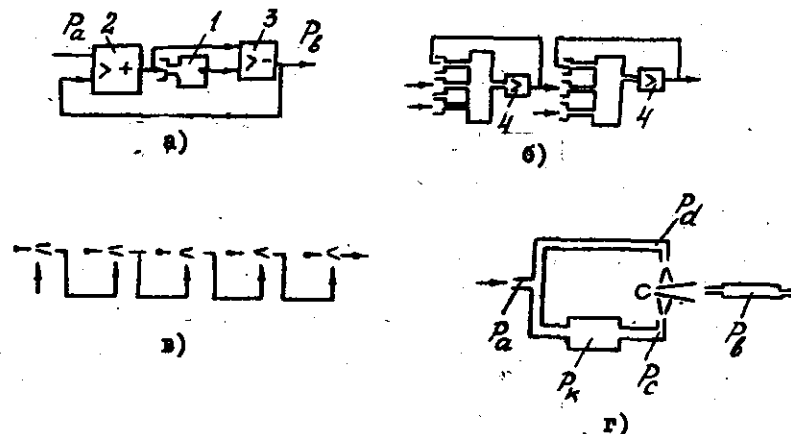


Рис. I.

устройство, представленное на рис. I, а, может быть заменено изобразившим на рис. I, г устройством, содержащим всего лишь одну пневматическую камеру и один струйный элемент. Здесь малые отклонения δP_a , δP_b , δP_c , δP_d , δP_k давлений P_a , P_b , P_c , P_d , P_k в показанных на рисунке точках связаны между собой (при соответствующем выборе характеристик дросселей) следующим образом:

$$\delta P_b = c(\delta P_a - \delta P_c), (\tau s + 1)\delta P_k \approx \delta P_a,$$

$$\delta P_d = \kappa \delta P_a, \delta P_c = \kappa \delta P_k,$$

где c , κ , τ — постоянные коэффициенты, s — оператор дифференцирования. Из этих уравнений получаем

$$\delta P_b = c\kappa \frac{\tau s}{1 + \tau s} \delta P_a,$$

то есть получается дифференцирующее действие в сочетании с инерционным действием односвязного звена; если же $\tau s \delta P_k \ll \delta P_a$, то формируется практически чистое воздействие по производной. Иная в виду особенностей вычислительных устройств, предназначенных для применения в локальных системах управления, целесообразно включать в системы модули струйной техники, наряду с универсальными аналоговыми модулями, такими, как

Устройство содержит набор активных струйных реле I в таком количестве, чтобы давления управления, при которых происходит переключение каждого элемента, следующего за данным, отличались одно от другого на единицу шкалы передающего по каналу 2 входного давления p , текущее значение которого в некоторый

2 входного давления p , текущее значение которого в некоторый

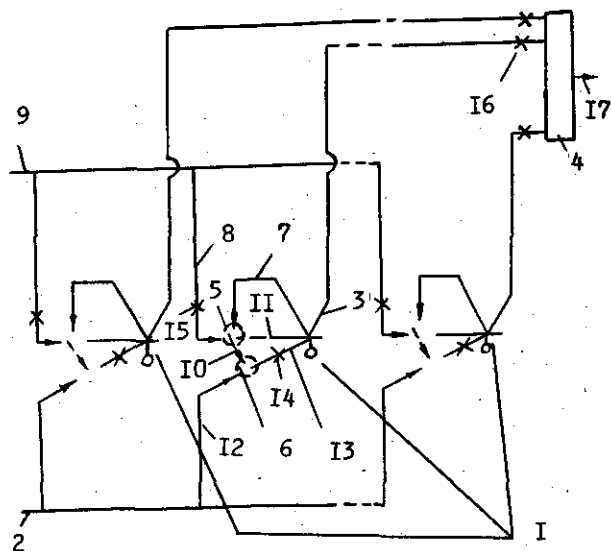


Рис. 2.

Устройство работает в отсутствие команды запоминания (давления) в канале 9 следующим образом. При каждом данном значении входного давления P , поступающего в канал 2, включены на подачу выходных давлений к сумматору 4 лишь те струйные реле, которые переключаются на выходные каналы 3 при давлениях управления, отвечающих величинам, меньшим или равным данному значению P . В остальных реле поток направлен на выходе в канал 7. При подаче команды запоминания P_3 остаются подключенными к сумматору 4 лишь те реле, которые и ранее были включены, причем обеспечивается переключение потока на канал 3 также и сигналом, поступающим по каналам I5 и II. Для всех остальных реле возможность их подключения к сумматору 4 исключается (как бы ни менялось давление P) после подачи давления P_3 тем, что реализуется в элементе 5 на выходе его IO операция конъюнкции его входных сигналов, а в канале IO формируется сигнал управления для элемента 6, запрещающий передачу сигналов изменения P в канал управления I3 струйного реле I.

Настройка сумматора на получение на его выходе 17 значений давления P , повторных, соответственно, входные значения этого давления в канал 2, производится для каждой точки характеристики при включенном давлении P_2 , так как с подачей последнего может несколько измениться давление в выходных каналах 3 включенных струйных реле.

3. 0 запоминание максимального и минимального давлений.

Схема устройства, предназначенного для выполнения рассматриваемых функций, представлена на рис. 3, а [12].

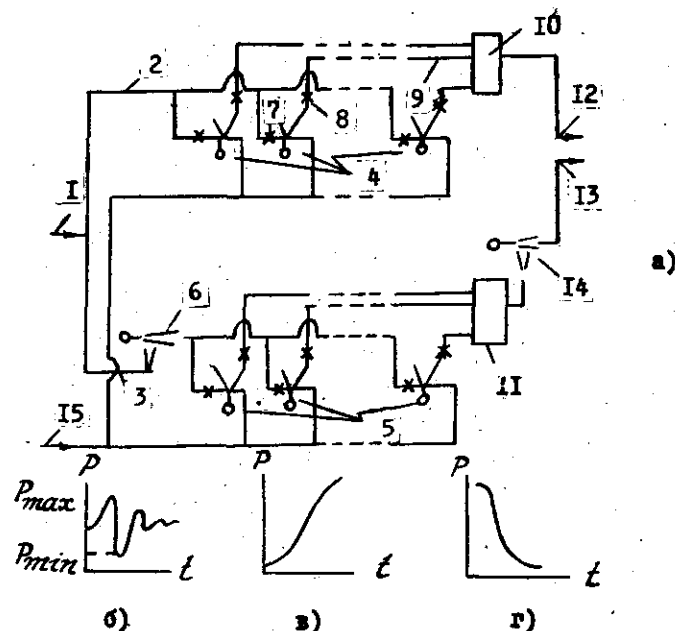


Рис. 3.

На рис. 3, б показан примерный вид кривой зависимости непрерывно изменяющегося давления P как функции от времени t , максималь-

ное P_{max} и минимальное P_{min} значения которого запоминаются. Данное устройство содержит канал 1 подвода давления $P = f(t)$ и отвечающие от него каналы 2 и 3. С каналом 2 связаны каналы управления струйных активных дискретных элементов памяти 5 через аналоговый активный струйный элемент 6. Количество струйных элементов в наборах 4 и 5 такое, чтобы давления управления, при которых происходит в каждом наборе переключения каждого элемента, следующего за данным, отличались одно от другого на единицу шкалы измерения входного давления P . В каждом струйном элементе памяти имеется дроссель 7 настройки соответствующего давления (на рис. 3, а обозначение дросселя 7 указано лишь для одного из элементов). Имеются также дроссели 8 и каналы 9 (на рис. 3, а обозначения дросселя 8 и канала 9 указаны лишь для одного из элементов) линии передачи сигналов к сумматору давлений 10, если данный струйный элемент памяти относится к группе элементов 4, и к сумматору 11, если данный струйный элемент памяти относится к группе элементов 5. С сумматором 10 непосредственно связан выходной канал 12. С сумматором 11 выходной канал 13 связан через инверсный аналоговый активный струйный элемент 14, аналогичный струйному элементу 6. В устройстве имеется канал 15 сброса на нуль показаний, считываемых по каналам 12 и 13.

Работает данное устройство следующим образом. По достижении значений P , при котором происходит переключение каждого данного струйного элемента памяти, выходное его давление передается через дроссели 8 по каналу 9 к соответствующему сумматору. Дроссели 8 настраиваются так, чтобы при монотонно возрастающей характеристике $P = f(t)$ (рис. 3, в) эта характеристика повторялась бы в выходном канале 13. При этом в случае немонотонного изменения $P = f(t)$, такого, например, как показано на рис. 3, б, по окончании процесса на выходе 12 устройства сохраняется (запоминается) значение P_{max} , а на выходе 13 устройства — значение P_{min} . При создании давления на выходе в канал 15 происходит обнуление на нуль показаний, считываемых по каналам 12 и 13.

В заключение отметим, что при схеме, показанной на рис. 3, а, струйные элементы дискретного действия используются вместе со струйными аналоговыми элементами. С выполнением аналоговых

вычислительных операций связаны многие функции управления. Во многих случаях целесообразно сочетать эти операции с цифровыми и с выполнением логических функций. При этом оказывается возможным упрощение системы в целом и увеличение скорости переработки информации. Эти вопросы возникают не только в отношении элементов и устройств пневмоники, они имеют более общее значение. Преимущества, которые в ряде случаев дает сочетание аналоговых и дискретных элементов, должны приниматься во внимание как при определении состава систем модулей, служащих для построения специализированных устройств, так и при разработке первичных ячеек, предназначенных для создания универсальных систем, строящихся по принципу однородных структур.

IV. Некоторые вопросы теории систем пневмоники, связанные с анализом областей ее применения

Новые возможности для реализации на потоках воздуха вычислительных операций появляются с созданием комбинированных струйных элементов, каждый из которых при включении различных входных и выходных каналов выполняет соответственно различные логические функции. Некоторые из элементов этого типа, разработанные советскими и иностранными учеными и инженерами, были описаны в [1].

Для эффективного использования этих элементов необходим соответствующий теоретический аппарат. Теория логических функций электронных вычислительных машин до сих пор в основном строилась на базе алгебры Буля, исходными для которой являются функции отрицания, конъюнкции, дизъюнкции. Анализ возможных способов реализации на струйных элементах типовых блоков показал, что в некоторых случаях более рациональным является использование элементов, выполняющих операции: неравнозначность, конъюнкция, константа единицы, составляющие базис, применительно к которому построена алгебра Кегалкина [13, 14]. Актуальна задача разработки и других алгебр логики, на основе которых могли бы строиться регулярные методы синтеза устройств пневмоники при использовании любых исходных базисов.

Устройства пневмоники, изготовленные методом печатных

схем, включают в себя модули — специализированные группы элементов, выполняющие определенные функции. Поэтому важно располагать методами синтеза логических схем не только на базе того или другого набора элементов, но и при использовании модулей в качестве исходных ячеек. Один из подходов к решению этого вопроса содержится в работе Ю.Б. Гершкович, исследовавшей логическую структуру одноконтурных струйных модулей [2].

Актуальны вопросы теории устройств пневмоники, содержащих наряду с логическими элементами запоминания дискретных сигналов, а также вопросы теории устройств и систем, в которых вместе с элементами дискретного действия используются аналоговые элементы пневмоники.

Уже было отмечено, что могут быть случаи, когда вычислительные устройства пневмоники должны содержать больше, чем это было указано ранее, количество элементов. При разработке таких устройств возникает вопрос об использовании принципа предельного распараллеливания и других принципов построения, разработанных применительно к электронным вычислительным средам, содержащим много элементов [15].

Большое практическое значение имеет вопрос о требуемой степени универсальности тех или других устройств и систем. Тогда для вышних ступеней иерархических систем управления необходимо, чтобы вычислительные устройства были бы возможно более универсальными, для локального управления основное значение имеют специализированные наборы элементов и модулей. Одной из главных является задача выбора рациональной их структуры.

Л и т е р а т у р а

1. ЗАЛМАНШОН Л.А. Теория элементов пневмоники, "Наука", Главная редакция физико-математической литературы, 1969.
2. Новое в пневматике. — Сб. статей, "Наука", 1969.
3. FLUIDICS, Training Course, Aviation Electric Ltd., Montreal, Canada.
4. REY RHEIN. Laminar-turbulent cavity shrinks fluidic systems, Product Engineering, v.38, N 23, Nov., 6, 1967.

5. ЗАЙМАНЗОН Л.А. Пневмоника и модели, изд-во "Знание" , 1970.
6. PROCEEDINGS of the Second Cranfield Fluidics Conference BNRA , 1967 (см. также "Новые книги за рубежом", серия , №3, 1969).
7. HYMAN H. New approach to DDC uses fluidics, Control Engineering , 16, № 2, 1969 (см. также - Экспресс-информация "Приборы и элементы автоматики", №29, 1969).
8. Fluidics feedback, BNRA, Sept., 1969.
9. URBANOSKY F.P., DONERTY M.C. Fluidic op amp : a new control tool, Control Engineering, vol. 14, N12, Dec., 1967.
10. Corning to offer analog fluidics, Control Engineering, vol. 15, N 12, Dec. 1968.
11. ЗАЙМАНЗОН Л.А. Струйное устройство памяти. А.С. СССР № 315182 от 11 ноября 1969 г., Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий, М., 1971, № 28.
12. ЗАЙМАНЗОН Л.А. Датчик максимального и минимального давлений. А.С. СССР № 293186 от 11 ноября 1969г., Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий, М., 1971г., №5.
13. ГЛУШКОВ В.М. Синтез цифровых автоматов, Физматгиз , 1962 .
14. ГЛУШКОВ В.М. Введение в кибернетику, АН УССР, 1964.
15. ДЯТЛОВ В.Д. Некоторые требования к элементам вычислительных сред, - "Вычислительные системы", Тр. I Всесоюзной конференции по вычислительным системам, 1967, Новосибирск, "Наука" СО, 1968.

Поступила в редакцию
19.XI.1969