

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**В.М. Медунецкий**

**К.В. Силаева**

**Основные этапы развития  
технических наук**



Санкт-Петербург

2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**В.М. МЕДУНЕЦКИЙ**

**К.В. СИЛАЕВА**

**Основные этапы развития  
технических наук**

**Учебное пособие**

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016

В.М. Медунецкий, К.В. Силаева Основные этапы развития технических наук. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 67 с.

В настоящем учебно-методическом пособии рассмотрены основные этапы развития технических наук во взаимосвязи с основными технологическими укладами, которые отражают и характеризуют уровень технического развития общества в целом.

Кратко и в общем виде изложена история возникновения и развития робототехники и мехатроники, а также рассмотрена такая научная область как приборостроение, тесно взаимосвязанная с мехатроникой и робототехникой. Уделяется внимание основным и перспективным научным направлениям в рассматриваемых областях.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» по магистерским программам «Интеллектуальные технологии в робототехнике», «Системы моделирования в мехатронике» и «Модульные технологии в биомехатронике», а также по направлению подготовки 12.04.01 «Интеллектуальные измерительные технологии в мехатронике».

Рекомендовано к печати мегафакультетом КТУ - протокол № 8 от 11.10.2016.



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

© Медунецкий В.М., Силаева К.В., 2016

## 1. Введение

Современный период развития науки в целом характеризуется глубокими и качественными изменениями. Серьёзные изменения происходят в прикладных науках, в том числе и в технической области научного знания. Технические науки - это прикладные науки, исследующие технику и процессы, которые связаны с её созданием, развитием и взаимодействием с окружающей средой и человеком. Технические науки обеспечивают перенос знаний человека в физическую среду посредством создания техники, совокупность которой составляет искусственную, сознательно созданную среду обитания для человека - так называемую техносферу. Несмотря на то, что техника является продуктом только человеческой созидательной деятельности, технические науки связаны с естественными и общественными науками поскольку техника подчиняется тем же объективным законам, что и естественные объекты. Важно отметить, что объектами изучения технических наук являются не только материальные и существующие объекты техники, но и объекты ещё будущей техники, которую ещё предстоит создать. Можно отметить, что основными методами современных разделов технических наук являются компьютерное проектирование и моделирование.

Для того, чтобы понять логику развития технических наук, следует выделять и изучать этапы их «эволюции». Это предоставляет возможность в определённой мере делать те или иные прогнозы развития технической области. При рассмотрении этапов развития технических наук необходимо выделять условия, в которых они формируются при соответствующем уровне техники, а также предпосылки и условия перехода одного этапа развития к другому. В данном варианте важно рассматривать и сопоставлять этапы развития техники и технических наук с технологическими укладами, что позволяет сделать анализ более глубоким. Под технологическим укладом можно понимать целостное и устойчивое образование, в котором осуществляется замкнутый цикл производства определённого набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления.

Современные технические науки по мере усложнения исследуемых ими технических систем сближаются в известном плане с общественными науками. Следует отметить возникновение раздела социально-технических знаний, который нацелен на исследование технических устройств с точки зрения характеристик таких как технико-экономических, инженерно-психологических, технико-эстетических, экологических. Наряду с общими вопросами развития технических наук и техники в целом также целесообразно рассматривать и конкретные области технического знания, к примеру – возникновение и развитие мехатроники, робототехники и приборостроения.

## 2. Основные этапы развития технических наук

### *Взаимосвязь науки и техники*

В отличие от фундаментальных наук, технические науки имеют исключительно прикладное, практическое назначение. Практическая направленность научно-технических исследований противопоставляет их фундаментальной науке. Между прикладными исследованиями и фундаментальной наукой существует неразрывная связь: с одной стороны, результаты фундаментальных исследований являются теоретической основой для проведения прикладных исследований, а с другой стороны, результаты научно-технической деятельности предоставляют свидетельства, которые могут подтверждать или опровергать научные теории, сформулированные учеными-теоретиками.

Технические науки оперируют преимущественно понятием процедура (от лат. *processus*-продвижение), то есть взаимосвязанная последовательность действий, направленных на достижение поставленных задач в заданных граничных условиях. Именно прикладная направленность технических наук привела к созданию первых тепловых двигателей, летательных и далее космических аппаратов, сложнейших технических объектов.

Фундаментальные естественные науки оперируют, в основном, понятием процесс (от лат. *procedo* - последовательных смен состояний объектов во времени), то есть изучение базовых законов природы, при этом невозможно заранее задать конечную цель исследования, оценить результаты, необходимые сроки и затраты. Однако, в результате может быть получена совершенно новая, недоступная по уровню технических наук технология. К примеру, лазерные технологии в современном мире приобрели существенную роль – от светодиодов до технологий оптических носителей информации и военного назначения.

Тем не менее, именно технические науки в составе иных прикладных наук играют основную роль в развитии технологий. В основе техники лежит использование законов природы. Вся история техники раскрывает диалектическое взаимодействие техники и естествознания. Решая тот или иной технический вопрос на основе уже открытых законов природы, человек вместе с тем открывает новые свойства вещей и тем двигает вперед естествознание. Хотя технические науки появились и начали развиваться сравнительно недавно, в начале XIX века, а сама техника появилась значительно раньше.

На современном этапе развитие техники на основе широкого использования научных знаний - главное условие научно-технического прогресса. Если в прошлом техника в основном представляла собой аккумулированные в средствах труда, преимущественно эмпирические знания и опыт, то ныне в ней всё в большей мере материализуются научные знания.

В современный период важнейшие достижения техники – следствие фундаментальных научных открытий. Чисто эмпирическим путём уже невозможно создавать технические средства, подобные ядерным реакторам, лазерам, компьютерам и так далее; предварительным условием их создания является глубокое изучение и познание физических, химических и иных явлений и процессов, лежащих в основе принципа их действия. Потребности современного производства требуют предварительного изучения этих явлений, их теоретического анализа и обобщения, умения прогнозировать их особенности в иных, ещё не изученных ситуациях. Таким образом, неперенное условие развития техники и, следовательно, материального производства - обеспечение опережающего развития науки по отношению к технике, практике. В то же время именно производство, его потребности и запросы оказывают решающее воздействие на развитие науки. Технический уровень производства обуславливает степень использования науки, определяет готовность технической базы производства к реализации новых научных идей. Вместе с тем материально-техническая база производства создаёт также материальную базу самих научных исследований, оказывает решающее влияние на качественный уровень научных экспериментов, на степень «индустриализации» науки.

Современная наука оснащается сложнейшими техническими устройствами и сооружениями — исследовательскими реакторами, установками для изучения термоядерного синтеза, андронными коллайдерами, мощными радиотелескопами и т.д.

Интенсивное развитие науки и техники, их взаимосвязь и взаимодействие, превращение науки в непосредственную производительную силу составляет одну из важнейших сторон современной научно-технической революции. На базе научных достижений и открытий происходят качественные изменения во всех отраслях современной техники. В корне преобразуются технические средства, системы, устройства, технологические методы производства. В современном производстве произошел переход от механизации отдельных процессов труда к комплексной механизации, автоматизации всего производства, к широкому использованию автоматизированных систем управления, промышленной робототехники. В ходе научно-технического прогресса произошла сплошная электрификация производства. Механические методы обработки материалов во многих случаях заменяются или дополняются более совершенными, использующими новейшие достижения физики и химии (ультразвуковая, высокочастотная, электроэрозионная, лазерная и др. виды обработки). Развитие биотехнологий позволяет эффективно применять для решения инженерных задач биологические методы, использовать в различных областях техники опыт живой природы. Биотехнология позволяет реализовать биологические методы получения многих продуктов и веществ.

Прогресс химической науки и технологии даёт возможность рационально изменять свойства природных материалов, создавать широкую

гамму синтетических материалов, ускорять технологические процессы и на этой основе повышать производительность и улучшать качество промышленной продукции. Интенсивное развитие естественных и технических наук обуславливает активное познание человеком законов микромира, расширяет сферу деятельности человека, обеспечивая возможность его выхода в космос и практическое использования космической техники в интересах общества.

Прогресс космических исследований - пример плодотворного взаимодействия науки и техники, их взаимообогащения в процессе совместного развития. Создание и совершенствование космических технологий явилось стимулом прогресса не только в области технических наук и связанных с ними отраслей производства (особенно радиоэлектроники, автоматики, точного приборостроения, материаловедения и др.), но также и в области естественных и общественных наук, где появились совершенно новые направления: космическая физика, биология, медицина, психология, право и т. д. Точно так же развитие информационной и вычислительной техники вовлекло в изучение процессов связи и управления большой комплекс наук, выдвинуло ряд общенаучных проблем (проблемы передачи информации, взаимодействия человека и машины и др.). Взаимодействие науки и техники – важнейшее условие осуществления не только научно-технического прогресса, но и общественного развития в целом [1].

### ***Развитие технических наук***

Завершение процесса приобретения техническими знаниями научного характера стало возможным благодаря разрушению границ теории и практики вследствие становления классического естествознания и первых научных революции. В своем единстве процессы теоретизации, дифференциации и интеграции технических наук способствовали их превращению в особую, равноправную область научных знаний со сложной горизонтальной и вертикальной структурой, имеющую при этом открытые границы.

Как отмечено в работе [2] - прежнее "парадигмальное отставание" научно-технического знания от глобальных научных революций, его "наверстывающий" характер постепенно сменяется опережением, превращением техники в главнейший фактор развития естественных, логико-математических и социально-гуманитарных наук. В целом постоянное ускорение темпов прогресса научно-технических знаний и технологий является проявлением универсального закона ускорения социально-исторического времени.

### ***Развитие технических наук в Новое время***

В Новое время происходит постепенное становление классического научно-технического знания. В XVII—XIX вв. наука становится доминирующей формой постижения бытия. Распространяется вера в

безграничные возможности науки, и эта вера все более укрепляется благодаря нарастающему потоку выдающихся технических достижений. Философия начала Нового времени усилиями Г. Галилея, Т. Гоббса, Р. Декарта, Б. Спинозы, сформулировала новые познавательно-методологические принципы, повлиявшие на определение критериев научности и прогресс в том числе технического знания: квантитативизм (метод количественного сопоставления по формуле: "познать — значит измерить"), причинно-следственный автоматизм и динамизм (признание за всеми явлениями действия однозначных, математически выраженных законов, исключение случайности), сумматизм (ориентация на сведение сложного к простому, рассмотрение всего как агрегата элементарных частей), механицизм (сведение к механике понимания всего мироустройства), экспериментальность (превращение эксперимента, как технического, так и мысленного, из иллюстрации знания в главный метод познания, проверка им даже общепринятых воззрений).

Технические науки — это система теоретического знания, направленного на изучение и разработку идеальных моделей искусственных материальных средств целесообразной деятельности людей. В становлении и развитии технических наук в Новое время можно выделить несколько этапов.

**I этап (XVII - середина XVIII в.)** - время первой собственно научной революции, которая знаменуется становлением экспериментального метода и математизацией естествознания как приложения научных результатов в технике. К концу этого этапа, благодаря в первую очередь И. Ньютону, сформировалась первая — механистическая — научная картина мира. В этих условиях техника выступает как объект исследования естествознания, поскольку становление экспериментальной науки требует создания инструментов и измерительных приборов.

Решению этой проблемы была подчинена значительная часть деятельности ученых-экспериментаторов. Так, Г. Галилей, И. Кеплер, Х. Гюйгенс и др. предлагали все более совершенную конструкцию зрительной трубы. Э. Торичелли создал ртутный термометр и дал научное объяснение его действию. О.фон Герике изобрел воздушный насос, Р. Бойль — барометр, а ассистент Бойля Р. Гук — микроскоп. В теоретической части научно-технического знания усилиями Л. Эйлера, Ж. Б. Даламбера были разработаны физико-математические основы технической механики, в частности механики жидкостей и газов, пневматики. Труды С. Стевина, Б. Паскаля и др. формируются гидростатика как раздел гидромеханики.

В рассматриваемый период стали появляться первые специализированные технические учебные заведения, главным образом военно-инженерные и горные. В начале XVIII в. подготовка военных инженеров (артиллеристов и строителей) была наиболее широко представлена во Франции. В России в основанных в 1700—1701 гг. инженерной школе, а также в школе математических и навигацких наук преподавались прикладные дисциплины. Специалистов по горнозаводскому

делу подготавливали в специальных школах при заводах. В 1715 г. открылась Петербургская морская академия.

**II этап (вторая половина XVIII - середина XIX в.)** – характеризуется формированием научно-технических знаний на основе использования в инженерной практике знаний естественных наук и, во-вторых, появлением первых технических наук. Этот качественный скачок неразрывно связан с развитием крупного капиталистического производства и так называемым промышленным переворотом.

Исходным пунктом перехода от мануфактурного производства к машинному явилось изобретение и применение рабочих машин как части технического устройства, которая непосредственно воздействует на предмет труда и целесообразно изменяет его форму. Другими частями машины являются двигатель и передаточный механизм.

Первоначально рабочие машины появились в текстильном производстве. Затем энергетический кризис в горном деле и металлургии стимулировал изобретение универсального теплового двигателя. Окончательной стадией уже в XIX веке стала революция в машиностроении, связанная с изобретением суппорта.

Промышленный подъём привел к появлению новых видов производств и стимулировал целый ряд технических изобретений. В первую половину XIX века они изменили всю систему общественных отношений (железнодорожные локомотивы, пароходы, сельскохозяйственные машины, электрические телеграфы, фотоаппараты). Были заложены основы электромеханики (Дж. Генри, Б.С. Якоби и др.).

В этих условиях возникла потребность в тиражировании и модификации изобретенных инженерных устройств. Резко возрос объем расчетов и конструирования, в силу чего все чаще инженер имел дело не только с разработкой принципиально нового инженерного объекта, но и с созданием сходного (модифицированного) изделия (например, машины того же класса, но с другими характеристиками, иной мощностью, скоростью, габаритами, конструкцией).

Разработка однородных инженерных объектов позволяла сводить одни случаи к другим. В результате начали выделяться и описываться определенные группы естественнонаучных знаний и схем инженерных объектов. Фактически, это были первые знания и объекты технических наук, но существующие пока еще не в собственной форме. С этим процессом были связаны два других: онтологизация и математизация. Онтологизация - это поэтапный процесс схематизации инженерных устройств, в ходе которого эти объекты разбиваются на отдельные части и каждая замещается "идеализированным представлением" (схемой, моделью). Подобные идеализированные представления вводились для того, чтобы к инженерному объекту можно было применить как математические знания, так и естественнонаучные.

Замещение инженерного объекта математическими моделями требовалось и само по себе как необходимое условие изобретения, конструирования и расчета, и как стадия построения нужных для этих процедур идеальных объектов естественной науки. Если на первой стадии используются отдельные математические знания или фрагменты математических теорий, то в дальнейшем технические науки переходят к применению целых математических аппаратов. Процессы сведения, идеализации и математизации привели к формированию первых идеальных объектов технических наук (схема колебательного контура, кинематического звена, теория идеальной паровой машины и др.).

В рассматриваемый период создается научный фундамент теплотехники, зарождается электротехника, закладываются аналитические основы механических наук.

**III этап (последняя треть XIX - начало XX в.)** - время завершения перехода от простой передачи накопленных предыдущими поколениями технических знаний и навыков к развитию науки через систему профессиональной деятельности и образования, основой которых явилась механистическая картина мира. Этап характеризуется дисциплинарным оформлением технических наук и построением ряда фундаментальных технических теории.

В это период был реализован наиболее важный для развития техники переход от центрального парового двигателя к более экономичным, безопасным и менее габаритным. Это создание электродвигателя с переменным током (Г. Уайльд, З. Грамм и др.) и двигателя внутреннего сгорания (Н. Огто, Г. Даймлер, Р. Дизель). Это, вместе с прогрессом в металлургии и химической промышленности, привело к целому ряду технических изобретений, важнейшие из которых — гигантский стальной корабль, трактор, аэроплан (А.Ф. Можайский, О. Лилиенталь, братья У. и О. Райт), танк. Примечательной особенностью эпохи является и то, что впервые технические новшества поступают в массовое производство, а это стало возможным в том числе благодаря изобретению Ф. Тейлором сборочного конвейера. Стали вводиться в эксплуатацию телефонные станции, интересными изобретениями явились фонограф (Т. Эдисон) и кинематограф (И.А. Тимченко, Ж. Демени, братья О. и Л. Люмьер и др.). Одним из величайших открытий в области техники явилось изобретение радио (А.С.Попов).

К концу этапа формируется система международной научной коммуникации в инженерной сфере: возникает научно-техническая периодика, создаются научно-технические сообщества. Все это способствует дисциплинарному оформлению классических технических наук — теории машин и механизмов, теплотехники, электротехники и радиотехники, теории автоматического регулирования. Завершается становление классической теории сопротивления материалов и механики разрушения. Формирование теории паровых двигателей приводит к созданию научных расчетов паровых

турбин и развитию научно-технических основ горения и газификации топлива. Создаются теоретические основы полета авиационных летательных аппаратов. Завершается формирование фундаментальных разделов технических наук — теории цепей, теории двухполюсников и четырехполюсников, теории колебаний и др.; разрабатываются методы расчета, общие для фундаментальных разделов различных технических наук. Таким образом, технические знания приобрели все признаки научного знания:

- научные методы исследования технических проблем;
- оформление получаемых знаний в виде научного предмета (наличие идеализированных объектов изучения и системы взаимосвязи теорий различного уровня общности);
- специальную социальную организацию деятельности по выработке этих знаний (каналы научно-технической коммуникации, сеть научно-технических учреждений, система подготовки кадров).

На рубеже XIX—XX вв. произошла крупнейшая революция в естествознании, знаменовавшая переход к так называемой неклассической науке. Если к началу Новейшего времени, большинство неклассических научных достижений не повлияли на принципы миропонимания в технических науках (где сохранялся механицизм), то уже спустя два-три десятилетия отмеченные особенности естествознания заложили новые направления научно-технического знания.

### ***Развитие технических наук в Новейшее время***

В середине XX в. человечество вступает в новую информационную эпоху, складывание информационного общества. Этому способствовали такие технические достижения, как появление атомной энергетики, ракетной техники, создание синтетических материалов, телевидения, электронно-вычислительных машин (применение которых стало основой развития комплексной автоматизации производства и управления им). К трехзвенной системе машины — исполнительный механизм, передаточный механизм и двигатель — добавилось четвертое звено — автоматический контроль и регулирование производственного процесса.

В этот период в развитии технических наук углубляются системно-интегративные тенденции, что проявляется в масштабных научно-технических проектах (освоение атомной энергии, создание ракетно-космической техники), в проектировании больших технических систем, формировании системы "фундаментальные исследования — прикладные исследования — разработки". Возникают новые области научно-технического знания: ядерная физика, ядерное приборостроение, теоретическое и экспериментальное материаловедение, теория создания искусственных материалов. Появляются новые технологии и технологические дисциплины. Зарождается квантовая наука и развиваются теоретические дисциплины лазерной техники.

Создание научного обеспечения пилотируемых космических полетов (огромная роль здесь принадлежит советским конструкторам С.П. Королеву, М.В. Келдышу и др.), разработка проблем автоматизации и управления в сложных технических системах обусловили развитие теории автоматического управления, теории информации, а также средств и систем обработки информации. Решение прикладных задач на ЭВМ, развитие вычислительной математики стимулировали автоматизированное проектирование сложных систем, что привело к формированию неклассических (комплексных) научно-технических дисциплин, таких как системный анализ, системотехника, информатика, эргономика, инженерная экология, техническая эстетика и др.

В отличие от технических наук классического типа, которые возникали, как правило, на основе одной естественной науки (например, электротехника — из теории электричества), неклассические (комплексные) технические науки, например теоретическая радиолокация или информатика, образованы на базе нескольких естественных наук. Они состоят из разнородных предметных и теоретических частей, содержат системные и блок-схемные модели разрабатываемых объектов, а также описание средств и языков, используемых в исследовании, проектировании или инженерных разработках. Комплексные технические науки отличаются от классических, прежде всего, и по объектам исследования.

Как отмечается в учёным-исследователем Гороховым В.Г.[5], классические технические науки предметно ориентированы на определенный тип исследуемого и проектируемого объекта - механизм, машину, техническое устройство, колебательный контур и т.д., то неклассические являются проблемно ориентированными на различные классы сложных научно-технических проблем (хотя объект исследования и проектирования может при этом совпадать).

Как и в случае с классическим научно-техническим знанием, при формировании неклассических технических наук можно выделить несколько этапов:

Первый этап - характеризуется складыванием области однородных, достаточно сложных инженерных объектов (систем). Проектирование, разработка, расчеты этих объектов приводят к применению нескольких технических теорий классического типа. При этом задача заключается не только в том, чтобы описать и конструктивно определить различные процессы, аспекты и режимы работы проектируемой (и исследуемой) системы, но и "собрать" все отдельные представления в единой многоаспектной модели (имитации).

Второй этап - заключается в "нащупывании" в подсистемах сложного инженерного объекта сходных планов и процессов (регулирование, передача информации, функционирование систем определенного класса и т.д.), которые позволяют: решать задачи нового класса, характерные для таких инженерных объектов (например, установление принципов надежности,

управления, синтеза разнородных подсистем); использовать для описания и проектирования таких объектов определенные математические аппараты (математическую статистику, теорию множеств, теорию графов и др.).

Третий этап - ознаменовывается в комплексных технических науках созданием теории идеальных инженерных устройств (систем). Например, в теоретической радиолокации после 1950-х гг. были разработаны процедуры анализа и синтеза теоретических схем радиолокационных станций (РЛС). С этой целью строится идеальный объект радиолокации — "идеальная РЛС", относительно которой формулируются основное уравнение дальности радиолокации и уравнения, определяющие ее рабочие характеристики. Создание теории идеальных инженерных устройств венчает формирование и классических, и неклассических технических наук. Идеальные инженерные устройства живут и функционируют не только по законам "первой природы", но и по законам "второй природы", в которой рождаются и живут инженерные объекты.

В Новейшее время завершается процесс институционализации технических наук, т.е. создания исследовательских организаций и учреждений, формирования сообщества ученых технической направленности.

Появление постнеклассического типа научной рациональности, с одной стороны, и крайнее ускорение (нанотехнологии и др.) темпов технического прогресса, с другой стороны, вызвали в последние годы заявления о вступлении технических наук в постнеклассическую стадию своего развития. Объектом технического исследования в этом случае становится новый тип технического феномена, представляющего собой развитую систему четко сложившихся компонентов — технических артефактов, технического знания, технологии, инженерно-технической деятельности, информационно-технической реальности и технической культуры. Тем не менее этот переход, предпосылки которого видят, например, в развитии нанотехнологий, виртуальной реальности (области применения которой разнообразны — тренажерные системы, промышленное и архитектурное проектирование, визуализация научных данных, образование, медицина, развлечения, современное искусство и др.), космотехники, нетрадиционных комплексных дисциплин (социотехнического проектирования, эргономики, теории дизайна, эргономики и др.), еще не совершился. Очевидно, что возможен он будет только при условии систематизированного применения в техническом познании философских концепций бытия (природы), человека и общества, философской терминологии и методологии [2].

### ***Закономерности и тенденции развития современного научно-технического знания***

Можно выделить следующие закономерности и тенденции развития современного научно-технического знания:

1) последовательную эволюцию в направлении формирования целостной системы знаний;

- 2) дисциплинарную организацию, формирование типов технических наук;
- 3) углубление взаимодействия с естественными и социально-гуманитарными науками, а также с философией;
- 4) углубление математизации;
- 5) обретение определяющей роли в усилении взаимодействия науки, техники и производства, в развитии общества;
- 6) формирование техносферы гармоничной по отношению к природе, обществу и человеку.

Следует отметить, что изначальная цель инженерной деятельности - удовлетворение потребностей и нужд человека. Однако современная техника часто употребляется во вред человеку и даже человечеству в целом. Это относится не только к использованию техники для целенаправленного уничтожения людей, но также к повседневной эксплуатации инженерно-технических устройств. Если инженер и проектировщик не предусмотрели того, что, наряду с точными экономическими и чёткими техническими требованиями эксплуатации, должны быть соблюдены также и требования безопасного, бесшумного, удобного, экологичного применения инженерных устройств, то из средства служения людям техника может стать враждебной человеку и даже подвергнуть опасности само его существование на Земле. Эта особенность современной ситуации выдвигает на первый план проблему этики и социальной ответственности инженера и проектировщика перед обществом и отдельными людьми.

- 7) взаимодействие на всех уровнях и во всех формах с инженерной деятельностью [2].

### ***Промышленные революции***

Промышленная революция — это изменение парадигмы производства, изменение индустриального ландшафта, за счет применения иных логистических принципов, размещения и организации производительных сил. Первая промышленная революция (паровых машин), вторая (применения конвейерной сборки) и третья промышленная революция (получения преимуществ от внедрения компьютеров в индустриальные производств). Четвёртая промышленная революция реализует сдвиг парадигмы, когда, классические иерархии производства с централизованным управлением заменяются на децентрализованные, самоорганизующиеся производительные силы, которые автоматически, используя инфраструктуру промышленного интернета (не путать с социальным интернетом) получают обратную связь (Интеллект на борту) от конечного изделия, узла, станка, бытового прибора, производства или потребителя. Впервые появляется безлюдное производство.

Таким образом, в центре интеллектуального производства будущего находится распределенная инфраструктура промышленного интернета, включающая автоматические системы мониторинга и контроля. Решаются задачи системной надежности и качества.

В 2013 году, в России, четвертая промышленная революция реализуется через инициативу профильных министерств, компанией ПАО "Ростелеком", в высокотехнологичной стратегии развития промышленности Правительства РФ, которая способствует индустриальной компьютеризации традиционных отраслей промышленности, таких как машиностроение, авиастроение, космическая отрасль и пр. Целью является создание интегрированных, распределенных, интеллектуальных производств (Smart заводов), которые характеризуются адаптивностью, эффективностью использования ресурсов и эргономикой, а также интеграцией физических объектов Промышленного интернета (англ. Industrial Internet of Things), клиентов и деловых партнеров в бизнесе процессах. По одной из версий четвертая промышленная революция является основой развития технологического кибер-пространства и связанных физических систем [3].

### ***Промышленный интернет***

Промышленный интернет (Industrial Internet of Things, IoT) - концепция вычислительной сети сложных физических машин, промышленных производств, логистических систем, систем безопасности. Они оснащены датчиками и интегрированы с интеллектуальными системами. Организация таких сетей как явление, способное перестроить экономические и производственные процессы, исключаяющее из части действий и операций необходимость участия человека и способствующее росту экономики.

Интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) - концепция вычислительной сети физических объектов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаяющее из части действий и операций необходимость участия человека.

Концепция сформулирована в 1999 году как осмысление перспектив широкого применения средств радиочастотной идентификации для взаимодействия физических объектов между собой и с внешним окружением. Наполнение концепции «интернета вещей» многообразным технологическим содержанием и внедрение практических решений для её реализации начиная с 2010-х годов считается восходящим трендом в информационных технологиях, прежде всего, благодаря повсеместному распространению беспроводных сетей, появлению облачных вычислений, развитию технологий межмашинного взаимодействия, началу активного перехода на IPv6 и освоению программно-конфигурируемых сетей [6].

Хотелось бы отметить, что на церемонии открытия Ганноверской ярмарки канцлер ФРГ Ангела Меркель заявила, что задачей современной промышленности является предельная автоматизация производства – вплоть до полного исключения непосредственного участия человека в производственном процессе. Данный план немецкого руководства осуществляется в рамках государственной программы «Промышленность 4.0»; под этим термином подразумевается так называемая «4-я

промышленная революция», которая, по мнению немецких исследователей, уже начинается, и в которой Германия планирует сыграть ведущую роль [<http://www.interfax.by/article/1153307>].

### ***Глобальные кризисы и проблема ценности научно-технического прогресса***

Особый статус науки стимулирует развёртывание большого многообразия её развитых форм. Исследуя их и анализируя, как менялись функции науки в социальной жизни, можно выявить основные особенности научного познания, его возможности и границы. Проблема этих возможностей в настоящее время ставится особенно остро. Все дело в том, что саморазвитие техногенной цивилизации подошло к критическим рубежам, которые обозначили границы этого типа цивилизационного роста. Это обнаружилось во второй половине XX в. в связи с возникновением глобальных кризисов и глобальных проблем.

Среди многочисленных глобальных проблем, порождённых техногенной цивилизацией и поставивших под угрозу само существование человечества, можно выделить три главных. Первая из них – это проблема выживания в условиях непрерывного совершенствования оружия массового уничтожения. В ядерный век человечество впервые за всю свою историю стало смертным, и этот печальный итог был «побочным эффектом» научно-технического прогресса, открывающего все новые возможности развития военной техники. Второй, пожалуй, самой острой проблемой современности, становится нарастание экологического кризиса в глобальных масштабах. Два аспекта человеческого существования как части природы и как деятельного существа, преобразующего природу, приходят в конфликтное столкновение. Старая парадигма, будто природа – бесконечный резервуар ресурсов для человеческой деятельности, оказалась неверной. Человек сформировался в рамках биосферы – особой системы, возникшей в ходе космической эволюции. Она представляет собой не просто окружающую среду, которую можно рассматривать как поле для преобразующей деятельности человека, а выступает единым целостным организмом, в который включено человечество в качестве специфической подсистемы. Деятельность человека вносит постоянные изменения в динамику биосферы и на современном этапе развития техногенной цивилизации масштабы человеческой экспансии в природу таковы, что они начинают разрушать биосферу как целостную экосистему. Грозящая экологическая катастрофа требует выработки принципиально новых стратегий научно-технического и социального развития человечества, стратегий деятельности. И наконец, ещё одна – третья по счёту (но не по значению) проблема – это проблема сохранения человеческой личности человека как биосоциальной структуры в условиях растущих и всесторонних процессов отчуждения. Эту глобальную проблему иногда обозначают как современный антропологический кризис. Человек, усложняя свой мир, все чаще вызывает к жизни такие силы, которые он уже не контролирует и которые становятся чуждыми его природе. Чем больше он преобразует мир, тем в большей мере он порождает непредвиденные

социальные факторы, которые начинают формировать структуры, радикально меняющие человеческую жизнь и, очевидно, ухудшающие её. Ещё в 60-е годы философ Г. Маркузе констатировал в качестве одного из последствий современного техногенного развития появление «одномерного человека» как продукта массовой культуры.

Современная индустриальная культура действительно создаёт широкие возможности для манипуляций сознанием, при которых человек теряет способность рационально осмысливать бытие. При этом и манипулируемые и сами манипуляторы становятся как бы заложниками массовой культуры. Ускоренное развитие техногенной цивилизации делает весьма сложной проблему социализации и формирования личности. Постоянно меняющийся мир обрывает многие корни, традиции, заставляя человека одновременно жить в разных традициях, в разных культурах, приспосабливаться к разным, постоянно обновляющимся обстоятельствам.

Проблема сохранения личности приобретает в современном мире ещё одно, совершенно новое измерение. Впервые в истории человечества возникает реальная опасность разрушения той биогенетической основы, которая является предпосылкой индивидуального бытия человека и формирования его как личности, основы, с которой в процессе социализации соединяются разнообразные программы социального поведения и ценностные ориентации, хранящиеся и вырабатываемые в культуре. Речь идёт об угрозе существования человеческой телесности, которая является результатом миллионов лет биоэволюции и которую начинает активно деформировать современный техногенный мир. Этот мир требует включения человека во все возрастающее многообразие социальных структур, что сопряжено с гигантскими нагрузками на психику, стрессами, разрушающими его здоровье. Обвал информации, стрессовые нагрузки, канцерогены, засорение окружающей среды, накопление вредных мутаций – все это проблемы сегодняшней действительности, её повседневные реалии. Цивилизация значительно продлила срок человеческой жизни, развила медицину, позволяющую лечить многие болезни, но вместе с тем она устранила действие естественного отбора, который на заре становления человечества вычёркивал носителей генетических ошибок из цепи сменяющихся поколений. С ростом мутагенных факторов в современных условиях биологического воспроизводства человека возникает опасность резкого ухудшения генофонда человечества.

Некоторые учёные выход видят в перспективах генной инженерии. Но здесь нас подстерегают новые опасности. Если дать возможность вмешиваться в генетический код человека, изменять его, то этот путь ведёт не только к позитивным результатам лечения ряда наследственных болезней, но и открывает опасные перспективы перестройки самих основ человеческой телесности. Подобную перспективу всерьёз обсуждают биологи, философы и футурологи. Несомненно, что достижения научно-технического прогресса дадут в руки человечества могучие средства, позволяющие воздействовать на

глубинные генетические структуры, управляющие воспроизводством человеческого тела. Но получив в своё распоряжение подобные средства, человечество обретёт нечто равнозначное атомной энергии по возможным последствиям. При современном уровне нравственного развития всегда найдутся «экспериментаторы» и добровольцы для экспериментов, которые могут сделать лозунг совершенствования биологической природы человека реалиями политической борьбы и амбициозных устремлений. Перспективы генетической перестройки человеческой телесности сопрягаются с не менее опасными перспективами манипуляций над психикой человека, путём воздействия на его мозг.

По-видимому, на рубеже двух тысячелетий человечество должно осуществить радикальный поворот к каким-то новым формам цивилизационного прогресса. Некоторые философы и футурологи сравнивают современные процессы с изменениями, которые пережило человечество при переходе от каменного к железному веку. Эта точка зрения имеет глубокие основания, если учесть, что решения глобальных проблем предполагают коренную трансформацию ранее принятых стратегий человеческой жизнедеятельности. Любой новый тип цивилизационного развития требует выработки новых ценностей, новых мировоззренческих ориентиров. Необходим пересмотр прежнего отношения к природе, идеалов господства, ориентированных на силовое преобразование природного и социального мира, необходима выработка новых идеалов человеческой деятельности, нового понимания перспектив человека. В этом контексте возникает вопрос и о традиционных для техногенной цивилизации ценностях науки и научно-технического прогресса.

Существуют многочисленные антисциентистские концепции, возлагающие на науку и её технологические применения ответственность за нарастающие глобальные проблемы. Крайний антисциентизм с его требованиями ограничить и даже затормозить научно-технический прогресс, по существу, предлагает возврат к традиционным обществам. Но на этих путях в современных условиях невозможно решить проблему обеспечения постоянно растущего населения элементарными жизненными благами. Выход состоит не в отказе от научно-технического развития, а в придании ему гуманистического измерения, что, в свою очередь, ставит проблему нового типа научной рациональности, включающей в себя в явном виде гуманистические ориентиры и ценности.

В этой связи возникает целая серия вопросов. Как возможно включение в научное познание внешних для него ценностных ориентаций? Каковы механизмы этого включения? Не приведёт ли к деформациям истины и жёсткому идеологическому контролю за наукой требование соизмерять её с социальными ценностями? Имеются ли внутренние, в самой науке вызревающие, предпосылки для её перехода в новое состояние? Это действительно кардинальные вопросы современной философии науки. Ответ на них предполагает исследование особенностей научного познания, его

генезиса, механизмов его развития, выяснения того, как могут исторически изменяться типы научной рациональности и каковы современные тенденции такого изменения. Очевидно, первым шагом на этом пути должен стать анализ специфики науки, выявление тех инвариантных признаков, которые устойчиво сохраняются при исторической смене типов научной рациональности. В каждую конкретную историческую эпоху эти признаки могут соединяться с особенными, свойственными именно данной эпохе характеристиками научного познания. Но если исчезнут инвариантные признаки науки, отличающие её от других форм познания (искусства, обыденного познания, философии, религиозного постижения мира), то это будет означать исчезновение науки [5].

### **3. Основные технологические уклады**

Известный русский экономист Н.Д. Кондратьев выдвинул и теоретически обосновал идею существования больших - полувековых (45-60 лет) – экономических циклов, в рамках которых происходит смена «запаса основных материальных благ», то есть производительные силы мирового сообщества переходят на новый, более высокий уровень своего развития. Он описал также и механизм функционирования этих К-циклов, разбив их на две фазы волны: повышательную и понижательную.

Кондратьев Н.Д. в своем исследовании указывал на то, что эта цикличность будет существовать до тех пор, пока будет существовать капиталистический способ производства. «Каждая последующая фаза цикла есть следствие кумулятивно накапливающихся условий в течение предыдущего времени, и каждый новый цикл при сохранении принципов капиталистической организации хозяйства столь же закономерно следует за другим, как одна фаза одного и того же цикла за другой. Но при этом необходимо помнить, что каждый новый цикл протекает в новых конкретно-исторических условиях, на новом уровне развития производительных сил и потому вовсе не является простым повторением предыдущего цикла» [1].

Появление термина «Технологический уклад» было вызвано попыткой объяснить материальные причины циклов Кондратьева. Впервые термин «технологический уклад» был предложен в 1986 году ещё советскими экономистами Д. С. Львовым и С. Ю. Глазьевым в статье «Теоретические и прикладные аспекты управления НТП».

#### **Понятие и характеристики технологического уклада**

Термин «Технологический уклад» является одним из терминов теории научно-технического прогресса. Означает совокупность технологий и производств, имеющих единый научно-технический уровень. Технологический уклад характеризуется ядром, «ключевым фактором» и несущими отраслями. Ядром технологического уклада является комплекс базисных совокупностей технологически сопряженных производств. Технологические нововведения, участвующие в его создании, получили название «ключевой фактор». Отрасли, играющие ведущую роль в

распространении нового технологического уклада, являются его несущими отраслями.

С. Ю. Глазьев считает, что жизненный цикл технологического уклада составляет около столетия, при этом период его доминирования в развитии экономики составляет от 40 до 60 лет (по мере ускорения НТП и сокращения длительности научно-производственных циклов он постепенно сокращается) [2].

На поверхности экономических явлений жизненный цикл технологического уклада проявляется в форме длинных волн экономической конъюнктуры, периодичность которых была впервые установлена Н. Д. Кондратьевым [3].

Каждая последующая К-волна вызывается витком базисных технологических инноваций, возникших на понижательной фазе предшествующей. Происходит первая фаза жизненного цикла технологического уклада: появление ключевого фактора и ядра. Прорывные инновации приводят к расширению производства. С исчерпанием экономических возможностей происходит замещение доминирующего технологического уклада: создается новый вид инфраструктуры, преодолевающий ограничения предыдущего, а также осуществляется переход на новые виды энергоносителей, которые закладывают базу для становления следующего технологического уклада. Вторая фаза связана со структурной перестройкой экономики на базе новой технологии производства и соответствует периоду доминирования нового технологического уклада в течение пятидесяти лет. Третья фаза приходится на отмирание устаревающего технологического уклада. При этом период доминирования технологического уклада характеризуется наиболее крупным всплеском в его развитии.

Поскольку инновации распространяются в течение достаточно длительного времени, и для перестройки экономики также требуется время, процесс занимает от 20 до 30 лет. Нисходящая фаза связана с тем, что снижается отдача от предшествующего кластера базисных инноваций, а новые прорывные технологии и технологии широкого применения запаздывают. В результате проходит еще 20–30 лет, пока не сформируется ядро нового технологического уклада и не начнется подъем новой волны.

Единого ритма в процессе смены одной волны инноваций (технологического уклада) другой нет. Иногда новая волна накатывает, когда старая еще не схлынула, и это создает более высокий подъем К-волны (этим объясняются очень высокие темпы роста ВВП в 1950–1960-е гг.), а иногда, напротив, новая волна задерживается, а старая уже исчерпывает себя, тогда подъем К-волны слабее (этим объясняется более слабый подъем, особенно в центре Мир-Системы, в 2000-е гг.). Таким образом, каждая смена имеет важные индивидуальные особенности, которые в существенной мере определяются ритмом производственных революций и тем, на какой этап принципа производства приходится данная волна [2].

Переход от одного уклада к другому, более высокому, характеризуется сменой производственного аппарата. Однако, устаревшие технологические уклады, уходя как сценарии развития на вторые роли, не исчезают из экономики и обихода граждан. Они просто теряют свое решающее влияние на качество жизни, оставляя в составе национального богатства страны, созданные производственные, инфраструктурные объекты, культурное наследие, знания и т.п. На их базе постоянно создаются новые комбинации (электро- и тепловые станции, доильные установки, управление из космоса сельхоз-операциями, скоростные поезда и т.д.). Все познанное человеком продолжает использоваться, включая изобретения доиндустриальных технологических укладов.

Инновации (технологии) бывают двух видов.

Первый — это революционные (прорывные), заменяющие инновации, пионерные, направленные на создание новых продуктов, товаров, услуг или других материальных благ. Они, в конечном итоге, приводят к созданию нового технологического уклада.

Второй — это эволюционные, улучшающие (продолжающие) инновации, направленные на совершенствование уже освоенных товаров, услуг и продуктов [4].

В восходящей фазе К-цикла рост числа патентов происходит за счёт поддерживающих инноваций, в то время как немногочисленные подрывные инновации, которые будут обеспечивать экономический рост в следующем технологическом укладе, закладываются на нисходящей фазе волны.

### **Хронология технологических укладов**

Можно проследить, что во всех цивилизациях каждому историческому этапу развития человечества соответствовал определенный технологический уклад, который и обеспечивал предпочтительный для данного общества вариант социально-экономического развития.

На ранних стадиях развития общества доминировали доиндустриальные уклады, в основе которых лежала мускульная, ручная, конная энергии (сила) животных и человека.

Основу этих технологических укладов составляли изобретения, усиливающие мускульные возможности, такие как: колесо, рычаг, винт, редуктор, гончарный круг, меха в кузницах и многие другие приспособления [4].

С наступлением эры машин начался, так называемый, индустриальный период развития земной цивилизации, в котором можно выделить жизненные циклы *пяти* последовательно сменявших друг друга технологических укладов, включая доминирующий в структуре современной экономики информационный технологический уклад. Первый, второй и третий технологические уклады связаны с индустриализацией - распространением машин, непосредственно управляемых человеком.

Сегодня формируется воспроизводственная система нового, шестого технологического уклада, становление и рост которого будет определять

глобальное экономическое развитие в ближайшие два-три десятилетия. Шестой технологический уклад должен привести к постиндустриальному обществу. Уже некоторые ученые пытаются также спрогнозировать основные черты седьмого технологического уклада.

Развитие технологического уклада носит нелинейный характер и может быть представлено в виде последовательности двух логистических кривых, первая из которых отражает рост производств нового технологического уклада в эмбриональной фазе (в условиях доминирования предыдущего). А вторая кривая - в фазе зрелости, в которой этот технологический уклад замещает предыдущий и становится основным носителем экономического роста [5].

### ***Первый технологический уклад***

Первый индустриальный технологический уклад начался в 1770-х годах. Судя по динамике появления великих изобретений, базировался на новых технологиях в текстильной промышленности, использовании энергии воды.

С 1790 года появлялись, основанные на этой энергетике, новые технологии в текстильной промышленности и сельском хозяйстве (например, водяные мельницы, приводы механизмов). Изменился и быт, из которого стали исчезать простейшие, основанные на мускульной силе орудия для переработки зерна и других пищевых продуктов [4].

Переход текстильной промышленности на машинную базу сопровождался повышением спроса на продукцию машиностроения. Тенденция к замене деревянных деталей деталями из железа инициировала технологические сдвиги в металлообработке. С 1830 года — конец фазы быстрого роста (кризисы перепроизводства 1820—1840 годов — биржевая паника 1825 и 1837 годов).

Характеристики I технологического уклада:

- Ключевой фактор— Текстильные машины;
- Ядро уклада — Текстильная промышленность, текстильное машиностроение, выплавка чугуна, обработка железа, строительство каналов, водяной двигатель;
- Несущие отрасли — Сельское хозяйство, текстильная промышленность;
- Основной ресурс — Энергия воды;
- Технологические лидеры — Великобритания, Бельгия;
- Преимущества данного технологического уклада по сравнению с предшествующим — Механизация и концентрация производства на фабриках;
- Режимы экономического регулирования в странах-лидерах — Разрушение феодальных монополий, ограничение профессиональных союзов, свобода торговли;
- Организация инновационной активности в странах-лидерах — Организация научных исследований в национальных академиях и научных обществах, местных научных и инженерных обществах. Индивидуальное инженерное и

изобретательское предпринимательство и партнерство. Профессиональное обучение кадров [5].

### **Второй технологический уклад**

С 20-х годов XIX в. наблюдается формирование нового технологического уклада. Он основан на использовании энергии пара и угля (изобретена паровая машина, паровой двигатель, локомобиль), что привело к развитию железнодорожного паровозного транспорта, пароходства, механизации производства. Эта волна, по Й.Шумпетеру, приходится на 1840-1890 гг. во всех отраслях экономики, созданию трансмиссий для привода различных механизмов [Б4].

С 1847 года — период широкого распространения: в сельском хозяйстве появились паровые мельницы и другие использующие энергию пара машины, существенно повысившие производительность труда и в значительной мере высвободившие человека от тяжелого ручного труда. В быту граждан стали применяться отвечающие этому технологическому укладу устройства: самовары, титаны и другие, в том числе металлическая посуда, появившаяся в результате индустриализации этого промысла. Резко возросли значение и интенсивность международной торговли. Уровень развития транспортного сообщения стал сдерживать рост крупной промышленности, что привело к развитию железнодорожного строительства. С 1880 года — конец фазы быстрого роста (Долгая депрессия 1873—1879 гг.)

Характеристики II технологического уклада:

- Ключевой фактор— Паровой двигатель, станки;
- Ядро уклада — Паровой двигатель, железнодорожное строительство, транспорт, машино-, пароходостроение, угольная, станкоинструментальная промышленность, черная металлургия;
- Несущие отрасли – Легкая промышленность, судостроение, паровозостроение, добывающие отрасли;
- Основной ресурс – Энергия пара, уголь;
- Технологические лидеры — Великобритания, Франция, Бельгия, Германия, США;
- Преимущества данного технологического уклада по сравнению с предшествующим — Рост масштабов и концентрации производства на основе использования парового двигателя;
- Режимы экономического регулирования в странах-лидерах — Свобода торговли, ограничение государственного вмешательства, появление отраслевых профессиональных союзов. Формирование социального законодательства;
- Организация инновационной активности в странах-лидерах — Создание внутрифирменных научно-исследовательских отделов. Использование ученых и инженеров с университетским образованием в производстве. Национальные институты и лаборатории. Всеобщее начальное образование

[Б5]. (Б-5Глазьев С. Ю., «Теория долгосрочного технико-экономического развития», -М.: ВладДар, 1993)

### ***Третий технологический уклад***

*Третий* индустриальный технологический уклад начался в 80-х годах позапрошлого века. Он базируется на использовании электрической энергии, развитии на этой основе тяжелого машиностроения, электротехнической и радиотехнической промышленности.

По мере освоения возможностей, заложенных в данном технологическом укладе, на базе использования электроэнергии были изобретены и внедрены радиосвязь, телеграф и другие инновации, обеспечившие дальнейшее развитие промышленности, создание рабочих мест, подъем материального, культурного и жилищно-бытового уровня, а также других параметров качества жизни граждан. Электрификация существенно преобразила быт граждан: появились осветительные приборы, радио, радиоприемные устройства и другая бытовая техника [4]. Сталь становится ведущим конструкционным материалом. Большие успехи в этот период делает химическая промышленность. Из многих химико-технологических нововведений, наибольшее значение имели: аммиачный процесс получения соды; получение серной кислоты контактным способом, электрохимическая технология.

1930-е годы — циклические кризисы стали длительнее и более болезненными, оживление и подъёмы - короче. 30-е годы вошли в историю под названием великой депрессии.

Характеристики III технологического уклада:

- Ключевой фактор - электродвигатель;
  - Ядро уклада - электротехническое, тяжелое машиностроение, производство и прокат стали, линии электропередач, неорганическая химия;
  - Несущие отрасли - химическая промышленность, универсальное машиностроение, топливно-энергетический комплекс, электротехническая промышленность;
  - Основной ресурс – электрическая энергия;
  - Технологические лидеры — Германия, США, Великобритания, Франция;
- Преимущества данного технологического уклада по сравнению с предшествующим в повышении гибкости производства на основе использования электродвигателя стандартизация производства, урбанизация;
- Режимы экономического регулирования в странах-лидерах — Расширение институтов государственного регулирования. Государственная собственность на естественные монополии, основные виды инфраструктуры, в том числе - социальной;
  - Организация инновационной активности в странах-лидерах — Создание внутрифирменных научно-исследовательских отделов. Использование ученых и инженеров с университетским образованием в производстве. Национальные институты и лаборатории. Всеобщее начальное образование [5].

## **Четвёртый технологический уклад**

Четвертый индустриальный технологический уклад базируется на использовании энергии углеводородов, на изобретении и применении двигателя внутреннего сгорания, электродвигателя и развитии на этой основе автомобиле - и самолетостроения с дальнейшим использованием энергетики нефтепродуктов, изобретении синтетических материалов. Начала свое развитие ядерная энергетика. Быстрому его становлению во многом способствовала материально-техническая база, созданная в период доминирования третьего уклада.

Реализация сценариев четвертого технологического уклада существенно изменила облик производства и быта граждан. Этот технологический уклад (в силу появившейся техники – тракторы, механизмы на электрической тяге и др.) – резко повысил производительность сельскохозяйственного производства и качество жизни граждан. В обиходе появилась отвечающая технологическому укладу бытовая техника, малогабаритные механизмы для обработки сырья, электробритвы, пылесосы, стиральные и посудомоечные машины, музыкальные устройства и комплексы и т.д.

В быту у сельских граждан появились детекторные приемники, телефоны, водяные насосы, сантехника и т.д. [4].

С 1970 года — конец фазы быстрого роста (Нефтяной кризис 1973 года, кризис Бреттон-Вудской валютной системы).

Характеристики IV технологического уклада:

- Ключевые факторы— Двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия;
- Ядро уклада — Автомобиле-, тракторостроение, цветная металлургия, производство товаров длительного пользования, синтетические материалы, органическая химия, производство и переработка нефти;
- Несущие отрасли – Электроэнергетика, основанная на использовании нефти, приборостроение, производство станков с ЧПУ, синтетических материалов;
- Основной ресурс – Энергия углеводородов, начало ядерной энергетики;
- Технологические лидеры — США, СССР, Западная Европа, Япония;
- Преимущества данного технологического уклада по сравнению с предшествующим — Массовое и серийное производство;
- Режимы экономического регулирования в странах-лидерах — Развитие государственных институтов социального обеспечения, военно-промышленного комплекса. Кейнсианское государственное регулирование экономики;
- Организация инновационной активности в странах-лидерах — Специализированные и научно-исследовательские отделы на фирмах. Государственное субсидирование военных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Вовлечение государства в сферу гражданских НИОКР. Развитие среднего, высшего и профессионального образования. (Б-5Глазьев С. Ю., «Теория долгосрочного технико-экономического развития», -М.: ВладДар, 1993)

## ***Пятый технологический уклад***

*Пятый* индустриальный технологический уклад опирается на возможности электронной и атомной энергетики, инновациях в области микроэлектроники, информационных технологий, генной инженерии, биотехнологий, приведших к освоению космического пространства, появлению спутниковой связи и других возможностей человека.

Происходит переход от разрозненных фирм к единой сети крупных и мелких компаний, соединенных электронной сетью на основе Интернета, осуществляющих тесное взаимодействие в области технологий, контроля качества продукции, планирования инноваций. Изобретение микрокомпьютера и связанный с этим быстрый прогресс в программном обеспечении сделали информационную технологию удобной, дешёвой и доступной как для производственного, так и для непромышленного потребления.

Сейчас трудно себе представить производство и быт граждан во всех сферах жизнедеятельности без видео- и аудиотехники, сотовых телефонов, Интернета и т.д. Да и глобализация экономики стала возможной в результате технической революции на основе освоения изобретений пятого технологического уклада: резко возросла скорость перемещения по миру продукции и капитала. Так, скорость осуществления платежей в любую точку мира составляет секунды, в реальном режиме времени осуществляются операции на фондовых площадках мира, через спутники связи осуществляется дистанционное управление технологическими операциями на рудниках, приисках, сельхозполях, расположенных на отдаленных территориях, движением кораблей, автомобилей и т.п. [4].

С 2010 года — конец фазы быстрого роста (Мировой финансово-экономический кризис).

Характеристики V технологического уклада:

- Ключевой фактор — Микроэлектронные компоненты;
  - Ядро технологического уклада — Электронная про-ть, вычислительная, оптико-волоконная техника, программное обеспечение, телекоммуникации, роботостроение, производство и переработка газа, информационные услуги;
  - Несущие отрасли – Атомная энергетика, микроэлектроника, информатика, биотехнология, генная инженерия животных, аэрокосмическая промышленность;
  - Основной ресурс – Атомная энергетика;
  - Технологические лидеры — США, ЕС, Япония;
- Преимущества данного технологического уклада по сравнению с предшествующим — Индивидуализация производства и потребления, повышение гибкости производства;
- Режимы экономического регулирования в странах-лидерах — Государственноестимулирование НИОКР, рост расходов на образование и науку, либерализация регулирования финансовых институтов и рынков капитала;

- Организация инновационной активности в странах-лидерах — Горизонтальная интеграция НИОКР, проектирования производства. Вычислительные сети и совместные исследования. Государственная поддержка новых технологий и университетско-промышленное сотрудничество [5].

### ***Шестой технологический уклад***

В настоящее время новый (шестой) технологический уклад выходит из эмбриональной фазы развития, разворачивается процесс замещения им предыдущего технологического уклада, достигшего пределов своего роста.

Этот процесс проявляется как финансовый и структурный кризис экономик ведущих стран мира, сопровождающийся взлетом и последующим падением цен на энергоносители и другие сырьевые материалы [2].

Человечество еще не успело в полной мере освоить возможности пятого технологического уклада, как на горизонте маячил шестой уклад, прикладная эра которого уже наступает. Мы стоим на пороге освоения, по сути, не шестого индустриального, а первого постиндустриального технологического уклада (примерно 2030-2090 гг.), в основе которого, вероятно, будет (прогноз Глазьева) нанотехнологии, клеточные технологии: молекулярные, клеточные и ядерные технологии: нанотехнологии, нанобиотехнологии, нанобионика, микроэлектронные технологии, наноматериалы, нанороботизация и другие наноразмерные производства. Технологии на базе наноэнергетики будут обеспечивать еще более высокие производительные возможности экономике и гражданам.

Появляется возможность излечения хронических болезней через управление развитием живого организма на уровне генной структуры и стволовых клеток, что приведет к существенному возрастанию продолжительности жизни человека и животных. В основе этого технологического уклада – нанотехнологии, оптотехнологии, генная инженерия и другие, о которых мир еще не знает. Мы только начинаем осознавать возможности этого первого постиндустриального технологического уклада. Над реализацией этих возможностей во всем мире работают ученые, изобретатели, проектировщики, производственники и эксплуатационники [4].

Предположительно с 2040 года произойдет конец фазы быстрого роста.

Характеристики VI технологического уклада:

- Ключевой фактор — Нанотехнологии, клеточные технологии;
- Ядро технологического уклада — Наноэлектроника, молекулярная и нанофотоника, наноматериалы и наноструктурированные покрытия, нанобиотехнология, наносистемная техника;
- Несущие отрасли – нетрадиционная и космическая энергетика, космические технологии, нанотехнологии, генная инженерия животных и человека, ИСУ;
- Основные преимущества — индивидуализация производства и потребления, повышение гибкости и расширение разнообразия,

деурбанизация размещения производства и населения в малых городах на основе новых транспортных и телекоммуникационных технологий и др. Резкое снижение энерго и материалоемкости производства, конструирование материалов и организмов с заранее заданными свойствами;

- Режимы экономического регулирования в странах-лидерах — Стратегическое планирование научно-технического и экономического развития. Электронное правительство. Институты развития и фонды финансирования инновационной активности;

- Организация инновационной активности в странах-лидерах — Переход к непрерывному инновационному процессу, отнесение расходов на НИОКР на себестоимость продукции. Коммерциализация науки и научно-производственная интеграция, Компьютерное управление жизненным циклом продукции [5].

К лидерам технологического ядра относят страны — Японию, США, Германию, Швецию, Канаду, Южную Корею, Австралию [6].

Таким образом, развитие общества идет путем последовательной и постепенной смены технологических укладов. Каждый из названных и освоенных нашей цивилизацией технологических укладов в своем развитии проходил различные стадии, отличающиеся мерой их влияния на общий экономический рост в мире.

Детальное изучение технологических укладов дает возможность установить взаимодействие технологических сдвигов, выявить их роль в повышении социально-экономической эффективности производства, а также определить приоритеты технико-экономического развития.

#### **4. История возникновения и развития мехатроники и робототехники**

##### ***От механики к мехатронике***

Механика в настоящее время очень ёмкое понятие и обширная область, имеющая глубокую и богатую историю. Механика – это наука об исходной форме движения материи и перемещении простейших элементов в пространстве. Огромный вклад в развитие механики как науки внесли выдающиеся и известные учёные своего времени такие как Г.Галилей, Р.Декарт, Х.Гюйгенс, И.Ньютон, Л.Эйлер, Ж.Лагранж, М.В.Ломоносов, Л.Пуансо, Э.Раус, И.А.Вышнеградский, А.М.Ляпунов, И.В.Мещерский, Н.Е.Жуковский, М.В.Остроградский, С.А.Чаплыгин, А.Н.Крылов, И.Н.Вознесенски и др. Многие исследователи истории науки и техники уделяли внимание изучению истории механики с целью осмысления её развития и взаимосвязи с общим развитием научно-технической практики, а также с целью систематизации всеобщего историко-научного материала.

Сегодня механика имеет достаточно много разделов, к примеру – теория упругости, гидромеханика, аэромеханика, газовая механика, гидравлика и т.д.

Следует отметить, что в современной инженерной сложившейся практике механику понимают более широко, не только как науку, но и как вид техники, которая осуществляет преобразование движений и усилий. Современная техника сложна и имеет, соответственно, сложную структуру, так как во многих технических устройствах необходимо использовать механизмы для достижения конкретных функциональных целей.

Ускоренное в последние десятилетия развитие науки и процессов совершенствования техники расширяет область технических наук и способствует появлению новых разделов. Относительно механики появилось новое направление в научно-инженерной деятельности, которое назвали мехатроникой. В основе мехатроники лежит механика, которая рассматривается в комплексе с электротехникой, электроникой и компьютерным управлением. Ныне это актуальная и сложная интегрированная область деятельности направленная на создание техники нового поколения. Далее в данном параграфе основные сведения по мехатронике приводятся из работ Готлиба Б.М. [1 и 2].

Современный термин «Mechatronics» был введен фирмой Yaskawa Electric (Япония) в 1969 году и зарегистрирован как торговая марка в 1972 году. Это название получено комбинацией слов «механика» и «электроника». Объединение этих понятий в едином словосочетании означает интеграцию знаний в соответствующих областях науки и техники, которая позволила совершить качественный скачок в создании техники нового поколения и производства новейших видов систем и оборудования. Аналогичным образом шло развитие электромеханики как науки, использующей достижения электротехники и механики при создании приводных исполнительных систем широкого назначения. Интеграция электромеханики и микроэлектроники привела к появлению комплектных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Именно в этом направлении преимущественно развивалась мехатроника в нашей стране.

Так как затронут вопрос о появлении термина «мехатроника» в научно-технической области, то хотелось бы уделить некоторое внимание образованию терминологии в целом в профессиональной технической среде. Это одна из таких частных и существующих проблем – формирование новой терминологии в различных областях научно-технического знания. Эта проблема была и раньше в относительно небольшом масштабе, однако в настоящее время она обостряется достаточно существенно. Бесспорно, что в мире формируется информационное общество, однако в нём наряду со значительными «плюсами» имеются и сопутствующие «минусы». К «минусам» в том числе относится и достаточно большой бессистемный поток новых терминов во многих областях жизнедеятельности. Стихийный ввод каких-либо новых понятий и терминов в научный оборот на определённом этапе может заметно сдерживать в определённой мере эффективное и рациональное общение в профессиональном сообществе, так как новые

термины не всегда несут адекватную смысловую нагрузку. Появление всё новых разделов наук, их интеграция на различных уровнях развития в сочетании с потоком информацией лавинообразного характера для конкретного субъекта в текущей научной и инженерной деятельности на некоторых этапах нередко создаёт определённую сложность. Если процесс формирования терминов представить в некотором «идеале», то необходимо какие-либо обобщённые правила, которые должны неукоснительно выполняться в научном обществе. Однако, по многим и понятным причинам это невозможно. Какое положение «складывается» фактически в этом вопросе в технической области? В целом достаточно адекватное, так как профессиональные сообщества с определёнными трудностями всё же решают эту проблему. В частности, рассматриваемый пример показывает достаточную обоснованность этого понятия и термина как мехатроника – есть и аналогия, конкретизация, профессиональное обсуждение и признание, выработаны соответствующие нормативные документы.

К началу 80-х годов термин «мехатроника» утверждается в мировой технической литературе как название целого класса машин с компьютерным управлением движением. При этом интегрируются достижения не только в области электромеханики и электроники, но и в области систем компьютерного управления движениями машин и сложных пространственных механизмов. Общее определение мехатроники в широком понимании дано в Государственном образовательном стандарте РФ междисциплинарной специальности 07.18 «Мехатроника» (1995 год): «Мехатроника - это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов».

В данном определении представлена триединая сущность мехатронных систем, в основу построения которых заложена идея глубокой взаимосвязи механических электронных и компьютерных элементов. Таким образом, системная интеграция трех указанных видов элементов является необходимым условием построения мехатронной системы. Известно также несколько определений, опубликованных в периодических изданиях, трудах международных конференций и симпозиумов, где понятие о мехатронике конкретизируется и специализируется. К примеру, «Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями».

Таким образом, мехатроника изучает особый методологический (концептуальный) подход в построении машин с качественно новыми характеристиками. Важно подчеркнуть, что этот подход является весьма

универсальным и может быть применен в машинах и системах различного назначения.

Однако следует отметить, что обеспечение высокого качества управления мехатронной системой можно только с учетом специфики конкретного управляемого объекта. Поэтому изучение мехатроники целесообразно осуществлять по специальностям, предметом которых являются конкретные классы производственных машин и процессов.

Можно заметить, что во втором приведённом определении подчеркивается синергетический характер интеграции составляющих элементов в мехатронных объектах. При этом принципиально важно, что составляющие части, не просто дополняют друг друга, но объединяются таким образом, что образованная система обладает качественно новыми свойствами. В мехатронике все энергетические и информационные потоки направлены на достижение единой цели – реализации заданного управляемого движения.

Также следует отметить, что интегрированные мехатронные элементы выбираются разработчиками уже на стадии проектирования машины, а затем обеспечивается необходимая инженерная и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации машины. В этом радикальное отличие мехатронных машин от традиционных, когда зачастую пользователь был вынужден самостоятельно объединять в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства различных изготовителей.

Таким образом, можно считать исходя из вышеизложенного, что понятие «мехатроника» целенаправленно наполняется содержанием в течение последних лет по мере совершенствования техники и развития технических наук.

Методологической основой разработки мехатронных систем служат методы параллельного проектирования (concurrent engineering methods). При традиционном проектировании машин с компьютерным управлением последовательно проводится разработка механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы, а затем выбор интерфейсных блоков. Парадигма параллельного проектирования заключается в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех компонентов системы. Базовыми объектами изучения мехатроники являются мехатронные модули, которые выполняют движения, как правило, по одной управляемой координате. Из таких модулей, как из функциональных кубиков, komponуются сложные системы модульной архитектуры.

Мехатронные системы предназначены, как следует из вышеприведённых определений, для реализации заданного движения. Поэтому критерии качества выполнения движения являются проблемно-ориентированными, то есть определяются постановкой конкретной прикладной задачи. Специфика задач автоматизированного машиностроения состоит в реализации перемещения выходного звена (рабочего органа)

технологической машины (например, инструмента для механообработки). При этом необходимо координировать управление пространственным перемещением с управлением различными внешними процессами. Такие сложные координированные движения мехатронных систем называют функциональными движениями.

В современных мехатронных системах для обеспечения высокого качества реализации сложных и точных движений применяются методы интеллектуального управления (advanced intelligent control). Данная группа методов опирается на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники, перспективные подходы к синтезу управляемых движений мехатронной системы. Следует отметить, что мехатроника как новая область науки и техники, находится в стадии своего становления и её классификационные признаки еще строго не определены. Конечно, на нынешнем этапе первостепенное значение имеет выявление сущности новых принципов построения и тенденций развития машин с компьютерным управлением движением, а соответствующие семантические понятия и определения, безусловно, со временем будут видоизменяться и более точно отражать содержание.

Широкое распространение мехатронных устройств стало возможно благодаря использованию в них так называемого искусственного интеллекта. Под искусственным интеллектом в технике специалисты понимают свойство автоматических систем брать на себя отдельные функции, например, выбирать и принимать оптимальные решения (без участия человека) на основе рационального анализа внешних воздействий (в рамках какой-либо установленной системы). Можно отметить, что к середине 1970-х годов появились первые интеллектуальные программы, использующие различные способы представления знаний для решения задач – экспертные системы. Одним из востребованных направлений систем искусственного интеллекта являлась и является робототехника. Первых роботов трудно назвать интеллектуальными. Только в 1960-х годах появились «очувствлённые» роботы, которые управлялись с компьютера. Например, в 1969 году в Электротехнической лаборатории в Японии началась разработка проекта «промышленный интеллектуальный робот». Целью этой разработки было создание «очувствлённого» манипуляторного робота с элементами искусственного интеллекта для выполнения сборочно-монтажных работ с визуальным контролем. В настоящее время во многих научно-исследовательских институтах и высших учебных заведениях всего мира разрабатываются самые различные технологии применения принципов искусственного интеллекта.

Производство мехатронных устройств в мире ежегодно увеличиваются, охватывая все новые сферы. Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение в следующих областях:

1. робототехника (промышленная и специальная);

2. авиационная, космическая и военная техника;
3. автомобилестроение (например, антиблокировочные системы тормозов, системы стабилизации движения автомобиля и автоматической парковки);
4. нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, грузовые тележки, электророллеры, инвалидные коляски);
5. офисная техника (копировальные и факсимильные аппараты);
6. элементы вычислительной техники (например, принтеры, плоттеры, дисководы);
7. медицинское оборудование (реабилитационное, клиническое, сервисное);
8. бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и другие машины);
9. микромашинны (для медицины, биотехнологии, средств телекоммуникации);
10. контрольно-измерительные устройства и машины;
11. фото- и видеотехника;
12. тренажеры для подготовки пилотов и операторов шоу-индустрии (системы звукового и светового оформления).

Стремительное развитие мехатроники в 90-х годах как нового научно-технического направления обусловлено целым рядом факторов. Можно назвать два основных фактора: тенденции мирового индустриального развития; развитие фундаментальных основ и методологии мехатроники (базовые научные идеи, принципиально новые технические и технологические решения). Также можно выделить следующие тенденции изменения и ключевые требования мирового рынка в рассматриваемой области:

1. - интернационализация рынка научно-технической продукции и, как следствие, необходимость активного внедрения в практику форм и методов международного инжиниринга и трансфера технологий;
2. - быстрое развитие компьютерных систем и технологий, средств телекоммуникации (прямым следствием этой общей тенденции является интеллектуализация систем управления механическим движением и технологическими функциями современных машин);
3. - повышение роли малых и средних производственных предприятий в экономике благодаря их способности к быстрому и гибкому реагированию на изменяющиеся требования рынка;
4. - необходимость выпуска и сервиса оборудования в соответствии с международной системой стандартов качества, сформулированных в стандарте ISO 9000.

Развитие мехатроники как междисциплинарной научно-технической области помимо очевидных технических и технологических сложностей ставит и целый ряд новых организационно-экономических задач. Современные предприятия, приступающие к проектированию, разработке и выпуску мехатронных изделий, должны решить следующие задачи:

1. - провести структурную интеграцию подразделений механического, электронного и информационного профилей (которые в основном функционировали автономно) в единые проектные и производственные коллективы;
2. - подготовить «мехатронно-ориентированных» инженеров и менеджеров, способных к системной интеграции и руководству работой узкопрофильных специалистов различной квалификации;
3. - интегрировать информационные технологии из различных научно-технических областей в единый инструментарий для компьютерной поддержки мехатронных задач;
4. - обеспечить стандартизацию и унификацию всех используемых элементов и процессов при проектировании и производстве мехатронных систем.

Теперь немного об уровнях интеграции мехатронных систем.

В качестве основного классификационного признака в мехатронике представляется целесообразным принять уровень интеграции составляющих элементов. В соответствии с этим признаком можно разделять мехатронные системы по уровням или по поколениям, если рассматривать их последовательное появление на рынке наукоемкой продукции.

Мехатронные модули первого уровня представляют собой объединение только двух исходных элементов. Типичным примером модуля первого поколения может служить «мотор-редуктор», где механический редуктор и управляемый двигатель выпускаются как единый функциональный элемент. Мехатронные системы на основе этих модулей нашли широкое применение при создании различных средств комплексной автоматизации производства (конвейеров, транспортеров, поворотных столов, вспомогательных манипуляторов).

Мехатронные модули второго уровня появились в 80-х годах в связи с развитием новых электронных технологий, которые позволили создать миниатюрные датчики и электронные блоки для обработки их сигналов. Объединение приводных модулей с указанными элементами привела к появлению мехатронных модулей движения, состав которых полностью соответствует введенному выше определению, когда достигнута интеграция трех устройств различной физической природы: механических, электротехнических и электронных. На базе мехатронных модулей данного класса созданы управляемые энергетические машины (турбины и генераторы), станки и промышленные роботы с числовым программным управлением.

Развитие третьего поколения мехатронных систем обусловлено появлением на рынке сравнительно недорогих микропроцессоров и контроллеров и на их базе и обеспечена интеллектуализация всех процессов, протекающих в мехатронной системе. Одновременно идет разработка новых принципов и технологий изготовления высокоточных и компактных механических узлов, а также новых типов электродвигателей (в первую

очередь высокомоментных, бесколлекторных и линейных), датчиков обратной связи и информации. Синтез новых прецизионных, информационных и измерительных наукоемких технологий создаёт основу для проектирования и изготовления интеллектуальных мехатронных модулей и систем. В дальнейшем мехатронные машины и системы будут объединяться в мехатронные комплексы на базе единых интеграционных платформ. Цель создания таких комплексов - добиться сочетания высокой производительности и одновременно гибкости технико-технологической среды за счет возможности ее реконфигурации, что позволит обеспечить конкурентоспособность и высокое качество выпускаемой продукции в будущем.

### ***Появление и развитие робототехники***

На современном этапе развития механики и мехатроники неразрывно связано с возникновением такой области как робототехника.

Робототехника — это создание и применение роботов, других средств робототехники и основанных на них технических систем и комплексов различного назначения. Возникнув на основе кибернетики и механики, робототехника в свою очередь породила новые направления развития и самих этих наук. В кибернетике это связано прежде всего с интеллектуальным управлением и бионикой как источником новых, заимствованных у живой природы идей, а в механике — с многостепенными механизмами типа манипуляторов.

Робот можно определить как универсальный автомат для осуществления механических действий, подобных тем, которые производит человек, выполняющий физическую работу. При создании первых роботов и вплоть до наших дней образцом для них служат возможности человека. Именно стремление заменить человека на тяжелых и опасных работах породило идею робота, затем первые попытки ее реализации (в средние века) и, наконец, обусловило возникновение и развитие современной робототехники и роботостроения [3].

Современными предшественниками роботов явились различного рода устройства для манипулирования на расстоянии объектами, непосредственный контакт человека с которыми опасен или невозможен. Это манипуляторы с ручным или автоматизированным управлением. Первые появившиеся устройства такого рода были пассивными, т. е. механизмами без приводов, и служили для повторения на расстоянии движений руки человека целиком за счет его мускульной силы. Затем были созданы манипуляторы с приводами и управляемые человеком различными способами вплоть до биоэлектрического.

Первые роботы, с которых началась современная робототехника, появились сразу после второй мировой войны. В конце 40-х годов в Окриджской и Аргоннской национальных лабораториях были начаты исследовательские программы по созданию дистанционно управляемых механических манипуляторов для работы с радиоактивными материалами.

Впервые такие манипуляторы были созданы в 1940 – 1950 гг. для атомных исследований, а затем и для атомной промышленности.

Подобные устройства стали применяться в глубоководной технике, металлургии и ряде других отраслей промышленности. Разрабатывались манипуляторы копирующего типа, предназначенные для точного воспроизведения движений руки и кисти человека-оператора. В систему входили задающий и копирующий манипуляторы. Задающий манипулятор приводился в движение человеком-оператором, при этом копирующий манипулятор воспроизводил с максимальной точностью все движения задающего. Позднее путем установления механических связей между задающим и копирующим манипуляторами была введена обратная связь, позволяющая оператору ощущать силы взаимодействия между копирующим манипулятором и его рабочей средой. В середине 50-х годов механические способы введения обратной связи были заменены электрическими и гидравлическими, как, например, в манипуляторе Handyman фирмы «Дженерал Электрик» и манипуляторе Minotaur-I фирмы «Дженерал Милз».

Вслед за манипуляторами копирующего типа были разработаны более сложные системы, способные выполнять многократно повторяющиеся операции в автономном режиме. В середине 50-х годов Джордж С. Девоп сконструировал устройство, названное им «программируемое шарнирное устройство для переноски» — манипулятор, функционирование которого задавалось программой (следовательно, могло изменяться) в виде последовательности элементарных движений, определенных командами этой программы. Дальнейшее совершенствование Девопом совместно с Джозефом Ф. Энгельбергером этого замысла привело к созданию первого промышленного робота, выпущенного в 1959 г. фирмой «Юнимейшн». Основная идея при создании этого устройства заключалась в совмещении манипулятора с компьютером, что позволило получить машину, которую можно было «обучать» автоматическому выполнению разнообразных работ. От специализированных автоматических машин эти роботы отличались возможностью смены выполняемых операций при изменении условий производственного процесса. Изменение выполняемых роботом операций осуществлялось путем относительно недорогого перепрограммирования и переоснащения [4].

Первые, полностью автоматически действующие, манипуляторы были сделаны в США в 1960 – 1961 гг. В 1961 г. был разработан такой манипулятор, управляемый от ЭВМ и снабженный захватным устройством, «очувствлённым» с помощью различного типа датчиков — контактных и фотоэлектрических. Этот манипулятор МН-1 получил название "рука Эрнста" по фамилии его создателя [5,6]. Это устройство могло «осязать» блоки, с которыми оно работало, и использовало поступающую с датчиков информацию для управления захватным устройством, что позволяло укладывать блоки без помощи оператора. Эта разработка является одним из первых примеров робота, способного адаптироваться к не полностью

определенной внешней обстановке. Согласно современному определению, это был прообраз «очувствлённого» робота с адаптивным управлением. Система состояла из манипулятора ANLModel-8 с шестью степенями свободы, управляемого с помощью устройства обмена компьютером TX-0. Позднее эта исследовательская разработка стала частью проекта MAC, по которому в состав системы вводилась еще и телевизионная камера. В тот же период Томович и Бони [7] разработали опытный образец схвата с датчиками, измеряющими давление при соприкосновении с объектом, по которому формировался сигнал обратной связи на мотор силового привода. Как только хват входил в контакт с объектом, с датчиков давления в компьютер поступала информация о размерах и весе объекта манипулирования.

В 1962 г. фирма «АмерикэнМэшин энд Фаундри Компани» (AMF) начала выпуск промышленного робота VERSATRAN. В этом же году был начат ряд разработок промышленных роботов, таких, как эдинбургский и роэмптонский манипуляторы.

Одновременно возник термин "промышленный робот" (IndustrialRobot), по-видимому, предложенный этой фирмой. В то же время в США появились роботы "Юнимейт-1900", которые получили первое применение в автомобильной промышленности на заводах фирм "Дженерал моторс", "Форд" и "Дженерал электрик".

В конце 60-х годов Маккарти [6,8] со своими коллегами из Лаборатории искусственного интеллекта в Станфорде сообщили о создании компьютера, имеющего руки, глаза и уши (т. е. оснащенного манипуляторами, телевизионными камерами и микрофонами). Ими была продемонстрирована система, которая воспринимала устные команды, «видела» разбросанные на столе блоки и манипулировала этими блоками в соответствии с полученными инструкциями. В этот же период Пайпер [9] провел исследования, касающиеся кинематики управляемого компьютером манипулятора, а Кан и Рот [10] исследовали вопросы динамики и управления манипулятором с ограничениями. Последние применили релейное управление, обеспечивающее максимальное быстродействие.

Одновременно промышленные роботы начали развиваться и в других странах, особенно в Японии. Уже в 1968 г. японская фирма «Кавасаки ХэвиИндастриз» покупает у фирмы «Юнимейшн» лицензию на выпуск промышленных роботов. В 1969 г. фирма «Дженерал Электрик» закончила разработку экспериментальной шагающей платформы для вооруженных сил США — одну из наиболее необычных разработок в области робототехники. В этом же году был создан бостонский манипулятор, а в следующем — стэнфордский манипулятор, оснащенный телевизионной камерой и управляющим компьютером. Создание этих манипуляторов положило начало ряду наиболее серьезных исследований в области робототехники. Один из экспериментов со стэнфордским манипулятором состоял в автоматической укладке блоков по различным заданным правилам. Это была очень сложная

задача для роботов того времени. В 1974 г. фирма «Цинциннати Милакрон» представила первого управляемого компьютером промышленного робота, названного T<sup>3</sup>(TheTomorrowTool— инструмент будущего). Этот робот мог поднимать грузы весом более 40 кг и работать с движущимися объектами на сборочном конвейере [4].

В течение 70-х годов большое внимание в исследованиях уделялось использованию датчиков внешней обстановки для повышения качества функционирования манипуляторов. В Стэнфорде Боллес и Пол [11] создали стэнфордский манипулятор, предназначенный для сборки автоматических водяных насосов. Управление этим манипулятором осуществлялось с помощью компьютера PDP-10 на основе информации от зрительных и силовых датчиков. Приблизительно в это же время Вилл и Гроссман [12] из фирмы IBM разработали управляемый компьютером манипулятор с тактильными и силовыми датчиками, предназначенный для сборки пишущей машинки, состоящей из двадцати деталей. В Лаборатории искусственного интеллекта Массачусетского технологического института проводились работы [13], связанные с использованием сигналов обратной связи от силовых датчиков. Для обеспечения правильного начального положения схвата при проведении высокоточных сборочных работ использовался метод поисковой навигации в ближней зоне. В Лаборатории Дрейпера Невинс и др. [14] проводили исследования по методам осязания, базирующимся на свойствах упругих деформаций. В результате этих работ был создан прибор, названный «удаленный центр упругой податливости» (remotecenter compliance). Этот прибор монтировался на упорной пластине последнего звена манипулятора при выполнении высокоточных сборочных работ. Бьецци [15] из Лаборатории реактивного движения для управления удлиненным стэнфордским манипулятором, предназначенным для космических исследований, применил методику измерения моментов. После этого был предложен еще ряд различных способов управления механическими манипуляторами.

В 1971 г. в Японии были разработаны экспериментальные образцы роботов с техническим зрением и элементами искусственного интеллекта: робот "Хивип", способный самостоятельно осуществлять механическую сборку простых объектов по предъявленному чертежу, и робот ЭТЛ-1. В этот же период и в ряде других стран создаются подобные экспериментальные установки так называемых интегральных роботов, включающих в себя манипуляторы, управляющие ЭВМ, различные средства осязания и общения с человеком-оператором, которые предназначены для проведения исследований в области искусственного интеллекта и создания интеллектуальных роботов [6].

Первые промышленные роботы с развитым осязанием и микропроцессорным управлением появились на рынке и получили практическое применение в 1980 - 1981 гг. прежде всего на сборке, дуговой сварке, контроле качества для взятия неориентированных предметов,

например, с конвейера. К их числу относятся снабженные системами технического зрения роботы "Пума", "Юнимейт", "Ауто-плейс", "Цинциннати милакрон", сборочные робототехнические системы фирм "Хитачи", "Вестингауз" (система "Апас"), "Дженерал моторс" (система "Консайт"). Доля таких устройств в общем парке роботов неуклонно растет и приближается к 50% несмотря на то, что они в несколько раз дороже роботов с программным управлением и значительно сложнее в обслуживании. Однако что окупается неизмеримо большими функциональными возможностями, а, следовательно, и более широкой областью применения.

Первые результаты по созданию и практическому применению роботов в СССР относятся к 1960-м гг. В 1966 г. в институте ЭНИКмаш (город Воронеж) был разработан автоматический манипулятор с простым цикловым управлением для переноса и укладки металлических листов. В 1968 г. в СССР (Институтом океанологии Академии наук СССР совместно с Ленинградским политехническим институтом и другими вузами) был создан телеуправляемый от ЭВМ подводный робот "Манта" с осязательным захватным устройством, а в 1971 г. — следующий его вариант с техническим зрением и системой целеуказания на телевизионном экране [16]. Первые промышленные образцы современных промышленных роботов с позиционным управлением были созданы в 1971 г. (УМ-1, "Универсал-50", УПК-1). В 1968 г. был создан первый управляемый ЭВМ подводный автоматический манипулятор. В 1971 г. в Ленинградском политехническом институте были построены образцы интегральных роботов, снабженных развитой системой осязания, включая техническое зрение и речевое управление [16]. В том же году в Ленинграде состоялся первый Всесоюзный семинар, посвященный роботам, управляемым ЭВМ.

Начиная с 1972 г. работы в области робототехники приняли плановый характер в масштабе страны. В 1972 г. постановлением Госкомитета СССР по науке и технике была сформулирована проблема создания и применения роботов в машиностроении как государственно-важная и определены основные направления ее решения. В следующем году была утверждена первая программа работ, которая охватила основные отрасли промышленности и ведомства, включая Академию наук и высшую школу. В соответствии с этой программой к 1975 г., были созданы первые 30 серийно пригодных промышленных роботов, в том числе универсальных (для обслуживания станков и прессов, для нанесения покрытий и точечной сварки) на пневмо-, гидро- и электроприводах, стационарных и подвижных.

В следующие годы эта работа была продолжена на основе новой пятилетней программы. Было создано более 100 марок промышленных роботов и организовано серийное производство 40 марок. Одновременно были начаты работы по унификации и стандартизации промышленных роботов в соответствии с программой Госстандарта СССР.

Фундаментальные и поисковые работы в области робототехники были развернуты на основе программ Академии наук и высшей школы, которые

были увязаны с комплексной программой Госкомитета СССР по науке и технике. К концу 1980 г. парк промышленных роботов в стране превысил 6000 шт., что находилось, например, на уровне парка роботов США, и составлял более 20% парка роботов в мире, а к 1985 г. превысил 40 тыс. шт., в несколько раз превзойдя парк роботов США и достигнув 40% мирового парка.

Первые промышленные роботы второго поколения со средствами осязания появились в отечественной промышленности на сборочных операциях в приборостроении с 1980 г. Первый промышленный робот с техническим зрением МП-8 был создан в 1982 г. [16]. В 1975 г. впервые был начат выпуск инженеров по робототехнике в Ленинградском политехническом институте в рамках существующих специальностей. В 1981 г. была введена новая специальность инженера-электромеханика - "Робототехнические системы"— и организована подготовка специалистов в ряде ведущих вузов страны.

С распадом СССР вся эта плановая работа по развитию отечественной робототехники на государственном уровне была прервана. Прекратилось серийное производство роботов. Их парк сократился более чем на порядок вместе с сокращением производства в стране в целом. В результате к 1995 г. разработки и применение роботов в России сузились до задач обеспечения невыполнимых без роботов работ в экстремальных ситуациях (стихийные бедствия, аварии, борьба с террористами и т. п.). Правда, в этой сфере отечественная робототехника не только не потеряла ранее достигнутого научно-технического уровня, но и продолжает развиваться, в том числе и благодаря участию в различных международных проектах и программах. На рубеже 2000 г. начали возрождаться отраслевые и ведомственные научно-технические программы по робототехнике, и межотраслевые программы по отдельным особо государственно-важным ее аспектам, начал восстанавливаться парк роботов и в промышленности. Все это позволяет прогнозировать в ближайшее время возрождение отечественной робототехники в полном объеме по мере восстановления нашей экономики и народного хозяйства в целом [3].

В конце XXв. были развернуты работы в новой специфической области робототехники, занимающейся построением шагающих машин как принципиально нового транспортного средства повышенной проходимости, образцом для которого являются ноги животных и человека. Были созданы экспериментальные образцы четырех- и шестиногих транспортных машин, а также протезов ног человека - так называемых экзоскелетонов, для парализованных и тяжелобольных [17, 18].

В конце XX в. возродился интерес к роботам-андроидам. В отличие от их первых реализаций последние достижения робототехники сделали возможным создание подобных устройств для обеспечения вполне реальных потребностей. Он способен двигаться по лестнице и преодолевать другие

препятствия, выполнять весьма сложные манипуляции и вести диалог с человеком.

За последние 10 лет XXI столетия стоимость промышленных роботов упала в 5 раз при одновременном улучшении их технических характеристик. В результате возросла экономическая эффективность использования роботов.

Первое место в мире по производству и применению роботов уверенно занимает Япония, где сосредоточена большая часть мирового парка роботов. Далее следуют США, Италия, Франция, Швеция. Большая часть этого парка используется в промышленности, примерно половина — для выполнения основных технологических операций, где требуются наиболее сложные роботы. Доля таких роботов неуклонно растет.

Технический прогресс в развитии роботов направлен, прежде всего, на совершенствование систем управления. Первые промышленные роботы имели программное управление, в основном заимствованное у станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Из станкостроения были взяты и приводы. Эти роботы получили название роботов первого поколения. Второе поколение роботов — это «очувствленные» роботы, т. е. снабженные сенсорными системами, главными из которых являются системы технического зрения.

На рубеже XXI в. робототехника подошла к следующему этапу своего развития — созданию интеллектуальных роботов. Это стало естественным этапом совершенствования роботов, соответствующим исходной идее появления подобных устройств как заменителей людей в их профессиональной деятельности. Интеллектуальный робот — это робот конкретного назначения, в основных функциональных системах которого используются методы искусственного интеллекта, что позволяет расширить сферу применения робототехники практически на все области человеческой деятельности. Пока такие роботы — в основном еще предмет научных исследований и лабораторных испытаний, однако первые их образцы уже начинают появляться на рынке.

Наряду с описанным ранее процессом интеллектуализации робототехники еще одной общей тенденцией ее развития стала миниатюризация. Оба эти направления соответствуют общей тенденции развития техники в целом. Процесс миниатюризации техники начался с информационно-управляющих систем на базе микроэлектроники. Затем уже на рубеже XXI в. началась миниатюризация сенсорных и исполнительных (силовых) систем на базе трехмерных технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС). В робототехнике эта тенденция проявляется созданием микроботов различного назначения.

В последние годы все более быстрыми темпами растет доля парка роботов, занятых вне промышленности — в сфере обслуживания, в быту, (сервисные роботы-уборщики, продавцы, вахтеры, игрушки и т. д.), она уже приближается к 50% парка. Почти во всех технически развитых странах созданы национальные ассоциации по робототехнике. В ряде стран имеются

финансируемые государством национальные программы по этой проблеме. Развиваются такие программы на международном уровне.

## **5. Основные этапы развития приборостроения**

### ***Приборостроение: отдельные вопросы истории развития в России.***

Приборостроение также обширная область знания, которая является синтезом науки и техники. Надо отметить, что особенно на первых этапах своего развития приборостроение было тесно связано с механикой. Приборы были преимущественно механическими, либо механические устройства обеспечивали реализацию какого-либо физического эффекта, на котором основан принцип действия прибора.

В настоящее время приборостроение – это быстроразвивающаяся, наукоёмкая, высокотехнологичная и инновационная область. Приборостроение интегрирует достижения различных областей знаний и как де-факто вовлечено во многие сферы человеческой деятельности. Приборостроение представлено практически во всех отраслях промышленного производства и в научных исследованиях. Предметная область современного приборостроения имеет очень широкий диапазон – от создания и использования научных приборов специального назначения в новых областях деятельности человека, до совершенствования классических приборов с учётом современных требований и тенденций. Очень широкий и важный раздел в области приборостроения связан с контрольно-измерительными приборами и системами, которые используются для обеспечения и сопровождения промышленного производства. В настоящее время создаются информационно-приборные комплексы и так называемые интеллектуальные приборы. В этой области на высоком уровне прослеживается взаимосвязь науки и техники. Поэтому история развития приборостроения заслуживает особого внимания. Обычно приборостроение рассматривают по отраслям или по разделам (авиаприборостроение, морское приборостроение и т.д.), а исследованию развития исходно-базовой основной части не уделяется должного внимания. Именно здесь можно проследить особенности развития технического знания и трансформацию классических технических устройств и приборов, тенденции и развитие содержания технических наук. Можно оценить значение, роль и степень влияния приборостроения на развитие отраслей промышленности, на общий технический прогресс. Важно выявить, в том числе, и взаимосвязь технических наук с гуманитарными науками. Задачу исследования указанной области научного знания можно рассмотреть на примере становления и развития факультета Точной механики и технологий СПбГУ ИТМО, который в основе своей был и сейчас является приборостроительным. Ведущие кафедры факультета – Мехатроники, Технологии приборостроения, Измерительных технологий и компьютерной томографии, Нанотехнологий и материаловедения. Можно также отметить, что приборостроение как

направление в области науки и техники в России на протяжении многих лет имеет сложившуюся педагогическую, методическую и научную базу, относительно которой развивается эта современная и актуальная область. Следует отметить, что данный параграф далее основан на материалах ряда источников, отражающих историю и современное положение дел в Университете ИТМО [1].

С достаточной степенью вероятности научное приборостроение в России начало развиваться в петровские времена [1]. Понимая экономическое, политическое и культурное отставание феодальной России в ту эпоху от европейских государств, Петр I приложил усилия, чтобы строились фабрики и заводы, расширялась внутренняя и внешняя торговля, укреплялась обороноспособность страны, строился флот, осуществлялись преобразования в области культуры, реформировалось государственное управление. Значительную роль Петр I отводил научным знаниям. Кстати, М.В.Ломоносов отмечал эту важную особенность Петра I.

Развитие наук расширяло использование научных инструментов различного рода и их производство. Требовались они в широко развернутых в то время географических работах, ставивших своей целью картографирование русских земель, в развивавшемся горном деле, в мореплавании и в военном искусстве. Нуждались в различных научных инструментах навигационные, пушкарские, горные, цифирные и другие школы преимущественно учреждённые Петром, которые готовили специалистов для работы в различных сферах производства.

В 1724 году Петр I издает указ об учреждении Петербургской Академии науки, которая сыграла важную роль в развитии наук и научного приборостроения. После открытия Академии через год в ней была организована кафедра оптики, которую возглавил Иоганн Георг Лейтман.

В то время Петр I центральное место отводил, прежде всего, экспериментальным наукам. Успешное их развитие было невозможно без наличия научных инструментов. В связи с этим А.К.Нартов представил Петру I проект Академии различных художеств, в которой было бы сосредоточено производство приборов и обучение молодых людей искусству их изготовления. Проектом предусматривалось наличие в Академии шести классов с 24 мастерами и 240 учениками. В ней должны были быть умельцы оптических дел, математических инструментов, лекарственных инструментов, слесарных дел и железных инструментов. Петр I одобрил проект, но расширил число классов с шести до девятнадцати. К примеру, в списке художеств (на современном языке - специальностей) значились: оптические, инструментов математических, инструментов лекарских, слесарские, медного дела, часовые. Однако смерть Петра в начале 1725 года не позволила осуществить этот замечательный проект Нартова А.К.

Всё же часть намеченных Петром I художественных классов вошла в состав открытой в том же году Академии наук в качестве мастерских (палат). Были учреждены оптическая, инструментальная слесарная палаты, в которых

с первых лет их существования было налажено производство различных научных инструментов в достаточно больших масштабах по тем временам. Организаторами названных палат и их основными работниками на протяжении всего XVII века были наши отечественные инструментальщики, оптики и мастера различных специальностей. К примеру, основателем оптической палаты Академии наук и первым её руководителем был мастер-оптик Беляев И.Е. Основателем и первым руководителем инструментальной палаты - мастер математических инструментов Калмыков И.И. Оба эти талантливые мастера на протяжении всей своей работы в качестве руководителей указанных палат не только изготавливали научные инструменты, но и обучали новых молодых «приборостроителей». Так, И.Е.Беляев воспитал своего сына, который в последствии стал выдающимся мастером-оптиком, проработавшим в оптическом приборостроении более 50 лет. И.И.Калмыков воспитал талантливого мастера инструментальных дел П.О.Голынина, от которого в свою очередь это высокое мастерство перешло к ряду других русских мастеров. Особо выделялись в то время такие мастера как Ф.Н.Тирютин, Н.Г.Чижов, А.И.Колотошин.

В те времена в России на достаточно хорошем уровне была известна техника холодной обработки металлов и поэтому мастерские Академии наук располагали уже сравнительно большим числом разнообразных станков и механизмов, позволявших выполнять различные операции. Известно, что уже существовали металлообрабатывающие заводы в Тульском, Липецком, Олонецком, Муромском, Гжатском промышленных районах и на Урале. Располагали различным машинным оборудованием и более мелкие механические мастерские, сосредоточенные главным образом в Москве и Петербурге. В числе их были мастерские при Московской математико-навигационной школе, при дворе Петра I и при Адмиралтейской коллегии, а также - при Московском и Петербургском монетных дворах.

Основными и наиболее распространенными в начале XVIII века были токарные станки с ручным (или ножным) приводом. Это были простые устройства без коробок скоростей, ходовых винтов и суппортов. Имелись также сверлильные станки, строгальные станки типа шенинг и различного рода приспособления, в том числе линейные и круговые делительные машины. Широко употреблялись такие инструменты, как мерительный и разметочный, различного рода резцы, напильники, метчики и плашки, циркули и кронциркули. И.И.Калмыков сумел оборудовать первую механическую мастерскую так, что через год была изготовлена партия астролябий, которые являлись основным угломерным инструментом в течение всего XVIII века [1].

После зачисления Калмыкова И.И. на службу в Академию наук ему была вручена так называемая инструкция с наставлениями по содержанию и обучению учеников, а также ведению отчетности о выполненных в мастерских работах. Были подобраны первые ученики. Так зарождалась одна из школ приборостроителей, в которой стали готовить мастеров

инструментальных дел. Можно утверждать, что с творчеством талантливых приборостроителей, трудившихся в академических мастерских, непрерывно связаны все основные эксперименты и открытия ученых России в XVIII веке. По их заказам в мастерских Академии создавались сложные приборы по оптике, механике, электричеству, теплоте, астрономии, геодезии.

Известен тот факт, что в 1735 году придворная токарная мастерская была передана Академии наук. Одновременно перешел в Академию и руководитель этой мастерской, известный русский технолог и изобретатель А.К.Нартов. Мастер токарного дела, а затем технический руководитель всех монетных дворов России того времени, Нартов являлся в первой половине XVIII века крупнейшим специалистом в области холодной обработки металлов и станкостроения. Только за годы работы в токарне Петра I Нартов А.К. сконструировал и построил десятки сложнейших по тому времени металлообрабатывающих станков, инструментов и приспособлений, многие из которых даже в наши дни поражают оригинальностью решения технических задач.

Оказавшись руководителем всех академических мастерских, связанных с обработкой металла, стекла и дерева, Нартов А.К. объединил их в одну – так называемую Экспедицию лаборатории механических и инструментальных наук. Если в ней в 1736 году при инструментальном деле находилось 12 человек, а через 5 лет эта палата располагала уже 32 работниками различных специальностей. Особое внимание Нартов А.К. обращал на оборудование мастерских. За короткое время он значительно расширил станочный парк всех мастерских своей Экспедиции и снабдил их новым инструментом. Крупный знаток механической обработки металлов, Нартов А.К. своим повседневным руководством, советами и указаниями помогал другим работникам и ученикам овладевать сложным производственным делом. Из-за границы выписывались всевозможные новые научные приборы, чтобы проводить с ними «куриозные эксперименты, а отчасти также и ради той причины, чтобы такие инструменты здесь можно было делать».

С расширением производства в академических мастерских физический кабинет Академии систематически пополнялся новыми научными приборами и вскоре стал известным в Европе. В 1740 году в нем было сосредоточено более 350 разнообразных научных приборов по механике, оптике, магнетизму, метеорологии.

В 1741 году в Петербургской Академии наук начал свою творческую деятельность известный ученый-энциклопедист М.В.Ломоносов (1711-1765). С его приходом в «приборостроении» России открылась новая эра. «Только теперь, спустя два века, - отмечал академик С.И.Вавилов - можно с достаточной полнотой охватить и должным образом оценить все сделанное этим богатырем науки. Достигнутое им одним в областях физики, географии, языковедения и истории достойно было бы деятельности целой академии. Своим творчеством Ломоносов охватил все области современного ему

приборостроения, создал большое число первых в мире навигационных, астрономических, гравиметрических, геодезических, метеорологических, физико-химических, электрических, оптических приборов. Многие из них, подобно незаметной трубе и универсальному барометру, батоскопу, вихозиметру, рефрактометру, анемометру определили на столетие науку и практику своего времени и положили начало отраслям современного приборостроения».

В одной из своих книг С.И.Вавилов также писал: «Ломоносову по необъятности его интересов принадлежит одно из видных мест в культурной истории человечества. Даже Леонардо да Винчи, Лейбниц, Франклин и Гете были более специальными и сосредоточены». М.В. Ломоносов говорил: «Честь русского народа требует, чтобы показать способность и остроту его в науках и что наше Отечество может пользоваться собственными своими сынами не только в военной храбрости и в других важных делах, но и в рассуждении высоких знаний». Ломоносов придавал исключительное значение научному опыту в любой отрасли знания. Поэтому всю свою творческую деятельность он строил на тесном сочетании теоретического изыскания с экспериментальным исследованием и провозглашал: «Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения есть лучший из всех способов к изысканию правды».

Для ведения экспериментов Ломоносову М.В. требовались различные приборы, инструменты и приспособления, поэтому уже с первых лет своей работы в Академии он установил тесные связи с мастерами академических палат. В частности, Ломоносов М.В. еще в 1744 году установил деловую связь с Голыниным, который изготовил ему первый микроскоп для физических и ботанических наблюдений. Приступив к своей научной деятельности в Академии, Ломоносов М.В. в 1742 году проектирует создание химической лаборатории, в которой, кроме теоретических проблем, должны были решаться и задачи практической химии. Ломоносов М.В. не только изобрел множество приборов, которые исполнялись мастерами академических палат, но и разработал технологию их производства, обобщая успехи приборостроения того времени. Прекрасно понимая роль этой области в развитии отечественной науки и техники, Ломоносов М.В. много сил отдал созданию передовой школы русских приборостроителей. Он энергично популяризировал значение приборов в познании природы и развитии техники. Большое место в работах Ломоносова М.В. занимала оптика. Он уделял много времени конструированию и изготовлению оптических приборов и систем.

Можно отметить, что некоторым символом приборов того времени являлись часы, которые были достаточно распространённым прибором. Глубокий след в развитии часового дела оставил И. П. Кулибин (1735-1818). Механик-самоучка, автор более сорока изобретений, он создал зеркальный фонарь (прототип прожектора), зеркальные телескопы, часы оригинальной конструкции (сейчас хранятся в Государственном Эрмитаже), семафорный

телеграф и многое другое. Как известно первые механические часы появились на Руси при московском князе Василии Дмитриевиче. Их изготовил ученый монах Лазарь Сербин. Часы украсили Фроловскую башню Кремля. Но они часто «капризничали», и Петр 1 заказал в Голландии новые, которые водрузили на эту же башню, но уже называвшуюся Спасской.

Россия не могла конкурировать тогда с развитой Европой. Однако это не значит, что не было талантливых людей, способных развить российскую часовую промышленность. Отечественные мастера создали, как видно из некоторых исторических документов, много часов собственных конструкций. В частности, И.П.Кулибин разработал проекты башенных часов, часов в перстне, сконструировал планетарный прибор, который показывал часы, минуты и секунды, месяцы, дни, недели, времена года, фазы луны. Пять лет ушло у него на создание уникальных часов в корпусе-яйце. Они отмечают боем каждые четверть часа, полчаса и час.

Надо отметить, что в середине первой половины XVIII века в мастерских Академии наук сложилась высокая техническая культура научного приборостроения, благодаря которой стало возможным проведение в стенах Академии и вне ее научных изысканий, различных исследований, выполнение межевание земель, составление географических карт, обеспечение мореплавания и работ, связанных с освоением природы. На протяжении десятилетий здесь рождалась плеяда русских приборостроителей, которые вписали свои имена золотыми буквами в историю развития русской технической мысли.

Российская Академия наук и ее мастерские внесли важный вклад в развитие микроскопа. Недостатки изображений микроскопа вследствие сферической и хроматической аберрации были известны еще в XVII веке. Н.И.Фусс (ученик Л.Эйлера и будущий академик) писал в 1774 году: «Лучшие микроскопы, сконструированные до сего времени, все еще подвержены столь серьезным недостаткам. Что вызывает недоумение, почему самые искусные мастера никак не преуспели в освобождении от этих недостатков, между тем как они со столь большим успехом работают над усовершенствованием телескопов». Первые попытки решения этого сложного и важного вопроса принадлежат Л.Эйлеру и Н.Фуссу. Таким образом, в Петербургской Академии наук было положено начало новой эры в истории развития микроскопа, дальнейшее усовершенствование которого в XIX столетии привело к заметным достижениям во многих областях науки и техники. Ф.Эпинус не ограничился первой моделью ахроматического микроскопа и продолжал повышать его качество. Свое намерение он осуществил, разработав конструкцию телескопического микроскопа.

Следует отметить некоторые факты по развитию приборостроения в России. В 1809 году Морским ведомством Петербурга в районе Малой Охты было возведено многоэтажное здание Паноптического института. Задачей этого учебного заведения стала подготовка искусных механиков различных специальностей, необходимых флоту, а также для производства различных

машин, в том числе оптических, физических и математических инструментов. Наряду с ремеслами, ученики овладевали и общеобразовательными предметами: русским языком, математикой, черчением, физикой. В институте числилось более 100 учеников, 8 мастеров, 177 подмастерьев и мастеровых. Паноптический институт получил в свое распоряжение различные станки и разнообразное оборудование. Это позволило открыть мастерские: оптическую, компасную, артиллерийских приборов, математических и навигационных инструментов, кузнецу и машинное отделение. Однако в 1818 году Паноптический институт сгорел и восстановлен не был. Так закончилась первая попытка организации в России серийного производства приборов.

Подготовка мастеров-специалистов была продолжена в Практическом технологическом институте, который был основан в Петербурге в 1828 году и 34 года спустя преобразован в высшее учебное заведение. Этот институт в основном готовил инженеров-механиков широкого профиля и инженеров-технологов по машиностроению и не имел прямого отношения к приборостроению.

В 1842 году произошло важное в области приборостроения событие. По указу Николая I было разработано Положение о весах и мерах. Оно устанавливало единую систему единиц, обязательную для применения в Российской империи с января 1845 года. Так были заложены основы Государственной системы обеспечения единства измерений в России. На территории Петропавловской крепости с 1842 года было создано Депо образцовых мер и весов, основателем которого был академик А.Я. Купфер. В обязанности Депо входило хранение нормальных мер и весов (эталонов), изготовление и поверка образцовых мер, а также метрологические исследования.

Во второй половине XIX века развитие капитализма в России существенно обнажило техническую отсталость страны. Правящие круги были поставлены перед необходимостью наладить подготовку национальных кадров для промышленности. Инициатором технического и промышленного образования был И.А. Вышнеградский (1831-1895, профессор Петербургского технологического института, почетный член Академии наук, министр финансов с 1888 года по 1892 год). В 1865 году было организовано Комиссаровское техническое училище в Москве. В 1869 году существования в Лодзи реальная гимназия была преобразована в Высшее ремесленное училище на правах среднего учебного заведения. В том же году в Череповце было открыто Александровское техническое училище при машиностроительном и судостроительном заводах, а в Ельце возникло первое техническое железнодорожное училище.

Большую роль в развитии профессионального образования (в том числе и в области создания приборов) сыграло учрежденное в 1896 году в Петербурге Русское Техническое общество. Оно вело широкую пропаганду научно-технических знаний, устраивало выставки, проводило съезды ученых,

издавало ряд технических журналов: «Электричество», «Фотограф», «Техника воздухоплавания», «Железнодорожное дело» и др. С 1874 года Обществу было разрешено открыть при заводах курсы и специальные классы: ремесленные, рисовальные, черчения, швейные. К 1895 году Общество имело 23 иногородних отделения, 37 ремесленных классов, библиотеку, музей, технико-химическую лабораторию, издавало до 10 журналов. По инициативе Русского Технического общества в 1895 году проводился набор в первую Петербургскую школу часового дела на Знаменской улице. Там был установлен трехлетний курс платного обучения. Вероятно, не получив финансовой поддержки или не набрав учеников, школа прекратила свое существование.

Во второй половине XIX века значительное развитие получил электромагнитный телеграф. Для его обслуживания требовались специалисты с соответствующей подготовкой. В 1886 году в Петербурге учреждается первое техническое училище почтово-телеграфного ведомства. На базе этого учебного заведения был организован Электротехнический институт (ныне – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет). Он также по содержанию во многом является приборостроительным.

В этот же период в Петербурге был открыт Дом призрения и ремесленного образования под особым покровительством царя, являвшегося его почетным попечителем. Этим объяснялось и название созданного при нем ремесленного училища имени цесаревича Николая и женской школы императрицы Марии Александровны. Ремесленное училище, помещавшееся на 1-й Роте Измайловского полка (там, где сейчас находится Балтийский государственный технический университет), завоевало высокую репутацию, ежегодно выпуская прекрасно подготовленных мастеров по слесарному и механическому делу.

Технические училища разных категорий и специальностей открывались в 80-90-е годы (XIX) прошлого века почти во всех губерниях России. Но потребность в кадрах была столь велика, что специалистов по приборостроению хронически не хватало. Известно, что за три года на рубеже столетий оказались неудовлетворенными заявки на открытие 181 ремесленной школы.

В это же время в Европе профессиональная подготовка «приборостроителей» была хорошо налажена. Она осуществлялась в основном в специальных школах точной механики и часового искусства. В Германии наиболее известные школы были в городах Глас Хютте, Фуртвагене, Швенинге, Альтоне. В Австрии подобной школой славился город Карлштейн, в Швейцарии Билль, Шедофон, Женева, Невшатель, Солотурн, во Франции – Безасон и Париж, в Венгрии – Будапешт, в Голландии – Амстердам, в Англии приборостроителей готовил Британский часовой институт Лондона.

Можно также считать, что следствием отсталости России в области приборостроения стало возникновение с середины XIX века многочисленных

мелких часовых и приборных мастерских. Они создавались в большинстве случаев заграничными фирмами, которые снабжали их заготовками, материалами, оборудованием. Эти в основном полукустарные мастерские, конечно, не были заинтересованы в развитии русского национального приборостроения и поэтому ограничивались чисто практической для себя целью. В дореволюционной России было только несколько именно российских небольших предприятий, выпускавших термометры, манометры, водомеры, весы и др. простейшие приборы. В течение всего XIX столетия импорт в Россию оптических и физических приборов возрастал из года в год. Так, из Швейцарии в Россию только часов ежегодно вывозилось на миллион рублей. Это наносило большой урон финансам страны и тормозило создание отечественной школы «приборостроения».

В конце XIX века в связи с потребностями бурно развивающейся промышленности, появлением железных дорог, началом использования в научных исследованиях высокоточных приборов, дальнейшим развитием военного дела появляется необходимость производства разнообразных приборов времени. Но в те годы из всех приборов времени в России производились полностью только достаточно «грубые» и несовершенные «московские ходики», и то они делались кустарями-одиночками. Более точные часы собирались из деталей, привозимых из-за границы, или покупались в Германии, Швейцарии, Франции.

Отдельно следовало бы остановиться об образовании в области «приборостроения», так как Российское правительство придавало большое значение этому направлению.

Известен такой факт - в 1892 году потомственный дворянин Александр Петрович Белановский, увлекающийся изготовлением приборов времени, преподнес императору Александру III собранный им полусекундный регулятор. В знак благодарности и с целью поощрения работ по развитию часового производства в России император дал указание Министерству финансов командировать А.П.Белановского за границу «для изучения техники часового дела и ознакомления с постановкою обучения часовому производству в заграничных школах». После возвращения из командировки А.П.Белановский представил в Министерство финансов проект устройства в России часовой школы. Рассмотрев этот проект, Министерство финансов «пришло к убеждению, что удобнее всего означенную школу учредить в составе Ремесленного училища цесаревича Николая в качестве особого отделения и соединить в одной школе обучение часовому делу, так и прочим отраслям точных механических работ, дабы удовлетворить заметно возрастающий в последнее время потребности в людях, умеющих обращаться с точными приборами и инструментами» [1].

Ремесленное училище цесаревича Николая было одно из первых наиболее значительных учебных заведений подобного типа не только в Петербурге, но и в России. Выпускники училища работали в основном на

Обуховском, Путиловском, Металлическом заводах, заводах Н.Гейслера, Л.Нобеля, Франко-Русского общества и др.

С другой стороны, развитие нашей промышленности и все увеличивающееся использование электрической энергии вызывало значительную потребность в людях, умеющих обращаться с точными приборами и инструментами.

В конце XIX века произошло оживление и оптической науки. Этому способствовали работы таких русских ученых-физиков, как Ф.Н.Шведов (1840-1905), Ф.Ф.Петрушевский (1828-1904), А.Г.Столетов (1839-1896) и другие. Продолжало развиваться оптическое производство: открылись фабрики оптических инструментов Швабе и Волткей, было основано «оптическое производство Урлауба» (по имени русского мастера-оптика Ивана Яковлевича Урлауба). Все это привело к необходимости массовой подготовки специалистов, умеющих обращаться с точными оптическими приборами и инструментами.

Министерство финансов того времени подчеркивало, что «проектируемая школа точных механических работ и часового дела является по своим специальным задачам совершенно новым у нас видом технических учебных заведений». Отсюда делался вывод о том, чтобы эта школа «была поставлена в тесную связь с одним из технических учебных заведений, преследующим близкие к ней цели, и состояла под наблюдением лиц, обладающих значительным опытом в деле низшего технического образования. Всем этим условиям вполне отвечает Ремесленное училище Цесаревича Николая, уже снискавшее себе заслуженную репутацию и выпускающее прекрасно подготовленных мастеров по слесарному и механическому делу, которые с полным успехом занимают должности монтеров на механических заводах».

Проанализировав учебный план создаваемого механико-оптического и часового отделения, Министерство народного просвещения в целом его одобрило, но указало, что «лица, изучающие оптико-механическое дело и часовое ремесло, должны обладать большим развитием, более серьезными познаниями по физике, а главное, - более основательными по математике, чем ремесленники-слесаря», и рекомендовало «с течением времени с развитием дела учебный план на основании практики» поправить. 28 февраля 1900 года Государственный Совет утвердил и вынес решение об учреждении в составе Ремесленного училища цесаревича Николая механико-оптического и часового отделения. 13 марта по старому (26 марта – по новому стилю) это решение было утверждено Николаем II [1].

О значимости Ремесленного училища цесаревича Николая в системе народного образования России говорит тот факт, что председателем совета училища был назначен член Государственного Совета, действительный статский советник, граф Сергей Юрьевич Витте. Впоследствии в 1905-06г.г. он был председателем Совета министров Российской Империи. Товарищем (то есть заместителем) председателя совета училища Анопов Иван Алексеевич, известный организатор профессионального образования в

России, автор книги «Материалы по техническому и ремесленному образованию в России», опубликованной в Санкт-Петербурге в 1889 году.

Директором Ремесленного училища цесаревича Николая в системе начале 1900-х годов был Валентин Михайлович Арбузов, а инспектором и заведующим мастерскими – статский советник Густов Юльевич Гессе. В 1900 году он составил и опубликовал «Руководство к изучению слесарного ремесла по программе Ремесленного училища цесаревича Николая». Последнее пользовалось большой популярностью и до 1916 года выдержало несколько изданий. Оно содержало подробное описание и чертежи к каждому учебному заданию.

Для организации механико-оптического и часового отделения и преподавания в нем были приглашены А.П.Белановский и Н.Б.Завадский. Первый исполнял обязанности мастера часового дела, второй – механико-оптического. Они часто выезжали за границу, закупали станки и оборудование. Н.Б.Завадский посещал Швейцарию, Германию, Австрию, Польшу для ознакомления там с постановкой оптического дела. После увольнения в 1907 году Белановского из училища всю работу в механико-оптическом и часовом отделении возглавил Н.Б.Завадский.

На механико-оптическом и часовом отделении обучали русскому языку, арифметике, геометрии, основам механики и физики, истории, счетоводству, рисованию, черчению и другим предметам, давали общие понятия о материалах. Особенно большое внимание уделялось обучению воспитанников училища ремеслу изготовления точных приборов и механизмов. Преподавание «научных предметов» до третьего класса велось одновременно для воспитанников механико-оптического и часового дела, а после третьего класса некоторые специальные предметы изучались отдельно. Работы в мастерских были различны для воспитанников обеих специальностей с самого начала обучения.

В 1900 году на механико-оптическое и часовое отделение было принято 39 воспитанников. Первый выпуск состоялся в 1905 году. Окончили курс всего несколько человек. Основная причина большого отсева заключалась в плохом материальном положении большинства родителей учеников, не имевших достаточных средств для оплаты обучения своих детей. В последующие годы прием учащихся не превышал 30-35 человек в год. Оканчивали училище, как правило, не более 10 человек (Г-7. Официальный электронный портал СПб ГУ ИТМО, [www.ifmo.ru](http://www.ifmo.ru), раздел Виртуальный музей, 2010г.). Училище осуществляло подготовку специалистов на высоком уровне. Так, в 1909 году на международной выставке часов, ювелирных и механико-оптических изделий, состоявшейся в Петербурге, работы училища получили Большую Золотую медаль. Мастерские училища достаточно часто выполняли важные заказы различных учреждений: Морского министерства, Главной физической обсерватории, Главной палаты мер и весов, а также заводов.

После революции 1917 года уже в начале 1920-х годов на базе Механико-оптического и часового отделения были созданы Техническая школа точной механики и оптики. Школа была предназначена для подготовки «мастеров по изготовлению точных механизмов и оптических приборов». Далее был организован Первый механический техникум (состоящий фактически из двух техникумов и школы). Для Техникума точной механики и оптики и Технической школы точной механики и оптики было выделено отдельное здание по адресу: Демидов переулок, дом 10 (ныне Гривцова, дом 14).

Что касается первого механического техникума, то он дислоцировался там же, где было Ремесленное училище, - на 1-й Роте (ныне 1-й Красноармейской улице). Впоследствии на базе этого техникума был создан Механический институт. Теперь он известен как Балтийский государственный университет «Военмех» имени Д.Ф.Устинова.

В 1930 году в Техникуме точной механики и оптики было четыре отделения: физико-механическое, оптическое, счетно-измерительное и физико-метрологическое. При техникуме имелись производственное бюро, которое изготовляло и ремонтировало различные физические, геодезические и измерительные приборы, а также давало консультации по изобретению, конструированию и изготовлению опытных образцов и моделей. Техникум возглавлял Р.И.Дорогов, заведовал учебной частью Ф.Т.Ластовец, руководил мастерскими С.В.Муратов.

Индустриализация, проводившаяся в СССР в конце 1920-х – начале 1930-х годов, бурно развивающаяся промышленность и, главное, принципиально новая военная техника требовали от системы образования подготовки не только квалифицированных рабочих и талантливых техников, умеющих собирать и обслуживать приборы, но и инженеров, способных создавать оптико-механические приборы и приборы точной механики.

В связи с этим был поставлен вопрос о реорганизации Ленинградского техникума точной механики и оптики в высшее техническое заведение нового типа. Именно так этот вопрос был сформулирован в протоколе №14/448 заседания Президиума Народного комиссариата просвещения от 11.06.29г. Втузы нового типа представляли собой так называемые учебные комбинаты, в состав которых входили институты, техникумы и рабочие факультеты (рабфаки).

Учебный комбинат точной механики и оптики начал функционировать 8 августа 1930 года «в составе – Института, Техникума дневного, Техникума вечернего и школы ФЗУ повышенного типа».

Первоначально комбинат находился в ведении Всесоюзного объединения оптико-механической промышленности (ВООМПа). В функции комбината в целом входила подготовка специалистов, производственников и конструкторов высшей квалификации по оптико-механической промышленности. В функции Института точной механики и оптики входила подготовка специалистов высшей квалификации для оптико-механической промышленности.

В начале 1930-х годов в нем по дневной и вечерней формах обучения получали среднее техническое образование одновременно более 850 человек. Преподавание курса точной механики было поручено Н.Б.Завадскому, крупному специалисту по делительным машинам и точным станкам, бывшему директору техникума. Основной курс – теории оптических приборов – стал вести Чуриловский В.Н., начальник вычислительного бюро ВООМПа, также ранее читавший этот курс в техникуме. Ведущие инженеры объединения преподавали в институте по совместительству. Например, главный инженер ВООМПа Фрейберг С.И. читал курс оптико-механических приборов, а начальник технического отдела Титов Л.Г. преподавал технологию оптических деталей, главный инженер завода ГОМЗ Знаменский А.П. вел курс технологии точного приборостроения.

К чтению лекций по отдельным разделам, руководству курсовыми и дипломными проектами привлекались и другие специалисты ВООМПа. Особенно ценным было участие в работе по составлению и корректировке учебных планов и программ сотрудников Государственного оптического института (ГОИ) и Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии (ВНИИМ). Непосредственное влияние на формирование школы Ленинградского института точной механики и оптики (ЛИТМО) оказали ведущие ученые Государственного оптического института: академики А.А.Лебедев и В.П.Динник, член-корреспонденты Академии наук СССР Н.Н.Качалов и А.И.Тудоровский, профессора А.П.Афанасьев и С.С.Тяжелов. Большое внимание становлению ЛИТМО уделяли директор ГОИ академик Д.С.Рождественский и сменивший его академик С.И.Вавилов. В институт пришли, в частности, профессора А.Н.Захарьевский, Г.М.Кондратьев, М.Ф.Маликов. В 1931 году состоялся первый выпуск инженеров, подготовленных в Институте точной механики и оптики.

В начале тридцатых годов прослеживается организационная связь с оптической промышленностью, что способствовало обеспечению кафедр и лабораторий образцами приборов, измерительной и контрольной аппаратурой, технической и технологической документацией. Составление и корректировка учебных планов и программ производилась с участием Государственного оптического института и Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии.

В 1937 году ведущими факультетами были – Точной механики и Оптико-механический. Была создана одна из первых в СССР лаборатория счетно-решающих приборов, которая впоследствии была преобразована в кафедру Математических и счётно-решающих приборов и устройств.

В период с 1943 по 1950 г.г. в ЛИТМО зарождаются научные школы по следующим направлениям - точной механики, счётно-решающих приборов, навигационных приборов, теплового контроля и теоретической механики.

В 1945 году создан факультет Электроприборостроения (с 1948 года переименован в электромеханический), а в 1946 году - Инженерно-физический факультет.

В 50-х и 60-х годах названия факультетов и кафедр менялось исходя из тенденций развития приборостроения того времени и из практической потребности в инженерных и научно-технических кадрах.

Далее в 1970 году оптический факультет стал факультетом оптико-механического приборостроения, радиотехнический факультет преобразован в оптико-электронного приборостроения, факультет точной механики – точной механики и вычислительной техники.

1993 год - была проведена реорганизация факультета Точной механики и вычислительной техники: созданы факультет Компьютерных технологий и управления и факультет Точной механики и технологий [1].

годы 90-х годов в нашей стране изменилась социально-политические и экономические условия. Большинство технических институтов стали осуществлять подготовку в том числе и по непрофильным специальностям (к примеру – по экономическим, юридическим). Таким институтам присваивался статус университетов (первоначально они назывались техническими университетами). В частности, ЛИТМО с 1994 года стал университетом, так как существенно расширился диапазон специальностей по различным направлениям.

Важно отметить, что последить развитие и становление российского приборостроения можно по учебно-методическим пособиям ВУЗов, которые были разработаны учёными и преподавателями за эти многие годы.

### ***Обзор приборостроения советского периода и особенности современного приборостроения***

Сведения о приборостроении в указанный период можно получить в Большой советской энциклопедии и в ряде источников тех лет [2, 3, 4 и 5].

Приборостроение определялась как отрасль машиностроения, выпускающая средства измерения, анализа, обработки и представления информации, устройства регулирования, автоматические и автоматизированные системы управления; область науки и техники, разрабатывающая средства автоматизации и системы управления. Изначально в СССР промышленное развитие приборостроения началось в годы 1-й пятилетки (1929-32гг.) с образованием Всесоюзного электротехнического объединения, на котором было организовано серийное производство электроизмерительных приборов и средств автоматизации. Всесоюзное объединение точной индустрии сосредоточило изготовление теплоизмерительных приборов, объединило оптико-механическую промышленность, весоизмерительную промышленность, предприятия авиационного, морского и других специализированных направлений приборостроения. Важно отметить, в 1965 образовано общесоюзное министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления. В его состав вошли предприятия, научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, проектные и монтажные организации, осуществляющих разработку, производство, монтаж и ввод в эксплуатацию, как отдельных устройств, так и систем автоматизации.

Ведущее место в приборостроении по количеству и разнообразию выпускаемых приборов занимали средства измерительной техники. Были созданы методы и приборы измерения механических, электрических, магнитных, тепловых, оптических, радиационных и других величин. Измерительные приборы в сочетании с регулирующими, вычислительными и исполнительными устройствами составили техническую базу автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

Разработку приборов для измерения механических величин (вес, сила, вибрация, твёрдость, деформация, прочность) и устройств испытательной техники осуществляли следующие организации: Научно-исследовательский и конструкторский институт испытательных машин, приборов и средств измерения масс (Москва); Конструкторское бюро средств измерения масс (Одесса); конструкторское бюро «Виброприбор» (Таганрог).

Разработкой приборов для измерения электрических и магнитных величин (напряжение, ток, мощность, частота, фазы, сопротивление, ёмкость, магнитные величины) занимались Всесоюзный научно-исследовательский институт электроизмерительных приборов в Ленинграде, Кишиневский научно-исследовательский институт электроизмерительных приборов и ряд самостоятельных и заводских конструкторских бюро. Массовое и крупносерийное производство таких приборов было налажено на Краснодарском заводе измерительных приборов и на Житомирском заводе «Электроизмеритель» им. 50-летия СССР, заводе "Вибратор" в Ленинграде. Наряду со стрелочными приборами стали выпускать цифровые и электроннолучевые индикаторы.

Приборы для измерения теплоэнергетических величин (температура, давление, расход, уровень) разрабатывались Всесоюзным научно-исследовательским институтом теплоэнергетического приборостроения в Москве, а выпускались крупными сериями казанским заводом теплоизмерительных приборов и средств автоматизации «Теплоконтроль», рязанским заводом «Теплоприбор» и другими. Московский завод тепловой автоматики производил электрические регуляторы, московский завод точных измерительных приборов «Тизприбор» выпускал комплекс унифицированных пневматических средств контроля и регулирования теплоэнергетических величин для автоматизации технологических процессов в нефтяной, нефтехимической, газовой и для других отраслей промышленности с огнеопасными и взрывоопасными средами.

Значительное место в приборостроении занимала разработка и производство средств испытательной техники. Приборы и машины испытания материалов и конструкций на прочность для металлургии, машиностроения, индустрии строительных материалов, резинотехнической, лёгкой и других отраслей промышленности в частности выпускались Ивановским заводом испытательных приборов, Армавирским заводом

испытательных машин. На их основе создавались автоматизированные и универсальные испытательные установки, стенды, станции.

Быстро развивающимся направлением являлось аналитическое приборостроение, которое создавало устройства для определения состава и концентрации веществ в различных средах, материалах и продуктах. К ним относятся электрохимические, ультразвуковые, оптические, ядерные и иные анализаторы, сложные многопараметровые аналитические системы. Средства физико-химического анализа использовали разнообразные явления, вызываемые воздействием электрического тока, электромагнитных волн или проникающей радиации на исследуемую среду. Отбор и подготовка проб, преобразование, разделение, дозирование веществ, возбуждение их активности, селекция сигналов и представление информации автоматизировались.

Развитие металлургии, химии, биологии и других областей было связано с необходимостью точного анализа руд, металлов и сплавов, нефтепродуктов, примесей в полупроводниках, присутствия различных элементов в пищевых продуктах и живых средах в широком диапазоне состава и концентрации, требовало применения многокомпонентных анализаторов. Такими приборами являлись рентгеновские квантометры, полярографы, масс-спектрометры, хроматографы, точно фиксирующие элементарную картину многих минеральных и органических соединений. Отрасль приборостроения создавало и выпускало такие приборы и обеспечивало возможность комплексного применения средств аналитической техники в системах автоматического контроля и регулирования технологических процессов. Созданием аналитических приборов и систем были заняты Всесоюзный научно-исследовательский институт аналитических приборов в Киеве, самостоятельное конструкторское бюро аналитических приборов в Тбилиси, также выпускались аналитические приборы Гомельским заводом измерительных приборов, Смоленским заводом средств автоматики, Сумским заводом электронных микроскопов.

Достижения тех лет в области вычислительной техники позволило приборостроению существенно расширить арсенал методов и средств автоматизированного управления технологическим оборудованием, энергетическими установками, промышленными предприятиями, транспортными средствами, научными исследованиями. Вычислительные устройства также входили в состав измерительных, аналитических, испытательных, разведочных установок и систем в качестве средств хранения и математической обработки информации для получения синтезированных результатов. Они применялись и как средства программного управления различными машинами, станками, манипуляторами и поточными линиями. Предприятиями приборостроения создавались разнообразные средства обработки данных, ручного и автоматического формирования текстовой (алфавитной и цифровой) информации для непосредственного использования в учреждениях и

передачи в ЭВМ. Так, электронные клавишные машины разрабатывались ленинградским конструкторско-технологическим бюро по проектированию счётных машин и выпускались большими сериями курским заводом «Счётмаш», Орловским заводом управляющих вычислительных машин. Управляющие вычислительные комплексы для больших автоматизированных систем управления (АСУ) разрабатывались институтом Электронных управляющих машин в Москве и выпускались Производственно-техническим объединением электронных вычислительных и управляющих машин в Киеве. Унифицированные комплексы для управления технологическими процессами разрабатывались и производились научно-производственным объединением вычислительной техники «Импульс» в Северодонцке, ориентированные комплексы для управления энергетическими и промышленными установками проектировались и изготовлялись НПО электронной вычислительной аппаратуры «Элва» в Тбилиси. Устройства программного управления станками и оборудованием разрабатывались Центральным конструкторским бюро числового программного управления и выпускались Ленинградским электромеханическим заводом.

Значительное место в приборостроении занимали средства передачи информационных сигналов и управляющих импульсов на большие расстояния. Их производством был занят Нальчикский завод телемеханической аппаратуры им. 50-летия СССР. Рациональному представлению, распространению и использованию информации в учреждениях и на предприятиях, в диспетчерских службах и АСУ способствовали средства оргтехники, создаваемые Всесоюзным научно-исследовательским институтом оргтехники в Москве, специальным конструкторским бюро оргтехники в Вильнюсе и выпускаемые грозненским заводом «Электроприбор», Каунасским заводом средств автоматизации. Автоматизация технологических процессов невозможна без исполнительных механизмов, преобразующих управляющие импульсы в перемещение регулирующих органов производственного оборудования. Они разрабатывались Научно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом теплоэнергетического приборостроения в Смоленске, опытно-конструкторским бюро «Теплоавтомат» в Харькове и выпускались Севанским и Чебоксарским заводами электрических исполнительных механизмов, а также и другими предприятиями, изготовляющими пневматические и гидравлические устройства автоматики.

Кроме основных средств формирования, хранения, передачи, специального представления и использования информации широкого научного и промышленного назначения, отрасль приборостроения создавало и выпускало много различных специальных приборов для геофизики, гидрометеорологии, медицины, сельского хозяйства, транспорта, лабораторного оборудования, специализированных комплектных лабораторий.

Развитие микроэлектроники, оптоэлектроники, нелинейной оптики, микромеханики привносит в приборостроение и способствует созданию компактных надёжных экономичных измерительных, аналитических, разведочных и других приборов, средств телемеханики и автоматики. Монокристаллы с особыми физическими свойствами, полупроводниковые элементы, плёнки, жидкие кристаллы, твёрдотельные интегральные схемы, магнитострикционные элементы в качестве чувствительных воспринимающих, преобразующих и индикаторных сред качественно изменили характер изделий и технологию в приборостроении.

Ведущей тенденцией приборостроения тех лет являлась унификация элементно-конструктивной базы приборов и их системное применение. В СССР это отражалось в Государственной системе промышленных приборов и средств автоматизации. Заложенная в ней унификация обеспечивалась нормализацией информационных сигналов, параметров источников питания, метрологических показателей, конструктивных форм и размеров, технических требований и технологий, а также условий эксплуатации. Такие изделия были рассчитаны на сопряжение как непосредственно в системах, так и в агрегатных комплексах средств автоматизации. Агрегатирование обеспечивало заводскую компоновку средств определённого назначения и поставку комплексов в виде законченных промышленных изделий. Этим существенно упрощалось и удешевлялось проектирование систем, а также повышалась надёжность их функционирования. Обеспечивалось создание приборов и средств автоматизации из целесообразно ограниченной номенклатуры типовых модулей и блоков методами так называемой прогрессивной технологии в условиях специализации и кооперирования, индустриальную реализацию систем.

Получило развитие такое направление как технология приборостроения. Наибольшее развитие в приборостроении получило производство механических и электрических измерительных приборов с деталями высокого класса точности. Наряду с классическими видами машиностроительной технологии при изготовлении деталей приборов стали применять ультразвуковую, электроннолучевую, лазерную, электрохимическую, электроэрозионную виды обработки. Всё большее место в приборостроении занимало производство электронной техники с поточными автоматизированными гальваническими, электрофизическими, электрохимическими, фотохимическими, диффузионными процессами обработки полупроводниковых и изоляционных материалов, процессами печатного монтажа элементов и схем на модульных платах, специализированного оборудования для получения электронных функциональных блоков. Были оригинальны прецизионные процессы крупного промышленного производства микропроводов для элементов сопротивления и обмоток. Обмоточные операции выполнялись на скоростных намоточных станках и автоматических линиях. Электроизоляционные процессы осуществляли в вакуумных пропиточных и

сушильных установках. Изготовление постоянных магнитов для электроизмерительных приборов, магнитных носителей информации (карт, лент, дисков, барабанов) представляло собой массовое производство на крупных заводах.

Характерной особенностью приборостроения 70-х годов было большое разнообразие сборочных процессов. Высокий уровень механизации и автоматизации изготовления деталей, узлов и модулей приборов обеспечивал возможность осуществлять поточную сборку изделий на высокопроизводительных специализированных и универсальных установках, стендах и конвейерных линиях с широким использованием сборочных, регулировочных, контрольных, диагностических и других подобных автоматов, с применением электронно-вычислительной техники.

Можно отметить, что объём производства продукции приборостроения увеличился в 1966-73 в 3,7 раза. Значительно обновлена и расширена номенклатура выпускаемых изделий. В 1975 по сравнению с 1970 выпуск продукции приборостроения удвоился. При этом было освоено более 3500 новых приборов и средств автоматизации.

Создание и распространение АСУ. Одной из главных задач приборостроения в СССР считалось развитие автоматизированных систем управления в народном хозяйстве страны на основе передовых технических средств. Это достигалось типизацией проектных решений, автоматизацией систем проектирования, унификацией, агрегатированием и комплектной поставкой технических средств, специализацией монтажно-наладочных работ. В приборостроении разработкой принципов и методов автоматизации управления занимались Институт проблем управления и Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации в Москве, институт автоматики в Киеве, Центральный научно-исследовательский институт техники управления в Минске и ряд специализированных исследовательских организаций по разработке АСУ.

Дальнейшее развитие автоматизации управления было связано с совершенствованием сбора, передачи, обработки и представления информации посредством совмещения анализа технологических и экономических параметров для своевременного получения синтезированных показателей производства и деятельности предприятия в целом. Это путь развития привёл к созданию интегрированных систем. Создание и распространение интегрированных АСУ были связаны с выпуском необходимых унифицированных экономически целесообразных комплексов технических средств, алгоритмов, программ и типовых проектных решений автоматизации управления, применимых в различных отраслях народного хозяйства.

Получило также развитие наука о приборостроении. Наука приборостроения, прежде всего, была представлена широкой тематикой отраслевых и академических организаций, дисциплинами высших и средних специальных учебных заведений, многочисленным персоналом учёных,

книжными и периодическими изданиями, научно-техническими советами и обществами.

Научные достижения в этом направлении в рассматриваемый период времени заключаются в основном в изучении различных состояний твёрдого тела, динамики движения жидкостей и газов, плазменной формы материи, физико-химических свойств веществ, энергетических преобразований, нестационарных полей, колебаний и излучений. Исследования позволяли не только находить новые принципы действия приборов, но и повышать точность, надёжность и экономичность изделий приборостроения, систематически обновлять их номенклатуру.

Большое значение имело повышение информативности систем при одновременном сокращении количества частных сведений, представляемых человеку, что достигалось за счёт расширения аналитической функции измерительных и вычислительных устройств. Исследование процессов документообразования в условиях действия АСУ позволило упростить и унифицировать документооборот, высвободить персонал в определённой мере от непроизводительной работы, передавая формирование информации соответствующим автоматическим устройствам. Исследование технологических процессов, различных режимов работы оборудования и машин даёт возможность шире использовать методы адаптации систем управления для получения наилучших технико-экономических показателей.

Далее ориентация уже современной технологии на задачи контроля процессов, к примеру, в системе связи также привнесла инновации в измерительные приборы. Для контроля каких-либо сложных процессов целесообразно выполнять не одно, а сразу несколько измерений. Современное приборостроение откликнулось на данные требования реализацией многозадачной работы в современных приборах. Один и тот же прибор может работать одновременно над несколькими задачами измерений, например, измерения потоков информации на выходе из системы и анализ различных параметров внутри потока.

Многозадачный режим работы прибора потребовал изменения самого принципа построения измерительных приборов. Теперь от концепции готового прибора большинство фирм-производителей перешли к принципу модульной системы. Самые последние тенденции в приборостроении привели к появлению приборов открытой модульной архитектуры типа «сэндвич». Суть метода построения прибора состоит в том, что базовая структура прибора включает только переднюю панель-экран и заднюю панель-аккумулятор. Между ними устанавливаются модули, каждый из которых представляет собой автономный прибор. Распределенная архитектура прибора предусматривает, что приборы при работе не используют ресурсы центрального процессора. Центральный процессор обеспечивает только отображение результатов и обеспечение удаленного доступа к прибору. В результате прибор фактически не имеет ограничений на расширение. На одном и том же конструктивном шасси оператор сам может

собрать и портативный прибор, и многофункциональный стационарный анализатор.

Как известно, современный этап мирового развития характеризуется переходом к постиндустриальному или информационному обществу. Одна из главных проблем современного общества - это проблема информатизации, то есть проблема создания и развития современного машинного производства в информационной сфере, порожденная противоречием между необходимостью своевременного использования во всех сферах человеческой деятельности больших объемов высококачественной информации и невозможностью оперативно формировать такие объемы с помощью устаревающих средств обработки информации. Развитие процесса информатизации привело к созданию новых информационных технологий, и эти технологии сейчас широко используются как при разработке приборов, так и в процессе их эксплуатации.

В приборостроении продолжается тенденция к миниатюризации различных элементов и компонентов приборов и устройств.

Современный период развития приборостроения также характеризуется «отходом от механики». Это можно иллюстрировать следующим примером. Раньше гироскопы представляли собой электромеханическую систему, а теперь гироскопический эффект реализуется за счёт специфических свойств света. Аудио запись не так давно фиксировалась с помощью механической или электромеханической системой, сейчас – вообще нет движущихся механических элементов в этом процессе.

Важно отметить, что в настоящее время появилась тенденция распространения приборов с функциями локального воздействия на исследуемую среду. Такие устройства-приборы будут кратко рассмотрены в следующем параграфе.

## Литература

### *К разделу 1 и 2:*

1. Технические науки, фонд знаний Ломоносов, режим доступа - <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01346:article;>
2. Философские проблемы технических наук, лекция Становление и организация\_технических\_наук.[http://studme.org/1465071717679/filosofiya/stanovlenie\\_organizatsiya\\_tehnicheskikh\\_nauk;](http://studme.org/1465071717679/filosofiya/stanovlenie_organizatsiya_tehnicheskikh_nauk;)
3. Промышленная революция - <https://ru.wikipedia.org/>
4. Большая Советская энциклопедия. Под ред. Прохорова А.М., 3-е издание, М, изд-во «Советская энциклопедия», 1978;
5. Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А. Философия науки и техники - [http://www.gumer.info/bogoslov\\_Buks/Science/Step/index.php;](http://www.gumer.info/bogoslov_Buks/Science/Step/index.php;)
6. Интернет вещей - <https://ru.wikipedia.org/>

### ***К разделу 3:***

1. А. Айвазов, А. Кобяков. Статья «Николай Кондратьев как "зеркало" кризиса». журнал «Профиль» от 27.10.2008 г.;
2. Гринин Л. Е. Кондратьевские волны, технологические уклады и теория производственных революций. Аспекты и перспективы / Отв. ред. А. А. Акаев, Р. С. Гринберг, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков. Волгоград: Учитель, 2012. С. 222—262;
3. Глазьев С.Ю. «Мировой экономический кризис как процесс замещения доминирующих технологических укладов» - Вопросы экономики, № 3, 2009г. (<http://spkurdyumov.ru/economy/mirovoj-ekonomicheskij-krizis/>);
4. Технологические уклады и преодоление экономических кризисов В. Белоусов - <http://www.kapital-rus.ru/articles/article/175896> от 19.01.2010;
5. Глазьев С.Ю., «Теория долгосрочного технико-экономического развития». М.: ВладДар, 1993;
6. Гуриева Л.К. «Инновационная экономика», журнал «Инновации» № 10, 2004г..

### ***К разделу 4:***

1. Готлиб Б.М. «Введение в мехатронику» под редакцией Родионова А.А. Екатеринбург, изд-во Уральского гос. ун-та путей сообщения, 2008г.;
2. Готлиб Б.М. Введение в мехатронику. Под ред. Родионова А.А., Магнитогорск, МГТУ, 2009г.);
3. Юревич К. И., Основы робототехники. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005 г.;
4. Фу К., Гонсалес Р., Ли К., Робототехника: Пер. с англ., М.: Мир, 1989 г.;
5. Ernst H.A., MH-1, 0 Computer-Oriented Mechanical Hand, Proc. 1962 Spring Joint Computer Conf. San Francisco, Calif., pp. 39-51, 1962;
6. Интегральные роботы: Сб. ст. / Под ред. Е. Поздняка. — М.: Мир, 1973. — Вып. 1; 1975.—Вып. 2;
7. Tomovic R., Boni G. An Adaptive Artificial Hand., IRE Trans. Automatic Control. AC-7, 3, pp. 3-10, 1962;
8. McCarthy J. et al. A Computer with Hands, Eyes, and Ears, 1968 Fall Joint Computer Conf., AFIPS Proceedings, pp. 329-338, 1968;
9. Pieper D.L. The Kinematics of Manipulators under Computer Control, Artificial Intelligence Project Memo No. 72, Computer Science Department, Stanford University, Palo Alto, Calif., 1969;
10. Kanh M.E., Roth B. The Near – Minimum – Time Control of Open-Loop Articulated Kinematic Chains, Trans. ASME, J. Dynamic Systems, Measurement and Control 93., pp. 164-172, 1971;
11. Bolies R., Paul R., An Experimental System for Computer Controlled Mechanical Assembly, Stanford Artificial Intelligence Laboratory Memo AIM, Stanford University, Palo Alto, Calif., 1973;
12. Will P., Grossman D., An experimental System for Computer Controlled Mechanical Assembly, IEEE Trans. Comput., C-24, No. 9, pp. 879-888, 1975;

13. Inoue H., Force Feedback in Precise Assembly Tasks, MIT Artificial Intelligence Laboratory Memo 308, MIT, Cambridge, Mass., 1974;
14. Nevins J. L., Whitney D.E., et al. Exploratory Research in Industrial Modular Assembly, NSF Project Reports 1 to 4 C. S. Draper Laboratory, Cambridge, Mass., 1974-1976;
15. Bejezy A.K., Dynamic Models and Control Equations for Manipulators, Technical Memo 715-19, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., 1979;
16. Юревич Е. И. ЦНИИ РТК. История создания и развития. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999;
17. Планетоходы // Под ред. А. Л. Кемурджиана. — М.: Машиностроение, 1993;
18. Вукобратович М. // Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. — М.: Наука, 1961.

***К разделу 5:***

1. Юбилейный сборник «ИТМО: годы и люди». Под ред. Потеева М.И., СПб, изд-во СПбГУ ИТМО, 2000г., Официальный электронный портал ИТМО, [www.ifmo.ru](http://www.ifmo.ru), раздел Виртуальный музей, версия - 2010г.;
2. Большая советская энциклопедия. Под ред. Прохорова А.М., 3-е издание, М, изд-во «Советская энциклопедия», 1978;
3. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Каталог, М., 1974г.;
4. Направления развития технологии приборостроения. Под ред. Гаврилова А.Н., М., 1968г. ;
5. Обзорная информация ЦНИИТЭИ приборостроения. М., 1971-74гг.

**Миссия университета** – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

---

### **КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр со дня основания института в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механических технологий и возглавлялась известным учёным в области разработки инструмента профессором Александром Павловичем Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила более двух тысяч квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы её возглавляли известные учёные и педагоги: Павлович Соболев, Андрей Александрович Маталин, Сергей Петрович Митрофанов. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П.Митрофановым были разработаны научные основы группового производства. За что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и развиваются его учениками.

Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, заслуженным изобретателем СССР Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны различные методы нанесения регулярного микрорельефа на функциональные поверхности изделий, которые развиваются и внедряются в производство современниками.

В настоящее время кафедра ведёт научную работу преимущественно в области приборостроения, кафедра осуществляет выпуск бакалавров, магистров, специалистов и аспирантов по направлениям «Приборостроение» и «Информатика и вычислительная техника». Кафедра имеет тесные научно-образовательные связи с высшими учебными заведениями Германии и Бельгии.

## Содержание

1. Введение .....	3
2. Основные этапы развития технических наук .....	4
3. Основные технологические уклады .....	18
4. История возникновения и развития мехатроники и робототехники .....	27
5. Основные этапы развития приборостроения .....	41
6. Литература ..	61

Авторы-составители

**Медунецкий Виктор Михайлович**

**Силаева Кира Валерьевна**

**Основные этапы развития технических наук**

**Учебное пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**

**Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49