

УДК 621.9.08

Модернизация установки измерения сил резания на базе динамометра УДМ-600

Шуляк Я. И.^{1,*}, Васильев С. Г.¹

[*yan.shulyak@yandex.ru](mailto:yan.shulyak@yandex.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В работе рассмотрен вариант создания модернизированной измерительной установки, позволяющей регистрировать составляющие силы резания на операции механической обработки точением с использованием динамометра УДМ-600. Разработанная измерительная установка повышает точность и достоверность измерений, сокращает время на обработку экспериментальных данных, предоставляет в графическом виде измеряемые результаты в режиме реального времени. В качестве регистрирующего оборудования используется устройство сбора данных модели NI USB-6009, управление процессом измерения производится с использованием среды графического программирования LabVIEW.

Ключевые слова: модернизация, динамометр, тензорезистор, сбор сигналов, силы резания, измерения

Введение

Известны многочисленные способы измерения составляющих силы резания при проведении экспериментальных и научных исследований. При этом часто возникает проблема выбора способа измерения и регистрации экспериментальных данных и проведения их анализа в режиме реального времени. Определение конкретных усилий при резании позволяет оптимально выбирать конструкцию режущего инструмента, его геометрические параметры, и в целом оптимизировать технологический процесс изготовления деталей в условиях современного машиностроительного производства. Оценка значений реальных составляющих силы резания имеет и практическое значение при использовании новых инструментальных и обрабатываемых материалов на этапе назначения рациональных режимов обработки.

Первоначальный комплект измерительной установки по измерению составляющих силы резания [1] состоял из универсального динамометра УДМ-600, стабилизатора сетевого напряжения, лампового усилителя для усиления сигнала с динамометра, пассивного фильтра отсеивающего высокочастотные колебания, шлейфового осциллографа с выводом данных на светочувствительную бумагу. Комплект оборудования, который участвует в обработке выходных сигналов с динамометра морально и физически устарел. Так лам-

повый усилитель перед использованием требует обязательного прогрева, при каждой замене в осциллографе гальванометра для смены чувствительности необходимо заново проводить тарировку отклонения светового луча, обработка выходных данных полученных на светочувствительной бумаге в виде графиков длительна и имеет низкую точность обработки, отсутствует возможность оценки измеряемых данных в режиме реального времени. Перечисленные основные недостатки измерительной установки могут быть устранены путём модернизации.

В работе рассмотрен вариант создания модернизированной измерительной установки, позволяющей регистрировать составляющие силы резания на операции механической обработки точением. Предлагаемый вариант установки позволяет повысить точность и достоверность измерений, сократить время на обработку экспериментальных данных, предоставить возможность проводить необходимые математические и статистические вычисления, создавать массивы экспериментальных данных, графически представлять выходные данные в режиме реального времени.

Обобщенная структурная схема установки измерения составляющих силы резания показана на рисунке 1. В качестве первичного датчика регистрации сил резания используется динамометр модели УДМ-600. Измерительная установка состоит из следующих основных блоков: блока балансировочных и согласующих сопротивлений (БСС), 16 канального усилителя напряжения (УН) модели ЛА-УН16, устройства сбора данных (УСД) модели NI USB-6009, персонального компьютера. Основные блоки измерительной установки сведены в блок усиления и преобразования сигналов (УПС) с расположением в отдельном помехо защищенном корпусе.

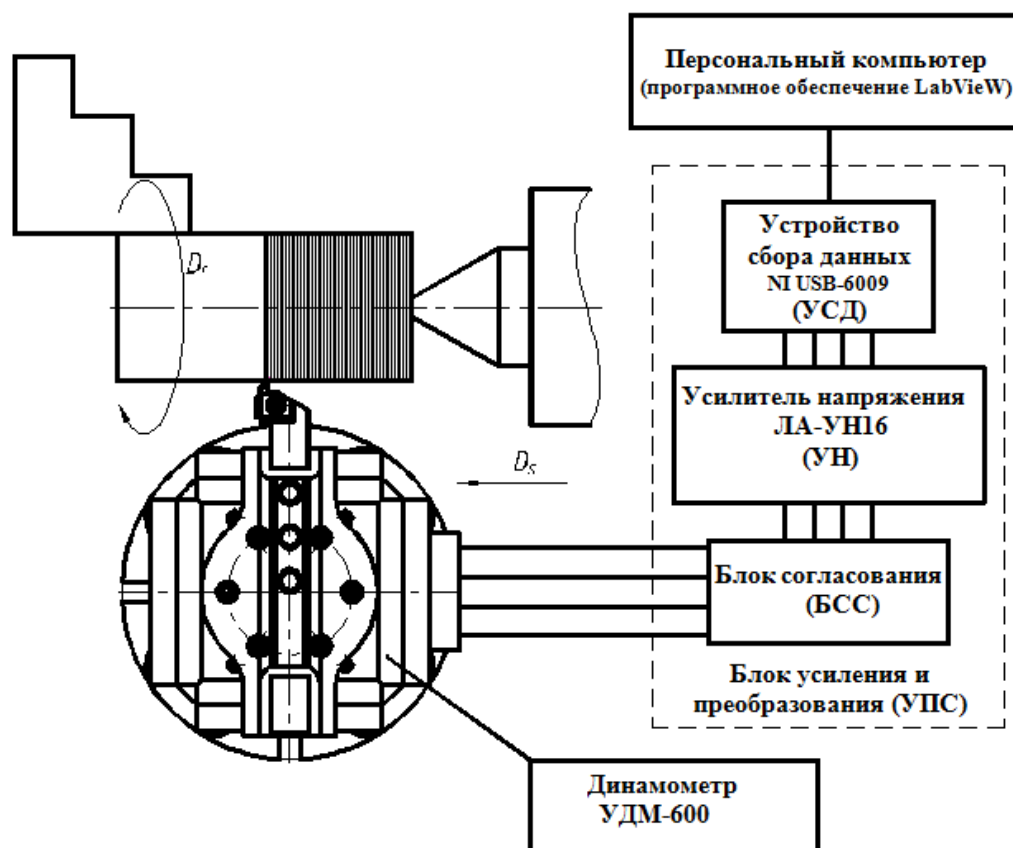


Рис.1. Структурная схема установки измерения составляющих силы резания.

Процесс измерения и регистрации составляющих силы резания состоит из следующих основных этапов. Составляющие силы резания, возникающие в процессе механической обработки, первоначально регистрируются динамометром модели УДМ-600, который является первичным датчиком измерения.

По конструкции и принципу действия динамометр модели УДМ-600 способен одновременно измерять составляющие силы резания P_x , P_y , P_z и крутящий момент $M_{кр}$ на операциях точения, сверления, фрезерования. На операциях точения измеряются взаимоперпендикулярные составляющие силы резания P_x , P_y , P_z (рис.2 а), для сверления измеряется крутящий момент $M_{кр}$ и осевая сила $P_{ос}$ (рис.2 б).

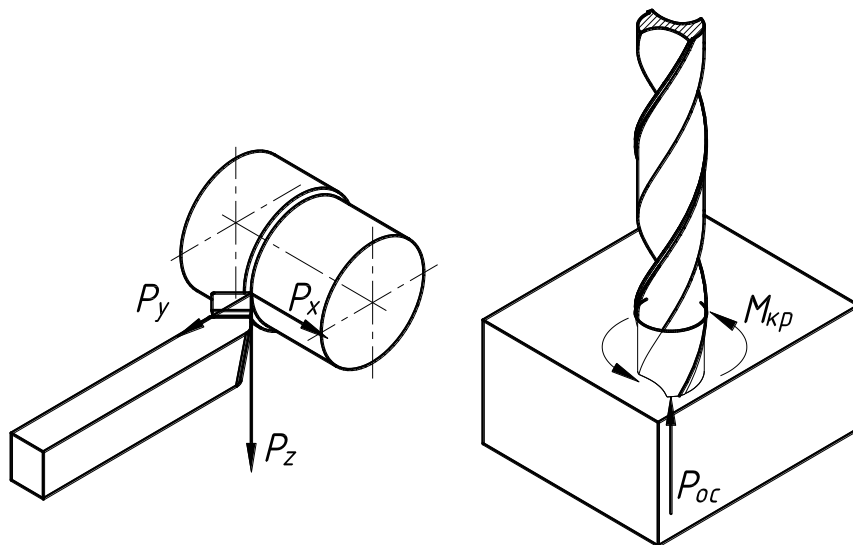


Рис.2. Распределение составляющих силы резания P_x , P_y , P_z и $M_{кр}$ на операции точения и сверления.

Основной частью динамометра является центральная квадратная опора, расположенная на упругих измерительных опорах (рис.3).

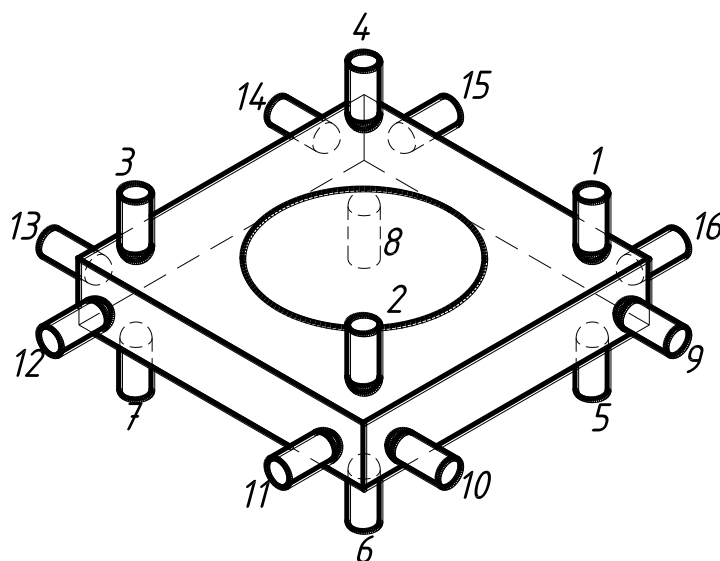


Рис.3. Схема размещения измерительных опор в динамометре УДМ-600.

Каждая опора при приложении к ней силы деформируется в направлении своей оси. Вдоль оси каждой опоры наклеены проволочные тензорезисторы с базой равной 10 мм и сопротивлением равным 100 Ом. Вертикально расположенные опоры участвуют в измерении силы резания P_z , горизонтально расположенные опоры участвуют в измерении сил P_x , P_y , и крутящего момента $M_{кр}$. Тензорезисторы упругих опор соединены в измерительные схемы в определённой последовательности, зависящей от измеряемой составляющей силы резания. Результирующая схема соединения тензорезисторов по всем измерительным каналам представлена на рисунке 4.

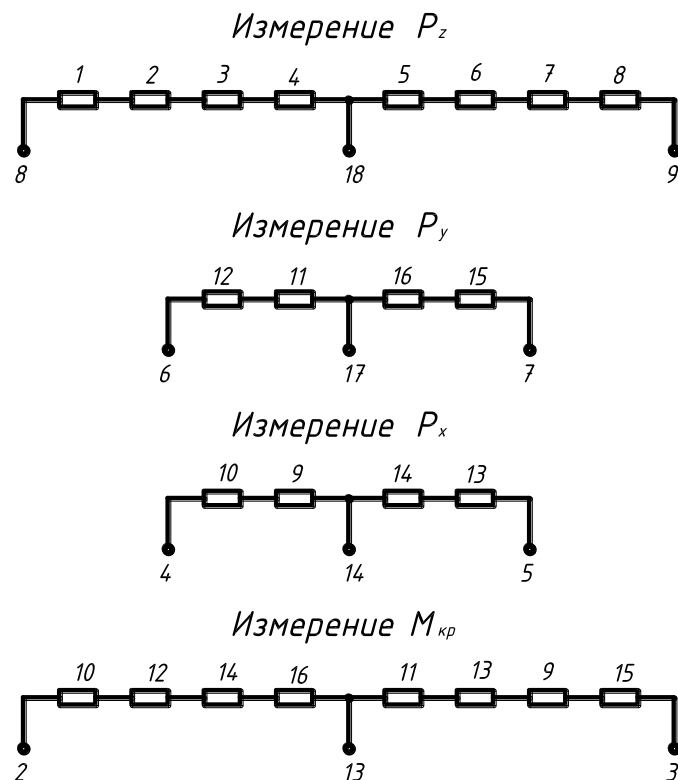


Рис. 4. Схемы соединения тензорезисторов.

Соединённые тензорезисторы образуют плечи полумоста мостовой схемы измерения. Полумост, образуемый тензорезисторами, соединяется с полумостом из балансировочных резисторов, расположенных вне корпуса динамометра в блоке БСС (рис. 1). Полумосты в блоке БСС состоят из постоянных резисторов и подстроечных резисторов, которые служат для уравнивания мостовой схемы. Регистрация сил резания заключается в получении напряжений с мостовых схем по каждому из каналов измерения. Выходное напряжение каждого канала измеряется пропорционально прилагаемым усилиям на измерительные опорные элементы. Выходные напряжения с мостовых схем имеют малые значения и измеряются в милливольтках. Для дальнейшего их использования в общей измерительной схеме выходные напряжения с мостовых схем необходимо усилить. Усиление сигнала происходит с использованием усилителя напряжения модели ЛА-УН16. Для про-

ведения анализа данных и необходимых математических расчетов усиленные сигналы каждого канала измерения передаются на устройство сбора и обработки данных модели NI USB-6009. Устройство сбора данных работает под управлением программного обеспечения с использованием среды графического программирования LabVIEW [2,3].

На рисунке 5а приведена мостовая схема соединения резисторов для измерения составляющей силы резания P_z и крутящего момента $M_{кр}$, на рисунке 5б - схема для измерения составляющих сил резания P_x и P_y . Плечи полумостов I и III образованы последовательным соединением тензорезисторов, расположенных в динамометре, плечи II и IV состоят из балансирующих сопротивлений. В статическом состоянии плечи мостов сбалансированы. Таким образом, тензорезисторы участвующие в измерениях, соединяются в измерительной части полумоста, а вторая часть полумоста состоит из балансирующих резисторов, что в целом составляло полную мостовую схему [4].

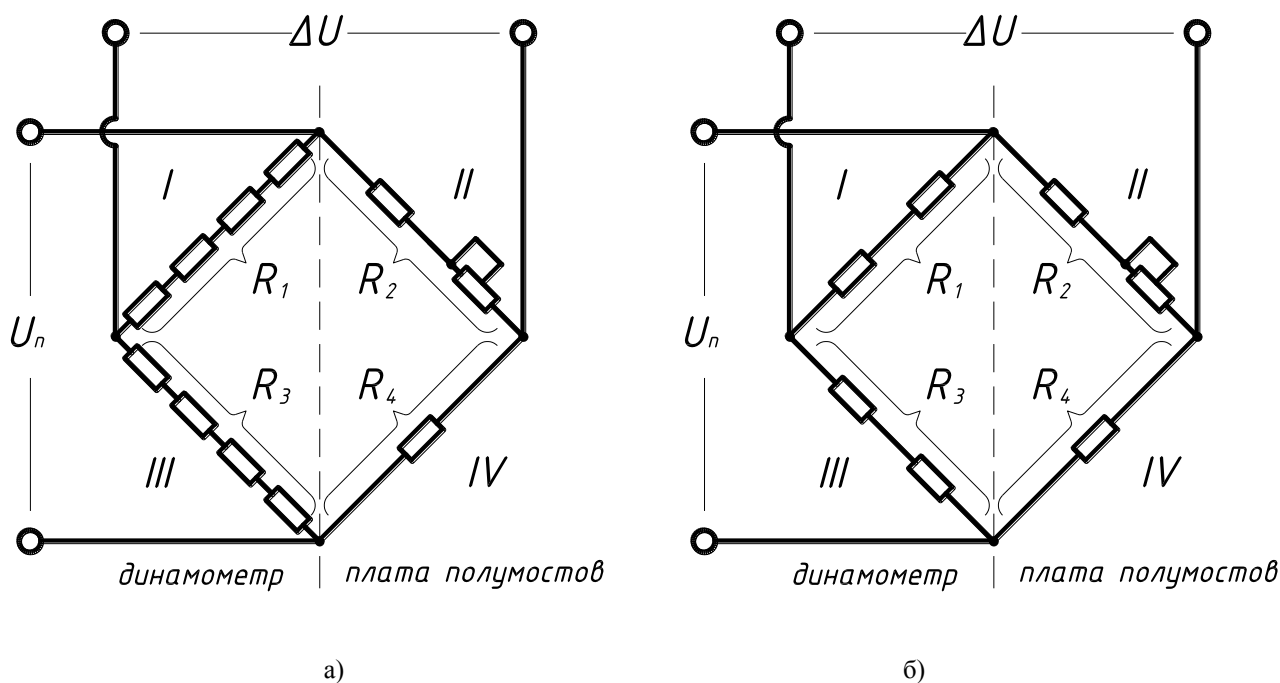


Рис.5. Мостовые схемы соединения тензорезисторов.

Питание мостовых схем осуществляется от стабилизированного источника постоянного напряжения величиной 5 Вольт. При отсутствии усилия на тензодатчики, плечи мостов дополнительно балансировались подстроечными резисторами, что позволяет добиться минимального напряжения рассогласования на выходных клеммах каждого измерительного моста. При воздействии составляющих силы резания на измерительные датчики динамометра плечи мостов выходят из состояния баланса, и на выходе каждого канала появляется напряжение, изменяющееся пропорционально составляющим силы резания. Напряжение рассогласования с каждого измерительного моста поступает на плату 16-канального усилителя модели ЛА УН-16. Усилитель предназначен для усиления слабых

сигналов (в диапазоне 0,1...0,5 мВ) с тензорезисторов и термопар, имеет низкий уровень помех и низкий коэффициент искажения усиленного сигнала. Питание усилителя осуществляется постоянным напряжением величиной 12 В, мощностью 25 Вт. Каналы усилителя имеют дискретно настраиваемые коэффициенты усиления и обеспечивают коэффициенты усиления равные 1, 10, 100, 400, 1000. В используемой схеме измерения составляющих силы резания коэффициент усиления был выбран 400 раз.

Сигнал, усиленный по каждому измерительному каналу поступает на устройство сбора данных модели NI USB-6009, оснащённое аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). Устройство предназначено для преобразования аналогового сигнала в виде переменного напряжения, в цифровой код, который передается на ПЭВМ через интерфейс USB. Настройка и управление устройством производится с использованием среды графического программирования LabVIEW. Среда программирования позволяет настроить параметры АЦП модели NI USB-6009 для измерения и регистрации напряжений с датчиков первичной информации, создавать массивы данных, проводить необходимые расчеты, визуально представлять измеренные и расчетные данные. Устройство сбора данных NI USB-6009 (рисунок 6) соединяется с компьютером посредством интерфейса USB [5]. Работает от постоянного напряжения, передаваемого по каналу USB от персонального компьютера, имеет восемь каналов ввода для аналоговых сигналов, два выходных канала аналогового сигнала, 12 каналов цифрового ввода, 32-разрядный счетчик и выходной источник постоянного стабилизированного напряжения $\pm 5\text{В}$ для питания тензометрических мостов.

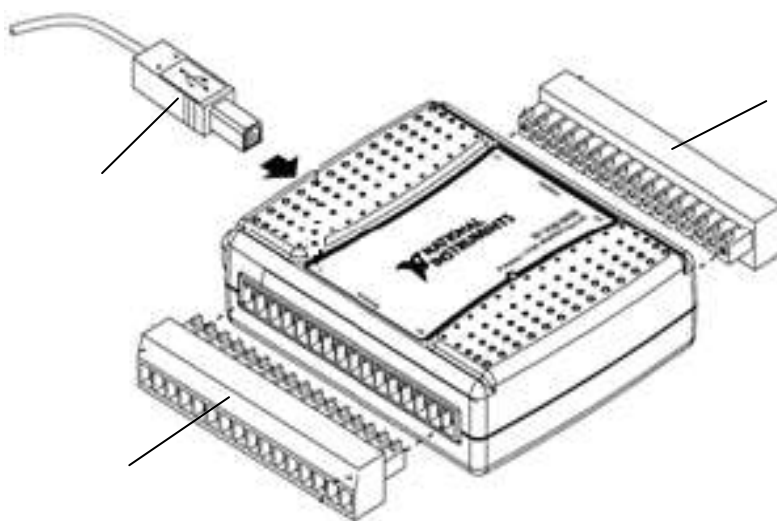


Рис. 6. Устройство сбора и обработки данных модели NI USB-6009. 1 – кабель USB, 2 – съемные разъемы

Принципиальная схема разработанного устройства для измерения и регистрации составляющих силы резания представлена на рисунке 7.

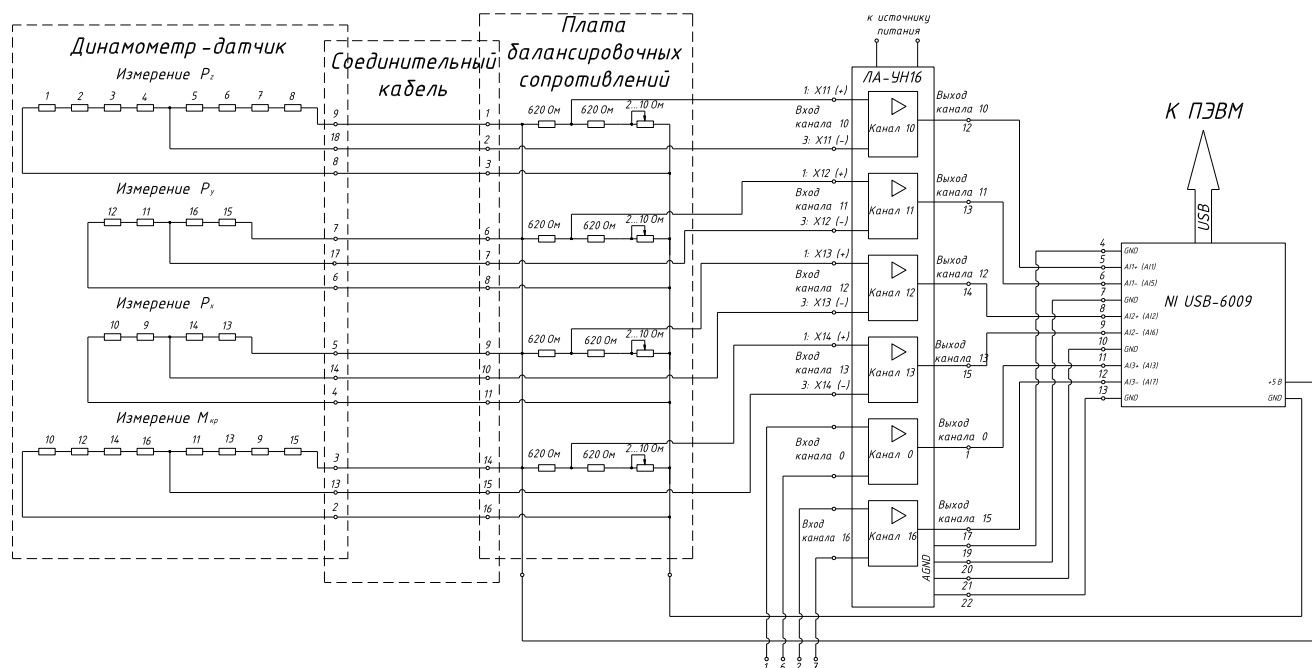


Рис. 7. Принципиальная схема измерения составляющих сил резания и крутящего момента.

Таблица 1. Используемые каналы усилителя.

Коэффициенты усиления каналов усилителя ЛА-УН16		
№ канала усилителя	Установленный коэффициент усиления	Усиливаемые сигналы
9	400	Сигнал P_x
10	400	Сигнал P_y
11	400	Сигнал P_z
12	400	Сигнал M_k
0	100	Сигнал с термопары или других датчиков
16	1000	

Дополнительно в принципиальной схеме при необходимости предусмотрена возможность подключения двух естественных или искусственных термопар для регистрации температуры в зоне резания. Номера используемых каналов усилителя напряжения ЛА-УН16 и их коэффициент усиления приведены в таблице 1

После преобразования аналогового сигнала в цифровой он передается на компьютер, работающий под специальным программным обеспечением, которое организует связь компьютера с устройством сбора данных NI USB-6009. Обработка поступившей информации осуществляется с помощью программы созданной в среде графического программирования LabVIEW 9.0. В результате работы программы можно наблюдать динамику изменения составляющих силы резания в режиме реального времени, и сохранять измеренные данные в виде массивов данных, для последующей математической обработки.

На рисунке 8 показан интерфейс разработанной программы “DinPxPyPz”, выполняющей регистрацию и запись составляющих сил резания, выполненной в среде графического программирования LabVIEW 9.0. К основным пунктам управления программы относятся следующие пиктограммы: 1 запуск программы, 2 останов программы, 3 диалоговое окно записи данных в файл, 4 окно с изображением изменения сил резания во время измерения.

Программа позволяет отображать изменение составляющих силы резания, менять масштаб отображения в режиме реального времени, проводить математические расчеты, осуществлять запись регистрируемых данных в файл с заданной дискретностью.

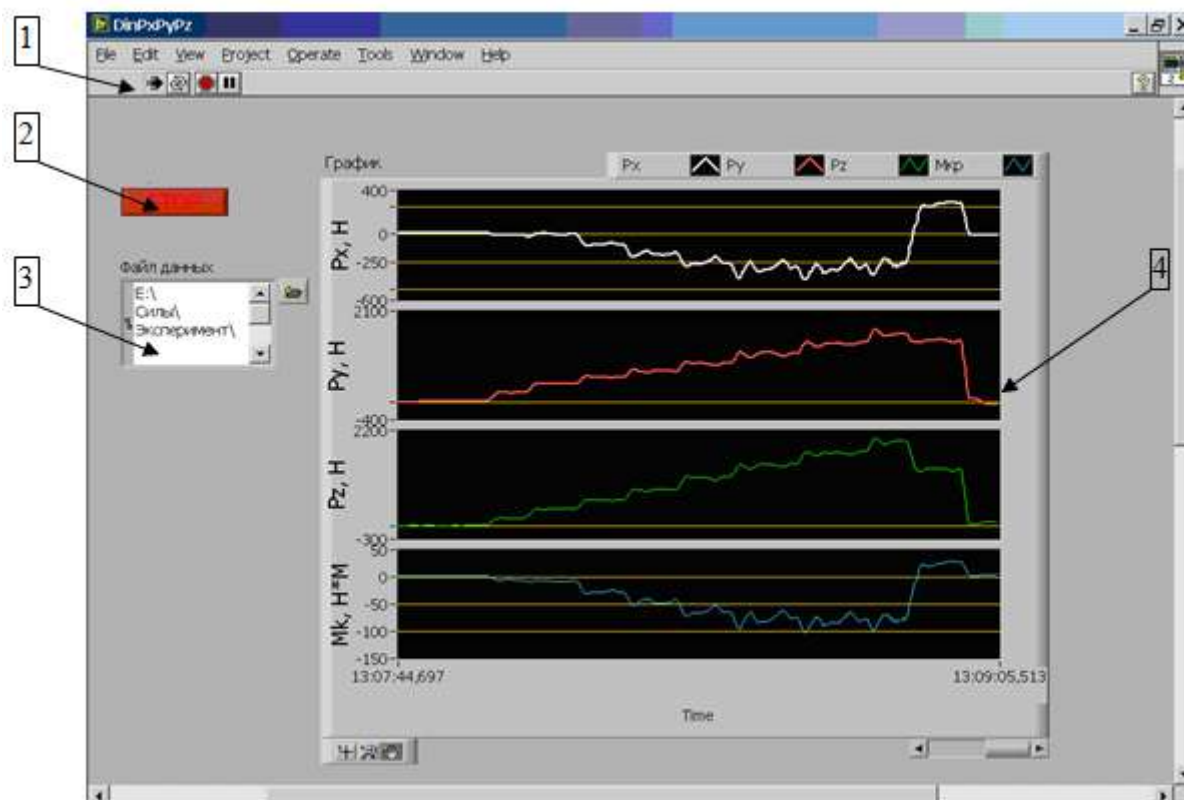


Рис. 8. Интерфейс программы DinPxPyPz измерения составляющих сил резания

Выходные данные сохраняются в текстовом формате с возможностью их импортирования в другие приложения, например, Microsoft Excel для проведения, при необходимости дополнительной математической или статистической обработки.

Графический код программы в виде блок-схемы представлен на рисунке 9.

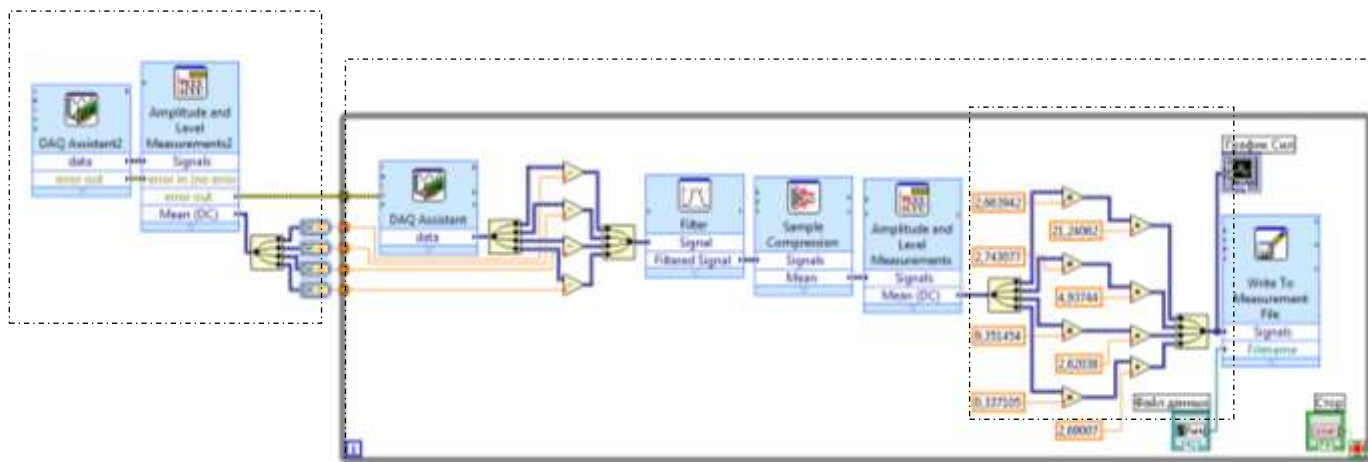


Рис. 9. Графический код программы DinPxPyPz а - блок регулировки тензометрических мостов, б – блок измерения и записи значений составляющих силы резания, в - блок пересчета с учетом тарировки данных

На фотографии рисунок 10 представлена разработанная установка измерения составляющих силы резания P_x , P_y , P_z на операции токарной обработки с использованием станка модели 16К20ПФ1. Установка может быть переналажена для измерения силовых параметров на операциях сверления и фрезерования.

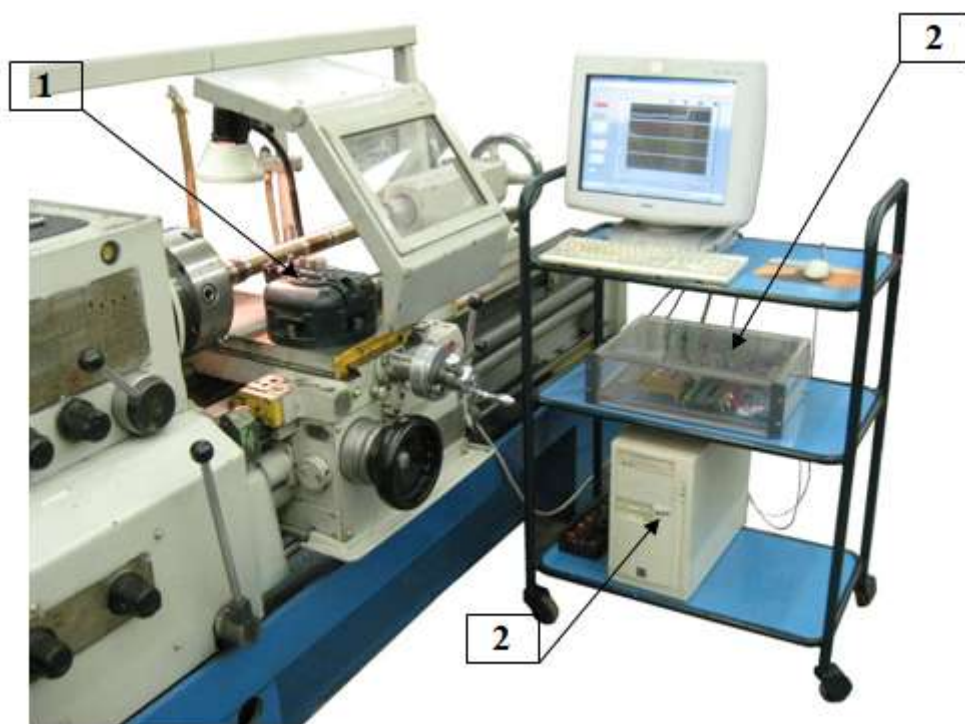


Рис. 10. Установка измерения сил резания. 1 – динамометр-датчик УДМ-600; 2 – блок усиления и согласования сигналов; 3 – системный блок персонального компьютера.

Заключение

Разработана измерительная установка, способная регистрировать составляющие силы резания на операциях механической обработки. Разработана программа, способная регистрировать силы резания в режиме реального времени, создавать массивы экспериментальных данных, представлять текущие данные в графическом виде. Установка может быть мобильной при выборе компьютера типа ноутбук. Данная установка использовалась в экспериментах по динамометрии процесса деформирующего резания [6], а также используется при проведении лабораторных работ кафедры МТ2 МГТУ им. Н.Э. Баумана по динамике точения и сверления.

Список литературы

1. Методические указания к лабораторным работам по курсу "Теория резания" / Под ред. Б. Д. Даниленко. М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1989. 54 с.
2. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для инженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW: Учеб. пособие для вузов. М.: ДМК Пресс, 2007. 399 с.

3. Федосов В. П., Нестеренко А. К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / Под ред. В. П. Федосова. М.: ДМК Пресс, 2007. 468 с.
4. Евтихийев Н.Н., Купершмидт Я.А., Папуловский В.Ф., Скугоров В.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов. Москва. Энергоатомиздат, 1990, 325с.
5. Федосов И.В. Основы программирования в LabVIEW: Учебное пособие. Саратов: Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, 2010. 52 с. Режим доступа: http://optics.sgu.ru/_media/library/education/labview_basics_online.pdf (дата обращения: 28.12.2016).
6. Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Васильев С.Г., Кононов О.В. Основы метода деформирующего резания: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Спецглавы механической и физико-технической обработки". Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, 25 с.

A Modernized UDM-600 Dynamometer-Based Setup for the Cutting Force Measurement

Ya. I. Shuliak^{1,*}, V.G. Vasilev¹

^{*}yan.shulyak@yandex.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: modernization, dynamometer, strain gauge, signal acquisition, cutting force, measurement

The article considers development of a modernized UDM-600 dynamometer-based setup for measuring the cutting force components. Modernization of existing equipment to improve the method of recording the cutting force components in the automated mode is of relevance. The measuring setup allows recording the cutting force components in turning and milling, as well as the axial force and the torque in the drilling and milling operations.

The article presents a block diagram and a schematic diagram of the setup to measure the cutting force components, and describes a basic principle of measuring units within the modernized setup. The developed setup uses a half-bridge strain gauge measuring circuit to record the cutting forces. To enhance the measuring circuit output voltage is used a 16-channel amplifier of LA-UN16 model with a discretely adjustable gain. To record and process electrical signals is used a data acquisition device of NI USB-6009 model, which enables transmitting the received data to a PC via USB-interface. The data acquisition device has a built-in stabilized DC power supply that is used to power the strain gauge bridges. A developed schematic diagram of the measuring setup allows us to realize this measuring device and implement its modernization.

Final processing of recorded data is provided through the software developed in visual programming environment LabVIEW 9.0. The program allows us to show the real-time measuring values of the cutting force components graphically and to record the taken data to a text file.

The measuring setup modernization enabled increasing measurement accuracy and reducing time for processing and analysis of experimental data obtained when measuring the cutting force components. The MT2 Department of BMSTU uses it in education and research activities and in experimental efforts and laboratory classes.

References

1. *Metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam po kursu "Teoriya rezaniya"* [Methodical instructions for laboratory works on course "Theory of cutting"]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1989. 54 p. (in Russian).

2. Evdokimov Yu.K., Lindval' V.R., Shcherbakov G.I. *LabVIEW dlya inzhenera: ot virtual'noi modeli do real'nogo pribora. Prakticheskoe rukovodstvo dlya raboty v programmnoi srede LabVIEW* [LabVIEW for engineer: from virtual model to real device. A practical guide to working in the software environment LabVIEW]. Moscow, DMK Press Publ., 2007. 399 p. (in Russian).
3. Fedosov V. P., Nesterenko A. K. *Tsifrovaya obrabotka signalov v LabVIEW* [Digital signal processing in LabVIEW]. Moscow, DMK Press Publ., 2007. 468 p. (in Russian).
4. Evtikhiev N.N., Kupershmidt Ya.A., Papulovskii V.F., Skugorov V.N. *Izmerenie elektricheskikh i neelektricheskikh velichin* [Measurement of electrical and non-electrical quantities]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 325 p. (in Russian).
5. Fedosov I.V. *Osnovy programmirovaniya v LabVIEW* [Basic programming in LabVIEW]. Saratov, SGU imeni N.G. Chernyshevskogo, 2010. 52 p. Available at: http://optics.sgu.ru/_media/library/education/labview_basics_online.pdf, accessed 28.12.2016 (in Russian).
6. Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I., Vasil'ev S.G., Kononov O.V. *Osnovy metoda deformiruyushchego rezaniya* [The basics of the method of deforming cutting]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005. 25 p. (in Russian).