

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»  
Институт инженерно-педагогического образования

Е.А. Бирюкова, А.А. Козлова, Г.Н. Мигачева

**КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ МАШИНА С ЧИСЛОВЫМ  
ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ МОДЕЛИ НИИК-701  
Инструкция для работы на лабораторных занятиях**

Учебное пособие

Екатеринбург  
РГППУ  
2019

## Содержание

Введение.....	3
Раздел 1. Теоретические сведения по работе на координатно-измерительной машине (КИМ).....	4
1.1. Описание и работа КИМ .....	4
1.2. Эксплуатационные ограничения и подготовка к работе на КИМ .....	7
1.3. Установка деталей на измерительный стол .....	9
1.4. Управление джойстиком КИМ.....	10
Раздел 2. Теоретические сведения по работе с программным обеспечением ТЕХНОкоорд .....	12
2.1. Включение компьютера.....	12
2.2. Запуск программы ТЕХНОкоорд .....	12
2.3. Включение КИМ .....	12
2.4. Выбор САД-модели детали.....	12
2.5. Создание щуповой системы.....	13
2.6. Вкручивание наконечника в измерительную головку .....	17
2.7. Установка калибровочной сферы на стол .....	17
2.8. Калибровка щупа.....	17
2.9. Установка детали на стол .....	19
2.10. Создание стратегии измерения для элементов .....	19
2.11. Расстановка запрещенных зон .....	25
2.12. Создание отчета.....	26
2.13. Привязка.....	31
2.14. Запуск схемы .....	33
2.15. Сохранение отчета .....	34
Заключение .....	35
Список литературы .....	36

## Введение

На сегодняшний день автоматизация процесса измерения является важной производственной задачей для повышения качества производства, в том числе машиностроительного.

Одним из главных пунктов для достижения требуемого качества изделий является метрологическое обеспечение производства. В качестве прогрессивно внедряемого в технологический процесс измерительного оборудования являются координатно-измерительные машины (КИМ).

Учебные КИМ применяются для выполнения лабораторного практикума в высших учебных заведениях, колледжах, профессиональных центрах по подготовке и переподготовке кадров. Функциональные возможности учебного лабораторного комплекса КИМ с ЧПУ позволяет обучающимся получить практические навыки работы с современными КИМ, закрепить теоретические знания, научиться проектировать эффективные процессы технического контроля.

КИМ с ЧПУ предназначена для измерения геометрических параметров деталей и последующей математической обработки измеренных координат для определения линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения.

Учебная координатно-измерительная машина с числовым программным управлением модели НИИК-701 была установлена в учебно-демонстрационном центре технологий машиностроения на базе института инженерно-педагогического образования Российского государственного профессионально-педагогического университета. В связи с этим, возникла необходимость разработать инструкцию по эксплуатации КИМ и по работе с программным обеспечением ТЕХНОкоорд, которое является средством для программирования КИМ, а также для максимальной автоматизации статистической обработки результатов измерения и формирования наглядных отчетов.

## Раздел 1. Теоретические сведения по работе на координатно-измерительной машине (КИМ)

### 1.1. Описание и работа КИМ

КИМ с ЧПУ предназначена для измерения геометрических параметров объектов (деталей) путем измерения координат отдельных точек поверхностей объекта в принятой системе координат (прямоугольной декартовой) и последующей математической обработки измеренных координат для определения линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения.

Исполнение КИМ с ЧПУ, дополнительно оснащенное оптическим узлом и осветительным устройством, позволяет проводить неразрушающий контроль плоских, легко деформируемых деталей.

Составные части КИМ модели НИИК-701 представлены на рисунке 1.

Основные параметры и характеристики КИМ модели НИИК-701 представлены в таблице 1.

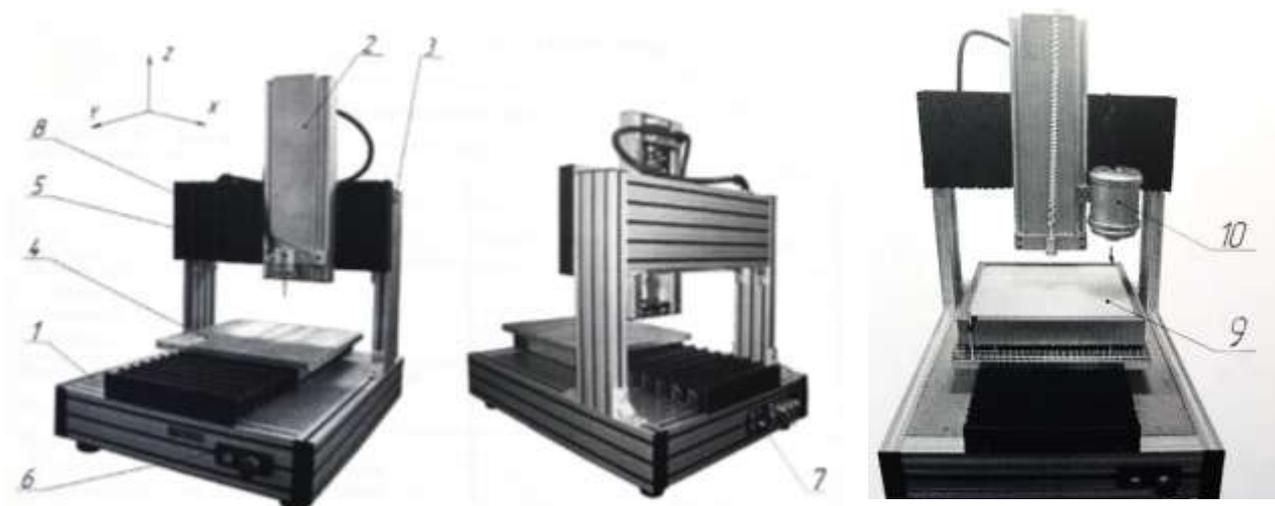


Рисунок 1 – Составные части КИМ модели НИИК-701:

- 1 - станина, 2 – стойка, 3 - портал, 4 - рабочий стол, 5 – контактная головка,
- 6 - передняя панель, 7 - задняя панель, 8 – планка, 9 - осветительное устройство,
- 10 - оптический узел

Таблица 1 - Основные параметры и характеристики КИМ

Наименование	Значение
Рабочая зона, не менее	
- по оси X, мм	300
- по оси Y, мм	350
- по оси Z, мм	150
Размер контролируемой детали, мм, не более	250x300x100
Вес детали, кг, не более	20
Габаритные размеры КИМ, мм, не более	700x850x950

### 1.1.1. Нормальные климатические условия применения КИМ:

Температура окружающего воздуха, °С	20±2
Относительная влажность окружающего воздуха, %	58±20
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	101±3 (760±30)

### 1.1.2. Устройство и работа

Каркас КИМ изготовлен из упрочненного, термообработанного алюминиевого профиля, что в сочетании с порталной конструкцией обеспечивает большую жесткость прибора.

На направляющих качения станины 1 (рисунок 1) расположен рабочий стол 4 (рисунок 1). К станине 1 (рисунок 1) крепится портал 3 (рисунок 1). На ребрах станины 1 (рисунок 1) крепятся направляющие качения и измерительные линейки. Преобразователи линейных перемещений крепятся с помощью закладных гаек в Т-образные пазы алюминиевого профиля. Данные преобразователи, расположенные вдоль осей, образуют декартову (прямоугольную) систему координат. На направляющих качения портала 3 (рисунок 1) размещена стойка 2 (рисунок 1), которая может перемещаться в двух взаимно – перпендикулярных направлениях. К стойке 2 (рисунок 1) при помощи планки 8 (рисунок 1) крепится контактная измерительная головка 5 (рисунок 1) с наконечником.

Для измерений по стандартной оптической схеме на стойке 2 (рисунок 1) сбоку дополнительно размещен оптический узел 10 (рисунок 1), который может перемещаться вверх и вниз вместе со стойкой. При использовании для измерений оптического узла устанавливается осветительное устройство 9 (рисунок 1) на рабочий стол 4 (рисунок 1). Осветительное устройство крепится к рабочему столу 4 (рисунок 1) двумя планками с помощью закладных гаек и шпилек в соответствии с рисунком 5 (рисунок 1). На осветительное устройство кладутся плоские, легко деформированные детали, и приводится измерение.

КИМ с ЧПУ с оптическим узлом обеспечивает бесконтактные измерения заданных координат точек, расположенных на измеряемых поверхностях деталей.

Включение - выключение КИМ осуществляется с помощью кнопки (рисунок 2), расположенной на передней панели 6 (рисунок 1). На передней панели так же расположена кнопка аварийной остановки (рисунок 2). Кнопка снабжена функцией фиксации. После нажатия на кнопку происходит размыкание цепи питания контроллера шаговых двигателей, что приводит к аварийной остановке. Для восстановления работоспособности нужно еще раз нажать на кнопку и перезапустить программу.



Рисунок 2 – Передняя панель:

1 - кнопка включения-выключения, 2 - кнопка аварийная

### 1.1.3. Устройство и работа составных частей КИМ

Контактная головка 1 (рисунок 3) функционирует следующим образом: при касании измерительным наконечником 2 (рисунок 3) измеряемой поверхности происходит разрыв электрической цепи контактной головки, механически связанной с наконечником. Контактная головка выполнена так, что отклонение наконечника по любой из трех координат вызывает размыкание её электрической цепи.

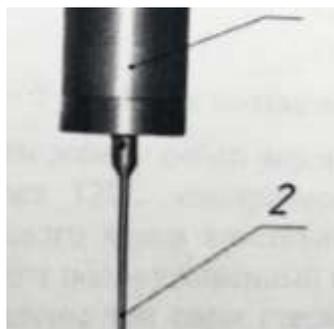


Рисунок 3 – Общий вид контактной измерительной головки:  
1 - контактная измерительная головка, 2 - измерительный наконечник

Измерительный наконечник представляет собой ту часть системы, которая, соприкасаясь с деталью, вызывает смещение механизма в контактной головке. После каждого измерения координат отдельной точки измерительный наконечник перемещается назад, противоположно движению измерения (рисунок 4).

Генерируемый сигнал обеспечивает фиксацию фактических текущих координат по осям X, Y и Z.



Рисунок 4 – Цикл измерения координат точки

## 1.2. Эксплуатационные ограничения и подготовка к работе на КИМ

### 1.2.1. Эксплуатационные ограничения

1.2.1.1. КИМ должна быть установлена на надежном основании, которое обеспечивает удобный доступ к рабочей зоне и всем органам управления. Не допускаются прогибы, шатания, вибрации при работе.

1.2.1.2. Для подключения электропитания КИМ, электрическая проводка должна находиться в непосредственной близости от места установки. Обязательно использовать розетки с заземлением. КИМ подключать через сетевой фильтр типа «Pilot» и использовать источники бесперебойного питания соответствующей мощности.

1.2.1.3. Перед проведение измерений на КИМ, все детали и составные узлы машины должны прогреться не менее 15 минут. Нормальная температура для проведения измерений на КИМ  $(20 \pm 2)$  °С. Допускается проводить учебные измерения при рабочей температуре от +17 до +30 °С. Для выравнивания температуры измеряемой детали и узлов КИМ необходимо разместить детали рядом с КИМ не менее чем за сутки до проведения измерений.

1.2.1.4. Визуальный контроль должен быть составной частью запланированных работ при пусконаладке и в повседневном режиме измерения. КИМ разрешается эксплуатировать только тогда, когда составные части КИМ не имеют внешних механических повреждений. Кабели должны быть в безупречном состоянии. Они не должны иметь прогибов и повреждений.

1.2.1.5. Если обнаружались какие-либо неисправности, КИМ не включать в сеть до их устранения.

## **1.2.2. Подготовка к работе**

1.2.2.1. Ознакомится перед началом работы с настоящей инструкцией по эксплуатации КИМ.

1.2.2.2. Произвести до начала работы тщательный осмотр изделия, удалить с него посторонние предметы, обязательно протереть смоченной в обезжиривателе тряпочкой, которая не оставляет ворса.

1.2.2.3. Убедиться, что никакие кабели не препятствуют работе подвижных частей КИМ.

1.2.2.4. Проверить заземление и включить КИМ в сеть через сетевой фильтр типа «Pilot».

### **1.3.Установка деталей на измерительный стол**

1.3.1.Установку детали на измерительный стол производить только при неподвижных элементах координатной измерительной машины.

1.3.2.Разместить деталь так, чтобы ее основные поверхности были не параллельны осям выбранной системы координат.

1.3.3.Детали должны быть всегда прочно закреплены (рисунок 5), чтобы они не могли двигаться или упасть с измерительного стола. Для этого необходимо стойку 1 вставить в Т – образный паз рабочего стола и закрутить в закладную гайку, которая вставляется в нижнюю часть Т – образного паза. Планку 2 (рисунок 5)установить сверху на стойку 1(рисунок 5). Лёгким усилием нажать на середину планки, что позволит прижать деталь 3(рисунок 5).

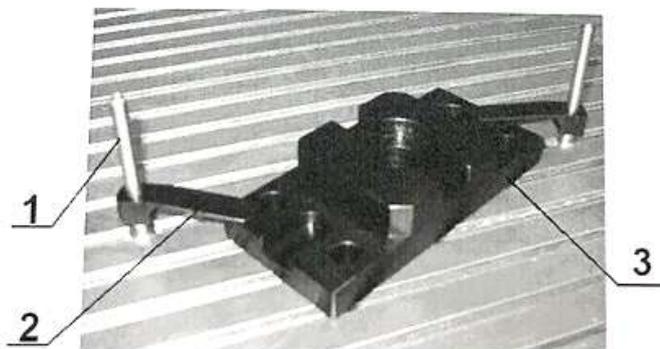


Рисунок 5 – Общий вид закрепления детали на рабочем столе:  
1 – стойка, 2 – планка, 3 - деталь

1.3.4. Деталь установить так, чтобы все необходимые измерения были выполнимы без изменения положения детали.

1.3.5. Для установки измеряемых деталей можно использовать дополнительные приспособления: призмы, центра, упоры и зажимы.

Необходимо учитывать их вес и габаритные размеры для обеспечения безопасности перемещений узлов КИМ.

Чтобы не повредить ким и измерительный стол, необходимо:

- учитывать допустимый вес детали;
- деталь осторожно опускать на измерительный стол. Падения и удары могут повредить КИМ;

- деталь не должна сталкиваться с порталом, стойкой и другими узлами ким. Даже легкие удары могут отрицательно повлиять на функции КИМ.

- деталь опускать на измерительный стол вертикально.

- не сдвигать деталь на измерительном столе. Поверхность при сдвиге детали может поцарапаться. Это может ухудшить точность измерений.

#### **1.4. Управление джойстиком КИМ**

Для того, чтобы в ручном режиме управлять КИМ следует использовать джойстик.

Параметр скорости движения изменяется с помощью кнопки 1 (рисунок 6). Чтобы увеличить скорость нужно нажать стрелку вверх, чтобы уменьшить скорость – вниз.

Кнопка 2 (рисунок 6) предназначена для перемещения стойки (рисунок 1) вверх и вниз, чтобы начать движение нужно потянуть кнопку в соответствующую сторону.

Кнопка 3 (рисунок 6) предназначена для перемещения стойки (рисунок 1) вверх и вниз, а также рабочего стола (рисунок 1) вперед и назад, чтобы начать движение нужно потянуть кнопку в соответствующую сторону.



Рисунок 6 – Джойстик

## Раздел 2. Теоретические сведения по работе с программным обеспечением ТЕХНОКоорд

### 2.1. Включение компьютера

2.2. Запуск программы ТЕХНОКоорд (Рабочий стол – Стандартная контактная схема)

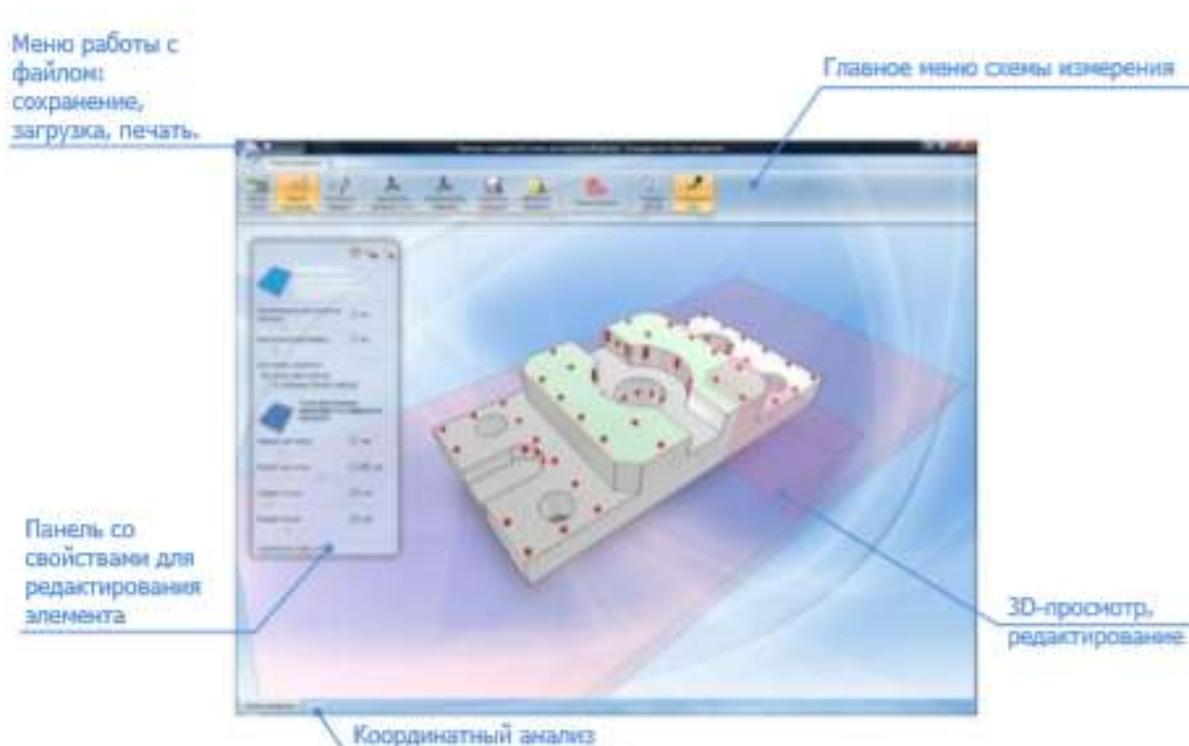


Рисунок 7– Структура редактора

### 2.3. Включение КИМ (часть 1, пункт 1.1.2, рисунок 2)

### 2.4. Выбор САД-модели детали

САД-модель можно загрузить из формата \*.step, \*.stp или из внутреннего формата САД-модели Челябинский контроль \*.cad (Меню работы с файлом – открыть – документы – ТехноКоорд 5.1 – примеры – НИИК-701...«название детали, которая будет измеряться»).

Для того, чтобы изменить ориентацию САД-модели можно повернуть её на некоторый угол (зажать правую кнопку мыши и поворачивать модель в нужном направлении). Правильная ориентация необходима для более удобной работы в редакторе и адекватной визуализации процесса измерения.

## 2.5.Созданиещуповойсистемы

Щуповая система – это набор щупов, которые расположены в пространстве.

Основным объектом щуповой системы является наконечник. В данной модели наконечник определяется как сферическая поверхность с заданными ограничениями (допустимой зоной).

Для того, чтобы открыть мастер настроек щуповой системы следует в главном меню перейти во вкладку «Настройка» и нажать кнопку «Щуповая система».

На главной странице мастера настройки щуповой системы расположен список всех доступных щуповых систем, которые уже были созданы. Щуповая система, учетная запись которой находится в верхней части окна, является текущей используемой системой (рисунок 8).

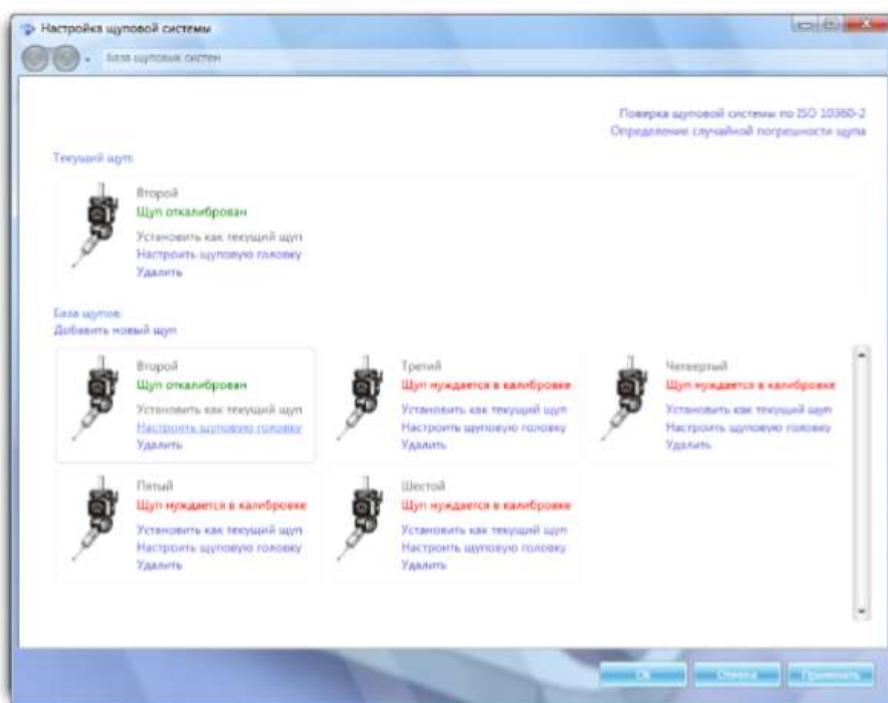


Рисунок 8 – Окно со списком щупов

Чтобы создать новую щуповую конфигурацию следует нажать на кнопку «Добавить новую щуповую систему». В список будет добавлена учетная запись.

После создания учетной записи щуповой системы рекомендуется сразу же переименовать её. Для этого следует один раз щелкнуть мышью по названию, после чего появится возможность редактирования (рисунок 9). Чтобы удалить щуп следует нажать на кнопку «Удалить», учетная запись исчезнет из списка.

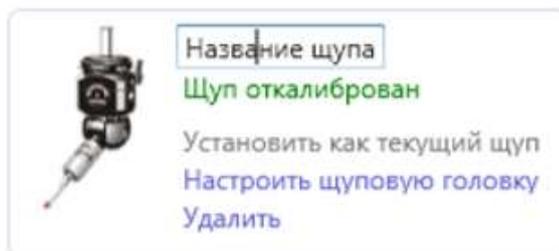


Рисунок 9 – Редактирование названия щупа

Все изменения, которые происходят, не сохраняются автоматически. Для применения изменений необходимо нажать на кнопку «Применить», которая находится в нижней части окна. Если же изменения были ошибочны, следует нажать «Отмена», в этом случае произведенные изменения будут утеряны.

Программа выделяет одну щуповую систему, которая используется для измерений. Чтобы установить щуповую систему в качестве текущей существует кнопка «Установить, как текущую». Если кнопка не активна, значит, система уже является текущей.



Рисунок 10–Учетная запись щупа

Надпись «Система откалибрована» означает, что наконечники щупа настроены и откалиброваны, а надпись «Система не откалибрована» означает, что не все наконечники щупа откалиброваны или вовсе

отсутствуют. В последнем случае требуется зайти на страницу настройки щуповой головки: для этого следует нажать кнопку «Настроить щуповую систему», и выполнить настройку.

Геометрия щуповой системы – это примитивная CAD-модель щуповой системы, приблизительно описывающая расположение тех или иных частей щупа.

Геометрия щуповой системы используется для:

- автоматического поиска пути;
- корректного отображения щупа в схеме измерения;
- симуляции измерения на виртуальном КИМ.

После создания новой учетной записи, геометрия будет отсутствовать, поэтому экран окажется пустой. Первым элементом, который следует создать, является элемент, примыкающий к щуповой головке (как правило, это удлинитель цилиндрической формы). Все действия, которые можно производить, находятся в контекстном меню, которое вызывается однократным нажатием правой клавиши мыши (рисунок 11).

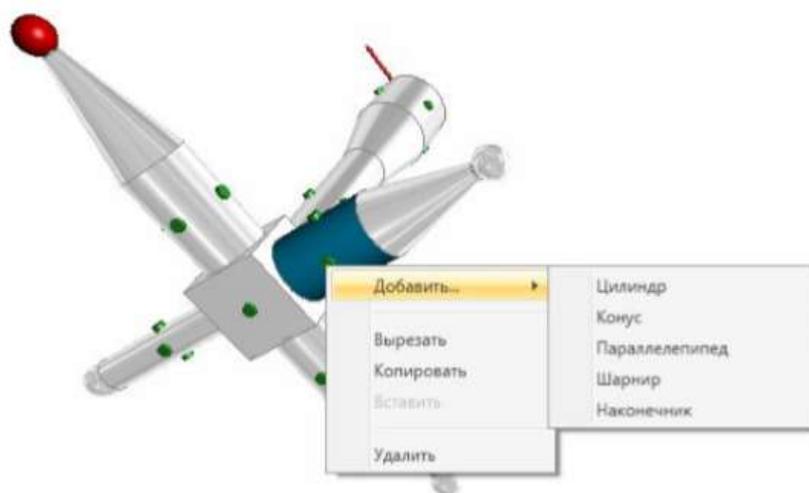


Рисунок 11–Контекстное меню редактора геометрии щуповой системы

Чтобы добавить первый элемент - цилиндр, следует вызвать контекстное меню, щёлкнув в любом месте и выбрать «Добавить... - Цилиндр». После того, как один элемент есть, последующие можно «крепить» только к специальным местам, которые обозначены маркерами

зеленого цвета. Далее следует щелкнуть по цилиндру и во всплывшем окне указать высоту и диаметр цилиндра (высота 50 мм, диаметр 2 мм).

Чтобы добавить второй элемент - наконечник, следует вызвать контекстное меню, щелкнув по маркеру зеленого цвета на торце цилиндра и выбрать «Добавить... - Наконечник». Далее следует щелкнуть по наконечнику и во всплывшем окне указать его диаметр (3 мм).

Параметры созданных элементов можно изменить. Для этого нужно выделить соответствующий элемент левой клавишей мыши, после чего в нижней части появятся параметры элемента, которые можно редактировать.

По нажатию на кнопку «Добавить учетную запись наконечника» появляется новая учетная запись наконечника с параметрами по умолчанию. Чтобы удалить учетную запись существует кнопка «Удалить» у каждого наконечника (рисунок 12).

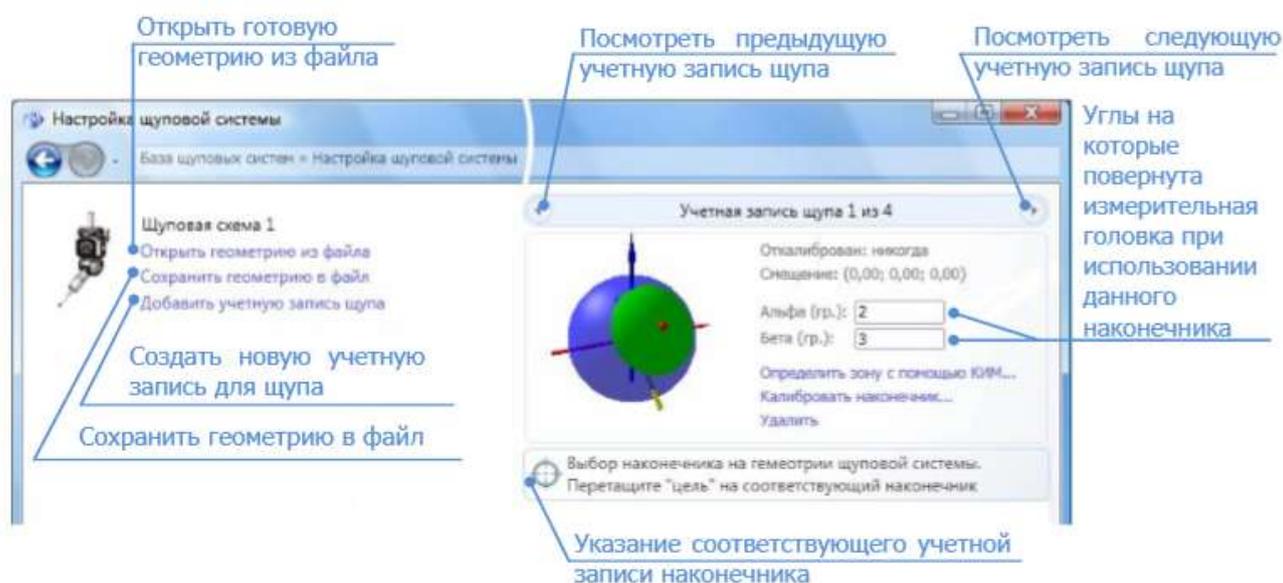


Рисунок12–Учетные записи наконечников

Один из параметров наконечника – это допустимая зона, т.е. область, к которой наконечник способен подойти/измерить, не задев при этом измеряемый объект. Зона задается визуально.

Каждая учетная запись обязательно должна быть привязана к одному из наконечников геометрии. Для задания соответствия следует «перетащить» специальный элемент «цель» на соответствующий шарик, после чего шарик

подсветится красным цветом. Кроме того, каждая учетная запись наконечника имеет два угла — это углы поворотной головки в тот момент, когда наконечник калибруется. Если головка не поворотная, то значения углов нужно установить равными нулю.

Нажимаем «Применить» и в окне списка щупов устанавливаем созданную щуповую систему как текущую.

## **2.6.Вкручивание наконечника в измерительную головку**

**2.7.Установка калибровочной сферы на стол(Прикрутить к ножке сферы гайку - вставить в третий паз стола – по часовой стрелке вращать сферу за ножку до упора – закрутить гайку до конца)**

## **2.8.Калибровка щупа**

Калибровка щупа выполняется с целью определить отклонения датчика, которые возникают при измерении под разными углами к поверхности. В качестве калибратора выбирается сфера с аттестованным радиусом и отклонением формы не более 0.5 мкм (в общем случае зависит от точностных возможностей машины). В процессе измерения деталей полученные отклонения используются в качестве компенсации.

Другой целью калибровки наконечника ставится определить его относительное расположение – относительно других наконечников щупа. Когда щупов несколько, каждый щуп хранит в себе вектор, который указывает на центр первого наконечника. Это позволяет приводить измерения разными наконечниками к одной системе координат.

В меню настройки щуповой системы нужно нажать «Калибровать щуп», далее следует ввести диаметр калибровочной сферы (указан на ножке сферы), настроить угол, через который будут расставлены точки, и количество проходов (рисунок 13). Выбранные параметры, сохраняются, поэтому повторно вводить параметры не придется.

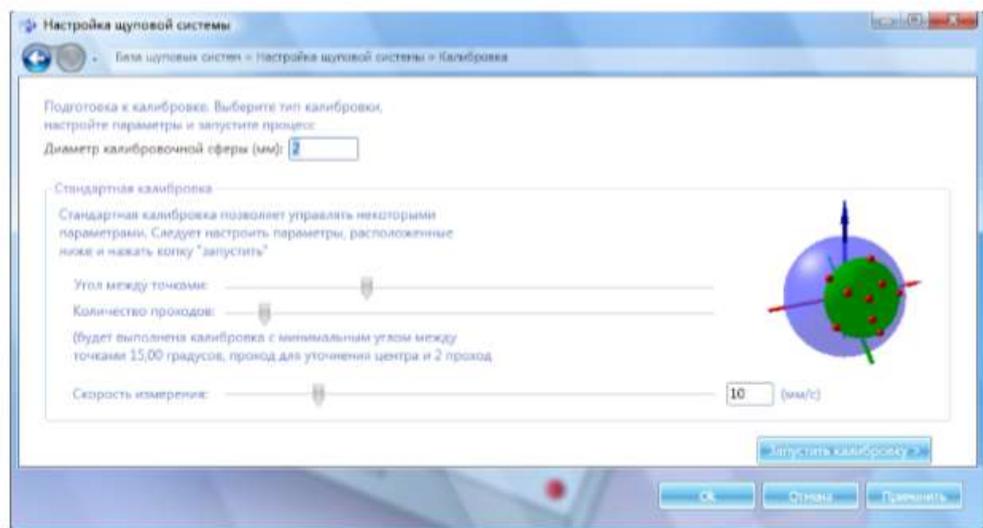


Рисунок 13 – Параметры калибровки наконечника

Чтобы запустить процесс калибровки с выбранными параметрами следует нажать кнопку «Запустить калибровку» и во всплывшем окне нажать кнопку «Выход в ноль».

Для того чтобы обойти в автоматическом режиме точки на сфере предварительно необходимо узнать положение сферы относительно щупа. Для этого пользователю предлагается измерить в ручном режиме пять равномерно распределенных по поверхности сферы точек (одна сверху и четыре по экватору). На картинке в центре экрана изображено рекомендуемое расположение точек (рисунок 14).

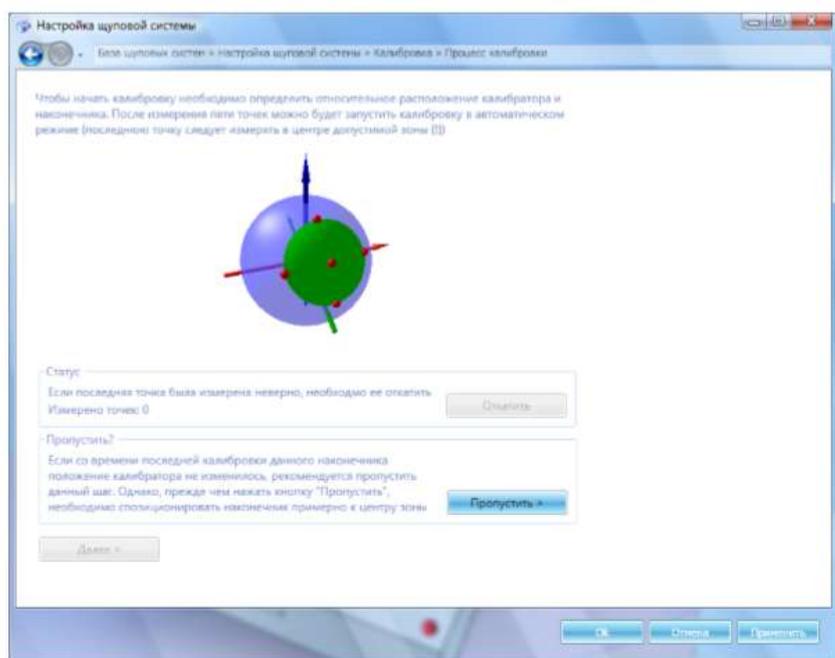


Рисунок 14–Получение первых пяти точек

После того, как вручную сфера была измерена, на рабочем столе следуют нажать кнопку «далее» и машина автоматически выполнит объезд сферы с выбранными параметрами.

Если процесс калибровки завершился успешно, то появляется отчет о калибровке наконечника, в котором кратко приведены данные о калибровке, а также произведена визуализация зафиксированных отклонений (рисунок 15).

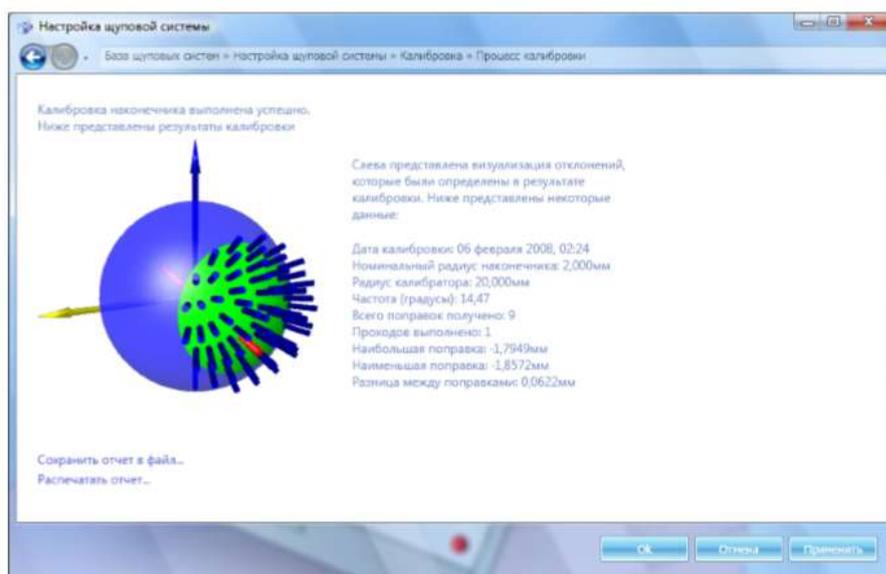


Рисунок 15 – Отчет о калибровке

Следует вывести измерительную головку в нерабочую зону с помощью джойстика.

## **2.9. Установка детали на стол (часть 1, пункт 3)**

## **2.10. Создание стратегии измерения для элементов**

Стратегия измерения элемента – это принцип размещения измеряемых точек на поверхности элемента.

Чтобы создать стратегию измерения для элемента детали следует вызвать контекстное меню, выбрать «Создать» - появится панель для настройки стратегии измерения (рисунок 17).

Иногда при экспорте из CAD-редактора элементы «разбиваются» на несколько кусков (рисунок 16). Редактор позволяет логически объединять

элементы в один. Для этого необходимо воспользоваться кнопкой в верхней части панели для настройки стратегии измерения (рисунок 17).



Рисунок 16 – Пример элемента состоящего из нескольких частей

Можно удалить стратегию измерения воспользовавшись контекстным меню или кнопкой в верхнем правом углу панели (рисунок 17).

Настройка стратегии измерения начинается с автоматической расстановки точек одной из стандартных стратегий, а затем редактируется в ручном режиме.

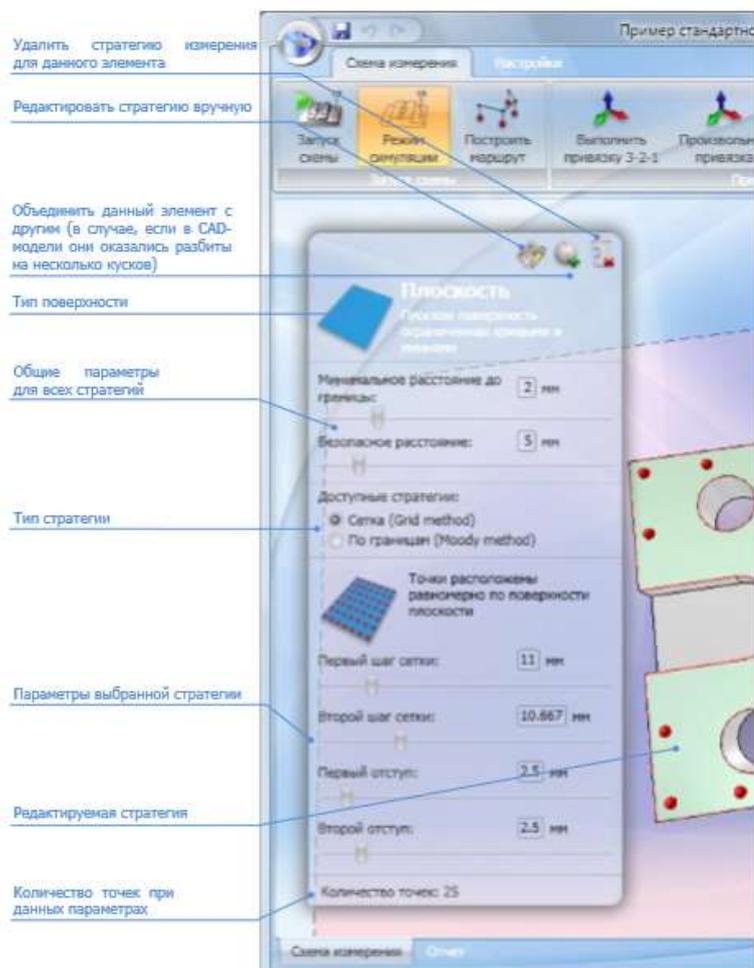


Рисунок 17 – Редактирование стратегии измерения

Независимо от типа элемента для всех стратегий доступны два параметра: минимальное расстояние до границы и безопасное расстояние (рисунок 16). Параметр «Безопасное расстояние» определяет, с какого расстояния от детали щуп начнет движение к поверхности. Параметр «Минимальное расстояние до границы» позволяет отсечь точки, которые оказались близко к границам элемента. В зависимости от типа элемента доступны различные стратегии измерения.

**Сетка на плоскости.** Позволяет разместить точки равномерно по поверхности плоскости. Задаются два отступа с разных направлений, а также шаг в одном направлении (т.е. расстояние между соседними точками) и шаг в другом направлении (рисунок 18).

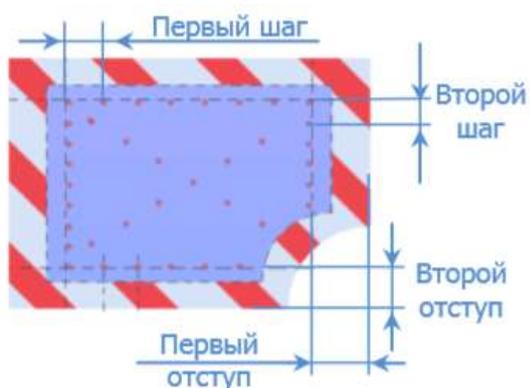


Рисунок 18- Сетка на плоскости

**Граничный метод на плоскости.** Позволяет расположить измеряемые точки в шести направлениях (на шести отрезках) (рисунок 19). Позволяет регулировать шаг, с которым расставляются точки на отрезках, а также учитывает отступы.

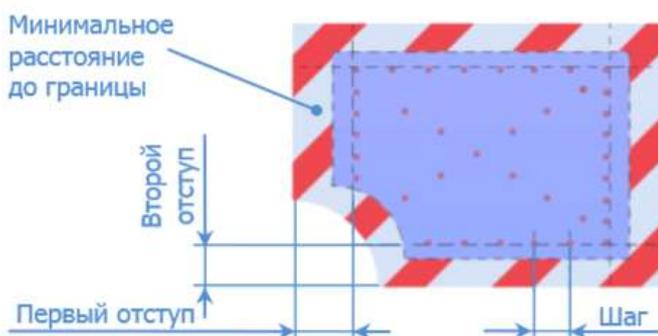


Рисунок 19 – Граничный метод

**Стратегия для цилиндра по сечениям.** Точки располагаются в нескольких сечениях. Есть возможность регулировать количество сечений, количество точек в сечении и отступы сверху и снизу (рисунок 20).

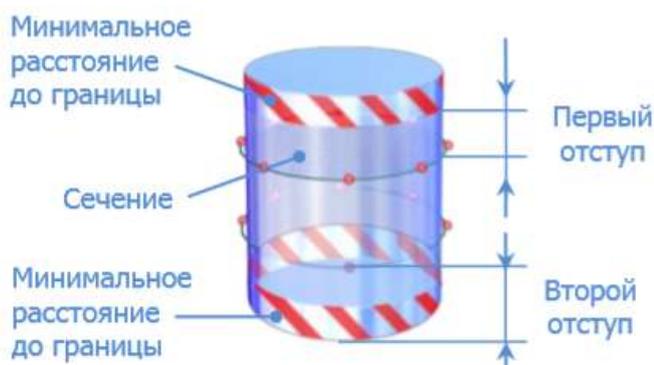


Рисунок 20 – Измерение цилиндра по сечениям

**Стратегия для цилиндра по спирали.** Точки располагаются на спирали, проходящей по поверхности цилиндра с указанным шагом. Имеется возможность регулировать количество точек на шаг спирали, а также отступы сверху и снизу (рисунок 21).

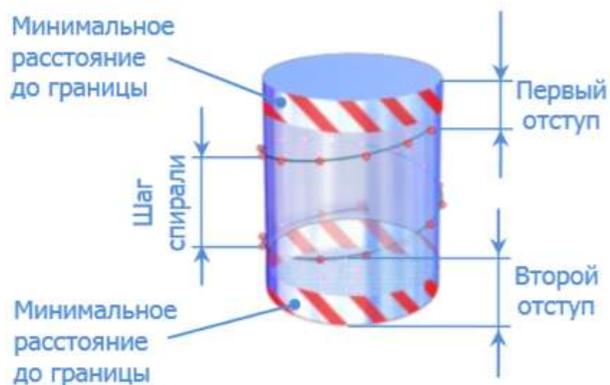


Рисунок 21–Измерение цилиндра по спирали

**Стратегии для конуса** подобны стратегиям цилиндра, также доступны по сечениям и по спирали (рисунок 22).



Рисунок 22 – Стратегии для конуса

**Для сферы** доступна стратегия сеткой, позволяющая расставлять точки равномерно по поверхности сферы. Расположение точек регулируется за счет угла между сечениями и расстояния между точками в сечении (рисунок 23).

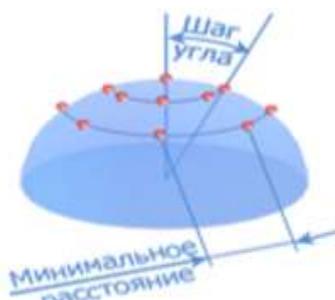


Рисунок 23 – Стратегия для сферы по сетке

**Стратегия измерения тора по сечениям.** Можно управлять количеством сечений и точек в сечении (рисунок 24).



Рисунок 24 – Сечение тора

**Стратегия измерения тора по спирали.** Имеется возможность управлять шагом спирали и количеством точек на один виток (рисунок 25).

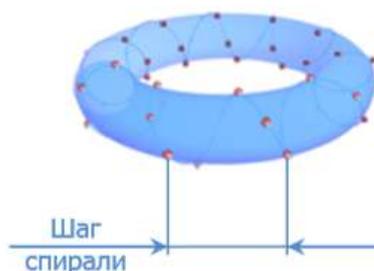


Рисунок 25 – Измерение тора по спирали

**Для сплайновой поверхности** предусмотрена стратегия, распределяющая равномерно точки по поверхности (рисунок 26).

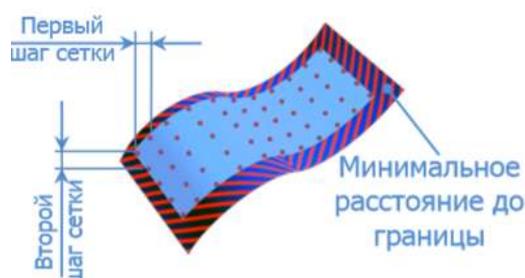


Рисунок 26 – Стратегия для сплайновой поверхности

В случае если ни одна из стандартных стратегий не подходит, то в программе предусмотрена возможность размещать точки вручную. Для этого следует нажать кнопку «Редактировать точки» в верхнем правом углу панели для настройки стратегии измерения после чего редактор перейдет в режим ручного редактирования точек.

Для редактирования точек в данном режиме следует выделить точку и «перетащить» ее, удерживая левую клавишу мыши. Добавление новой точки можно сделать двойным щелчком, удаление – клавишей Delete.

При координатных измерениях число точек измерения для отдельного элемента детали определяется, в зависимости от вида элемента, отклонений его формы, задачи измерения (геометрических параметров, подлежащих определению), допустимой погрешности измерения. Минимальное число точек, по которым могут быть определены параметры размеров и расположения геометрически идеальных (номинальной формы) поверхностей и линий для часто встречающихся элементов, приведено в таблице 2.

Таблица 2 - Минимальное число точек измерения для определения параметров размера и расположения элементов номинальной формы

Элемент	Минимальное число точек
Точка	1
Прямая	2
Окружность	3
Плоскость	3
Сфера	4
Цилиндр	5
Конус	6
Тор	7

### **2.11. Расстановка запрещенных зон**

Как правило, измеряемое изделие закрепляется на столе с помощью специальных креплений. Если не учитывать их геометрическое расположение, то в процессе измерения машина столкнется с одним из них. Чтобы исправить ситуацию, можно использовать САД-модель с расположенными на ней зажимами, а можно воспользоваться инструментом, который позволит отметить часть пространства как недоступную для машины.

Для того чтобы войти в режим расстановки запрещенных зон нужно выбрать в главном меню «Запрещенные зоны - Редактировать» (рисунок 27).

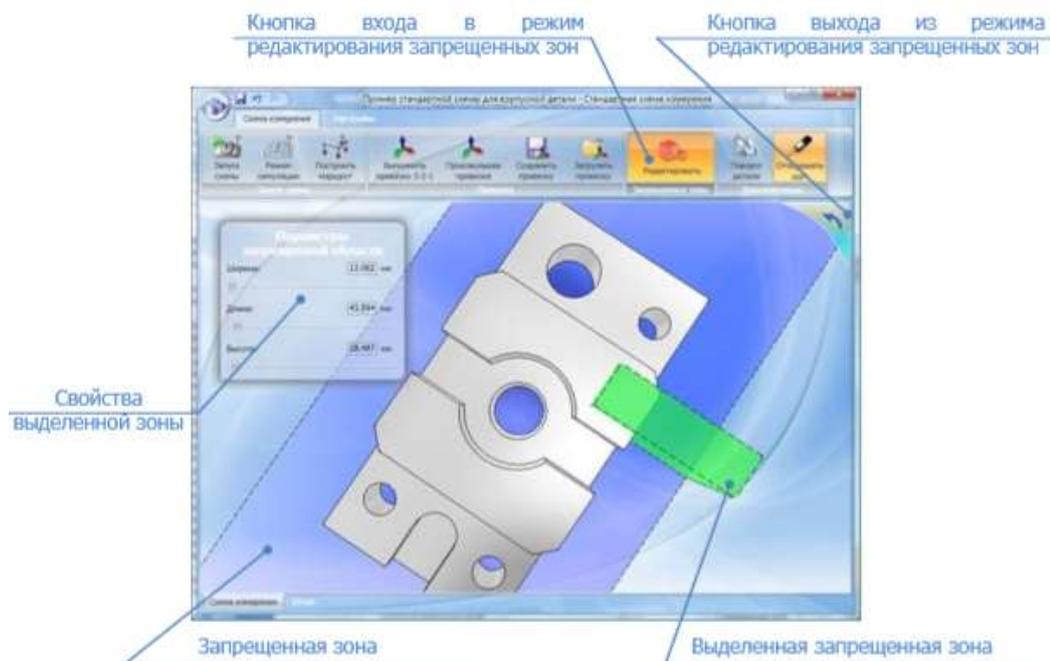


Рисунок 27 – Редактирование запрещенных зон

Выделить запрещенную зону можно левой клавишей мыши. Удаление зоны осуществляется клавишей Delete. Чтобы создать новую зону следует сделать двойной клик, потянуть мышь в сторону для образования основания параллелограмма, затем выполнить клик и отрегулировать зону по высоте. Изменять параметры (длину, ширину, высоту) позволяет панель со свойствами, которая отображается для выделенной зоны. Перемещение зоны производится следующим образом: зажав левую клавишу мыши на одной из сторон зоны, смещать зону в направлении перпендикулярном данной стороне.

### 2.12.Создание отчета

Для того, чтобы создать отчет, в левом нижнем углу следует щелкнуть закладку «Отчет», на экране появится лист А4.

Нажимаем «3DОтклонение расположения» появляется модель детали

Все расчеты в редакторе происходят с элементами, которые называются «Заменяющие элементы» — это геометрические элементы, полученные в результате аппроксимации какого-либо примитива по координатам точек.

Анализ расположения в пространстве использует следующие типы геометрических элементов:

- Плоскость;
- Сфера;
- Цилиндр;
- Конус;
- Тор;
- Сплайновая поверхность;
- Сплайновая кривая;
- Окружность;
- Прямая;
- Точка;
- Группа точек.

Аппроксимация элементов – это нахождение заменяющих элементов по измеренным точкам на их поверхности. Существует несколько различных методов аппроксимации геометрического элемента. Ниже описаны три основных метода (нахождение среднего, прилегающего или минимальной зоны).

Средний элемент – поверхность, имеющая номинальную форму и такие размеры и/или расположение, чтобы сумма квадратов расстояний между реальным и средним элементами в пределах нормируемого участка имела минимальное значение.

Прилегающей поверхностью называется поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, что отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имеет минимальное значение. Это понятие относится к прилегающей плоскости, прилегающей прямой, однако указанное условие минимального значения отклонения не распространяется на отклонения формы цилиндра и окружности.

Прилегающим цилиндром (конусом, сферой, тором) называется цилиндр (конус, сфера, тор) минимального диаметра, описанного вокруг реальной наружной поверхности, или максимального диаметра, вписанного в реальную внутреннюю поверхность.

Вместо прилегающего цилиндра (конуса, сферы, тора) в качестве базы для определения отклонений допускается также использовать цилиндр минимальной зоны.

Цилиндр (конус, сфера, тор) минимальной зоны – цилиндр (конус, сфера, тор), соприкасающийся с реальной поверхностью и расположенный вне материала так, чтобы наибольшее расстояние между реальной поверхностью и заменяющим элементом имело минимальное значение.

Чтобы создать элемент можно выбрать в меню его тип и метод аппроксимации (рисунок 27), затем выбрать поверхности, которые относятся к данному элементу, и завершить создание кнопкой в верхнем правом углу.

Выбор нескольких поверхностей позволяет, например, аппроксимировать одну плоскость из двух площадок на детали, если это требуется с точки зрения контроля, или выбрать две половинки одной поверхности, «разбитой» при экспорте из CADредактора.

Инструменты для аппроксимации расположены на соответствующей вкладке на панели инструментов (рисунок 28).

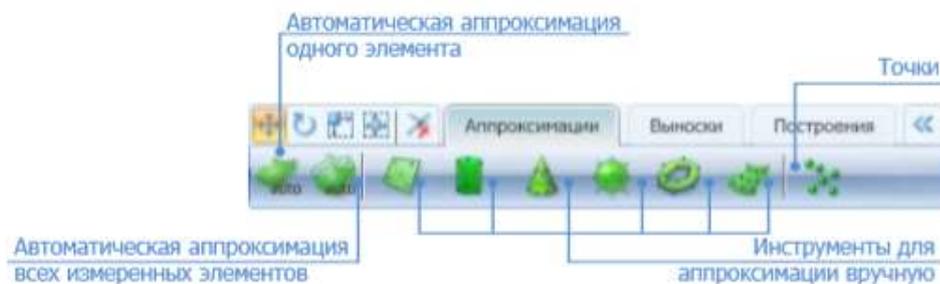


Рисунок 28–Инструменты аппроксимации для анализа расположения в пространстве

Чтобы указать допуск в редакторе, необходимо выбрать соответствующий инструмент на вкладке «Выноски» на панели

инструментов (рисунок 29) и щелчком мыши указать аппроксимированный элемент геометрии в эскизе.



Рисунок 29– Панель инструментов, указание допусков

Для установки допуска следует на базовой плоскости установить базу. Для этого следует выбрать соответствующую кнопку в панели инструментов («База») и «кликнуть» мышью на соответствующем элементе. Затем выбрать один из инструментов, позволяющих задавать допуск и «кликнуть» на соответствующем элементе (рисунок 30).

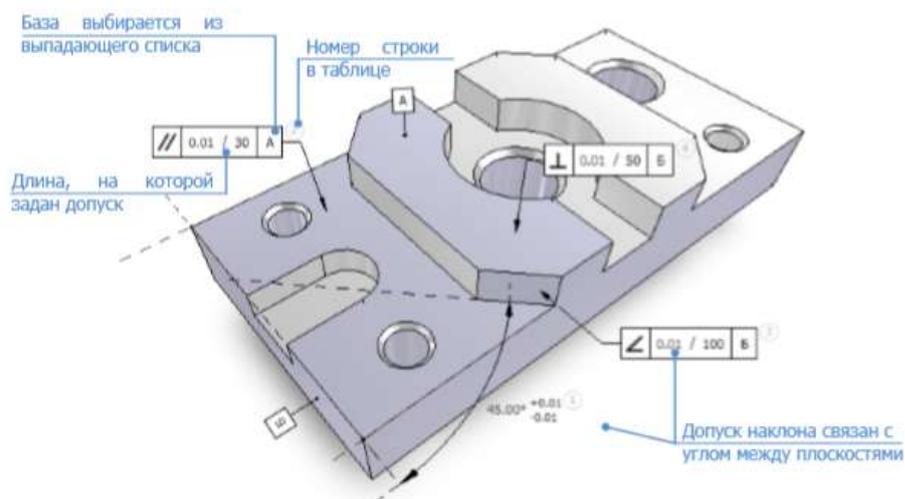


Рисунок 30–Пример расстановки допусков

Для допусков параллельности, перпендикулярности требуется указать только базу. Для допуска наклона требуется также наличие указанного углового размера (рисунок 30).

Позиционный допуск можно привязать только к точке. Расчет позиционного допуска производится следующим образом: из всех связанных

с точкой размеров выбирается наиболее отклоняющийся от номинала, данное отклонение и считается действительным (рисунок 31).

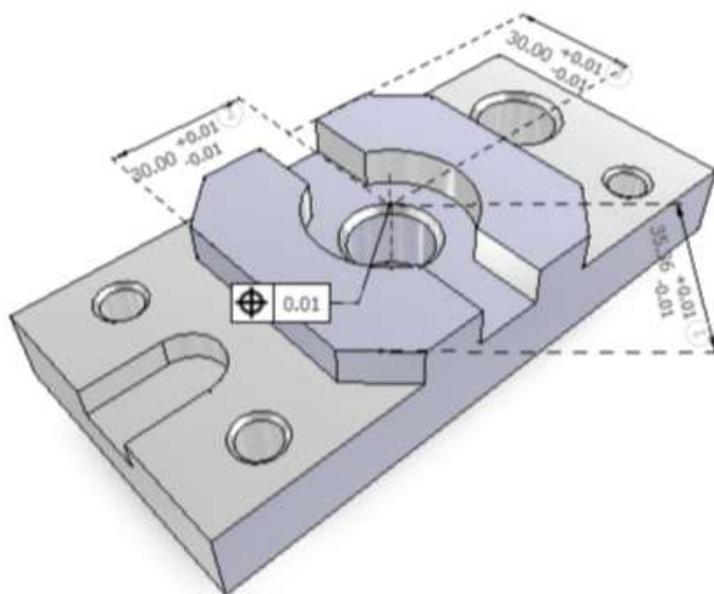


Рисунок 31 –Пример установки позиционного допуска

Наиболее часто возникает необходимость указать размер элемента. В программном обеспечении ТЕХНОкоорд предусмотрена возможность вынесения углового, линейного, радиального и диаметального размеров. Чтобы добавить размер в редакторе, необходимо выбрать соответствующий инструмент (Рисунок 32) на вкладке «Выноски» и щелкнуть на элемент геометрии.

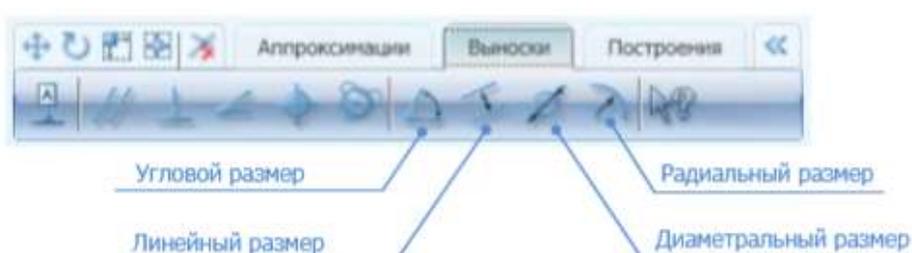


Рисунок 32– Отклонения расположения, панель инструментов, размерные параметры

Построенные выноски можно перемещать мышью.

Линейный размер позволяет вывести в отчет расстояние между двумя точками. Чтобы вывести в отчет линейный размер, следует выбрать инструмент «Линейный размер», нажать левую кнопку мыши на первой

точке и отпустить на второй, в результате чего появится элемент, визуально отображающий расстояние (рисунок 33), и соответствующая строка в таблице. Чтобы удалить созданный размер достаточно удалить соответствующую строку в таблице («крестик» с правой стороны).

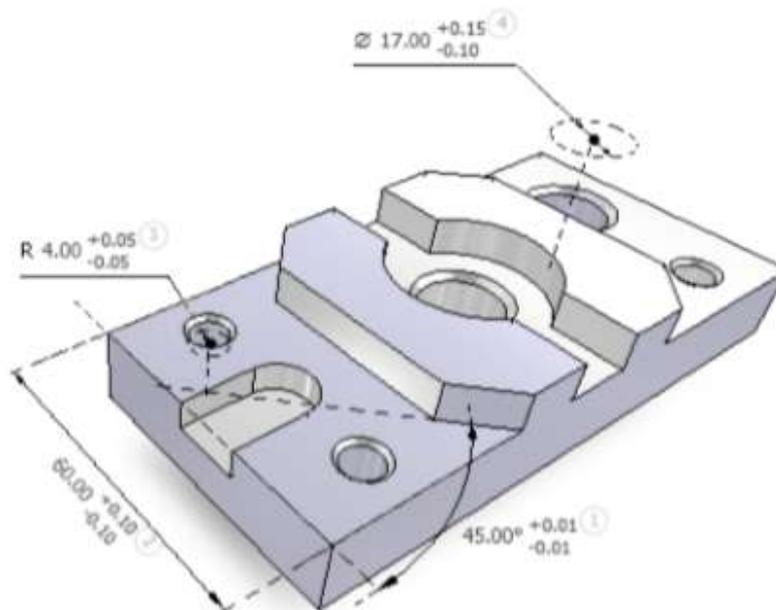


Рисунок 33– Пример указания размеров

Чтобы получить расстояние между плоскостью и точкой можно получить проекцию данной точки на плоскость и построить расстояние между двумя точками. Аналогично можно получить расстояние от точки до прямой.

Угловой размер позволяет вывести в отчет угол между двумя плоскостями или между линией и плоскостью. Радиальный и диаметральные размеры позволяют вывести в отчет радиус (или диаметр) цилиндра, сферы или окружности (рисунок 33).

### 2.13.Привязка

Для того чтобы производить перемещения машины вокруг детали, измерять точки на ее поверхности необходимо узнать, как расположена деталь на столе. Такой процесс называется привязка текущего расположения детали к САД-модели.

Привязка производится в ручном режиме. Пользователю необходимо измерить несколько точек, расположенных на определенных поверхностях

детали, после чего будет выполнен расчет перевода координат из системы координат модели в систему координат детали.

Чтобы начать привязку следует нажать кнопку в главном меню «Выполнить привязку 3-2-1» (рисунок 34). Для данной привязки требуется обязательное наличие трех непараллельных плоскостей.

Первым шагом мастера будет выбор трех непараллельных плоскостей. При выборе плоскостей рекомендуется руководствоваться следующими правилами:

- Выбирать плоскости, расположенные перпендикулярно осям машины. Это связано с тем, что при измерении в ручном режиме важно производить измерение, двигаясь по нормали к поверхности детали, а проще всего это сделать, если поверхность перпендикулярна одной из осей.

- Рекомендуется выбирать плоскости с большой площадью.

После выбора плоскостей мастер по очереди будет предлагать измерить три, две и одну точку на соответствующих плоскостях, поочередно подсвечивая их. Рекомендуется выбирать наиболее удалённые друг от друга точки.

Запрещается:

- первые три точки выбирать лежащие на одной прямой;
- две точки на второй плоскости измерять на прямой, перпендикулярной линии пересечения первой и второй плоскости.

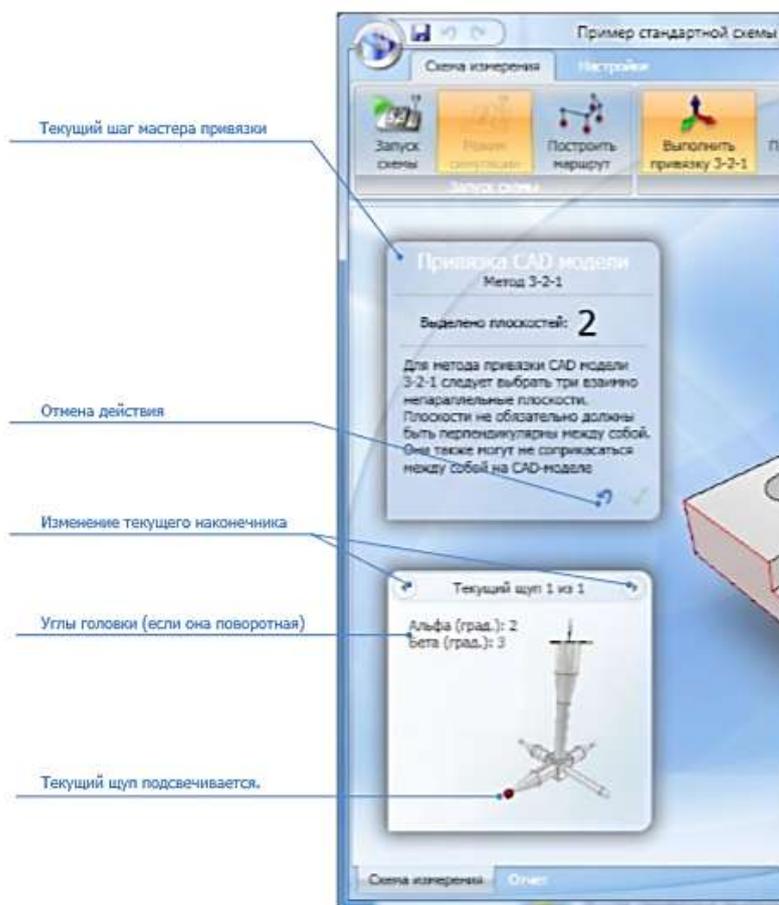


Рисунок 34 – Привязка 3-2-1

## 2.14. Запуск схемы

Для запуска схемы на реальной машине следует убедиться, что кнопка «Режим симуляции» неактивна, и нажать кнопку «Запуск схемы» (рисунок 35). Машина произведет подключение, выход в ноль, затем начнут выполняться запрограммированные действия.



Рисунок 35–Главное меню схемы измерения

Существует возможность запустить измерение только одного элемента, для этого следует правой клавишей мыши вызвать контекстное меню данного элемента и выбрать «Измерить»

Чтобы измерить несколько элементов, можно выделить элементы с зажатой клавишей Ctrl, вызвать контекстное меню и выбрать «Измерить».

### **2.15.Сохранение отчета**

Для того, чтобы сохранить отчет нужно перейти в меню работы с файлом и выбрать «Сохранить».

## **Заключение**

Высококвалифицированный персонал – это достаточно важный элемент конкурентоспособности любого предприятия, особенно в тех областях, где резко ощущается потребность специалистов. В данном случае, это касается работы на КИМ. Специалист в данной области должен обладать широким спектром знаний для того, чтобы получать надёжные результаты.

Координатные измерения применяются в разных областях производства. С помощью КИМ можно определить и размеры, и отклонения формы и расположения поверхностей деталей.

В решении ряда задач, связанных с эксплуатацией учебной КИМ с ЧПУ модели НИИК-701 и программным обеспечением ТЕХНОкоорд поможет данное учебное пособие, которое содержит теоретические сведения по работе на КИМ.

Рассмотрение терминов, определений и последовательностей действий при подготовке к измерениям и непосредственно при измерениях на КИМ, которые содержит пособие, позволяет повысить уровень технической грамотности обучающихся, тем самым, создавая базу для дальнейшего совершенствования их знаний в области координатных измерений.

Данное учебное пособие будет полезно студентам высших учебных заведений, студентам колледжей, а также специалистам при переподготовке в профессиональных центрах.

## Список литературы

1. Слепцов В. В. Информационно-измерительные и управляющие системы координатно-измерительных машин и измерительных роботов. Концепция проектирования: монография / В. В. Слепцов, А. В. Тихонравов, Р. Ю. Курдюков; под ред. В.В. Слепцова. – М.: МГУПИ, 2008. - 95 с.
2. Чапала О.В. Координатно-измерительные машины и их применение. [Электронный ресурс] // Новинфо. – 2016. – № 57. – Режим доступа: <http://novainfo.ru/article/10054>
3. Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерения в машиностроении [Электронный ресурс ]. – Электрон. дан.: Челябинский контроль.РФ – Челябинск, 2003-2019. – Режим доступа: <http://www.toolmaker.ru/main.php> (дата обращения: 16.04.19)