

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет

621(07)
Щ984

И.А. Щуров

**МАШИНОСТРОЕНИЕ.
ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР, СОСТОЯНИЕ,
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2014

УДК 621(075.8)
Щ984

Одобрено
учебно-методической комиссией
механико-технологического факультета

Рецензенты:

*проф., докт. техн. наук В.В. Ерофеев,
проф., докт. техн. наук А.Г. Игнатьев.*

Щуров, И.А.

Щ984 Машиностроение. Исторический обзор, состояние, проблемы и перспективы: учебное пособие / И.А. Щуров. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 75 с.

Предлагаемое пособие написано для учащихся старших классов, для тех, кто хотел бы связать свою будущую профессию с машиностроением, кто хотел бы принять участие в стартовавшей осенью 2014 г. Всероссийской Многопрофильной инженерной олимпиаде «Будущее России». Цель пособия – подготовка школьников к этой олимпиаде. Здесь кратко даны основные исторические этапы развития и современное состояние отдельных секторов машиностроения. Показан доступный для понимания учащихся ряд проблем этой отрасли и ее перспективы. Предполагается, что похожие проблемы будут даны учащимся для решения в качестве заданий на заключительном этапе олимпиады. Такие решения могут быть построены на основе сведений из данного пособия, однако оно определяет лишь круг необходимых вопросов и их глубину. Авторы в каждом разделе направляют учащихся к другим, более подробным, источникам информации. В конце пособия приведены пример олимпиадной задачи и порядок ее оценки.

Изложение построено во взаимосвязи с существующими сегодня направлениями подготовки бакалавров и магистров в высших учебных заведениях. Это позволит учащимся лучше понять свои склонности при последующем выборе такого направления.

УДК 621(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что машиностроение является одной из ключевых отраслей любой цивилизованной страны. Бытовая техника: стиральные машины и посудомоечные комбайны, миксеры и швейные машинки; автомобили и самолеты, тракторы и поезда, космические системы и вооружения, – все это продукция машиностроения. Без всей этой техники жизнь современного человека немыслима. Все это производилось, производится и будет производиться еще многие столетия. Более того, появляется новая техника, которая входит в быт: домашние сервисные роботы, компьютеризированные домашние животные, трехмерные принтеры для оперативной печати необходимых в быту мелочей, персональный транспорт для перелетов по воздуху, это и многое другое еще конструируется и доводится до уровня серийного производства. С развитием такой техники развиваются и средства её проектирования и изготовления. Механические устройства в настоящее время все чаще снабжаются электроприводами и компьютерными системами управления. Все это – захватывающая бурно развивающаяся отрасль, которая и называется машиностроением.

Но в машиностроении не все так просто, здесь есть свои проблемы, свои «горячие точки» и прорывные направления. Чтобы разобраться в сложном мире машиностроения, целесообразно посмотреть его историю, его ветви, новые и ключевые направления развития.

Очевидно, что если мы вступаем в какую-то игру, мы должны познакомиться с правилами этой игры, которые, зачастую, складываются исторически. Если мы входим в какую-то область деятельности, в какую-то науку, мы должны познакомиться с ее правилами, познакомиться с ее историей. Это не просто дань памяти достижениям предков, но это и основа для того, чтобы не тратить свое время и время других людей на изобретение уже изобретенного велосипеда. За прошедшие столетия человечество уже много чего придумало и разработало, и чтобы двигаться дальше, нужно изучить этот опыт. Поэтому следующая за Введением часть пособия посвящена истории отдельных направлений работ в машиностроении.

Все эти сведения должны помочь школьникам правильнее оценить свои возможности и еще раз посмотреть на свои наклонности, подобрать направление для своего дальнейшего обучения. В связи с этим и излагаемый материал структурирован в соответствии с перечнем специальностей и направлений подготовки высшего образования, утвержденных приказом № 1061 Минобрнауки Российской Федерации от 12 сентября 2013 г.

1. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ

1.1. Начнем с определений

Прежде чем рассматривать историю машиностроения и все связанные с этим понятием вопросы, определимся, что же такое «Машиностроение»? Каков круг проблем, которые планируется здесь рассматривать? Оказывается, здесь сразу не все так просто. Например, толковый словарь русского языка С.И. Ожегова и Н.Ю. Шведовой в середине прошлого века дал такое определение: «Машиностроение – промышленность, занятая производством машин, оборудования и продукции оборонного значения». Такое понятие, по-видимому, требует уточнения. В частности, здесь дается определение машиностроения через «машину» и через запятые далее перечисляются «оборудование» и «продукция оборонного назначения». Если посмотреть в этом же словаре определение «оборудования», то это есть «совокупность механизмов, машин, устройств, приборов, необходимых для работы, производства». Таким образом, «оборудование» – это тоже может быть машина, как, впрочем, и продукция оборонного назначения, такая как автомобили, танки и прочее. Одно в этом определении не вызывает сомнения – первые пять слов: машиностроение тесно связано с производством машин.

Тогда представляется разумным посмотреть и определение самого понятия «машина». Например, определение машине дано в известном словаре Ф.А. Брокгауза, И.А. Эфрона, изданном в начале двадцатого века. «Слово «Машина» всякому понятно, но точное определение понятия, обозначаемого этим словом, установлено только в течение настоящего столетия благодаря стараниям целого ряда ученых, трудившихся над классификацией понятий практической механики. Принятое в настоящее время определение понятия «М» принадлежит Францу Рело, профессору высшей политехнической школы в Берлине; определение это такое: «М» есть соединение способных к сопротивлению тел, устроенное таким образом, чтобы действующие на них природные силы производили определенные движения. Смотря по тому, состоит ли главная цель «М» в том, чтобы перемещать тела, или в том, чтобы их обрабатывать «М» разделяются на перемещающие и обрабатывающие». Из этого определения, несомненно, следует одно: машина – это собранная в единое целое совокупность деталей, все или некоторые из которых совершают движения. Позднее это определение было расширено. В упомянутом словаре С.И. Ожегова и Н.Ю. Шведовой «Машина – механическое устройство, совершающее полезную работу с преобразованием энергии, материалов или информации». В последнем случае в словаре называется *электронно-вычислительная машина (ЭВМ)*, что, очевидно, не связано с движениями. Появившиеся в последнее время твердотельные накопители (solid-state drive, SSD) позволяют полностью

исключить в компьютерах движущиеся части. Таким образом, ЭВМ – это, скорее всего, исключение из понятия машина, как оно было дано первоначально в связи с движениями.

Вернемся к более позднему определению понятия «машиностроение». В Советском энциклопедическом (1989) и политехническом словарях (1989) дано определение: «Машиностроение – комплекс отраслей промышленности, изготавливающих орудия труда для народного хозяйства, транспортные средства, а также предметы потребления и продукцию оборонного назначения». Понятие «предметы потребления» представляется достаточно широким. По-видимому, сюда можно отнести и одежду, и радиотовары, и даже книги, что, очевидно, не является продукцией машиностроения.

Такой экскурс в терминологию в данной книге дан автором, не лингвистом по профессии, неслучайно. Всякая наука начинается именно с терминологии. А в промышленности вопросы терминологии чрезвычайно важны. Почему? Потому, что в промышленности, в машиностроении, в производстве машин задействовано большое число людей, организованных зачастую в большие коллективы. Они сотрудничают как одна команда, и в основе такого сотрудничества – передача информации между смежными коллективами, между людьми, которые работают в производственной цепочке. Если один человек или группа работников неправильно поймут намерения других людей, то последствия могут быть катастрофическими: от невозможности сборки в единое изделие сложной машины, до аварийных последствий работы таких машин. Представьте, что слесарь-сборщик попросил болты, а ему принесли винты. Вопрос, а чем болт отличается от винта? Найдите, пожалуйста, официальную информацию в виде стандарта, которая бы дала ответ на этот простой вопрос. Поэтому не случайно в такой отрасли как машиностроение утверждено множество стандартов, связанных с самой терминологией. Например, для широко применяемых в машинах болтах, винтах и других резьбовых соединений издан стандарт ГОСТ 11708-82 «Резьба. Термины и определения». В качестве примера приведем первое определение из этого стандарта. «Винтовая линия резьбы – линия, образованная на боковой поверхности реального или воображаемого прямого кругового цилиндра (черт. 1) или прямого кругового конуса (черт. 2) точкой, перемещающейся таким образом, что отношение между ее осевым перемещением a и соответствующим угловым перемещением ε постоянно, но не равно нулю или бесконечности». Каждый учащийся может задать себе вопрос, а что такое «прямой круговой цилиндр» и чем он отличается от «цилиндров вообще», которые были изучены на уроках геометрии в школе? И какие еще бывают цилиндры? А конусы? Можно вспомнить и школьное определение, что линия – это геометрическое множество точек. Здесь все эти знания находят свое практическое применение.

А вот еще «прикольное» определение из этого же стандарта, связанное с диаметром резьбы (чего уж проще – диаметр!!!). «Приведенный средний диаметр цилиндрической резьбы – это средний диаметр воображаемой идеальной цилиндрической резьбы, которая имеет те же шаг и углы наклона боковых сторон, что и основной или номинальный профиль резьбы, и длину, равную заданной длине свинчивания, и которая плотно, без взаимного смещения или натяга, сопрягается с реальной резьбой по боковым сторонам резьбы». Нужно ли говорить, что в этом определении используются термины, установленные ранее в этом же стандарте (более пятидесяти). Это один из важнейших параметров, который отражает точность резьбы. А точность, – это то свойство, которое определяет, например: сколько километров проедет автомобиль без ремонта, и как бесшумно он будет работать. Неверно понятая, так же полученная и проконтролированная точность – это причины не только плохого качества, но и причина аварий, которая может иметь и трагические последствия.

Поэтому хотелось бы сразу настроить школьников, связывающих свою жизнь с техникой вообще и с машиностроением, в частности. Терминология – это не шутки. А в стандарте на ту же резьбу ГОСТ 9150 в редакции 1981 года черным по белому написано: «Несоблюдение стандарта преследуется по закону». Это означает, что по-другому понимать что-то чревато и возможными юридическими последствиями.

Между прочим, такие подходы к терминологии отнюдь не особенность российских инженеров, «заформализованных» предыдущим общественным строем. В стандарте ISO 5408-1983 «Cylindrical screw threads. Vocabulary» читаем: «Helix – a curve on a right, circular cylindrical surface, intersecting the generators of the surface at constant angles other than 0 or $\pi/2$ radians (see figure 1)». Читатель может сам сравнить это определение с отечественным и выбрать более четкое и однозначное. И еще, к вопросу о разнице между болтом и винтом. Есть такой документ «Distinguishing Bolts from Screws» изданный в 2012 году «U.S. Customs and Border Protection». В этом документе 21 страница – видимо, есть, что сказать, несмотря на их стандарт ASME B18.2.1–1981, где все определения уже давно даны.

Далее приведем краткий исторический обзор, назовем некоторые проблемы и перспективы машиностроения по отдельным направлениям, частично заимствуя ранее опубликованные материалы.

1.2. История создания и современное состояние технологических машин

1.2.1. История и современные машины механообработки

Как и определение понятия машиностроения, его история – также неоднозначный вопрос. Поскольку данное понятие связано с производством, то можно проследить историю машиностроения как историю технологи-

ских средств для производства машин. К первым машинам вообще можно отнести и телеги, и примитивные орудия первобытных людей. С точки зрения определения машины, приведенного Ф.А. Брокгаузом, И.А. Эфроном, применяемые средства добывания огня путем быстрого вращения деревянного стержня с помощью лука уже можно отнести к машине. Как отмечено в одной из известных книг: «Лучковый привод приспособления для вращения детали или точильного камня был одним из первых узлов будущего станка. Он был известен и с успехом применялся в Древнем Египте около 4000 лет назад» [1]. Если посмотреть состав «станка», то можно увидеть следующие ключевые элементы, которые видоизменно присутствуют и в современных станках (рис. 1.1). В частности, обрабатываемая *заготовка*, а в данном случае это камень, базируется своей нижней поверхностью на поверхности земли. Именно это обстоятельство гарантирует горизонтальность положения заготовки и положение ее отверстия в вертикальном направлении. Колышки, вбитые в землю, так же служат *элементами базирования*, исключая произвольное положение заготовки в горизонтальных направлениях. Одновременно они же и закрепляют заготовку, предотвращая ее смещение во время обработки. Эти колышки – это первые *станочные приспособления*. Третьим важнейшим элементом такой *технологической системы* является вертикальный вращающийся стержень – один из первых *инструментов*. *Приводом* этого инструмента является «устройство» в виде лука и мускульная сила человека. Благодаря этому инструмент совершает вращательные движения. Это самое *главное движение*, благодаря которому и происходит резание заготовки (Dr). Однако, очевидно, что только такого движения недостаточно. Необходимо постоянно подавать инструмент в заготовку. Такое движение – *движение подачи* (Ds) в этом станке реализовано давлением на инструмент горизонтальной балки, левый конец которой закреплен на оси, а правый подвержен действию силы – весу камня. Это один из первых механизмов подачи инструмента. Чтобы заданные движения были реализованы необходимо инструмент и механизм подачи надежно закрепить относительно заготовки. Для этого древние люди использовали конструкцию стола. Четыре стойки: две слева, две справа – это первая *станина* станка. Таким образом, несмотря на примитивность данного устройства, оно имеет все необходимые элементы современных технологических систем. Это *станина*, на которой монтируются механизмы приводов и приспособления для базирования и закрепления заготовки. Это и есть станок. На станке закрепляется указанное приспособление. В приспособлении крепится заготовка. В станке же крепится инструмент. Все это называется технологической системой. Далее будет показана история развития станков и читатель может сам убедиться, что в той или иной мере все перечисленные элементы присутствуют в технологических системах.

Вернемся к цитируемой нами книге. «Согласно утверждению историка Плиния, еще за 400 лет до новой эры мастер с острова Самос в Эгейском море Феодор сделал токарный станок, на котором заготовка вращалась в одну сторону. Станок имел кривошипный механизм, маховик и ножной педальный привод, подобный приводу известной всем швейной машины. Интересно, что на древнегреческих геммах изображали бога Амура, оттачивающего свои стрелы на станке с ножным приводом и кривошипным механизмом. Роль маховика при этом выполнял тяжелый абразивный шлифовальный круг» [2].

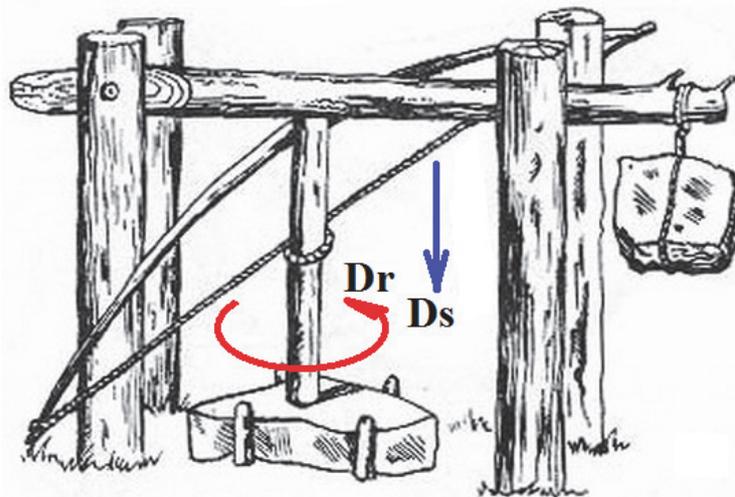


Рис. 1.1. Лучковый сверлильный станок

Производство во все времена было тесно связано с изготовлением оружия. Для изготовления мечей использовались кузнечные инструменты. Короткие мечи позднее уступили место длинным мечам германцев, а затем и шпагам. «В это же время западноевропейские и русские мастера достаточно широко применяли сверлильные и токарные устройства с ручным и ножным приводами. Подобные устройства использовались для обработки дерева, кости, металла. В токарных устройствах резец удерживался и перемещался руками. Уже в то время существовали различные типы резцов, напоминавшие современные проходные, отрезные и отчасти фасонные. В токарных устройствах вращение придавалось заготовке, а в сверлильных устройствах – сверлу» [2]. Холодное оружие сменило огнестрельное и появились соответствующие станки. «Первые сверлильные машины для пушек появились в XV в.: Леонардо да Винчи и позднее Ванучио Барингучио в XVI в. оставили детальные рисунки таких машин. Заметим, что метчиками – инструментом для нарезания резьбы – занимался еще Леонардо да Винчи. Кроме того, этим великим мастером был сконструирован и построен станок для насечки напильников (рис. 1.2). ...Во второй половине XVI в. в Европе появились станки, у которых вращение на шкив шпинделя

передавалось ременной передачей от маховика, который устанавливался отдельно и вращался подмастерьем. Появление отдельного привода позволило мастеру изготавливать изделия более сложной формы и создало предпосылки для появления в XVIII веке ременного трансмиссионного привода вначале от водяного колеса, а затем от паровой машины. ...В XVII в. сразу в трех странах – Франции, Голландии и Германии на токарном станке появился особый резцедержатель – прототип суппорта (рис. 1.3). Резец во время обработки перестали держать в руках. Это сразу повысило точность обработки, возросла ее производительность» [2].

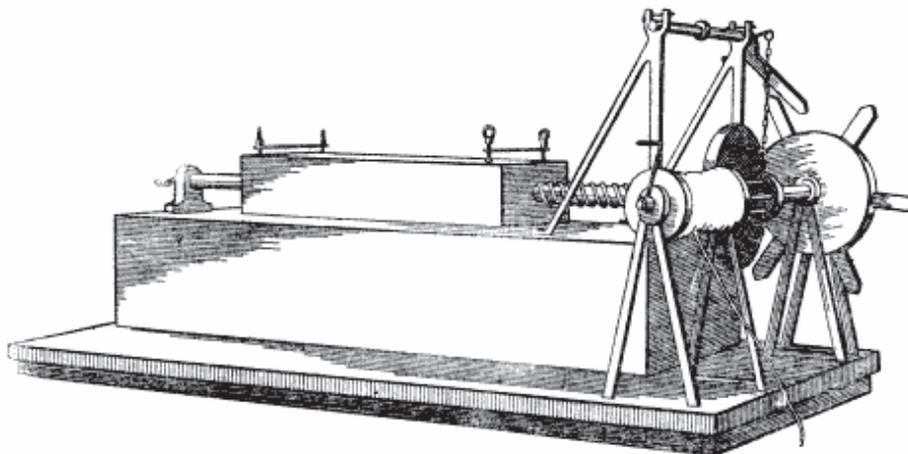


Рис. 1.2. Станок для насечки напильников конструкции Леонардо да Винчи [2]

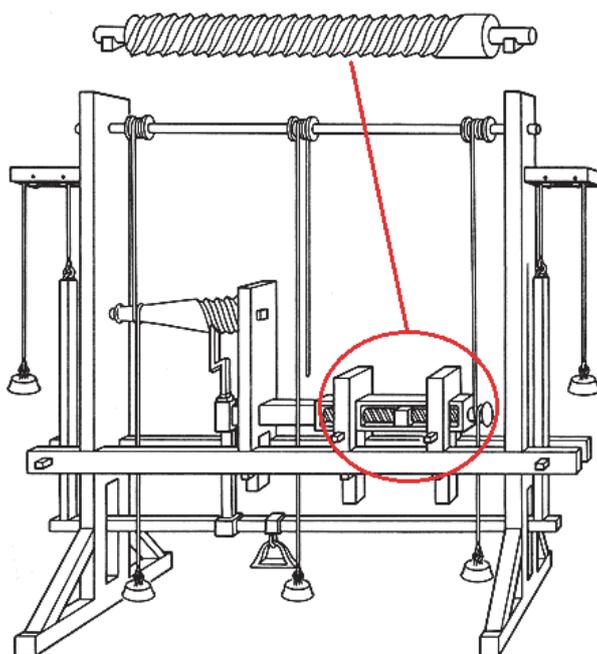


Рис. 1.3. Токарно-винторезный станок. Около 1568 г. по Жаку Бессону

С этого времени технологические средства производства различных изделий, в том числе машин, получили стремительное развитие в Европе. В тот период в России производство станков шло в ногу с европейским и, в ряде случаев, не уступало передовым позициям. Ниже приведем текст из упомянутой книги, относительно истории, которая касается, прежде всего, тульских заводов.

«Впервые проблема самоходного суппорта была успешно решена в копировальном станке А.К. Нартова в 1712 г. А.К. Нартов – русский учёный, механик и скульптор, статский советник, член Академии наук (1723–1756 гг.), изобретатель первого в мире токарно-винторезного станка с механизированным суппортом и набором сменных зубчатых колёс (рис. 1.4).

Русский механик, технолог, инструментальщик Сурнин Алексей Михайлович (1767–1811 гг.) на Тульском оружейном заводе (1792–1811 гг.) разработал технологические процессы, обеспечивающие взаимозаменяемость всех ружейных деталей, организовал их внедрение, а также производство специализированного инструмента.

В начале XIX в. русский инженер Е.С. Якоби построил первый электродвигатель. Впоследствии электродвигатель станет основным элементом привода всех металлорежущих станков.

В 1812 г. выдающийся российский механик Лев Федорович Сабакин (1746–1813 гг.) создает на Тульском оружейном заводе самый тяжелый (25 тонн) на тот период станок для одновременной обработки каналов 42 ружейных стволов. Идея концентрации технологических операций, реализованная в станках Л.Ф. Сабакиным, оказала большое влияние на развитие многопозиционной и многоинструментальной обработки.

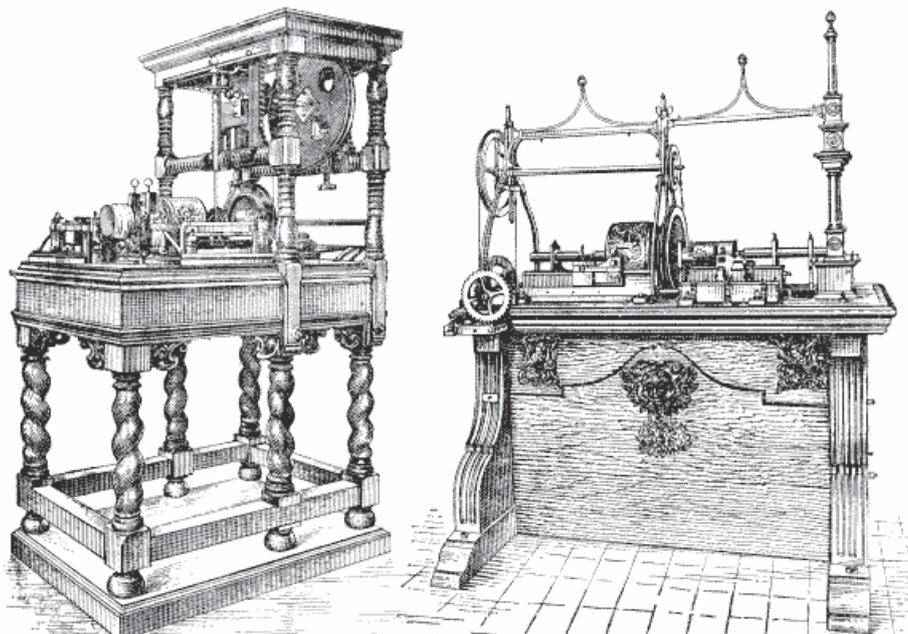


Рис. 1.4. Токарно-копировальные станки А.К. Нартова [2]

Иван Иванович Джонс (1771–1835 гг.) создал на Тульском оружейном заводе инструментальную мастерскую. Ввел штамповку всех деталей ружейного замка (1818–1821 гг.) и новую технологию заварки стволов (1825 г.), обеспечивающую повышение их качества. Разработал и внедрил в производство операцию механической обработки стволов, исключая образование разностенности» [2].

К середине 19-го века машиностроительные предприятия приобрели современный вид. Однако, как отмечают в своей книге современные ученые А.С. Ямников и А.А. Маликов: «Накопленный опыт в России впервые был описан в 1807 г. профессором Московского университета И.В. Двигубским в книге «Начальные основы технологии, или краткое описание работ на заводах и фабриках». В данных трудах еще не было разделения технологии по отраслям промышленности, и машиностроение рассматривалось совместно с металлургией, ткацким производством и т. д.

В первой половине XIX в профессор механической школы в Ганновере К. Кармарш впервые выделил технологию механической обработки в отдельную дисциплину, издав такие труды, как «Введение в механическое учение технологии» (1825 г.), «Основы механической технологии» (1837 г.), «Справочник по механической технологии» (1875 г.). Появление его трудов принято считать началом признания технологии машиностроения как самостоятельной научной дисциплины.

История возникновения металлообработки в России мало исследована, однако известно, что уже в X в. русские мастера-ремесленники обладали высокой техникой изготовления оружия, предметов домашнего обихода и т. п. Известно, что в XVI в. в селе Павлово на Оке и в окрестностях Тулы начала развиваться металлообрабатывающая промышленность, основанная на использовании местной железной руды. Однако только ко времени Петра Первого производительные силы в России получили значительное развитие – ремесло принимает формы «домашней промышленности», мелкие производства объединяются, расширяются в ремесленные мастерские. Постепенно стала развиваться металлообрабатывающая промышленность. Ремесленные мастерские превращались в фабрики и заводы, оборудованные машинами.

В России массового производства металлорежущих станков не было. В основном станки производились на отдельных заводах для собственных нужд или изготавливались небольшими партиями по заказам. В 1875 г. станочный парк России был на 90 % иностранного происхождения. Такое положение сохранилось вплоть до начала первой мировой войны. Даже такие крупнейшие предприятия, как заводы братьев Бромлей и «Феникс», изготавливали станки в объеме 35–40 % от общего объема продукции предприятия.

Причины недостаточного развития станкостроения в стране крылись в слабой металлургической базе России, отсутствии поощрительных мер по развитию станкостроения, беспощинном ввозе станков из-за границы, а также в дефиците опытных рабочих-станкостроителей.

Однако такие крупные заводы, как Невский, Мотовилихинский (Пермь), Нобеля, братьев Бромлей и др. производили станки собственной конструкции: токарные, сверлильные, расточные и строгальные.

В 1874 г. завод Нобеля в Петербурге изготовил фрезерный станок для обработки криволинейных поверхностей и нарезки зубьев колес.

В 80-х гг. конструктор С.С. Степанов изготовил оригинальный комбинированный металлорежущий станок, предназначенный для передвижных железнодорожных мастерских. На нем можно было вытачивать, строгать, фрезеровать и сверлить детали. Станки С.С. Степанова даже экспортировались в США, Германию и Францию.

В конце XIX – начале XX вв. на Харьковском паровозостроительном заводе были созданы универсальные радиально-сверлильный и долбежно-сверлильно-фрезерный станки оригинальной конструкции» [2].

Более подробно историю технологии машиностроения читатель может изучить по процитированной книге.

Переходя к *современному состоянию* технологических машин отметим то, что с середины прошлого века станки стали оснащаться устройствами числового программного управления (ЧПУ), и в настоящее время станки с компьютерными системами управления стали ведущим направлением для производства машин механообработки (рис. 1.5).

Такие станки имеют электроприводы, которые могут вращаться как с частотами в десятки тысяч оборотов в минуту, так и останавливаться в заданном положении поворота с точностью до долей градуса. Коробки с привычными зубчатыми колесами в них отсутствуют. Причем указанный поворот исполнительных механизмов в них осуществляется по программе от «бортового компьютера». Перемещение механизмов с инструментами относительно обрабатываемых заготовок может производиться с микронной точностью. Наряду с использованием чугунных станин применяются и сварные пустотелые станины с заполнением их демпфирующим материалом (песком).

Сегодня задача создания компьютерной модели изделия, его деталей, разработки на этой основе компьютерных программ для управления компьютеризированными станками и роботами, которые будут изготавливать и транспортировать эти детали, производить их сборку, – такая задача стала привычной каждодневной темой машиностроителей (рис. 1.6).



Рис. 1.5. Японский пятикоординатный фрезерный центр и четырехкоординатный проволочно-вырезной станок в научно-образовательном центре «Машиностроение» ЮУрГУ

Резание металлов, композитных и других перспективных материалов на станках производится как лезвийными (резцы, сверла, фрезы и т. д.), так и абразивными инструментами. Наряду с этим появились и относительно новые процессы: гидроабразивное резание, электроэрозионное резание, использование лазеров. Все это позволяет вести высокопроизводительную обработку не только привычных металлов, но и новых высокопрочных материалов.

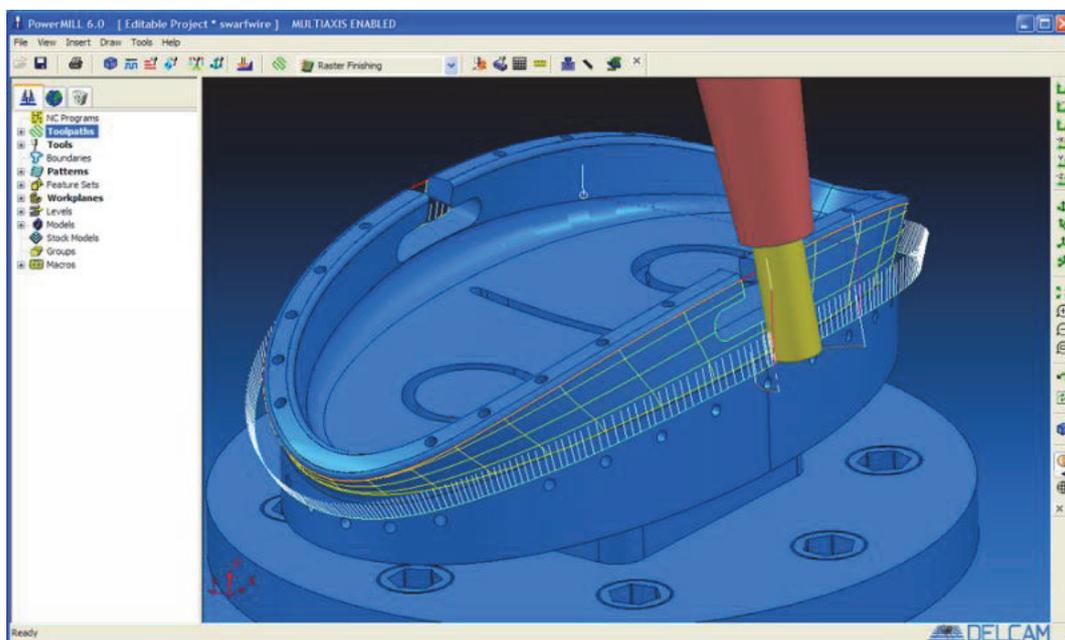


Рис. 1.6. Обработка на станке с ЧПУ в ЮУрГУ и разработка с использованием компьютерной программы технологов-программистов управляющей программы для станка с ЧПУ

Появляются и новые машины, на которых детали получают не вырезанием лишнего металла с заготовки, а добавлением материалов слой за слоем. Это так называемые аддитивные технологии и машины: трехмерные принтеры, устройства для лазерного спекания, фотополимеризация и другие. Сегодня эти технологии представляются еще дорогими, но они становятся все более и более дешевыми и популярными на производстве и даже в быту.

Автоматизация современного производства затронула не только обрабатывающие машины, но и средства транспортировки и снятия-установки заготовок. Промышленные роботы стали обычными машинами современного производства (рис. 1.7). Они используются для резания заготовок фрезерованием, сверлением, шлифованием. Роботы применяются для контроля полученных деталей. В этом случае щуп робота получает с их поверхности облако точек и передает их координаты в компьютер для сравнения с исходной компьютерной моделью такой детали. Роботы применяются для сборки узлов и изделий, при этом нередко использование в роботах систем технического зрения. Сам контроль может осуществляться с использованием лазерных технологий. Современный контролер может касаться поверхности детали рубиновой сферой щупа, установленного в щуподержателе, положение которого, в свою очередь, контролируется отдельно установленной камерой (рис. 1.8, слева). Можно получить облако точек поверхности детали с использованием лазерного трехмерного сканера (рис. 1.8, справа).

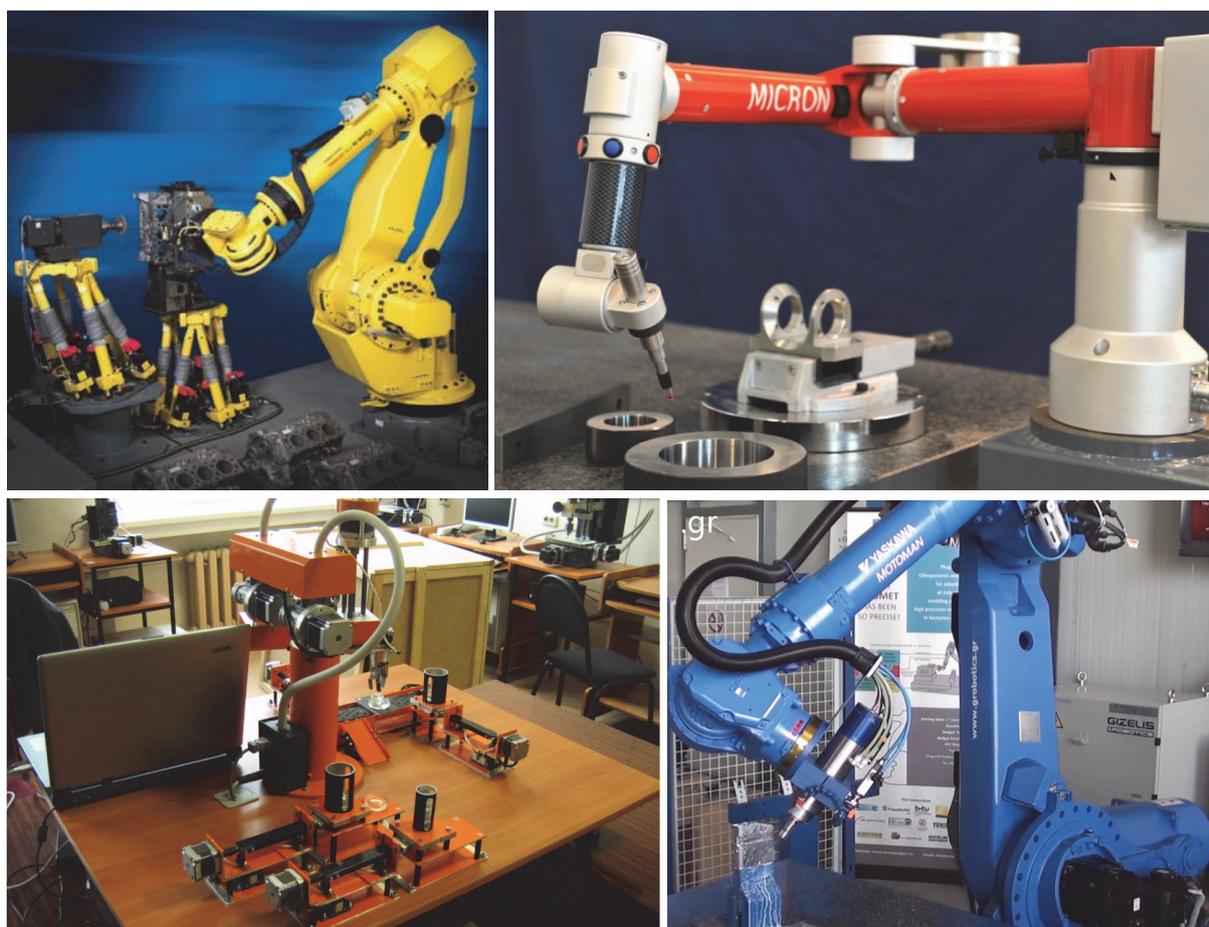


Рис. 1.7. Роботы в механообработке: сверление, контроль, сборка с системой технического зрения (в лаборатории 118 ЮУрГУ), фрезерование

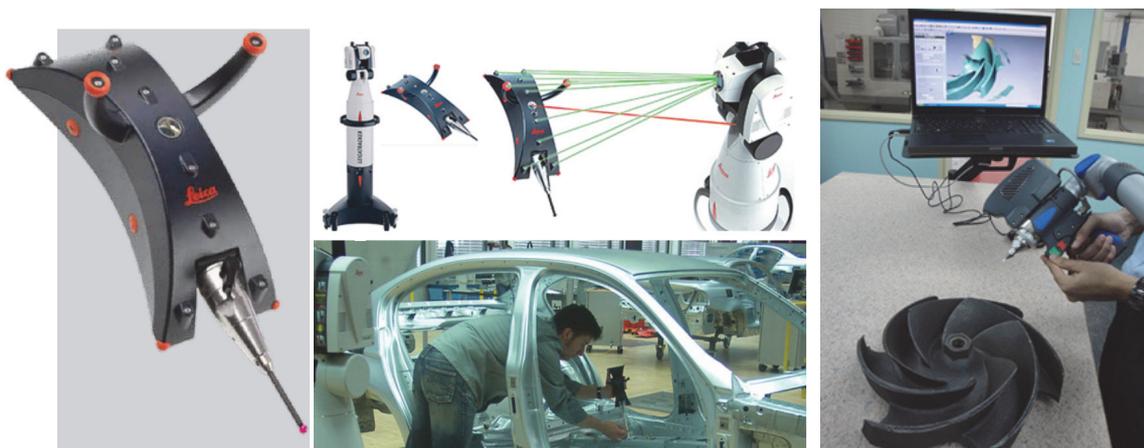


Рис. 1.8. Контроль с использованием координатных измерений

Наряду с процессами резания в машиностроении применяются и другие процессы. Как правило, на машиностроительных предприятиях можно встретить такие производства и процессы, как литейное производство, кузнечно-штамповочное, сварочное производство. Не обходится машиностроение без сборочного производства, отделки, покраски, упаковки.

Машиностроительное предприятие – это, как правило, сложный организм, который включает поддержку всех этапов жизненного цикла выпускаемого изделия от работы с заказчиками и поставщиками, от идеи, дизайна, эскиза и проекта изделия, через его изготовление, до поддержки потребителей, ремонта данного изделия и его последующей утилизации.

Поскольку учащимся школ на заключительном этапе многопрофильной инженерной олимпиады будут предложены проектные задания, то целесообразно подробнее рассмотреть современные станки и способы их представления. К числу наиболее распространенных следует отнести станки токарной группы (рис. 1.9). Заготовки – тела вращения закрепляются в патронах, так что при обработке они вращаются, как правило, вокруг горизонтальной оси. Резцы, закрепляются в резцедержателях и, перемещаясь радиально или/и вдоль оси заготовки, снимают припуск – часть материала такой заготовки. Тем самым получается требуемая деталь.

В нижней части рис. 1.9 показано схематичное изображение токарного станка. Для схем олимпиадных проектов старшеклассников такую схему, показывающую компоновку станка, инструмент и заготовку, можно признать достаточной.

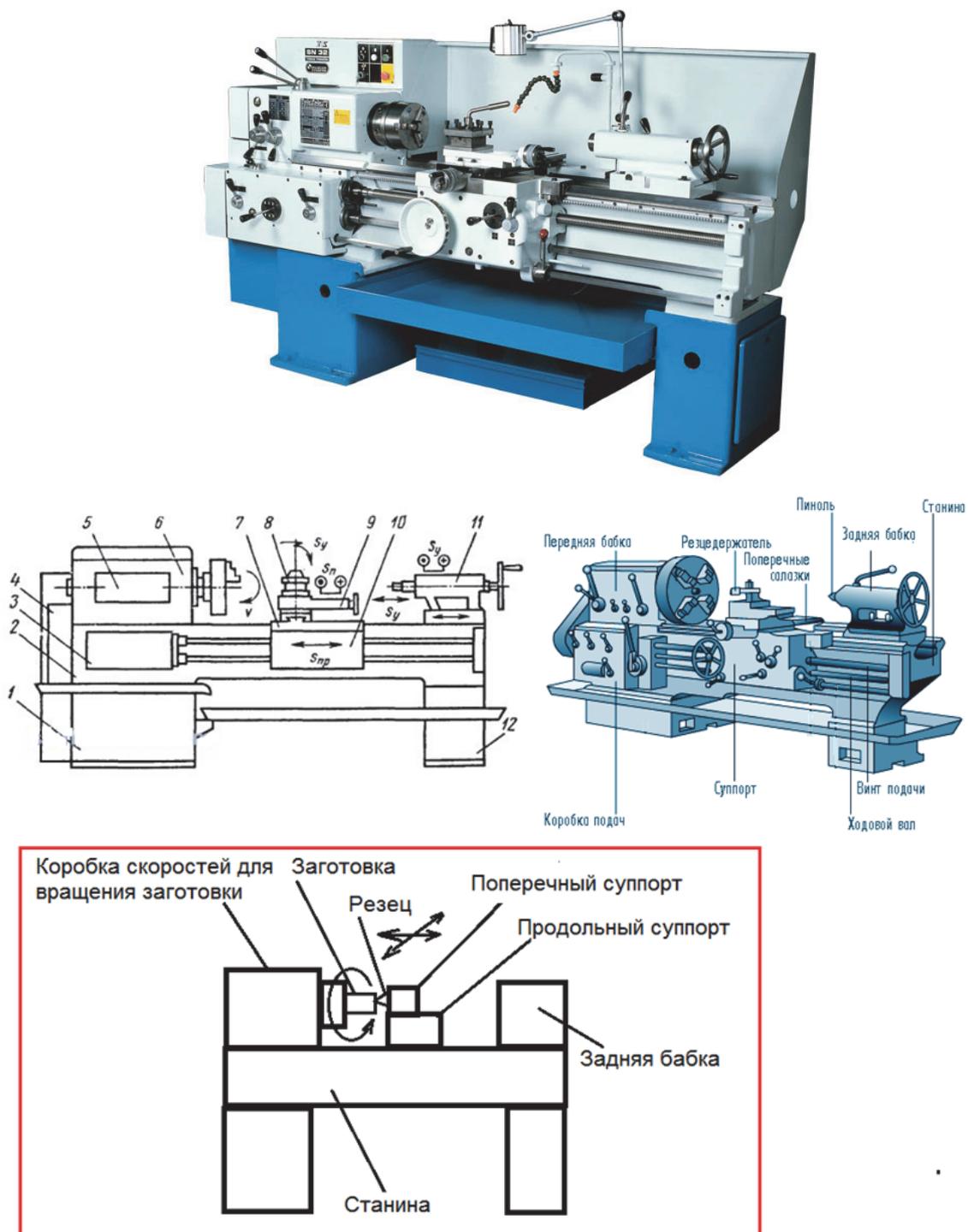


Рис. 1.9. Токарно-винторезный станок и различные схемы его представления: эскиз, трехмерная модель, укрупненная схема

На рис. 1.10 аналогичным образом показан второй тип станков – вертикально фрезерные станки. Здесь заготовка крепится на подвижном столе, а инструмент – фреза вращается вокруг своей оси и режет заготовку.

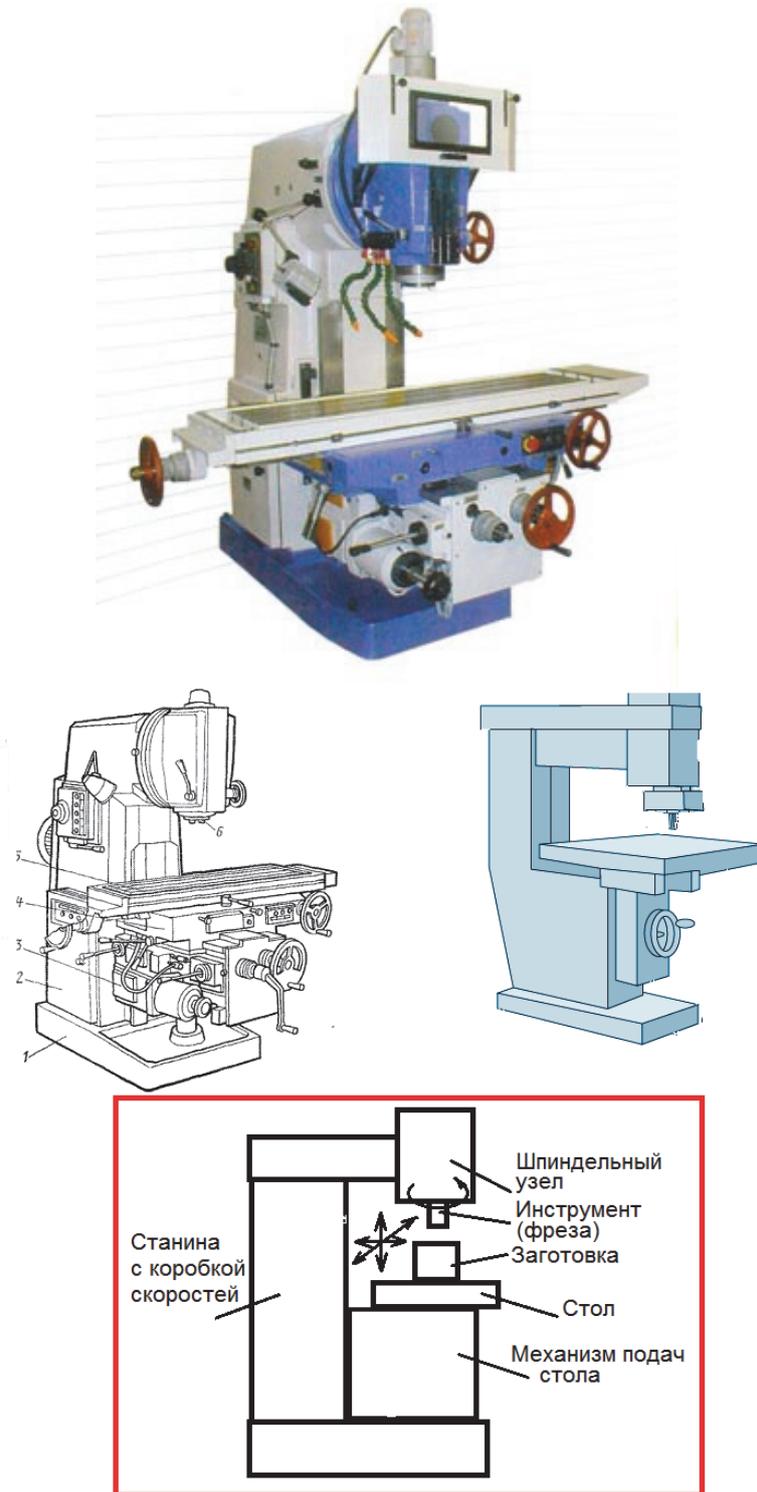


Рис. 1.10. Вертикально фрезерный станок и его схематические представления

Другие станки лезвийной и абразивной обработки: сверлильный (сверло вертикально подается на неподвижную заготовку) и зубофрезерный; круглошлифовальный (аналог токарного станка, но вместо резцов используется вращающийся абразивный инструмент – круг) и плоскошлифоваль-

ный (аналог фрезерного станка, но вместо фрезы используется абразивный круг и заготовка крепится на магнитном на столе станка) показаны на рис. 1.11.

Станки, на которых обработка ведется с использованием других физических эффектов, показаны на рис. 1.12. Это станки: проволочно-вырезной (между натянутой проволокой и заготовкой возникают электрические разряды – искры, которые локально оплавливают заготовку), гидроабразивной резки (струя жидкости с абразивом под давлением режет заготовку), лазерной резки и станки аддитивных технологий, которые наплавливают материалы слой за слоем. К числу последних относятся и отмеченные выше широко известные теперь 3D принтеры, применяемые в технологиях прототипирования.



Рис. 1.11. Станки: сверлильный, зубофрезерный (справа фреза и заготовка в виде зубчатого колеса), круглошлифовальный и плоскошлифовальный



Рис.1.12. Станки: проволочно-вырезной и гидроабразивной резки (справа, соответственно, обработка заготовок); станок лазерной резки и осаждения металла (по аддитивной технологии)

1.2.2. История и современное состояние кузнечно-штамповочного производства

Обработка металлов давлением является одним из ранних видов производства. Кузнец – одна из древнейших профессий. Для размягчения металла его нагревали на огне. Позднее «заготовки для изготовления поковок нагревались в специальных горнах. Долгое время применялся каменный горн с боковым дутьем. В конце XIX в. появились чугунные горны с нижним дутьем усовершенствованного типа, позволявшие регулировать силу огня в зависимости от размеров заготовок. Это имело большое значение при крупносерийном и массовом видах производства.

Нагретые в горнах заготовки поступали в кузницу. Самыми распространенными ковочными инструментами в это время были паровые молоты. Различные системы паровых молотов (Несмита, Моррисона, Конди и др.) отличались друг от друга системами парораспределения, станиной, устройством парового цилиндра и т. д. Наибольшее распространение получил паровой молот Д. Несмита, сконструированный еще в 1839 г. и впоследствии усовершенствованный (рис. 1.13, слева).

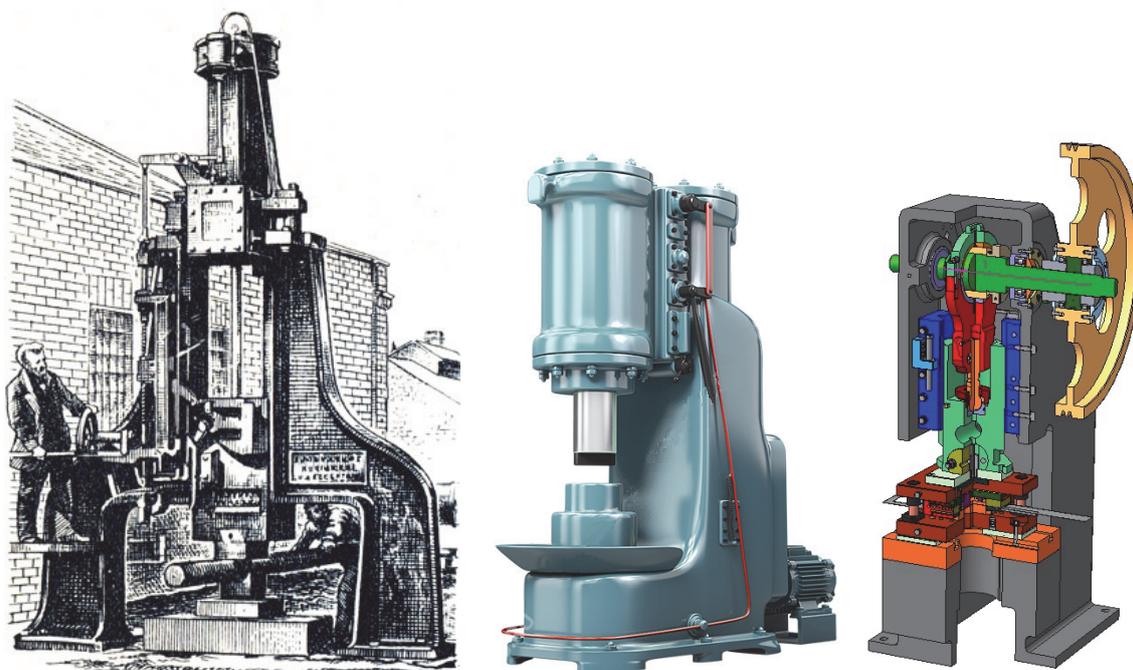


Рис. 1.13. Паровой молот Д. Несмита, современный ковочный пневматический молот и компьютерная модель прессы

На Мотовилихинском (Пермском), Обуховском заводах и на заводе Круппа в Вестфалии в 1870–1873 гг. были сооружены 50-тонные паровые молоты. Особенно замечателен был Мотовилихинский молот, построенный по проекту талантливого русского инженера Н.В. Воронцова (1833–1893 гг.). В 1873 г. был отлит шабот этого молота массой 650 т. Большая действующая модель молота демонстрировалась в том же году на Венской всемирной выставке. По тем временам этот молот был совершенной, высокомеханизированной конструкцией, сочетавшей в себе огромную мощь с простотой в управлении и эксплуатации.

Позднее в Западной Европе сооружались на некоторых заводах и более мощные паровые молоты, а в 1891 г. в США был установлен даже молот массой 125 т.

Однако работа огромных тяжелых молотов вызывала сотрясение зданий, требовала больших фундаментов, громоздких шаботов, вызывала деформацию заготовок, затрудняла использование контрольно-измерительных приборов, усложняла механизацию вспомогательных работ.

С 1885–1886 гг. стали устанавливать гидравлические прессы. Преимущества прессов состояли в простоте действия, независимости давления от толщины поковки, точности обжатия, возможности изготовления изделий из чугуна. Недостаток в работе прессов заключался в их тихоходности. Поэтому использовать их для изготовления мелких и средних поковок было нерентабельно. Гидравлические прессы применялись в основном дляковки крупных слитков. Для изготовления мелких и средних поковок использовались паровые молоты.

Для изготовления более точных изделий в крупносерийном и массовом производстве стала применяться штамповка. Штампы, состоявшие из двух частей: матрицы и пуансона, изготавливались на сверлильных, токарных, фрезерных и расточных станках. Производительность штамповки была в 8–10 раз вышековки.

Рост спроса на продукцию кузнечного производства привел к появлению специализированных кузнечных цехов. Машиностроительные заводы имели один или несколько кузнечных цехов, которые обеспечивали заготовками основное производство» [2].

Как и в предыдущем случае, читателю рекомендуется познакомиться более глубоко с кузнечно-штамповочным производством в соответствующей литературе, которая была процитирована в этом подразделе.

Говоря о *современном положении* машиностроительных производств обработки металлов давлением, следует отметить высокую степень компьютеризации этого направления: здесь также используется компьютеризированное оборудование (рис. 1.14) и роботы (рис. 1.15).



Рис. 1.14. Листогибочный пресс Насо и оборудование лаборатории ЮУрГУ

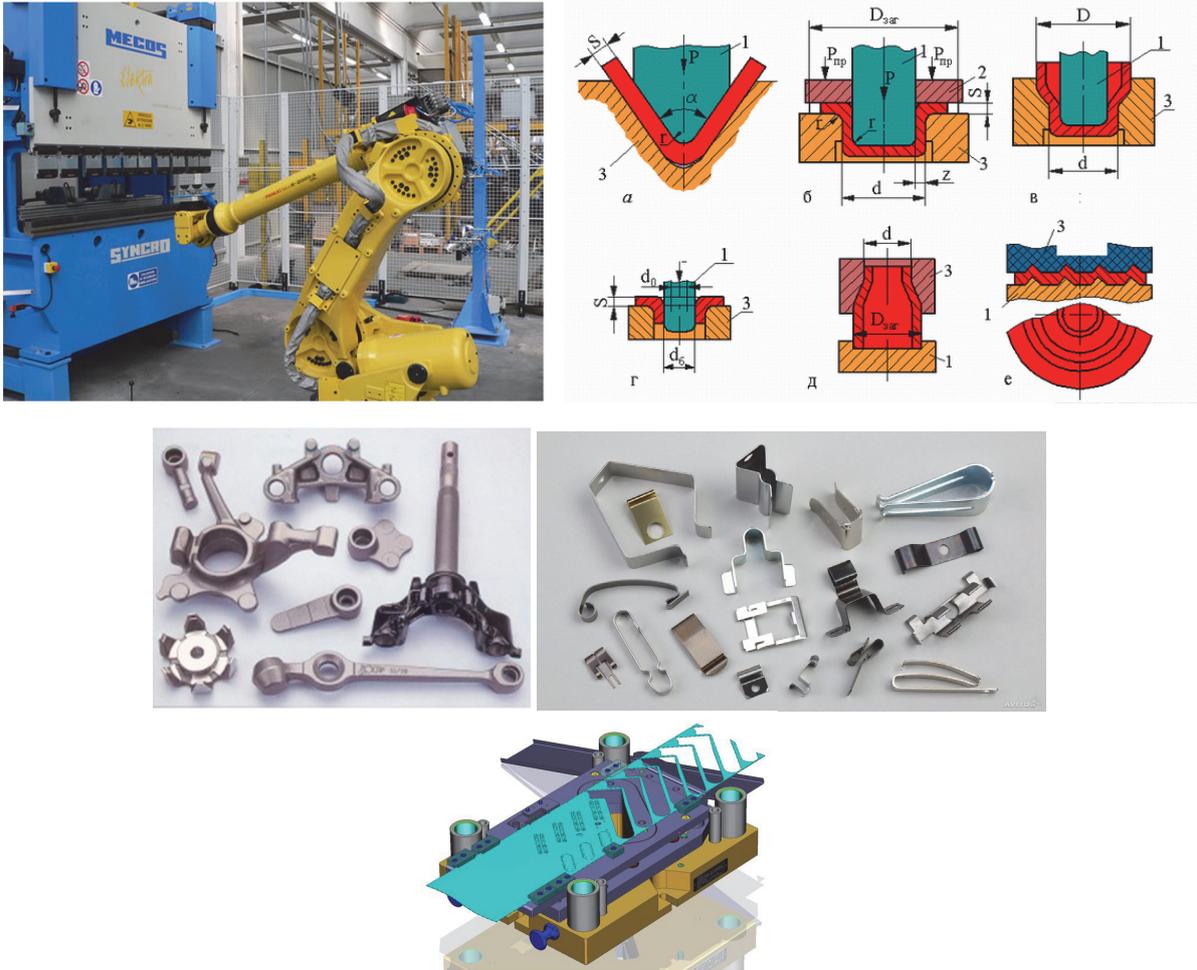


Рис. 1.15. Робот для установки заготовок в компьютеризированный листогибочный пресс, эскизы формообразующих операций, полученные заготовки объемной и листовой штамповки и модель оснастки

К машиностроению относится и производство машин для металлургических производств, в частности, для прокатного производства. Современное прокатное производство существенно отличается от производств прошлого столетия. Так, на Челябинском трубопрокатном заводе (ЧТПЗ) была внедрена «Белая металлургия». Сам цех – «Высота-239» (рис. 1.16–1.18) напоминает помещение торгово-развлекательного комплекса, а центр управления производством напоминает центр управления полетами космических кораблей (рис. 1.19).



Рис. 1.16. Машины трубокатного производства ЧТПЗ

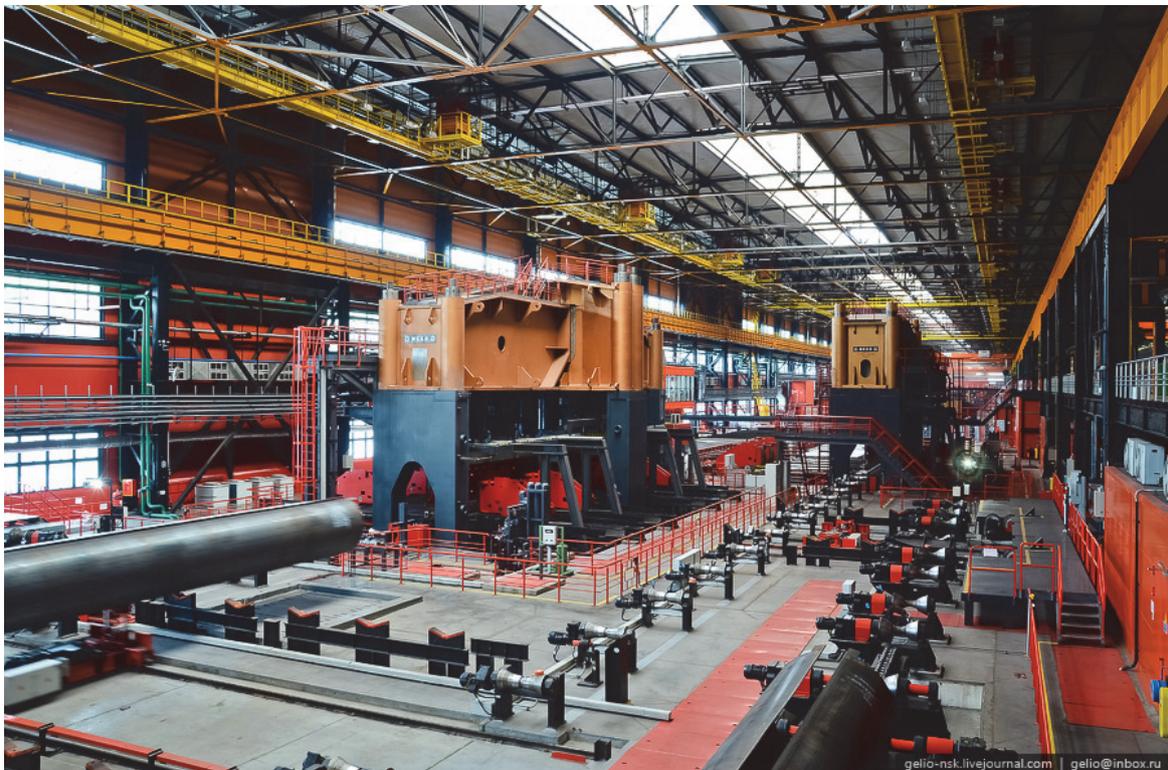


Рис. 1.17. Цех по производству труб на ЧТПЗ

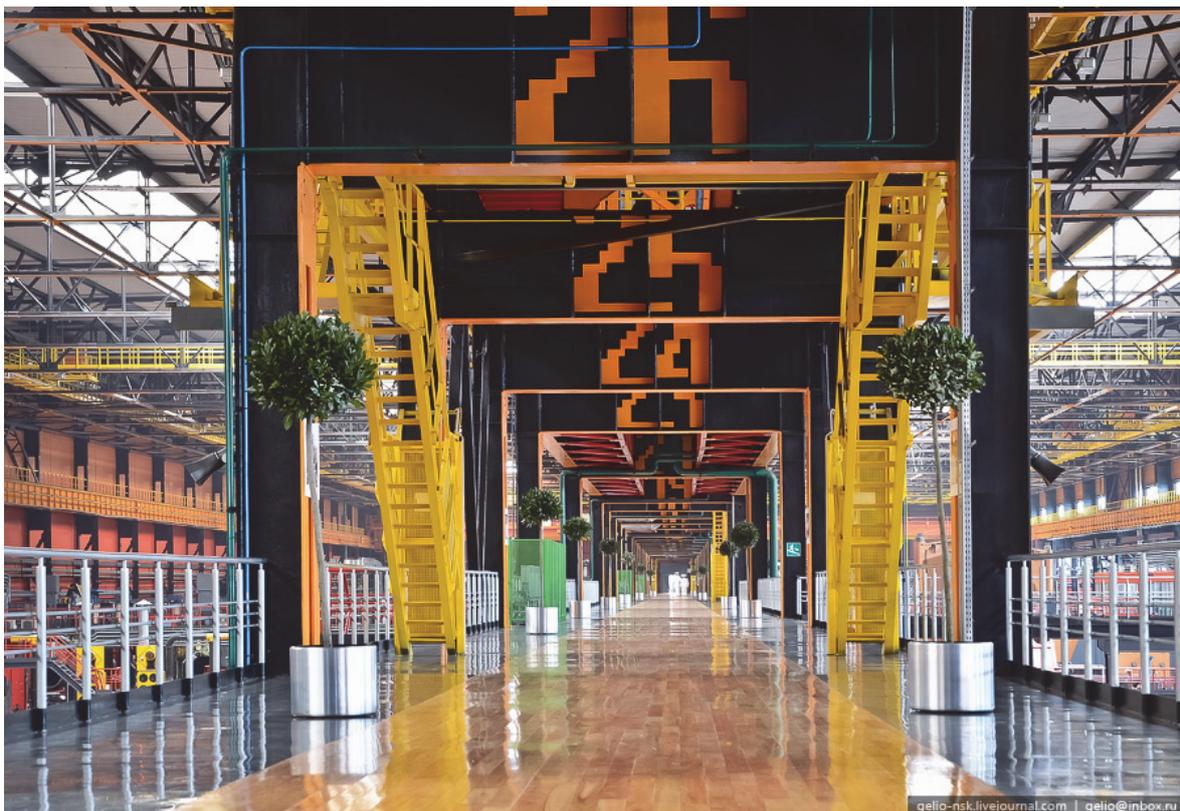


Рис. 1.18. Коридор сквозь трубопрокатный цех ЧТПЗ
и сад камней в цехе

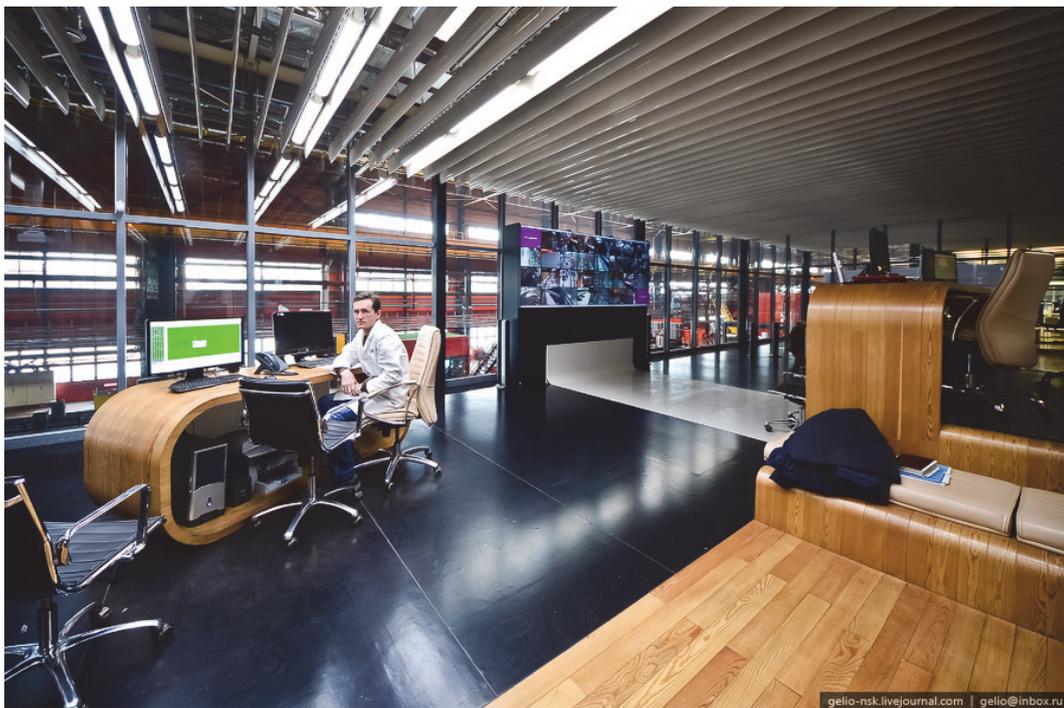


Рис. 1.19. Фрагмент центра управления прокатным производством ЧТПЗ

Таким образом, современные машины трубопрокатного производства – это дорогостоящие компьютеризированные устройства, которые работают в условиях чистоты и порядка в помещениях.

1.2.3. Развитие и современное состояние оборудования сварочного производства

Может показаться странным, но и сварка имеет древнюю историю. Незабвенное соединение двух металлических заготовок в кузнице – также давний и хорошо изученный процесс: кузнечная или горновая сварка. Она заключалась в нагреве изделий в горне и проковке их в месте соединения.

«Однако примитивные способы соединения металлов уже не удовлетворяли возросшим потребностям крупного машинного производства и развивающегося транспорта. Необходимо было найти эффективные способы соединения металлов, позволявшие быстро и дешево не только производить новые машины, но и ремонтировать вышедшие из строя.

Такой способ соединения, а также резки металлов предложил выдающийся русский изобретатель Н.Н. Бенардос (1842–1905 гг.). В 1882 г. он разработал и практически применил для сварки металлов электрическую дугу, которая возбуждалась между угольным электродом и изделием. Бенардос разработал технологию электродуговой сварки встык, внахлест, заклепками и контактную точечную сварку. Такой способ сварки он назвал «электрогефест» (в честь Гефеста – древнегреческого бога огня и кузнечного дела).

В 1898 г. инженер Н.Г. Славянов (1854–1897 гг.) усовершенствовал способ дуговой электросварки Н.Н. Бенардоса. Вместо угольного электрода он применил способ горячей сварки металлическим электродом. С именем Н.Г. Славянова связано изобретение и широкое использование первых в мире электросварочных автоматов, которые нашли широкое признание не только в России, но и далеко за ее пределами.

Использование дуговой электросварки значительно повысило производительность труда, уменьшило массу изделий, позволило ремонтировать такие детали машин, которые ранее не поддавались ремонту. Существенное достоинство этого способа состояло в возможности вести ремонтные работы без разборки машин. Дуговая электросварка обеспечивала герметичность получаемого шва, необходимого при строительстве кораблей, паровых котлов, трубопроводов и т. д.

Однако способы дуговой электросварки имели и свои недостатки, состоявшие, главным образом, в низкой прочности сварных швов. В начале XX в. французские ученые и инженеры разработали способ ацетиленокислородной сварки. Газовая сварка в то время обеспечивала получение сварных швов более высокой прочности, чем электродуговая. Портативность и невысокая стоимость сварочной аппаратуры обеспечили этому способу широкое распространение.

В конце XIX в. для сварки стыков рельсов, концов электрических проводов стала применяться термитная сварка. В термитной сварке для нагрева использовались порошкообразные горючие смеси алюминия или магния с железной окалиной» [2].

Для более углубленного изучения сварки и сварочного оборудования читатель адресуется в упомянутой здесь литературе.

Сегодня сварка – это процессы в воде и в космосе, это плазменная, лазерная и электронно-лучевая виды сварки, и даже есть такие интересные названия, как «сварка трением с перемешиванием» – кстати, весьма перспективное направление сварки (рис. 1.20, средний ряд, справа). Есть сварка ультразвуковая и сварка взрывом, магнито-импульсная и диффузионно-вакуумная.

Сегодня в современную сварку, так же, как и везде, прочно вошли сварочные роботы. Компьютерное управление такими роботами позволяет точно накладывать швы сложной формы (рис. 1.21). Повседневной практикой стали и портативные сварочные аппараты, которые сегодня применяются даже в быту, на садовых участках населения и в любительских мастерских.

Современная сварка связана с компьютерным моделированием сварочных процессов и моделированием прочности сварочных соединений, т. е. сварочных швов (рис. 1.22). Это достаточно сложные наукоемкие компьютерные программы, которые, как правило, устанавливаются на высокопроизводительные вычислительные машины. Разработка соответствующих

математических моделей и их компьютерная реализация – важнейшие проблемы науки о сварке.

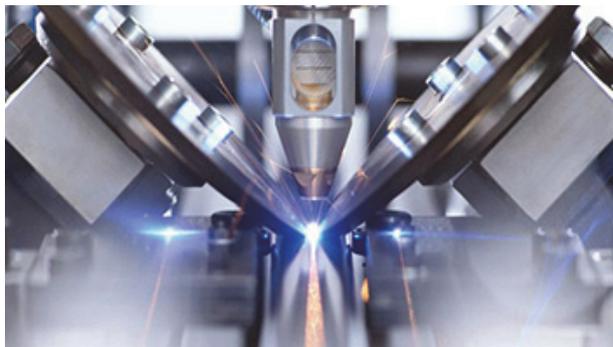


Рис. 1.20. Лазерная, электронно-лучевая, плазменная сварки, робот для сварки трением с перемешиванием. Сварка в разных условиях



Рис. 1.21. Современный промышленный сварочный робот и портативные сварочные аппараты в лаборатории сварки ЮУрГУ

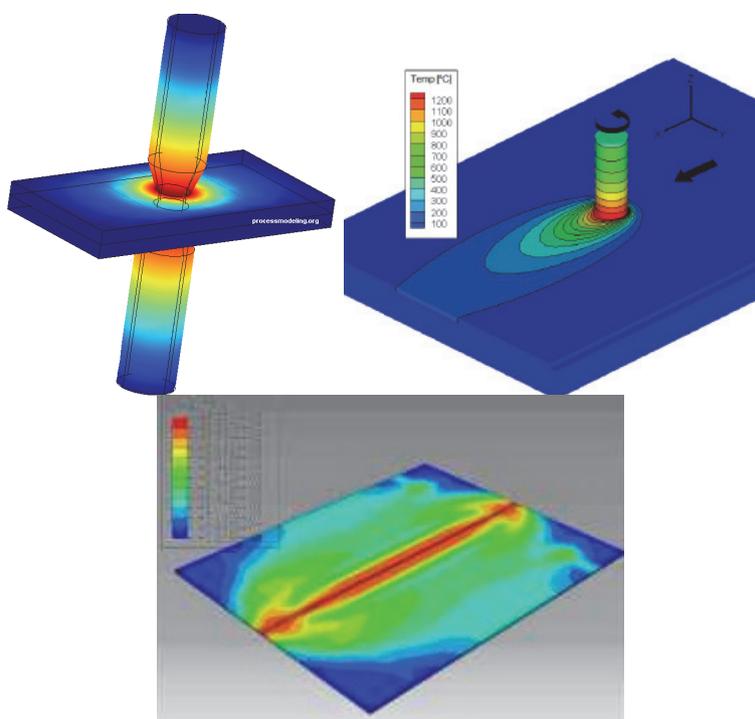


Рис. 1.22. Моделирование процесса контактной сварки и сварки трением с перемешиванием и расчет прочности шва

1.2.4. Развитие и современное состояние оборудования пищевых производств

Хотя это может показаться странным, но и конструирование, и производство и эксплуатация машин пищевых производств – это тоже вопрос машиностроения. Нет смысла говорить о том, что человек с самого своего

зарождения использовал предметы и специальные устройства для приготовления пищи. Большинство продуктов питания потребляется людьми в переработанном виде. Несмотря на то, что еще сахаристые вещества, получаемые из сахарного тростника, были известны в 13 веке до нашей эры, только в 17 веке кондитерские изделия становятся предметом торговли. Например, в России первый сахарный завод был построен в начале 19 века. Многие процессы промышленного приготовления продуктов питания связаны с химией, физикой. Процессы переработки пищи сложны и базируются на современных достижениях науки и техники. К таким процессам относятся гидравлические и реологические, механические, гидромеханические, тепловые и холодильные, массообменные, биохимические и физико-химические [7]. Соответственно, в пищевой индустрии применяются системы аспирации и пневмотранспорта, смесители, центрифуги, сепараторы, циклоны, фильтры, измельчители, аппараты для нагрева и охлаждения, выпариватели и конденсаторы, массообменные аппараты, сушильные аппараты и так далее. Все это достаточно сложные устройства, которые, как и все устройства, проектируются, изготавливаются и эксплуатируются специалистами с соответствующей подготовкой, в том числе, и специалистами с высшим техническим образованием.

Современная пищевая индустрия – это высокотехнологичная отрасль с миллиардными оборотами. Это один из самых массовых видов производства. Поэтому автоматизация и компьютеризация здесь, как и везде в машиностроении, – одна из актуальных задач. И здесь применяются промышленные роботы (рис. 1.23).



Рис. 1.23. Роботы в пищевом производстве: сортировка шоколадных конфет и оформление кексов

Целью краткого обзора технологических машин и процессов, применяемых в машиностроении, было убедительно показать, что машиностроение начинается с технологий. Уровень развития технологий определяет уровень развития изделий машиностроения. На одном из мероприятий Российской академии наук прозвучала фраза: «Невозможно создать истре-

битель пятого поколения, не имея станков пятого поколения». Верно и обратное: все возрастающие требования человечества к машинам ставят и соответствующие задачи по развитию технологий. Развитие космических систем – наглядное тому подтверждение: многие процессы и технологические машины были созданы именно по заказу этой отрасли.

Очевидно, что производство машин включает в себя и их разработку. Существенная часть машин – это транспорт. В обсуждаемой здесь инженерной олимпиаде такие транспортные направления, как аэрокосмическое и кораблестроительное, выделяются в отдельные секции. Поэтому читателю хотелось бы адресовать к соответствующей литературе, написанной авторитетными в этой области специалистами. Между тем, и транспорт, и технологические машины, и другие изделия машиностроения – это все те же машины. И все они испытывают различные нагрузки в процессе работы, и все они рано или поздно выходят из строя. Причинами поломок могут быть разные явления, но в целом все они связаны с соотношением сопротивляемости материалов выдерживать нагрузки к величине таких нагрузок. Поэтому как необходимость обороны во все времена была основным стимулом к развитию техники и технологий, так и решение задач повышения сопротивляемости изделий поломкам было одним из основных стимулов развития соответствующих разделов физики и математики. Позднее эти разделы выделились в самостоятельные науки, о которых хотелось бы далее поговорить.

Одним из наиболее рельефных примеров в части расчета машин можно признать пример расчета машин на прочность. Это всего лишь фрагмент в большом спектре расчетных работ, но он хорошо показывает, как исторически человечество решало эти и подобные им проблемы, в том числе, и в машиностроении.

1.3. История и современное состояние расчета машин на прочность

Исследуя историю науки о прочности машин, полезно почитать одну из опубликованных статей [5], которая практически дословно приводится ниже. Вплоть до начала XX в. в разработках теории механических свойств все твердые тела рассматривались как сплошные среды: они были упругие или вязкоупругие. В XVIII в. блестящее развитие получила математическая механика, описывающая деформационное поведение твердых тел под нагрузкой. Полагаем, что читателю известны фамилии таких ученых, как Р. Гук Ж. Даламбер, Ж. Лагранж, Т. Юнг. Если некоторые фамилии еще не известны, то в курсах высшей математики вуза студенты обязательно с ними познакомятся.

«Возвращаясь к материалам, следует подчеркнуть, что значения соответствующих коэффициентов упругости или вязкости брались эмпирическими: простыми измерениями, без физического обоснования. Что касается прочности на разрыв, то само явление разрыва выступало перед механиками как некое неожиданное событие. Действительно, образец, казалось бы, имеет возможность еще деформироваться и деформироваться (все коэффициенты допускают это), а он «вдруг» разрывается. Поэтому ученым пришлось вводить эмпирически оправданные, но ни логически, ни физически не обоснованные теории «предельных состояний». В их формировании вслед за Г. Галилеем приняли участие крупнейшие ученые: Г. Лейбниц, Э. Мариотт, Ш. Кулон и др. В этих теориях, по сути, провозглашалось положение, что для каждого материала существуют предельные значения тех или иных напряжений (нормальных или касательных) или же деформаций, при превышении которых тело распадается на части. И с тех пор понятие «предела прочности» как основной прочностной характеристики материалов вошло в научный и инженерный обиход, сохранившись и до наших дней.

То обстоятельство, что предел прочности для данного материала мог значительно меняться в зависимости от обработки (отжига, закалки, изменения состава примесей), температуры, скорости или длительности воздействия нагрузки, вызывало, конечно, вопросы, но не вело тогда к пересмотру предельных представлений. Следует упомянуть два философско-методологических пробела в подходе к проблеме прочности, бытовавших до начала XX в. Во-первых, – это игнорирование представлений об атомности строения вещества, которые, начиная, вообще говоря, еще с Демокрита, через идеи передовых естествоиспытателей постепенно (хотя и медленно и в большинстве своем умозрительно) проникали в научное мировоззрение. Во-вторых, носящее метафизический характер игнорирование каких-либо процессов, ведущих к разрыву нагруженного тела, и отношение к явлению разрыва как к критическому акту, привело к критерию разрушения в виде достижения «предела прочности». Иными словами, разрушение рассматривалось как критическое событие, а не как процесс.

Все эти обстоятельства, дав к началу XX в. неплохую инженерную основу для расчета прочности конструкций из известных материалов, не могли составить научную основу для повышения прочности, для прогнозирования поведения материалов во все усложнявшихся условиях эксплуатации и испытаний. Постепенное повышение прочности материалов, реализуется, осуществлялось (составление новых сплавов, различные режимыковки, закалки и т. д.), но это продвижение шло сугубо эмпирически, без выявления сколько-нибудь систематических и научно обоснованных закономерностей. Короче говоря, до начала XX в. наука о прочности оставалась разделом механики, без, казалось бы, естественной связи с физикой.

Поистине революционизирующие для науки о прочности события произошли в десятых годах XX в. К этому времени в физике появились не только прямые доказательства существования атомов (К. Максвелл, Ж. Перрен, Д. Менделеев, Л. Больцман, М. Лауэ и др.), но были непосредственно определены и многие их характеристики: размеры, масса, элементы внутреннего строения. И тогда на смену представления о твердом теле как о некоей сплошной среде, внутренние свойства которой не имели физического обоснования, пришло представление о телах как «конструкциях» из атомов. Сразу же наметилось совершенно очевидное положение о том, что прочность тела как конструкции из атомов должна определяться силами межатомного сцепления. Впервые началось проникновение физических идей и представлений в науку о прочности. Количественная разработка вопроса связи механической прочности тел со сцеплением составляющих их атомов дала буквально потрясший исследователей результат.

В начале XX в. значения сил межатомного сцепления были определены на основе использования ряда физических методов: оптических, калориметрических, акустических. Большую роль сыграла молекулярная химия, давшая оценку сил связи атомов в различных молекулах. Все эти данные позволили впервые рассчитать так называемую теоретическую прочность твердых тел: то действительно предельное значение нагрузки, которое может выдержать идеальная конструкция из атомов с известной уже прочностью связей элементов этой конструкции атомов.

Расчеты (Ф. Цвикки, Дж. де Бура, М. Борна и др.) привели к значениям теоретической прочности, которые в десятки и сотни раз были выше значений, измеряемых на практике для реальных тел. Разрывную прочность принято измерять в единицах отношения силы к площади поперечного сечения (это можно назвать «отрицательным давлением»). Обычная разрывная прочность материалов находится в диапазоне $10 \dots 10^3$ МПа. Теоретическая же прочность лежит в области $(1 \dots 4) \cdot 10^4$ МПа. Таким образом, по расчетам, опирающимся на физические данные, природа заложила в твердые тела огромный ресурс прочности. Ввиду столь ответственного вывода некоторое время многие сомневались в его достоверности. Эти сомнения были рассеяны работами физиков Ленинградского физико-технического института. Главная гипотеза, выдвинутая для объяснения расхождения теоретической и практической прочности материалов, заключалась в том, что дефекты, неоднородности в строении реальных тел приводят к неравномерности «загрузки» действительно очень прочных межатомных связей. В нагруженном реальном теле возникают локальные перенапряжения, где нагрузка на отдельных межатомных связях во много раз превышает среднюю по сечению тела, которой и измеряется обычная прочность тел. Тамто под действием теоретической, предельной нагрузки и начинается разрушение материала, распространяющееся затем на все сечение. Если эта картина соответствует действительности, то можно постараться убрать де-

фекты или, по крайней мере, уменьшить их число или опасность, тем самым повысить совершенство структуры тела и в результате ожидать значительного повышения прочности. Так и поступил отечественный ученый А.Ф. Иоффе в 1924 г., убирая растворением в воде самые опасные поверхностные трещины образцов из монокристаллов каменной соли. Прочность таких образцов возросла в 400 раз (!) и приблизилась к расчетной теоретической, отставая от нее всего в 2–3 раза. Затем в 1930 г. А.П. Александров и С.Н. Журков достигли при обработке поверхности стеклянных и кварцевых волокон огромной прочности, около 10^4 МПа, что также было всего лишь в 2–3 раза ниже теоретической. Таким образом, теоретическая прочность стала реальностью. Это сыграло чрезвычайно большую стимулирующую роль для дальнейшего развития науки о прочности и прикладных работ» [5].

Дальнейшее развитие науки о прочности получила преимущественно в оценке влияния на эту прочность размеров и формы конструкций, а также характера их нагружения. Хотелось бы отправить читателя к другой интересной книге [4], выдержка из которой приведена ниже.

«После того, как сложились основные представления о прочности и жесткости, математики приступили к разработке методов анализа плоских и пространственных упругих систем, с помощью которых было исследовано поведение самых разных конструкций при их нагружении. Так сложилось, что в течение первой половины XIX в. теорией упругости занимались в основном французы. Хотя не исключено, что теория упругости как-то особенно сродни французскому темпераменту, все же, представляется, практическая поддержка этих исследований прямо или косвенно исходила от Наполеона I и осуществлялась основанной в 1794 г. политехнической школой.

Многие из этих работ носили абстрактно-математический характер, а поэтому остались непонятыми большинством инженеров-практиков и не получили признания вплоть до 1850 г. Особенно это относится к Англии и Америке, где практикам всегда отдавалось безусловное предпочтение перед теоретиками. А, кроме того, как известно, «один англичанин всегда побивал трех французов». Так, о шотландском инженере Томасе Телфорде (1757–1834), чьими величественными мостами мы восхищаемся еще и поныне, имеется следующее свидетельство современника: «Он испытывал сильнейшее отвращение к занятиям математикой и не удосужился познакомиться даже с началами геометрии. Это было воистину удивительно, и когда нам случилось рекомендовать одного нашего молодого друга к нему на службу, он, узнав об отличных математических способностях претендента, не колеблясь, заявил, что, по его мнению, такого рода познания скорее говорят о непригодности юноши к работе с ним, чем об обратном».

Телфорд, однако, был действительно велик и, подобно адмиралу Нельсону, компенсировал невероятную самоуверенность подкупающей скромностью. Когда тяжелые цепи висячего моста через пролив Менай были

удачно подвешены на виду у собравшейся толпы, Телфорда обнаружили вдали от аплодирующих зрителей возносящим на коленях благодарение всевышнему.

Но не все инженеры были так скромны, как Телфорд, и взгляды англосаксов того времени носили налет не только умственной лени, но и самонадеянности. При всем том, однако, основания для скептицизма относительно надежности расчетов на прочность были. Очевидно, что Телфорд и его коллеги возражали не против количественного подхода как такового – знать силы, действующие на материалы, они хотели бы не меньше других, – а против способов получения этих данных. Они чувствовали, что теоретики слишком часто бывают ослеплены элегантностью своих методов и не заботятся в достаточной мере о соответствии исходных предположений действительности, получая в результате правильные ответы для нереальных задач. Другими словами, более опасной предполагалась самонадеянность математиков, чем инженеров, чья практика чаще наказывала за излишнюю самонадеянность.

В этой связи проницательные технические эксперты севера осознали (а это следовало бы сделать и всем остальным практикам), что, анализируя ту или иную ситуацию с помощью математики, мы в действительности создаем рабочую модель исследуемого предмета. При этом мы надеемся, что наша модель, или математический аналог реальности, с одной стороны, имеет достаточно много общего с реальным предметом, а с другой – позволяет нам сделать какие-то полезные предсказания.

Для таких модных предметов, как физика или астрономия, соответствие между моделью и действительностью столь точно, что некоторые склонны рассматривать Природу как нечто вроде Математика свыше. Однако сколь привлекательной ни казалась бы эта доктрина земным математикам, имеются явления, для которых было бы благоразумным использовать математические аналогии лишь с очень большой осторожностью. «Пути орла на небе, пути змея на скале, пути корабля среди моря и пути мужчины к девице» не предскажешь аналитически. Кое-кто даже удивляется, каким образом математики все же ухитряются жениться. А, построив свой дворец, царь Соломон, вероятно, мог бы добавить, что поведение конструкции под нагрузкой не менее непостижимо, чем пути кораблей и орлов.

В случаях, подобных упомянутым, главную трудность составляет сложность возникающих ситуаций, что не позволяет создать для них полную и простую математическую модель. Обычно имеется несколько возможных путей разрушения конструкций, но ломаются они, естественно, способом, требующим наименьших усилий, и именно об этом способе часто никто не догадывается, не говоря уже о каких-либо расчетах.

Интуитивное понимание возможных слабостей, присущих материалам и конструкциям, – одно из наиболее ценных качеств инженера. Никакие другие интеллектуальные свойства не могут его заменить. Не случайно

иногда рушились мосты, сконструированные по лучшим «современным» теориям такими представителями Политехнической школы, как Навье. Но, насколько известно, ни с одним из сотен мостов и других сооружений, построенных за свою долгую жизнь Телфордом, не случилось даже сколько-нибудь серьезных неприятностей. Именно поэтому, наверное, в пору расцвета французской теории расчетов конструкций многие мосты и железные дороги на континенте были построены энергичными и малоразговорчивыми английскими и шотландскими инженерами, относившимися к вычислениям без особого уважения» [4]. Однако история расчета на прочность далее была тесно связана с математикой. Для более глубокого ознакомления с ней целесообразно прочесть процитированную книгу. Некоторые примеры исторических схем расчета на прочность представлены на рис. 1.24.

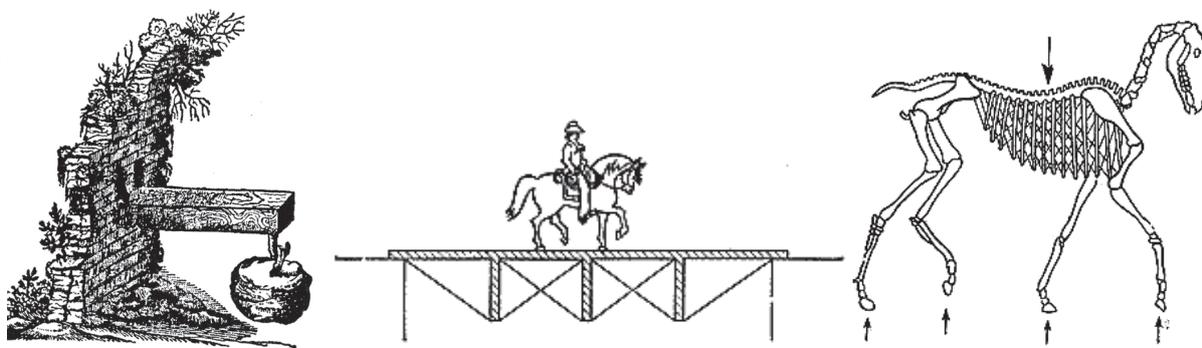


Рис. 1.24. Рисунок слева из книги Галилео Галилея, связанный с расчетом на прочность балки при изгибе; считается, что с этой его работы началась наука о расчетах на прочность. Рисунки справа показывают схожесть конструктивных решений в технике и живой природе

Современные «прочнисты» имеют сегодня на вооружении не только достаточно сложный математический аппарат, но и серьезную компьютерную поддержку. Как это стало общепринятым в машиностроении, все начинается от компьютерной модели конкретного изделия и его деталей. Далее такая модель поверхностей, как правило, используется для создания модели заполняющих их «частичек», которые назвали «конечными элементами». Программы конечно-элементных расчетов позволяют вести расчеты упругого, пластического состояний конструкций, в том числе и с учетом теплового воздействия; вести расчеты колебаний таких деталей и потерю ими устойчивости. Возможности таких программ представляются просто фантастическими. Однако эти средства существенно отличаются от «игрушки с красной кнопкой» – здесь необходимо глубокое понимание физики процессов и отличная математическая подготовка.

Для исследования удара автомобиля о преграду необходимо понимать характер поведения различных материалов при упругих и пластических деформациях при различных скоростях их деформаций, характер взаимодействия деталей в сборке. Необходимо правильно понимать и применять условия прочности. При расчете авиационной техники нужно понимать характер ее взаимодействия с воздушной средой, вибрации в ее частях, явления усталости и многое другое (рис. 1.25). Важнейшим инструментарием расчетчиков является и исследовательская аппаратура. Это разного рода испытательные машины, вибростенды и многое другое, причем зачастую эти устройства связаны не просто с компьютерами, но и со сложными программными комплексами (рис. 1.26). Создание таких аппаратно-программных комплексов – одно из ведущих научных направлений специалистов данной области знаний.

О важности расчетов на прочность, вибрационную устойчивость говорят такие факты. Например, обрыв одной лопатки при испытании газотурбинного двигателя самолета приводит к разрушению этого двигателя (рис. 1.27). Его стоимость сегодня оценивается около 40 миллионов долларов. Но обрыв лопатки в двигателе летящего самолета приведет не только к повреждению всего самолета, но и к трагическим последствиям.

Не менее важными являются расчеты поведения таких потенциально опасных объектов, как объекты атомной отрасли. В отличие от предыдущих примеров, здесь не представляется возможным реализовать натурные испытания при землетрясениях или других внешних ударных воздействиях (рис. 1.28). Однако оценка поведения объектов атомной отрасли при неблагоприятных воздействиях абсолютно необходима и регламентирована соответствующими нормативными документами.

К расчету атомных реакторов традиционно привлекаются, например, и ученые ЮУрГУ (рис. 1.29). Их исследования связаны с деформированием и разрушением конструкций при повторяющихся интенсивных тепловых воздействиях, обобщены на радиационные воздействия (радиационная усадка и распухание при нейтронном облучении) и воздействие сред (изменение объема сплавов при растворении водорода). Результаты теоретических исследований, были экспериментально проверены в лабораториях университета и применены для обеспечения прочности элементов газотурбинных двигателей, атомных реакторов, металлургического оборудования. Результаты работ, опубликованные в нескольких монографиях, изданных как в нашей стране, так и за рубежом, вошли в отраслевые нормативные документы – «Нормы расчета на прочность атомных энергетических установок» и «Методические рекомендации по расчету дисков газовых турбин».

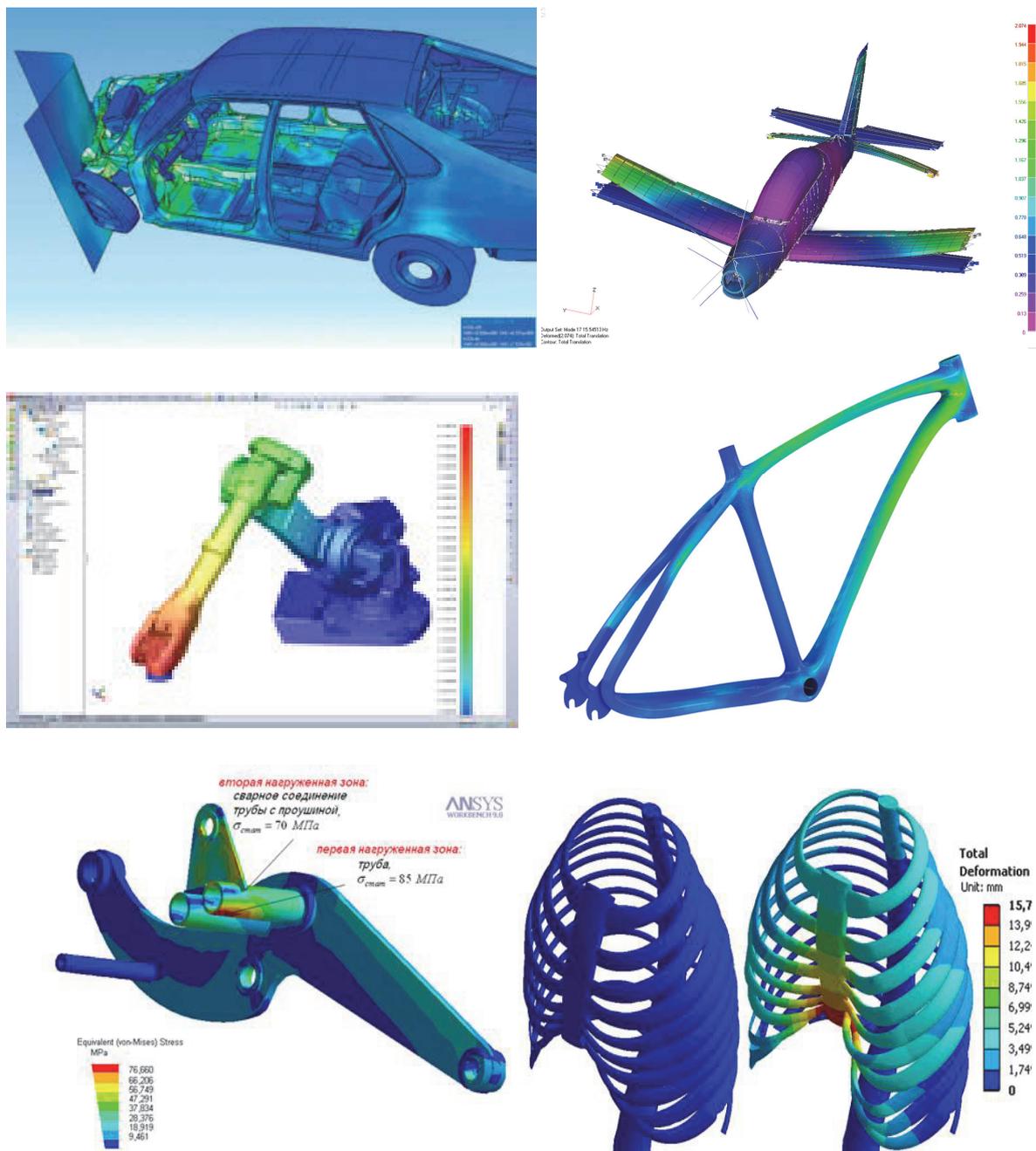


Рис. 1.25. Расчеты методом конечных элементов удара автомобиля, колебаний в самолете, робота и велосипедной рамы; расчеты, выполненные в ЮУрГУ (деталь погрузчика и расчет грудной клетки после удара пули с целью разработки бронежилетов)



Рис. 1.26. Испытательный комплекс GLEEBLE 3800 и вибростенды в лабораториях ЮУрГУ

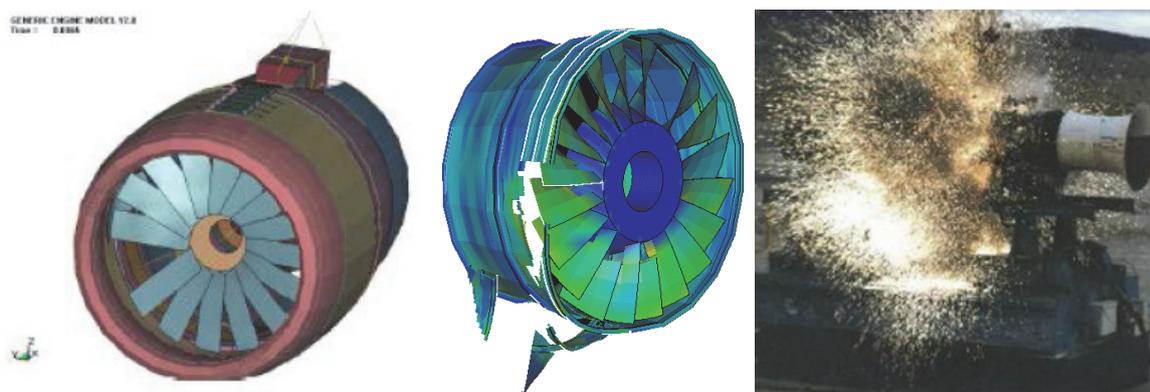


Рис. 1.27. Расчетная модель для анализа поведения газотурбинного двигателя самолета при обрыве одной лопатки, моделирование разрушения двигателя и разрушение реального двигателя на стенде

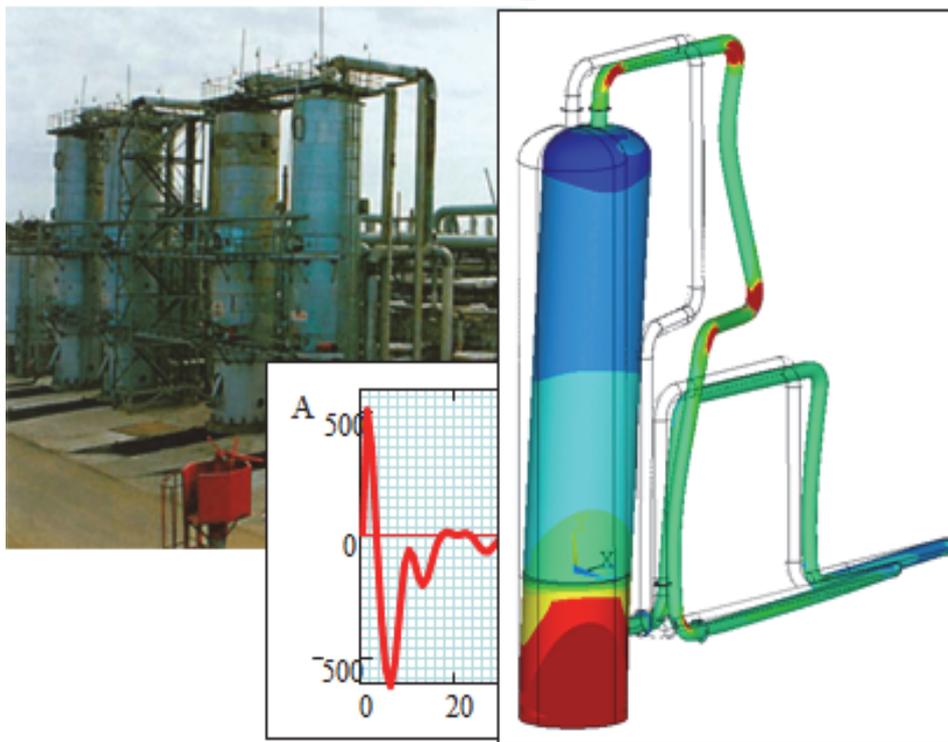


Рис. 1.28. Расчет поведения оборудования при сейсмических нагрузках

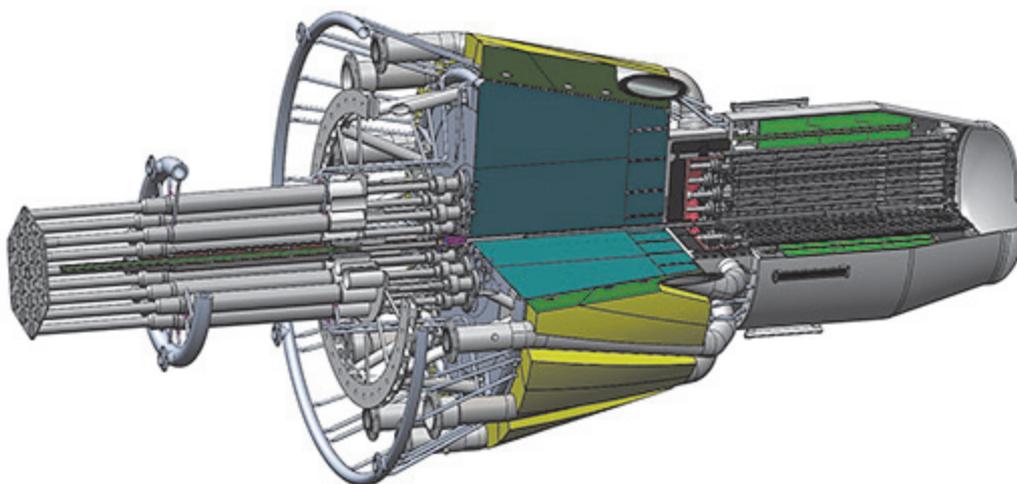


Рис. 1.29. Атомный реактор – источник энергии для «космического буксира». К обоснованию его прочности привлечены ученые ЮУрГУ

В технике, наряду с достаточно сложными расчетами, в простых случаях применяются, соответственно, простые и понятные расчетные схемы (рис. 1.30).

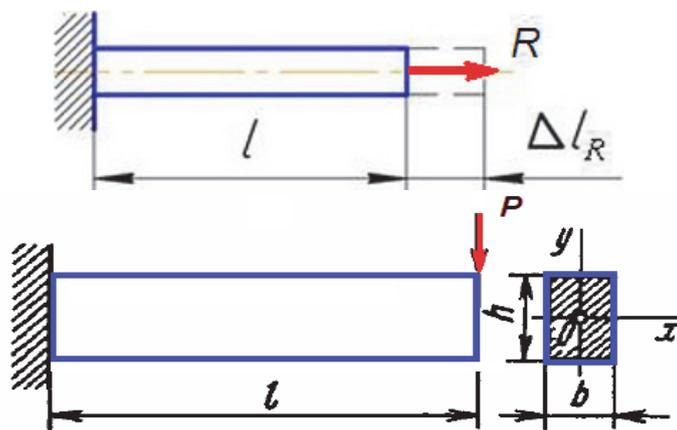


Рис. 1.30. Расчетные схемы для растяжения стержня и изгиба балки

Уже известная из школьного курса физики формула для растяжения пружины может быть применена и для случая стержня: $\Delta l = l R / ES$, где Δl – величина удлинения стержня, l – его первоначальная длина, R – величина приложенной силы, которая вызвала данное удлинение, E – коэффициент, связанный со свойствами материала стержня – модуль упругости (для стали он равен примерно $2 \cdot 10^{11}$ Па), S – площадь поперечного сечения стержня. Такую формулу можно сравнить с уже известной для пружины: $\Delta l = R/k$, где k – коэффициент жесткости стержня ES/l .

При изгибе балки используются такие же формулы: $Y = l^3 P / (3EJ_x)$, где Y – величина прогиба балки на ее конце от силы P , $J_x = bh^3/12$ – геометрическая характеристика сечения балки. Можно сравнить эту формулу с предыдущей и увидеть тот же самый загон Гука.

Такие расчеты жесткости зачастую оказываются не единственными. Вместе с ними выполняются и расчеты на прочность. Как было отмечено выше, существует несколько теорий прочности, но все они связаны с напряжениями в деталях. Напряжения – это внутренние силы, которые возникают как бы между частичками, из которых сделана деталь. Если такие силы начинают превышать некоторое пороговое значение, характерное для данного материала, то деталь разрушается. В первой расчетной схеме нормальные напряжения рассчитываются просто: $\sigma = F/S$. Во второй схеме напряжения рассчитывают несколько сложнее: $\sigma = 6 l P / bh^2$. Таким образом, считается, что деталь не сломается, если $\sigma \leq K [\sigma]$, где K – коэффициент запаса прочности, принимается больше единицы в зависимости от требований к надежности детали. $[\sigma]$ – предельное значение напряжений для данного материала в данных условиях нагружения. Это может быть предел прочности (по ГОСТ 1497–84 правильное название – временное сопротивление растяжению). Однако при таких напряжениях конструкции не работают. Они работают в пределах упругих деформаций, что несколько меньше так называемого предела текучести $\sigma_{0,2}$. Для простой углеродистой ста-

ли 50 при малых скоростях деформаций примерно $\sigma_b = 650$ МПа и $\sigma_{0,2} = 500$ МПа (ГОСТ 8479–70). Последнее число и целесообразно использовать в предварительных прочностных расчетах.

Приведенные здесь схемы и формулы могут оказаться полезными в предварительных оценках поведения конструкций, которые школьники могут предложить на заключительном этапе многопрофильной инженерной олимпиады.

1.4. Об истории и современном состоянии гидравлических машин

Отдельные понятия из области гидравлики появились еще в глубокой древности, к периоду гидротехнических опытов, проводившихся древними народами, проживающих в Египте, Вавилоне, Месопотамии, Китае, Индии и других странах. В мире появились самые первые, совсем не примитивные системы ирригации и системы снабжения водой. Так, древние китайцы и египтяне могли создавать на водоёмах плотины и даже водяные мельницы. В шестом веке до нашей эры римляне построили водопровод. За три столетия до начала новой эры Архимед сконструировал машину, которая помогала поднимать воду. Со временем её назвали архимедовым винтом. Эта конструкция предварила появление гидронасосов, так широко используемых в современном обществе.

Много веков спустя да Винчи, Галилей и Ньютон в своих научных работах сформулировали отдельно взятые законы. Человечеству они известны как законы равновесия и движения жидкости. Чуть позже Бернулли и Эйлер сделали гидравлическую механику наукой. В девятнадцатом – двадцатом веках это направление науки получило своё закономерное продолжение в работах Стокса и Жуковского, Рейнольдса и Петрова, Прандтля и многих других исследователей науки.

Усилиями ученых – инженеров техническая область механики жидкости заметно обогатилась за счет изобретений соответствующей измерительной аппаратуры, идей использования материальных моделей тех или иных гидравлических явлений для создания соответствующих инженерных сооружений и для их изучения. Вне зависимости от разработки технической механики жидкости в Западной Европе гениальнейший русский ученый М.В. Ломоносов (1711–1765 гг.), принимая во внимание рост строительства и промышленности в России, приступил к развитию механики жидкости в технических направлениях.

Середина и конец XVIII века. В этот период начинают появляться теоретические начала современной механики жидкости. Рассмотрев соответствующие исторические материалы, можно заметить то, что вопрос о вакууме осознавался человечеством на большом промежутке времени двух тысяч лет, а вопрос о целостности передвижения жидкости – промежутком в полторы тысячи лет. Пустившее свои корни во Франции техническое на-

правление механики довольно таки быстро начало познаваться как в самой Франции, так и во многих других странах. В данный период были решены следующие проблемы: вопрос о гидравлическом прыжке, основополагающие теории плавно меняющегося неравномерного передвижения жидкости в открытых руслах, присутствующих в формуле Шези, получение уравнений Навье-Стокса, а также уравнений Рейнольдса на базе модели осредненного турбулентного потока, основополагающие исследования о движении грунтовых вод, нахождение принципов гидродинамического подобия, а также способов подобия, теория волн, вопросы истечения жидкости через водосливы и отверстия, разработка эмпирических и полуэмпирических формул для определения гидравлических сопротивлений в различных случаях.

Гидравлика начала развиваться в России еще в XIX веке, в Петербургском институте инженеров путей сообщения. Одним из основоположников данного направления является М.В. Ломоносов. Этот институт на протяжении долгого времени являлся единственным, где развивалась гидравлическая наука в России. Наши ученые только вначале следовали по шагам французской гидравлической школы. Прежде всего, здесь можно назвать П.П. Мельникова (1804–1880 гг.) – почетного представителя Петербургской Академии наук, профессора прикладной механики. Он создал первый в своем роде курс «Основания практической гидравлики...» на русском языке, организовал первую гидравлическую лабораторию в России.

Огромный вклад в развитие механики жидкости смогли внести такие русские инженеры и ученые, как Н.Е. Жуковский (1847–1921 гг.) И.С. Громека (1851–1889 гг.), Н.П. Петров (1836–1920 гг.). В начале XX века в гидравлике были намечены многие научные направления, которые можно разделить по разным признакам. Например, первое, в зависимости от отрасли знаний или отрасли техники, где применяются аппараты гидромеханики, можно разделить на судостроение, баллистику, химическую технологию и т. д.; второе – по виду рассмотрения текучей среды: сюда можно отнести воду, нефть, воздух и т. п.; и, наконец, третье – это разделение отдельных гидромеханических теорий, которые изредка полагаются в способы решения задач, имеющих отношение к различным отраслям техники: теорию турбулентности, теорию движения жидкости в пористых средах и так далее.

В настоящее время гидравлические системы применяются на автотранспорте, авиационной и военной технике, металлообрабатывающих станках (рис. 1.31). Для изучения и моделирования работы гиросистем созданы уникальные приборы (рис. 1.32).

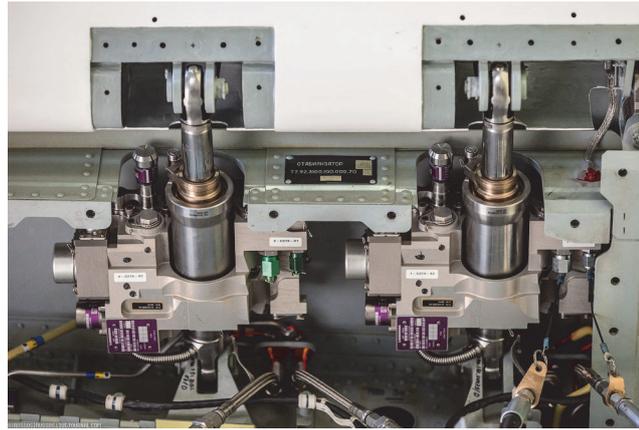


Рис. 1.31. Рулевое управление автомобиля, электро-гидроприводы руля высоты на суперджете

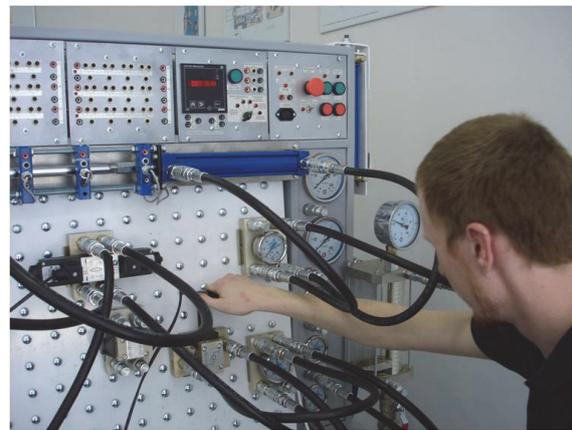


Рис.1.32. В лаборатории гидравлики ЮУрГУ

1.5. Об истории и современном состоянии автоматизации технологических процессов и производств

Автоматизация – это этап машинного производства, характеризующийся передачей функции управления от человека к автоматическим устройствам. Автоматизация технологических процессов и производств – это совокупность методов и технических средств, позволяющих осуществлять управление любым производственным процессом без непосредственного участия в нем человека.

Как известно, ранние машины были простыми механизмами, заменяющими силу человека при транспортировке или подъеме грузов. Позднее для подъема использовались системы шкивов. Далее, энергию человека могли заменить механизмы, использующие природные формы энергии – энергию воды, ветра. А еще позднее появились часовые механизмы или другие простые устройства, которые применялись для управления силовыми устройствами с использованием искусственного источника энергии.

Такие управляющие устройства были направлены на некоторое простое, повторяющееся действие, как движущиеся фигурки, запись мелодий, или игровые автоматы. Такие первые движущиеся устройства, напоминающие человеческие фигуры, были известны как роботы-автоматы и появились в 300 году до н.э. Прототип современных компьютеров был заложен в ткацких станках. В 1801 был выдан патент на автоматизированный ткацкий станок, в котором использовались перфокарты. Изобретение Жозефа Мэри Жаккарда произвело революцию в текстильной промышленности.

До середины прошлого века уровень автоматизации был относительно невысок, использовались лишь простые механизмы при автоматизации простых процессов. С появлением электроники автоматизация усилилась. Однако существенное развитие автоматизация получила с появлением компьютеров. С тех пор компьютеры осуществляют управление огромным числом простых, повторяющихся задач, а также задач средней и высокой сложности.

Вопросы автоматизации охватывают все аспекты деятельности предприятия от идеи по созданию продукции до ее утилизации. Дизайн, эскизные проекты, конструкторские работы, технологические разработки, упаковка, поставщики и потребители, экономика, поддержка покупателей, ремонт и техническое обслуживание, утилизация отработавшего оборудования, – все это вопросы жизненного цикла изделия (PLM – product lifecycle management). Все это требует автоматизации в едином информационном пространстве предприятия.

Проектные, расчетные работы, работы технологов сегодня немыслимы без компьютерного моделирования. Соответственно выделяют линейки компьютерных программных средств: CAD – computer aided design, CAE – computer aided engineering, CAM – computer aided manufacturing (рис. 1.33).

В настоящее время для производителей цель автоматизации переместилась от увеличения производительности и сокращения затрат к более широкомасштабным проблемам, таким, как увеличение качества и гибкости в производственном процессе. Сегодня все более упоминается тезис *о четвертой промышленной революции*, который связывается с построением производства на принципах гибкости, уникальности продукции под требования любого заказчика и уникальности построения и реализации технологических процессов. Такие мероприятия основываются на использовании технологии беспроводных компьютерных сетей, где не только оборудование связано сетью WiFi, но и сами заготовки и изделия имеют соединение в этой сети (рис. 1.34).

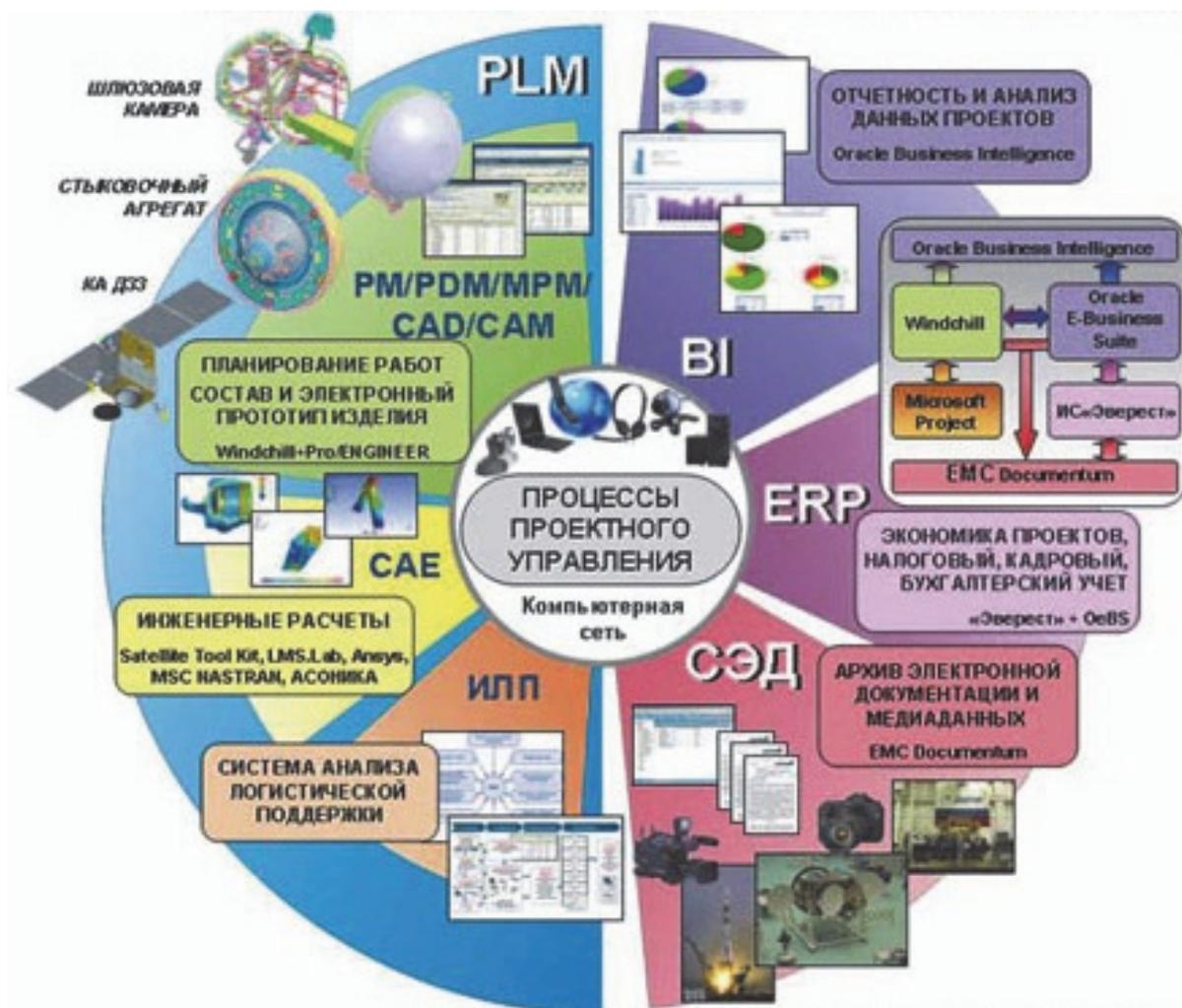


Рис. 1.33. Интегрированные информационные системы в Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королева

В таких технологиях каждая заготовка, деталь или сборочный узел распознается транспортной системой и направляется на соответствующую операцию. Оборудование каждой такой операции распознает объект и самостоятельно перенастраивается для выполнения уникальных технологических действий в соответствии с заявленными заказчиком параметрами. При необходимости оборудование может автоматически перемещаться для построения наиболее оптимальных технологических линий.



Рис. 1.34. Участки производства Siemens, соединенные беспроводными компьютерными сетями и перемещающиеся с операции на операцию заготовки с аналогичными системами

1.6. Об истории и современном состоянии робототехники

Краткий экскурс в робототехнику был приведен в одном из журналов [5]. Передадим этот экскурс здесь.

Очевидно, первыми реальными прототипами роботов были механические игрушки и простые автоматы (рис. 1.35). Одними из самых древних стоит признать творения греческого механика и математика Герона Александрийского, жившего в I веке н. э. В своем трактате «Пневматика» Герон

описал различные сифоны и автоматы, приводимые в движение сжатым воздухом или паром. Он создал автоматы для открывания дверей и продажи «святой» воды, водяной орган и водяные часы. В его книге «Театр автоматов» описано устройство целого театра марионеток, представление в котором разыгрывали фигурки-куклы, приводимые в движение при помощи системы зубчатых колес, блоков и рычагов. Множество трудов Герона было утеряно безвозвратно, поскольку хранились они в Александрийской библиотеке.

В начале XIII века арабский ученый и инженер Исмаил ибн аль-Раззас Аль-Джазари создал механические фигуры музыкантов. Эти предтечи роботов представляли собой фигуры музыкантов в лодке. Вся конструкция запускалась в озеро во время больших праздников. Музыканты играли на барабанах и цимбалах, выстукивая музыкальный ритм. К сожалению, большинство рукописей Аль-Джазари разделило судьбу своих греческих предшественников, багдадская библиотека, в которой они хранились, была выброшена в реку во время нашествия монголов.



Рис. 1.35. Первые игрушки-роботы

В XV веке Леонардо да Винчи сделал чертеж человекоподобного робота в виде рыцаря в германо-итальянской броне, способного сидеть, двигать руками, головой и открывать забрало. Да Винчи был знатоком анатомии своего робота, он создал его по образу и подобию человека. Вся конструкция должна была действовать при помощи веревок и пропеллера, движимого потоком воздуха или воды. Из-за ограничений, накладываемых таким источником энергии, робот не мог перемещаться в пространстве. Устройство механического рыцаря описывалось в двух десятках детальных чертежей и пояснительных записей, но неизвестно, успел ли исследователь воплотить его в жизнь.

Современные механики предприняли несколько попыток воссоздать робота Леонардо. Наиболее достоверная реконструкция принадлежит итальянскому исследователю Марио Таддеи. По результатам своей работы

мастер написал книгу «I Robot di Leonardo. Da Vincis Robots», в которую вошли ранее неизвестные рисунки и данные о роботе. Некоторые главы книги с иллюстрациями можно увидеть на сайте, посвященном творчеству великого художника. Недавно еще одно из изобретений Леонардо было представлено широкой публике. Во Франции мастер Ренато Боаретто изготовил механического льва по частично сохранившимся рисункам. Сделанный из дерева и папье-маше, лев неспешно прогуливается, поглядывая по сторонам, открывает пасть, поднимает и опускает хвост. Лев выполнен в натуральную величину и заводится ключом, как старинные часы. Завода хватает на десять шагов. Оригинальный робот Леонардо, изготовленный для короля Франциска I, не сохранился, но воссозданный робот стал частью экспозиции музея в замке Кло-Люсе, последнем жилище да Винчи.

С начала XVIII столетия в прессе начали появляться сообщения о машинах с «признаками разума», однако в большинстве случаев выяснялось, что это мошенничество, внутри механизмов прятались живые люди или дрессированные животные. Но были и настоящие автоматы. Наибольшую известность получили работы французского механика и изобретателя Жака де Вокансона и швейцарского часовщика Пьера Жака Дро.

В 1738 году Жак де Вокансон создал человекоподобное устройство, которое играло на флейте. Внутри устройства находились пружины и меха, проводившие воздух к различным частям механизма. Вдувая воздух и перебирая клапаны флейты в определенной последовательности, автомат исполнял одиннадцать различных мелодий. Вокансон показывал своего андроида в Париже и объяснял механизм его действия в брошюре «Le mecanisme du fluteur automate».

Пьер Жак Дро, пионер швейцарского часового искусства, создатель анимированных устройств. Он создал автоматы для открывания дверей и продажи «святой» воды, водяной орган и водяные часы. В его книге «Театр автоматов» описано устройство целого театра марионеток, представление в котором разыгрывали фигурки-куклы, часов с поющими птицами, музыкальных часов, а также сложнейших механических андроидов-автоматов. Легендарные автоматы покорили просвещенную Европу XVIII столетия и сегодня по праву считаются главной достопримечательностью швейцарского городка Нешатель.

В XIX веке продолжают попытки создания механических андроидов, в частности, Фридрих Кауфман конструирует механического трубача, в котором используется шаговый программный барабан.

В тридцатые годы XX века многие конструкторы пытались создать искусственного электромеханического андроида, полагая, что именно такие роботы и заменят в будущем людей на заводах и фабриках. Инженеры считали, что андроид станет универсальным инструментом, поскольку сможет пользоваться всеми технологическими приспособлениями, предназначенными для человека. Однако скоро стало понятно, что подобные роботы –

это, в сущности, такие же игрушки, какими были автоматы XVIII века. Настоящие же промышленные роботы оказались совсем не похожи на человека. Появление станков с числовым программным управлением привело к созданию программируемых манипуляторов для разнообразных операций по загрузке и разгрузке станков. В 1954 году американский инженер Джордж Девол запатентовал способ управления погрузочно-разгрузочным манипулятором с помощью сменных перфокарт. Вместе с Джозефом Энгельбергером он организовал первую в мире компанию по выпуску промышленных роботов.

Ее название Unimation, Inc. является сокращением слов universal automation (универсальная автоматика). Вскоре в США были созданы первые промышленные роботы Unimate и Versatran. Их сходство с человеком ограничивалось наличием манипулятора, отдаленно напоминающего человеческую руку. Unimate имел пять степеней подвижности с гидроприводом и двухпальцевое захватное устройство с пневмоприводом. Перемещение объектов массой до 12 кг осуществлялось с точностью 1,25 мм. В качестве системы управления использовался программноноситель в виде кулачкового барабана с шаговым двигателем, рассчитанный на 200 команд управления, и кодовые датчики положения. В режиме обучения оператор задавал последовательность точек, через которые должны пройти звенья манипулятора в течение рабочего цикла. Робот запоминал координаты точек и мог автоматически перемещаться от одной точки к другой в заданной последовательности, многократно повторяя рабочий цикл. На операции разгрузки машины для литья под давлением Unimate работал с производительностью 135 деталей в час при браке 2 %, тогда как производительность ручной разгрузки составляла 108 деталей в час при браке до 20 %. Робот Versatran, имевший три степени подвижности и управление от магнитной ленты, мог загружать и разгружать у обжиговой печи до 1200 раскаленных кирпичей в час. В то время соотношение затрат на электронику и механику в стоимости робота составляло три к одному, поэтому многие задачи управления решались за счет механики. Сейчас это соотношение изменилось на прямо противоположное, и постепенно стоимость электроники продолжает снижаться.

Появление в 70-х годах микропроцессорных систем управления и замена специализированных устройств управления на программируемые контроллеры позволили снизить стоимость роботов в три раза, сделав рентабельным их массовое внедрение в промышленности. Тогда же были произведены первые промышленные роботы от компаний Fanuc Ltd и KUKA Robotics GmbH. Сегодня производством промышленных роботов успешно занимаются такие крупные компании, как ABB, STAUBLI, MOTOMAN, Kawasaki, Scara Robots и Adept Technology.

Заметно продвинулось развитие и человекоподобных роботов – андроидов. Появляются роботы «звери». В частности, роботы-лошади легко переносят тяжелые грузы, не уступая выючным животным по проходимости и выносливости (рис. 1.36–1.38). Благодаря сенсорным устройствам, компьютерным системам такие роботы не только перемещаются по ровным поверхностям, но и могут подниматься по лестницам, в том числе и лестницам–стремлянкам. Современные роботы могут танцевать, ловить мячи, хорошо переводить с языка на язык, имеют черты лица людей, мимику и интеллект для принятия простых решений.

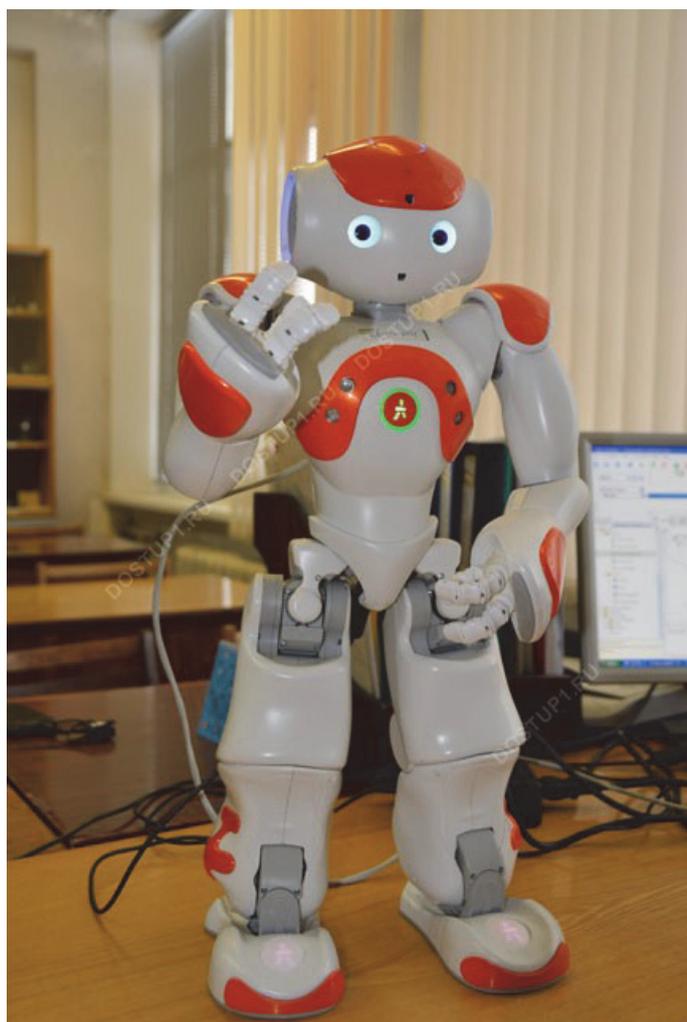
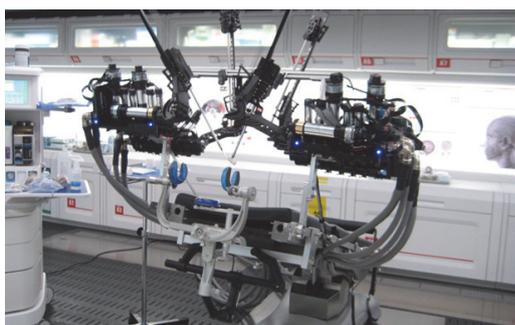


Рис. 1.36. Военный робот–лошадь, робот для хирургических операций и робот–лингвист, приобретенный в ЮУрГУ

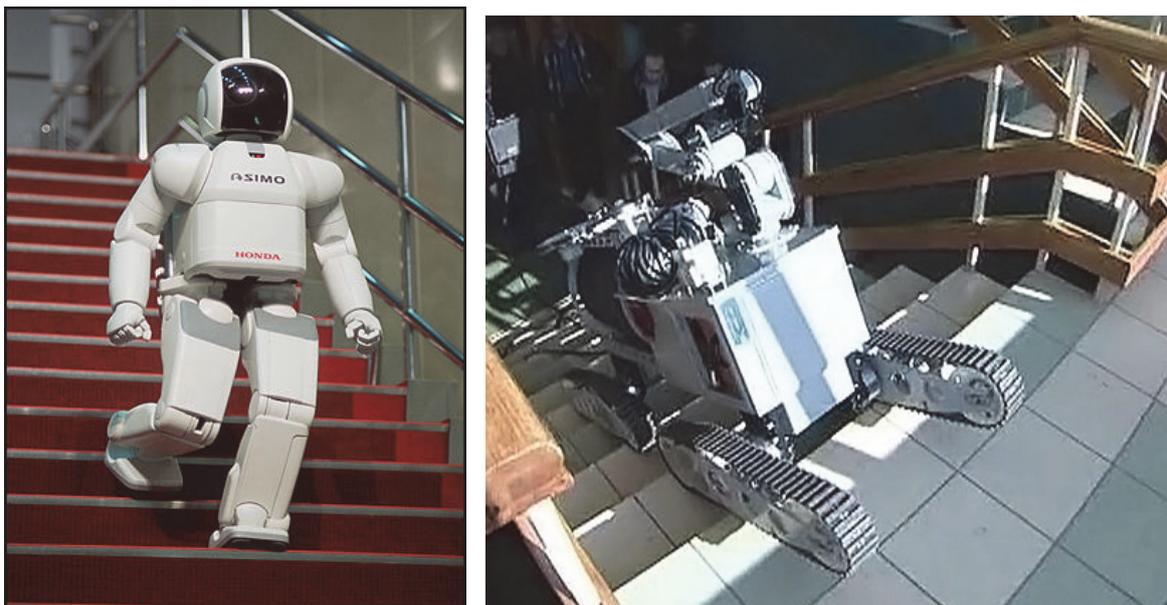


Рис. 1.37. Робот ASIMO от HONDA и робот для разминирования из Миасского филиала ЮУрГУ



Рис. 1.38. Робот-солдат, робот-змея, робот-паук, роботы на воде, в небе и на Марсе

1.7. Первые выводы

Предлагаемый краткий выборочный исторический обзор показал, что машиностроение имеет давнюю историю, неотъемлемо связано с развитием самого человека и его оснащением в быту и на производстве. Но это развитие сегодня не остановилось, сегодня оно получает еще более динамичное развитие, что связано как с компьютеризацией, так и появлением новых материалов, новых процессов обработки средствами математического моделирования. Это стремительное движение связано с жесткой конкуренцией на мировом рынке и победители здесь только те, кто открывает новые перспективные направления в проектировании, обработке и связанными с ними машинами, кто разрабатывает новые конструкции и оценивает их поведение в работе. В основе этих открытий – глубокое понимание физических явлений, их математическое описание, компьютерное моделирование. Самое главное на этом пути – отсутствие стереотипности в мышлении и смелость, характерная для молодежи.

Такой краткий обзор приведен, чтобы лишь помочь школьникам подобрать нужную литературу, глубже познакомиться с машиностроением и найти себя, в конечном счете, правильно выбрать свой профессиональный путь.

Как было отмечено выше во введении, осенью 2014 года был введен перечень специальностей и направлений подготовки бакалавров, утвержденный приказом Минобрнауки РФ № 1061 (12.09.2013). В соответствии с этим перечнем все машиностроение отнесено к 15-й группе. В этой группе сегодня установлено шесть направлений подготовки.

15.03.01 **«Машиностроение»** – с ним связаны профили: «Машины и технология обработки металлов давлением», «Сварка, родственные процессы и технологии».

15.03.02 **«Технологические машины и оборудование»** – с ним связаны профили: «Гидравлические машины, гидропривод и гидропневмоавтоматика», «Машины и оборудование металлургического производства», а также «Техническое оснащение пищевых производств» и «Холодильное оборудование в пищевой промышленности и торговых комплексах».

15.03.03 **«Прикладная механика»** имеет единственный профиль, связанный с прочностными и другими расчетами и исследованиями.

15.03.04 **«Автоматизация технологических процессов и производств»**, имеет единственный профиль, связанный с саморегулирующимися техническими средствами, экономико-математическими методами и системами управления.

15.03.05 **«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»** имеет единственный профиль, связанный с технологией машиностроения, станками и инструментами механообработки.

15.03.06 «*Мехатроника и робототехника*» – имеет единственный одноименный профиль.

2. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОЛИМПИАДНАЯ ЗАДАЧА И ЕЕ РЕШЕНИЕ

Целью данного раздела является иллюстрация решения некоторых проблем машиностроения для понимания школьниками, какие подходы нужно использовать при решении подобных проблем в практической деятельности. Ожидается, что аналогичным образом школьники будут решать и задачи заключительного этапа олимпиады. В качестве примера дана одна из проблем в механообработке.

2.1. Проблема в области механообработки

Как отмечалось в историческом обзоре, в механообработке сегодня выделяются два относительно новых мощных потока: это применение компьютеризированного оборудования и обработка с использованием новых процессов преимущественно новых перспективных материалов.

Компьютеризированное оборудование, станки с ЧПУ – это современные технологические машины, которые позволяют сообщать движения инструментам относительно заготовок по нескольким управляемым координатам. Особенностью таких движений является, с одной стороны, их возможная высокая скорость, с другой – высокая точность их перемещений.

В связи с этим, одним из направлений развития металлорежущих станков является, с одной стороны, повышение динамики (увеличение скоростей, ускорений) их рабочих органов, с другой стороны, необходимо одновременное сохранение их прочности и жесткости и точности позиционирования производящей поверхности инструмента относительно системы координат заготовки.

С этой целью современные станки оснащаются не только системами контроля перемещений, но и системами учета динамических и тепловых явлений в станках, влияющих на такие перемещения, а также системами контроля обработанных поверхностей прямо на станках. Одним из направлений исследований в станкостроении является совершенствование расчета траекторий движений инструментов с учетом сил резания, тепловых и упругих деформаций всех элементов такой технологической системы. Примеры подобных исследований, например, компании Mori Seiki показаны на рис. 2.1.

Как видно из указанного рисунка, стол имеет сравнительно массивное основание, что дает ему высокую жесткость и прочность. Кроме того, станок имеет мощные системы приводов, что дает высокие динамические показатели.

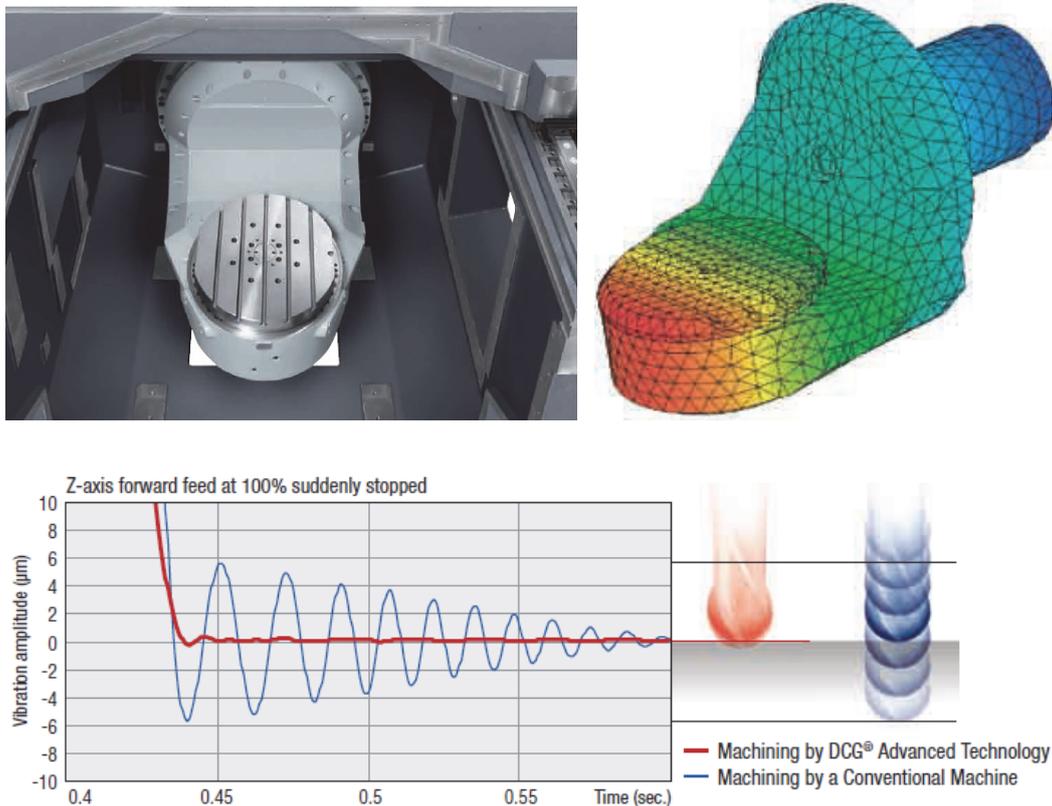


Рис. 2.1. Расчет деформаций стола станка Mori Seiki NMV 5000 и график снижения его вибраций[6]

В настоящее время многокоординатная обработка (5 или даже 6 координат: перемещения по трем осям X, Y, Z и вращение вокруг этих осей A, B, C) становится все более популярной. Это связано с необходимостью обработки все более сложных заготовок, обработки с одного установа всех сторон заготовки. Соответственно, возникает необходимость в пяти или шести приводах и перемещениях исполнительных органов станков. Если заготовка имеет большой вес, например, тысячи килограммов, то становится очевидным, что ее перемещение на станке нецелесообразно. Режущие инструменты имеют, как правило, намного меньшую массу. Становится разумным организовать перемещение именно таких инструментов. Но если инструмент должен перемещаться по шести координатам, то становится необходимым монтаж последовательно одного устройства перемещения по каждой оси на другом. Так называемая последовательная схема наиболее «выпукло» показана на координатно-измерительной машине (рис. 2.2). К таким устройствам перемещения относятся устройства линейного перемещения и устройства вращения. Устройства линейного перемещения обычно строятся на базе пары «винт–гайка». Если винт двигателем вращать вокруг его оси, то удерживаемая от вращения гайка будет перемещаться по резьбе винта. Поворот тела можно организовать проще, связав его ось с осью двигателя.

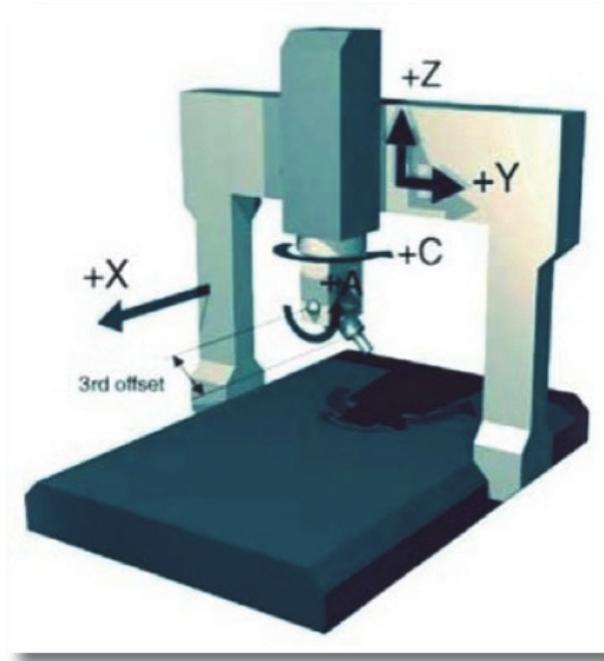


Рис. 2.2. Координатно-измерительная машина портального типа (по осям X, Y, Z применяются устройства линейного перемещения, по осям A, C устройства вращения)

Если инструмент сам по себе имеет небольшую массу, и силы на нем не так велики, то первое устройство перемещения инструмента и его привод могут быть и не столь мощными. Однако, второй привод должен обеспечить перемещение не только самого инструмента, но и устройства перемещения его по первой координате и соответствующий привод. Масса, соответственно, увеличивается. Второе и каждое последующее устройства перемещения и их приводы каждый раз увеличивают общую массу и мощности для последующих приводов. Даже станки с разделением движений для заготовки и инструмента выглядят «внушительно» для 3-х , 4-х координатных движений инструментов (рис. 2.3).

Дальнейшее развитие станков в этом направлении может привести к очевидному тупику, поскольку требование «наращивания металла» для жесткости и прочности вступает в противоречие с требованием высоких скоростей и ускорений и, соответственно, с мощными приводами. Второй закон Ньютона из физики здесь сохраняет свое действие: для сообщения большего ускорения телу большей массы требуется большее усилие. Таким образом, дальнейшее увеличение прочности и жесткости и связанные с ними увеличения массы типовых элементов крепления и перемещения при постоянном наращивании ускорений требует увеличения сил на приводах, а при высоких скоростях все это ведет к увеличению их мощности (рис. 2.4).

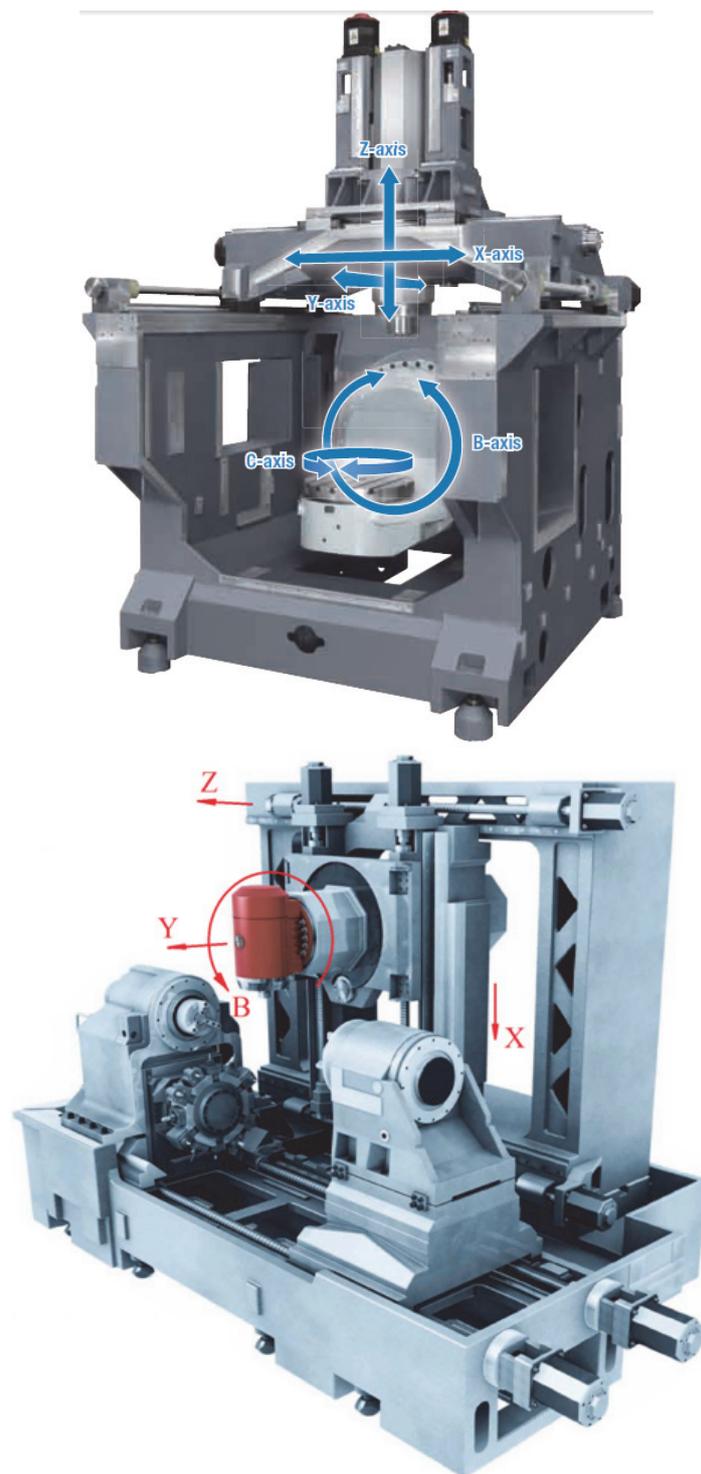


Рис. 2.3. Компоновки фрезерного и токарно-фрезерного станков (для повышения жесткости устройства линейных перемещений типа винт-гайка выполнены парно для каждой оси; справа устройство по оси Y реализовано в виде восьмиугольной жесткой коробки)

Таким образом, имеется ***техническое противоречие***: при обработке заготовок большой массы большое число управляемых координат станка для перемещения инструментов требует увеличения массы и мощности каждого его устройства перемещения по одной координате и, соответственно, больших размеров станка и мощностей его приводов. В перспективе это требует все больших станков и, соответствующих расходов при производстве крупногабаритных деталей.

Вывод. Требование многокоординатности перемещений и увеличения жесткости и прочности элементов станка обуславливает либо потери в динамике, либо увеличивает размеры, массу и мощность оборудования. Обычная задача стала изобретательской, поскольку необходимым условием ее решения стало разрешение технического противоречия.

Именно такого рода задачи планируется использовать в Многопрофильной инженерной олимпиаде. Вероятно, данная задача покажется слишком сложной, но, как говорится: «Тяжело в учении – легко в бою».



Рис. 2.4. Обрабатывающий центр, установка заготовок (оператор станка стоит справа)

2.2. Пример задачи заключительного этапа олимпиады

Рассмотренный выше пример может быть реализован в качестве следующей проектной задачи. Для обработки с 5-ти сторон заготовок со сложной поверхностью, например, колес турбин, используются шестикоординатные станки с компьютерными системами управления. Режущий инструмент, например, фреза, закрепляется на оси двигателя и вращается с большой частотой. В некоторых таких станках движения указанного двигателя и связанного с ним режущего инструмента осуществляется вдоль каждой из линейных координат: X , Y , Z (X – слева направо, Y – вперед назад, Z – снизу вверх) и поворотной координаты вокруг оси Y , т.е. оси B (рис. 2.5). Заготовка закрепляется на столе, который поворачивается вокруг поворотных осей A (вокруг X) и C (вокруг Z). Такие движения обеспечиваются соответствующими отдельными устройствами с зубчатыми колесами и электроприводами, управляемыми от станочного компьютера. При обработке заготовок в каждый момент времени требуется обеспечение точности положения инструмента относительно заготовки до десяти микрон и усилие воздействия инструмента на заготовку в сотни ньютонов. Для повышения производительности необходима высокая динамика перемещения инструмента относительно заготовки: скорости от миллиметров до дециметров в секунду и ускорения, обеспечивающие разгон от нуля до максимальной скорости за несколько секунд. Проблема возникает при обработке тяжелых стальных заготовок размером до 0,5 метра, массой в сотни килограммов: станки, требующие перемещения заготовок, должны быть прочными и мощными. Обычно в таких случаях применяются и тяжелые инструменты (масса – несколько килограммов). Необходимо предложить одно, самое существенное решение, которое бы позволяло при минимуме веса станка получать требуемые точность, усилия воздействия инструмента на заготовку и динамику перемещений.

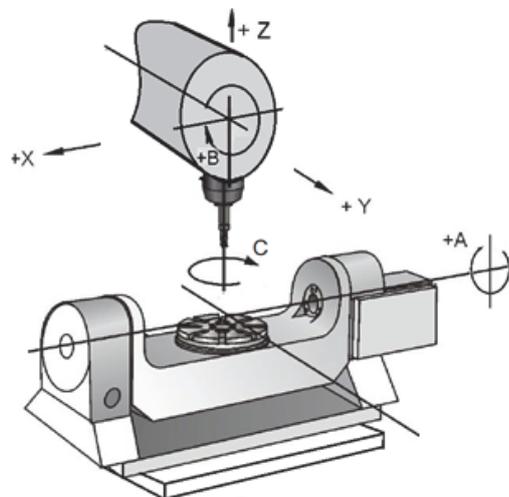


Рис. 2.5. Эскиз к задаче

Для решения этой задачи воспользуемся алгоритмом решения изобретательских задач (АРИЗ), предложенным в книге Г.С. Альтшуллера [8].

В первой части – части выбора или формализации задачи пройдем последовательно шесть установленных алгоритмом шагов. **На первом шаге** определим следующие основные параметры задачи. К ним относятся: цели и ограничения. **Конечная цель** заключается в обеспечении динамичного перемещения инструмента по шести координатам в системе координат заготовки при минимальной мощности и массе приводов станка. **Экономическая цель** – снижение массы и мощности станка при обеспечении типовых показателей его функционирования. **Ограничения** здесь следующие: инструмент должен перемещаться одновременно по всем шести координатам с высокой точностью. Инструмент должен перемещаться, быстро меняя скорости от быстрых холостых перемещений до относительно медленных рабочих. Инструмент должен взаимодействовать с заготовкой с относительно большими силами разного направления в несколько сотен ньютон. Инструмент и привод его вращения имеют массу в несколько килограммов. **Допустимые затраты** – стоимость нового оборудования должна быть сопоставима со стоимостью типовых станков. **Главным технико-экономическим показателем** является масса станка (его металлоемкость).

На втором шаге проверим обходной путь. Он связан с идеалом. В идеале, инструмент должен сам перемещаться относительно заготовки и взаимодействовать с нею, срезая лишний материал. Таким образом, более общей задачей является задача придания необходимых движений инструменту с одновременным обеспечением его силового воздействия на другой объект.

На третьем шаге сравним традиционное решение задачи с обходным вариантом. *Имеются типовые решения*, заключающиеся в использовании механизмов организации перемещения инструмента по одной координате и последующим объединением таких механизмов в общее устройство. Вероятно, возможно создание механизма с одновременным перемещением инструмента сразу по всем координатам. Такое устройство может быть сложнее устройств перемещения только по одной координате, но в целом для всех шести координат оно может оказаться проще.

Имеются *типовые решения в организации движений в передовых отраслях*. Если в поисковых системах сети Интернет ввести запрос «устройства перемещения», то можно увидеть такие механизмы, как транспортные системы, в том числе, например, автопогрузчики, домкраты, станки и роботы, конвейеры, краны и разного рода погрузчики, квадрокоптеры и даже найти космонавтов с их реактивными системами перемещения.

В качестве примера рассмотрим роботы–андроиды. Они придают движения пальцу руки, задавая последовательно перемещения плечу, локтю, кисти руки и, далее, фалангам пальца. Если кисть руки должна быстро

поднимать тяжелый груз, то, как и у человека, каждое звено такого тела должно быть прочным и сильным (мощным). При этом, чем дальше от пальца – тем мощнее звенья. В данном случае подход аналогичен и техническое противоречие не устранено. Аналогична работа и подъемных башенных строительных кранов: каждое последующее звено крана, начиная от его крюка, делается прочнее и мощнее. И каждое такое звено крана обеспечивает перемещение лишь вдоль одной координаты.

Транспорт. Любой автомобиль перевозит груз, используя четыре пары колес. У идеального автомобиля такие колеса вращаются вокруг собственных горизонтальных осей, что дает возможность линейного перемещения и вращаются вокруг вертикальных осей, что обеспечивает поворот автомобиля на плоскости. Таким образом, налицо выполнение функции четырьмя колесами на шасси для перемещения по двум горизонтальным осям и вращения вокруг одной из осей. Такое решение задачи отчасти имеет смысл, однако, это движение лишь по трем координатам. Необходимо же реализовать одновременное движение по всем шести координатам. Если автомобиль научить ездить по вертикальным стенкам, то такие стенки должны перемещаться на горизонтальной плоскости. Все это начинает напоминать существующие станки, где вместо колес применяют пары винт-гайка и приводы вращения.

Более интересным представляются квадролеты. Они могут летать во всех направлениях и поворачиваться вокруг всех осей. Их недостатки – недостаточная точность положения в пространстве и зависимость от неустойчивой воздушной среды и ее взаимодействия с пропеллерами, установленными по углам шасси квадролета. Если бы удалось преодолеть это препятствие, то задача начала бы разрешаться. ***Представляется, что здесь есть вариант решения противоречия.***

Следующие шаги из книги Г.С. Альтшуллера – это определение требуемых количественных показателей, поправка на время уточнения по внедрению и масштабам, – все они пока представляются неважными, поскольку основные параметры были определены ранее, а подробные параметры и остальные позиции не определены, в связи с отсутствием реального технического задания.

Часть вторая. Уточнение условий задачи. Первый шаг, связанный с обзором патентной литературы пока пропустим, в данном случае учащимся такая литература пока недоступна. Но «в жизни» этот этап, как и поиск в других литературных источниках, *ни в коем случае игнорировать нельзя!!!* **На втором шаге** применяется «оператор РВС». Меняем размеры инструмента от реального до нуля. Микроскопический инструмент можно было бы поместить в магнитное поле и управлять им как металлической опилкой. Но точности позиционирования инструмента, по-видимому, не добиться. Возможно использование движения электронов или даже фотонов. В последнем случае – лазерная резка уже известна, но все же нужно

организовать движение лазерного луча, а, следовательно, и устройство излучения. Меняем размеры инструмента до бесконечности. В этом случае проще двигать заготовку, но ее движения нужно аналогичным образом организовывать. Меняем время процесса от нуля до бесконечности. В первом случае процесс выглядит выстрелом. Так и реализована гидроабразивная резка, когда песок выстреливается вместе с жидкостью в заготовку и постепенно как абразивный инструмент прорезает ее. Но движение такой струи нужно, опять же, организовать. Статика для обработки не проходит, необходимо взаимодействие одного тела – инструмента с другим – заготовкой. Смена стоимости от нуля до бесконечности решений пока не дает.

Третий шаг. Изложение задачи без специальных терминов в двух фразах. *Дана система:* тело № 1 и тело № 2. Нужно организовать силовое взаимодействие этих тел во всех точках первого тела, т. е. с организацией движения. *Нежелательный эффект* дает необходимость в устройстве, организующем такое взаимодействие с движением. *Элементы, которые можно переделывать:* устройство организации движения и взаимодействия. *Элементы, которые трудно видоизменять:* тело № 1 и тело № 2. Наибольшим изменениям поддаются механизмы обеспечения движения по одной координате и их компоновка. Внешняя среда – воздух.

Часть третья. Аналитическая стадия. Первый шаг. Составим формулу идеального конечного результата (ИКР). Объект – инструмент сам движется в пространстве системы координат заготовки и взаимодействует с ней. Двигается точно, динамично, взаимодействует с большим усилием.

Второй шаг. Формируем два рисунка: «что было» и ИКР (рис. 2.6).

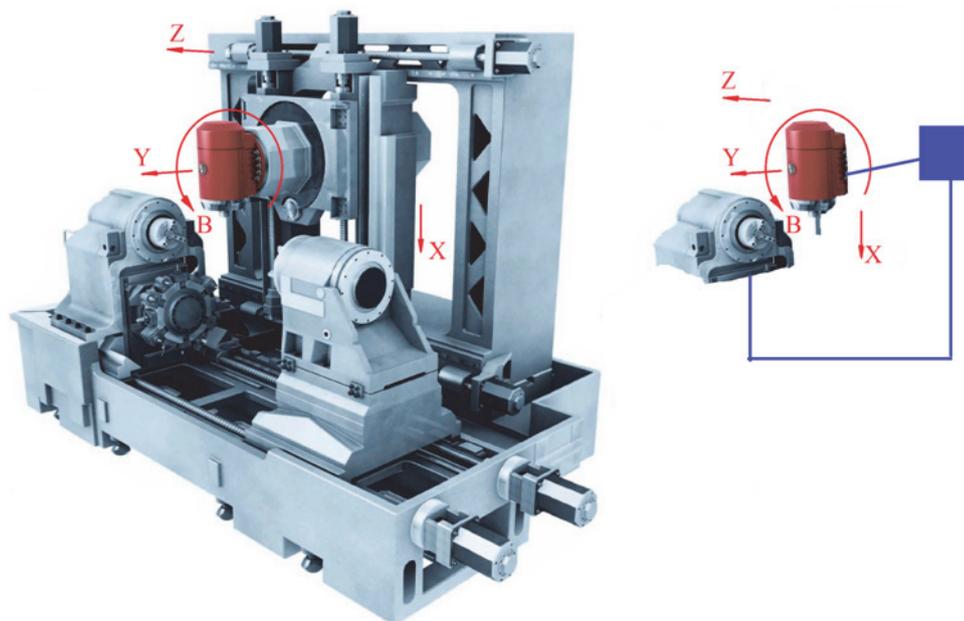


Рис. 2.6. Слева – существующее решение, справа – идеализированное (в квадрате некоторый идеальный механизм движений по всем координатам)

Третий шаг. Выделяем проблемный механизм, который не может выполнить функцию точного перемещения по всем координатам с требуемым усилием воздействия. Этот механизм «записан» в квадрате.

Четвертый шаг. Причина противоречия. Механизм получается многоступенчатым, а из-за этого – сложными и громоздким. Несоответствие заключается в сочетании последовательности механизмов, которые вызывают громоздкость с требованием многокоординатности перемещений, которые реализуются этими механизмами.

Пятый шаг. При каких условиях возможна реализация требуемого условия. Замена последовательного подхода, когда каждое устройство перемещения «цепочкой» связано с соседними на параллельный подход, когда части одного устройства обеспечивают все перемещения сразу (рис. 2.7). **Шестой шаг. Что нужно сделать, чтобы выделенная часть объекта приобрела нужные свойства.** Нужно инструментальную головку поставить на опорную деталь, которая бы двигалась по всем координатам от приводов, которые бы непосредственно были связаны с этой деталью.

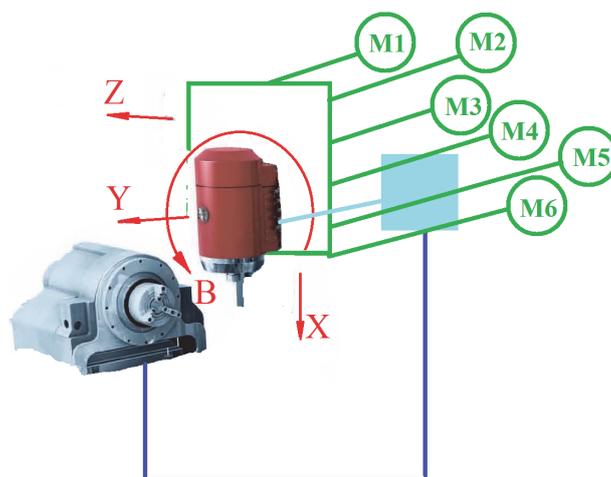


Рис. 2.7. Формализация идеального конечного результата

Седьмой шаг. Формулирование практического способа реализации ИКР. Каждый привод обеспечивает перемещение по одной координате, но все они равноправные (параллельные).

Часть четвертая. Предварительная оценка идеи. Шаг первый – анализ достоинств и недостатков. Достоинства: нет необходимости каждому механизму двигать все предыдущие по цепи. Соответственно, все они могут иметь равную прочность и жесткость, существенно меньшие, чем в базовом варианте. Недостаток – очевидно, что существует их взаимозависимость, так как они работают параллельно, то есть одновременно, следовательно, каждый привод должен «знать», что делают остальные.

Второй шаг. Для дальнейшего анализа необходимо представить предварительную схему устройства (рис.2.8).

Третий шаг. Что ухудшилось? Каждый из приводов такой схемы мог бы осуществлять прямолинейное перемещение по своей координате. Однако, если двигатели должны стоять на фиксированных позициях в системе координат заготовки, то, например, передача «винт–гайка» от каждого двигателя к опорной детали с инструментальной головкой приводит к изменению расстояния от двигателя до этой детали. Соответственно, это не может не сказаться на положении в пространстве остальных устройств перемещения. Например, удлинение отрезка по оси X от M1 до прямоугольной опорной плиты с инструментальной головкой приведет к изменению угла положения и длин остальных трех отрезков от M2 и M3 по осям Y и Z.

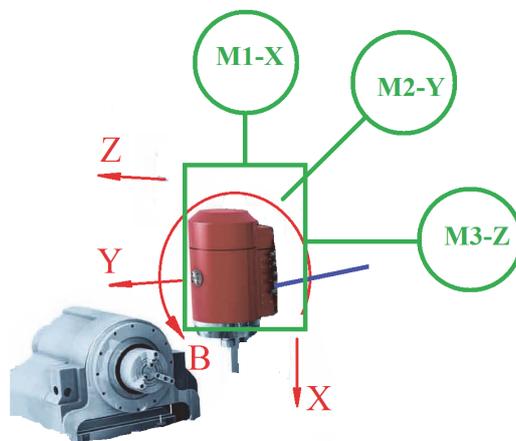


Рис. 2.8. Предварительная схема реализации ИКР

Такое ухудшение не является препятствием, если позволить длинам приводов от M2 и M3 так же синхронно изменяться. Эта задача реализуема, поскольку это такие же приводы, как и привод от M1. Синхронность сегодня может быть легко достигнута, поскольку управление всех двигателей можно легко осуществить от компьютера, но необходима соответствующая программа управления. Что касается изменения угла положения устройств перемещения, то можно их связать с опорной деталью-плитой и валом двигателя не жестко, а с использованием, например, сферических шарниров (это примерно, как в суставах человеческих конечностей).

В этом случае открывается еще одна возможность. Если представить себе стол на четырех шарнирных ножках, каждая из которых может по заданной программе удлиняться или укорачиваться, то столешница такого стола будет не только подниматься и опускаться, но и поворачиваться вокруг двух горизонтальных осей. Если к столу добавить еще две ножки, наклонные под углом, например, 45 градусов к полу, то такие ножки зададут движение столу вдоль горизонтальных осей. Они как бы будут сталкивать

стол, а вертикальные ножки могут образовывать параллелограммы или трапеции со столешницей и полом. Наконец, если к углу стола прикрепить еще одну удлиняющуюся ножку, расположенную горизонтально под углом 45 градусов к краю стола, то ее удлинение заставит столешницу вращаться вокруг вертикальной оси. То есть такая ножка заставит вращаться стол.

Получилось, что движением таких шести «ножек» можно заставить столешницу и перемещаться, и вращаться по всем шести координатам – степеням свободы (рис. 2.9).

Четвертый шаг. Сопоставление положительных и отрицательных результатов. Как уже отмечалось выше, каждое из указанных шести устройств перемещения и его привод могут быть примерно равными по прочности и мощности и в целом иметь меньшие такие показатели, чем у станков старой компоновки. Однако, необходимо совместное согласованное управление всеми приводами, и наряду с парой «винт–гайка» появляется шарнирное соединение, что ослабляет конструкцию и делает ее менее точной из-за зазоров. Не вполне понятна работоспособность такого подхода. В частности, вращение вокруг вертикальной оси («последняя ножка») не может быть сколь угодно большим, как это легко реализуется в станках с традиционной компоновкой. Аналогичное можно сказать и про все остальные движения. Их величины еще не вполне определены на данной стадии и требуют дальнейшего уточнения.

С этой целью создадим новую расчетную схему – вид сверху (рис. 2.10).

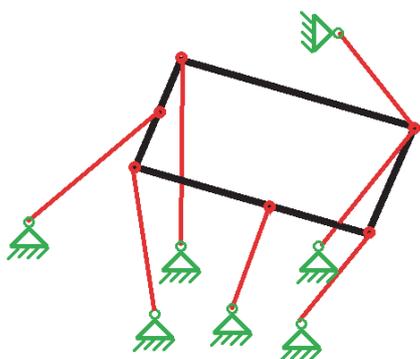


Рис. 2.9. Стол на шести удлиняющихся ножках

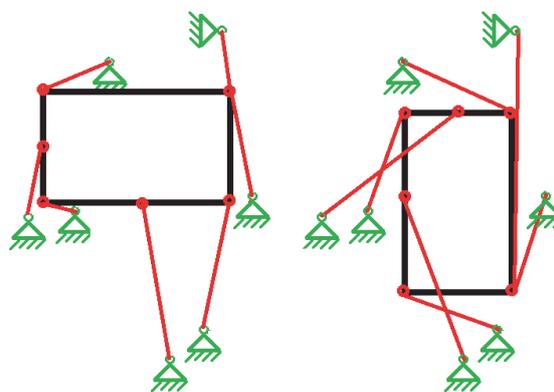


Рис. 2.10. Расчетная схема для определения угла поворота стола вокруг вертикальной оси

Как видно из двух положений, одно из которых предельное, стол не может повернуться более чем на угол около 90 градусов в обе стороны от некоторого среднего положения. Стержень от самой верхней опоры, как это показано на правом виде, ударяется о стенку стола. Наблюдается и пересечение других ножек. Таким образом, данная конструкция действительно имеет ограничения.

Пятый шаг. Сопоставление. Представляется, что все же положительных сторон больше, и указанные ограничения требуют уточнения области применения таких станков. Очевидно, что в определенных случаях они будут уступать традиционным машинам.

Часть пятая. Оперативная стадия. На первом шаге необходимо выбрать показатель нового решения, который требует улучшения. В данном случае это ограничение величин перемещения по всем степеням свободы. Связано это с тем, что поворот «столешницы», например, вокруг вертикальной оси более 90 градусов может привести к взаимному пересечению и удару всех его стоек. Аналогичная ситуация и с остальными поворотами.

На втором шаге необходимо улучшить показатель нового решения. По-видимому, выбор расположения всех приводов и точек их крепления не самый рациональный. Соотношение сторон «столешницы» и длин механизмов перемещения также должно быть правильным образом подобрано.

И на данном этапе оказывается, что ничего изобретать не нужно! Это известная с 1956 года платформа Гью–Стюарта (рис. 2.11), которая уже применяется в космических системах. Мораль: патентный поиск и поиск в литературных источниках очень и очень необходим в таких делах!

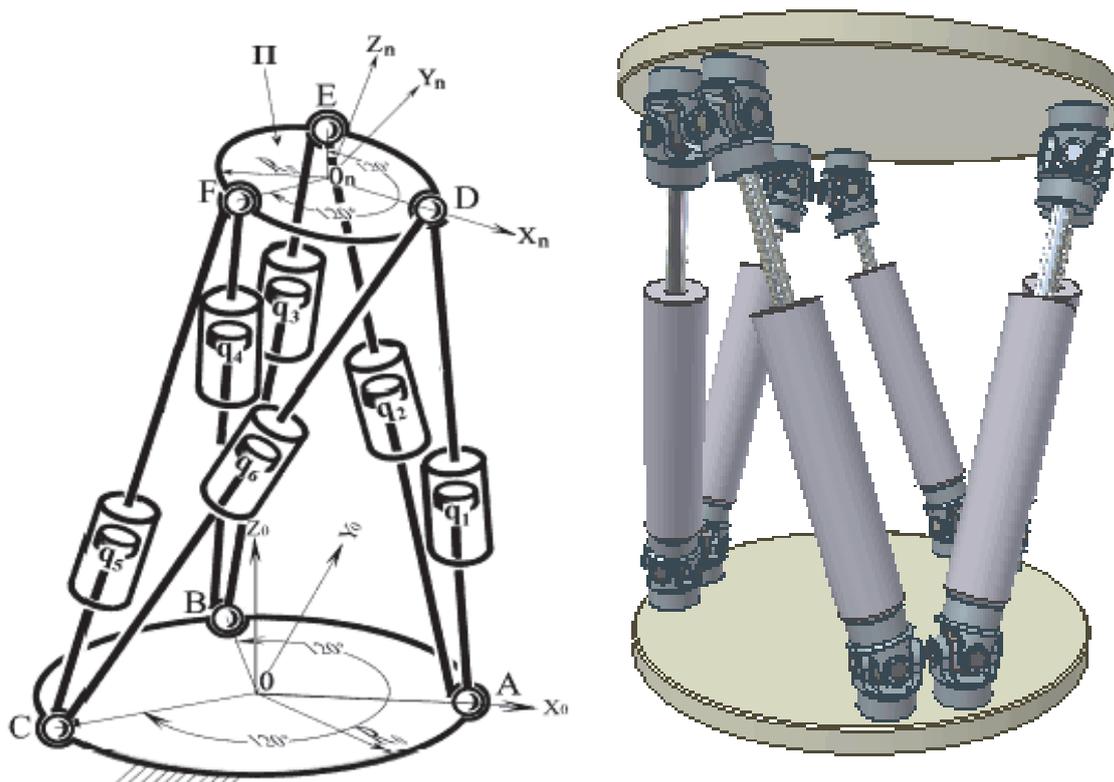


Рис. 2.11. Платформа Гью–Стюарта и ее компьютерная модель

Так или примерно так и была решена поставленная задача на практике. В настоящее время подобные станки с параллельной кинематикой выпускаются серийно многими предприятиями. Часто их называют гексаподами (рис. 2.12).

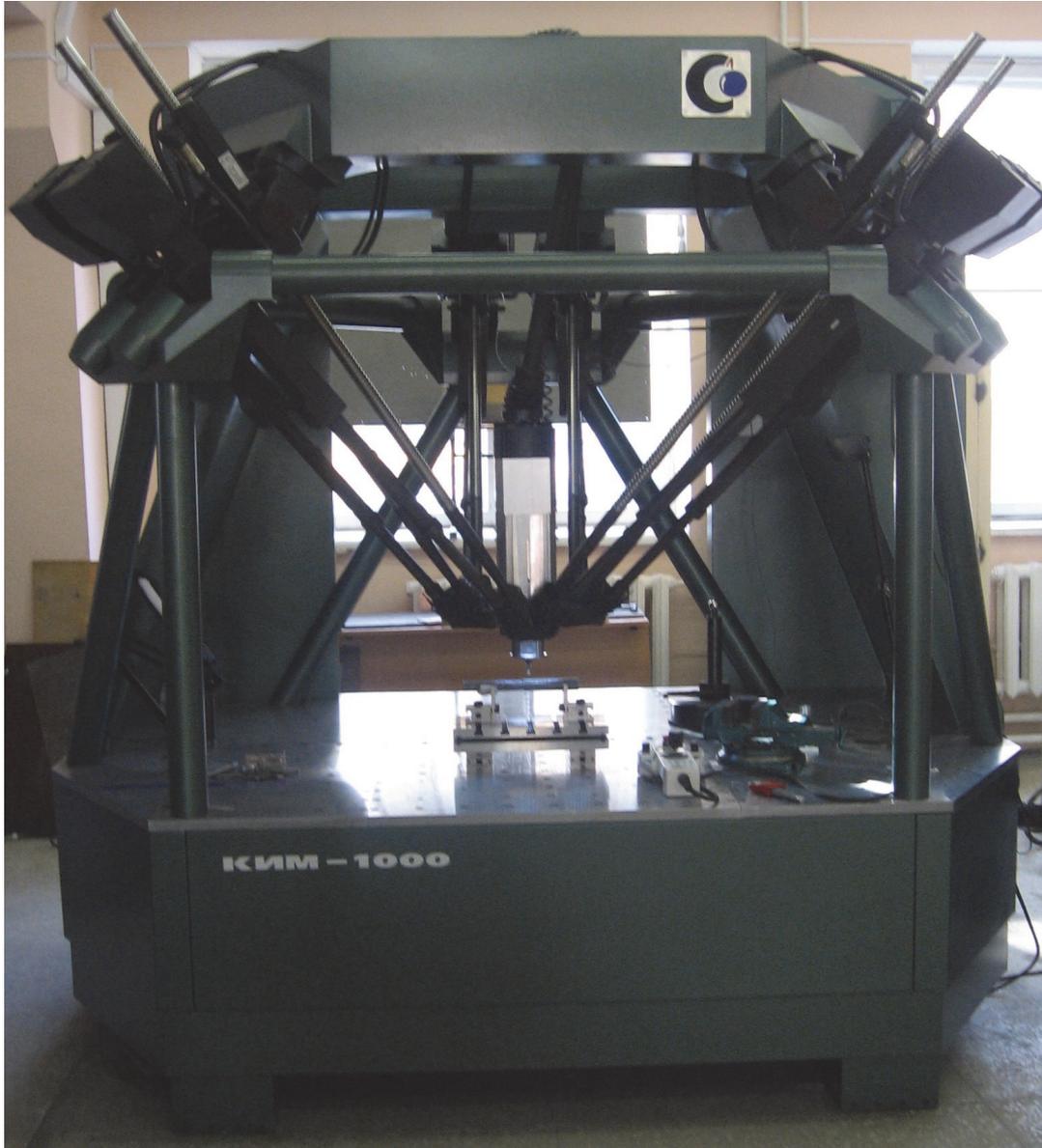


Рис. 2.12. Российская шестикоординатная фрезерная машина /координатно-измерительная машина в научно-образовательном центре «Машиностроение» ЮУрГУ

Далее можно оценить, каковы должны быть размеры стержней, чтобы, например, поднять инструмент массой в несколько килограммов и оказать воздействие на заготовку с силой в сотни ньютонов, как это требуется по условию задачи. Поскольку по указанному выше условию задачи масса инструмента точно не указана и усилие точно не задано, то, для опреде-

ленности, примем массу инструмента с его приводом и платформой равной 10 килограммам, а усилие воздействия 500 Н. Пусть для определенности расчетов инструмент действует на заготовку с силой, направленной вверх. Это будет наиболее тяжелый случай. Здесь силы: вес инструмента и сила резания, действующая, теперь уже на сам инструмент суммируются. В итоге такая сила будет равна примерно 600 Н. ($10 \cdot 9,8 + 500$). Если все шесть стержней расположить вертикально, то на каждый из них будет действовать сила, равная 100 Н. Тогда напряжение в каждом стержне будет равно $\sigma = F/S$. Если принять коэффициент запаса равный единице (про надежность в условии задачи ничего не дано), то при использовании конструкционной стали $\sigma_{0,2} = 500$ МПа площадь поперечного сечения стержня будет равна $100/5 \cdot 10^8 = 0,2 \cdot 10^{-6}$ квадратных метров, или всего 0,2 квадратных миллиметра. Таким образом, для обеспечения компенсации осевых нагрузок существенных размеров сечения не требуется.

Далее оценим требуемое сечение стержней в условиях их работы при изгибе. Предварительно расположим стержни вертикально. Тогда сила резания может действовать в горизонтальном направлении, что и вызовет изгиб стержней. Поскольку по условию задачи необходимо обрабатывать заготовки с габаритами до 0,5 метра, то длина стержней должна быть не менее этого размера при их максимально выдвинутом положении. Очевидно, что фактически длина стержня должна быть еще больше, поскольку необходимо обходить заготовку со всех сторон, иметь запас размещения сверху и так далее. Предварительно примем длину стержней равной 1 метру. Тогда напряжения в стержнях могут быть равными $\sigma = 6 l P/bh^2$. Или для эквивалентного квадратного сечения стержня: $\sigma = 6 l P/h^3$. В этом случае размер квадрата указанного сечения для $P = 500/6 = 80$ Н будет равен $h^3 = 1 \cdot 500/500 \cdot 10^6$. Откуда получаем $h = 0.01$ м, или 10 мм.

Такое сечение тоже представляется нереальным. Поэтому оценим стержни при их работе с точки зрения минимальных деформаций (см. рис. 1.30). По условию задачи установлено, что точность должна быть в пределах 10 микрон. Тогда при растяжении стержня площадь его сечения, в соответствии с формулой $\Delta l = l R / ES$ должна быть не менее $1 \cdot 100 / (2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5}) = 0,00005$ м² или 50 мм². Это около 8 мм в диаметре.

При изгибе от силы 80 Н указанная выше формула $Y = l^3 P / (3E(bh^3/12))$, дает размер стороны квадрата $h^4 = 12 \cdot 1^3 \cdot 80 / (3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5}) = 0,0002$ или примерно $h = 0,12$ м. Очевидно, что стержень со стороной сечения 120 мм является достаточно массивным. Поэтому стержни должны располагаться не параллельно друг к другу, а под некоторым углом, чтобы нагрузка приводила не только к изгибу стержней, но и к их сжатию. Это показывают и расчеты на растяжение (а то же самое будет при сжатии), когда достаточно 10 мм.

Такая или подобная этой задача и будет предложена школьникам на политехнической олимпиаде на ее заключительном этапе. Приведенные выше рассуждения, расчетные схемы и расчеты могут быть изложены в пояснительной записке проекта.

2.3. Принципы оценки олимпиадных решений

Прежде всего, следует отметить, что к моменту подготовки данного варианта пособия принципы оценки окончательно еще не утверждены. В основе существующей схемы оценки три части. **Во-первых**, оценивается степень продвижения участника олимпиады на пути к конечному решению и формально оценивается уровень его разработок на этом пути. Планируется оценить этот аспект от одного до 25 баллов. **Во-вторых**, даются 5 оценок: оценка степени понимания поставленной проблемы и ее структурное описание; оценка широты обзора прототипов (показывает эрудированность учащегося в машиностроительной тематике); оценка степени оригинальности идеи (показывает неординарность мышления); оценка степени проработки идеи на пути к ее практической реализации и применения в других сферах (показывает умение применить полученные в школе знания по естественнонаучным дисциплинам для решения практических задач); оценка полноты формирования конструкторского или технологического решения (показывает умение довести идею до логического конца). Такие пять оценок на данном этапе представляют собой ряд чисел: 5 : 5 : 8 : 7 : 5. Максимально здесь можно получить 30 баллов.

Наконец, **в-третьих**, оценивается аккуратность оформления проекта и умение защитить его перед жюри (максимум 2 и 3 балла). Итого максимально школьник может получить 60 баллов.

Таким образом, **на первом этапе** заявлено использование для оценки проектов школьников схемы в виде таблицы, в которой по вертикали приведены названные выше уровни решения задачи, а по горизонтали – стадии ее прохождения. В ячейках этой таблицы «5x5» даны результаты каждого этапа на своем уровне и стадии и одновременно вписаны величины баллов, которыми оцениваются учащиеся при выполнении ими соответствующего шага работы. Предусматривается, что решение школьник должен будет привести только одно самое главное, самое существенное. Все другие более простые дополнительные решения не будут рассматриваться жюри при определении оценки.

Таким образом, такая таблица дает возможность жюри количественно оценить степень продвижения участника олимпиады на пути к конечному решению и формально оценить уровень его разработок на этом пути (см. таблицу).

Примеры выполнения проектной задачи и оценки ее уровней и стадий выполнения

| Стадии Уровни (У) | 1. Выбор и описание задачи | 2. Выбор и обоснование поисковой концепции | 3. Сбор информации (поиск аналогов) | 4. Поиск идеи решения | 5. Развитие идеи в конструкцию |
|--|---|---|--|--|--|
| У1. Использование готового объекта | 1.1. Использована готовая задача: сделать станок из легких прочных материалов, как это применяется в самолетах | 2.1. Использована готовая поисковая концепция: облегчение тяжелых частей на легкие и такие же прочные | 3.1. Использованы имеющиеся сведения: облегчение конструкций в самолетах и автомобильной промышленности (сталь заменяется на алюминий или композиты) | 4.1. Использовано готовое решение: Предложено заменить тяжелые стальные части станков на легкие алюминиевые или композитные. | 5.1. Использована готовая конструкция: Выполнить стол станка и устройства подачи инструмента из металлокомпозита на алюминиевой матрице |
| Баллы (У1) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| У2. Выбор одного объекта из нескольких | 1.2. Выбрана одна из нескольких задач: сделать станок с более легкими и такими же прочными конструктивными элементами | 2.2. Выбрана одна поисковая концепция из нескольких: применение форм с более рациональными показателями в соотношении масса/прочность | 3.2. Собраны сведения из нескольких источников: Требования легкости и прочности приводят к изменениям конструкций (коробчатые, сотовые конструкции) | 4.2. Выбрано одно решение из нескольких: вместо цельных литых конструкций, применение коробчатых, полых, сотовых | 5.2. Выбрана одна из нескольких конструкций: вместо литой чугунной станины и опорных частей предлагаются сварные из стальных коробчатых профилей |
| Баллы (У2) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |

Продолжение таблицы

| Стадии | 1. Выбор и описание задачи | 2. Выбор и обоснование поисковой концепции | 3. Сбор информации (поиск аналогов) | 4. Поиск идеи решения | 5. Развитие идеи в конструкцию |
|--|--|--|--|--|--|
| Уровни (У) | | | | | |
| У3. Частичное изменение выбранного объекта | 1.3. Изменена исходная задача: отказаться от моторально устаревшего компонента и тем самым снизить массу | 2.3. Поисковая концепция изменена применительно к задаче: замена типового механизма на более прогрессивный | 3.3. Собранный информация изменена применительно к условиям задачи: современные электродвигатели могут менять частоты вращения управлением от электроники и останавливать вал в нужном угловом положении | 4.3 Изменено известное решение: отказаться от коробок с зубчатыми колесами и другими передаточными устройствами на новые двигатели с переменной частотой вращения и контролем положения ротора | 5.3. Изменена исходная конструкция: вместо коробок подач линейных перемещений и вращения с зубчатыми колесами использовать прямые приводы: вал двигателя – движитель механизма |
| Баллы (У3) | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| У4. Создание нового объекта | 1.4 Найдена новая задача: Отказаться от перемещения тяжелой заготовки, желой заготовки, обеспечить все перемещения только за счет инструмента. | 2.4. Найдена новая поисковая концепция: устранение движений одного тяжелого объекта за счет переложения их на движения второго – легкого | 3.4. Получены новые данные, относящиеся к задаче: промышленные роботы-манипуляторы обеспечивают все перемещения по всем 6-ти степеням свободы исполнительного устройства | 4.4. Найдено новое решение: Предложено все устройства перемещения по координатам связать только с инструментом, заготовка же должна стоять на неподвижном столе | 5.4. Создана новая конструкция: заготовку закрепить на неподвижном столе. Инструмент установить на устройство типа промышленного робота (манипулятора) |
| Баллы (У4) | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |

Окончание таблицы

| Стадии Уровни (У) | 1. Выбор и описание задачи | 2. Выбор и обоснование поисковой концепции | 3. Сбор информации (поиск аналогов) | 4. Поиск идеи решения | 5. Развитие идеи в конструкцию |
|--|--|--|---|--|--|
| У5. Создание нового комплекса объектов | 1.5. Найдена новая проблема: последовательность устройств перемещений по координатам обуславливает рост их прочности и мощности | 2.5. Найден новый метод: замена последовательной кинематики на параллельную | 3.5. Получены новые данные, относящиеся к проблеме: применение нового метода (параллельного) полностью меняет устройство станков | 4.5. Найден новый принцип: заменить последовательность соединения механизмов на параллельные соединения | 5.5. Созданы новые конструктивные принципы: использовать плиту с приводом инструмента, которая удлиняющимися параллельными приводами может совершать все 6 движений |
| Баллы (У5) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

Предположим, например, что школьник решил вместо типовых коробок с шестернями использовать электроприводы с регулируемыми частотами вращения и контролем положения ротора. При этом он описал задачу, выбрал и обосновал поисковую концепцию, привел примеры аналогов в этом направлении, описал идею, как он собирается реализовать задачу, но не привел (не успел) конкретные конструктивные решения, как это будет реализовано, то оценка за выполненные работы – 12 баллов. Если одновременно с этим школьник назвал еще изменение конструктивных элементов с цельных на коробчатые или замену материалов на более легкие – это более простые и очевидные решения, то они не засчитываются, так как по условию задачи требовалось дать одно наиболее эффективное решение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе приведены краткие сведения по истории некоторых направлений развития машиностроения, их современное состояние, даны некоторые проблемы и названы перспективные тенденции техники и технологий. Цель такого обзора – показать школьникам эти направления, поскольку они тесно связаны с направлениями подготовки в вузах, для лучшего понимания своих наклонностей и предпочтений. С другой стороны, данный материал служит некоторой основой для использования этих знаний при решении задач Всероссийской многопрофильной инженерной олимпиады «Будущее России». Автор предполагает, что учащиеся сами найдут указанную в библиографическом списке и другую аналогичную литературу и изучат подобные решения самостоятельно.

Наконец, в работе рассмотрена проблема и приведено ее решение на системной основе. Ожидается, что подобная задача будет дана и на заключительном этапе олимпиады, где каждый участник сможет показать свои способности применительно к задачам техники и технологий машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриев, М.И. История развития техники: уч. пос. для студ., обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / М.И. Дмитриев, М.И. Есеновский-Лашков, А.С. Зенин и др.; под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Университет машиностроения, 2013. – 83 с.
2. Ямников, А.С. История развития технологической науки: учебное пособие / А.С. Ямников, А.А. Маликов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012.– 390 с.
3. Слуцкер, А.И. Эволюция учения о прочности твердых тел / А.И. Слуцкер, В.С. Рыскин // Физика: Проблемы. История. Люди: сб. статей / Сост. В.М. Тушкевич. – М.: Наука, 1986.
4. Гордон, Дж. Конструкции, или почему не ломаются вещи / Дж. Гордон. – М.: Книга по требованию, 2012. – 238 с.
5. История промышленных роботов // Itech. – 2010. – № 10. – С. 88–92.
6. Каталог DMG Mori. NT series. NT-EC04ABV(N) V.1310.CDT.0000
7. Плаксин, Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. – М.: КолосС, 2007.– 760 с.
8. Альтшуллер, Г.С. Алгоритм изобретения / Г.С. Альтшуллер. – М.: Моск. Рабочий, 1973. – 296 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение. | 3 |
| 1. История и современное состояние машиностроения | |
| 1.1. Начнем с определений. | 4 |
| 1.2. История создания и современное состояние технологических машин | |
| 1.2.1. История и современные машины механообработки. | 6 |
| 1.2.2. История и современное состояние кузнечно-штамповочного производства. | 20 |
| 1.2.3. Развитие и современное состояние оборудования сварочного производства. | 26 |
| 1.2.4. Развитие и современное состояние оборудования пищевых производств. | 29 |
| 1.3. История и современное состояние расчета машин на прочность. | 31 |
| 1.4. Об истории и современном состоянии гидравлических машин. | 42 |
| 1.5. Об истории и современном состоянии автоматизации технологических процессов и производств. | 44 |
| 1.6. Об истории и современном состоянии робототехники. | 47 |
| 1.7. Первые выводы. | 53 |
| 2. Некоторые проблемы машиностроения, олимпиадная задача и ее решение. | 54 |
| 2.1. Проблема в области механообработки. | 54 |
| 2.2. Пример задачи заключительного этапа олимпиады. | 59 |
| 2.3. Принципы оценки олимпиадных решений. | 69 |
| Заключение. | 73 |
| Библиографический список. | 74 |

Учебное издание

Щуров Игорь Алексеевич

**МАШИНОСТРОЕНИЕ.
ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР, СОСТОЯНИЕ,
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Учебное пособие

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 02.12.2014. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 4,42. Тираж 50 экз. Заказ 540/627.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.