

УДК 621.865.8 – 781.2.001.63

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАТРОННЫХ
УСТРОЙСТВ С ПЬЕЗОПРИВОДАМИ**

А.Б. Смирнов, И.А. Крушинский

Показана актуальность использования мехатронных устройств с пьезоэлектрическими приводами для установки поверхностно монтируемых компонентов. Представлен новый пьезоэлектрический схват, позволяющий осуществлять микропозиционирование деталей и имеющий ощущение без дополнительных датчиков. Экспериментально определена зависимость величины микропозиционирования от напряжения питания. Обнаружено уменьшение гистерезисной погрешности при микропозиционировании. Предложены методы ощущения схвата путем включения пальцев схвата в режиме датчика.

Ключевые слова: мехатронное устройство, биморф, пьезоэлектрический схват, микропозиционирование, ощущение без дополнительных датчиков, экспериментальный стенд, уменьшение гистерезиса.

Введение

В области приборостроения последнее десятилетие характеризуется высоким интересом к созданию миниатюрных высокоточных исполнительных механизмов. Это связано, в первую очередь, с возросшими требованиями по миниатюризации приводов и требованиями по надежности и точности исполнения движений.

В настоящее время в миниатюрных исполнительных устройствах используются различные физические эффекты для преобразования электрической энергии в механическую. Наиболее востребованными являются пьезоэлектрические приводы, которые по многим совокупным параметрам оказываются лучшими [1].

Для сборки и монтажа микроустройств востребованы микроманипуляторы и микрозахватные устройства, которые могут обеспечить высокую точность и надежность позиционирования микродеталей. Проблема разработки мехатронных систем микроперемещений актуальна, так как требуется создавать новые высокоточные автоматические устройства в областях микроробототехники, микробиологии и микроэлектроники. Кроме того, остается актуальной задача вибротранспортирования и подачи к рабочему органу манипулятора ориентированных мини и микродеталей.

Исходя из требований, предъявляемых к автоматическому оборудованию для установки поверхностно монтируемых электронных компонентов (ПМК) на печатные платы, для точного позиционирования ПМК относительно проводящих дорожек в качестве модулей точных перемещений представляется эффективным использование биморфных пьезоэлектрических актюаторов (БПА). Это связано с тем, что БПА могут осуществлять перемещения рабочих органов с погрешностью до долей микрометра при максимальном перемещении до 1–2 мм без дополнительных механических передаточных устройств.

Кроме того, использование как обратного, так и прямого пьезоэффекта позволяет использовать одни и те же пьезокерамические элементы БПА в качестве привода и датчика механических величин одновременно. Такой мехатронный подход к созданию миниатюрных манипуляционных систем является наиболее эффективным, так как в этом случае механическая часть манипуляционных устройств упрощается, а характеристики управления улучшаются [2].

Объект исследования

Простой пьезоэлектрический схват (рис. 1), состоящий из двух параллельных БПА, закрепленных на основании, может осуществлять функцию не только захвата микродетали, но и функцию микропозиционирования.

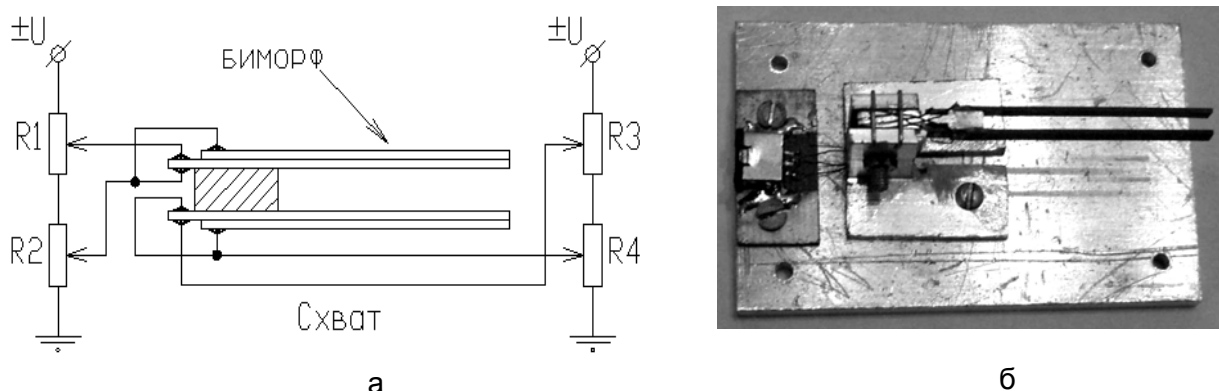


Рис. 1. Пьезоэлектрический схват с микропозиционированием: а – схема подключения; б – опытный образец

Управляющее напряжение U подается через делители на резисторах R1–R2 и R3–R4 на каждый палец схвата отдельно. В зависимости от соотношения напряжений, подаваемых на пальцы схвата, деталь может быть либо зажата по оси схвата, либо смещена в схвате влево или вправо от оси схвата (рис. 2). Для исследования был изготовлен пьезоэлектрический схват (рис. 1, б), в котором использованы два БПА с размерами 35×2,5×0,6 мм, которые производятся фирмой ЭЛПА (таблица).

Для пьезосхвата, который служит рабочим органом автоматической системы для установки ПМК на печатные платы, необходимо иметь обратную связь по силе сжатия детали и по моменту взятия детали соответственно. Наличие такой информации дает возможность увеличения быстродействия системы и повышает надежность взятия детали.

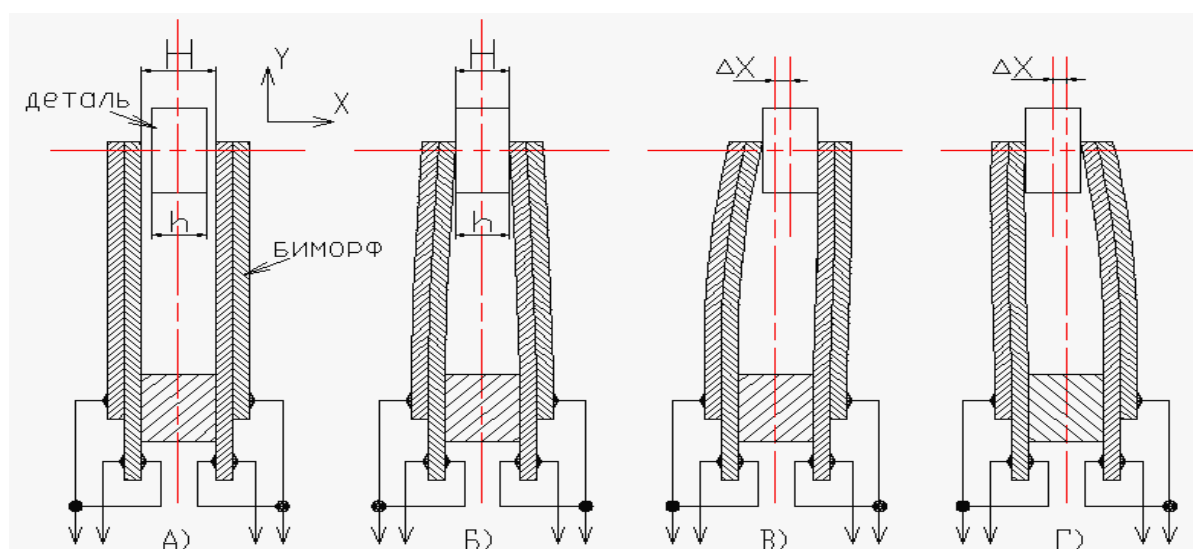


Рис. 2. Принцип работы пьезосхвата: А) деталь не зажата, $H > h$; Б) захват детали, $H = h$; В) микропозиционирование вправо; Г) микропозиционирование влево

Параметр	Значение
Размеры биморфа, мм	35×2,5×0,6
Масса биморфа, г	0,5
Емкость, нФ	13
Управляющее напряжение, В	±100
Прогиб конца каждого пальца, мм	±0,5
Рабочая длина пальца, мм	28
Максимальное усилие, Н	0,12
Расстояние между пальцами, мм	2,25
Масса схвата, г	2

Таблица. Характеристики пьезоэлектрического схвата

Экспериментальный стенд

Для исследования пьезоэлектрического микросхвата был собран экспериментальный стенд (рис. 3), состоящий из следующих основных частей: блок питания Б5-60 на 140 В, двухканальный блок управления напряжением, микроскоп МБС-10 с подсветкой, видеокамера, микротеленасадка МТН-222 для микроскопа МБС-10, монитор аналоговый черно-белый для микроскопа МБС-10, мультиметр DT-830В, двухканальный USB PC осциллограф PCSU-1000.

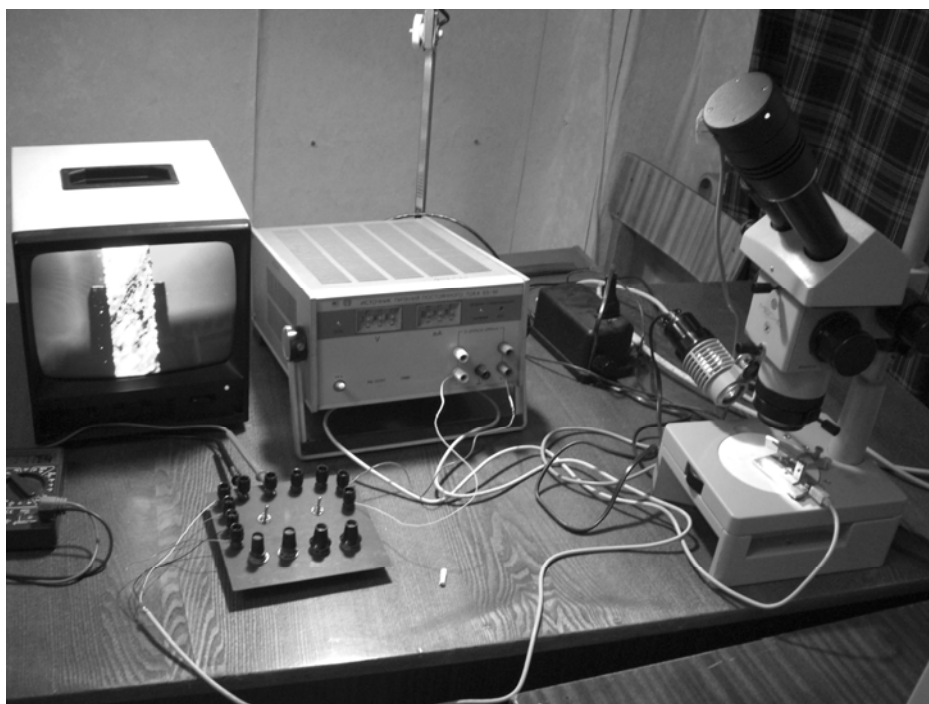


Рис. 3. Стенд для исследования пьезосхвата

Блок-схема экспериментального стенда показана на рис. 4. В каждом из проведенных опытов схват устанавливался в фокус микроскопа, затем подключался к устройству управления напряжением и блоку питания. При разных напряжениях пальцы схвата формируют различные изгибные деформации, изображения которых из микро-

скопа с помощью видеокамеры поступают на экран монитора, где, зная кратность увеличения изображения, с помощью штангенциркуля определяется перемещение.

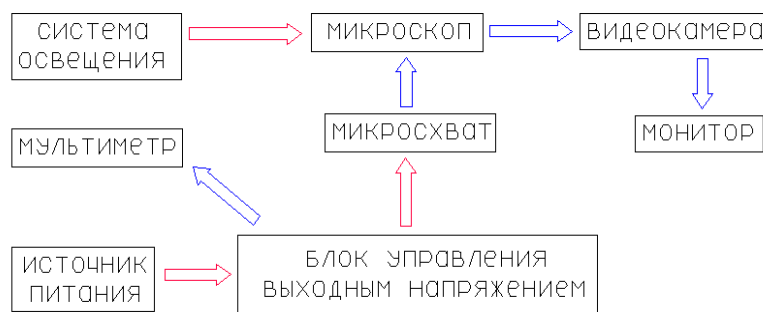


Рис. 4. Схема стенда для исследования пьезосхвата

В процессе экспериментов исследовались перемещения свободных пальцев схвата и перемещение детали, зажатой в схвате. Одним из недостатков пьезоэлектрических актюаторов является гистерезис зависимости перемещения от напряжения, подаваемого на актюатор, который дает увеличение погрешности позиционирования и усложняет систему управления.

Микропозиционирование

Зависимость микропозиционирования детали, зажатой в схвате, показана на рис. 5, а, зависимость перемещения конца свободного пальца схвата от напряжения показана на рис. 5, б. При взятии детали в начальный момент схват подводится к детали таким образом, что между губками схвата и деталью остается зазор порядка 0,25 мм на сторону. Далее подается одинаковое напряжение 70 В на оба БПА, в результате чего они изгибаются навстречу друг другу, и деталь зажимается. Далее, изменяя отдельно напряжения на каждой губке, добиваются изменения смещения центра детали относительно корпуса схвата в ту или иную сторону. Ступенчатый характер прямой (1) и обратной ветви (2) зависимости (рис. 5, а) объясняется последовательным, поочередным изменением напряжения на пьезобиморфах.

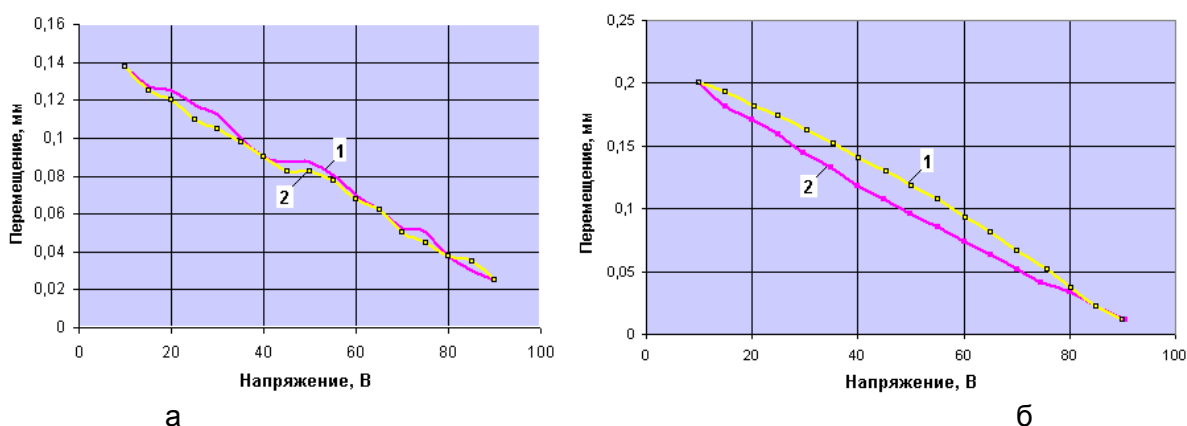


Рис. 5. Зависимости перемещения пальцев схвата от напряжения:
а – микропозиционирования детали, зажатой в схвате,
б – конца свободного пальца

Сравнивая зависимость перемещения губки схвата без детали от напряжения (рис. 5, б) с зависимостью перемещения центра зажатой детали от напряжения (рис. 5, а), можно сделать вывод, что влияние гистерезиса во втором случае уменьшается примерно на порядок. Такое уменьшение гистерезиса позволяет упростить систему управления микропозиционированием и повысить его точность. Микроперемещение детали по оси X (рис. 2) экспериментальным пьезосхватом дает возможность реализовать микропозиционирование детали с погрешностью 5 мкм при минимально возможном шаге напряжения 1 В.

Очувствление

В исследуемом схвате используются пьезоэлектрические биморфы, в которых проявляется как прямой, так и обратный пьезоэффект, поэтому для очувствления схвата могут быть предложены следующие схемы работы:

1) один из пальцев включается как датчик в цепь автогенератора, и измеряется изменение частоты автоколебаний от внешнего воздействия при наличии детали и без нее;

2) один из пальцев схвата включается в качестве привода, а второй выступает в роли датчика, затем измеряются АЧХ, напряжение датчика при колебании пальца привода с деталью и без нее;

3) один из пальцев схвата включается в качестве привода, а второй – в цепь генератора синусоидального сигнала на резонансной частоте, и определяется изменение силы тока в цепи пальца датчика при зажатой детали и планомерном увеличении давления на деталь со стороны пальца привода;

4) один из пальцев схвата, выбранный в качестве датчика, подключается как пьезотрансформатор к генератору синусоидального сигнала и к осциллографу, и определяется изменение коэффициента передачи в зависимости от давления на палец схвата.

Для определения возможности очувствления и оценки быстродействия схвата в режиме зажатия детали и микропозиционирования важно на начальном этапе исследовать АЧХ свободных пальцев схвата и при микропозиционировании зажатой в схвате детали (рис. 6).

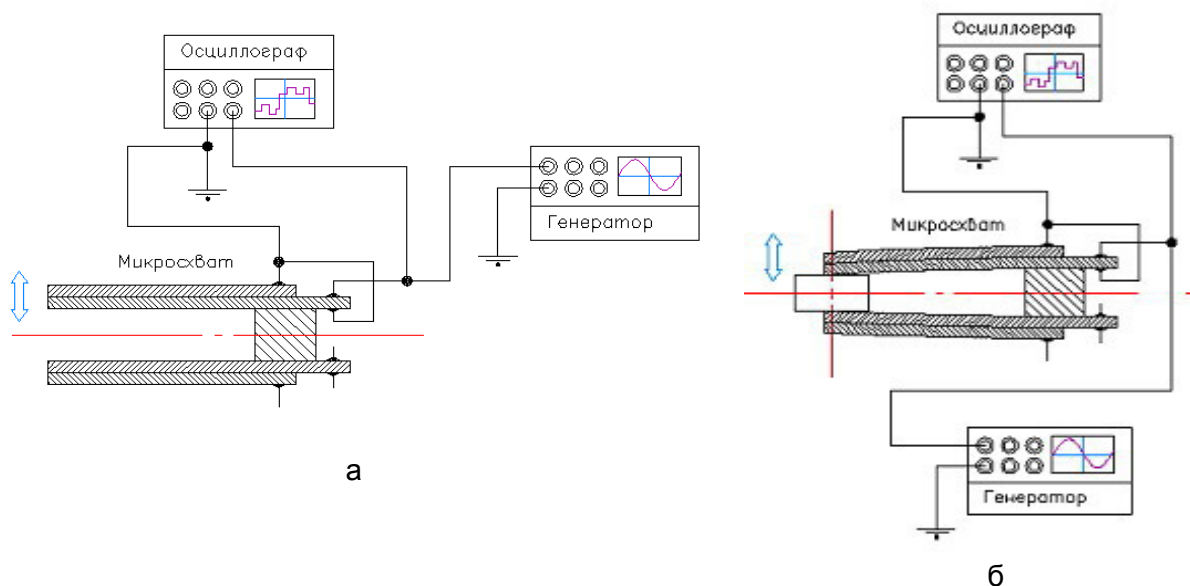


Рис. 6. Схема определения АЧХ пальца схвата: а – без детали, б – с деталью

Из сравнения графиков (рис. 7) следует вывод о том, что при захвате детали резонанс смещается в сторону понижения частоты, локальный минимум расширяется и оказывается в интервале частот от 200 до 250 Гц. Уменьшается амплитуда резонансных колебаний в 3,5 раза. Таким образом, по смещению резонансной частоты и уменьшению амплитуды колебаний можно судить о наличии детали в схвате.

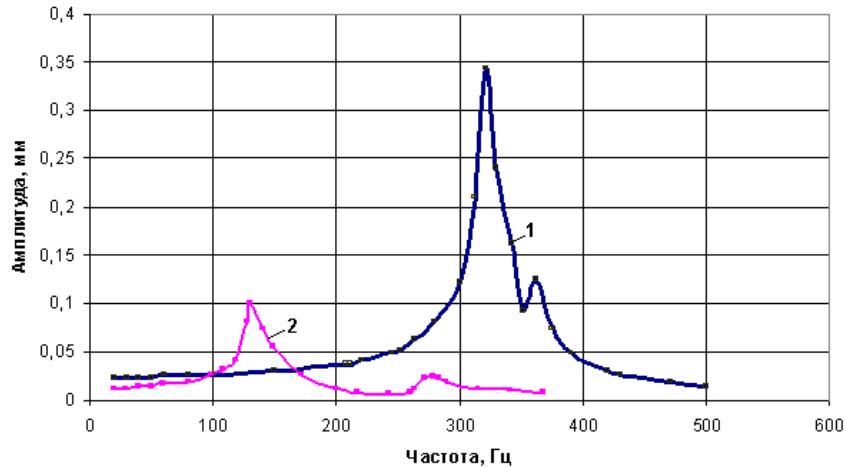


Рис. 7. Графики АЧХ для свободного пальца схвата (1) и для схвата с деталью (2)

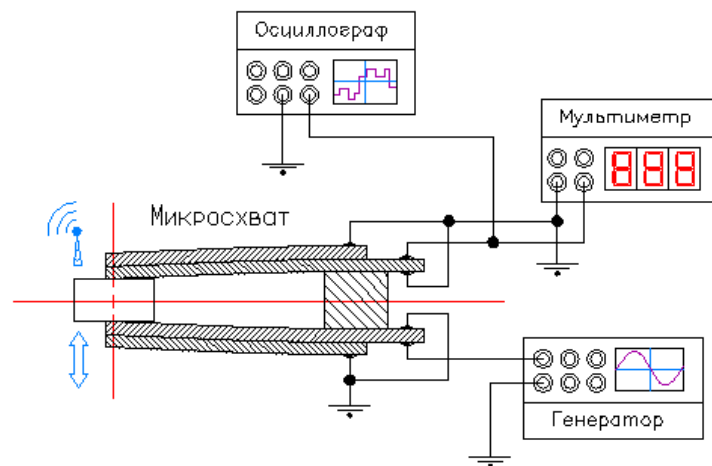


Рис. 8. Определение резонанса датчика для схвата с деталью

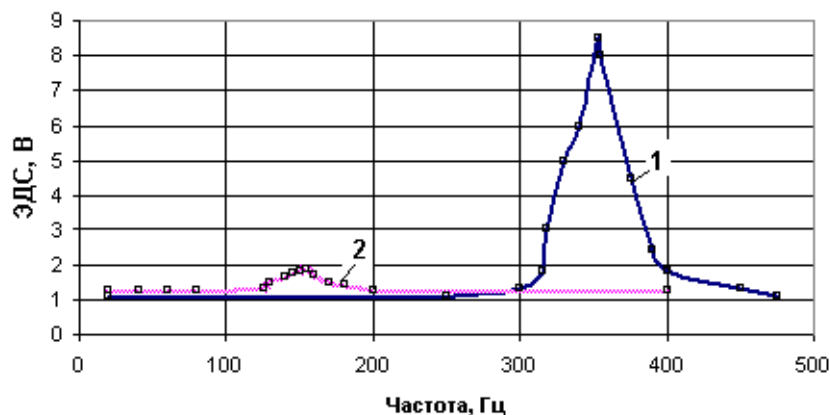


Рис. 9. Напряжение на датчике свободного пальца схвата (1) и схвата с деталью (2)

Для схемы, при которой один палец является приводом колебаний, а второй палец служит датчиком (рис. 8), получены АЧХ при отсутствии и наличии детали (рис. 9).

Сравнение графиков (рис. 7, 9) показывает, что смещения резонанса в рассматриваемых случаях близки (около 200 Гц). Поэтому очувствление по схеме (рис. 8) может быть использовано на практике.

Заключение

Приведенные материалы показывают возможность использования БПА для привода рабочего органа автоматического сборочного комплекса. Рассматривая возможности применения пьезоэлектрических актюаторов в других областях науки и техники, можно выделить следующие направления:

- в микроманипуляционных системах – для сборки микроизделий, для биологических исследований и технологий и микрохирургии, для привода головок высокоточных измерительных машин, в прецизионных электроэрозионных станках для двухкоординатной подачи проволоки;
- в качестве вибрационных питателей миниатюрных деталей и ориентирующих устройств;
- в автономных микророботах, предназначенных для мониторинга окружающей среды (летающие, ползающие, плавающие минироботы), для лапороскопической хирургии, эндоскопической диагностики организма человека;
- в оптоэлектронных переключателях и сканерах технологических лазерных установок, миниатюрных устройствах пневматики и гидравлики (микронасосы и микроклапаны), предназначенных для работы в медицинских аппаратах и приборах;
- в прецизионных многокоординатных вибродвигателях, предназначенных для перемещения и ориентации столиков микроскопов и чувствительных элементов навигационных приборов;
- в устройствах бытового назначения – вибрационных бритвах и зубных щетках, вибромассажерах, игрушках.

Важно отметить, что пьезокерамика может работать с высокой надежностью при высоких температурах (до 300°C), в агрессивных средах и в вакууме, а также не создает значительных электромагнитных полей в вибрационном режиме. Эти преимущества формируют перспективу использования пьезоэлектрических устройств в космической технике, в метрологическом оборудовании и электронной промышленности. БПА являются наиболее дешевыми пьезоэлектрическими преобразующими устройствами, имеющими большой диапазон перемещений выходных звеньев (до 1–2 мм) при силах порядка 1 Н. Современная отечественная промышленность осваивает в настоящее время пьезокерамические изделия толщиной 0,1–0,2 мм, которые позволят снизить питающее напряжение до 10–50 В, что повлечет дальнейшую миниатюризацию мехатронных устройств.

Литература

1. Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами: Учеб. пособие. – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 160 с.
2. Смирнов А.Б. Динамические характеристики упругих систем с пьезоэлектрическими приводами // Научные исследования и инновационная деятельность: Материалы научн.-практ. конф. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – С. 61–66.

Смирнов Аркадий Борисович

– Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, доктор технических наук, профессор, 123smirnov@list.ru

Крушинский Илья Александрович

– Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, аспирант, testing387@mail.ru