

УДК 004.326:681.51

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ****¹Кадыров И.Ш., ¹Темирбеков Ж.Т., ¹Турсбеков Б.С., ²Давлятов У.Р.**¹*КНАУ им. К.И. Скрябина, Бишкек, e-mail: bgtu_kg@mail.com,
jeenbek-58@mail.ru, tbs200618@gmail.com;*²*КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, e-mail: uluk-2000@mail.ru*

В статье представлены материалы по разработке и исследованию информационных устройств, предназначенных для измерения давления в гидравлических системах машин (тензометрический датчик давления), для измерения скоростей движения исполнительных органов (датчик скорости), а также динамометрический резцедержатель с пьезоэлектрическим датчиком для измерения сил резания при токарной обработке на станках. Проанализированы характеристики тензоэффекта материала – коэффициент относительной тензочувствительности K , определяемый как отношение изменения сопротивления к изменению длины проводника, конструкция датчика давления для измерения давления в рабочей полости силового цилиндра гидросуппорта и его преобразование в электрический сигнал, работа и техническая характеристика индукционного датчика с большим ходом, конструктивная схема пьезоэлектрического датчика, электрическая схема пьезоэлектрического преобразователя, динамометрический резцедержатель с пьезоэлектрическим преобразователем для измерения радиальной составляющей силы резания. Представлены их конструкции с полными информацией, позволяющими их изготовление, тарирования характеристики, построенные путем проведения соответствующих экспериментов. Проведено обоснование о возможности их использования в автоматических системах управления технологическими процессами в машиностроении, а также при проведении различных экспериментальных работ в качестве измерительных приборов. Разработанные информационные устройства применимы в автоматических системах управления как измерительные устройства, а также они могут быть использованы в экспериментальных исследованиях в качестве датчиков.

Ключевые слова: информационно-измерительное устройство, датчик давления, скорость, тарировка, преобразователь, коэффициент усиления, пьезоэлектрический датчик, силы резания

**DEVELOPMENT OF INFORMATION DEVICES
OF SYSTEMS AUTOMATIC CONTROL****¹Kadyrov I.Sh., ¹Temirbekov Zh.T., ¹Turusbekov B.S., ²Davlyatov U.R.**¹*KNAU named after K.I. Scriabin, Bishkek, e-mail: bgtu_kg@mail.com,
jeenbek-58@mail.ru, tbs200618@gmail.com;*²*KSTU named after I. Razzakov, Bishkek, e-mail: uluk-2000@mail.ru*

The article presents materials on the development and research of information devices designed to measure pressure in the hydraulic systems of machines (strain gauge pressure sensor), to measure the speeds of the actuators (speed sensor), as well as a torque tool holder with a piezoelectric sensor for measuring cutting forces when turning on machines. The characteristics of the material strain effect are analyzed – the coefficient of relative strain sensitivity K , defined as the ratio of the change in resistance to the change in the length of the conductor, the design of the pressure sensor for measuring pressure in the working cavity of the hydraulic support power cylinder and its conversion into an electrical signal, operation and technical characteristics of the long-range induction sensor, constructive piezoelectric sensor circuit, piezoelectric transducer circuit diagram, dynamometric sky toolholder with a piezoelectric transducer for measuring the radial component of the cutting force. Their designs are presented with full information, allowing their manufacture, calibration of characteristics, constructed by conducting relevant experiments. The substantiation of the possibility of their use in automatic process control systems in mechanical engineering, as well as during various experimental works as measuring instruments, is carried out. The developed information devices are applicable in automatic control systems as measuring devices, and they can also be used in experimental studies as sensors.

Keywords: information-measuring device, pressure sensor, speed, calibration, transducer, gain, piezoelectric sensor, cutting forces

Информационные устройства (датчики) в системах автоматического управления технологическими процессами, как известно, предназначены для непрерывных измерений величины регулируемого параметра объекта с последующим преобразованием его в электрический сигнал [1–3].

В связи с этим к ним предъявляются повышенные требования, поскольку в целом от качества работы их зависят

количественные показатели всей технической системы.

Основные требования, предъявляемые к информационным устройствам:

- 1) безопасность информационных устройств;
- 2) высокая чувствительность;
- 3) возможность регулирования его коэффициента усиления;
- 4) стабильность характеристик;

5) нечувствительность к вибрациям, изменениям условий окружающей среды;

6) простота конструкций и надежность в работе и др.

С учетом этих требований нами были разработаны ряд информационных устройств для автоматических систем управления технологическими процессами при механической обработке изделий и обработке изделий давлением.

Как известно, в основе тензорезисторов лежит явление тензоэффекта. Характеристикой тензоэффекта материала является коэффициент относительной тензочувствительности K [1]:

$$K = \varepsilon_R / \varepsilon_l, \quad (1)$$

где $\varepsilon_R = \Delta R / R$ – относительное изменение сопротивления проводника; $\varepsilon_l = \Delta l / l$ – относительное изменение длины проводника.

Сопротивление проводника определяется [1, 4–6]:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (2)$$

где l – длина проводника;

S – площадь поперечного сечения проводника;

ρ – удельное сопротивление материала проводника.

С другой стороны,

$$\Delta R = \rho \Delta l / S - \rho l \Delta S / S^2;$$

$$\Delta R / R = \Delta l / l - \Delta S / S = \Delta l / l - \Delta r / r, \quad (3)$$

где r – радиус проволоки круглого сечения.

Учитывая, что $\Delta r / r = -\mu \Delta l / l$, получаем

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu) \frac{\Delta l}{l}, \quad (4)$$

т.е. коэффициент тензочувствительности

$$K = \varepsilon_R / \varepsilon_l = 1 + 2\mu, \quad (5)$$

где μ – коэффициент Пуассона $\mu = -\varepsilon_R / \varepsilon_l$, где $\varepsilon_R = \Delta r / r$.

Коэффициент Пуассона μ для металлов имеет значение в пределах от 0,24 до 0,4, следовательно, коэффициент тензочувствительность для большинства металлов имеет следующие значения: $K = 1,48 \div 1,8$.

На рис. 1 приведена конструкция датчика давления для измерения давления в рабочей полости силового цилиндра гидросуппорта и его преобразование в электрический сигнал, который применяется в качестве измерительного информационного устройства в автоматической системе управления технологическим процессом при токарной обработке.

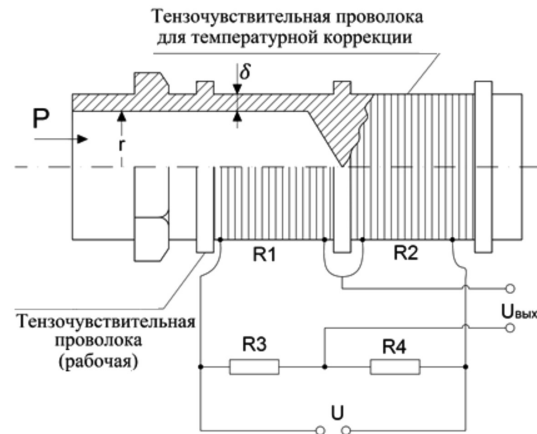


Рис. 1. Конструкция тензометрического датчика давления

Чувствительным элементом датчика является проволока, которая растягивается при изменении давления P в рабочей полости силового цилиндра гидросуппорта.

Величина относительного удлинения проволоки при толщине трубки датчика δ и внутреннем радиусе r под действием давления P может быть определена по известной формуле:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{P_r}{\delta} \cdot \frac{1}{E} \left(1 - \frac{\mu}{2} \right), \quad (6)$$

где E – модуль упругости материала датчика; μ – коэффициент Пуассона.

Тарировочная характеристика тензометрического датчика была получена на универсальном гидростенде УГ-1. С помощью напорного золотника Г54 задавались различные значения давлений по показаниям образцового манометра, а измерение выходного тока производилось амперметром.

На рис. 2 представлена тарировочная характеристика датчика давления, в которой $I = k_p \cdot P$, где $k_p = \tan \alpha$ – коэффициент усиления датчика давления.

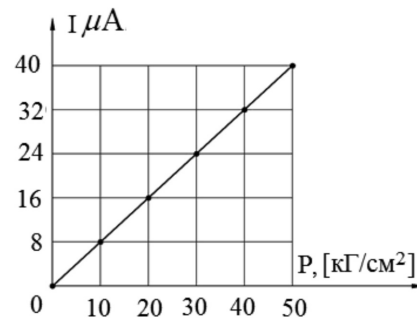


Рис. 2. Зависимость выходного тока датчика при различных значениях давления

Для оценки стабильности подачи инструмента гидросуппорта, а также исследования динамических характеристик исполнительных органов разработанных автоматических систем был разработан совместно с к.т.н. Ф.И. Юнусовым индукционный датчик с большим ходом, принципиальная конструкция его представлена на рис. 3.

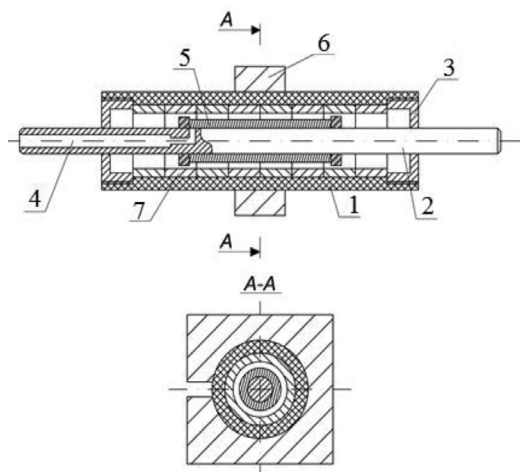


Рис. 3. Конструкция индукционного датчика

Индукционный датчик устанавливается параллельно с силовым цилиндром гидросуппорта станка, и его подвижная часть – корпус 1 – соединена с силовым цилиндром [3].

Основные детали индукционного датчика: корпус 1, сердечник 2, набор магнитных втулок 7, крышки 3, индукционная катушка 5 и муфта 6.

Сердечник 2 – металлический стержень, свободно перемещающийся внутри корпуса. Концентричность расположения осей сердечника и корпуса осуществляется с помощью двух крышек 3.

На сердечнике намотана индукционная катушка из медной проволоки диаметром 0,2 мм, концы которых выведены через отверстие 4 в торец сердечника и могут подключаться к соответствующему усилителю или измерительным приборам.

Муфта 3 при помощи кронштейна жестко крепится с цилиндром гидросуппорта.

Техническая характеристика индукционного датчика дана в таблице.

Характеристика индукционного датчика

Габаритные размеры	
Длина, мм	1000
Диаметр корпуса, мм	60
Вес, кг	4,7
Техническая характеристика	
Диапазон измерения скорости, м/мин	0,03÷2
Число витков катушки	600
Выходное напряжение, мВ	1÷100

Датчик скорости тарировался на токарном станке 1К62, неподвижная часть его крепилась в центрах станка, а подвижная была прикреплена к суппорту станка.

Суппорту станка задавались различные значения скорости и при каждом значении фиксировались показания тока амперметром, по результатам измерения были построены его тарировочная характеристика, представленная на рис. 4, в которой $I = tg\beta \cdot v$, где $tg\beta = k_c$ – коэффициент усиления датчика скорости.

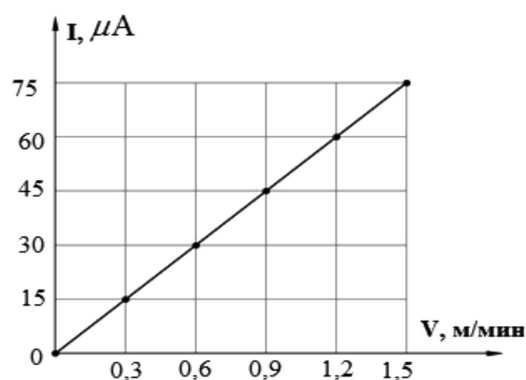
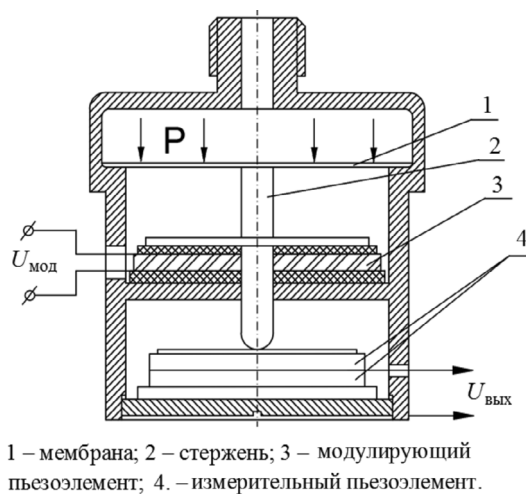


Рис. 4. Зависимость выходного тока датчика от скорости перемещения суппорта

Для системы стабилизации величины радиальной составляющей силы резания P_y , от постоянства которой зависит качество изготовления изделия на токарном станке, был разработан динамометрический резцедержатель с пьезоэлектрическим преобразователем, конструктивная схема которого показана на рис. 5, а принципиальная схема – на рис. 6.



1 – мембрана; 2 – стержень; 3 – модулирующий пьезоэлемент; 4 – измерительный пьезоэлемент.

Рис. 5. Конструктивная схема пьезоэлектрического датчика

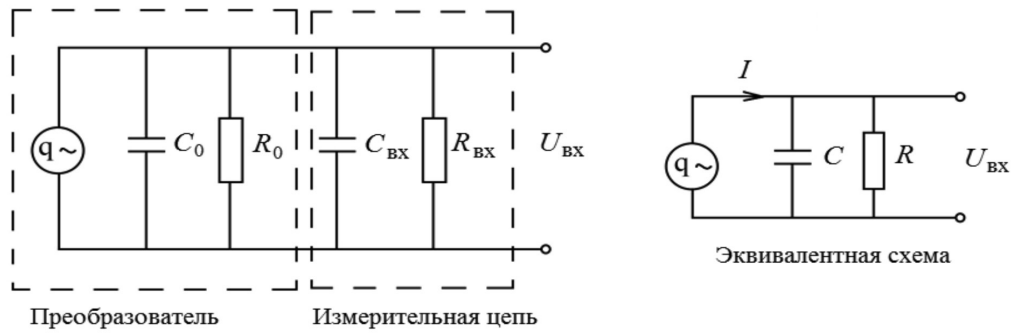


Рис. 6. Электрическая схема пьезоэлектрического преобразователя

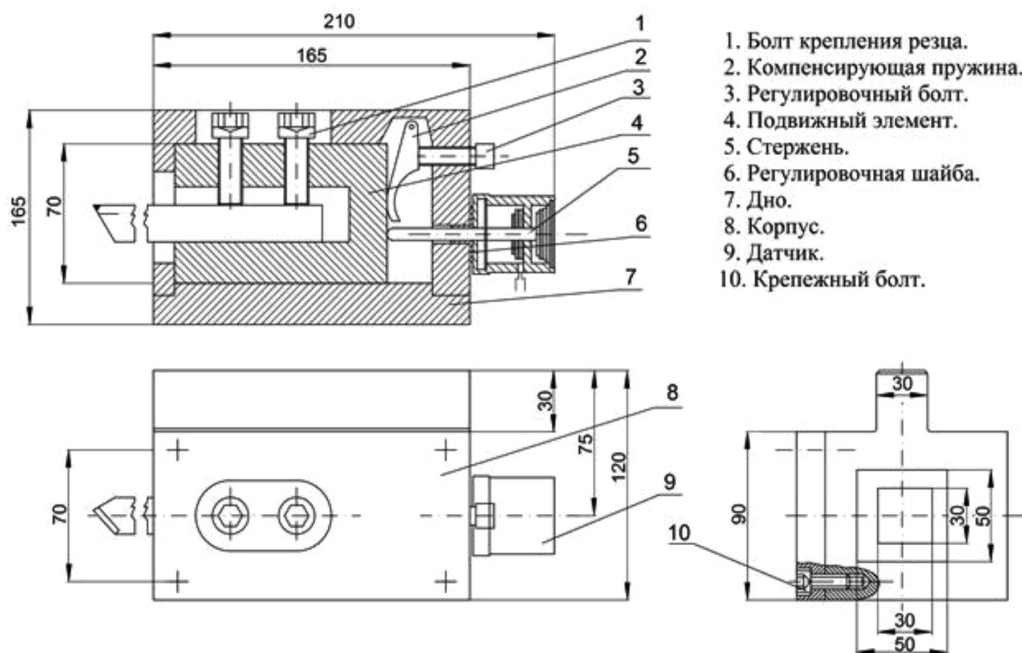


Рис. 7. Динамометрический резцедержатель с пьезоэлектрическим преобразователем

При возникновении сил на мембране 1 (рис. 5), жёстко закреплённый с ним стержень 2, воздействует на моделирующую пластину 3, которая колеблется с постоянной частотой 50 Гц, так как к ней подводится переменное напряжение из сети. С пластин 4 снимается выходной сигнал датчика.

На принципиальной схеме (рис. 6) C_0 – ёмкость между гранями пьезоэлектрика – ёмкость преобразователя; $C_{вх}$ – ёмкость кабеля – входная ёмкость измерительной цепи; R_0 – сопротивление преобразователя с учётом сопротивления изоляции линии относительно земли; $R_{вх}$ – входное сопротивление измерительной цепи; q – величина заряда, равная $q = d_1 P_{y1}$, где d_1 – постоянный коэффициент.

Сопротивление эквивалентной схемы

$$R = \frac{R_0 \cdot R_{вх}}{R_0 + R_{вх}}; \quad (7)$$

Ёмкость – $C = C_0 + C_{вх}$.

Выходное напряжение преобразователя с подключенной измерительной цепью равно

$$U_{вых} = I \frac{R \cdot (1/\omega C)}{R + (1/\omega C)}, \quad (8)$$

где ω – частота изменения силы P_{y1} .

На рис. 7 представлен разработанный нами динамометрический резцедержатель с пьезоэлектрическим преобразователем для измерения радиальной составляющей силы резания. На этом же рисунке пред-

ставлены все элементы и детали динамометрического резцедержателя для измерения радиальной составляющей силы резания при токарной обработке с соответствующими основными его размерами.

Динамометрический резцедержатель своим корпусом 8 закрепляется на суппорте токарного станка. В его подвижный элемент 4 устанавливается резец и закрепляется болтами 1. Пружина 2 и регулировочный болт необходимы для предварительной настройки преобразователя.

В процессе резания подвижный стержень 5 под действием силы резания оказывает воздействие на чувствительный элемент датчика 9, что приводит к появлению соответствующего электрического сигнала на его выходе.

Тарировка датчика.

На станке 1К62 закрепляется обрабатываемая деталь, к ней подводится измерительный стержень индикатора часового типа, а динамометрический резцедержатель без резца, его заменяет упор, который плавно подводится к поверхности детали, используя ручную подачу суппорта, осуществляя деформацию её до значения 1/3 допуска на упругие деформации, после чего ключом осуществляем поворот регулировочного болта до положения, при котором жёсткость пружины 2 станет меньше жёсткости детали.

Такая тарировка производится для случая обработки детали, когда её длина значительно больше, чем её диаметр, т.е. жёсткость её ниже жёсткости станка.

В случае, когда жёсткость детали выше жёсткости станка, тарировка производится следующим образом: образцовый динамометр и динамометрический резцедержатель с индикатором вместо датчика устанавливается в тиски. Плавным поворотом ходового винта тисков производится снятие тарировочных характеристик.

Пьезоэлектрический преобразователь является генераторным, его входная величина – сила, а выходная – количество электричества.

Выводы

1. Разработаны оригинальные конструкции информационных устройств: тензометрический датчик давления, индукционный датчик скорости и динамометрический резцедержатель, предназначенные соответственно для измерения давления в гидросистемах, скорости перемещения исполнительных органов оборудования и радиальной составляющей силы резания при токарной обработке с последующим преобразованием этих параметров в электрический сигнал.

2. Разработанные информационные устройства применимы в автоматических системах управления как измерительные устройства, а также они могут быть использованы в экспериментальных исследованиях в качестве датчиков.

Список литературы

1. Николаева Е.В., Макаров В.В. Физические основы получения информации: Измерительные преобразователи. Принципы измерения физических величин: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. 96 с.
2. Горбина Н.Н., Солопова А.С. Теория автоматического управления: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа. 2010. 201 с.
3. Михеева Н.И., Глушников С.Г. Разработка компьютерной системы для экспериментального исследования гидравлического привода // Вестник КГУСТА. 2014. Т. 2. № 2 (32). С. 157–162.
4. Муслимов А.П., Васильев В.Б. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2018. 221 с.
5. Кадыров И.Ш., Темирбеков Ж.Т., Турусбеков Б.С., Давлятов У.Р. Разработка математической модели гидросуппорта станка с автоматическим регулятором второго порядка // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 12. С. 115–119.
6. Чжо Ту. Разработка математических моделей, методов и алгоритмов цифрового управления режимами двигателей металлообрабатывающих станков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2014. 19 с.