Наука и Образование
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сетевое научное издание
ISSN 1994-0408

Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 12. С. 22–58.

DOI: **10.7463/1214.0749286**

Представлена в редакцию: 12.12.2014

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 67.05

Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии механической обработки

Древаль А. Е.[1], Васильев С. Г.[1], Виноградов Д. В.[1,*], Мальков О. В.[1]

*vdv2010@bk.ru

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

Выполнен обзор методик, методов и состава контрольных и измерительных средств, применяемых при экспериментально-научных исследованиях процессов механической обработки резанием. Представлен разработанный и изготовленный на кафедре «Инструментальная техника и технологии» МГТУ им.Н.Э.Баумана стенд для проведения исследовательских работ в области технологии обработки материалов резанием. Диагностический стенд содержит современную электронную аппаратуру, регистрация параметров измерения происходит в режиме реального времени с возможностью визуального представления результатов измерения и проведения математической и статистической обработке результатов измерения. Стенд может быть использован в исследовательских лабораториях машиностроительных предприятий, лабораториях вузов и других научных подразделениях.

Ключевые слова: сила резания, мощность, стойкость инструмента, износостойкость, температура резания, вибрация, диагностика, измерительный стенд, качество поверхности

Введение

Технологическая подготовка новых и модернизация существующих механообрабатывающих производств, приобретение новой технологической оснастки и оборудования обуславливает необходимость принятия обоснованных технических и технологических решений по оценке эффективности и экономической целесообразности принимаемых решений. Это сопровождается выполнением большого объема организационных и технических работ, в составе которых значительное место занимают испытательные и исследовательские работы, целью которых является найти наиболее рациональные технологические решения. Работы выполняются инженерными службами предприятия или привлеченными сторонними специалистами. К таким работам относятся:

1) отработка и обоснование рациональных режимов резания для конкретных операций механической обработки;

2) оценка обрабатываемости новых конструкционных материалов;

3) оптимизация геометрических параметров режущих инструментов;

4) сравнительная оценка эксплуатационных свойств режущих инструментов различных производителей;

5) определение и сравнение смазочно-охлаждающих свойств СОТС различных марок;

6) оценка технологических и эксплуатационных характеристик обработанных поверхностей;

7) оценка мощности и энергозатрат процессов механической обработки;

8) оценка износостойкости и триботехнических характеристик инструментальных материалов, в том числе с поверхностными покрытиями;

9) оценка технического состояния – точности, жесткости, виброустойчивости станков, как вновь приобретаемых, при пусконаладочных работах так и находящихся в эксплуатации;

10) экспериментальные сравнительные оценки и проверки коммерческих предложений поставщиков инструментов, технологической оснастки и оборудования и другие экспериментальные работы.

Такие работы выполняются на разнородном исследовательском оборудовании, что сильно замедляет комплексную оценку принятых технологических решений. Поэтому разработка контрольно-измерительного диагностического стенда для проведения всего комплекса экспериментальных исследований в технологии механической обработки является актуальной задачей.

С этой целью выполнен краткий анализ исследовательских работ в области резания (в основном – современных). Приведенные литературные ссылки носят подтверждающий характер и не могут отразить все многообразие в области резания.

Анализ методов оценки работоспособности режущих инструментов и обрабатываемости материалов

Основными целями технологических исследований являются разработка теоретических основ физики резания, методов оценки и управления работоспособностью режущих инструментов, обрабатываемости конструкционных материалов в зависимости от параметров режима резания, конструктивных и геометрических параметров инструментов, марок инструментального и обрабатываемого материалов, условий обработки. Работоспособность режущих инструментов и обрабатываемость конструкционных материалов оценивают в зависимости от технологических требований и производственной ситуации различными показателями эффективности, которые выражаются численными или качественными критериями.

Выполненный обзор методик, методов и состава контрольных и измерительных средств, применяемых при экспериментально-научных исследованиях процессов механической обработки резанием, технологического оборудования и оснастки позволил укрупненно разделить существующие методы исследований в резании металлов по следующим

признакам: сущность методов, количество фиксируемых физических показателей, количество изучаемых факторов, продолжительность испытаний. Каждая группа методов взаимосвязана с другими, но имеет свою область применения (табл. 1).

Таблица 1. Методы оценки работоспособности режущих инструментов и обрабатываемости конструкционных материалов

Группа методов	Первая	Вторая	Третья
Стадия проведения	Вне процесса резания	Моделирование процесса резания на образцах - эталонах	В ходе процесса резания, обработки конструкционных материалов
Сущность метода	На основе сравнительной оценки физико-механических характеристик инструментального и обрабатываемого материала, трибологические испытания	Установление взаимосвязи состояния инструментов (износа) с факторами процесса резания посредством моделирования на натуральных образцах отдельных физических показателей процесса резания	Активный контроль текущего состояния инструмента (износа) и физических параметров (силы резания, АЧХ и др.) в ходе ресурсных испытаний при обработке конструкционных материалов

1. Методы первой группы используют при укрупнённой оценке применимости марок инструментальных материалов для обработки конструкционных материалов в соответствии с их классификацией по обрабатываемости [1, 2]. Такие методы можно разделить на две подгруппы.

1.1. Производят сопоставление физико-механических свойств и химического состава инструментального и конструкционных материалов, что позволяет на основании ранее накопленного опыта, учета вида и условий обработки резанием установить область применения инструментального материала [3]. В таких исследованиях используются аппаратура и приборы, характерные для металловедческих лабораторий.

1.2. Трение режущих инструментов о заготовку и стружку моделируют трением инструментального и обрабатываемого материалов на различных машинах и устройствах трения [4, 5]. При этом, однако, не обеспечиваются условия контактирования инструмента с заготовкой, наблюдаемые при резании металлов. Более информативным для сравнительной оценки износостойкости является метод, разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана профессором Г.И. Грановским и учениками его школы [6, 7]. В предложенном методе реализуется изнашивание ювенильных поверхностей образцов инструментальных и конструкционных материалов в широком диапазоне скоростей трения при давлениях в зоне контакта аналогичных давлениям, возникающим на контактных поверхностях инструментов при резании. Для реализации метода используется специальное динамометрическое устройство, позволяющее в ходе изнашивания обеспечивать постоянство

контактного давления на изнашиваемых поверхностях, измерение силы трения и массы изношенного материала.

2. Вторая группа методов оценки работоспособности режущих инструментов на образцах обрабатываемого материала. При этом устанавливают зависимости между параметрами режущих инструментов и режима резания и физическими показателями процесса резания (динамическими, тепловыми, волновыми и др.), технологическими показателями обработки (например, шероховатостью) и факторами и условиями процесса резания. Такие методы можно разделить на шесть подгрупп.

2.1. Методы, основанные на исследовании динамических показателей – сил и моментов резания, колебаний их величин и градиентов изменения [8-13], а также эффективной мощности [14-16]. В экспериментальных исследованиях используют различные тензометрические устройства. Широкое применение нашел серийно выпускавшийся тензометрический трёхкомпонентный динамометр (УДМ) [17], ряд динамометров конструкций МГТУ им. Н.Э. Баумана [18, 19], а также специальные установки [20]. В настоящее время все больше применяют динамометрические системы, основанные на использовании пьезоэффекта обладающие рядом эксплуатационных преимуществ [21, 22].

2.2. Методы, основанные на исследованиях тепловых явлений в системе «инструмент – зона резания» в зависимости от конструктивных и геометрических параметров инструментов, параметров режима резания, материалов инструмента и заготовки и других составляющих технологической системы [23-25]. При варьировании указанными параметрами устанавливают взаимосвязь между температурой и скоростью изнашивания, уровни критических температур, решают задачи оптимизации процессов резания и другие. Для измерения температуры используются естественные, полуискусственные и искусственные термопары, пирометры. Для оценки распределения температуры по поверхностям режущих инструментов и обработанных поверхностей используются тепловизоры [26]. Исследование температурных полей обуславливает необходимость использования большого количества термопар и, как следствие, многоканальной аппаратуры.

2.3. Методы, основанные на исследовании волновых процессов, возникающих при резании [27-29]. В зависимости от частоты колебаний выделены три диапазона: 1) колебания системы СПИД, имеющие сравнительно низкую частоту (до 6 кГц), 2) виброакустические колебания (до 60кГц), состоящие из высокочастотных колебаний системы СПИД и колебаний, генерируемых в зоне резания; 3) акустические колебания (от 60 кГц до 30 МГц) или сигналы акустической эмиссии, которые позволяют определять состояние инструмента – величину износа. Эти исследования выполняются для оценки виброустойчивости технологической системы, влияния колебаний на показатели качества обработки, диагностики процесса резания и состояния режущих инструментов [30-33]. Выбор области исследований колебаний определяет состав приборов и аппаратуры: вибродатчики первичной информации, аппаратура для частотно-амплитудного анализа сигналов.

2.4. Методы, основанные на установлении взаимосвязи технологических показателей обработки (шероховатость, точность, упрочненный слой и др.) с факторами процесса резания [34, 35]. В исследованиях используются приборы и устройства для измерения шероховатости – профилографы-профилометры, контактные и оптические приборы и устрой-

ства для измерения линейных и угловых размеров – микроскопы, оптиметры, микротвердомеры и другие приборы. Перечисленные приборы входят в состав металлографических и измерительных лабораторий предприятий, имеется в лабораториях вузов.

2.5. Для оценки фазового состава и структурного состояния изношенных поверхностей инструмента используются методы рентгеноструктурного анализа и измерения фотостимулированной экзоэмисии. Реализация этих методов осуществляется на специализированных приборах и установках. Для диагностирования состояния инструментов и процесса резания исследуются излучения, выходящие из зоны резания: инфракрасные, электромагнитные [36], экзоэмиссии [37]. В этих случаях используются специальные приборы и устройства.

2.6. Методы, основанные на комплексной оценке процесса резания с использованием различных комбинаций измеряемых параметров резания [38-39].

3. *Третья группа методов* – это в основном однофакторные испытания, широко применявшиеся ранее для установления стойкостных зависимостей инструментов. Ярким примером реализации методов третьей группы являются работы отечественных специалистов по созданию нормативов режимов резания по видам обработки, выполненные под руководством Комиссии по резанию при НКТП и ГСПКТБ «Оргприминструмент». Исследования выполнялись большой группой специалистов по единой методике, пример которой представлен в работе [40]. Выполненные стойкостные испытания инструментов позволяют установить уровни параметров режима резания для основных видов обработки резанием, которые подлежат дальнейшему уточнению с учетом конкретной производственной ситуации. В предложенных нормативах устанавливаются: виды и допустимые нормы износа конструктивных элементов инструментов; нормы стачивания при переточках; исходные данные для выполнения нормирования операций обработки; расчетные зависимости сил, моментов и мощности резания. Однако стойкостные испытания отличаются большими трудозатратами и материалоёмкостью. При проведении стойкостных испытаний используются технические средства, указанные выше.

Представленный краткий обзор методов и используемой аппаратуры не претендует на обобщающий характер и ставит целью выявить основные виды экспериментальных исследований и состав контрольно–измерительной аппаратуры, предполагая их необходимость для выполнения научно-исследовательских работ и решения производственных задач в области резания металлов и эксплуатации инструментов.

В предлагаемый вариант контрольно-измерительного стенда включены базовые динамометрические устройства, приборы для выполнения триботехнических испытаний, электронная многоканальная система обработки и анализа сигналов с датчиков первичной информации в режиме реального времени, с визуализацией, работающей в автоматизированном режиме.

Контрольно-измерительный диагностический стенд

Несмотря на многообразие и разнохарактерность выполняемых экспериментальных работ, имеется их общность, заключающаяся в том, что большинство исследований может быть выполнено в рамках универсального испытательного стенда, базирующегося на сборе информации с первичных датчиков, их обработке и анализе на ЭВМ. Это позволяет автоматизировать выполнение технологических и триботехнических исследований, полу-

чать более полные и точные модели исследуемых явлений, снижает трудоемкость испытаний.

На основе анализа основных видов экспериментальных работ, выполняемых в заводских и исследовательских лабораториях при подготовке основного производства и модернизации технологических процессов, разработан контрольно-измерительный и диагностический стенд на базе специальной оснастки для выполнения комплекса вышеуказанных работ.

Разработанный контрольно-измерительный диагностический (далее КИД) стенд, позволяет выполнять экспериментальные работы, перечень которых указан выше, в заводских и научно-исследовательских лабораториях, связанных с внедрением новых технологий, с организацией и поддержкой механообрабатывающего производства.

Стенд состоит из комплексов, выполняющих определенные функции. В состав комплексов включены контрольно-измерительные средства и приборы, приспособления, электронные приборы и ЭВМ. Комплексы связаны общей коммуникационной компоновкой и составляют многофункциональную систему. Отдельные блоки комплексов могут быть использованы автономно для выполнения специализированных экспериментальных исследований.

Общая структурная схема контрольно-измерительного и диагностического стенда представлена на рисунке 1. Состав оборудования и приборов представлен в спецификации, таблица 1.

Контрольно-измерительный и диагностический стенд (рисунок 1.) состоит из пяти основных комплексов. Каждый комплекс в отдельности и совместно решает определенную задачу по проведению экспериментальных исследований.

Первый комплекс (рис. 1) включает приборы и устройства по автоматизированному сбору, анализу и хранению данных, полученных от датчиков первичной информации. К датчикам первичной информации относятся датчики вибродиагностики, тензометрии, термометрии и другие. Основой комплекса является модульная платформа на базе NI PXI–SCXI-1050 [41], имеющая возможность обслуживать различные измерительные устройства, усилители и фильтры входных сигналов, ЦАП и АЦП, расположенные на единой шине передачи данных. Данная архитектура позволяет одновременно проводить сложные измерения быстропротекающих физических явлений в режиме реального времени и параллельно регистрировать выходные параметры экспериментов имеющих различную физическую сущность.

Второй комплекс (рис. 1) сформирован на базе динамометров и электронного оборудования швейцарской фирмы *Kistler*. Комплекс предназначен для проведения исследования динамических процессов резания на токарных, фрезерных, шлифовальных операциях

и обработки отверстий осевым инструментом. Оценки энергозатрат процессов резания и оценки динамических показателей технологического оборудования и режущих инструментов.

Третий комплекс (рис. 1) основан на специальной динамометрической установке. Комплекс предназначен для оценки износостойкости инструментальных материалов, поверхностных упрочняющих покрытий инструментов, эксплуатационных свойств СОЖ. Комплекс может быть использован для исследования динамики точения и других физических показателей процессов механической обработки.

Четвертый комплекс (рис. 1) предназначен для оценки параметров качества обработанных поверхностей и включает профилограф-профилометр, приборы для измерения твердости и микротвердости, микрометры и т.п. Указанные приборы хранятся отдельно. Измерения можно проводить в стационарном и переносном режимах. Удобство измерения и анализа данных состоит в возможности использования программного обеспечения входящего в состав комплекса.

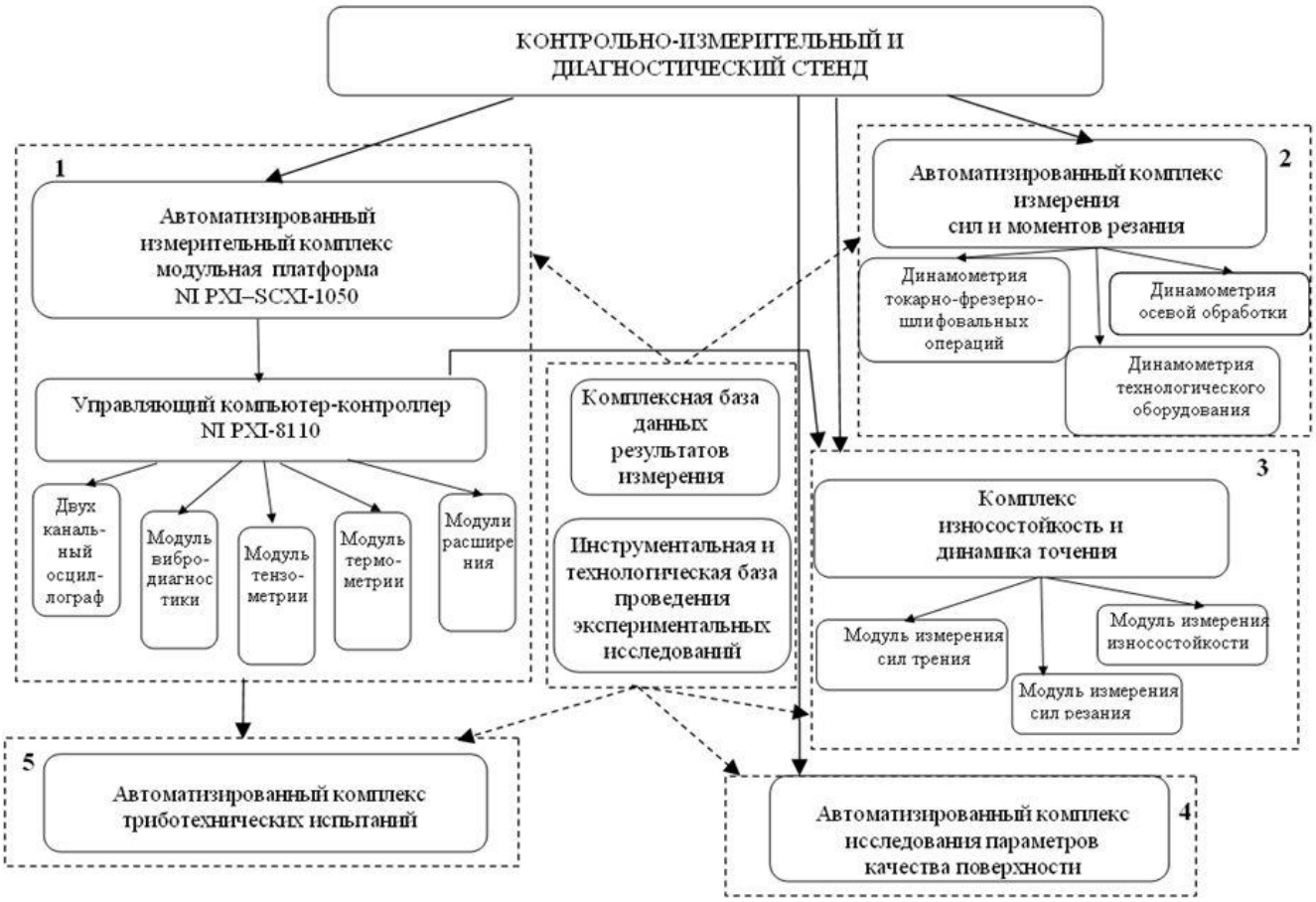


Рисунок 1. Структурная схема контрольно-измерительного диагностического стенда

Пятый автоматизированный комплекс (рисунок 1) предназначен для триботехнических испытаний пар трения. Комплекс создан на базе модернизированной машины трения Amsler. Модернизация позволяет повысить достоверность полученных данных, сократить время анализа полученных результатов, обеспечить запись на ЭВМ выходных данных эксперимента. Электронное обслуживание модернизированной машины трения обеспечивается оборудованием комплекса 1 КИД стенда. Более подробно автоматизированный комплекс триботехнических испытаний представлен в работе [42].

КИД стенд обеспечен инструментальной и технологической оснасткой и приспособлениями для проведения экспериментальных исследований – резцедержатели, струбцины, переходные втулки и т.д.

Для проведения комплексного анализа результатов измерения в структурной схеме контрольно-измерительного и диагностического стенда предусмотрена общая для всех пяти комплексов база данных результатов измерений.

Состав приборов, оборудования электронных средств комплексов КИД стенда представлен в таблицах 1…4.

Таблица 1 Приборы, оборудование, первого автоматизированного измерительного комплекса [41].

№ п/п	Наименование
1	NI PXI-1050 PXI/SCXI Структурная единица (крейт) с группой функциональных модулей
2	NI PXI-8110 Контроллер (компьютер) для общей магистрально-модульной системы
3	NI PXI-6251 SCXI Контроллер управления шиной
4	NI PXI-4498 Модуль для ввода сигналов от акселерометров
5	NI PXI-5152, Модуль 2-х лучевого осциллографа
6	SCXI-1520 Модуль АЦП для тензосигналов
7	SCXI-1314 Терминальный блок для термосигналов и тензосигналов
8	SCXI-1102 АЦП для термопар
9	SCXI-1303 32 Клеммный блок
10	Набор акселерометров

Таблица 2 Приборы и оборудование второго автоматизированного комплекса измерения сил и моментов.

№ п/п	Наименование модуля
1	Динамометр 9257B
2	Динамометр 9272
3	Зарядовый преобразователь 5070A10100
4	Резцедержатель 9403
5	Резцедержатель 9404
6	Блок АЦП 5697
7	Ноутбук 17” с программным обеспечением *DynoWare*
8	Конвертер *USB* / *RS*232-*C*

Таблица 3. Приборы и оборудование четвертого комплекса трибологических исследований.

№ п/п	Наименование модуля
1	Динамометрическое устройство
2	Устройство нагружения

Таблица 4. Приборы и оборудование четвертого автоматизированного комплекса исследования параметров качества поверхностей.

№ п/п	Наименование модуля
1	Прибор для измерения шероховатости *SURFT* SL-210
2	Адаптер для магнитной стойки SL-201
3	Стойка гранитная измерительная для SL-201,/401

Общая компоновка комплексов стенда осуществлена в коммуникационном шкафу с размерами ДхШхВ = 600х800х2200 мм, который имеет опорные ролики, что обеспечивает относительно легкое перемещение по цеху или лаборатории к месту проведения экспериментов. Шкаф имеет ввод электропитания 220В в виде многокоммуникационного помехозащищенного канала с заземлением.

В шкафу предусмотрены аксессуары для размещения основных комплексов и вспомогательных устройств, имеется некоторая избыточность по объему для пополнения новыми приборами и устройствами. Такая компоновка обеспечивает наличие в одном месте всех необходимых средств для экспериментов и испытаний, защиту от загрязнения и пыли и от несанкционированного проникновения.

Общий вид КИД представлен на рисунке 2. Описание назначения, технические характеристики структурных комплексов и элементов приведены ниже.

Рисунок 2 – Общий вид контрольно-измерительного диагностического стенда

Автоматизированный измерительный комплекс 1 входит в КИД-стенд (рис. 1) и состоит из электронного оборудования, отвечающего современным требованиям по точности и достоверности измерения данных от датчиков первичной информации, исследуемых физических процессов. Электронное оборудование обеспечивает проведение анализа полученных данных в режиме реального времени, на основе современных программных и аппаратных средств. Это позволяет проводить точный анализ измеряемых величин, выполнять различные статистические исследования полученных данных, создавать технологические базы данных исследуемых физических величин.

Для выполнения поставленных задач создан электронный измерительно-регистрирующий автоматизированный комплекс на базе модульной платформы модели NI PXI–SCXI-1050 производства США [41]. Основная компоновка измерительно-регистрирующего комплекса модульной платформы представлена на рисунках 3, 4. Ком-

плекс имеет единую платформу с общей шиной передачи данных управляемой центральным процессором на базе операционной системой *Windows* 7.

В зависимости от решаемых задач в соответствующие разъемы модульной платформы устанавливаются необходимые устройства (платы) сбора данных. На задней стороне измерительной модульной платформы расположен центральный выключатель подачи сетевого напряжения, блок выбора величины напряжения и центральный предохранитель сетевого напряжения.

Установка необходимых плат сбора и обработки данных происходит установкой платы (3) в корпус системного блока (1) по направляющим до момента устойчивого соединения разъемов платы и корпуса с последующей фиксацией замковым устройством (4), рисунок 5.

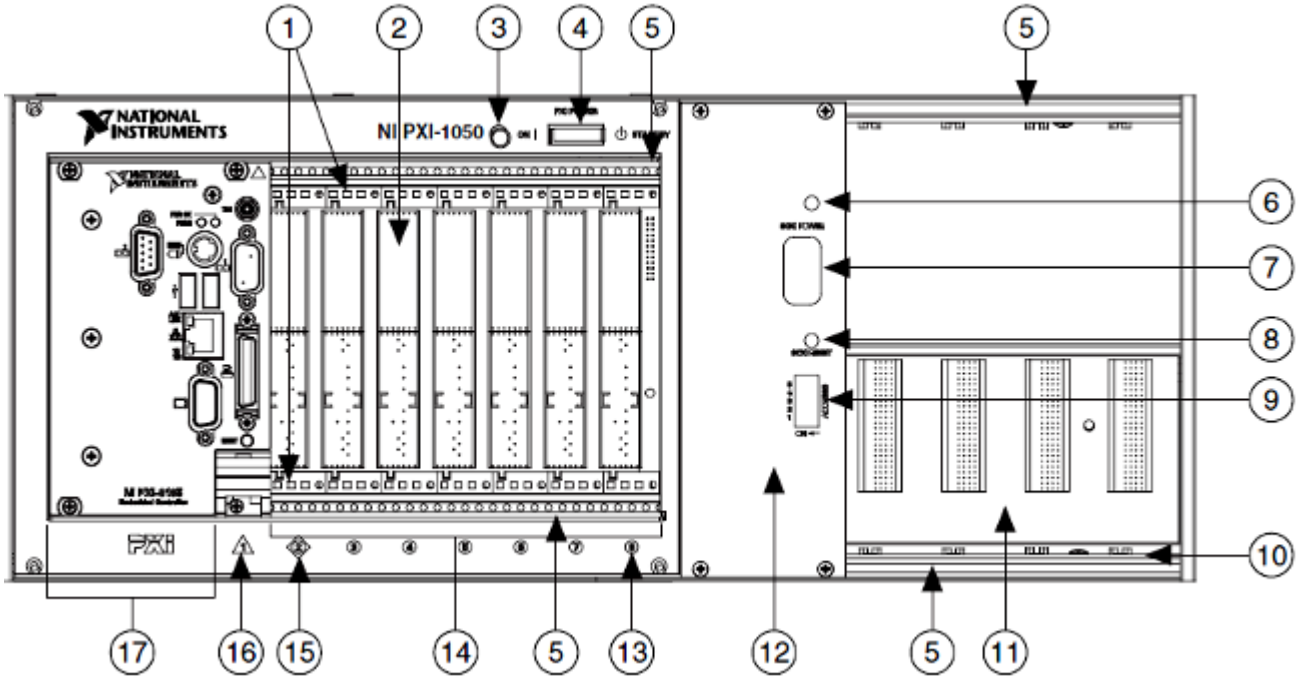


Рисунок 3. Фронтальный вид измерительного комплекса модели NI PXI–SCXI-1050: 1 - направляющие для установки системных плат; 2 - разъем системной платы; 3 - индикатор включения измерительного комплекса; 4 - выключатель питания блока PXI; 5 - передняя планка с резьбовыми отверстиями для крепления плат модуля SCXI; 6 - индикатор включения; 7 - включатель питания модуля SCXI; 8 - кнопка сброса (перезагрузка); 9 - набор установочных переключателей; 10 - направляющие для установки системных плат модуля SCXI; 11 - поле с разъемами для SCXI плат; 12 - плата управления модулей SCXI; 13 - слот управления; 14 - слот контроля.

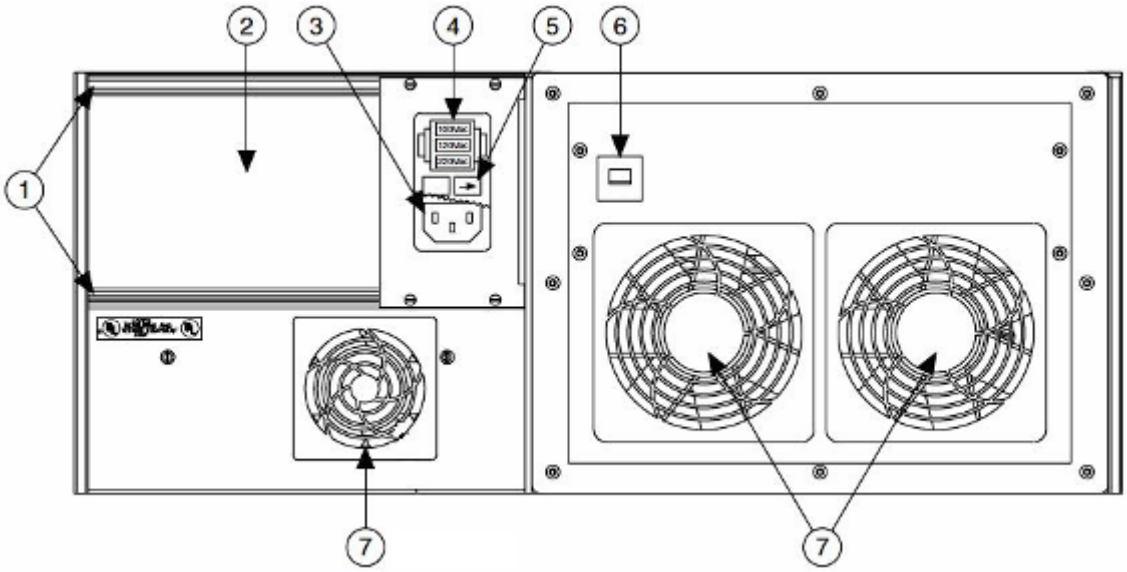


Рисунок 4 Задняя сторона измерительного комплекса: 1 - планка с резьбовыми отверстиями для крепежа плат; 2 - пространство для установки плат; 3 - разъем сетевого питания; 4 - переключатель выбора напряжения; 5 - предохранитель; 6 - выключатель напряжения; 7 - вентиляторы охлаждения; 8 - вентилятор охлаждения.

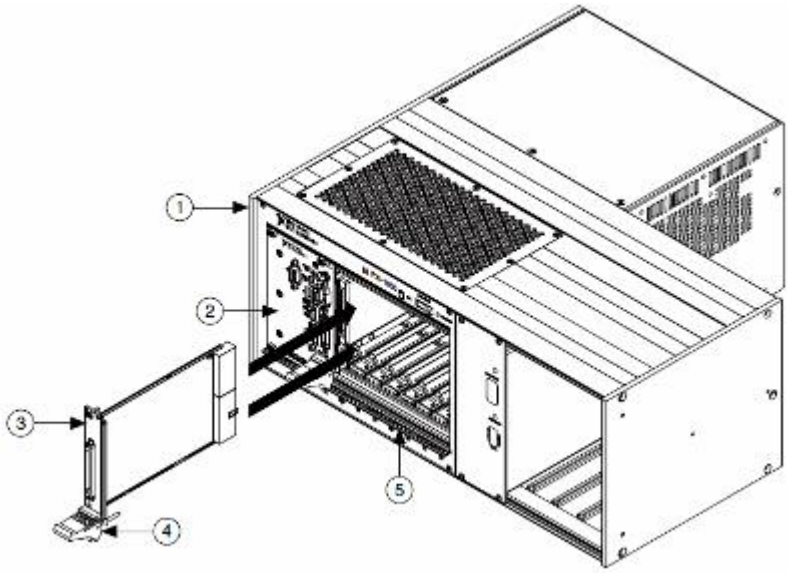


Рисунок 5 Схема установки плат АЦП в модульную платформу: 1- корпус; 2 - системный блок; 3 - плата; 4 - фиксатор платы; 5 - крепежная планка направляющих.

При использовании измерительной модульной платформы NI PXI–SCXI-1050 выполнен обоснованный подбор моделей регистрирующих плат сбора данных. Критерием выбора измерительных плат являлись их возможности регистрации сигналов малой мощ-

ности с наименьшими искажениями при измерении и дальнейшее накопления полученных данных для создания массивов данных для последующего статистического анализа.

Большое внимание при выборе оборудования уделено возможности создания визуального наблюдения за измеряемыми данными в режиме реального времени в виде осциллограмм. Для этого были использованы следующие основные устройства сбора и обработки данных.

Управляющий контроллер измерительной системы модели NI PXI-8110 предназначен для управления всеми модульными устройствами измерительного комплекса, расположенными на единой шине передачи данных. Конструктивно контроллер находится в общем корпусе измерительного комплекса и является центральным управляющим устройством. Контроллер имеет двуядерный процессор, работает под управлением операционной системой *Windows* 7 и системно управляет всеми платами сбора данных находящихся на общей шине. Основным программным обеспечением для обслуживания всех измерительных устройств, плат сбора данных, ЦАП и АЦП является программный комплекс система *LabVIEW Real-Time*. По сути, контроллер данного типа является полноценным производительным компьютером с возможностью установки и других необходимых программных средств, подключения необходимых периферийных устройств, в том числе клавиатуры, мыши и монитора. На рисунке 6 представлен общий вид контроллера модели PXI-8110.

Рисунок 6. Контроллер модели NI PXI-8110.

Основные технические характеристики контроллера модели NI PXI-8110 представлены в таблице 5.

Таблица 5. Основные характеристики контроллера модели NI PXI-8110.

Контроллер модели NI PXI-8110	
Процессор	*Intel® Core™* 2 *Quad* процессор Q9100 (2,26 ГГц *Quad* процессор), 1066 МГц FSB
Кэш память L2	12 Мб: 6 Мб распределено между ядрами 0 и 1, 6 Мб - между ядрами 2 и 3
Оперативная память: однока-нальная *DDR2 RAM*, PC2 6400	2 Гб - стандартно 4 Гб - максимально

Измерительный модуль модели NI PXI-4498 предназначен для измерения и регистрации электрического сигнала с пьезоэлектрических и виброакустических датчиков различного типа. Наиболее удачному использованию данного модуля соответствует измерение виброакустических параметров технологических систем в комплекте с акселерометрами широкого назначения. К основным характеристикам данного устройства относятся следующие параметры: число входных каналов - 16; разрядность АЦП - 16 бит; частота оцифрования сигнала - до 204,8 кГц; входной диапазон напряжений от 1 и до 10 В. На рисунке 7 представлен общий вид шестнадцати канального устройства модели NI PXI-4498.

Рисунок .7 – Измерительный модуль модели NI PXI-4498.

Осциллограф общего назначения модели NI PXI-5152.

Осциллограф предназначен для проведения первоначального анализа исследуемого сигнала непосредственно от источника сигнала или с датчиков первичной информации различных типов.

В анализ входит визуальное наблюдение и оценка формы электрического сигнала на экране монитора, измерение амплитудных и частотных параметров сигнала в режиме реального времени.

Этот анализ необходим для корректной оценки и выбора величины оптимальной частоты дискретизации, требуемой при регистрации исследуемого сигнала для дальнейшего преобразования его в цифровой код. Осциллограф модели NI PXI-5152 позволяет одновременно регистрировать два сигнала в реальном времени, имея два входных канала. При оцифровке периодических аналоговых сигналов осциллограф может работать в стробоскопическом режиме с частотой преобразования до 20 ГГц. Общая полоса пропускания осциллографа составляет 300 МГц, рабочий диапазон измерения сигналов составляет от 10 мВ до 10 В. Для хранения и передачи промежуточных данных осциллограф имеет встроенную память объёмом 512 МВ. На рисунке 8, представлен общий вид двухканального осциллографа модели PXI-5152, который является отдельным самостоятельным устройством с возможностью простого встраивания в общий корпус измерительного комплекса.

Рисунок 8 Общий вид осциллографа модели NI PXI-5152.

Основные характеристики и назначения каналов осциллографа модели NI PXI-5152 представлены в таблице 5.

Таблица 6. Основные характеристики осциллографа модели NI PXI-5152.

Тип разъема	Описание	Назначение
CH 0, *CH* 1	Стандартные *BNC* разъемы	Коммутирование измеряемых сигналов
TRIG	Стандартные *BNC* разъемы	Подключение внешнего сигнала
PFI 0	Стандартные *SMB* разъемы	Многоцелевая линия *PFI* для синхронизации внешним сигналом
PFI 1	Стандартные *SMB* разъемы	Многоцелевая линия *PFI* для синхронизации внешним сигналом

В предлагаемом измерительном комплексе, для регистрации аналоговых сигналов малых значений от источников первичной информации, таких как термопары, тензорезисторы, терморезисторы, термисторы и другие, используются АЦП моделей SCXI-1102 и SCXI-1520. АЦП модели 1102 имеет 32 канала измерения, а АЦП модели 1520 - 8 каналов измерения. Основное назначение модуля SCXI-1520 состоит в возможности подключения мостовых схем различной конфигурации.

Все перечисленные платы обработки и сбора данных имеют возможность цифровой фильтрации входных данных, их усреднения, анализа, масштабирования, коррекции результатов измерений, создания баз данных и распечатки результатов. При необходимости, проводится статистический анализ полученных данных.

Все указанные процессы проходят в единой среде программирования *LabVIEW* 2011 от *National Instruments (NI)*. Компания разработчик NI снабжает среду программирования мощными библиотеками, что не требует привлечения дополнительных средств программирования. После сбора и обработки данных имеется возможность отображать данные в виде графиков. Также имеются простые средства сохранения данных в файлах таких форматов, как электронные таблицы – для простоты просмотра, ASCII – для универсальности, двоичном – для минимизации размера файлов.

На рисунке 9 приведена блок-схема типового алгоритма измерения напряжения с датчиков первичной информации, который включает в себя создание задачи для подключения измерительных каналов, выполнение измерений, анализ данных, представление данных, остановку измерений и удаление задачи из памяти.

Компоновка автоматизированного измерительного комплекса на базе модульной платформы NI PXI–SCXI-1050 для комплексов 1 и 5 структурной схеме представлена на рисунке 10.

Автоматизированный комплекс измерения сил и моментов резания входит в состав КИД стенда (блок 2, рисунок 1) и предназначен для проведения динамометрических исследований (состав которых изложен выше) на основных операциях механической обработки. Комплекс сформирован на базе динамометрической аппаратуры и электронных средств швейцарской фирмы *Kistler* [43], который включает указанные ниже компоненты комплекса.

Динамометр 9257B. Трехкомпонентный динамометр позволяет производить измерение трех ортогональных составляющих действующей силы. Предназначен для измерения сил резания при точении, фрезеровании, шлифовании и других операций механической обработки. Высокая чувствительность и откалиброванные диапазоны его компонентов позволяют проводить точные измерения при использовании инструментов малого размера, а также при чистовых операциях. Динамометр может быть использован для оценки сил при других технических исследованиях, в том числе для динамических испытаний технологического оборудования [43]. Принцип работы, общее описание прибора, работа с динамометром и его техническое обслуживание представлено в руководстве по эксплуатации. Внешний вид динамометра представлен на рисунке 11.

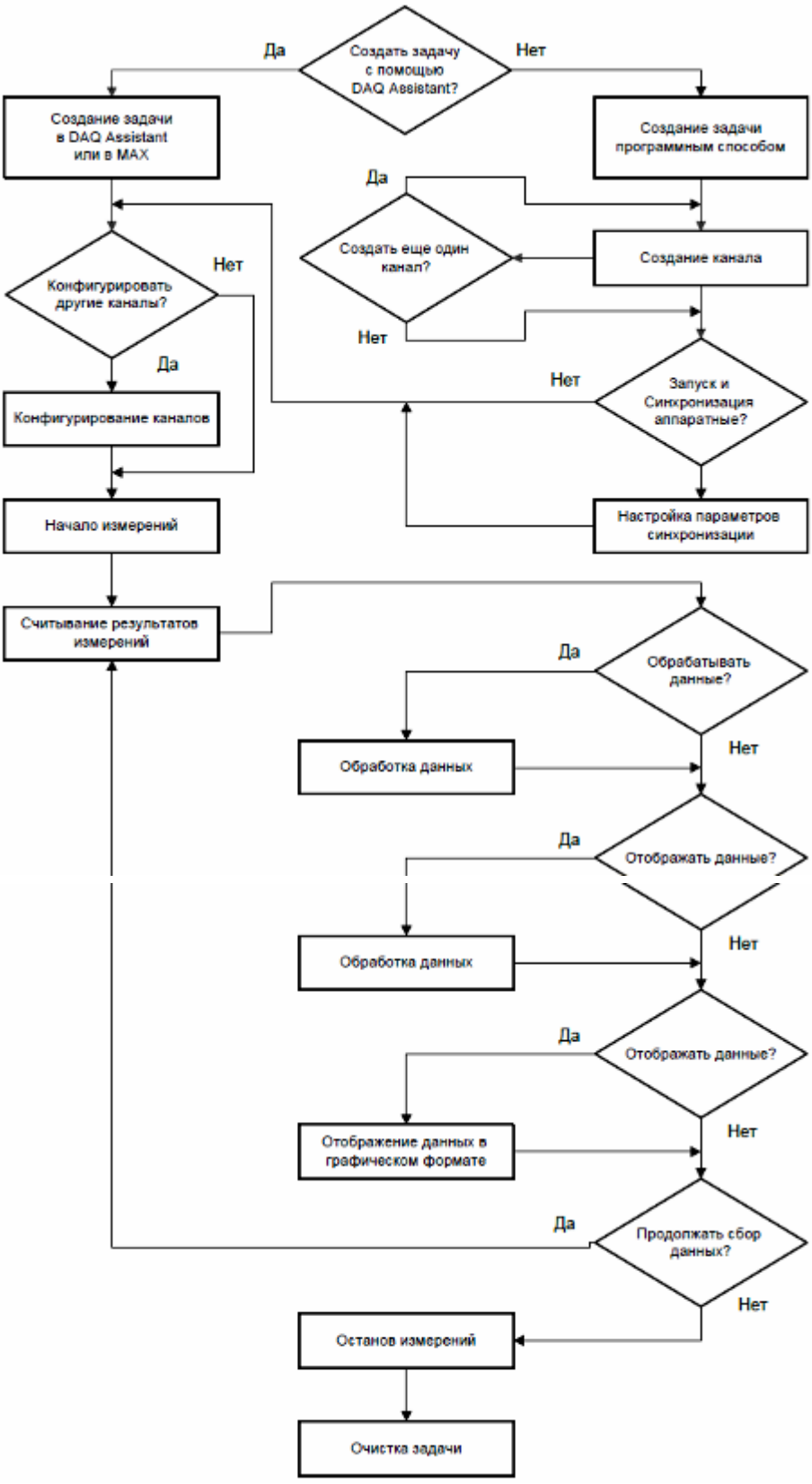


Рисунок 9 Блок-схема типового алгоритма измерения напряжения с датчиков первичной информации.

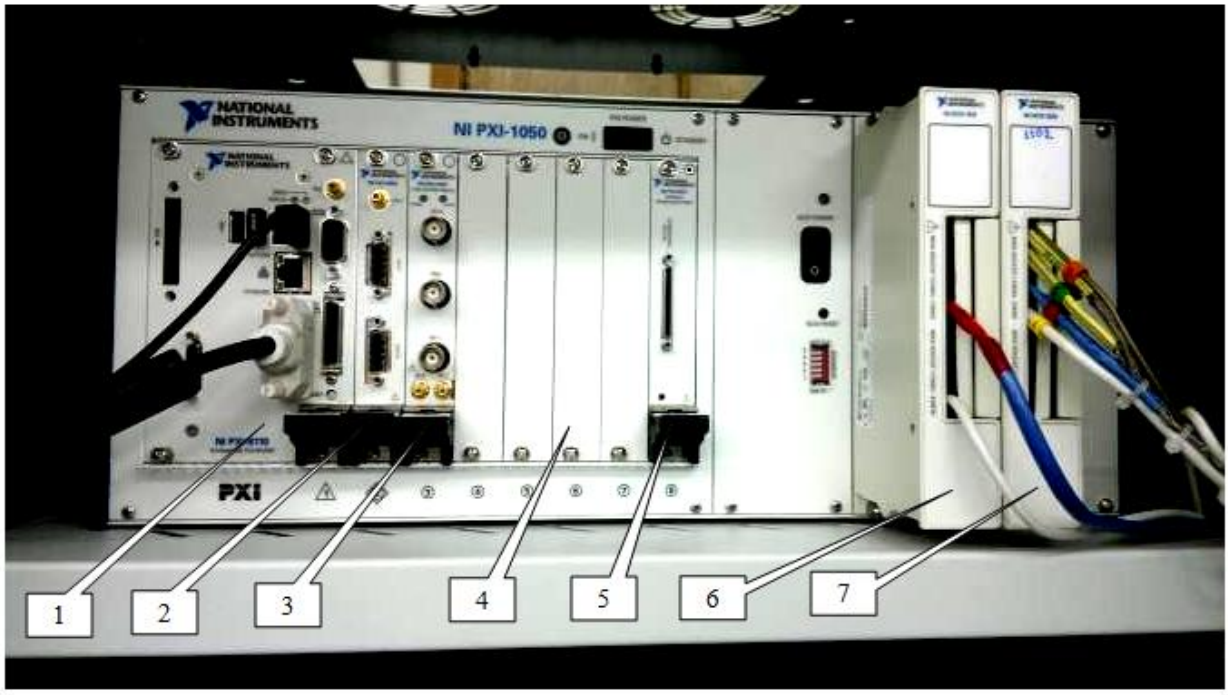


Рисунок 10 – Внешний вид автоматизированного измерительного комплекса на базе модульной платформы модели NI PXI–SCXI-1050: 1-управляющий контроллер (компьютер), модель NI PXI-8110; 2-измерительный модуль модели NI PXI-4498 для исследования виброакустических параметров технологических систем; 3-двух канальный осциллограф модели NI PXI-5152; 4- запасные слоты для расширения комплекса; 5-контроллер управления шиной NI PXI-6251; 6- АЦП модели SCXI-1520; 7- АЦП моделей SCXI-1102.

Рис. 11. Внешний вид динамометра 9257B.

В таблице 7 представлены технические характеристики трехкомпонентного динамометра 9257B.

Таблица 7. Технические характеристики динамометра 9257B.

Параметр	**Обозн.**	**Размерность**	**Значение**
Диапазон значений сил, приложенных к верхней поверхности (макс. 25 мм выше уровня поверхности)	*Fx, Fy, Fz*	кН	-5…5
Порог чувствительности		Н	<0.01
Чувствительность	*Fx, Fy*	пК/Н	≈-7,5
	Fz	пК/Н	≈-3,7
Нелинейность (все диапазоны)		% от макс. значения вых.сигнала	≤±1
Перекрестные помехи		%	≤±2
Жесткость	*Cx, Cy*	кН/мкм	>1
	Cz	кН/мкм	>2
Собственная частота	f_n *(x,y,z)*	кГц	≈3,5
Собственная частота (при установке на фланцах)	f_n *(x,y)*	кГц	≈2,3
	f_n *(z)*	кГц	≈3,5
Рабочий температурный диапазон		°C	0…70
Температурный коэффициент чувствительности		%/°C	-0,02
Вес		кг	7,3
Размеры		Д×Ш×В (140×280×60)	

Динамометр 9272 (рисунок 12). Четырехкомпонентный динамометр позволяет производить измерения крутящего момента M_z и трех ортогональных составляющих силы. Обладает высокой жесткостью и, следовательно, высокой собственной частотой. Динамометр может быть использован для оценки сил и моментов кручения при других технических исследованиях, в том числе, для динамических испытаний технологического оборудования [44]. Предназначен для измерения сил и моментов резания при осевой обработке сверлами, зенкерами, развертками, метчиками и другими осевыми режущими инструментами. Принцип работы, общее описание прибора, работа с динамометром и его техническое обслуживание представлено в руководстве по эксплуатации. Внешний вид динамометра представлен на рисунке 12. В таблице 8 представлены технические характеристики динамометра 9272.

Рис. 12. Внешний вид динамометра 9272.

Таблица 8. Технические характеристики динамометра 9272.

Параметр	**Обозн.**	**Размерность**	**Значение**
Диапазон измеряемых параметров	F_x, F_y,	кН	-5…5
	F_z	кН	-5...20
	M_z	Н·м	-200...200
Порог чувствительности	F_x, F_y	Н	< 0,01
	F_z	Н	< 0,02
	M_z	мН·м	< 0,2
Чувствительность	F_x, F_y	пК/Н	≈ - 7,8
	F_z	пК/Н	≈ - 3,5
	M_z	пК/Н·м	≈ - 160
Нелинейность (все диапазоны)	% от макс. значения выходного сигнала		≤ ± 1
Перекрестные помехи	$F_x \leftrightarrow F_y$	%	≤ ± 2
	$F_z \rightarrow F_{x,y}$	%	≤±1
	$F_{x,y} \rightarrow F_z$	%	≤±2
	$F_z \rightarrow M_z$	мН·м/Н	≤±0,2
	$M_z \rightarrow F_z$	Н/Н·м	≤±1
	$F_{x,y} \rightarrow M_z$	мН·м/Н	≤±0,7
	$M_z \rightarrow F_{x,y}$	Н/Н·м	≤±0,5
Жесткость	C_x, C_y	кН/мкм	≈ 0,4
	C_z	кН/мкм	≈ 2
	CM_z	Н·м/мкрад	≈ 0,4
Собственная частота (при установке на жесткой базе)	f_n (x,y,z)	кГц	≈ 3,1
	f_n (x,y)	кГц	≈ 6,3
	f_n (z)	кГц	≈ 4,2
Рабочий температурный диапазон		°C	0…70
Температурный коэффициент чувствительности		%/°C	- 0,02
Вес		кг	4,2
Размеры		Д×Ш×В (140×272×70)	

Обработка и анализ сигналов, поступающих с динамометров, может осуществляться электронными средствами, входящими в комплекс 1 (рис. 1) КИД стенда. Для автономного использования динамометров фирма *Kistler* прилагает комплект электронной аппаратуры.

Зарядовый преобразователь 5070A10100. Прибор входит в состав оборудования и представляет собой электрометрический усилитель и универсальный измеритель величины заряда. Снабжен жидкокристаллическим дисплеем, на который информация может быть выведена в графическом виде. Принцип работы, общее описание прибора, работа с преобразователем, технические характеристики и его техническое обслуживание представлено в руководстве по эксплуатации. Внешний вид зарядового преобразователя представлен на рисунке 13. Основные технические характеристики:

- 4-х канальный электрометрический усилитель (усилитель заряда);
- 6-ти компонентный сумматор – вычислитель;
- диапазон измерений: ± 200 ÷ 200 000 или ± 600 ÷ 600 000 пикоКулонов;
- уход (дрейф): менее 0,05 пикоКулона в секунду;
- жидкокристаллический дисплей 128 х 128 пикселей;
- пользовательский интерфейс: в виде меню;
- оценка сигнала: прямая;
- перенастраиваемые фильтры: верхних и нижних частот;
- интерфейс сигнального кабеля: *RS*232*C*;
- программное обеспечение для работы с ПК*: DynoWare*.

Рис. 13. Внешний вид зарядового преобразователя 5070A.

Блок АЦП 5697. Предназначен для получения и обработки первичных данных, полученных с динамометров. Аналого-цифровой преобразователь переводит данные в цифровой вид для их передачи через порт *USB* на программное обеспечение *DynoWare* через конвертер *USB / RS*232-*C*. Внешний вид блока представлен на рисунке 14.

Рис. 14. Внешний вид блока АЦП 5697.

Ноутбук 17” с программным обеспечением *DynoWare* предназначен для получения, хранения, обработки и анализа поступающих данных.

Конвертер *USB* / *RS*232-*C* предназначен для обеспечения управления зарядовым преобразователем из программного обеспечения *DynoWare*. Конвертирует сигнал с порта *USB* в порт *RS*232-*C*.

Установка для измерения силы резания на операциях точения, фрезерования и шлифования представлена на рисунке 15.

Рис. 15. Состав установки на базе динамометра 9257B: 1 - блок АЦП 5697; 2 – ноутбук с установленным программным обеспечением *DynoWare*; 3 – динамометр 9257B; 4 - зарядовый преобразователь 5070A10100, содержащий 4-х канальный усилитель.

Аналогично комплектуется установка для измерения динамических показателей на операциях обработки отверстий, которая комплектуется динамометром модели 9272.

К динамометрам моделей 9257B и 9272 прилагаются специальные резцедержатели и крепежные болты для установки заготовки на динамометре или резца в резцедержателе.

Автоматизированный комплекс измерения сил и моментов резания сопровождается инструкцией по сборке аппаратуры, настройке динамометрического оборудования, инструкцией по заданию параметров проводимого эксперимента, руководством по программному обеспечению.

К комплексу прилагаются разработанные методики проведения экспериментальных исследований динамических показателей механической обработки резанием операций точения, фрезерования и обработки осевым инструментом.

Автоматизированный комплекс «Износостойкость и динамика точения» (комплекс 3, рис.1) предназначен для оценки износостойкости инструментальных материалов, сравнительных испытаний СОЖ различных марок, динамических исследований при точении и проведения ряда исследований, указанных на странице 1,2.

Комплекс сформирован на базе токарного станка модели 16К20. Механические составляющие части комплекса, отличающиеся сравнительной простотой конструкции, могут быть изготовлены на машиностроительном предприятии. В состав комплекса входят динамометрическое и нагрузочное устройства, а также электронное аппаратура и программное обеспечение.

Принципиальная схема комплекса представлена на рис.16, общий вид комплекса – на рис. 17 (при динамических исследованиях операций точения нагрузочное устройство 5 подлежит замене на токарные резцы).

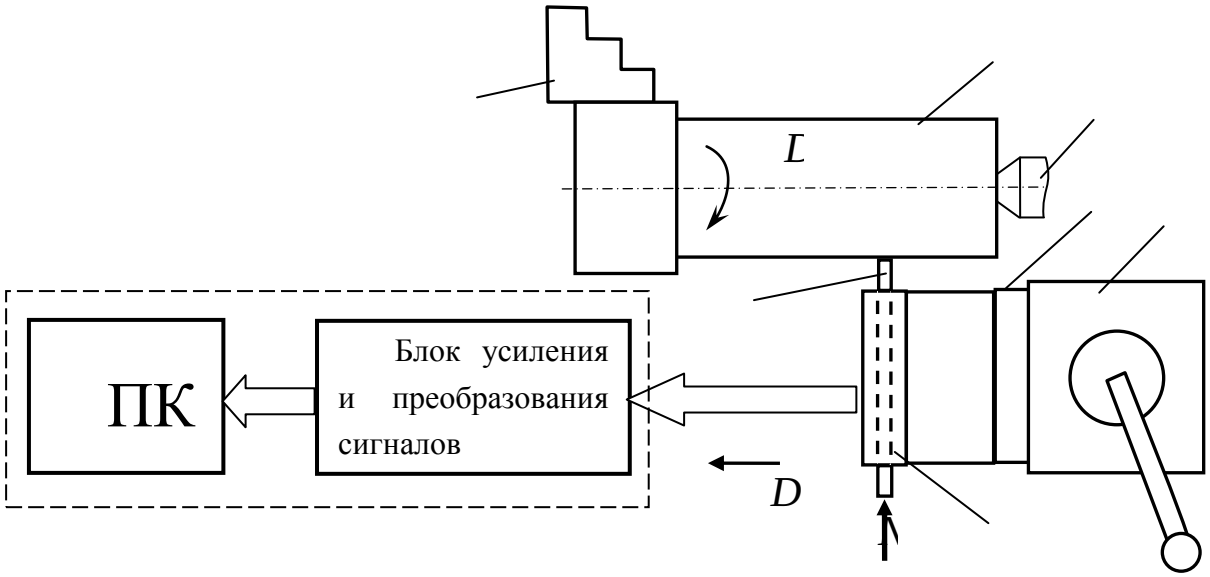


Рис. 16. Схема комплекса для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении: *1* – индентор; *2* – резцедержатель станка; *3* – динамометрическое устройство; *4* – контртело; *5* –нагрузочное устройство; *6* – патрон токарного станка; *7* – центр; *8* – электронный блок

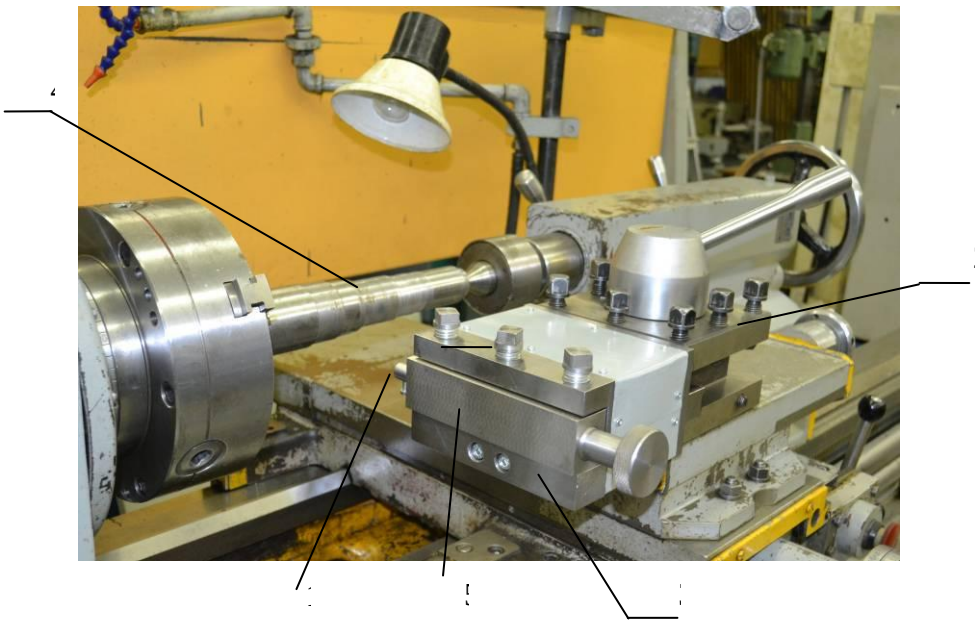
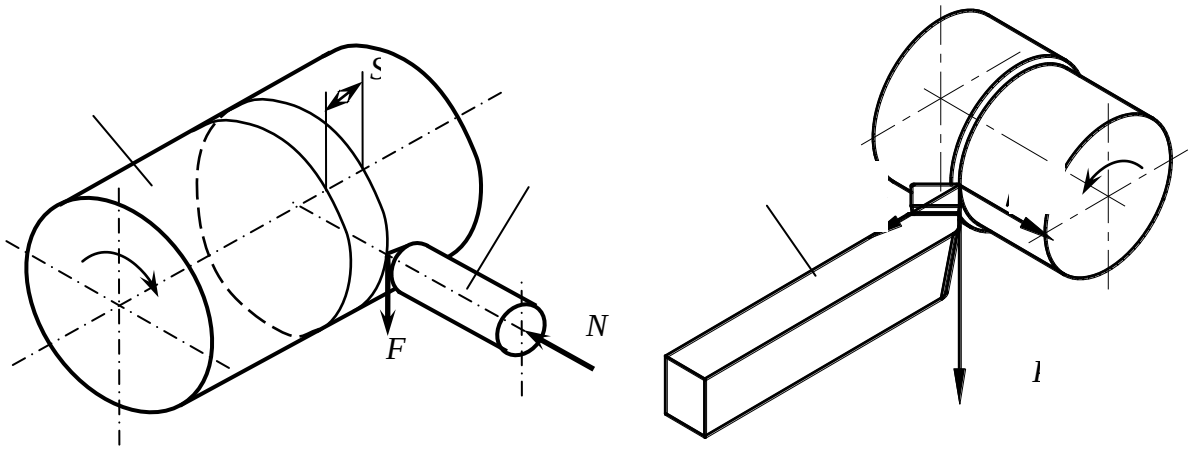


Рис. 17. Общий вид комплекса *1* – индентор; *2* – резцедержатель; *3* – динамометрическое устройство; *4* – контртело; *5* – нагрузочное устройство

Динамометрическое устройство 3 (рис. 17) позволяет измерять силу прижима N индентора к контртелу (рис. 18,а) и силу трения $F_{тр}$, а также составляющие силы резания P_x, P_y, P_z (рис. 18,б). Вид динамометрического устройства показан на рис. 19.



а) б)

Рис. 18. Силы, измеряемые комплексом: а – трение индентором; б – точение: *1* – индентор; *2* – контртело; *3* – резец

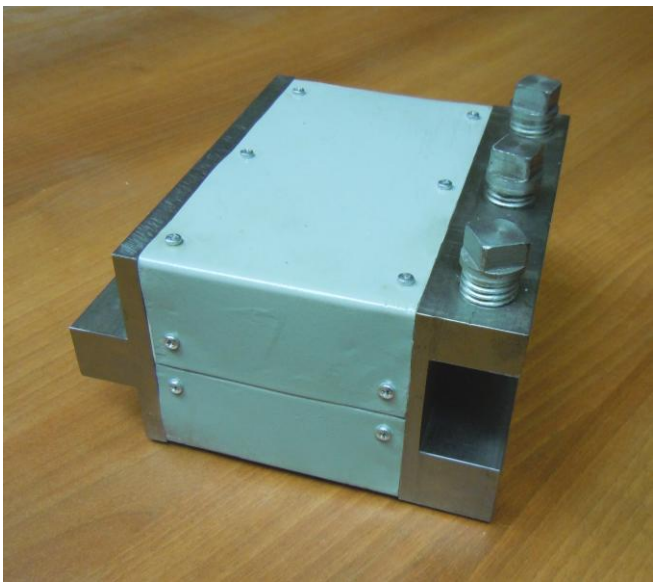


Рис. 19. Вид динамометрического устройства

Динамометрическое устройство закрепляется в резцедержателе токарного станка. При испытаниях на износостойкость в динамометрическое устройство устанавливается узел, содержащий контртело из инструментального материала. При исследовании динамики точения устанавливаются токарные резцы.

В основе динамометрического устройства использован упругий элемент типа 4-х балочный параллелограмм [18] и тензорезисторы типа UFLA -5 -11 [45]. Сигналы, поступающие с тензорезисторов, регистрируются и проходят обработку с использованием электронных средств, входящих в состав первого комплекса КИД стенда. Для их анализа и регистрации в среде *LabView* разработано программное обеспечение, позволяющее:

- регистрировать в режиме реального времени значения сил, действующих на индентор или резец;
- визуализировать изменения во времени величин сил;
- оценивать давление, действующее на площадках трения между индентором и контртелом;
- рассчитывать коэффициент трения в контактной паре индентор-контртело.

Нагрузочное устройство 5 (рис.17) предназначено для установки индентора из инструментального материала нормально к поверхности контртела и прижима его с усилием N, необходимым по условиям испытаний на износостойкость. Требуемая нагрузка обеспечивается подведением индентора до касания с контртелом посредством поперечной подачи станка. Дальнейшее плавное увеличение нагрузки N производится вращением винта 4. Величина силы прижима N выводится на экран компьютера в режиме реального времени. Общий вид нагрузочного устройства представлен на рис. 20.

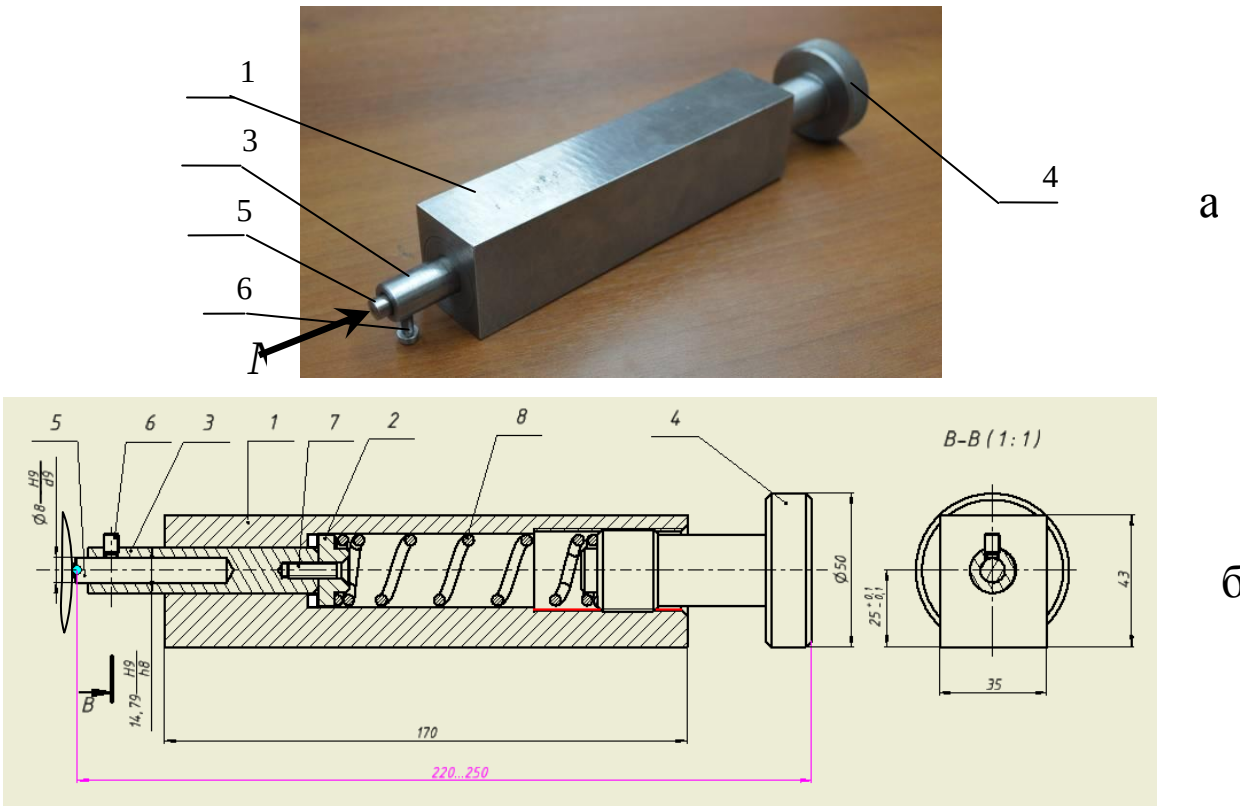


Рис.20. Общий вид (а) и сборочный чертеж (б) нагрузочного устройства: *1* – корпус; *2* – толкатель; *3* – индентородержатель; *4* – нагрузочный винт; *5* – индентор; *6* – винт крепления индентора; *7* – винт крепления толкателя; *8* – нагрузочная пружина

Индентор 5 (рис.21) представляет собой цилиндр диаметром 8 мм из исследуемого инструментального материала, износостойкость которого исследуется. Вершина индентора выполнена в виде усеченного конуса с углом 150° при вершине и меньшим основанием диаметром 1 мм. Такая форма индентора обеспечивает создание на трущихся поверхностях индентора и контртела условий трения, характерных для резания металлов (давление от 50 до 700 МПа). Конструкция нагрузочного устройства позволяет использовать инденторы из разных инструментальных материалов, как с износостойкими покрытиями, так и без них.

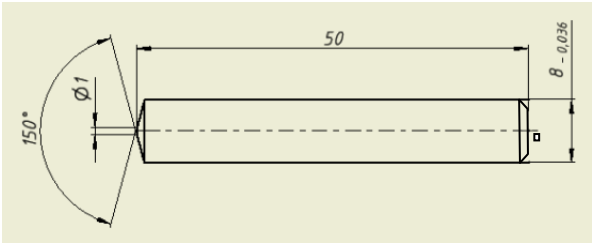


Рис. 21. Чертеж индентора из инструментального материала

Для испытания на износостойкость стандартизованных сменных многогранных пластин (СМП) могут применяться специальные вставки, позволяющие устанавливать пластину в требуемое положение относительно заготовки.

Износостойкость инструментальных материалов определяется в соответствии с методикой, разработанной Г.И.Грановским [46, 47] и получившей научное признание у специалистов по резанию металлов. В соответствии с этой методикой моделируются условия, подобные возникающим на контактных поверхностях инструментов при резании металлов. Износостойкость оценивается отношением затраченной работы на истирание к массе изношенного инструментального материала по формуле

$$B = \frac{A}{m} = \frac{F_{\text{тр}} \cdot L}{m},$$

где B – износостойкость, Дж/мг; A – работа силы трения, Дж; m – масса изношенного материала, мг, $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н; L – путь трения, м.

Одновременно в ходе испытаний оценивается коэффициент трения k в контактирующей паре $\left(k = F_{\text{тр}} / N \right)$, который также является одним из информативных параметров, характеризующих свойства инструментального материала.

Более подробное описание автоматизированного комплекса «Износостойкость и динамика точения» представлено в [48].

Разработаны общие и частные методики проведения испытаний инструментальных материалов на износостойкость и проведения динамических исследований операций точения. При разработке методик использованы основные положения, изложенные в [40].

Заключение

1) Разработанный контрольно-измерительный диагностический стенд ориентирован на выполнение экспериментальных исследовательских работ в области технологии обработки материалов резанием и оценки триботехнических параметров поверхностей трения, инструментальных материалов и СОЖ. Стенд выполнен в мобильном варианте, что позволяет снизить вспомогательное время на пуско-наладочные работы и повышает удобство от его использования.

2) Разработанный стенд содержит современную электронную аппаратуру, с использованием которой возможна: регистрация сигналов с датчиков первичной информации в количестве до 32 в режиме реального времени; усиление и фильтрация сигналов; трансформация сигнала из аналогового в цифровой формат; математическая и статистическая обработка; процедура анализа данных; визуализация регистрируемых и расчетных данных; генерация базы экспериментальных данных; процедура вывода на печать результатов экспериментальных данных.

3) В состав стенда включены: динамометрические устройства для измерения сил и моментов и других динамических показателей при механической обработке; модернизированная с целью автоматизации испытаний машина трения «Амслер» ; оригинальное динамометрическое устройство для проведения испытаний инструментальных материалов на износостойкость и динамику точения; прибор для измерения шероховатости.

4) Устройства и приборы, электронное оборудование могут быть использованы при испытаниях металлорежущих станков по параметрам качества и параметрической надежности.

5) Предложенная аппаратура, электронные и программные средства могут быть использованы на стадии подготовки нового производства при освоении новых технологий механической обработки, при пуско-наладочных работах.

6) Авторы считают, что с учетом относительно невысокой стоимости составляющих стенда и многоплановости их использования, рациональна разработка и приобретение стенда для исследовательских лабораторий машиностроительных предприятий, лабораторий вузов и других научных подразделений.

7) Предложенный диагностический стенд может быть использован в лаборатории технических вузов для инструментальной поддержки учебных циклов (например, цикла «Основы научных исследований») с целью формирования системного подхода к организации и проведению экспериментальных исследований с использованием современного измерительного оборудования, использующего передовые информационные технологии. Также целесообразно использовать стенд для проведения научных исследований аспирантами и магистрами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, в рамках государственного контракта от 19.10.2012 г. № 12411.100.7499.09.170 по ФЦП "Развитие гражданской морской техники" на 2009-2016 годы".

Список литературы

1. Локтев А.Д., Гущин И.Ф., Батуев В.А. и др. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник. В 2 т. Т. 1. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.
2. Локтев А.Д., Гущин И.Ф., Балашов Б.Н. и др. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник. В 2 т. Т. 2. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.
3. Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Колмаков А.Г. и др. Методы испытания на трение и износ: Справ. издание. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 152 с.
4. Виноградов Д.В. Оценка качества быстрорежущего инструмента // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1993. № 10-12. С. 121-125.
5. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. М.: Машиностроение, 2008. 384 с.

6. Грановский Г.И. Износостойкость твердых сплавов и закаленных инструментальных материалов // Резание металлов и инструмент: сб. статей / под ред. Г.И. Грановского. М.: Машгиз, 1955. С. 95-111.
7. Грановский Г.И. Исследование износостойкости инструментальных материалов. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1952. 168 с.
8. Oraby S.E., Hayhurst D.R. Development of models for tool wear force relationships in metal cutting // International Journal of Mechanical Sciences. 1991. Vol. 33, no. 2. P. 125-138. DOI: 10.1016/0020-7403(91)90062-8
9. Gaitonde V.N., Karnik S.R., Figueira L., Davim J.P. Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts // International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 2009. Vol. 27, no. 4. P. 754-763. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2008.12.007
10. Бурмистров Е.В., Басыров М.Н., Гиниятуллин Р.Р. Фазовая характеристика силы резания и ее роль в возникновении и развитии автоколебаний при точении нежестких деталей двигателей летательных аппаратов // Вестник СГАУ. 2008. № 3. С. 36-43.
11. Юркевич В.В., Митропольский А.А. Измерение силы резания на токарном станке // Мир техники и технологии. 2011. № 11. С. 60.
12. Гурин В.Д., Григорьев С.Н., Алешин С.В., Семенов В.А. Исследование силовых параметров при фрезеровании концевыми фрезами для диагностирования их состояния // Вестник машиностроения. 2005. № 9. С. 19-22.
13. Jia Xiu-jie, Li Jian-feng, Sun Jie. Исследование сил резания // Jisuanji jicheng zhizao xitong / Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS. 2011. Vol. 17, no. 7. P. 1430-1434.
14. Григорьев С.Н., Терешин М.В. Оперативное управление процессом резания по мощности резания // Технология машиностроения. 2012. № 1. С. 18-21.
15. Малькова Л.Д. Энергосбережение при проектировании технологической операции токарной обработки // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2011. Спец. вып. С. 43-49.
16. Малькова Л.Д., Чихарева М.А. Исследование характеристик токарной обработки на основе получения и анализа многомерных полиномиальных зависимостей // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э.Баумана. Электрон. журн. 2013. № 8. С. 49-66. DOI: 10.7463/0813.0589299
17. Древаль А.Е., Литвиненко А.В. Формирование отказов метчиков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 3. Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/341732.html (дата обращения 08.12.2014).
18. Древаль А.Е., Андрушко С.В., Федотов Н.И. Устройства диагностирования состояния режущего инструмента по динамическим показателям // Диагностика технологических процессов: матер. семинара. М.: Знание, 1990. С. 69-74.

19. Малевский Н.П., Булошников В.С., Попов С.А. и др. Стенды и приборы для исследования процессов алмазно-абразивной обработки материалов // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана № 324. Резание и инструмент. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1980. С. 80-134.
20. Ярославцев В.М., Гусенко А.Ю. Установка для изучения процесса резания материалов на малых скоростях резания // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 3. С. 78-84. DOI: 10.7463/0313.0541420
21. Мальков О.В., Головко И.М. Экспериментальное определение модели силы при резьбофрезеровании // Международная молодежная конференция «Инновации в машиностроении»: сб. трудов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. С. 73-77.
22. Утенков В.М., Быков П.А. Испытание станков для реализации высокоскоростной обработки // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. С. 23-36. DOI: 10.7463/0613.0574620
23. Постнов В.В., Усманов Б.Ф., Летягин И.Е. Диагностика состояния режущего инструмента по сигналам термоЭДС и вибраций в зоне резания // СТИН. 2011. № 11. С. 23-25.
24. Шевченко В.В., Ревенко И.В. Система диагностики работоспособности режущего инструмента при обработке деталей в условиях автоматизированного производства // Новый университет. Сер. Технические науки. 2012. № 1. С. 10-12.
25. Иванова Т.Н. Повышение эффективности плоского шлифования торцом чашечного круга на основе управления теплонапряженным состоянием рабочей зоны // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 9. С. 43-56. DOI: 10.7463/0913.0606036
26. Минкин Ю.Б., Михайлов С.В. Тепловизионный контроль процесса резания материалов // Вестник РГАТА. 2011. № 1. С. 83-86.
27. Кибальченко А.В. Контроль состояния режущего инструмента. Обзорная информация. Вып. 2. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 44 с.
28. Аршанский М.М., Щербаков В.П. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1988. 135 с.
29. Палей С.М., Васильев С.В. Контроль состояния режущего инструмента на станках с ЧПУ: Обзор. М.: НИИМаш, 1983. 52 с.
30. Бржозовский Б.М., Хайров Д.А., Янкин И.Н. Диагностика резания материалов на основе анализа неслучайных составляющих колебательного процесса // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 2, ч. 4. С. 109-115.
31. Козочкин М.П., Сабиров Ф.С., Фролов А.Н. Исследование динамических явлений в процессе глубокого сверления // СТИН. 2011. № 10. С. 33-36.
32. Залога В.А., Нагорный В.В. Прогноз стойкости инструмента по результатам вибродиагностики // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2012. № 2. С. 29-35.

33. Грубый С.В., Зайцев А.М. Исследование концевых фрез при фрезеровании корпусных деталей из алюминиевых сплавов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 12. С. 31-54. DOI: 10.7463/1213.0634375
34. Грубый С.В., Лапшин В.В. Анализ процесса, заточка и испытания резцов из нитрида бора // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 9. С. 83-104. DOI: 10.7463/0913.0598355
35. Киселев С.А., Григорьев А.С., Геранюшкин А.В. и др. Прогнозирование стойкости инструмента при чистовой обработке // Мир техники и технологии. 2011. № 11. С. 56-59.
36. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д. Бесконтактная тепловая диагностика машин. М.: Машиностроение, 1987. 160 с.
37. Кабалдин Ю.Г. Структурно-энергетический подход к процессам трения, изнашивания и смазки при резании // Трение и износ. 1989. Т. 10, № 5. С. 800-808.
38. Каракозов Э.С., Арутюнян Г.А. Термоактивационный анализ процесса изнашивания инструмента при резании // Вестник машиностроения. 1991. № 2. С. 43-49.
39. Журков С.Н., Томашевский Э.Е. Зависимость долговечности от напряжения // Журнал технической физики . 1955. Т. 25, вып.1. С. 66-70.
40. Методики экспериментальных исследований по определению исходных данных для разработки общемашиностроительных нормативов режимов резания по основным видам обработки / под ред. Г.И. Грановского. М.: НИИМаш, 1982. 160 с.
41. National Instruments: сайт компании. Режим доступа: http://russia.ni.com/ (дата обращения 01.10.2014).
42. Зубков Н.Н., Васильев С.Г., Попцов В.В., Шуляк Я.И. Модернизация машины трения типа «Amsler» // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2014. № 9. С. 33-37.
43. Kistler: сайт компании. Режим доступа: http://www.kistler.com (дата обращения 01.11.2014).
44. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
45. TML: сайт компании. Режим доступа: http://www.tml.jp, http://www.tmljp.ru (дата обращения 01.10. 2014).
46. Грановский Г.И., Грудов П.П., Кривоухов В.А., Ларин М.Н., Малкин А.Я. Резание металлов. М.: Машгиз, 1954. 472 с.
47. Грановский Г.И, Грановский В.Г. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
48. Виноградов Д.В., Васильев С.Г., Древаль А.Е. Комплекс для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 9. Режим доступа: http://engbul.bmstu.ru/doc/727928.html с. 33-42 (дата обращения 01.11.2014).

Science & Education of the Bauman MSTU
Electronic journal
ISSN 1994-0408

Science and Education of the Bauman MSTU, 2014, no. 12, pp. 22–58.

DOI: **10.7463/1214.0749286**

Received: 12.12.2014

© Bauman Moscow State Technical Unversity

Measuring Diagnostic Stand for Experimental Researches in Technology Machining

A.E. Dreval'[1], V.G. Vasilev[1], D.V. Vinogradov[1,*], O.V. Malkov[1]

*vdv2010@bk.ru

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: cutting force, power, tool life, wear resistance, cutting temperature, vibration, diagnostic, measuring stand, surface quality

The paper reviews applied techniques, methods, and structure of the control and measuring means to conduct experimental and scientific researches of cutting processes. Existing research methods in cutting the metals are divided by features, such as essence of methods, the number of records of physical indicators, the number of studied factors, duration of tests. The groups of methods are briefly characterized.

The chair "Tool Engineering and Technologies" of BMSTU developed and made a diagnostic stand of control and measurements for conducting research activities in the field of materials processing technology by cutting to define rational technological decisions, when machining, and carry out an analysis of efficiency and economic feasibility of made decisions. The diagnostic stand contains modern the electronic equipment. Record of measuring parameters is made in real time with a possibility for visual representation of read results and mathematical and statistical processing of measurement results. The stand can be used in research laboratories of machine-building enterprises, laboratories of higher education institutions, and other scientific divisions.

The paper presents a justification that the stand is reasonable to use for the following: completion and choice of rational cutting modes, workability assessment of new constructional materials, technical and operational characteristics of the processed surfaces, and operational properties of the cutting tools of various producers, choice of optimum geometrical parameters of the cutting tools and brands of the lubricant cooling technological means, as well as the energy consumption for the chosen machining process. The stand allows us to make an assessment of wear resistance and tribology-technical characteristics of tool materials, as well as an accuracy, rigidity, vibration stability of machines, both new and being in operation.

References

1. Loktev A.D., Gushchin I.F., Batuev V.A., et al. *Obshchemashinostroitel'nye normativy rezhimov rezaniya: Spravochnik. V 2 t. T. 1* [Engineering industry equipment standards of cutting modes: Handbook. In 2 vols. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991. 640 p. (in Russian).
2. Loktev A.D., Gushchin I.F., Balashov B.N., et al. *Obshchemashinostroitel'nye normativy rezhimov rezaniya: Spravochnik. V 2 t. T. 2* [Engineering industry equipment standards of cutting modes: Handbook. In 2 vols. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991. 304 p. (in Russian).
3. Kuksenova L.I., Lapteva V.G., Kolmakov A.G., et al. *Metody ispytaniya na trenie i iznos: Sprav. izdanie* [Test methods for friction and wear: Handbook]. Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2001. 152 p. (in Russian).
4. Vinogradov D.V. Quality assessment of high-speed tool. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 1993, no. 10-12, pp. 121-125. (in Russian).
5. Kombalov V.S. *Metody i sredstva ispytaniy na trenie i iznos konstruktsionnykh i smazochnykh materialov: spravochnik* [Methods and tools for testing on friction and wear of structural materials and lubricants: Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008. 384 p. (in Russian).
6. Granovskiy G.I. Wear resistance of hard alloys and hardened tool materials. In: *Rezanie metallov i instrument: sb. statey* [Metal cutting and tool: collection of articles]. Moscow, Mashgiz Publ., 1955, pp. 95-111. (in Russian).
7. Granovskiy G.I. *Issledovanie iznosostoykosti instrumental'nykh materialov* [Study of wear resistance of tool materials]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1952. 168 p. (in Russian).
8. Oraby S.E., Hayhurst D.R. Development of models for tool wear force relationships in metal cutting. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1991, vol. 33, no. 2, pp. 125-138. DOI: 10.1016/0020-7403(91)90062-8
9. Gaitonde V.N., Karnik S.R., Figueira L., Davim J.P. Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 2009, vol. 27, no. 4, pp. 754-763. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2008.12.007
10. Burmistrov E.V., Basyrov M.N., Giniyatullin R.R. The phase characteristic of force cutting and its role in occurrence and development of self-oscillations at sharpening not rigid details of aviation engines. *Vestnik SGAU = Vestnik SSAU*, 2008, no. 3, pp. 36-43. (in Russian).

11. Yurkevich V.V., Mitropol'skiy A.A. Measurement of cutting forces on the lathe. *Mir tekhniki i tekhnologii*, 2011, no. 11, p. 60. (in Russian).
12. Gurin V.D., Grigor'ev S.N., Aleshin S.V., Semenov V.A. Investigation of force parameters at the end milling for their state diagnostics. *Vestnik mashinostroeniya = Herald of Mechanical Engineering*, 2005, no. 9, pp. 19-22. (in Russian).
13. Jia Xiu-jie, Li Jian-feng, Sun Jie. Issledovanie sil rezaniya. *Jisuanji jicheng zhizao xitong / Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS*, 2011, vol. 17, no. 7, pp. 1430-1434.
14. Grigor'ev S.N., Tereshin M.V. Cutting process on-line control by cutting. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2012, no. 1, pp. 18-21. (in Russian).
15. Mal'kova L.D. Energy saving in the design of a technological turning operation. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, spec. iss., pp. 43-49. (in Russian).
16. Mal'kova L.D., Chikhareva M.A. A study of lathing characteristics on the basis of obtaining and analyzing multidimensional polynomial dependences. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 8, pp. 49-66. DOI: 10.7463/0813.0589299 (in Russian).
17. Dreval' A.E., Litvinenko A.V. Formation of tap failures. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 3. Available at: http://technomag.bmstu.ru/doc/341732.html , accessed 08.12.2014. (in Russian).
18. Dreval' A.E., Andrushko S.V., Fedotov N.I. Device of diagnosing condition of the cutting tool on dynamic indicators. *Diagnostika tekhnologicheskikh protsessov: materialy seminara* [Diagnostics of technological processes: proceedings of seminar]. Moscow, Znanie Publ., 1990, pp. 69-74. (in Russian).
19. Malevskiy N.P., Buloshnikov V.S., Popov S.A., et al. Stands and equipment for study of diamond-abrasive materials processing. *Trudy MVTU im. N.E. Baumana no. 324. Rezanie i instrument* [Proceedings of the Bauman Moscow State Technical University no. 324. Cutting and tool]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1980, pp. 80-134. (in Russian).
20. Yaroslavtsev V.M., Gusenko A.Yu. Setup for studying the process of cutting materials at low cutting speeds. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 3, pp. 78-84. DOI: 10.7463/0313.0541420 (in Russian).
21. Mal'kov O.V., Golovko I.M. Experimental determination of the force model with threaded milling. *Mezhdunarodnaya molodezhnaya konferentsiya "Innovatsii v mashinostroenii": sb. trudov* [Proc. of the International Youth Conference "Innovations in mechanical engineering"]. Tomsk, TPU Publ., 2012, pp. 73-77. (in Russian).

22. Utenkov V.M., Bykov P.A. Test of the machine-tools for implementing high-speed cutting. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 6, pp. 23-36. DOI: 10.7463/0613.0574620 (in Russian).
23. Postnov V.V., Usmanov B.F., Letyagin I.E. Cutter diagnostics on the basis of thermoemf signals and cutting-zone vibration. *STIN*, 2011, no. 11, pp. 23-25. (English translation: *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, is. 2, pp. 197-199. DOI: 10.3103/S1068798X12020256).
24. Shevchenko V.V., Revenko I.V. System of cutting tools working capacity diagnostics when processing details under computer-aided manufacture. *Novyy universitet. Ser. Tekhnicheskie nauki = New University. Ser. Technical Sciences*, 2012, no. 1, pp. 10-12. (in Russian).
25. Ivanova T.N. Increasing efficiency of flat grinding by cup wheel's end face on the basis of control of the heat-stressed state of a working zone. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 9, pp. 43-56. DOI: 10.7463/0913.0606036 (in Russian).
26. Minkin Yu.B., Mikhaylov S.V. Thermovision control of cutting process of materials. *Vestnik RGATA*, 2011, no. 1, pp. 83-86. (in Russian).
27. Kibal'chenko A.V. *Kontrol' sostoyaniya rezhushchego instrumenta. Obzornaya informatsiya. Vyp. 2* [Monitoring the status of the cutting tool. Overview. Vol. 2]. Moscow, VNIITEMR Publ., 1986. 44 p. (in Russian).
28. Arshanskiy M.M., Shcherbakov V.P. *Vibrodiagnostika i upravlenie tochnost'yu obrabotki na metallorezhushchikh stankakh* [Vibration diagnostics and control of precision of processing cutting machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 135 p. (in Russian).
29. Paley S.M., Vasil'ev S.V. *Kontrol' sostoyaniya rezhushchego instrumenta na stankakh s ChPU: Obzor* [Monitoring the status of the cutting tool of CNC machines: Overview]. Moscow, NIIMash Publ., 1983. 52 p. (in Russian).
30. Brzhozovskiy B.M., Khayrov D.A., Yankin I.N. Diagnostics of cutting of materials on basis of analysis of non-random constituents of swaying process. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2012, no. 2, pt. 4, pp. 109-115. (in Russian).
31. Kozochkin M.P., Sabirov F.S., Frolov A.N. Dynamic phenomena in deep drilling. *STIN*, 2011, no. 10, pp. 33-36. (English translation: *Russian Engineering Research*, 2012, vol. 32, is. 1, pp. 108-110. DOI: 10.3103/S1068798X12010145)
32. Zaloga V.A., Nagornyy V.V. Method of predicting durability (useful life) of cutting tools based on the results of vibration diagnostics. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita*, 2012, no. 2, pp. 29-35. (in Russian).

33. Grubyy S.V., Zaytsev A.M. Research of end mills during milling of body parts made of aluminum alloys. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 12, pp. 31-54. DOI: 10.7463/1213.0634375 (in Russian).
34. Grubyy S.V., Lapshin V.V. Process analysis, sharpening and testing of cutters made of boron nitride. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 9, pp. 83-104. DOI: 10.7463/0913.0598355 (in Russian).
35. Kiselev S.A., Grigor'ev A.S., Geranyushkin A.V., et al. Prediction of tool life when finishing. *Mir tekhniki i tekhnologii*, 2011, no. 11, pp. 56-59. (in Russian).
36. Kanarchuk V.E., Chigrinets A.D. *Beskontaktnaya teplovaya diagnostika mashin* [Non-contact thermal diagnostics of machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 160 p. (in Russian).
37. Kabaldin Yu.G. Structural-energy approach to the processes of friction, wear and lubrication at cutting. *Trenie i iznos = Friction and wear*, 1989, vol. 10, no. 5, pp. 800-808. (in Russian).
38. Karakozov E.S., Arutyunyan G.A. Thermally activated process analysis tool wear when cutting. *Vestnik mashinostroeniya = Herald of Mechanical Engineering*, 1991, no. 2, pp. 43-49. (in Russian).
39. Zhurkov S.N., Tomashevskiy E.E. Dependence of durability on voltage. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki = Technical Physics*, 1955, vol. 25, no.1, pp. 66-70. (in Russian).
40. Granovskiy G.I., ed. *Metodiki eksperimental'nykh issledovaniy po opredeleniyu iskhodnykh dannykh dlya razrabotki obshchemashinostroitel'nykh normativov rezhimov rezaniya po osnovnym vidam obrabotki* [Methodology of experimental studies to determine baseline data for the development of machine building standards of cutting modes on the main types of treatment]. Moscow, NIIMash Publ., 1982. 160 p. (in Russian).
41. National Instruments: company website. Available at: http://russia.ni.com/ , accessed 01.11.2014. (in Russian).
42. Zubkov N.N., Vasil'ev S.G., Poptsov V.V., Shulyak Ya.I. Modernization of the car of friction like Amsler. *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmakh*, 2014, no. 9, pp. 33-37. (in Russian).
43. Kistler: company website. Available at: http://www.kistler.com , accessed 01.11.2014.
44. Pronikov A.S. *Nadezhnost' mashin* [Reliability of machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 592 p. (in Russian).
45. TML: company website. Available at: http://www.tmljp.ru , accessed 01.11.2014. (in Russian).
46. Granovskiy G.I., Grudov P.P., Krivoukhov V.A., Larin M.N., Malkin A.Ya. *Rezanie metallov* [Metal cutting]. Moscow, Mashgiz Publ., 1954. 472 p. (in Russian).

47. Granovskiy G.I, Granovskiy V.G. *Rezanie metallov* [Metal cutting]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985. 304 p. (in Russian).
48. Vinogradov D.V., Vasil'ev S.G., Dreval' A.E. Complex to assess the wear resistance of materials and cutting forces in turning. *Inzhenernyi vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Engineering Herald of the Bauman MSTU*. 2014, no. 9. Available at: http://engbul.bmstu.ru/doc/727928.html c. 33-42 , accessed 01.11.2014. (in Russian).