

молока, – имеющие криволинейный профиль, описывающий его среднюю линию по одному радиусу, что обеспечивает постоянство кривизны и способствует плавному течению потока молока и меньшему воздействию на жировые шарики. Следовательно, углы  $\beta_{л1}$  и  $\beta_{л2}$  являются конструктивно определяющими [4, 7].

На основании теоретических исследований разработан и изготовлен опытно-конструкторский образец сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем [1, 6] и определены оптимальные значения углов, образованных вектором относительной скорости и обратным направлением вектора переносной скорости для начала лопастей  $50^{\circ}$  и конца лопастей  $-1^{\circ}$ , угловой скорости барабана –  $1130 \text{ с}^{-1}$ , температуры молока –  $44^{\circ}\text{C}$  при производительности сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем –  $0,0000165 \text{ м}^3/\text{с}$ .

**Заключение.** Обоснован криволинейный профиль лопастей тарелкодержателя, выполненный по дуге окружности противоположно направлению вращения барабана. Определены значения углов, образованных вектором относительной скорости и обратным направлением вектора переносной скорости для начала и конца наружной и внутренней лопастей, которые соответственно составили  $50^{\circ}$  и  $1^{\circ}$  в зависимости от анализа полученных уравнений напора, создаваемого лопастным тарелкодержателем и мощности, необходимой для придания потоку молока движения по подводным каналам. Установлена производительность каждого отдельного межтарелочного пространства, которая является величиной постоянной, что подтверждает равномерность заполнения межтарелочных пространств молоком.

#### Библиографический список

1. Пат. 2539759 Российская Федерация, МПК А01J 11/10, (2006.01). Сепаратор-сливкоотделитель / Яшин А. В., Щербатов С. И., Саввин А. В. [и др.]. – заявл. 26.02.2013 ; опубл. 27.01.2015, Бюл. №3. – 7 с.
2. Яшин, А. В. К вопросу определения потребной мощности маслоизготовителя / А. В. Яшин, В. С. Парфенов // Аграрный научный журнал. – 2007. – №6. – С. 70-72.
3. Яшин, А. В. Оптимизация устройства агрегации микрометрических тел с встречновращающимися лентами Мёбиуса / А. В. Яшин, В. С. Парфенов, В. Н. Стригин, И. Н. Сёмов. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 164 с.
4. Яшин, А. В. Профилирование лопастей тарелкодержателя сепаратора-сливкоотделителя / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Нива Поволжья. – 2014. – №3(32). – С. 84-88.
5. Яшин, А. В. Результаты экспериментальных исследований сепаратора-сливкоотделителя с лопастным тарелкодержателем / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Образование, наука, практика: инновационный аспект : сб. Международной науч.-практ. конф., посвященной дню Российской науки. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – Т. II. – С. 138-141.
6. Яшин, А. В. Сепаратор-сливкоотделитель для мелкотоварных хозяйств / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Нива Поволжья. – 2014. – №3(32). – С. 88-92.
7. Яшин, А. В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров лопастного тарелкодержателя сепаратора-сливкоотделителя / А. В. Яшин, А. В. Саввин // Образование, наука, практика: инновационный аспект : сб. Международной науч.-практ. конф., посвященной дню Российской науки. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – Т. II. – С. 146-150.

DOI 10.12737/24510

УДК 62-522

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С МНОГОКОНТУРНЫМИ СИСТЕМАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Симанин Николай Алексеевич**, канд. техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, Пенза, проезд Байдукова, ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: nsimanin@mail.ru

**Коновалов Владимир Викторович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ.

440039, Пенза, проезд Байдукова, ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

**Петрова Светлана Станиславовна**, канд. техн. наук, доцент, инженер ООО «Премиум».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 101 а.

E-mail: ssaariz@mail.ru

**Ключевые слова:** точность, контроль, погрешность, обработка, преобразователь.

*Цель исследования – повышение точности изготовления деталей резанием в машиностроении и ремонтном производстве. Одним из направлений повышения точности обработки на металлорежущих станках является их оснащение системами активного контроля и автоматического регулирования размеров деталей. Для создания таких систем необходима разработка и внедрение первичных измерительных преобразователей (датчиков),*

контролирующих заданные параметры геометрии детали, состояние режущего инструмента и ход выполнения технологической операции в реальном масштабе времени. Подобные измерительные преобразователи могут быть реализованы на различных физических принципах, но все они должны иметь рабочие параметры и характеристики, отвечающие определенным требованиям. Для обеспечения эффективной работы систем контроля и управления необходима информация, поступающая, как правило, от нескольких измерительных преобразователей, сигналы которых обычно суммируются и сравниваются с заданными значениями. В статье представлено описание системы активного контроля и автоматического регулирования размеров детали с использованием полумостовой схемы пневматического измерительного преобразователя и порядок их работы. Рассмотрены различные схемы суммирования выходных сигналов первичных измерительных преобразователей, а также особенности обработки сигналов рассогласования. Показано, что при связанном регулировании появляется дополнительная погрешность обработки деталей на станках, обусловленная не идентичными характеристиками первичных измерительных преобразователей. Получена зависимость для оценки этой составляющей погрешности обработки. Таким образом, работа предложенной системы активного контроля и автоматического регулирования размеров детали с использованием полумостовой схемы пневматического измерительного преобразователя предполагает выполнение нескольких требований: при связанном регулировании параметров предъявляются повышенные требования к идентичности метрологических характеристик первичных преобразователей; для исключения влияния не идентичности характеристик параметров на точность обработки детали, проточные части первичных преобразователей должны быть откалиброваны по давлению и расходу рабочей среды.

Одним из направлений повышения точности обработки на металлорежущих станках является их оснащение системами активного контроля и автоматического регулирования размеров деталей [1].

Для создания таких систем необходима разработка и внедрение первичных измерительных преобразователей (датчиков), контролирующих заданные параметры геометрии детали, состояние режущего инструмента и ход выполнения технологической операции в реальном масштабе времени. Подобные измерительные преобразователи могут быть реализованы на различных физических принципах, но все они должны иметь рабочие параметры и характеристики, отвечающие определенным требованиям [2, 3].

Для обеспечения эффективной работы систем контроля и управления необходима информация, поступающая, как правило, от нескольких измерительных преобразователей, сигналы которых обычно суммируются и сравниваются с заданными значениями.

**Цель исследований** – повышение точности изготовления деталей резанием в машиностроении и ремонтном производстве.

**Задачи исследований** – изучить влияние характеристик измерительных преобразователей на точность обработки деталей на станках с многоконтурными системами регулирования.

**Материалы и методы исследований.** На рисунке 1 показана схема системы активного контроля и автоматического регулирования размеров детали, обрабатываемой на токарном станке.

В схеме использованы три первичных измерительных преобразователя. Первый преобразователь ПП1 дает текущую информацию о положении наружного контура обработанной поверхности детали Д относительно геометрической оси  $X - X$  центров станка, второй преобразователь ПП2 – о величине упругого отжатия режущего инструмента РИ (резца) в процессе резания, третий преобразователь ПП3 – о величине износа режущей кромки резца.

Преобразователь ПП3 установлен в плоскости, перпендикулярной оси  $X - X$  и проходящей через вершину резца, преобразователь ПП1 – на расстоянии  $l_1$ , а преобразователь ПП2 – на расстоянии  $l_2$  справа от этой плоскости.

Все первичные преобразователи реализованы на базе пневматического элемента типа «сопло-заслонка». Пневматический измерительный преобразователь выполнен по полумостовой схеме (рис. 2), содержащей последовательно включенные постоянное 1 и переменное 2 сопротивления движению сжатого воздуха [4].

Постоянное сопротивление создается дросселем с заданным проходным сечением, а переменное сопротивление представлено элементом сопло-заслонка, в котором роль заслонки играет контролируемая поверхность 3. Питание преобразователя сжатым воздухом с заданным стабилизированным давлением  $P_n$  осуществляется от внешнего источника. Изменение зазора  $y$ , через который воздух истекает в окружающую среду, приводит к соответствующему изменению давления  $P$  воздуха в междроссельной камере 4. Это изменение давления является выходным сигналом преобразователя и может использоваться для контроля положения контролируемой поверхности по показаниям манометра  $M$  или, после соответствующей обработки и усиления, в качестве управляющего сигнала системы автоматического регулирования одного из приводов станка.

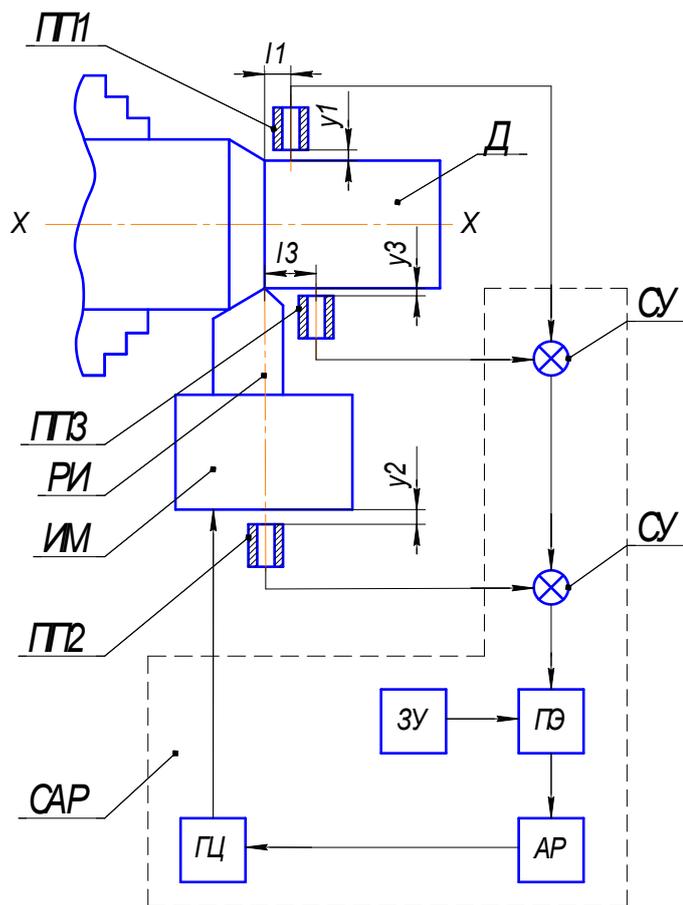


Рис. 1. Схема системы активного контроля и автоматического регулирования размеров детали

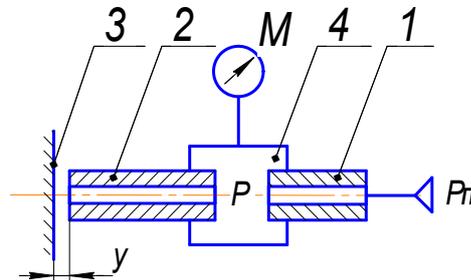


Рис. 2. Полумостовая схема пневматического измерительного преобразователя:  
1 – подводящая трубка пневмоподачи; 2 – сопло пневмоподачи; 3 – деталь; 4 – регулятор давления; М – манометр

Преобразователи ПП1 и ПП2 образуют контур стабилизации заданного положения резца, а преобразователь ПП3 выдает сигнал на коррекцию (подналадку) положения резца при износе его режущей кромки.

Контур стабилизации положения резца представляет собой систему автоматического регулирования (САР), в которой объектом управления является обрабатываемая деталь, а исполнительным механизмом ИМ – резцедержатель станка с закрепленным в нем режущим инструментом.

Методика исследований предусматривала теоретическое обоснование параметров работы устройства.

**Результаты исследований.** Структурные схемы САР могут различаться по способу использования сигналов первичных измерительных преобразователей, однако во всех случаях выходные сигналы этих преобразователей суммируются.

Операция суммирования может осуществляться различными способами, в общем случае неравноценными по метрологическим показателям.

Суммирование сигналов первичных преобразователей может быть выполнено по двум вариантам:

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 = \sum_{j=1}^n P_j, \quad (1)$$

$$P_{\Sigma} = \frac{1}{3} P_1 + P_2 + P_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – давления воздуха, соответственно, на выходе первичных измерительных преобразователей ПП1, ПП2 и ПП3.

Уравнение (1) дает метод алгебраического суммирования, а уравнение (2) – алгебраического усреднения.

Суммарный сигнал  $P_{\Sigma}$  в системе сравнивается с опорным сигналом  $P_0$ . Разность  $P_{\Sigma} - P_0$  этих сигналов является сигналом рассогласования (ошибки), приводящим исполнительный механизм ИМ в движение.

Проанализируем эти варианты суммирования.

Пусть в системе установлено  $n$  датчиков и на входе  $j$ -го датчика возникло возмущение. Тогда сигнал рассогласования в первом и во втором вариантах суммирования будет равен

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Sigma} &= \pm \Delta P_j; \\ \Delta P_{\Sigma} &= \pm \frac{1}{n} \Delta P_j. \end{aligned}$$

Сравнение показывает, что во втором варианте возникший сигнал рассогласования в  $n$  раз меньше по абсолютной величине, чем в первом варианте.

Следовательно, САР с суммирующим устройством СУ, реализующим второй вариант суммирования сигналов, будет менее чувствительной. Однако реализация суммирующего устройства по варианту алгебраического усреднения проще в аппаратном отношении. Быстродействие такой САР, при реализации ее на элементах пневмоавтоматики, также может быть выше.

Компенсация возмущений на входах первичных преобразователей может осуществляться либо приведением состояния входа первого преобразователя в заданное, либо изменением состояния входа второго преобразователя таким образом, чтобы суммарное отклонение равнялось нулю.

Проведем анализ для случая управления положением инструмента (резца) по суммарному сигналу двух первичных преобразователей ПП1 и ПП2.

При равновесии системы будут справедливы зависимости

$$P_{\Sigma} - P_0 = 0,$$

$$P_{10} + P_{20} - P_0 = 0, \quad (3)$$

где  $P_{10}$  и  $P_{20}$  – начальные (предварительно настроенные) давления на выходе преобразователей ПП1 и ПП2.

В процессе обработки на заготовку и элементы станка действуют различные возмущающие воздействия (сила резания, температурные деформации и др.), приводящие к упругим отжатию и деформациям заготовки и резца в противоположные стороны.

Отжатие резца на величину  $\Delta y_2$  измеряется первичным преобразователем ПП2, роль заслонки в котором играет корпус резцедержателя.

Выходной сигнал датчика ПП2 станет равным

$$P_2 = P_{20} + k_2 \Delta y_2,$$

где  $k_2$  – коэффициент усиления датчика.

На выходе суммирующего устройства СУ получим сигнал

$$P_{\Sigma} = P_0 + k_2 \Delta y_2.$$

Этот сигнал сравнивается с опорным сигналом задающего устройства ЗУ и сигналом на выходе порогового элемента ПЭ:

$$\Delta P = k_2 \Delta y_2.$$

Выходной сигнал порогового элемента ПЭ подается на вход автоматического регулятора АР гидравлического привода поперечной подачи исполнительного механизма ИМ (резцедержателя). Резцедержатель перемещается вперед, увеличивая зазор  $y_2$  между заслонкой и соплом так, чтобы в конце перемещения выполнялось условие  $\Delta y_2 = 0$ .

В качестве автоматического регулятора САР может быть использован гидравлический дросселирующий распределитель золотникового типа с пневмомеханическим управлением, а в качестве двигателя исполнительного механизма – гидравлический цилиндр ГЦ.

Таким образом, перемещение резцедержателя с инструментом осуществляется на величину  $L = -\Delta y_2$ . Точность перемещения будет зависеть от точности срабатывания порогового элемента ПЭ и точности перемещения резцедержателя гидравлическим цилиндром.

Упругое отжатие  $\Delta y_1$  заготовки или изменение ее контролируемого размера приводит к изменению зазора между соплом и заслонкой датчика ПП1 и соответствующему изменению давления на выходе.

На рисунке 3 показаны статические характеристики первичных измерительных преобразователей ПП1 и ПП2, где  $P$  – давление на выходе датчика в функции измеряемого зазора  $y$ .

Пусть первичные преобразователи ПП1 и ПП2 имеют разную крутизну линейной части характеристики. Примем в качестве настроечного некоторое значение измеряемого зазора, равное  $y_0$ . Этому значению соответствуют выходные давления  $P_1$  и  $P_2$  (точки 1 и 2 характеристики) и суммарное давление  $P_\Sigma$  (точка 4 характеристики). Поскольку система приходит в движение при неравенстве суммарного давления  $P_\Sigma$  заданному давлению  $P_0$ , то произойдет корректировка положения (подналадка) резца на некоторую величину  $L$ . Перемещение резца будет осуществляться до тех пор, пока суммарное давление  $P_\Sigma$  не станет равным опорному, то есть  $P'_\Sigma = P_0$ . Этому условию соответствует точка 5 на характеристике  $P_2$ . Значит, измеряемый зазор изменится на величину  $\Delta y_2$ .

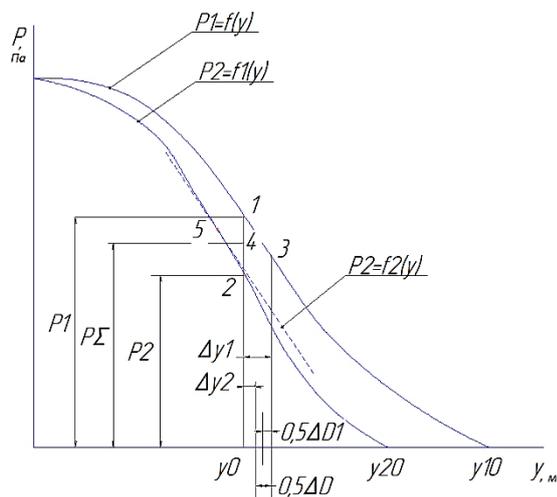


Рис. 3. Статические характеристики первичных преобразователей ПП1 и ПП2

Откладывая  $\Delta y_2$  вправо от точки  $y_0$ , получим разность  $\Delta y_1 - \Delta y_2$ , которая покажет погрешность обработки, вызванную несовпадением характеристик первичных преобразователей:

$$\Delta D = 2(\Delta y_1 - \Delta y_2).$$

Пусть после возмущения САР:  $P'_1 = P_{10} - k_1 \Delta y_1$ , тогда после подналадки резца:  $P'_2 = P_{20} - k_2 \Delta y_2$ .

Суммируя эти давления с учетом зависимости (3), получим

$$k_1 \Delta y_1 = k_2 \Delta y_2. \quad (4)$$

При  $k_1 \neq k_2$  появляется погрешность обработки  $\Delta D$ .

Выразив  $\Delta y_2$  из уравнения (4), получим

$$\Delta D = 2 \Delta y_1 \left( 1 - \frac{k_1}{k_2} \right). \quad (5)$$

При  $k_1 > k_2$  произойдет перерегулирование и фактический диаметр детали после обработки будет меньше заданного на  $\Delta D$ . При  $k_1 < k_2$  будет иметь место недорегулирование.

При износе резца фактический диаметр детали после обработки будет больше заданного и зазор между соплом и заслонкой датчика ПП3 уменьшится на величину  $\Delta y_3$ .

На выходе суммирующего устройства давление будет равно

$$P'_\Sigma = P_0 + k_3 \Delta y_3.$$

Изменение давления  $P'_\Sigma = k_3 \Delta y_3$  должно быть компенсировано изменением давления  $P_2$  на величину  $P'_\Sigma$ , так чтобы давление  $P_\Sigma$  стало равным заданному значению, то есть  $\Delta P = 0$ .

Этому условию соответствует равенство  $k_3 \Delta y_3 = k_2 \Delta y_2$ . То есть в этом случае также возникают погрешности обработки при неравенстве крутизны характеристик преобразователей ПП2 и ПП3:

$$\Delta D_1 = 2 \Delta y_3 \left( 1 - \frac{k_3}{k_2} \right). \quad (6)$$

Суммируя выражения (5) и (6), получим:

$$\Delta D_\Sigma = 2 \Delta y_1 \left( 1 - \frac{k_1}{k_2} \right) + \Delta y_3 \left( 1 - \frac{k_3}{k_2} \right).$$

Поскольку первичный преобразователь ПП3 установлен со сдвигом  $l_3$  от вершины резца, то его сигнал целесообразно использовать периодически для коррекции положения резца. В промежутках между подналадками в суммирующее устройство должен подаваться сигнал, дублирующий выходной сигнал  $P_3$ , иначе появится дополнительная погрешность метода суммирования давлений.

Действительно, пусть при коррекции положения резца установилось давление

$$P_{1\Sigma} = \frac{1}{3} P_1 + P_2 + P_3 .$$

Затем после коррекции канал выходного сигнала  $P_3$  отключается и на выходе суммирующего устройства устанавливается давление

$$P_{2\Sigma} = \frac{1}{2} P_1 + P_2 .$$

Из анализа полученных выражений следует, что  $P_{1\Sigma} \neq P_{2\Sigma}$ . В таком случае система автоматического регулирования придет в движение и ее предварительная настройка будет нарушена. Для предотвращения этого явления необходимо коррекцию положения резца осуществлять либо по особому каналу, не связанному с контуром стабилизации, либо вводить дублирующий сигнал. В последнем случае в системе необходимо наличие запоминающего устройства аналогового сигнала.

**Заключение.** Таким образом, работа предложенной системы активного контроля и автоматического регулирования размеров детали с использованием полумостовой схемы пневматического измерительного преобразователя предполагает выполнение нескольких требований: 1) при связанном регулировании параметров предъявляются повышенные требования к идентичности метрологических характеристик первичных преобразователей; 2) для исключения влияния не идентичности характеристик параметров на точность обработки детали, проточные части первичных преобразователей должны быть откалиброваны по давлению и расходу рабочей среды.

#### Библиографический список

1. Симанин, Н. А. Гидравлические системы автоматического управления технологическими операциями в машиностроении / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2009. – 155 с.
2. Симанин, Н. А. Проектирование элементов и систем автоматического регулирования гидравлических приводов технологического оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Изд-во ПГТУ, 2015. – 180 с.
3. Симанин, Н. А. Измерительные преобразователи типа «сопло-заслонка» для гидравлических систем автоматического регулирования приводов промышленного оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский, И. А. Поляков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2015. – №1 (13). – С. 176-183.
4. Симанин, Н. А. Экспериментальные исследования пневматических измерительных преобразователей / Н. А. Симанин, Ю. М. Передрей // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. – 2015. – №02 (24). – С. 102-114. – (Серия «Технические науки. Машиностроение»).
5. Симанин, Н. А. Гидравлика, гидроприводы и гидроавтоматика технологического оборудования / Н. А. Симанин, Е. Н. Ярмоленко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2003. – 132 с.

DOI 10.12737/24511

УДК 631.3

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПРИ ПОСЕВЕ

**Канаев Михаил Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: kanaev\_miha@mail.ru

**Карпов Олег Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика, математика и информационные технологии», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: oleg@ssaa.ru

**Васильев Сергей Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: aspmig@mail.ru

**Фатхутдинов Марат Рафаилович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК», ФГБОУ ВО Самарская ГСХА.

446442 Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8 «А».

E-mail: fathutdinov\_mr@mail.ru

**Ключевые слова:** удобрения, система, платформа, почва, тензодатчик.

*Цель исследований – разработка электронной системы автоматизации дифференцированного внесения минеральных удобрений посевным агрегатом. На основе изучения и анализа средств механизации дифференцированного внесения удобрений при посеве выявили основные их недостатки. Из имеющихся на рынке*