

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И НОРМИРУЕМЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОПРЕДЕЛЬНЫХ СЛЕДЯЩИХ СТРУЙНЫХ ДАТЧИКОВ

А.С. Сергеев, Б.В. Лесной (Волгоградский государственный технический университет)

На основе экспериментальных исследований представлены основные параметры широкопредельных следящих струйных датчиков, дана оценка погрешностей измерений, приведены нормируемые метрологические характеристики, а также динамические характеристики.

Ключевые слова: следящий пневмодатчик, метрологические характеристики, функция преобразования, чувствительность, погрешности преобразования, характеристики быстродействия.

Автоматизация процессов контроля геометрических параметров различных объектов, а также усовершенствование техники научных экспериментов требуют создания широкого класса совершенных первичных измерительных преобразователей (датчиков), в том числе для специальных условий проведения измерений, рассмотренных в работе [1]. К такого рода датчиков можно отнести широкопредельные следящие струйные датчики (в дальнейшем следящие пневмодатчики), обладающие рядом преимуществ: бесконтактностью измерений, достаточной чувствительностью, широким диапазоном измерений, возможностью измерения объектов со специфичными поверхностями и их взаимным расположением, а также возможностью построения различных измерительных устройств. В работе [1] рассмотрено применение следящих пневмодатчиков во взаимодействии со вторичными преобразователями и их подключением к модулям аналогового ввода/вывода для преобразования измерительного сигнала линейных перемещений в электрический и получения информации о параметрах объектов в цифровом виде, в том числе с возможностью последующей ее обработки на ЭВМ. Там же приведены теоретические исследования функциональной модели следящего пневмодатчика в виде двухкамерной поршневой системы в зависимости от ряда влияющих факторов, а также оценки переходных процессов, амплитудных погрешностей и фазовых ошибок на модели системы с обратной связью.

Однако для установления адекватности теоретической модели, а также стандартизованной оценки

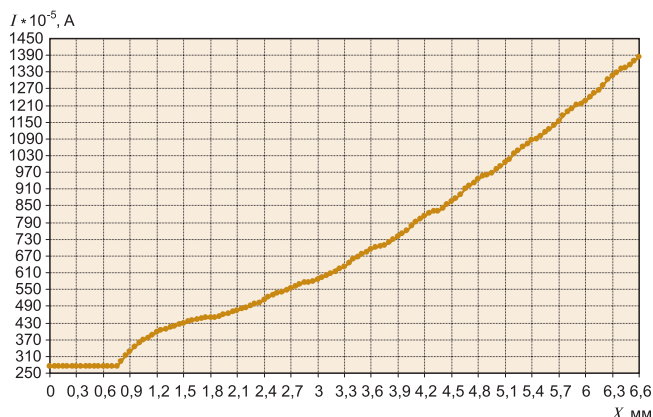


Рис. 1. Экспериментальная функция преобразования следящего пневмодатчика, где  $I$  — ток на выходе преобразователя ДПА;  $X$  — перемещение поршня следящего пневмодатчика

погрешностей и точности измерений следящими пневмодатчиками, применяемыми во взаимодействии со вторичными и цифровыми преобразователями, была проведена экспериментальная оценка их основных параметров, а также нормируемых метрологических и динамических характеристик регламентированных ГОСТами.

С этой целью в лаборатории кафедры "Автоматизация производственных процессов" Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, описание которой было представлено в работе [1], там же приведены основные характеристики и показатели точности измерения одной из конструктивных реализаций следящего пневмодатчика для оптимальных его рабочих параметров. Настоящая работа посвящена более подробному экспериментальному исследованию основных характеристик, показателей точности измерения и определению нормируемых метрологических характеристик следящего пневмодатчика определенной конструктивной реализации для всего диапазона основных рабочих параметров с учетом основных влияющих факторов.

Экспериментальные исследования включали: снятие поверочной характеристики датчика ДПА, исследование показателей быстродействия и статических характеристик следящего пневмодатчика, а также его динамических характеристик.

Нормируемые метрологические характеристики средств измерений регламентирует ГОСТ 8.009 — 84, устанавливающий определенный комплекс метрологических характеристик и их норм, для каждого вида измерительного устройства, к числу которых относятся:

- функция преобразования (рис. 1)  $X_{\text{вых}} = f(X_{\text{вх}})$  — зависимость выходной величины от входной. Входным воздействием является перемещение  $X$  поршня датчика в зависимости от изменения размерного параметра поверхности измеряемого объекта; выходным сигналом — величина тока  $I$  на выходе вторичного преобразователя (датчика ДПА) [2];
- абсолютная чувствительность  $S$  следящего пневмодатчика на линейном участке функции преобразования:  $S = 2 \text{ А/м}$ ;
- порог чувствительности  $S'$  — минимальное изменение величины на входе, которое можно зафиксировать данным прибором:  $S' = 0,005 \text{ мм}$  [2];

- диапазон измерения  $X$  – разность между наибольшим и наименьшим значением измеряемой величины.

Диапазон измерения ограничивает аналоговый датчик положения ДПА; с учетом этого диапазон измерения равен  $X = 12$  мм. Однако при необходимости этот диапазон может быть расширен путем выбора необходимой характеристики преобразования вторичного преобразователя (датчика ДПА).

Следует отметить, что требования по обеспечению точности и чувствительности к пневмопреобразователям, встраиваемым в виде узлов в отдельные функциональные элементы, обычно не нормируются и определяются точностью и чувствительностью функционального элемента в целом, то есть датчика [3];

- точность измерений оценивается следующими характеристиками: абсолютная погрешность измерения  $\Delta$ , относительная погрешность измерения  $\Delta_{\text{отн}}$ , основная приведенная погрешность  $\gamma$  [2].

При проведении экспериментальных исследований были выявлены оптимальные и неоптимальные условия работы следящего пневмодатчика. В частности, оптимальные условия заключаются: в ограничении скорости перемещения поверхности измеряемого объекта относительно торца измерительного сопла пневмодатчика ( $V_{\text{отн}} = 0,29$  м/с); в увеличении питающего давления ( $P_{\text{отн}} = 0,15$  МПа); уменьшении технологического зазора ( $\delta_{\text{отн}} = 150$  мкм).

Точность датчика в системах автоматизированного контроля обычно считается удовлетворительной при величине основной приведенной погрешности  $\gamma \leq (\pm 0,5 - 1,0) \%$  от диапазона шкалы. [3]

При статистической обработке результатов к показателям точности измерения относятся: средняя квадратическая ошибка измерения  $\sigma$ , абсолютная погрешность измерения  $\Delta$ , относительная погрешность измерения  $\Delta_{\text{отн}}$ , вероятностная погрешность  $\rho$ , средняя абсолютная погрешность  $\nu$ , предельная погрешность  $\Delta_{\text{lim}}$ .

Так при оптимальных условиях проведения эксперимента ( $V_{\text{отн}} = 0,29$  м/с;  $P_{\text{отн}} = 0,15$  МПа;  $\delta_{\text{отн}} = 150$  мкм):  $\sigma = 4,96$  мкм,  $\Delta = 4$  мкм,  $\Delta_{\text{отн}} = 0,31 \%$ ,  $\rho = 3,3$  мкм,  $\nu = 3,96$  мкм,  $\Delta_{\text{lim}} = 0,5 \%$ . При неоптимальных условиях проведения эксперимента ( $V = 0,34$  м/с;  $P = 0,05$  МПа;  $\delta = 450$  мкм):  $\sigma = 28,11$  мкм,  $\Delta = 34$  мкм,  $\Delta_{\text{отн}} = 1,62 \%$ ,  $\rho = 18,96$  мкм,  $\nu = 22,43$  мкм,  $\Delta_{\text{lim}} = 4,25 \%$ .

Исследования показателей быстродействия следящего пневмодатчика включали изменение факторов (рис. 2), влияющих на точность позиционирования

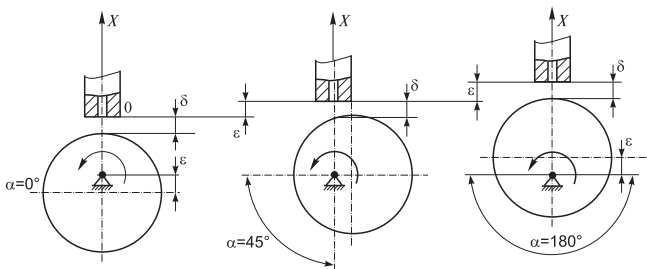


Рис. 2. Схема измерения перемещения поршня

*Чем тоньше лед, тем больше хочется убедиться, выдержит ли он.*

Джош Биллингс

поршня пневмодатчика при их воздействии, таких как: амплитуда  $A$  колебаний эксцентрика при его вращении, зазор  $\delta$  между поршнем следящего пневмодатчика и поверхностью эксцентрика, обороты  $n$  двигателя, давление  $P$  в питающей магистрали. За измеряемую величину принималось воспроизведение эксцентриситета по оси  $X$ , и при этом с учетом частоты дискретизации производилась запись сигнала с бесконтактного датчика положения ДПА через АЦП на ПК.

Важным показателем при исследовании быстродействия пневмодатчика является критическая скорость  $V_{\text{кр}}$ , характеризующая его динамическую работоспособность. Под критической скоростью  $V_{\text{кр}}$  будем понимать максимально возможную скорость перемещения контролируемой поверхности относительно торца сопла пневмодатчика, при которой следящий пневмодатчик с определенной точностью фиксирует измеряемую величину с погрешностью, находящейся в допустимом диапазоне.

Ниже приведены основные графики экспериментальных исследований, отражающих характерные зависимости влияния ряда факторов на оцениваемые параметры.

Результаты опытных данных, полученных при питающем давлении  $P = 0,15$  МПа.

Исходные данные (рис. 2):  $A = 2\epsilon = 2,1; 2; 1,7; 1,45; 1,3$  мм;  $\delta_1 = 150$  мкм;  $\delta_2 = 250$  мкм;  $\delta_3 = 350$  мкм;  $\delta_4 = 450$  мкм;  $P = 0,15$  МПа;  $n = 43...162$  об/мин.

На рис. 3 представлена зависимость перемещения поршня  $X$  следящего струйного датчика от угла поворота эксцентрика  $\alpha$  при  $\delta = 150$  мкм,  $A = 1,7$  мм и  $P = 0,15$  МПа.

Следует отметить существенное влияние на величину перемещения поршня  $X$  следящего пневмодатчика таких факторов, как технологический зазор  $\delta$  и скорость перемещения контролируемой поверхности относительно торца сопла пневмодатчика. В обоих случаях увеличение этих показателей приводит к уве-

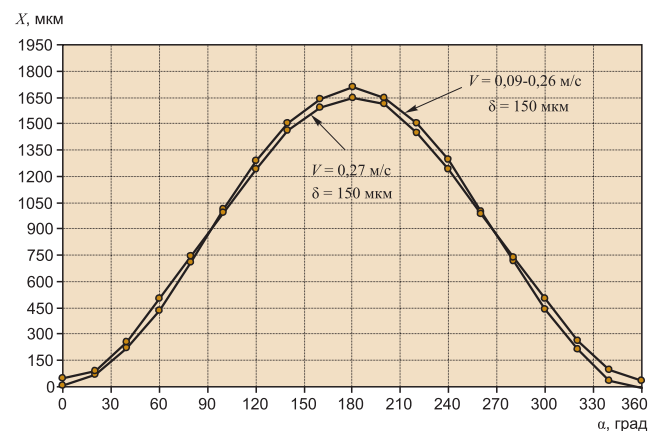


Рис. 3. Экспериментальный график зависимости перемещения поршня  $X$  от угла поворота эксцентрика  $\alpha$

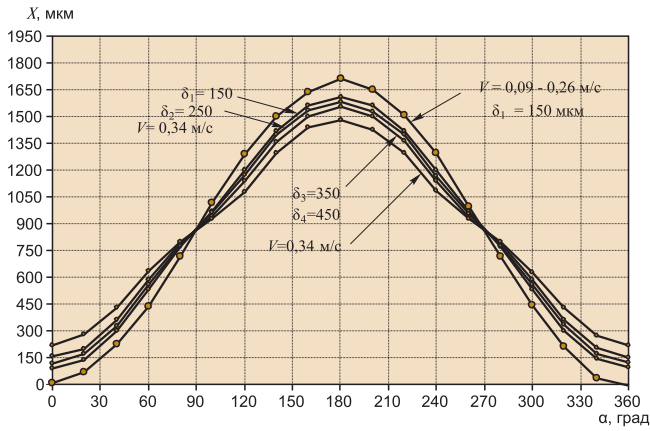


Рис. 4. Экспериментальные зависимости при максимальных оборотах

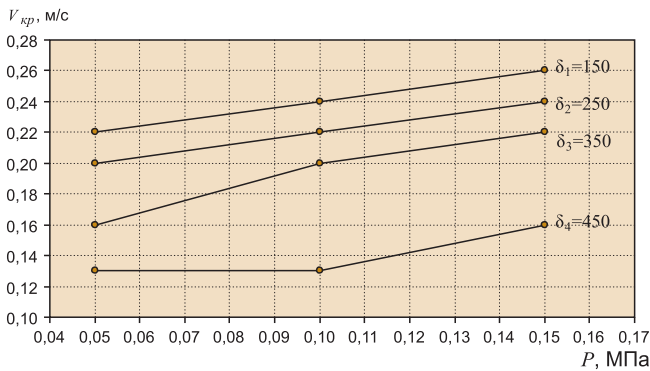


Рис. 6. График зависимости критической скорости  $V_{кр}$  от питающего давления  $P$  при амплитуде  $A = 1,7$  мм

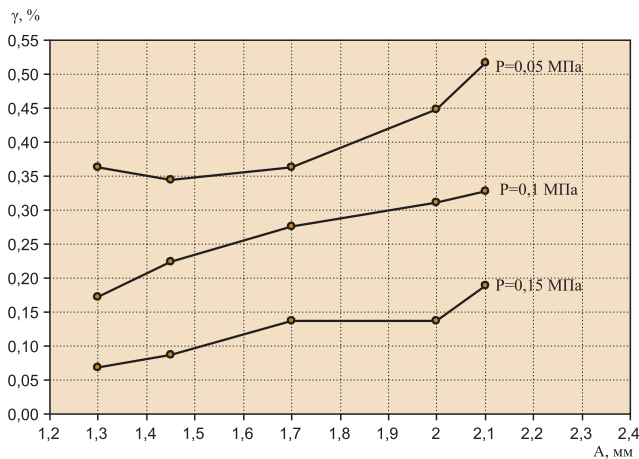


Рис. 8. График зависимости погрешности  $\gamma$  от амплитуды  $A$  при зазоре  $\delta = 150$  мкм

личению погрешности преобразования следящего пневмодатчика.

На рис. 5 представлен график зависимости критических скоростей  $V_{кр}$  от амплитуды  $A$ , воспроизводимой эксцентриком при различных значениях измерительного зазора  $\delta$ , а на рис. 6 – график зависимости критической скорости  $V_{кр}$  от питающего давления  $P$  при амплитуде, воспроизводимой эксцентриком, равной  $A = 1,7$  мм.

Анализируя зависимости представленные на рис. 5 и 6 можно отметить, что на показатели быстродей-

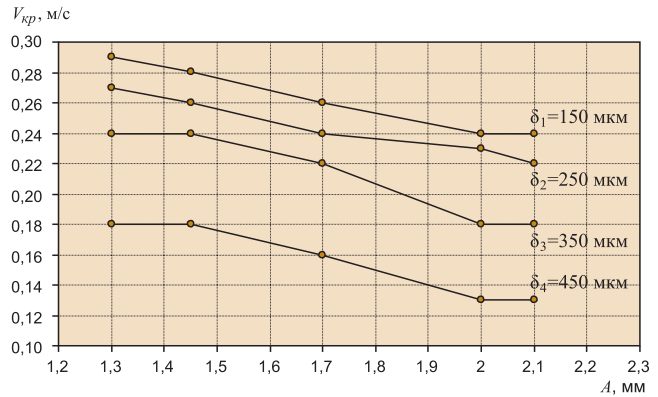


Рис. 5. График зависимости критических скоростей  $V_{кр}$  от амплитуды  $A$

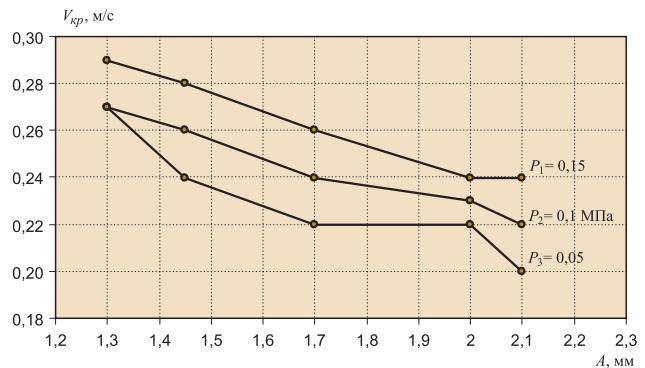


Рис. 7. График зависимости критической скорости  $V_{кр}$  от амплитуды  $A$  при зазоре  $\delta = 150$  мкм

ствия следящего пневмодатчика влияют такие показатели, как скорость изменения градиента контролируемой поверхности (характеризующаяся изменением амплитуды эксцентрика  $A$ ) и величина питающего давления  $P$ .

На рис. 7 представлен график зависимости критической скорости  $V_{кр}$  от амплитуды  $A$ , воспроизводимой эксцентриком, при измерительном зазоре  $\delta = 150$  мкм.

Ранее были представлены основные параметры и нормируемые метрологические характеристики средств измерений, а также основные показатели точности измерений. На рис. 8 представлена зависимость основной приведенной погрешности  $\gamma$  от амплитуды эксцентрика  $A$  при измерительном зазоре  $\delta = 150$  мкм, а на рис. 9 зависимость основной приведенной погрешности  $\gamma$  от измерительного зазора  $\delta$  при амплитуде эксцентрика  $A = 1,45$  мм.

Приведенные зависимости характеризуют влияние описанных выше факторов на величину погрешности преобразования следящего пневмодатчика.

Снятие статических характеристик производилось следующим образом: поршень пневмодатчика перемещался с помощью микровинта, при этом с помощью манометров фиксировалось давление в измерительной камере и камере противодействия при различном давлении питания, что позволяло выявить зависимость разности давлений в камерах пневмодатчика от перемещения поршня. Всего производилось по 30 измерений в

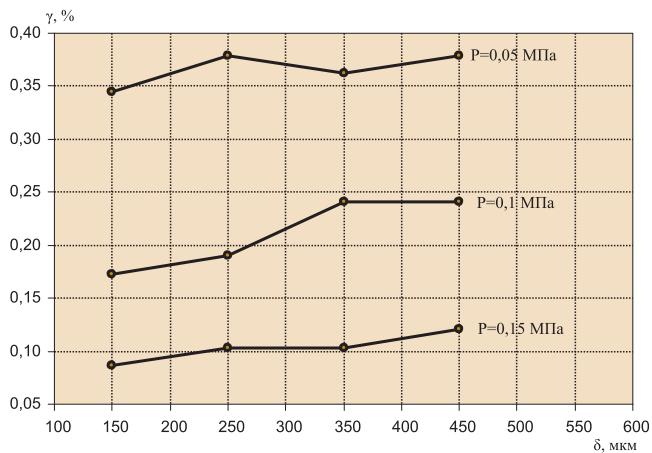


Рис. 9. График зависимости погрешности  $\gamma$  от зазора  $\delta$  при  $A = 1,45$  мм

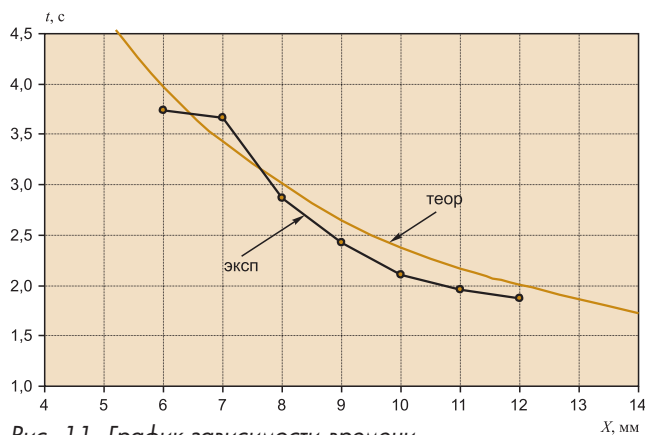


Рис. 11. График зависимости времени переходного процесса  $t$  от перемещения поршня  $X$  при  $P = 0,15$  МПа и  $\delta = 450$  мкм

каждой точке (то есть в объеме необходимом для статистической обработки данных). Точки выбирались в соответствии с планом эксперимента. Далее производилась обработка экспериментальных данных.

На рис. 10 представлена зависимость разности давлений в измерительной камере и камере противодействия  $\Delta P$  при перемещении поршня на величину  $X$ . Давление питания устанавливалось  $P = 0,1$  МПа.

Снятие динамических характеристик производилось следующим образом: поршень пневмодатчика перемещался с помощью микровинта, при этом с помощью программного обеспечения задавалась частота дискретизации снятия сигнала АЦП. Сигнал при этом фиксировался аналоговым датчиком положения ДПА. При перемещении поршня менялась измеряемая величина  $X$ , и ее значение записывалось на ПК. Зная частоту снятия сигнала, можно определить через какой промежуток времени установится действительное значение этой величины (величина перемещения микровинта), и этот промежуток времени определял время переходного процесса  $t$ . Всего производилось по 30 измерений в каждой точке. Точки выбираются в соответствии с планом эксперимента (ротатбельным планом Бокса).

В таблице представлены данные, полученные в ходе проведения экспериментов, необходимые для

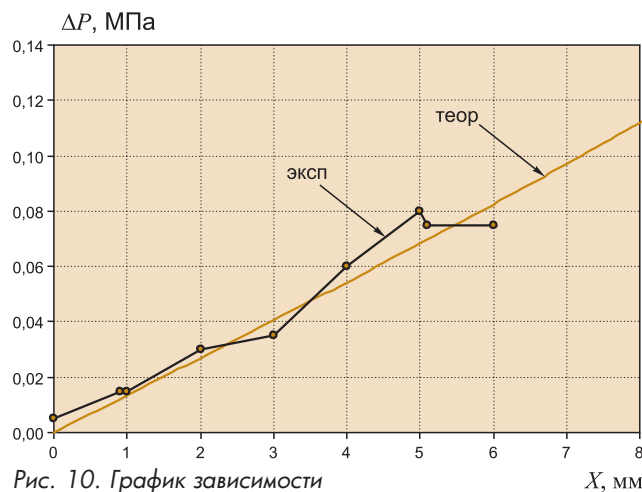


Рис. 10. График зависимости разности давлений  $\Delta P$  от перемещения поршня  $X$  при питающем давлении  $P = 0,1$  МПа

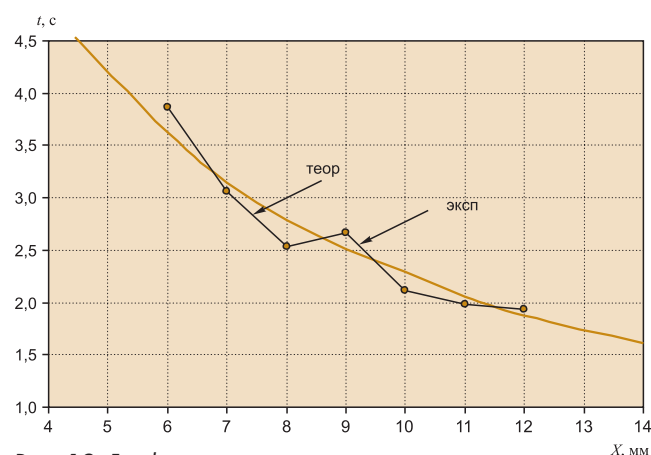


Рис. 12. График зависимости времени переходного процесса  $t$  от перемещения поршня  $X$  при  $P = 0,05$  МПа и  $\delta = 450$  мкм

построения экспериментальных зависимостей по итогам 30 измерений в каждом из 20 опытов ( $X$  — перемещение поршня, которое обуславливает появление разности давлений в измерительной камере и камере противодействия,  $t_{\text{эсп}}$  — средние значения времени переходного процесса).

На рис. 11 и 12 представлены зависимости времени переходного процесса  $t$  при перемещении поршня на величину  $X$ , при измерительном зазоре  $\delta = 0,45$  мм и при давлениях питания  $P = 0,15$  МПа,  $P = 0,05$  МПа, соответственно.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать ряд выводов.

1. При проведении опытов была установлена зависимость, характеризующая снижение критической скорости прохождения измеряемой поверхности  $V_{кр}$  при увеличении технологического зазора  $\delta$ , что определяет показатели быстродействия следящего пневмодатчика.

2. Выявлено, что увеличение амплитуды  $A$ , воспроизводимой эксцентриком, ведет к уменьшению критической скорости  $V_{кр}$ , и следовательно, на работоспособность следящего пневмодатчика влияет ско-

Таблица. Экспериментальные данные динамических характеристик

X, мм	Измерительный зазор δ, мкм							
	150				450			
	Питающее давление P, МПа							
	0,05		0,15		0,05		0,15	
	$t_{\text{эксн}}'$ с	$\sigma_r$ с	$t_{\text{эксн}}'$ с	$\sigma_r$ с	$t_{\text{эксн}}'$ с	$\sigma_r$ с	$t_{\text{эксн}}'$ с	$\sigma_r$ с
6	3,63	0,8925	2,72	0,9468	3,74	1,0618	3,86	0,9611
7	2,65	0,9536	2,55	0,7561	3,67	1,1086	3,06	0,9628
8	2,39	0,6846	2,24	0,6138	2,87	0,8796	2,54	0,9748
9	2,02	0,6210	1,79	0,4388	2,42	0,8413	2,67	0,9037
10	1,68	0,4628	1,81	0,6067	2,11	0,6024	2,12	0,7454
11	1,94	0,6214	1,69	0,4687	1,96	0,6446	1,98	0,6064
12	1,83	0,7060	1,63	0,6342	1,87	0,4856	1,94	0,6189

рость изменения градиента поверхности в направлении перпендикулярном оси вращения эксцентрика (при минимальной амплитуде  $A = 1,3$  мм она меньше, а при максимальной  $A = 2,1$  мм – больше. Увеличение амплитуды  $A$  ведет к изменению силы  $F$  взаимодействия струи воздуха с поверхностью. Аналитические аспекты этого вопроса изложены в работе [1], где оценивалось изменение перераспределения разности давлений в измерительной камере и камере противо-давления, которые рассматривались как пружины с соответствующими жесткостями. Изменение жесткостей пружин ведет к изменению собственной частоты колебаний системы, что виляет на время переходного процесса  $t$  (с уменьшением жесткостей пружин увеличивается время переходного процесса).

**Лесной Борис Васильевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов Волгоградского государственного технического университета.  
 Контактный телефон (8442) 32-55-53. E-mail: sergeevapp@mail.ru

3. По обобщенным результатам всех опытов было выявлено, что увеличение питающего давления  $P$  приводит к увеличению критической скорости движения контролируемой поверхности. Однако эта зависимость наблюдается при минимальных зазорах ( $\delta = 150$  мкм и  $\delta = 250$  мкм). С уменьшением же амплитуды увеличение питающего давления приводит к увеличению критической скорости при всех четырех исследованных значениях зазоров. Такое влияние питающего давления  $P$  на работоспособность следящего пневмодатчика можно объяснить увеличением времени переходного процесса  $t$  при уменьшении питающего давления  $P$ .

В целом можно сделать вывод о достаточно высоком уровне адекватности исследований в работе [1] теоретической модели следящего пневмодатчика и возможности применения таких датчиков в различных измерительных системах.

**Список литературы**

1. Лесной Б.В., Сергеев А.С. Системы автоматизированного контроля геометрических параметров объектов на базе широкопредельных следящих струйных датчиков // Автоматизация в промышленности. 2011. №3.
2. Балакшин Б.С. и др. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении: учебник. М.: Машиностроение. 1972.
3. Прусенко В.С. Пневматические датчики и вторичные приборы: учебник. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергия. 1965.

**Сергеев Александр Сергеевич** – аспирант,

**Премьера весны от Intel: 2-е поколение процессоров IntelCore**

Впервые в России корпорация Intel провела премьерный показ новейших разработок, которые обеспечивают умную и быструю работу ПК. На торжественном мероприятии в кинотеатре "Пушкинский" (Москва) Intel представила 2-е поколение процессоров Intel Core – самое большое достижение корпорации за всю ее историю.

Среди новых технологий, реализованных в процессорах, - Intel Insider, Intel Quick Sync Video, а также вторая версия удостоенной наград технологии Intel Wireless Display (WiDi), позволяющая осуществлять безопасную передачу HD-контента с ноутбука на телевизор. Теперь она включает поддержку видео высокой четкости (1080 строк в кадре с прогрессивным сканированием) и защиту контента от копирования.

Второе поколение процессоров Intel Core (процессорная микроархитектура под кодовым наименованием SandyBridge) сочетает лучшую в своем классе производительность и новую технологию обработки 3D-графики. Благодаря интеграции Intel® HD Graphics на одном кристалле с процессором, произведенном в соответствии с нормами передового 32-нанометрового ТП, новинки предлагают еще более высокую адаптивную производительность по сравнению с чипами предыдущего поколения. Это касается как работы с HD-контентом, так и популярных игр.

Новые графические технологии фокусируются на областях, наиболее актуальных для современного пользователя: HD-видео, фотографии, популярные игры, многозадачность, мультимедиа и социальные сервисы. Улучшенные функции обработки

видео (Intel® HD) позволяют получать новые эмоции и яркие впечатления, а также повысить эффективность повседневной работы. Благодаря еще более высокой энергоэффективности новинок мобильные компьютеры на их основе дольше работают от батарей без подзарядки.

Другим уникальным элементом 2-го поколения процессоров Intel Core является Intel Quick Sync Video. Эта технология аппаратного ускорения графики исключает необходимость ожидания, пока система справится с обработкой видео, демонстрируя выдающуюся производительность и позволяя решать задачи, которым раньше требовались часы, за несколько минут. Отныне пользователи могут редактировать, конвертировать и обмениваться видео с друзьями и родственниками быстрее, чем когда-либо.

В процессорах реализована обновленная технология Intel Turbo Boost 2.0. Она распределяет нагрузку на ядра и графический контроллер для повышения производительности, предлагая прирост скорости работы именно тогда, когда это необходимо.

Технология Intel InTru 3-D предназначена для отображения 3D-контента на устройствах воспроизведения видео высокой четкости через интерфейс HDMI 1.4, что позволяет еще глубже погрузиться в происходящее на экране. Поддержка набора команд Intel AVX повышает скорость работы приложений с интенсивной обработкой данных, таких как аудиоредакторы и ПО для профессионального редактирования фотографий. Технология Intel Clear Video улучшает качество и цветопередачу видео.

[Http://www.intel.ru](http://www.intel.ru)