

Министерство образования и науки Украины  
Донбасская государственная машиностроительная академия

УДК 621.9

ЛЮБОВИЧА ИГОРЯ ВЛАДИМИРОВИЧ

РАЗРАБОТКА ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ  
СУППОРТОВ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

8.0505031 – металлорежущие станки и системы

Автореферат магистерской работы

Краматорск - 2014

Работа выполнена на кафедре компьютеризированные мехатронные системы, инструмент и технологии Донбасской государственной машиностроительной академии Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Ковалёв Виктор Дмитриевич

Защита состоится 22 декабря 2014 года в 9 часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии Донбасской государственной машиностроительной академии.

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** Повышение требований к качеству выпускаемой продукции, увеличение скоростей относительного перемещения и действующих нагрузок выдвигают все новые требования к техническому уровню, надежности, точности металлорежущего оборудования.

Применение опор качения имеет определенный предел по точности, так как источниками смещения (нарушения) заданной траектории движения являются геометрические поверхности дорожек и тел качения.

Анализ информации, полученной при проектировании, изготовлении и эксплуатации станков, позволил выявить один из наиболее эффективных путей повышения точности, надежности и долговечности станков – оснащение их гидравлическими опорами и передачами с жидкостным режимом трения, а также необходимость совершенствования методик их исследований и расчетов.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Исследования, которые выполнены в магистерской работе, связаны с государственными бюджетными темами кафедры компьютеризированные мехатронные системы, инструмент и технологии Донбасской государственной машиностроительной академии Д03-13 «Разработка технологических систем для экологической обработки деталей энергетики на базе адаптивных многоцелевых тяжелых станков».

**Цель и задачи исследования.** Повышение точности и работоспособности тяжелого станка путем применения гидростатических направляющих.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Осуществить анализ современных станков на гидростатических опорах.
2. Рассмотреть иерархическую структуру построения основных узлов суппорта, составить методику концептуального проектирования.
3. разработана методика расчета эксплуатационных параметров гидростатических направляющих, основанная на реализации уравнения гидродинамической теории смазки, уравнения Рейнольдса.
4. Разработана система адаптивного управления на базе микроконтроллера с системой индуктивных датчиков выполнено моделирование работы суппорта и станины с повышенными нагрузками; получены значения деформаций.

**Объект исследования** – гидростатические направляющие тяжелого станка повышенной грузоподъемности.

**Предмет исследования** – закономерности работы гидростатических опор тяжёлого токарного станка для обеспечения повышенной точности.

**Методы исследования.** Работа выполнена на основе фундаментальных положений, технологии машиностроения, теории резания, проектирования станков и систем, теории квалиметрии, мехатронных систем, начертательной геометрии, компьютерной графики.

**Научная новизна полученных результатов.**

Усовершенствованы методы моделирования гидростатических опор с учётом силовых и тепловых деформаций.

Разработана система управления точностью перемещений суппорта тяжёлого токарного станка.

Создана мехатронная адаптивная система управления гидростатическими направляющими суппорта на основе системы датчиков и микропроцессорной обработки данных для обратной связи по средствам регулируемых клапанов.

**Практическая ценность.** Разработана конструкция гидростатических направляющих тяжелого многоцелевого станка повышенной грузоподъемности, обеспечивающая его работоспособность при действии сил резания до 200 кН.

Разработано программное обеспечение управления мехатронной системой на основе микроконтроллера ATmega64

**Достоверность полученных результатов.** Достоверность полученных результатов работы обеспечивается точностью постановки задач, использованием математически корректных методов исследования.

**Личный вклад соискателя** состоит в формулировке цели и задач работы; разработке методов их решения; проведении экспериментальных исследований. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, состоял в непосредственном участии во всех стадиях работы, включая постановку задачи, выполнения теоретических и экспериментальных исследований.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты докладывались на конференциях:

Международная научно-техническая конференция «Тяжелое машиностроение. Проблемы и перспективы развития» (г. Краматорск 2014г.)

**Публикации.** По результатам магистерской работы опубликовано 3 работ, из них: 2 в специализированных изданиях ВАК Украины, 1 тезисы доклада.

**Структура и объем работы.** Магистерская работа состоит из введения, шести разделов, общих выводов, списка использованных источников с 55 наименованиями и 4 приложения. Основной текст изложен на 153 страницах, содержит 51 рисунок, 9 таблиц. Общий объем работы содержит 170 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна и практическое значение полученных результатов. Приведен уровень апробации работы, личный вклад соискателя и количество публикаций.

**Первый раздел** посвящен анализу нынешнего состояния вопроса по теме. Основная группа станочного парка машиностроительных предприятий Украины - это токарные станки. На тяжелых токарных станках с числовым программным управлением проводится обработка большинства деталей, которые входят в состав современных тяжелых машин. Это прокатные валки, роторы турбин, колесные пары железнодорожного и горного транспорта, корабельные гребные валы и многое другое. Поэтому повышение технических характеристик тяжелых токарных станков является актуальной задачей для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой машиностроительной продукции.

Тяжелые токарные станки выпускают несколько производителей, такие как:

Краматорский завод тяжелого станкостроения, Украина

На сегодняшний день ОАО «КЗТС» является одним из крупнейших в мире разработчиков и изготовителей, тяжелых и уникальных металлорежущих станков для механической обработки деталей вращения диаметром до 6000 мм и весом до 250 т, станков для обработки осей и сформированных колесных пар подвижного состава железнодорожного транспорта, чугунного и цветного литья, сварочных конструкций, молотовых поковок. География поставок охватывает более 50 стран мира.

Станок тяжелый токарный модели 1К675Ф3

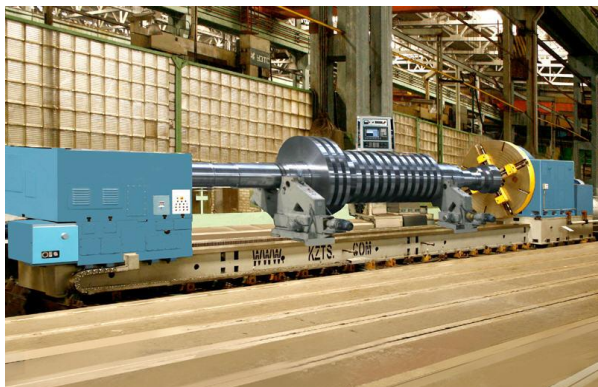


Рис. 1. Тяжелый токарный станок 1К675Ф3

Высокопроизводительный тяжелый токарный станок с ЧПУ модели 1К675Ф3 предназначен для чистовой и черновой токарной обработки по программе изделий из стали, чугуна и других материалов. Производится обработка самых сложных поверхностей (цилиндрических, конических, криволинейных), нарезание любых видов резьбы, растачивание отверстий на глубину до 1000 мм, торцевая обработка с постоянной скоростью резания. Конструкция - с отработанной эргономикой. Оснащен современным суппортом с двумя ламельными боковыми резцедержателями.

Гидростатические направляющие обеспечивают движение и нагрузочные характеристики роликовых систем и увеличить удельную мощность машины.

С развитием станкостроения, гидростатические линейные направляющие считается лучшим техническим решением для гашения вибраций в месте нагрузки системы. гидростатика также может выдержать тяжелые грузы и загрязненные среде. Однако, всегда загвоздкой: большинство традиционных гидростатические направляющие являются относительно дорогой визна, много времени для установки и требует большего инженерных решений по сравнению с обычными линейными направляющими. По этим причинам, они редко применяются.

Теперь, новые компактные гидростатические линейные направляющие решения старых проблем. Построенный по размерам стандартных линейных направляющих профилированных-линейных направляющих, они вписываются в тот же пространства, как типичных рециркуляции подшипников и направляющих узлов - дать инженерам и машиностроителям преимущество в не имеющем себе равных демпфирования, и не требуя идти на компромиссы.

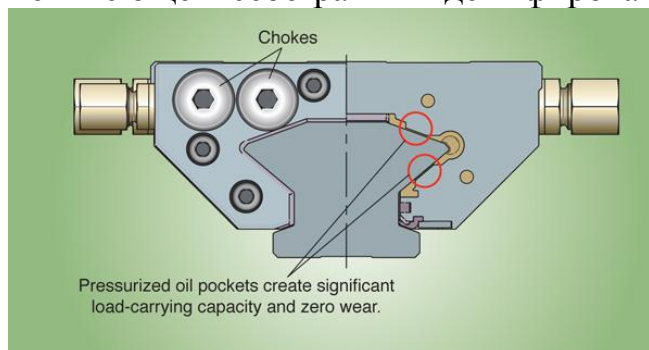


Рис. 2 Каретка гидростатических направляющих

**Второй разделе** рассматривается теоретические основы и методика создания экспертной системы по конструированию на концептуальном уровне Суппорт в данной работе рассматривается в соответствии со структурой приведено на рис2.1.



Рис.3 Иерархическая структура суппорта

В свою очередь каждый из элементов структуры представляет собой развитую модель иерархической структуры. Представление данных об элементах в виде модели иерархической структуры позволяет структурировать и систематизировать данные и конструкторские решения, принадлежащие элементу. Глубина ветвей модели иерархической структуры не превышает пяти ступеней. Модель призвана отразить общую картину и тенденцию конструкторских решений при создании суппортных групп, без детальной и глубокой проработки решений. Это позволяет интегрировать эту модель иерархической структуры в модель экспертной системы, без утяжеления ее разветвленным как по горизонтали, так и по вертикали иерархическим деревом. В то же время модель иерархической структуры имеет возможности дополнения, уточнения и более глубокой проработки. Особенностью модели иерархической структуры является то, что узловые точки дерева представляют собой логические узловые точки и соответствуют операторам "И" и "ИЛИ". Таким образом, реализована ситуация возможного совместного применения под элементов какой-либо ветви дерева или же исключительно одного из под элементов ветви.

Структура системы позволяет работать в двух режимах:

1. Сквозное конструирование - все действия и принятия решений производятся системой в автоматическом режиме (за исключением ситуаций с равнозначными решениями, в которых выбор остается за пользователем). Это в значительной степени (в несколько раз) сокращает время конструирования, исключает возможные ошибки при принятии решений, обусловленные игнорированием правил и/или путей, заложенных в систему на основе знаний ведущих экспертов в области станкостроения. Недостатком данного режима является исключение влияния пользователя-конструктора на поведение системы при непосредственном процессе выработки решения.

2. Пошаговое конструирование - каждое действие по правилу или блоку правил требует подтверждения пользователя-конструктора или же пользователь может изменить ход конструирования, предложенный системой. Режим пошагового конструирования в полной мере позволяет пользователю-конструктору контролировать процесс разработки и, что в большей степени важно, реализовать возможности интуиции конструктора в той или иной ситуации. Недостатками режима пошагового конструирования является многократное увеличение времени разработки и возможное ухудшение конструкции при игнорировании предложенного системой хода конструирования, основанного на знаниях лучших экспертов.

Используя достоинства различных режимов, система предлагает наилучшие временные и конструктивные результаты при создании суппортных групп.

Знания представлены в виде продукционных правил [29]. Особенностью построения правил является возможность построения правил с двумя и более действиями, с учетом дополнительных условий, реализованных благодаря логическому оператору "И". Таким образом, возможна ситуация частичного выполнения правила. Такая схема построения правил значительно расширяет возможности экспертов при создании базы знаний и пользователя при эксплуатации системы. В свою очередь условия и действия правил представлены в виде семантических сетей, которые реализованы так же в виде правил, обрабатываемых в процессе работы системы.

### **Третий раздел гидростатических направляющих тяжёлых станков**

#### **Анализ существующих методик расчета направляющих**

Параметры направляющих необходимо рассчитывать с высокой точностью: погрешность расчета по сравнению с экспериментальными данными не должна превышать 10...15%. При расчете пользуются допущениями: поток масла считается одномерным, и сопротивление опор истечению, поверхности которых не параллельны, определяют по средней толщине пленки каждого кармана.

Расчет несущей способности, жесткости масляного слоя проводят, принимая во внимание упругие деформации деталей опоры. При анализе жесткости масляной пленки достаточно ввести и расчет начальный зазор  $h_0$  в гидростатической опоре, который принимается постоянным. Он обуславливает такой же дополнительный расход масла через опору, как и реальная погрешность рабочих поверхностей опоры.

В результате деформаций деталей, образующих опору, давления в отдельных карманах могут превышать средние значения в 2...3 раза. Во многих случаях взаимодействие базовых деталей через слой смазочного материала можно заменить связью через пружины (по числу карманов) постоянной (средние смещения) или переменной (большие смещения) жесткости.

#### **Методы реализации исходных уравнений**

Исходные уравнения в достаточно полном виде без грубых упрощений можно реализовать численными методами приближенного решения дифференциальных уравнений в частных производных. При этом решение может быть получено с высокой степенью точности, с использованием большого количества вариантов соотношений различных параметров.

В настоящее время наиболее распространенными являются методы конечных разностей и конечных элементов.

Наиболее широкое распространение получили конечно-разностные методы. Глубоко аргументированным обоснованием правильности выбора конечно-разностного метода для решения уравнений в частных производных второго порядка, которым является исходное уравнение гидродинамической теории смазки, и подтверждением эффективности применения этого метода могут служить доклады, опубликованные в сборнике работ [31].

В последние 10-15 лет начал применяться для задач гидромеханики метод конечных элементов [32,33]. С математической точки зрения этот метод представляет собой обобщение метода Рэллея-Ритца-Галеркина. Представляется, что основным преимуществом метода конечных элементов для решения задач гидродинамической теории смазки является его органическая способность реализовать граничные условия, полагающие равенство нулю искомой функции и первой производной от нее в соответствующем направлении.

Разработана методика расчета гидростатических направляющих, основанная на совместном решении задачи течения жидкости в зазоре между сопрягаемыми поверхностями с различными системами питания с учетом упругих и тепловых деформаций.

**В четвертом разделе** Высокопроизводительный тяжелый токарный станок с ЧПУ аналог модели 1К675Ф3 предназначен для чистовой и черновой токарной обработки по программе изделий из стали, чугуна и других материалов. Производится обработка самых сложных поверхностей (цилиндрических, конических, криволинейных), нарезание любых видов резьбы, растачивание отверстий на глубину до 1000 мм, торцевая обработка с постоянной скоростью резания. Конструкция - с отработанной эргономикой. Оснащен современным суппортом с двумя ламельными боковыми резцедержателями.

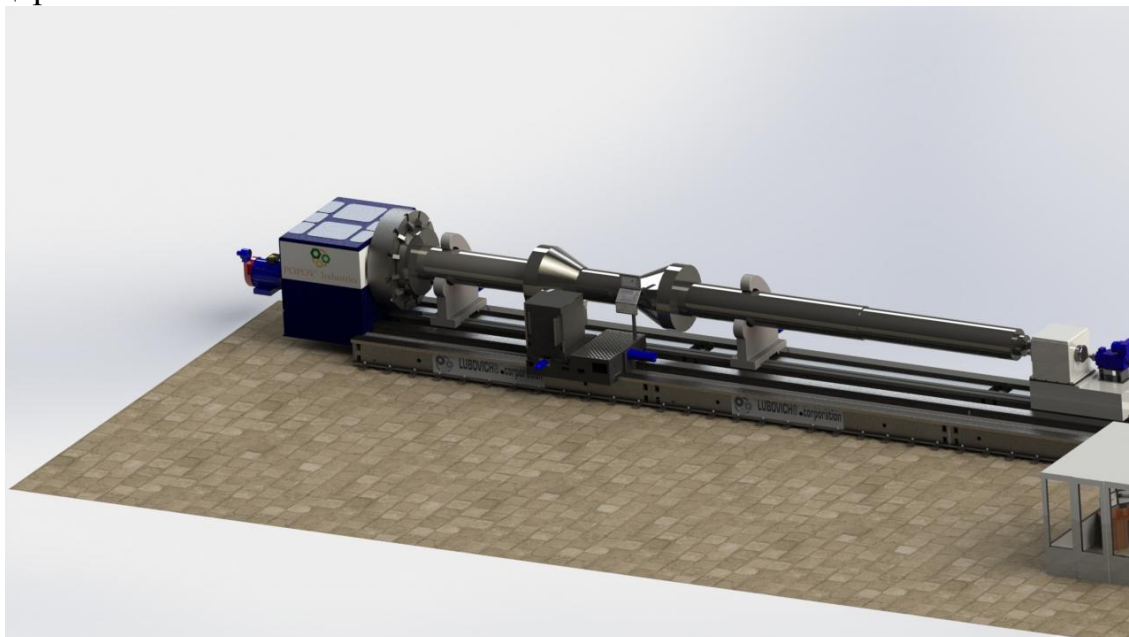


Рис 4. Тяжелый токарный станок

#### Описание узла суппорта

Гидростатические опоры направляющих применяются в тяжелых токарных станках, в которых требуемая точность перемещения не обеспечивается подшипниками качения. При работе гидростатических направляющих узлов тяжелых токарных станков имеют место особенности, связанные с большими рабочими нагрузками, относительно малым перемещением, требованиями обеспечения высокой точности, которые необходимо учитывать при их проектировании.



Узел суппорта находится на литых чугунных направляющих. На суппорте выполнены гидростатические карманы (рис. 1), в которые подается масло через специальные каналы. При работе станка гидростатические опоры удерживают суппорт с помощью давления масла а его осевое перемещение фиксируется с помощью гидростатического червяка. 3 Структурная схема датчиков

Узел суппорта тяжелого токарного станка с гидростатическими опорами представляет собой сложную и взаимосвязанную схему гидроапатиты и электронной части которая ею управляет. Многопоточный насос, регулирующие клапана и напорный насос связаны между собой не только гидроприводом но и электроникой. Принцип действия заключается в том что датчики которые находятся друг на против друга  $D_1$  и  $D_2$  и др. связаны попарно и передают сигнал на преобразователь сигнала датчика (см. рис. 2) затем ПСД находит разницу зазора  $\delta$  (см. рис. 2) между каждым датчиком и шпинделем и передает уже готовый результат на микроконтроллер который в свою очередь производит обработку результата и дает команду на регулирующие клапана. Сигнал с микроконтроллера проходит через ЧИП который в свою очередь имеет собственную тактовую частоту, преобразует частоту и передает сигнал дальше через усилитель на регулятор. Регулятор который получает команду плавно открывает или закрывает подачу смазки. Излишнее давление поступает в общий канал сброса и сливается в бак.

Тип передачи сигнала в узле – . Такой тип передачи позволяет производить плавный и своевременный сигнал от датчика к микроконтроллеру, от микроконтроллера к рабочему органу.

После того как узел заработал он дает команду для системы ЧПУ что можно производить обработку. Узел суппорта начинает свою работу сразу же после включения питания в станке.

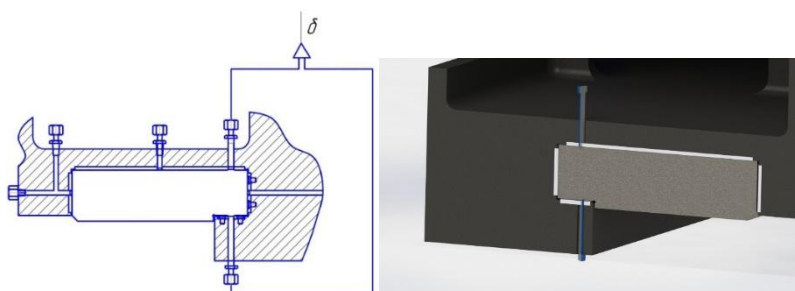


Рис 5 Схема расположения датчиков

Принцип действия системы управления

Алгоритм работы микроконтроллера заключается в том что он получает сигнал с преобразователя датчика. Сигнал несет в себе число со знаком, это число определяет величину разности показаний одной пары датчиков. Затем эта разность обрабатывается исходя из неравенств:

$$\Delta p = k_n \delta + k_u \int \delta dt;$$

$$\Delta p = k_n \delta + k_u \int \delta dt + k \delta \frac{d\delta}{dt};$$

Этот алгоритм вычислений производится для каждой пары датчиков. После того когда будет произведен расчет всех пар идет соответствующая

команда. Производится решение в зависимости от полученных результатов и подается сигнал на регулятор давления. Регулятор давления в зависимости от сигнала начинает открываться или закрываться тем самым изменяя давление в карманах. Действующая блок-схема и программа представлены в приложении А.

Суппорт был нагружен расчётной максимальной силой резания которая соответствует черновой обработке сила  $P_z=200\text{kN}$ ,  $P_y=90\text{kN}$ ,  $P_x=70\text{kN}$  также была приложена сила тяжести. Опорными поверхностями которые принимали нагрузки служил поверхности которые должны соприкасаться с станиной.

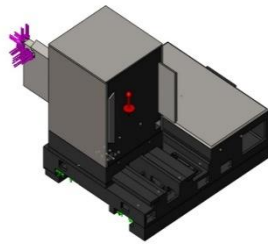


Рис.6 Схема нагружения

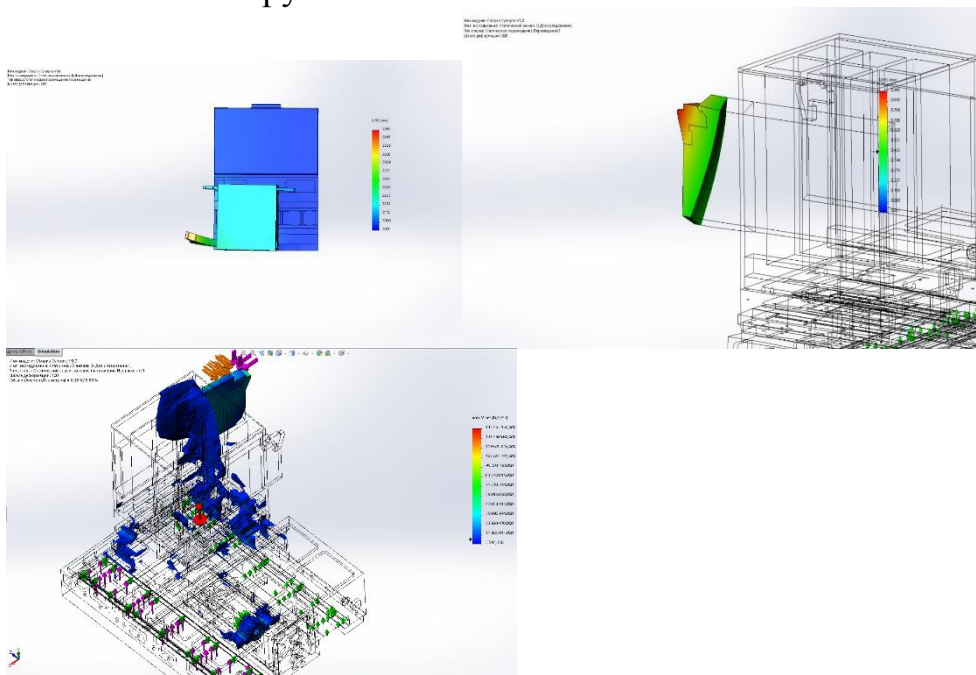


Рис. 7 Эпюры деформации суппорта

Анализируя полученные эпюры можно сказать что вес компоненты данной группы прошли испытание исходя что максимальные напряжённые состояния находятся в зелёной зоне шкалы которая соответствует номинальной нагрузки для элемента. Так как суппорт подвергался исследованию при максимально неблагоприятных условиях- максимальный вылет резцедержателя, максимальная сила резания, мы получили значительное отклонение режущей кромки в размере 0,64 мм что видно на рисунке 5 данное смещение возникло из за значительного вылета резцедержателя на эпюре с применением автоматического отсечения придельных отклонений и деформаций рисунок 7 показано место критического отклонения. Исходя из этих данных мы можем судить что при черновом точении необходимо

использовать минимальный вылет державки чтобы избежать больших отклонений

На эпюрах представленных на рисунках 7 изображено статическое узловое напряжение общий вид и с выделением наиболее нагруженных областей.

Разработана конструкция гидростатических направляющих суппорта для тяжелого токарного станка с рациональными конструктивными параметрами.

Создано описание система адаптивного управления обеспечивающая программное вычисление давления исходя из измерений перемещения суппорта под нагрузкой и определения давления которое противодействует перемещению суппорта

Гидростатические направляющие позволяют обеспечить высокие показатели точности, жесткости, надежности станочного оборудования; позволяют контролировать нагрузки и облегчают реализацию самонастраивающихся систем; они позволяют легко автоматизировать ряд процессов.

Моделирование работы суппорта при повышенных нагрузках показало удовлетворительную работоспособность данного узла.

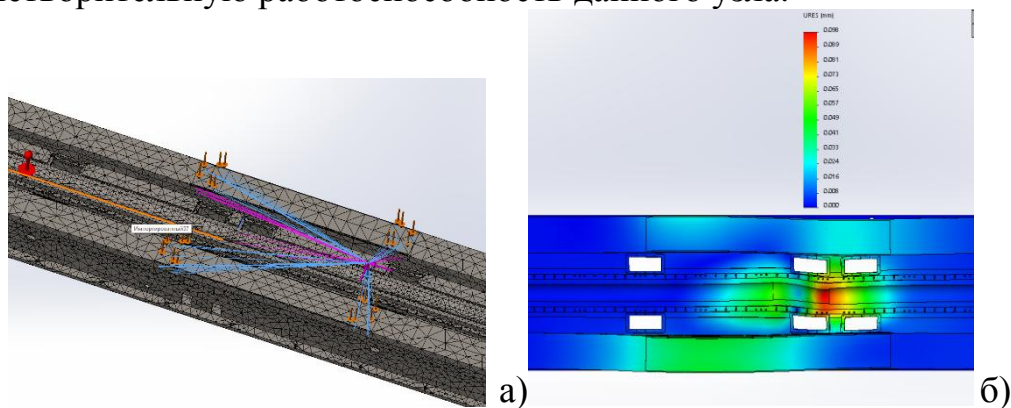


Рис. 4.23 Расположения нагрузок и эпюра перемещений

Смоделированная сварная станина была испытана под нагрузкой в программном пакете solidworks simulation.

Проанализировав полученные данные было дано заключение о работоспособности .

**Пятый** раздел является экономической частью магистерского дипломного проекта, в которой рассчитана себестоимость единицы продукции, оптовая и отпускная цена, рентабельность производства.

**В шестом** разделе посвящен вопросу охраны труда. Проведен анализ опасных и вредных производственных факторов, мероприятия по промышленной санитарии, технике безопасности. Выполнен расчет освещение помещения инструментального цеха, рассчитана система защитного заземления.

## **ВЫВОДЫ**

1. В узлах и опорах тяжелых многоцелевых станков необходимо применения гидравлических опор.
2. Гидростатические направляющие выдерживают высокие нагрузки и обеспечивают высокоточное перемещение даже при скоростях близких к нулю и возможность создания направляющих различных типоразмеров.
3. Создана иерархическая структура основных узлов суппорта, проанализирована группа программного обеспечения для выбора программной среды создания единой системы концептуального проектирования для объединения сквозного проектирования с пошаговым для улучшения качества и скорости выполнения задач.
4. Разработана методика расчета гидростатических направляющих, основанная на совместном решении задачи течения жидкости в зазоре между сопрягаемыми поверхностями с различными системами питания.
5. Разработано описание система адаптивного управления обеспечивающая программное вычисление давления исходя из измерений перемещения суппорта под нагрузкой и определения давления которое противодействует перемещению суппорта
6. Разработана и исследована конструкция суппортов для тяжёлого станка с гидростатическими направляющими позволяющие осуществить обработку труднообрабатываемы материалов с высокой точностью.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ МАГИСТЕРСКОГОДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

1. Клименко Г.П., Коноплицкий Е.В., Яворовская Я.И. Исследование напряженного состояния сверл для глубокого сверления / Важке машинобудування, проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування». – Краматорськ : ДДМА, 2013.-с.63.
2. Клименко Г.П., Яворовская Я.И. Исследование конструкций сборного инструмента для глубокого сверления / Надежность режущего инструмента и оптимизация технических систем. – Краматорск : ДГМА, №33, 2014. -с.45-50.
3. Клименко Г.П., Пациора А.П., Яворовская Я.И. Анализ качества конструкций сборного инструмента для глубокого сверления / Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Важке машино-будування». – Краматорськ : ДДМА, 2014.-с.18.
4. Клименко Г.П., Яворовская Я.И. Повышение качества сборных сверлильных головок / Вестник ДГМА.

5. Яворовская Я.И.  
Совершенствование конструкций и исследование качества сборных инструментов для глубокого сверления / Студенческий Вестник. –Краматорск : ДГМА, № .-с.