



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**В. В. БОГДАНОВ, И. В. ЛЫСАК, Е. В. ПАПЧЕНКО**

**История и философия науки.  
История технических наук**

**Учебно-методическое пособие  
для аспирантов**

Ростов-на-Дону – Таганрог

2021

УДК 1(075.8)+001(075.8)  
ББК 87.25я73+72.3я73  
Б 734

*Печатается по решению кафедры философии Института управления  
в экономических, экологических и социальных системах  
Южного федерального университета  
(протокол №6 от 17 января 2021 г.)*

**Рецензент:**

доктор философских наук, профессор кафедры общей и педагогической психологии Академии педагогики и психологии Южного федерального университета *Т.Г. Лешкевич*

**Б 734     Богданов В. В., Лысак И. В., Папченко Е. В.**  
История и философия науки. История технических наук: учебно-методическое пособие для аспирантов / В. В. Богданов, И. В. Лысак, Е. В. Папченко; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 123 с.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «История и философия науки. Философские проблемы техники и технических наук. История технических наук» включает в себя рабочую программу учебной дисциплины, планы семинарских занятий с подробным списком литературы, тексты для анализа, вопросы к кандидатскому экзамену. Предназначено для аспирантов направления подготовки – технические науки.

ББК 87.25я73+72.3я73

© Южный федеральный университет, 2021

© Богданов В. В., 2021

© Лысак И. В., 2021

© Папченко Е. ., 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Часть 1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИСТОРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК»</b> .....	5
Аннотация учебной дисциплины «История и философия науки».....	5
Цели освоения дисциплины .....	6
Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	6
Структура и содержание дисциплины «История и философия науки» .....	7
Образовательные технологии по дисциплине «История и философия науки»..	10
Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.....	11
Учебно-методическое обеспечение III Части «История технических наук».....	15
Программа по истории технических наук .....	19
Семинар 1. Техника и наука как составляющие цивилизационного процесса (4 часа).....	26
Семинар 2. Смена социокультурной парадигмы развития техники и науки в Новое время (2 часа). <i>Научная революция XVII в.: становление экспериментального метода и математизация естествознания как предпосылки приложения научных результатов в технике</i> .....	29
Семинар 3. Смена социокультурной парадигмы развития техники и науки в Новое время (2 часа). <i>Этап формирования взаимосвязей между инженерией и экспериментальным естествознанием (XVIII – первая половина XIX вв.)</i> .....	32
Семинар 4. Становление и развитие технических наук и инженерного сообщества (Вторая половина XIX–XX вв.). <i>Вторая половина XIX в.–первая половина XX в. (2 часа.)</i> .....	35
Семинар 5. Становление и развитие технических наук и инженерного сообщества (Вторая половина XIX–XX вв.) (4 часа). <i>Эволюция технических наук во второй половине XX в. Системно-интегративные тенденции в современной науке и технике</i> .....	38

<b>Часть 2. ПРОБЛЕМЫ ИСТОРИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК В РАБОТАХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ</b> .....	42
<i>Козлов Б. И.</i> Техническая деятельность в Средние века. Научно-технические знания от Архимеда до Ньютона .....	42
<i>Кириллин В. А.</i> Естественные науки .....	50
<i>Мандрыка А. П.</i> Промышленный переворот и становление машинного производства .....	58
<i>Веселовский О. Н.</i> Доливо-Добровольский.....	75
<i>Веселовский И. Н.</i> Русская механика XIX в.....	86
<i>Гуреева О.</i> Транзисторная история.....	108

# **Часть 1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИСТОРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК»**

## **АННОТАЦИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСТОРИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ»**

Цель данного учебно-методического пособия – помочь аспирантам понять и усвоить особенности современного научного мироотношения, познакомиться с этапами развития науки, со сменой типов научной рациональности, сменой научных картин мира, современными западными концепциями науки, увидеть мировоззренческую и культурную неоднозначность ее достижений. Эти столь актуальные в современную эпоху глобальных перемен вопросы всегда были объектом философской рефлексии, поскольку именно они составляют основную предметную область философии науки как отрасли знания.

Предлагаемая учебная дисциплина подробно рассматривает взаимоотношения философии и науки. Предполагается, что аспирант, прослушавший в студенческие годы учебный курс по философии и сдавший вступительный экзамен в аспирантуру по данной дисциплине в рамках учебной программы, в достаточной степени овладел теоретическими основами философской рефлексии, чтобы применить последние в своей профессиональной научной деятельности. Поэтому подготовка соискателя к данному экзамену, не исключая общепhilosophических проблем науки и ее истории, осуществляется, прежде всего, по отрасли науки, соответствующей двум первым цифрам шифра специальности предполагаемой диссертации из номенклатуры специальностей научных работников. При существенном изменении профиля подготовленной диссертации (изменение двух первых цифр шифра специальности) возникает необходимость пересдачи экзамена. В связи с этим рекомендовано сдавать кандидатский минимум по философии не ранее окончания первого года обучения в аспирантуре.

Программа учебной дисциплины «История и философия науки» стремится максимально приблизить философию к потребностям и интересам современного ученого. Для подготовки к экзамену аспирант, в соответствии с учебным планом, прослушивает курс лекций по I части кандидатского экзамена «Общие проблемы философии науки», а также знакомится с основными проблемами II части «Философские проблемы отрасли науки». Вторая часть программы как раз и должна помочь аспиранту определиться в философских проблемах, соответствующих области его научных исследований. Третья часть – «История отдельных отраслей науки» – также предназначена для аспирантов и соискателей соответствующих специальностей. Программа ориентирована на анализ основных мировоззренческих и методологических проблем, возникающих в науке на современном этапе её развития, и получение представления о тенденциях исторического развития науки.

Третья часть – «История отдельных отраслей науки», реализуется в рамках освоения дисциплины «История технических наук», направленной на ознакомление обучающихся с базовыми знаниями в области истории технических наук.

Проверка подготовленного реферата проводится специалистом кафедры философии, который предоставляет краткую рецензию на реферат и выставляет оценку. При наличии положительной оценки соискатель допускается к сдаче экзамена по философской части дисциплины. Оценка ответа аспиранта складывается из следующих составляющих: а) оценка реферата по истории профильной дисциплины, б) оценка ответа по философии науки (теоретическая часть и философский практикум), в) оценка ответа по философским проблемам соответствующей области знания. В итоге аспирант получает результирующую оценку, которая определяется как средняя из трех вышеназванных при условии, что все они положительные.

## **ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЦЕЛЯМИ** изучения учебной дисциплины «История и философия науки» являются:

- формирование у аспирантов и соискателей целостной системы знаний о генезисе научного знания, об истории становления и развития науки и о различных методах исследовательской деятельности;
- овладение аспирантами и соискателями понятийно-терминологическим аппаратом, характеризующим сущность и содержание истории и философии науки;
- актуализация научной проблематики любой области современного знания.

**ЗАДАЧИ** изучения учебной дисциплины «История и философия науки»:

- формирование у аспирантов навыков самостоятельной научно-исследовательской деятельности;
- совершенствование философской подготовки, ориентированной на профессиональную деятельность;
- овладение минимумом теоретических знаний по истории и философии науки;
- выработка представления о процессе возникновения различных методов теоретического и эмпирического мышления;
- овладение аналитическим, синтетическим и целостно-системным мышлением, необходимым при работе над диссертацией.

## **МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Учебная дисциплина «История и философия науки» представляет собой обязательный для каждого соискателя ученой степени кандидата наук единый минимум требований к уровню знаний в философии в избранной научной области. Данная программа содержит три части. Первая часть – «Основы философии науки» – является общей и обязательна для аспирантов и соискателей всех научных специальностей. Вторая часть – «Современные философские проблемы областей научного знания» – обязательна для аспирантов и соискателей со-

ответствующих специальностей. Третья часть – «История отдельных отраслей науки» – также предназначена для аспирантов и соискателей соответствующих специальностей. Программа ориентирована на анализ основных мировоззренческих и методологических проблем, возникающих в науке на современном этапе ее развития, и получение представления о тенденциях исторического развития науки.

## СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСТОРИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ»

Общая трудоемкость дисциплины составляет **2 зачетных единицы – 72 часа.**

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости по неделям семестра Форма промежуточной аттестации по семестрам
				лекции	прак- тиче- ские	КСР	всего	
<b><i>1 ЧАСТЬ. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЛОСОФИИ НАУКИ</i></b>								
1	Наука в культуре современной цивилизации	1	5–6	2	2	–	5	Обсуждение на практическом занятии
2	Возникновение науки и основные стадии ее исторической эволюции	1	6–7	2	2	–	5	Обсуждение на практическом занятии
3	Структура научного знания	1	8–9	2	2	–	2	Обсуждение на практическом занятии
4	Динамика науки как процесс порождения нового знания	1	10–11	2	–	–	5	
5	Научные традиции и научные революции. Типы научной рациональности	1	12–13	2	2	–	2	Творческие задания Обсуждение на практическом занятии
6	Особенности современного этапа развития науки. Перспективы научно-технического прогресса	1	14–15	4	2	–	4	Обсуждение на практическом занятии

7	Наука как социальный институт	1	16–17	2	2	–	5	Итоговый опрос
	<i>Итого по I части</i>			<i>16</i>	<i>12</i>	–	<i>28</i>	<i>Экзамен (вопросы экзамена 2 и 4)</i>
<b>ЧАСТЬ II. ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК</b>								
8	Философия техники и методология технических наук	2	24–25	4	4	–	8	Обсуждение на практическом занятии
9	Техника как предмет исследования естествознания	2	26	2	–	–	2	
10	Естественные и технические науки	2	27–28	2	4	–	6	Обсуждение на практическом занятии
11	Особенности неклассических научно-технических дисциплин	2	29–30	4	–	–	4	
12	Социальная оценка техники как прикладная философия техники	2	31–32	4	4	–	8	Обсуждение на практическом занятии
	<i>Итого по II части</i>			<i>16</i>	<i>12</i>	–	<i>28</i>	<i>Экзамен (вопрос экзамена 3)</i>
<b>ЧАСТЬ III. ИСТОРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК</b>								
13	Техника и наука как составляющие цивилизационного процесса	1	20	–	–	2	2	
14	Смена социокультурной парадигмы развития техники и науки в Новое время	1	21	–	–	2	2	
15	Становление и развитие технических наук и инженерного сообщества (вторая половина XIX–XX вв.)	1	22	–	–	4	4	

16	Развитие прикладной ядерной физики и реализация советского атомного проекта, становление атомной энергетики и атомной промышленности	1	23	–	–	2	2	
17	Развитие полупроводниковой техники, микроэлектроники и средств обработки информации	2	24	–		2	2	
18	Развитие теоретических принципов лазерной техники	2	28	–	–	2	2	
19	Проблемы автоматизации и управления в сложных технических системах	2	29	–	–	2	2	
	<i>Итого по III части</i>			–	–	<b>16</b>	<b>16</b>	<i>Реферат Экзамен (вопрос экзамена 1)</i>
	<b>ВСЕГО:</b>			<b>32</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>72</b>	<b>ЭКЗАМЕН</b>

## **ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИСТОРИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ»**

В ходе организации обучения по дисциплине «История и философия науки» применяются метод проблемного обучения, метод анализа первоисточников – неадаптированных философских текстов, методы логических заданий, обучающей игры, дискуссии.

Исходя из значительного объема учебного материала, в преподавании дисциплины «История и философия науки» широко применяется проблемный метод чтения лекций. Лекционный курс содержит преимущественно теоретический материал, отражающий современное состояние научных концепций по данной тематике и подкрепленный разъяснениями и комментариями на конкретных примерах. В процессе лекционного занятия аспиранты слушают преподавателя, задают вопросы, часть информации конспектируют. При этом активно используются компьютерная, проекционная техника и презентации, концентрирующие внимание слушателей на ключевых моментах лекционного материала и ориентирующие на последовательное изложение материала при разборе конкретных ситуаций проблемного характера.

Проведение лекционных и практических занятий осуществляется с постановкой проблемных вопросов, допускающих возникновение дискуссий, что предполагает активное включение аспирантов в образовательный процесс.

В ходе лекций преподаватель постоянно ориентирует аспирантов на выявление того специфического, что присуще развитию науки в рассматриваемый период, на анализ основных философских проблем, овладение базовыми понятиями курса, позволяющими аспирантам обратиться к самостоятельному анализу неадаптированных философских текстов.

Практические занятия проводятся в форме:

- семинарских занятий, предполагающих:
  - выступления аспирантов с предварительно подготовленными творческими работами по тематике, сформулированной преподавателем, после чего аудитория обсуждает их уровень и, при необходимости, ответы дополняются, либо отмечаются их недостатки под руководством преподавателя, ведущего занятие;
  - дискуссионных форумов по актуальным проблемам философии науки на базе контрольных вопросов, которые формулируются как преподавателем, так и самими аспирантами в пределах тематики соответствующего занятия;
  - подготовку и обсуждение докладов по проблемам современной философии науки;
- контрольного занятия.

Для развития и совершенствования коммуникативных способностей аспирантов организуются учебные занятия в виде дискуссионных форумов или конференций, при подготовке к которым аспиранты заранее распределяются по группам, отстаивающим ту или иную точку зрения по обсуждаемой проблеме.

При проверке знаний аспирантов преподавателем применяется тестирование, в ходе которого предлагается выбрать верный вариант ответа из ряда предложенных, письменные контрольные работы, включающие, в том числе, и анализ отрывков из первоисточников, и опрос аспирантов в устной форме по контрольным вопросам.

Самостоятельная работа аспирантов направлена на решение следующих задач:

- 1) изучение истории развития отрасли науки, выявление основных тенденций развития научной дисциплины и определение спорных проблем, требующих своего решения;
- 2) выработка навыков восприятия и анализа оригинальных философских текстов (классических и современных);
- 3) формирование навыков критического, исследовательского отношения к предъявляемой аргументации, развитие способности схватывания и понимания философских аспектов актуальных проблем философии науки;
- 4) развитие и совершенствование способностей к диалогу, к дискуссии, к формированию и логически аргументированному обоснованию собственной позиции по тому или иному вопросу;
- 5) развитие и совершенствование творческих способностей при самостоятельном изучении проблем философии науки.

На самостоятельную работу выносятся следующие виды деятельности:

- проработка лекций и подготовка к практическим занятиям – чтение конспекта лекций, профессиональной литературы, периодических изданий;
- изучение истории профильной отрасли научного знания;
- подготовка реферата по истории науки под контролем преподавателя;
- работа с неадаптированными философскими текстами под контролем преподавателя.

Итоговый контроль усвоения материала осуществляется в форме кандидатского экзамена по «Истории и философии науки» в конце первого года обучения в аспирантуре.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ**

### **Перечень контрольных вопросов к I части «Общие проблемы философии науки»**

1. Предмет философии науки. Основные концепции науки в истории философии.
2. Понятие науки. Формы бытия науки: наука как познавательная деятельность, как социальный институт, как особая сфера культуры.
3. Логико-эпистемологический подход к исследованию науки.
4. Позитивистская традиция в философии науки.

5. Традиционалистский и техногенный типы цивилизационного развития и их базисные ценности. Ценность научной рациональности.
6. Познание как процесс получения и обновления знаний. Особенности научного познания.
7. Функции науки в жизни общества: наука как мировоззрение, как производительная и социальная сила.
8. Преднаука и наука в собственном смысле слова.
9. Культура античного полиса и становление первых форм теоретической науки.
10. Формирование идеалов математизированного и опытного знания в XIII–XV вв.: оксфордская школа, Роджер Бэкон, Уильям Оккам.
11. Предпосылки возникновения экспериментального метода и его соединения с математическим описанием природы: Г. Галилей, Ф. Бэкон, Р. Декарт.
12. Развитие экспериментально-математического естествознания в XVII–XVIII вв. Особенности классической науки.
13. Революция в естествознании конца XIX – начала XX вв. и становление идей и методов неклассической науки.
14. Формирование науки как профессиональной деятельности. Возникновение дисциплинарно организованной науки.
15. Эмпирический и теоретический уровень научного знания, критерии их различия.
16. Структура эмпирического знания. Эмпирический факт и проблема его теоретической нагруженности.
17. Теоретический поиск в науке: теоретические модели, схемы и законы.
18. Научная картина мира. Исторические формы научной картины мира.
19. Общие закономерности динамики науки.
20. Эволюционная эпистемология о проблеме динамики науки как процессе порождения нового знания.
21. Постпозитивизм о проблеме динамики науки как процессе порождения нового знания.
22. Метод и методология. Классификация методов научного исследования.
23. Научные революции как перестройка оснований науки. Проблемы типологии научных революций.
24. Основные тенденции развития науки во второй половине XX – начале XXI века.
25. Распространение системного и синергетического подходов к исследованиям как существенная характеристика постнеклассической науки.
26. Глобальный эволюционизм как синтез эволюционного и системного подходов и основа формирования современной научной картины мира.
27. Новые этические проблемы науки в конце XX – начале XXI века. Научный этос.
28. Сциентизм и антисциентизм.
29. Основные теоретические подходы к исследованию науки как социального института. Социальные характеристики научной профессии.
30. Наука и антинаука: проблема демаркации.

**Перечень контрольных вопросов ко II части**  
**Философские проблемы техники и технических наук**  
*(для специальностей 05.02.05, 05.02.08, 05.07.02, 05.12.04, 05.12.07, 05.12.13,  
05.12.14, 05.27.01, 05.27.06)*

1. Предмет, основные сферы и главная задача философии техники.
2. Соотношение философии науки и философии техники.
3. Образы техники в культуре: традиционная и проектная культуры.
4. Перспективы и границы современной техногенной цивилизации.
5. Технический оптимизм и технический пессимизм: апология и культуркритика техники.
6. Ступени рационального обобщения в технике: частные и общая технологии, технические науки и системотехника.
7. Особенности методологии технических наук и методологии проектирования.
8. Роль техники в становлении классического математизированного и экспериментального естествознания и в современном неклассическом естествознании.
9. Специфика соотношения теоретического и эмпирического в технических науках, особенности теоретико-методологического синтеза знаний в технических науках.
10. Техническая теория: специфика построения, особенности функционирования и этапы формирования.
11. Дисциплинарная организация технической науки: понятие научно-технической дисциплины и семейства научно-технических дисциплин.
12. Сущность классических научно-технических дисциплин.
13. Сущность современных (неклассических) научно-технических дисциплин.
14. Особенности теоретических исследований в современных (неклассических) научно-технических дисциплинах.
15. Развитие системных и кибернетических представлений в технике.
16. Научно-техническая политика и проблема управления научно-техническим прогрессом общества.
17. Проблема комплексной оценки социальных, экономических, экологических и других последствий техники.
18. Этика ученого и социальная ответственность проектировщика: виды ответственности, моральные и юридические аспекты их реализации в обществе.
19. Критерии и новое понимание научно-технического прогресса в концепции устойчивого развития.
20. Философия инженерной деятельности.

**Перечень примерных тем рефератов и контрольных вопросов**  
**к III части «История технических наук»**

1. Особенности механики в эпоху античности (от Архимеда до Витрувия).
2. Проблема актуальной бесконечности в Древней Греции, апории Зенона.

3. Прикладная и теоретическая механика в работах ученых Александрии.
4. Механика в средневековом арабском естествознании.
5. Оксфордская и Парижская школы средневековой механики.
6. Проблема движения и покоя в механике Нового Времени (от Галилея до Декарта).
7. Проблема движения снаряда в эпохи Античности, Средневековья и Возрождения.
8. Проблемы механики в работах Г. Галилея и представителей его научной школы (Б. Кавальери, В. Вивиани, Э. Торричелли).
9. Гелиоцентрическая система мира: от Н. Коперника до Г. Галилея.
10. Картезианская картина мира.
11. Механика Христиана Гюйгенса.
12. Проблемы механики в работах И. Ньютона.
13. Небесная механика от И. Кеплера до П.-С. Лапласа.
14. Л. Эйлер и перевод основ механики на язык бесконечно малых.
15. Развитие статики в работах Ж. Роберваля и П. Вариньона.
16. Задачи гидростатики в работах А. Клеро и Л. Эйлера.
17. Исследования представителей семейства Бернулли в области механики.
18. Механика колебаний (исследование колебаний струны, мембраны, стержня в работах ученых XVIII века).
19. Ж. Лагранж и его «Аналитическая механика».
20. Парижская политехническая школа и разработка в ней проблем механики.
21. Основные направления развития механики в XIX веке (можно детализировать или написать общий обзор).
22. Методологические вопросы механики на рубеже XIX и XX вв, (Л. Больцман, Г. Герц, П. Дюгем, Э. Мах, А. Пуанкаре).
23. Из истории развития аэродинамики.
24. Основные этапы развития теории устойчивости.
25. Развитие новых областей механики в XX веке (на выбор соискателя – газовая динамика, теория пограничного слоя, механика гироскопов, нелинейная динамика, теория динамических систем, релятивистская механика, квантовая механика и др.).

### **Перечень вопросов к разделу «Философский практикум»**

1. Аристотель «Метафизика».
2. Ф. Бэкон «Новый органон».
3. Р. Декарт «Рассуждение о методе». «Правила для руководства ума» (на выбор).
4. И. Кант «Пролегомены».
5. Г.Ф.В. Гегель «Энциклопедия философских наук» («Наука логики», «Философия природы» – на выбор).
6. В.И. Вернадский «О научном мировоззрении». «Философские мысли натуралиста».
7. А. Эйнштейн «Физика и реальность».

8. М. Вебер «Наука как призвание и профессия».
9. Р. Мертон «Амбивалентность ученого». «Эффект Матфея в науке, II: Накопление преимуществ и символизм интеллектуальной собственности» (на выбор).
10. И. Лакатос «История науки и ее рациональные реконструкции». «Фальсификация и методология научно-исследовательских программ» (на выбор).
11. К. Поппер «Логика научного исследования».
12. Т. Кун «Структура научных революций».
13. М. Полани «Личностное знание».
14. П. Фейерабенд «Наука в свободном обществе», «Против методологического принуждения» (на выбор).

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ III ЧАСТИ «ИСТОРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК»**

#### **Основная литература**

1. *Артамонов, А. Д.* Технические университеты в информационном обществе [Текст] / А. Д. Артамонов, Г. И. Ловецкий; под ред. Г. И. Ловецкого; Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 287 с.
2. *Боякова, Т. А., Бояков, С. А.* История электротехники и электроэнергетики: Учебное пособие [Текст] / Т. А. Боякова, С. А. Бояков. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 241 с.
3. *Зайцев, Г. Н., Федюкин, В. К., Артошенко, С. А.* История техники и технологий: Учебник [Текст] / Н. Г. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Атрошенко; под ред. проф. В. К. Федюкина. Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 416 с.
4. *Ковалев, В. И., Схиртладзе, А. Г., Борискин, В. П.* История техники: Учебное пособие [Текст] / В. И. Ковалев, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. Старый Оскол: Тонкие наукоёмкие технологии, 2018. – 360 с.
5. *Кравченко, А. Ф.* История и методология науки и техники: Учебное пособие [Текст] / А. Ф. Кравченко. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2005. – 359 с.
6. *Кравченко, А. Ф.* История науки и техники [Текст] / А. Ф. Кравченко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 434 с.
7. *Ларин, А. А.* История науки и техники: учебник [Текст] / А.А. Ларин; Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – 285 с.
8. *Рачков, М. Ю.* История науки и техники: учебник для вузов [Текст] / М. Ю. Рачков. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 284 с.
9. Хрестоматия по истории науки и техники [Текст] / Ред. Ю. Н. Афанасьев, В. М. Орёл. Сост. Б. А. Старостин, Ю. С. Воронков, А. Н. Медведь. Москва: РГГУ, 2005. – 701 с.
10. *Черняк, В. З.* История и философия техники: пособие для аспирантов [Текст] / В. З. Черняк. Москва: КНОРУС, 2015. – 572 с.

11. Шарыгина, Л. И. Хронология развития радиоэлектроники: учеб. пособие [Текст] / сост. Л. И. Шарыгина; Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. Севастополь: Вебер, 2011. – 197 с.
12. Шейпак, А. А. История науки и техники: материалы и технологии: учебное пособие [Текст] / А. А. Шейпак. Москва: Изд-во МГИУ, – Ч. 1. – 2010. – 274 с.
13. Шейпак, А. А. История науки и техники: материалы и технологии: учебное пособие [Текст] / А. А. Шейпак. – Москва: Изд-во МГИУ, – Ч. 2. – 2010. – 343 с.
14. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 1. Вакуумная и плазменная электроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 172 с.
15. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 2. Микроэлектроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 326 с.
16. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 117 с.
17. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 4. Функциональная электроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 183 с.

#### Дополнительная литература

1. Астафуров, В. Г., Вайсберг, Б., Нефедов, А. В., Брудерманс, Б. 100 лет радио: Сборник статей [Текст] / Под ред. В. В. Мигулина, А. В. Гороховского. Москва: Радио и связь, 1995. – 384 с.
2. Боголюбов, А. Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии её идей [Текст] / А. Н. Боголюбов; Академия наук СССР, Научный совет по теории машин и систем машин. Москва: РГБ, 2008. – 464 с.
3. Веселовский, И. Н. Очерки по истории теоретической механики [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Издательство ЛКИ, 2021. – 288 с.
4. Веселовский, О. Н. Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862–1919) [Текст] / О.Н. Веселовский. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1963. – 84 с.
5. Веселовский, О. Н., Шнейберг, А. Я. Очерки по истории электротехники [Текст] / О. Н. Веселовский, А. Я. Шнейберг. – Москва: Издательство МЭИ, 1993. – 252 с.
6. Горохов, В.Г. Знать, чтобы делать: История инженерной профессии и ее роль в современной культуре. [Текст] / В.Г. Горохов. Москва: Знание, 1987. – 176 с.
7. Иванов, Б. И., Чешев, В. В. Становление и развитие технических наук [Текст] / Б. И. Иванов, В. В. Чешев; Отв. ред. С. В. Шухардин. Изд. 2-е. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. – 264 с.
8. История электротехники [Текст] / Под ред. И. А. Глебова. Москва: Издательство МЭИ, 1999. – 523 с.
9. Кириллин, В. А. Страницы истории науки и техники [Текст] /

- В. А. Кириллин. Москва: Наука, 1986. – 511 с.
10. *Козлов, Б. И.* Возникновение и развитие технических наук. Опыт историко-теоретического исследования [Текст] / Б. И. Козлов. Ленинград: Наука, 1988. – 248 с.
  11. *Мандрыка, А. П.* Взаимосвязь механики и техники (1770–1970) [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1975. – 324 с.
  12. *Мандрыка, А. П.* Очерки развития технических наук [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1984. – 108 с.
  13. Научные школы Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана: История развития [Текст] / Под ред. И. Б. Федорова и К. С. Колесникова. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1995. – 439 с.
  14. *Симоненко, О. Д.* Электротехническая наука в первой половине XX века [Текст] / О. Д. Симоненко. – Москва: Наука, 1988. – 144 с.
  15. Современная радиоэлектроника (50-80-е гг.) [Текст] / Под ред. В. П. Борисова, В. М. Родионова. Москва: Наука, 1993. – 385 с.
  16. Формирование радиоэлектроники (середина 20-х – середина 50-х гг.) [Текст] / Под ред. В. М. Родионова. Москва: Наука, 1988. – 384 с.
  17. *Шнейберг, Я. А.* Титаны электротехники: очерки жизни и творчества [Текст] / Я. А. Шнейберг. Москва: Издательство МЭИ, 2004. – 269 с.
  18. Электроника: прошлое, настоящее, будущее [Текст]: Сборник статей: Пер. с англ. Москва: Знание, 1979. – 64 с.
  19. Электроника: прошлое, настоящее, будущее [Текст] / Пер. с англ. под ред чл.-корр. Академии наук СССР В. И. Сифорова. Москва: Мир, 1980. – 297 с.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
К РАЗДЕЛУ «ФИЛОСОФСКИЙ ПРАКТИКУМ»**

1. Аристотель. Метафизика // Аристотель. Сочинения: В 4 т. – Т. 1. – М.: Мысль, 1975. – 550 с.
2. Бэкон Ф. Новый органон // Бэкон Ф. Сочинения: В 2 т. – Т. 2. – М.: Мысль, 1972. – С. 8–30.
3. Декарт Р. Рассуждение о методе, чтобы верно направлять свой разум и отыскивать истину в науках // Декарт Р. Сочинения: В 2 т. – Т. 1. – М.: Мысль, 1989. – С. 250–273.
4. Кант И. Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей возникнуть в смысле науки. – М.: Прогресс, 1993. – 237 с.
5. Гегель Г.В.Ф. Энциклопедия философских наук: В 3 т. Т. 1. Наука логики. М., Мысль, 1974. – 452 с.
6. Гегель Г.Ф.В. Энциклопедия философских наук: В 3 т. Т. 2. Философия природы – М.: Мысль, 1975. – 695 с.
7. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – 520 с.
8. Вернадский В.И. О научном мировоззрении // Вернадский В.И. Научная мысль как планетарное явление. – М.: Наука, 1991. – С. 191–234.

9. Вебер М. Наука как призвание и профессия // Вебер М. Избранные произведения: Пер. с нем. / Сост., общ. ред. и послесл. Ю.Н. Давыдова; Предисл. П.П. Гайденко. М.: Прогресс, 1990. С. 707–735.
10. Эйнштейн А. Физика и реальность. Сборник статей. – М.: Наука, 1965. – 360 с.
11. Кун Т. Структура научных революций // Кун Т. Структура научных революций: Пер. с англ. / Сост. В.Ю. Кузнецов. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – С. 9–268.
12. Лакатос И. История науки и ее рациональные реконструкции // Кун Т. Структура научных революций: Пер. с англ. / Сост. В.Ю. Кузнецов. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – С. 455–522.
13. Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ // Кун Т. Структура научных революций: Пер. с англ. / Сост. В.Ю. Кузнецов. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – С. 269–441.
14. Мертон Р. Амбивалентность ученого. – М.: Прогресс, 1965. – 127 с.
15. Мертон Р. Эффект Матфея в науке, II: Накопление преимуществ и символизм интеллектуальной собственности // THESIS. 1993. Вып 3. С. 256–276.
16. Полани М. Личностное знание: на пути к посткритической философии / Пер. с англ. М.Б. Гнедовского, Н.М. Смирновой, Б.А. Старостина. М.: Прогресс, 1985. – 344 с.
17. Поппер К. Логика научного исследования: Пер. с англ. / Под общ. ред. В.Н. Садовского. – М.: Республика, 2004. – 447 с.
18. Фейерабенд П. Наука в свободном обществе // Фейерабенд П. Избранные труды по методологии науки. – М.: Прогресс, 1986. – С. 467–523.
19. Фейерабенд П. Против методологического принуждения // Фейерабенд П. Избранные труды по методологии науки. – М.: Прогресс, 1986. – С. 125–467.

### ***ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ***

1. Учебно-методическая литература, издаваемая кафедрой философии, размещена на портале электронных ресурсов Южного федерального университета: <https://hub.sfedu.ru/>.
2. [http://www.gumer.info/bogoslov\\_Buks/Philos/index\\_philos.php](http://www.gumer.info/bogoslov_Buks/Philos/index_philos.php) – Библиотека текстов гуманитарных наук «Гумер».
3. <http://www.rsl.ru/> – Российская государственная библиотека.
4. <http://www.philosophy.ru/> – Портал «Философия в России». Содержит обширную библиотеку, а также разделы: Справочники, учебники; Сетевые энциклопедии, справочники; Программы курсов; Госстандарты; Философские организации и центры.
5. <http://filosof.historic.ru/> – Цифровая библиотека по философии.
6. <http://lib.ru/FILOSOF/> – Библиотека Максима Мошкова.
7. <http://www.philosophy.nsc.ru/BIBLIOTECA/Library.htm> – Библиотека Института философии и права Сибирского отделения РАН.

## ПРОГРАММА ПО ИСТОРИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: история техники, история науки, история технических наук.

Программа разработана Институтом истории естествознания и техники им С.И. Вавилова РАН при участии профильных экспертных советов ВАК Минобразования России и одобрена экспертным советом по истории.

### ВВЕДЕНИЕ

История технических знаний как самостоятельная область исследований. Проблемы историографии технических наук. Источники по истории технических наук. Основные этапы и факторы становления и развития технических наук в контексте всеобщей истории. История развития исследований, приращения научно-технических знаний в развивающейся системе технических наук.

### Тема 1. ТЕХНИКА И НАУКА КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЦИВИЛИЗАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

#### *1.1. Технические знания древности и античности до V в. н.э.*

Религиозно-мифологическое осмысление практической деятельности в древних культурах. Технические знания как часть мифологии. Храмы и знания (Египет и Месопотамия).

Различение *тэхнэ* и *эпистеме* в античности: техника без науки и наука без техники. Появление элементов научных технических знаний в эпоху эллинизма. Начала механики и гидростатики в трудах Архимеда. Закон рычага. Пять простых машин. Развитие механических знаний в Александрийском музее: работы Паппа и Герона по пневматике, автоматическим устройствам и металлическим орудиям. Техническая мысль античности в труде Марка Витрувия «Десять книг об архитектуре» (I в. до н.э.). Первые представления о прочности.

#### *1.2. Технические знания в Средние века (V–XIV вв.).*

Ремесленные знания и специфика их трансляции. Различия и общность алхимического и ремесленного рецептов. Отношение к нововведениям и изобретателям. Строительно-архитектурные знания. Горное дело и технические знания. Влияние арабских источников и техники средневекового Востока. Астрономические приборы и механические часы как медиумы между сферами науки и ремесла.

Христианское мировоззрение и особенности науки и техники в Средние века. Труд как форма служения Богу. Роль средневекового монашества и университетов (XIII в.) в привнесении практической направленности в сферу интеллектуальной деятельности. Идея сочетания опыта и теории в науке и ремесленной практике: Аверроэс (1121–1158), Томас Брадвардин (1290–1296), Роджер Бэкон (1214–1296) и его труд «О тайных вещах в искусстве и природе».

### ***1.3. Возникновение взаимосвязей между наукой и техникой. Технические знания эпохи Возрождения (XV–XVI вв.).***

Изменение отношения к изобретательству. Полидор Вергилий «Об изобретателях вещей» (1499). Повышение социального статуса архитектора и инженера. Персонифицированный синтез научных и технических знаний: художники и инженеры, архитекторы и фортификаторы, ученые-универсалы эпохи Возрождения. Леон Батиста Альберти (1404–1472), Леонардо да Винчи (1452–1519), Альбрехт Дюрер (1471–1528), Ванноччо Бирингуччо (1480–1593), Георгий Агрикола (1494–1555), Иеронимус Кардано (1501–1576), Джамбаттиста де ля Порта (1538–1615), Симон Стевин (1548–1620) и др.

Расширение представлений гидравлики и механики в связи с развитием мануфактурного производства и строительством гидросооружений. Проблема расчета зубчатых зацеплений, первые представления о трении. Развитие артиллерии и создание начал баллистики. Трактат об огнестрельном оружии «О новой науке» Никколо Тартальи (1534), «Трактат об артиллерии» Диего Уффано (1613). Учение о перспективе. Обобщение сведений о горном деле и металлургии в трудах Агриколы и Бирингуччо.

Великие географические открытия и развитие прикладных знаний в области навигации и кораблестроения. В. Гильберт «О магните, магнитных телах и великом магните Земле» (1600).

## **Тема 2. СМЕНА СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ ПАРАДИГМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И НАУКИ В НОВОЕ ВРЕМЯ**

### ***2.1. Научная революция XVII в.: становление экспериментального метода и математизация естествознания как предпосылки приложения научных результатов в технике.***

Программа воссоединения «наук и искусств» Фрэнсиса Бэкона (1561–1626). Взгляд на природу как на сокровищницу, созданную для блага человеческого рода.

Технические проблемы и их роль в становлении экспериментального естествознания в XVII в. Техника как объект исследования естествознания. Создание системы научных инструментов и измерительных приборов при становлении экспериментальной науки. Ученые-экспериментаторы и изобретатели: Галилео Галилей (1564–1642), Роберт Гук (1605–1703), Эванджелиста Торричелли (1608–1647), Христиан Гюйгенс (1629–1695). Ренэ Декарт (1596–1650) и его труд «Рассуждение о методе» (1637). Исаак Ньютон (1643–1727) и его труд «Математические начала натуральной философии» (1687).

Организационное оформление науки Нового времени. Университеты и академии как сообщества ученых-экспериментаторов: академии в Италии, Лондонское Королевское общество (1660), Парижская Академия наук (1666), Санкт-Петербургская академия наук (1724).

Экспериментальные исследования и разработка физико-математических основ механики жидкостей и газов. Формирование гидростатики как раздела гидромеханики в трудах Галлилея, Стевина, Паскаля (1623–1662) и Торричел-

ли. Элементы научных основ гидравлики в труде «Гидравлико-пневматическая механика» (1644) Каспара Шотта.

## ***2.2. Этап формирования взаимосвязей между инженерией и экспериментальным естествознанием (XVIII – первая половина XIX вв.)***

Промышленная революция конца XVIII – середины XIX вв. Создание универсального теплового двигателя (Джеймс Уатт, 1784) и становление машинного производства.

Возникновение в конце XVIII в. технологии как дисциплины, систематизирующей знания о производственных процессах: «Введение в технологию или о знании цехов, фабрик и мануфактур...» (1777) и «Общая технология» (1806) И. Бекманна. Появление технической литературы: «Театр машин» Якоба Леопольда (1724–1727), «Атлас машин» А. К. Нартова (1742) и др. Работы М. В. Ломоносова (1711–1765) по металлургии и горному делу. Учреждение «Технологического журнала» Санкт-Петербургской Академией наук (1804).

Становление технического и инженерного образования. Учреждение средних технических школ в России: Школа математических и навигационных наук, Артиллерийская и Инженерная школы – 1701 г.; Морская академия (1715); Горное училище (1773). Военно-инженерные школы Франции: Национальная школа мостов и дорог в Париже (1747); школа Королевского инженерного корпуса в Мезьере (1748). Парижская политехническая школа (1794) как образец постановки высшего инженерного образования. Первые высшие технические учебные учреждения в России: Институт корпуса инженеров путей сообщения (1809), Главное Инженерное училище инженерных войск (1819).

Высшие технические школы как центры формирования технических наук. Установление взаимосвязей между естественными и техническими науками. Разработка прикладных направлений в механике. Создание научных основ теплотехники. Зарождение электротехники.

Становление аналитических основ технических наук механического цикла. Учебники Белидора «Полный курс математики для артиллеристов и инженеров» (1725) и «Инженерная наука» (1729) по строительству и архитектуре. Становление строительной механики: труды Ж. Понселе, Г. Ламе, Б. П. Клапейрона. Первый учебник по сопротивлению материалов: Жирар «Аналитический трактат о сопротивлении твердых тел» (1798). Руководство Прони «Новая гидравлическая архитектура». Расчет действия водяных колес, плотин, дамб и шлюзов: Митон, Ф. Герстнер, П. Базен, Фабр, Н. Петряев и др.

Создание гидродинамики идеальной жидкости и изучение проблемы сопротивления трения в жидкости: И. Ньютон, А. Шези, О. Кулон и др. Экспериментальные исследования и обобщение практического опыта в гидравлике. Ж. Л. Д'Аламбер, Ж. Л. Лагранж, Д. Бернулли, Л. Эйлер. Аналитические работы по теории корабля: корабельная архитектура в составе строительной механики, теория движения корабля как абсолютно твердого тела. Л. Эйлер: теория реактивных движителей для судов (1750); трактаты «Корабельная наука», «Исследование усилий, которые должны выносить все части корабля во время бор-

товой и килевой качки» (1759). Труд П. Базена по теории движения паровых судов (1817).

Парижская политехническая школа и научные основы машиностроения. Работы Г. Монжа, Ж. Н. Ашетта, Л. Пуансо, С. Д. Пуассона, М. Прони, Ж. В. Понселе. Первый учебник по конструированию машин И. Ланца и А. Бетанкура (1819). Ж. В. Понселе: «Введение в индустриальную механику» (1829).

Создание научных основ теплотехники. Развитие учения о теплоте в XIII в.. Вклад российских ученых М. В. Ломоносова и Г. В. Рихмана. Универсальная паровая машина Дж. Уатта (1784). Развитие теории теплопроводности. Уравнение Фурье-Остроградского (1822). Работа С. Карно «Размышление о движущей силе огня» (1824). Понятие термодинамического цикла. Вклад Ф. Араго, Г. Гирна, Дж. Дальтона, П. Дюлонга, Б. Клапейрона, А. Пти, А. Реньо и Г. Цейнера в изучение свойств пара и газа. Б. Клапейрон: геометрическая интерпретация термодинамических циклов, понятие идеального газа. Формулировка первого и второго законов термодинамики (Р. Клаузиус, В. Томпсон и др.). Разработка молекулярно-кинетической теории теплоты: Сочинение Р. Клаузиуса «О движущей силе теплоты» (1850). Закон эквивалентности механической энергии и теплоты (Майер, 1842). Определение механического эквивалента тепла (Джоуль, 1847). Закон сохранения энергии (Гельмгольц, 1847).

### **Тема 3. СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК И ИНЖЕНЕРНОГО СООБЩЕСТВА (вторая половина XIX–XX вв.)**

#### ***3.1. Вторая половина XIX в. – первая половина XX в.***

Формирование системы международной и отечественной научной коммуникации в инженерной сфере: возникновение научно-технической периодики, создание научно-технических организаций и обществ, проведение съездов, конференций, выставок. Создание исследовательских комиссий, лабораторий при фирмах. Развитие высшего инженерного образования (конец XIX в. – начало XX в.).

Формирование классических технических наук: технические науки механического цикла, система теплотехнических дисциплин, система электротехнических дисциплин. Изобретение радио и создание теоретических основ радиотехники.

Разработка научных основ космонавтики. К. Э. Циолковский, Г. Гансвиндт, Ф. А. Цандер, Ю. В. Кондратюк и др. (начало XX в.). Создание теоретических основ полета авиационных летательных аппаратов. Вклад Н. Е. Жуковского, Л. Прандтля, С. А. Чаплыгина. Развитие экспериментальных аэродинамических исследований. Создание научных основ жидкостно-ракетных двигателей. Р. Годдард (1920-е). Теория воздушно-реактивного двигателя (Б. С. Стечкин, 1929). Теория вертолета: Б. Н. Юрьев, И. И. Сикорский, С. К. Дзевецкий. Отечественные школы самолетостроения: Поликарпов, Илю-

шин, Туполев, Лавочкин, Яковлев, Микоян, Сухой и др. Развитие сверхзвуковой аэродинамики.

А. Н. Крылов (1863–1945) – основатель школы отечественного кораблестроения. Опытный бассейн в г. Санкт-Петербурге как исследовательская морская лаборатория.

Завершение классической теории сопротивления материалов в начале XX в. Становление механики разрушения и развитие атомистических взглядов на прочность. Сетчатые гиперболоидные конструкции В. Г. Шухова (начало XX в.). Исследование устойчивости сооружений.

Развитие научных основ теплотехники. Термодинамические циклы: У. Ранкин (1859), Н. Отто (1878), Дизель (1893), Брайтон (1906). Клаузиус, У. Ранкин, Г. Цейнери: формирование теории паровых двигателей. Г. Лаваль, Ч. Парсонс, К. Рато, Ч. Кёртис: создание научных основ расчета паровых турбин. Крупнейшие представители отечественной теплотехнической школы (вторая половина XIX – первая треть XX в.): И. П. Алымов, И. А. Вышнеградский, А. П. Гавриленко, А. В. Гадолин, В. И. Гриневецкий, Г. Ф. Депп, М. В. Кирпичев, К. В. Кириш, А. А. Радциг, Л. К. Рамзин, В. Г. Шухов. Развитие научно-технических основ горения и газификации топлива. Становление теории тепловых электростанций (ТЭС) как комплексной расчетно-прикладной дисциплины. Вклад в развитие теории ТЭС Л. И. Керцелли, Г. И. Петелина, Я. М. Рубинштейна, В. Я. Рыжкина, Б. М. Якуба и др.

Развитие теории механизмов и машин. «Принципы механизма» Р. Виллиса (1870) и «Теоретическая кинематика» Ф. Рело (1875), Германия. Петербургская школа машиноведения 1860–1880 гг. Вклад П. Л. Чебышева в аналитическое решение задач по теории механизмов. Труды М. В. Остроградского. Создание теории шарнирных механизмов. Работы П. О. Сомова, Н. Б. Делоне, В. Н. Лигина, Х. И. Гохмана. Работы Н. Е. Жуковского по прикладной механике. Труды Н. И. Мерцалова по динамике механизмов, Л. В. Ассура по классификации механизмов. Вклад И. А. Вышнеградского в теоретические основы машиностроения, теорию автоматического регулирования, создание отечественной школы машиностроения. Формирование конструкторско-технологического направления изучения машин. Создание курса по расчету и проектированию деталей и узлов машин – «детали машин»: К. Бах (Германия), А. И. Сидоров (Россия, МВТУ). Разработка гидродинамической теории трения: Н. П. Петров. Создание теории технологических (рабочих) машин. В. П. Горячкин «Земледельческая механика» (1919). Развитие машиноведения и механики машин в работах П. К. Худякова, С. П. Тимошенко, С. А. Чаплыгина, Е. А. Чудакова, В. В. Добровольского, И. А. Артоболевского, А. И. Целикова и др.

Становление технических наук электротехнического цикла. Открытия, эксперименты, исследования в физике (А. Вольты, А. Ампер, Х. Эрстед, М. Фарадей, Г. Ом и др.) и возникновение изобретательской деятельности в электротехнике. Э. Х. Ленц: принцип обратимости электрических машин, закон выделения тепла в проводнике с током Ленца-Джоуля. Создание основ физико-математического описания процессов в электрических цепях: Г. Кирхгоф,

Г. Гельмгольц, В. Томсон (1845–1847). Дж. Гопкинсон: разработка представления о магнитной цепи машины (1886). Теоретическая разработка проблемы передачи энергии на расстояние: В. Томсон, В. Айртон, Д.А. Лачинов, М. Депре, О. Фрелих и др. Создание теории переменного тока. Т. Блекслей (1889), Г. Капп, А. Гейланд и др.: разработка метода векторных диаграмм (1889). Вклад М. О. Доливо-Добровольского в теорию трехфазного тока. Возникновение теории вращающихся полей, теории симметричных составляющих. Ч. П. Штейнметц и метод комплексных величин для цепей переменного тока (1893–1897). Формирование схем замещения. Развитие теории переходных процессов. О. Хевисайд и введение в электротехнику операционного исчисления. Формирование теоретических основ электротехники как научной и базовой учебной дисциплины. Прикладная теория поля. Методы топологии Г. Крона, матричный и тензорный анализ в теории электрических машин. Становление теории электрических цепей как фундаментальной технической теории (1930-е).

Создание научных основ радиотехники. Возникновение радиоэлектроники. Теория действующей высоты и сопротивления излучения антенн Р. Рюденберга – М. В. Шулейкина (1910-е – начало 1920-х). Коэффициент направленного действия антенн (1929 г. – А. А. Пистолькорс). Расчет многовибраторных антенн (В. В. Татаринев, 1930-е). Работы А. Л. Минца по схемам мощных радиопередатчиков. Расчет усилителя мощности в перенапряженном режиме (А. Берг, 1930-е). Принцип фазовой фокусировки электронных потоков для генерирования СВЧ (Д. Рожанский, 1932). Теория полых резонаторов (1939 г. – М. С. Нейман). Статистическая теория помехоустойчивого приема (1946 г. – В. А. Котельников), теория помехоустойчивого кодирования (1948 г. – К. Шеннон). Становление научных основ радиолокации.

Математизация технических наук. Формирование к середине XX в. фундаментальных разделов технических наук: теории цепей, теории двухполюсников и четырехполюсников, теории колебаний и др. Появление теоретических представлений и методов расчета, общих для фундаментальных разделов различных технических наук. Физическое и математическое моделирование.

### ***3.2. Эволюция технических наук во второй половине XX в. Системно-интегративные тенденции в современной науке и технике.***

Масштабные научно-технические проекты (освоение атомной энергии, создание ракетно-космической техники). Проектирование больших технических систем. Формирование системы «фундаментальные исследования – прикладные исследования – разработки».

Развитие прикладной ядерной физики и реализация советского атомного проекта, становление атомной энергетики и атомной промышленности. Вклад И. В. Курчатова, А. П. Александрова, Н. А. Доллежала, Ю. Б. Харитона др. Новые области научно-технических знаний. Развитие ядерного приборостроения и его научных основ. Создание искусственных материалов, становление теоретического и экспериментального материаловедения. Появление новых технологий и технологических дисциплин.

Развитие полупроводниковой техники, микроэлектроники и средств обработки информации. Зарождение квантовой электроники: принцип действия молекулярного генератора (1954 – Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Ч. Таунс, Дж. Гордон, Х. Цейгер) и оптического квантового генератора (1958–1960 гг. – А. М. Прохоров, Т. Мейман). Развитие теоретических принципов лазерной техники. Разработка проблем волоконной оптики.

Научное обеспечение пилотируемых космических полетов (1960–1970). Вклад в решение научно-технических проблем освоения космического пространства С. П. Королева, М. В. Келдыша, Микулина, В. П. Глушко, В. П. Мишина, Б. В. Раушенбаха и др.

Проблемы автоматизации и управления в сложных технических системах. От теории автоматического регулирования к теории автоматического управления и кибернетике (Н. Винер). Развитие средств и систем обработки информации и создание теории информации (К. Шеннон). Статистическая теория радиолокации. Системно-кибернетические представления в технических науках.

Смена поколений ЭВМ и новые методы исследования в технических науках. Решение прикладных задач на ЭВМ. Развитие вычислительной математики. Машинный эксперимент. Теория оптимизационных задач и методы их численного решения. Имитационное моделирование.

Компьютеризация инженерной деятельности Развитие информационных технологий и автоматизация проектирования. Создание интерактивных графических систем проектирования (И. Сазерленд, 1963). Первые программы анализа электронных схем и проектирования печатных плат, созданные в США и СССР (1962–1965). Системы автоматизированного проектирования, удостоенные государственных премий СССР (1974, 1975).

Исследование и проектирование сложных «человеко-машинных» систем: системный анализ и системотехника, эргономика и инженерная психология, техническая эстетика и дизайн. Образование комплексных научно-технических дисциплин. Экологизация техники и технических наук. Проблема оценки воздействия техники на окружающую среду. Инженерная экология.

## Семинар 1. ТЕХНИКА И НАУКА КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЦИВИЛИЗАЦИОННОГО ПРОЦЕССА (4 часа)

### 1. Технические знания древности и античности до V в. н.э.

- 1.1. Религиозно-мифологическое осмысление практической деятельности в древних культурах.
- 1.2. Различение *тэхнэ* и *эпистеме* в античности: техника без науки и наука без техники.
- 1.3. Появление элементов научных технических знаний в эпоху эллинизма.

### 2. Технические знания в Средние века (V–XIV вв.).

- 2.1. Ремесленные знания и специфика их трансляции.
- 2.2. Различия и общность алхимического и ремесленного рецептов.
- 2.3. Влияние арабских источников и техники средневекового Востока.
- 2.4. Астрономические приборы и механические часы как медиумы между сферами науки и ремесла.
- 2.5. Роль средневекового монашества и университетов (XIII в.) в привнесении практической направленности в сферу интеллектуальной деятельности.

### 3. Возникновение связей между наукой и техникой. Технические знания эпохи Возрождения (XV–XVI вв.).

- 3.1. Изменение отношения к изобретательству, повышение социального статуса архитектора и инженера. Персонифицированный синтез научных и технических знаний: художники и инженеры, архитекторы и фортификаторы, ученые-универсалы эпохи Возрождения.
- 3.2. Расширение представлений гидравлики и механики в связи с развитием мануфактурного производства и строительством гидросооружений.
- 3.3. Великие географические открытия и развитие прикладных знаний в области навигации и кораблестроения.

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:** традиционные цивилизации, религия, мифология, древнеегипетская цивилизация, шумерская цивилизация, техника, сакральность, античность, *тэхнэ*, *эпистеме*, наука, механика и гидростатика в трудах Архимеда. Закон рычага, пять простых машин, Александрийский музейон, Герон (пневматика, автоматические устройства, метательные орудия), Марк Витрувий «Десять книг об архитектуре»; ремесленные знания, алхимический и ремесленные рецепты, университет; эпоха Возрождения, изобретательство, социальный статус архитектора, социальный статус инженера, Леон Батиста Альберти, Леонардо да Винчи, Альбрехт Дюрер, учёный-универсал, гидравлика, механика, мануфактурное производство, строительство гидросооружений, первые представления о трении, развитие артиллерии, создание начал баллистики, учение о перспективе, горное дело, металлургия, великие географические открытия, развитие прикладных знаний в области навигации и кораблестроения.

## **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Истоки технических революций в культуре древних цивилизаций.
2. Развитие механических знаний в Александрийском музее: работы Паппа и Герона по пневматике, автоматическим устройствам и метательным орудиям.
3. Взаимосвязь науки и техники в культуре Средних веков и Возрождения.
4. Леонардо да Винчи: учёный-универсал.
5. Развитие артиллерии и создание начал баллистики: вклад Никколо Тарталья.
6. Влияние работы В. Гильберта «О магните, магнитных телах и великом магните Земли» на развитие технических знаний.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Основной**

1. *Зайцев, Г. Н., Федюкин, В. К., Артошенко, С. А.* История техники и технологий: Учебник [Текст] / Н. Г. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Артошенко; под ред. проф. В. К. Федюкина. Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 416 с.
2. *Иванов, Б. И., Чешев, В. В.* Становление и развитие технических наук [Текст] / Б. И. Иванов, В. В. Чешев; Отв. ред. С. В. Шухардин. Изд. 2-е. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. – 264 с.
3. *Кириллин, В. А.* Страницы истории науки и техники [Текст] / В. А. Кириллин. Москва: Наука, 1986. – 511 с.
4. *Рачков, М. Ю.* История науки и техники: учебник для вузов [Текст] / М. Ю. Рачков. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 284 с.

### **Дополнительный**

1. *Александров, И. Ю.* Наука как форма межкультурных коммуникаций (К дискуссии о зарождении науки в пифагорейском религиозно-философском союзе) [Текст] / И. Ю. Александров // Труды Санкт-Петербургского института культуры. – 2007. – Т. 172: Современные проблемы межкультурных коммуникаций. – С. 162 – 187.
2. *Бондаренко, А. А.* Античный Музейон: рождение музея из мифа и ритуала [Текст] / А. А. Бондаренко // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2007. – Сер. 2. – Вып. 1. – С. 257–273.
3. *Борухович, В. Г.* Историческая концепция египетского логоса Геродота [Текст] / В. Г. Борухович // Античный мир и археология. – 1972. – №1. – Т. 1. – С. 66–77.
4. *Гильберт, В.* О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле [Текст] / В. Гильберт; пер. с лат. А. И. Доватура; ред., статья и комм. А. Г. Калашникова. Москва: Изд-во Академии наук СССР. 1956. – 365 с.
5. *Горелов, М. М.* Исторические переломы прошлого в английской историографии раннего Нового времени: Полидор Вергилий [Текст] / М. М. Горелов // Диалог со временем. – 2012. – №41. – С. 235–256.

6. *Горохов, В. Г.* Баллистика Никколо Тартальи, технонаука Галилея и нанотехнонаука: аристотелевская физика сквозь века [Текст] / В. Г. Горохов // *Философия науки и техники*. – 2015. – №1. – Т. 20. – С. 7–35.
7. *Горохов, В. Г.* Галилео Галилей как философ техники (социокультурный подвиг, который изменил мир) [Текст] / В. Г. Горохов // *Философский журнал*. – 2012. – №1 (8). – С. 59–76.
8. *Гуковский, М. А.* Механика Леонардо да Винчи [Текст] / М. А. Гуковский. Москва: URSS. 2018. 832 с.
9. *Дмитриев, И. С.* Упрямый Галилей [Текст] / И. С. Дмитриев. Москва: Новое литературное обозрение, 2015. – 848 с.
10. *Ковалев, В. И., Схиртладзе, А. Г., Борискин, В. П.* История техники: Учебное пособие [Текст] / В. И. Ковалев, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. Старый Оскол: Тонкие наукоёмкие технологии, 2018. – 360 с.
11. *Козлов, Б. И.* Возникновение и развитие технических наук. Опыт историко-теоретического исследования [Текст] / Б. И. Козлов. Ленинград: Наука, 1988. – 248 с.
12. *Кравченко, А. Ф.* История и методология науки и техники: Учебное пособие [Текст] / А. Ф. Кравченко. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2005. – 359 с.
13. *Кравченко, А. Ф.* История науки и техники [Текст] / А. Ф. Кравченко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 434 с.
14. *Ларин, А. А.* История науки и техники: учебник [Текст] / А. А. Ларин; Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – 285 с.
15. *Леонардо да Винчи.* Избранные произведения / Пер. В. П. Зубова, А. А. Губера и В. К. Шилейко, А. М. Эфроса. Минск: Харвест, Москва: АСТ. 2000. – 704 с.
16. *Матвиевская, Г. П.* Альбрехт Дюрер – учёный. 1471–1528 [Текст] / Г. П. Матвиевская. Москва: Наука, 1987. – 240 с.
17. *Санжениаков, А. А.* Истоки аналитического подхода к проблемам техники: Аристотель об эпистеме и технэ [Текст] / А. А. Санжениаков // *Вестник Томского государственного университета Философия. Социология. Политология*. – 2020. – №53. – С. 128–132.
18. *Токмаков, А. Н.* Сакральность и техника [Текст] // А. Н. Токмаков // *Экономический вектор*. – 2016. – №2 (5). – С. 140–146.
19. *Хрестоматия по истории науки и техники* [Текст] / Ред. Ю. Н. Афанасьев, В. М. Орёл. Сост. Б. А. Старостин, Ю. С. Воронков, А. Н. Медведь. Москва: РГГУ, 2005. – 701 с.
20. *Черняк, В. З.* История и философия техники: пособие для аспирантов [Текст] / В. З. Черняк. Москва: КНОРУС, 2015. – 572 с.
21. *Шейпак, А. А.* История науки и техники: материалы и технологии: учебное пособие [Текст] / А. А. Шейпак. Москва: Изд-во МГИУ, – Ч. 1. – 2010. – 274 с.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте характеристику религиозно-мифологическому пониманию практической деятельности в древних культурах.
2. Раскройте понятия *тэхнэ* и *эпистеме* в античности.
3. Охарактеризуйте появление элементов научных технических знаний в эпоху эллинизма.
4. Каковы особенности ремесленных знаний средневековья и специфики их трансляции?
5. Дайте сравнительный анализ алхимического и ремесленного рецептов.
6. Какое влияние на развитие технических знаний оказали арабские источники и техники средневекового Востока?
7. Какие факторы повлияли на изменение социального статуса архитектора и инженера эпохи Возрождения?

## **Семинар 2. СМЕНА СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ ПАРАДИГМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И НАУКИ В НОВОЕ ВРЕМЯ (2 часа)**

### ***Научная революция XVII в.: становление экспериментального метода и математизация естествознания как предпосылки приложения научных результатов в технике***

1. Программа воссоединения «наук и искусств» Ф. Бэкона.
2. Технические проблемы и их роль в становлении экспериментального естествознания в XVII в. Техника как объект исследования естествознания. Создание системы научных инструментов и измерительных приборов при становлении экспериментальной науки.
3. Организационное оформление науки Нового времени.
4. Экспериментальные исследования и разработка физико-математических основ механики жидкостей и газов.

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:** эксперимент, опыт, техника, естествознание, измерительные приборы, экспериментальная наука, ученые-экспериментаторы, изобретатели, университеты, научные сообщества, академии в Италии, Лондонское Королевское общество, Парижская Академия наук, Санкт-Петербургская академия наук, наука, социальный институт, профессиональная деятельность, физико-математические основы механики жидкости и газов, гидростатика, гидромеханика, гидравлика.

## **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Вклад учёных-экспериментаторов и изобретателей в становление экспериментального метода.
2. Р. Декарт и его труд «Рассуждение о методе».
3. Исаак Ньютон и его труд «Математические начала натуральной философии».

4. Формирование гидростатики: Эванджелиста Торричелли.
5. Элементы научных основ гидравлики: Каспар Шотт.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### **Основной**

1. *Боголюбов, А. Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии её идей [Текст] / А. Н. Боголюбов; Академия наук СССР, Научный совет по теории машин и систем машин. Москва: РГБ, 2008. – 464 с.
2. *Веселовский, И. Н.* Очерки по истории теоретической механики [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Издательство ЛКИ, 2021. – 288 с.
3. *Горохов, В. Г.* Эволюция инженерии: от простоты к сложности [Текст] / В. Г. Горохов. Москва: Институт философии Российской академии наук, 2015. – 199 с.
4. *Зайцев, Г. Н., Федюкин, В. К., Артошенко, С. А.* История техники и технологий: Учебник [Текст] / Н. Г. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Артошенко; под ред. проф. В. К. Федюкина. Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 416 с.
5. *Иванов, Б. И., Чешев, В. В.* Становление и развитие технических наук [Текст] / Б. И. Иванов, В. В. Чешев; Отв. ред. С. В. Шухардин. Изд. 2-е. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. – 264 с.
6. *Мандрыка, А. П.* Взаимосвязь механики и техники (1770–1970) [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1975. – 324 с.

#### **Дополнительный**

1. *Боголюбов, А. Н.* Роберт Гук: 1635–1703 [Текст] / А. Н. Боголюбов; ответственный редактор член-корреспондент АН УССР С. Н. Кожевников. Москва: Издательство «Наука», 1984.
2. *Бэкон, Ф.* Великое восстановление наук [Текст] / Ф. Бэкон // Сочинения в 2 томах. Т. 1. Сост., общ. ред. и вступит. статья А. Л. Субботина. Москва: Мысль, 1977.
3. *Вавилов, С. И.* Исаак Ньютон: 1643–1727 [Текст] / С. И. Вавилов. Москва: Наука, 1989. 271 с.
4. *Веселовский, И. Н.* Христиан Гюйгенс [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1959. 111 с.
5. *Гаранина, О. Д.* Интеграция естественных и технических наук как эпистемологическая основа технологического развития общества [Текст] / О. Д. Гаранина // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. – 2019. – № 4. – С. 150–156.
6. *Горохов, В. Г.* Техника и математика (из истории теории механизмов и машин) [Текст] / В. Г. Горохов // Вопросы истории естествознания и техники. – 2011. – № 3. – С. 53–86.
7. *Елькина, Е. Е., Котенко, В. П.* Инженерная рациональность. Понятие и структура инженерного знания и инженерных наук [Текст] / Е. Е. Елькина, В. П. Котенко // Социология науки и технологий. – 2010. –

- Т. 1. – №2. – С. 119–136.
8. *Кириллин, В. А.* Страницы истории науки и техники [Текст] / В. А. Кириллин. Москва: Наука, 1986. – 511 с.
  9. *Князев, В. Н.* Исаак Ньютон: учёный и мыслитель (к 375-летию со дня рождения) [Текст] / В. Н. Князев // Экономические и социально-гуманитарные исследования. – 2018. – №1 (17). – С. 215–220.
  10. *Копылов, Г.* Инженерные миры и научное знание [Текст] / Г. Копылов // Высшее образование в России. – 2004. – №2. – С. 59–66.
  11. *Лебедев, С. А., Колоскова, А. В.* Специфика структуры и методов технических наук [Текст] / С. А. Лебедев, А. В. Колоскова // European journal of philosophical research. – 2019. – № 6 (1). – С. 64–70.
  12. *Лисович, И. И.* Научная революция XVI–XVII веков [Текст] / И. И. Лисович // Знание. Понимание. Умение. – 2013. – №4. – С. 320–324.
  13. *Мандрыка, А. П.* Очерки развития технических наук [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1984. – 108 с.
  14. *Матвиевская, Г. П.* Рене Декарт: 1596–1650 [Текст] / Г. П. Матвиевская. Москва: Наука, 1976. 271 с.
  15. *Никифоров, А. Л.* Роль науки в современном обществе [Текст] / А. Л. Никифоров // Философия науки. – 2014. – № 1. – С. 38–63.
  16. *Ньютон Исаак.* Математические начала натуральной философии [Текст] / И. Ньютон. Перевод с латинского и комментарии А. Н. Крылова. Предисловие Л. С. Полака. Москва: Наука, 1989. 688 с.
  17. *Рачков, М. Ю.* История науки и техники: учебник для вузов [Текст] / М. Ю. Рачков. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 284 с.
  18. *Родный, А. Н., Музрукова, Е. Б.* Периодизации процесса возникновения и развития экспериментальной науки [Текст] / А. Н. Родный, Е. Б. Музрукова // Вопросы истории естествознания и техники. – 2014. – Т. 35. – №4. – С. 5–18.
  19. *Чельшев, П. В.* Ф. Бэкон – основатель методологии экспериментальной науки Нового времени [Текст] / П. В. Чельшев // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2017. – №3 (77): в 2-х ч. Ч. 1. – С. 178–181.
  20. *Яковлев, В. И.* Из истории индустриальной механики [Текст] / В. И. Яковлев // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2018. – Вып. 4 (43). – С. 87–92.
  21. *Яковлев, В. И.* Из истории механики жидкости и газа XVII–XIX веков [Текст] / В. И. Яковлев // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2018. – Вып. 1 (40). – С. 74–81.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Перечислите основные положения программы воссоединения «наук и искусств» Фрэнсиса Бэкона.
2. Какое влияние оказали технические проблемы на становление экспериментального естествознания в XVIII в.?

3. Каково влияние экспериментальной науки на создание системы научных инструментов и измерительных приборов?
4. В чём особенность организационного оформления науки Нового времени?

### **Семинар 3. СМЕНА СОЦИОКУЛЬТУРНОЙ ПАРАДИГМЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И НАУКИ В НОВОЕ ВРЕМЯ (2 часа)**

#### ***Этап формирования взаимосвязей между инженерией и экспериментальным естествознанием (XVIII – первая половина XIX вв.)***

1. Промышленная революция конца XVIII–середины XIX вв.
2. Возникновение технологии как дисциплины, систематизирующей знания о производственных процессах (конец XVIII в.).
3. Становление технического и инженерного образования.
4. Высшие технические школы как центры формирования технических наук.
5. Установление взаимосвязей между естественными и техническими науками.

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:** промышленная революция, универсальный тепловой двигатель, машинное производство, технология, техническое и инженерное образование, Школа математических и навигационных наук, Артиллерийская и Инженерная школы, Парижская политехническая школа, основы машиностроения, технические науки механического цикла, строительная механика, сопротивление материалов, гидравлическая архитектура, гидродинамика, гидравлика.

#### **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Вклад И. Бекманна в становление технологии как дисциплины систематизирующей знания о производственных процессах: «Введение в технологию или о знании цехов, фабрик и мануфактур...» (1777 г.), «Общая технология» (1806 г.).
2. Появление технической литературы: «Театр машин» (Якоб Леопольд), «Атлас машин» (А.К. Нартов) и др.
3. Учреждение военно-инженерных школ во Франции: Национальная школа мостов и дорог (Париж), школа Королевского инженерного корпуса (Мезьер).
4. Образец постановки высшего инженерного образования: Парижская политехническая школа.
5. Первые высшие технические учебные учреждения в России: Институт корпуса инженеров путей сообщения (1809 г.), Главное Инженерное училище инженерных войск (1819 г.).
6. Вклад Белидора в становление технических наук механического цикла: учебники «Полный курс математики для артиллеристов и инженеров (1725 г.) и «Инженерная наука» (1729 г.).

7. Разработка прикладных направлений в механике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основной

1. *Боголюбов, А. Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии её идей [Текст] / А. Н. Боголюбов; Академия наук СССР, Научный совет по теории машин и систем машин. Москва: РГБ, 2008. – 464 с.
2. *Веселовский, И. Н.* Очерки по истории теоретической механики [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Издательство ЛКИ, 2021. – 288 с.
3. *Горохов, В. Г.* Эволюция инженерии: от простоты к сложности [Текст] / В. Г. Горохов. Москва: Институт философии Российской академии наук, 2015. – 199 с.
4. *Зайцев, Г. Н., Федюкин, В. К., Артошенко, С. А.* История техники и технологий: Учебник [Текст] / Н. Г. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Артошенко; под ред. проф. В. К. Федюкина. Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 416 с.
5. *Иванов, Б. И., Чешев, В. В.* Становление и развитие технических наук [Текст] / Б. И. Иванов, В. В. Чешев; Отв. ред. С. В. Шухардин. Изд. 2-е. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. – 264 с.
6. *Мандрыка, А. П.* Взаимосвязь механики и техники (1770–1970) [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1975. – 324 с.

### Дополнительный

1. *Боголюбов, А. Н.* Гаспар Монж: 1746–1818. Математик, механик, политик [Текст] / А. Н. Боголюбов. Москва: URSS. 2017. 184 с.
2. *Боголюбов, А. Н.* Механика в истории человечества [Текст] / А. Н. Боголюбов. Москва: URSS. 2019. 168 с.
3. *Булдыгин, С. С.* Концепция промышленной революции: от появления до наших дней [Текст] / С. С. Булдыгин // Вестник Томского государственного университета. – 2017. – №420. – С. 91–95.
4. *Горохов, В. Г.* Научное инженерное образование: конвергенция российского и германского опыта [Текст] / В. Г. Горохов // Высшее образование в России. – 2012. – №11. – С. 138–148.
5. *Горощенова, О. А.* Школа математических и навигационных наук в Москве (1701–1752 гг.) и её продолжатели [Текст] / О. А. Горощенова // Вопросы истории. – 2005. – №10. – С. 153–155.
6. *Делоне, Н. Б.* Курс теоретической механики для техников и инженеров [Текст] / Н. Б. Делоне. Москва: URSS. 2021. 432 с.
7. *Кириллин, В. А.* Страницы истории науки и техники [Текст] / В. А. Кириллин. Москва: Наука, 1986. – 511 с.
8. *Мандрыка, А. П.* История баллистики: До середины XIX века [Текст] / А. П. Мандрыка. Москва: URSS. 2018. 392 с.
9. *Мах, Э.* Механика: Историко-критический очерк её развития [Текст] / Э. Мах. Москва: URSS. 2020. 456 с.

10. *Митрович Й., Смык, А. Ф.* Термодинамика Джеймса Уатта – проигнорирована или не понята? [Текст] / Й. Митрович, А. Ф. Смык // Вопросы естествознания и техники. – 2021. – Т. 42. – №3. – С. 397–442.
11. *Павлов, В. Е.* Августин Бетанкур. Между прошлым и будущим» [Текст] / В. Е. Павлов // Известия ПГУПС. – январь-февраль 2008. – №6. – С. 61–72. <https://cyberleninka.ru/article/n/avgustin-betankur-mezhdu-proshlym-i-buduschim/viewer>
12. Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука [Текст] // Сборник статей; под ред. Н. Н. Боголюбова, Г. К. Михайлова, А. П. Юшкевича. Москва: Наука, 1988. – 520 с.
13. *Рачков, М. Ю.* История науки и техники: учебник для вузов [Текст] / М. Ю. Рачков. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 284 с.
14. *Тиле, Р.* Леонард Эйлер [Текст] / Р. Тиле; пер. с нем. доктора физико-математических наук, профессора Н. И. Кованцова. Киев: Вища школа, 1983. – 192 с.
15. *Топоркова, О. В.* Инженерное образование в России в контексте социально-исторического развития (XVIII – начало XX вв.) [Текст] / О. В. Топоркова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2018. – №4 (40). – С. 151–165.
16. *Топоркова, О. В.* Французская модель Политехнической школы Ecole Polytechnique: история возникновения и развития в XVIII–XIX вв. [Текст] / О. В. Топоркова // Балтийский гуманитарный журнал. – 2018. – Т. 7. – №4 (25). – С. 315–317.
17. *Хайруллина, Э. Р.* Краткий экскурс в историю технического образования России [Текст] / Э. Р. Хайруллина // Сибирский педагогический журнал. – 2007. – №3. <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkiy-ekskurs-v-istoriyu-tehnicheskogo-obrazovaniya-rossii>
18. *Шульман, М. М.* Вторая научная революция и формирование прикладной компоненты науки. Исследование обстоятельства возникновения «науки технологий» [Текст] / М. М. Шульман // Гуманитарные и социальные науки. – 2017. – №6. – С. 61–72.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что послужило предпосылками промышленной революции конца XVIII–середины XIX вв.?
2. Дайте характеристику технологии как дисциплины, возникшей в конце XVIII в.
3. Охарактеризуйте основные этапы становления технического и инженерного образования в России.
4. Какое влияние оказала Парижская политехническая школа на формирование научных основ машиностроения?
5. В чём проявляется установление взаимосвязей между естественными и техническими науками?

## Семинар 4. СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК И ИНЖЕНЕРНОГО СООБЩЕСТВА (Вторая половина XIX – XX вв.) (2 часа)

### *Вторая половина XIX в. – первая половина XX в.*

1. Формирование системы международной и отечественной коммуникации в инженерной сфере: возникновение научно-технической периодики, создание научно-технических организаций и обществ, проведение съездов, конференций, выставок.
2. Развитие высшего инженерного образования (конец XIX в. – начало XX в.).
3. Формирование классических технических наук: технические науки механического цикла, система теплотехнических дисциплин, система электротехнических дисциплин.
4. Становление и развитие технических наук электротехнического цикла.
5. Создание научных основ радиотехники.
6. Математизация технических наук.

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:** научная коммуникация, инженерная деятельность, научно-техническая периодика, научно-технические организации, научно-технические общества, технические науки механического цикла, система теплотехнических дисциплин, система электротехнических дисциплин.

### **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Профессиональные объединения инженеров (XIX в. – нач. XX в.)
2. Профессиональные объединения инженеров: Русское техническое общество.
3. «Принципы механизма» Р. Виллиса (1870) и «Теоретическая кинематика» Ф. Рело (1875), Германия.
4. Петербургская школа машиноведения 1860–1880 гг.
5. Работы Н.Е. Жуковского по прикладной механике.
6. Формирование конструкторско-технологического направления изучения машин.
7. Становление механики разрушения и развитие атомистических взглядов на прочность: сетчатые гиперболоидные конструкции В.Г. Шухова (начало XX в.).
8. Открытия, эксперименты, исследования в физике (А. Вольты, А. Ампер, Х. Эрстед, М. Фарадей и др.) и возникновение изобретательской деятельности в электротехнике.
9. Создание основ физико-математического описания процессов в электрических цепях: Г. Кирхгоф, Г. Гельмгольц, В. Томсон (1845–1847).
10. О. Хевисайд и введение в электротехнику операционного исчисления.
11. Становление теории электрических цепей как фундаментальной технической теории (1930-е).

## 12. Радиоэлектроника: возникновение и этапы развития.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основной

1. *Боголюбов, А. Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии её идей [Текст] / А. Н. Боголюбов; Академия наук СССР, Научный совет по теории машин и систем машин. Москва: РГБ, 2008. – 464 с.
2. *Веселовский, И. Н.* Очерки по истории теоретической механики [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Издательство ЛКИ, 2021. – 288 с.
3. *Горохов, В. Г.* Эволюция инженерии: от простоты к сложности [Текст] / В. Г. Горохов. Москва: Институт философии Российской академии наук, 2015. – 199 с.
4. *Зайцев, Г. Н., Федюкин, В. К., Артошенко, С. А.* История техники и технологий: Учебник [Текст] / Н. Г. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Артошенко; под ред. проф. В. К. Федюкина. Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 416 с.
5. *Иванов, Б. И., Чешев, В. В.* Становление и развитие технических наук [Текст] / Б. И. Иванов, В. В. Чешев; Отв. ред. С. В. Шухардин. Изд. 2-е. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. – 264 с.
6. *Мандрыка, А. П.* Взаимосвязь механики и техники (1770–1970) [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1975. – 324 с.

#### Дополнительный

1. *Боголюбов, А. Н.* Механика в истории человечества [Текст] / А. Н. Боголюбов. Москва: URSS. 2019. 168 с.
2. *Булдыгин, С. С.* Концепция промышленной революции: от появления до наших дней [Текст] / С. С. Булдыгин // Вестник Томского государственного университета. – 2017. – №420. – С. 91–95.
3. *Горохов, В. Г.* Научное инженерное образование: конвергенция российского и германского опыта [Текст] / В. Г. Горохов // Высшее образование в России. – 2012. – №11. – С. 138–148.
4. *Горощенова, О. А.* Школа математических и навигационных наук в Москве (1701–1752 гг.) и её продолжатели [Текст] / О. А. Горощенова // Вопросы истории. – 2005. – №10. – С. 153–155.
5. *Делоне, Н. Б.* Курс теоретической механики [Текст] / Н. Б. Делоне. Москва: URSS. 2021. 424 с.
6. *Иванов, Б. И.* Формирование Петербургской электротехнической школы и научной школы электромашиностроения [Текст] / Б. И. Иванов // Проблемы деятельности учёного и научных коллективов. – 2017. – №3 (33). – С. 41–51.
7. *Кириллин, В. А.* Страницы истории науки и техники [Текст] / В. А. Кириллин. Москва: Наука, 1986. – 511 с.
8. *Мандрыка, А. П.* История баллистики: До середины XIX века [Текст] / А. П. Мандрыка. Москва: URSS. 2018. 392 с.

9. Митрович Й., Смык, А. Ф. Термодинамика Джеймса Уатта – проигнорирована или не понята? [Текст] / Й. Митрович, А. Ф. Смык // Вопросы естествознания и техники. – 2021. – Т. 42. – №3. – С. 397–442.
10. Павлов, В. Е. Августин Бетанкур. Между прошлым и будущим» [Текст] / В. Е. Павлов // Известия ПГУПС. – январь-февраль 2008. – №6. – С. 61–72. <https://cyberleninka.ru/article/n/avgustin-betankur-mezhdu-proshlym-i-buduschim/viewer>
11. Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука [Текст] // Сборник статей; под ред. Н. Н. Боголюбова, Г. К. Михайлова, А. П. Юшкевича. Москва: Наука, 1988. – 520 с.
12. Рачков, М. Ю. История науки и техники: учебник для вузов [Текст] / М. Ю. Рачков. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 284 с.
13. Тиле, Р. Леонард Эйлер [Текст] / Р. Тиле; пер. с нем. доктора физико-математических наук, профессора Н. И. Кованцова. Киев: Вища школа, 1983. – 192 с.
14. Топоркова, О. В. Инженерное образование в России в контексте социально-исторического развития (XVIII – начало XX вв.) [Текст] / О. В. Топоркова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2018. – №4 (40). – С. 151–165.
15. Топоркова, О. В. Французская модель Политехнической школы Ecole Polytechnique: история возникновения и развития в XVIII–XIX вв. [Текст] / О. В. Топоркова // Балтийский гуманитарный журнал. – 2018. – Т. 7. – №4 (25). – С. 315–317.
16. Хайруллина, Э. Р. Краткий экскурс в историю технического образования России [Текст] / Э. Р. Хайруллина // Сибирский педагогический журнал. – 2007. – №3. <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkiy-ekskurs-v-istoriyu-tehnicheskogo-obrazovaniya-rossii>

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы особенности системы международной и отечественной научной коммуникации в инженерной сфере?
2. Каковы основные тенденции в развитии высшего инженерного образования (конец XIX в. – начало XX в.).
3. Назовите основные черты формирования классических технических наук.
4. Раскройте особенности процесса математизации технических наук.
5. В чём сходство и отличие физического и математического моделирования?

## Семинар 5. СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК И ИНЖЕНЕРНОГО СООБЩЕСТВА (Вторая половина XIX – XX вв.) (4 часа)

### *Эволюция технических наук во второй половине XX в. Системно-интегративные тенденции в современной науке и технике*

1. Формирование системы «фундаментальные исследования – прикладные исследования – разработки».
2. Масштабные научно-технические проекты (освоение атомной энергии, создание ракетно-космической техники).
3. Развитие прикладной ядерной физики и реализация советского атомного проекта, становление атомной энергетики и атомной промышленности.
4. Развитие полупроводниковой техники, микроэлектроники и средств обработки информации.
5. Развитие теоретических принципов лазерной техники.
6. Проблемы автоматизации и управления в сложных технических системах.

**ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:** масштабные научно-технические проекты, освоение атомной энергии, атомная энергетика, атомная промышленность, ядерное приборостроение, создание искусственных материалов, теоретическое и экспериментальное материаловедение, создание ракетно-космической техники, технические системы, фундаментальные исследования, прикладные разработки, полупроводниковая техника, микроэлектроника, средства обработки информации, квантовая электроника, теоретические принципы лазерной техники, разработка проблем волоконной оптики.

### **ТЕМЫ ДОКЛАДОВ**

1. Масштабные научно-технические проекты: освоение атомной энергии.
2. Масштабные научно-технические проекты: создание ракетно-космической техники.
3. Реализация советского атомного проекта.
4. Становление атомной энергетики и атомной промышленности: вклад И.В. Курчатова.
5. Зарождение квантовой электроники: принцип действия молекулярного генератора (Н.Г. Басов, А.М. Прохоров, Ч. Таунс, Дж. Гордон, Х. Цейгер).
6. Зарождение квантовой электроники: принцип действия оптического квантового генератора (А.М. Прохоров, Т. Мейман).
7. Научное обеспечение пилотируемых космических полетов (1960–1970).
8. Вклад в решение научно-технических проблем освоения космического пространства С.П. Королева и др.
9. От теории автоматического регулирования к теории автоматического управления и кибернетике (Н. Винер).

10. Развитие средств и систем обработки информации и создание теории информации (К. Шеннон).
11. Экологизация техники и технических наук.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

#### **Основной**

1. *Артамонов, А. Д.* Технические университеты в информационном обществе [Текст] / А. Д. Артамонов, Г. И. Ловецкий; под ред. Г. И. Ловецкого; Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 287 с.
2. *Боякова, Т. А., Бояков, С. А.* История электротехники и электроэнергетики: Учебное пособие [Текст] / Т. А. Боякова, С. А. Бояков. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 241 с.
3. *Зайцев, Г. Н., Федюкин, В. К., Артошенко, С. А.* История техники и технологий: Учебник [Текст] / Г. Н. Зайцев, В. К. Федюкин, С. А. Артошенко; под ред. проф. В. К. Федюкина. Санкт-Петербург: Политехника, 2007. – 416 с.
4. *Ковалев, В. И., Схиртладзе, А. Г., Борискин, В. П.* История техники: Учебное пособие [Текст] / В. И. Ковалев, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. Старый Оскол: Тонкие наукоёмкие технологии, 2018. – 360 с.
5. *Кравченко, А. Ф.* История и методология науки и техники: Учебное пособие [Текст] / А. Ф. Кравченко. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2005. – 359 с.
6. *Кравченко, А. Ф.* История науки и техники [Текст] / А. Ф. Кравченко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 434 с.
7. *Ларин, А. А.* История науки и техники: учебник [Текст] / А. А. Ларин; Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. Харьков: НТУ «ХПИ», 2018. – 285 с.
8. *Рачков, М. Ю.* История науки и техники: учебник для вузов [Текст] / М. Ю. Рачков. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 284 с.
9. Хрестоматия по истории науки и техники [Текст] / Ред. Ю. Н. Афанасьев, В. М. Орёл. Сост. Б. А. Старостин, Ю. С. Воронков, А. Н. Медведь. Москва: РГГУ, 2005. – 701 с.
10. *Черняк, В. З.* История и философия техники: пособие для аспирантов [Текст] / В. З. Черняк. Москва: КНОРУС, 2015. – 572 с.
11. *Шарыгина, Л. И.* Хронология развития радиоэлектроники: учеб. пособие [Текст] / сост. Л. И. Шарыгина; Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. Севастополь: Вебер, 2011. – 197 с.
12. *Шейпак, А. А.* История науки и техники: материалы и технологии: учебное пособие [Текст] / А. А. Шейпак. Москва: Изд-во МГИУ, – Ч. 1. – 2010. – 274 с.
13. *Шейпак, А. А.* История науки и техники: материалы и технологии: учебное пособие [Текст] / А. А. Шейпак. – Москва: Изд-во МГИУ, – Ч. 2. – 2010. – 343 с.

14. *Щука, А. А.* Электроника в 4 ч. Часть 1. Вакуумная и плазменная электроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 172 с.
15. *Щука, А. А.* Электроника в 4 ч. Часть 2. Микроэлектроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 326 с.
16. *Щука, А. А.* Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 117 с.
17. *Щука, А. А.* Электроника в 4 ч. Часть 4. Функциональная электроника: учебник для вузов [Текст] / А. А. Щука, А. С. Сигов; под редакцией А. С. Сигова. Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 183 с.

#### **Дополнительный**

1. *Астафуров, В. Г., Вайсберг, Б., Нефедов, А. В., Брудерманс, Б.* 100 лет радио: Сборник статей [Текст] / Под ред. В. В. Мигулина, А. В. Гороховского. Москва: Радио и связь, 1995. – 384 с.
2. *Боголюбов, А. Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии её идей [Текст] / А. Н. Боголюбов; Академия наук СССР, Научный совет по теории машин и систем машин. Москва: РГБ, 2008. – 464 с.
3. *Борисов, В. П.* Открытие творческого наследия «закрытого» академика: С. А. Векшинский и его участие в советском атомном проекте [Текст] / В. П. Борисов // Вопросы истории естествознания и техники. – 2019. – Т. 40. №2. – С. 322–345.
4. *Веселовский, И. Н.* Очерки по истории теоретической механики [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Издательство ЛКИ, 2021. – 288 с.
5. *Веселовский, О. Н.* Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862–1919) [Текст] / О. Н. Веселовский. Москва: Издательство Академии наук СССР, 1963. – 84 с.
6. *Веселовский, О. Н., Шнейберг, А. Я.* Очерки по истории электротехники [Текст] / О. Н. Веселовский, А. Я. Шнейберг. – Москва: Издательство МЭИ, 1993. – 252 с.
7. *Горохов, В. Г.* Знать, чтобы делать: История инженерной профессии и ее роль в современной культуре. [Текст] / В. Г. Горохов. Москва: Знание, 1987. – 176 с.
8. *Иванов, Б. И., Чешев, В. В.* Становление и развитие технических наук [Текст] / Б. И. Иванов, В. В. Чешев; Отв. ред. С. В. Шухардин. Изд. 2-е. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. – 264 с.
9. История электротехники [Текст] / Под ред. И. А. Глебова. Москва: Издательство МЭИ, 1999. – 523 с.
10. *Кириллин, В. А.* Страницы истории науки и техники [Текст] / В. А. Кириллин. Москва: Наука, 1986. – 511 с.
11. *Козлов, Б. И.* Возникновение и развитие технических наук. Опыт историко-теоретического исследования [Текст] / Б. И. Козлов. Ленинград: Наука, 1988. – 248 с.
12. *Мандрька, А. П.* Взаимосвязь механики и техники (1770–1970) [Текст] /

- А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1975. – 324 с.
13. *Мандрыка, А. П.* Очерки развития технических наук [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1984. – 108 с.
  14. Научные школы Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана: История развития [Текст] / Под ред. И. Б. Федорова и К. С. Колесникова. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1995. – 439 с.
  15. *Попова, В. В.* Военно-техническая политика российского государства в области ракетного оружия в XIX в. [Текст] / В. В. Попова // Вопросы истории естествознания и техники. – 2019. – Т. 40. №2. – С. 322–345.
  16. *Симоненко, О. Д.* Электротехническая наука в первой половине XX века [Текст] / О. Д. Симоненко. – Москва: Наука, 1988. – 144 с.
  17. Современная радиоэлектроника (50-80-е гг.) [Текст] / Под ред. В. П. Борисова, В. М. Родионова. Москва: Наука, 1993. – 385 с.
  18. Формирование радиоэлектроники (середина 20-х – середина 50-х гг.) [Текст] / Под ред. В. М. Родионова. Москва: Наука, 1988. – 384 с.
  19. *Шнейберг, Я. А.* Титаны электротехники: очерки жизни и творчества [Текст] / Я. А. Шнейберг. Москва: Издательство МЭИ, 2004. – 269 с.
  20. Электроника: прошлое, настоящее, будущее [Текст] / Пер. с англ. под ред чл.-корр. Академии наук СССР В. И. Сифорова. Москва: Мир, 1980. – 297 с.
  21. Электроника: прошлое, настоящее, будущее [Текст]: Сборник статей: Пер. с англ. Москва: Знание, 1979. – 64 с.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы особенности системы «фундаментальные исследования – прикладные исследования – разработки»?
2. Охарактеризуйте системно-кибернетические представления в технических науках.
3. Какие методы исследования возникают в результате развития ЭВМ?
4. В чём состоит компьютеризация инженерной деятельности?
5. В чём особенность исследования и проектирования сложных «человеко-машинных» систем?
6. Объясните, в чём заключается проблема оценки воздействия техники на окружающую среду?

## Часть 2. ПРОБЛЕМЫ ИСТОРИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК В РАБОТАХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

### ***КОЗЛОВ Б. И. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СРЕДНИЕ ВЕКА. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ ОТ АРХИМЕДА ДО НЬЮТОНА***

Рациональная механика александрийской школы, обобщившая опыт технической деятельности древности и заложившая научные основы статики и гидростатики, стала вершиной раннего научно-технического знания. От *античной механики* в трудах Архимеда до выхода в свет фундаментального труда Ньютона, которым под научно-техническое знание было подведено *естественно-научное* теоретическое основание, прошло девятнадцать столетий.

Социально-экономической базой эволюции ранних предпосылок технических наук в контексте материальной и духовной культуры этого времени было сначала развитие и разложение рабовладельческого строя, а затем – становление и укрепление феодализма. К концу этого периода в недрах феодальной социально-экономической формации стали вызревать предпосылки и элементы нового, более прогрессивного, капиталистического способа производства, в условиях которого и сформировались технические науки. Этот немалый даже по историческим меркам период вовсе не был «петлёй времени», прихотливым витком на пути научно-технического прогресса, завершившимся возвратом к исходному логическому пункту. Даже в годы раннего средневековья, когда на европейском континенте царили всеобщий упадок ремесла и торговли, полная безграмотность масс, а ростки раннего научно-технического знания, казалось, были навсегда погребены под развалинами римского государства, эллинистическая ученость была не только во многом сохранена, но и в известной мере развита. Помимо попыток спасения античных рукописей, предпринимавшихся в Европе такими людьми, как Флавий Кассиодор Сенатор – «последний римлянин и первый человек средневековья», основавший в 540 г. в своем имении монастырь Вивариум, где он собрал богатейшую в Европе библиотеку античных рукописей и организовал их переписку, эллинистические традиции научного мышления были продолжены в странах Востока.

На роль преемника античной культуры претендует прежде всего Константинополь, ставший столицей Римской империи в 330 г. Вплоть до захвата столицы Восточной Римской империи турками (в 1453 г.) византийские императоры пытаются поддерживать величие «Второго Рима». Но история уже сказала свое слово, и ни попытки Юстиниана (527–565) восстановить империю в ее прежних границах, ни последующие крутые меры во внутренней политике уже не могли воссоздать былую мощь рабовладельческого Рима.

В централизованной империи, управлявшейся огромным бюрократическим аппаратом, где свободомыслие жестоко подавлялось подчиненной императору церковью, развитие духовной культуры и научной деятельности было сильно стеснено. Тем не менее в Византии на протяжении тысячелетия если не разгорался, то по крайней мере и не угасал полностью огонь античной учености

В Византии были достигнуты и новые успехи в области строительной техники, довольно заметное развитие получило ремесло. Все это заслуживает специального рассмотрения, как заслуживает особого изучения и проблема реального влияния византийской культуры на формирование европейского научно-технического знания. Мы же ограничимся здесь констатацией того, что развитие культуры Византии представляет интерес для предьстории технических наук в той мере, в какой в ней проявились традиции, заложенные некогда александрийской школой. Для нашей темы особенно важно то, что Византия стала одним из посредников в передаче античного раннего научно-технического знания в Европу.

Изгнанные из Афин Юстинианом ученые нашли приют в Персии, при дворе Хосрова I Ануширвана. Древнегреческая натурфилософия и раннее научно-техническое знание обрели на Востоке благодатную почву – унаследованные от прошлого богатые традиции технической деятельности, уходящее корнями в далекое прошлое уважение к знанию. В Персии, вплоть до завоевания ее арабами, большой размах получила работа по переводу античных рукописей на персидский язык. Это стимулировало развитие культуры и в центре и на окраинах империи, создало предпосылки для последующего расцвета научной деятельности в арабоязычных странах Востока и Европы.

Начиная примерно с VII в. ближневосточные и эллинистические традиции научного мышления были продолжены в странах – мусульманского – арабоязычного – Востока, в быстро набравшей силу своеобразной культуре эпохи халифата. Достижения эллинистических ученых и механиков были положены в основу дальнейшего развития медицины, астрономии, математики. Переводившиеся с древнегреческого на персидский и арабский языки рукописи Евклида, Архимеда и др. стали затем источником для перевода на латинский язык. Многие труды античных механиков сохранились до нашего времени только на арабском языке. В средние века труды арабских ученых и переводы античных авторов попадали в Европу через посредство испанского (кордовского) халифата, через Сицилию и Византию. О том, какими путями проникали в средневековую Европу семена эллинистической и арабской учености, в том числе научно-технические знания, свидетельствует, в частности, деятельность Герберта (ок. сер. X в. – 1003 г.), монаха из Орильяка, впоследствии – папы Сильвестра II.

В 967–970 гг. Герберт обучался «свободным искусствам» в Испании, соседствовавшей с арабской Кордовой. По возвращении он сам стал учителем при дворе императора Оттона I. Во времена, когда не все аббаты умели читать и за недостатком грамотных приходилось отказываться от письменного ведения судопроизводства, человек, изучивший и тривиум (т.е. грамматику, риторику и диалектику), и квадривиум (т.е. арифметику, геометрию, астрономию и музыку), пользовался огромным уважением. Тем большую известность снискал Герберт, впервые перенесший на европейскую почву арабские (индийские) цифры, абак и позиционную систему счисления (правда, без нуля).

Герберт был выдающимся механиком: он построил в Реймсе гидравлический орган (по-видимому, конструкции, описанной Героном). Свои лекции по астрономии Герберт сопровождал демонстрациями созданных им «небесных

сфер», на которых можно было показать движение планет, звездное небо в разное время суток и т.п. Известно, что, обучая геометрии, он использовал в качестве примеров задачи практического характера. Ему принадлежит первое в средневековой Европе математическое исследование. Герберт оставил после себя учеников, также ведших активную преподавательскую деятельность и создавших в XI в. школы в ряде городов Франции.

Значительную роль в распространении в Европе восходящих к античности рукописей и достижений византийских, арабских и персидских ученых и механиков сыграли крестовые походы.

Но проследить тонкую, временами почти исчезающую нить преемственности, соединяющую раннее научно-техническое знание III–II вв. до н. э. с его расцветом в XVI–XVII вв. – не наша задача. Нас интересует не столько сама эта связь (она требует не доказательств, а более обстоятельного изучения), сколько роль практики в ее развитии в эпоху средних веков.

В Византии и арабоязычных странах Востока практически не прерывалась античная *ремесленная* традиция, очень рано получившая столь характерную для средневековья цеховую организацию. В отличие от Европы ремесленная деятельность на Востоке в раннем средневековье не только не угасала, но и получила дальнейшее развитие. В IV–VII вв. в Египте употреблялось более 180 наименований различных видов ремесла, в том числе более 70 терминов – новых, не употреблявшихся в довизантийское время. В Европе медленная эволюция ремесленного производства после его упадка в раннее средневековье сменилась оживлением уже в VIII–XI вв. В XII–XIII вв. успехи в развитии ремесла в Италии становятся очевидными, а в XIV–XV вв. оживленная техническая деятельность охватывает уже и Францию, Нидерланды, Германию, Англию. В основе этого процесса лежит развитие экономики средневековой Европы. Более эффективное феодальное сельское хозяйство, в котором подкованные лошади с грудными хомутами смогли тянуть тяжелые колесные плуги с металлическими лемехами, рост населения постепенно привели в движение механизмы развития ремесла и торговли. Естественным способом увеличения производительности ремесленного труда в этих условиях стало его разделение и кооперация – прием, хорошо известный еще со времен античных мастерских. Специализация и дифференциация технической деятельности развивались быстро и – до определенного момента – эффективно. Они сопровождались становлением специфической организационной формы ремесленного производства – профессиональных корпораций или цехов.

В 1291 г. согласно Податной переписи в Париже числилось 4159 цеховых 350 профессий, объединенных в 100 цехов. В XIV–XV вв. во Франкфурте-на-Майне обработкой металла занимались мастера 35 узких специализаций, дерева – 17. В строительстве насчитывалось 19 профессий, в текстильном производстве – 17. В XII–XIII вв. начинается расцвет суконной и красильной промышленности во Фландрии, а затем в Италии, где центрами сукноделия становятся Милан и Флоренция. В это время цеховые организации приобретают большое влияние на жизнь средневековых городов.

Развитой цеховой организации был присущ *корпоративный эгоизм*, ярко выраженный технический и технологический консерватизм. В интересах цеховых корпораций сдерживалось развитие технологии, ограничивалось число работающих мастеров и учеников, устанавливались длительные (10 лет и более) сроки обучения специальности, регламентировались применяемые технические средства производства.

Так, в XIII в. вкладчик Страсбургского монастыря, завещая деньги на развитие шерстяного промысла, специально оговорил запрет на применение самопрялки. Цеховые мастера вплоть до XVI в. продолжали использовать вместо самопрялки менее производительные веретена. Статуты парижских ткачей 1648 и 1667 гг. запрещали иметь в одной мастерской более трех станков.

Узость технической базы, скудность накопленного опыта технической деятельности и технических знаний, ограничения технологии и консервативная политика развитой организации цехового производства в XIV–XV вв. пришли в противоречие с необходимостью резкого увеличения выпуска товаров, особенно тех, которые пользовались большим спросом. В создавшихся условиях разделение и кооперация ремесленного труда не обеспечивали сами по себе значительного развития торговли, не удовлетворяли потребности общества. Дело было не в прогрессивном самом по себе принципе пооперационного разделения технологических процессов, а в том, что каждая отдельная операция по-прежнему выполнялась посредством примитивной техники.

Особенно быстро росла в XIII–XV вв. потребность в тканях для одежды. С возникновением артиллерии и развитием денежного обращения сильно увеличилась потребность в металлах.

Расцветающее сельское хозяйство выдвигало новые технические задачи в области ирригации. Растущие центры ремесленного производства – города требовали решения проблем водоснабжения. Важнейшее значение для развития торговли и промышленного производства в XV–XVI вв. имели новые рынки и источники сырья. В 1492 г. Колумб открыл Америку. В 1498 г. арабские лоцманы приводят корабль Васко да Гамы в Индию. Морские пути приобретают с этих пор роль главных торговых коммуникаций, что потребовало значительно расширения судостроения.

Обострилась проблема развития технических средств мореплавания – от увеличения мореходности и грузоподъемности судов до создания новых методов определения места корабля в море.

В области технических средств решение всех этих задач так или иначе сводилось к расширению применения машин и созданию новых механизмов и приборов, в области организации технической деятельности – к ликвидации цехов и дальнейшему развитию основанной на разделении и специализации труда специфически капиталистической формы общественного производства – мануфактуры, господствовавшей приблизительно с середины XVI до последней четверти XVIII в.

С точки зрения истории технического знания мануфактурный период важен тем, что в это время под воздействием запросов практики были заложены научные и технические предпосылки промышленной революции XVIII в. и

первые элементы организации фабричной промышленности, ставшей непосредственной предпосылкой и начальным условием формирования технических наук.

Если исключить «изобретение пороха, компаса и книгопечатания – эти необходимые предпосылки буржуазного развития, то за время с XVI до середины XVIII в., то есть за период мануфактуры, развивающейся из ремесла до собственно крупной промышленности, имелись две материальные основы, на которых внутри мануфактуры происходит подготовительная работа для перехода к машинной индустрии, это *часы* и *мельница* (сначала мельница для помола зерна, а именно водяная), причем оба эти механизма унаследованы от древности», – писал К. Маркс Ф. Энгельсу. И далее: «Часы – это первый автомат, употребленный для практических целей. На их основе развилась вся теория *производства равномерного движения*... На развитии часового дела можно было бы проследить, как сильно отличается соотношение между ученостью и практикой на основе ремесла от соотношения между ними, например, в крупной промышленности... На примере мельницы было создано учение *о трении*, а вместе с тем были проведены исследования о математических формах зубчатой передачи, зубьев и т.д. На ее же примере впервые было разработано учение об измерении величины двигательной силы, о лучших способах ее применения. Почти все крупные математики начиная с середины XVII столетия, поскольку они занимаются практической механикой и подводят под нее теоретическую основу, исходят из простой водяной мельницы для помола зерна».

Водяные мельницы, впервые изобретенные где-то на иранском плато, в Европе появились в эллинистическую эпоху. В Англии первые водяные мельницы известны с 340 г., в Богемии с 718 г. Во Франции они получили развитие и широкое распространение с IX в. Этим техническим устройствам принадлежит выдающаяся роль в развитии мануфактурного промышленного производства, в котором они прочно заняли место основного типа машины-двигателя.

В мануфактурный период водяные двигатели использовались в самых разнообразных отраслях – от пороховых мануфактур и горной промышленности до суконной промышленности и водопроводного городского хозяйства. В земельной переписи Англии 1086 г. упоминаются уже 5624 водяные мельницы с указанием их местонахождения.

Опыт эксплуатации мельничных механизмов сыграл также выдающуюся роль в развитии технического знания XI–XVI вв. Особое значение имело применение одного водяного двигателя для приведения в движение сразу двух машин. Такие приводы требовали создания сложных передаточных механизмов.

Мельничные механизмы как бы объединили в себе две линии развития технического знания: одну – идущую от пяти «простых машин» древности, от практики их применения, вторую – идущую от механических автоматов египтян, Герона и Ктесибия. Другое – более позднее – техническое изобретение, сыгравшее выдающуюся роль в истории технической мысли и также ведущее свою родословную от автоматов древности – механические часы, применявшиеся в Европе с XI в.

В часовых механизмах XVI–XVII вв. использовались уже весьма сложные кинематические схемы, так как часами в эту эпоху называли не только устройства для измерения времени, но и весьма своеобразные «планетарии», демонстрировавшие, подобно «небесным сферам» Архимеда, движение планет, Луны и Солнца, картину звездного неба в разное время суток. Это требовало достаточно сложного расчета *кинематики*.

О сложности технических задач, решавшихся создателями часовых механизмов, можно судить по сочинениям Джеронимо Кардано, Витторио Цонка и др. О часах, сделанных Турриано – часовщиком и механиком королей Карла V и Филиппа I, известно, что в них было 1800 зубчатых колес «Здесь имелось *Primum mobile* с его противоположным движением, восемь сфер с их колебаниями, движение семи планет со всем их разнообразием, солнечные часы, лунные часы, появление знака Звезды и многих других больших звезд, кроме того, многие другие вещи, которые я забыл», – писал Амброзио Морале, друг Джуанело Турриано.

Часовые механизмы очень долго оставались вершиной техники, ее наиболее сложным разделом, двигавшим вперед и технологию обработки металлов, и техническое творчество механиков. Изготовление часов, особенно маятниковых (с XVI в.), помимо всего прочего привело к резкому повышению требований к точности измерений в сфере материального производства, способствовало накоплению знаний о трении, постановке проблемы теоретического обоснования работы маятника и т.д.

К концу XV–началу XVI в. относится деятельность великого художника, ин-женера и ученого Леонардо да Винчи (1452–1519), оставившего после себя многочисленные проекты разнообразных технических конструкций, гидротехнических сооружений, эскизы технических устройств, записи по механике, оптике и др., свидетельствующие о высоком уровне технических знаний того времени. По-видимому, многие из технических идей Леонардо так и не были реализованы. Более того: некоторые из них остались неизвестными современникам. Но его деятельность оказала значительное влияние на развитие технических знаний в эпоху Возрождения.

Огромное значение для развития, сохранения и распространения технических и научно-технических знаний имело изобретение *книгопечатания*. В XV–XVI вв. издается ряд книг, представляющих собой своего рода технические справочники – описания всех известных автору или показавшихся ему любопытными машин и механизмов. Благодаря книгопечатанию до нашего времени дошли сведения о десятках талантливых инженеров, работавших в XV–XVII вв. в Италии, Нидерландах, Франции, Германии и Англии и накопивших большой опыт практического решения разнообразных технических задач в области артиллерии и фортификации, строительства водопроводов, мостов и зданий.

Развитие *металлургии и горного дела* до середины XVI в., т.е. до периода, непосредственно предшествующего промышленной революции, отражено в двух обобщающих многовековой практический опыт трудах: «О металлах» Георгия Агриколы (Бауэра) (1490–1555) и «Пиротехника» (1540) Вануччо Бирингуччо (даты рождения и смерти неизвестны). Значительное внимание в этих ра-

ботах уделено описанию технологии и технических средств. Примерно в это время работали другие выдающиеся инженеры: Джеронимо Кардано (1501–1576), Джуанело Турриано (1500–1585), Жак Бессон (ум. в 1569 г.), Агостино Рамелли (ок. 1530–1590), Джамбаттиста делла Порта (1538–1615), Якоб де Страда (ок. 1523–1588), Витторио Цонка (1568–1602). На рубеже XVI и XVII вв. и в начале XVII в. о технике писали Соломон де Ко (ок. 1576–1630), Генрих Цейзен (ум. 1613), Джованни Бранка (даты рождения и смерти неизвестны), Марен Мерсенн (1588–1648) и другие. Среди плеяды инженеров-механиков и гидравликов особо следует выделить Симона Стевина (1548–1620).

Труды механиков XV–XVII вв. свидетельствуют, что уже в то время они не довольствовались рецептами Витрувия, и в поисках объяснения причин естественных свойств и явлений, обнаруживаемых в процессе создания и применения новых технических средств, все чаще обращались к трудам Архимеда и других античных механиков. Значение теории для решения практических задач техники хорошо понимал Николо Тарталья (1499–1557). Он часто выполнял заказы практиков на математические расчеты и поэтому был прекрасно осведомлен о реальных научно-технических проблемах современности. Выполняя один из таких заказов, он решил в общем виде практическую задачу о максимальной дальности стрельбы и тем самым заложил основы нового раздела научно-технического знания – баллистики. В своих воззрениях и научно-технической деятельности Тарталья исходил из трудов Архимеда, которые ценил исключительно высоко и даже перевел на итальянский язык. Используя метод Архимеда, он определил удельные веса многих веществ, разработал способ подъема потонувших судов.

Подчеркивая роль теории в решении практических задач, Тарталья писал: «Наука о тяжестях в своей зависимости от геометрии и натурфилософии есть абстрактная наука». Его попытки возродить идеи великого сиракузца оказали большое влияние на последующую историю научно-технического знания.

Тарталья не был одинок в стремлении продолжить дело античных механиков и приложить математику к решению выдвигаемых практикой задач. В это время, когда университеты «не замечали» математику и вовсе не собирались считаться с потребностями практики, успешно работают и другие итальянские математики и инженеры.

Обстановка экономического подъема, расцвета торговли, роста «спроса» на научное решение практических задач способствовала формированию не только высокоученых, но и живо интересовавшихся реальными делами специалистов. Таким был и первый учитель Галилео Галилея (1564–1642) – математик и изобретатель Останио Ричи, оказавший большое влияние на интерес Галилея к техническим задачам. Он не только ознакомил своего ученика с решением технических проблем посредством математики, но, по-видимому, привил ему и глубокое уважение к Архимеду. Первая самостоятельная работа Галилея была посвящена определению удельного веса с помощью изобретенных им гидростатических весов. Изобретение это интересно тем, что было нацелено на повышение точности измерений в эксперименте и реализовало потенциальные

возможности принципа, открытого еще Архимедом. Техническому изобретению была посвящена и первая публикация Галилея, описавшего в ней пропорциональный циркуль для военно-инженерных работ (1606). Эти две линии – опора на теоретические исследования Архимеда и использование в собственных теоретических исследованиях новых технических средств – проходят потом через все научно-техническое творчество Галилея. От Архимеда отправляется молодой Галилей, исследуя теорию центров тяжести твердых тел и методы определения их плотностей. Уже в зрелые годы экспериментальные и теоретические исследования Галилея посвящены подтверждению гидростатики Архимеда и опровержению ее неправильных толкований. Новое техническое средство – *телескоп* – положило начало его длительному занятию астрономией.

В доме Галилея в Падуе была устроена механическая мастерская, по существу техническая лаборатория, где кроме самого Галилея трудились его помощники, а также литейщик, токари и столяры. Здесь были изготовлены изобретенные Галилеем приборы (тот же телескоп), научные инструменты для сторонних заказчиков, здесь же ставились опыты, требовавшие применения технических средств. Как и Тарталья, Галилей не только преподавал в университете, но и давал частные уроки и консультации по предметам, не входившим в университетский курс: теории фортификации, учению о перспективе, прикладной механике. Он был хорошо осведомлен о состоянии техники своего времени и ее актуальных проблемах. Во вступлении к труду «Беседы о двух новых науках» Галилей писал: «Частое посещение вашего знаменитого арсенала, милостивые государи венецианцы, представляет, на мой взгляд, для пытливых умов широкое поле для размышлений, в особенности в области механики: здесь изготавливаются всякого рода машины и аппараты множеством мастеров, среди которых должно быть немало знающих и умных людей, потому что их собственные постоянные наблюдения теснейшим образом связаны с наблюдениями их предшественников». Подобный подход к техническому – предметно-практическому – опыту как к экспериментальному материалу, предмету наблюдения и теоретического осмысления вполне соответствует духу Архимеда. Представление о том, что всякая сложная техническая задача может быть и должна быть представлена как задача техническая, математическая и физическая одновременно, созрело у Галилея очень рано, и он был верен ему всю жизнь. Сочетание веры в силу научного познания, в могущество эксперимента с ориентацией научно-экспериментальной деятельности на практические задачи и их теоретическое осмысление, характерное для Галилея, было необходимо для формирования технических наук. Но даже дополненная достижениями Галилея механика XVI–начала XVII в. еще не могла претендовать на статус технической науки, потому что лежавшая в ее основе теория еще имела существенные пробелы, и прежде всего пробелы в области естественно-научного обоснования технических теорий. В силу своего огромного авторитета и ясно высказанной точки зрения Галилей более, чем кто бы то ни было до него, повлиял на становление экспериментального метода в физике и научно-техническом познании, показал роль научного познания в решении практических задач. Динамика, начала которой были заложены Галилеем, стала не про-

сто еще одним этапом развития механики как научно-технического знания или как раздела физики – ее создание означало выход теоретического мышления на более высокий уровень абстракции. Развита Галилеем терминология, в равной мере относящаяся и к физическому – естественно-научному и к научно-техническому знанию, зафиксировала этот новый уровень в теоретических понятиях, обобщавших новые представления об использовании в предметно-практической деятельности естественных свойств физических тел. Большое значение для последующего развития научно-технических знаний имели его работы в области теории трения и сопротивления материалов.

Но как ни велики были достижения Галилея, он и в последнем своем труде, специально предпринятом для систематизации результатов, полученных в механике, не выстроил их в систему, равную или подобную по упорядоченности и логической завершенности геометрии Евклида или статике Архимеда. Это обстоятельство было в свое время отмечено Декартом.

Галилей умер на руках своих последних учеников – Вивиани и Торричелли – 8 января 1642 г. «В этот день, – заключает Леонард Ольшки, – бесславно закончились четыре века универсальной руководящей культуры Италии». Духовная культура, а вместе с ней и научно-технический прогресс, задушенные в Италии католической реакцией, продолжили свое продвижение вперед в иных, более подходящих условиях, сложившихся к тому времени в других странах Европы, и в первую очередь в Англии, Франции, Нидерландах.

В XX в. творчество Галилея вызывает повышенный интерес историков науки. Не разбирая здесь разнообразные попытки установить истоки и определить характер физических идей Галилея, заметим, что ключевым для их понимания, по нашему мнению, является анализ влияния научно-технической деятельности Архимеда, с одной стороны, и современной Галилею технической практики – с другой.

**Козлов, Б. И. Возникновение и развитие технических наук. Опыт историко-теоретического исследования [Текст] / Б. И. Козлов. – Ленинград: Наука, 1988. – С.38–45.**

## **КИРИЛЛИН В. А. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

Современниками Галилея, Кеплера и Ньютона было немало первоклассных учёных-естествоиспытателей. Мы вынуждены ограничиться кратким изложением работ только шести из них: Торричелли, Мариотта, Паскаля, Бойля, Гюйгенса и Линнея.

Итальянский физик и математик *Эванджедиста Торричелли* (1608–1647) получил математическое образование в Риме под руководством Бенедетти Кастелли. Одно из сочинений Торричелли, «Трактат о движении тяжелых тел», заинтересовало Галилея, он приблизил к себе Торричелли, доверил ему обработку своих трудов. В последующие годы жизни Галилея, когда этот великий ученый стал слепым, режим его жизни судом инквизиции был несколько облегчен. Его

наиболее преданные ученики, в том числе Торричелли, могли не расставаться с ним.

После смерти Галилея, последовавшей в 1642 г., Торричелли занял его место на должности математика герцога Тосканы и профессора математики Пизанского университета.

Жизнь Торричелли оборвалась рано – он умер в возрасте 39 лет. Тем не

менее его имя прочно вошло в историю науки. Торричелли известен работами в области математики, механики, гидравлики, но наибольшую известность он завоевал тем, что путем очень простого опыта наглядно показал существование давления воздуха на поверхность Земли (т.е. продемонстрировал «тяжесть» воздуха), изобрел простейший барометр, позволяющий, как показывает само его название, измерять атмосферное давление, и, наконец, получил пространство, являющееся, как тогда казалось, совершенно пустым, – торричеллеву пустоту.

Хорошо известный прибор Торричелли представлен на рис. 7. В запаянную с одного конца стеклянную трубку налита ртуть. Затем трубка перевернута так, чтобы открытый ее конец оказался в ванночке со ртутью.

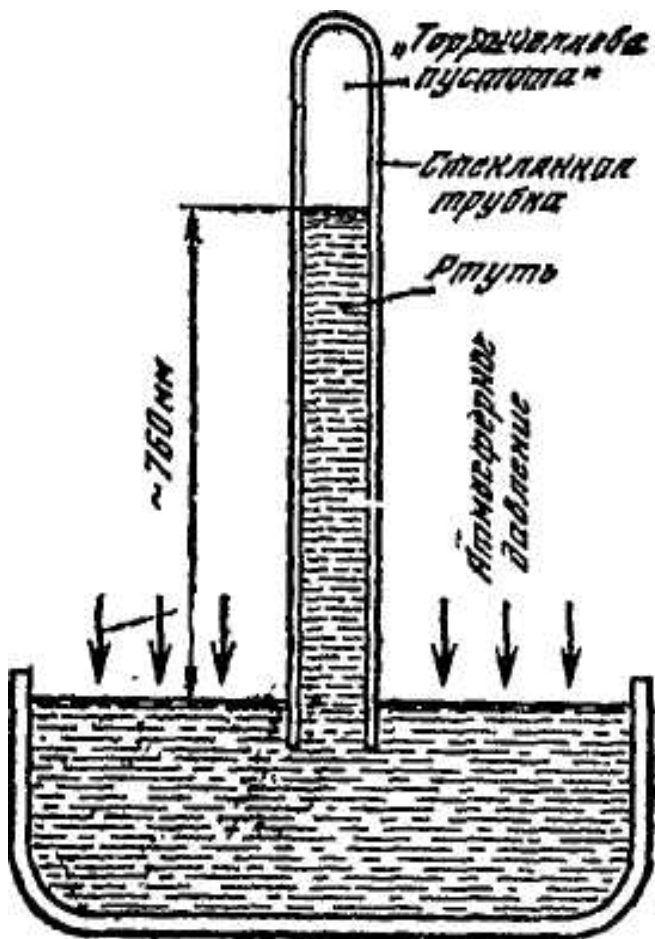


Рис. 7. Прибор Торричелли

ртути (высотой около 760 мм, в зависимости от погоды и геометрической вы-

соты местности) уравнивает атмосферное давление воздуха и, следовательно, может служить «стрелкой» барометра. В верхней части образуется торричеллева пустота.

<...> торричеллева пустота еще не совсем пустота; это не только не математический вакуум, но еще и не физический вакуум; Ртуть в приборе Торричелли удобна потому, что это – жидкость, обладающая большим удельным весом (тяжелая), и, следовательно, столбик барометра будет не слишком высоким. Если бы ртуть заменить водой, то столбик барометра имел бы длину не 760 мм, а свыше 10 м.

Французский физик Эдм Мариотт (1620–1684) был разносторонним ученым. Он занимался оптикой, дифракцией света, гидравликой, но более всего известен своими исследованиями свойств газов. Возможно, мы и не упомянули бы его имени в этой книге (к сожалению, нет возможности назвать имена всех или хотя бы большинства заслуживающих этого ученых), но имя Мариотта так

часто встречается в школьных и вузовских учебниках физики, что у читателей, возможно, могли бы возникнуть вопросы: а где же Мариотт? Почему нет Мариотта? Тем более что Мариотт действительно заслуженный ученый. В одно время с Р. Бойлем (о работах которого будет сказано ниже) и независимо от него Мариотт установил закон, согласно которому объем газа при постоянной температуре обратно пропорционален его давлению, или произведение удельного объема газа на его давление при неизменной температуре есть величина постоянная, т.е. при  $t = \text{idem}$   $p\nu = \text{const}$ , где  $p$  – давление газа,  $\nu$  – удельный объем,  $t$  – температура.

Этот хорошо известный закон носит название закона Бойля–Мариотта и во многих случаях – но далеко не всегда – удовлетворительно выполняется. Остается добавить, что Мариотт был одним из первых членов Парижской Академии наук.

Английский химик и физик *Роберт Бойль* (1627–1691) родился и провел свое детство в замке Лисмор (Ирландия), в семье герцога Корского – богатого и удачливого авантюриста. Он закончил известный колледж в Итоне на р. Темзе, совершил, путешествие по Италии, Франции, несколько лет учился в Женеве. Как и многие его сверстники (Паскаль, Стено<sup>1</sup>), Бойль попал под влияние религии. Но жизненная линия Бойля этим не определилась. Он вел аскетический образ жизни (может быть, этому содействовало его слабое здоровье), не участвовал в войне (а именно в это время в Англии велась гражданская война, республиканцы во главе с Кромвелем наносили королевской армии одно поражение за другим) – все его интересы были связаны с наукой.

Вернувшись в Англию, Бойль активно участвовал в деятельности так называемой «невидимой коллегии» – некоем прообразе Королевского общества, – обосновавшейся в Оксфорде, но проводившей свои заседания то в Оксфорде, то в Лондоне, за что она и получила свое наименование.

В 1663 г. официально было основано Лондонское королевское общество, одним из главных инициаторов образования которого был Бойль. В 1680 г. Бойль, получивший в 1665 г. степень почетного доктора физики Оксфордского университета и с 1668 г. обосновавшийся в Лондоне, был избран президентом Королевского общества, но отказался от этого поста.

Дж. Бернал пишет: «Бойль, несомненно, представлял собой центральную фигуру в Королевском обществе начального периода его существования, подобно тому как Ньютон был центральной фигурой в период его расцвета»<sup>2</sup>.

Ближайшим другом и первым помощником Бойля долгое время был разносторонний ученый и блестящий экспериментатор *Роберт Гук* (1635–1703) – сын священника с острова Уайт. Дж. Бернал пишет: «Если бы Гук имел более обеспеченное общественное положение и не страдал от своего уродства и хронических болезней, он не был бы таким обидчивым, мнительным и сварливым человеком и его выдающаяся роль в истории науки получила бы полное признание. Если Бойль представлял собой душу Королевского общества, то Гук

<sup>1</sup> Николаус Стено (1638–1686) – разносторонний датский ученый, основоположник геотектоники.

<sup>2</sup> *Бернал Дж.* Наука в истории общества, с.254.

был его глазами и руками. Он был величайшим физиком-экспериментатором до Фарадея и, подобно ему, не имел математических способностей Ньютона и Максвелла. Гук интересовался механикой, физикой, химией и биологией. Он изучил упругость и открыл то, что называется законом Гука: *ut tensio sic vis* (растяжение пропорционально силе)<sup>1</sup>; он изобрел круговой пружинный маятник, применение которого сделало возможным создание точных часов и хронометров...»<sup>2</sup>.

Возвращаясь к Бойлю, следует сказать, говоря словами Дж. Бернала, что он не имел ни данных крупнейших экспериментаторов Гука и Фарадея, ни выдающихся математических способностей Ньютона и Максвелла. Тем не менее он сделал для науки очень много. По своим научным интересам и знаниям Бойль был ученым-энциклопедистом.

Так в чем же основная заслуга Бойля? Бойль *положил начало* преобразованию химии в самостоятельную науку. Он дал определение *элементу вещества* как простому телу, которое уже не может быть разделено на другие, более простые тела. Другими словами, химический элемент, по Бойлю, это предел качественного деления вещества. Бойль категорически отвергал господствовавшее со времен Аристотеля утверждение, что огонь якобы является универсальным анализатором тел, что с его помощью (при горении) можно только разделять тела на более простые, но нельзя получать тел более сложного состава.

Бойль считал несостоятельным исходящее еще от Аристотеля утверждение о четырех стихиях (огне, воздухе, воде и земле). Он также не признавал учения Парацельса<sup>3</sup> о трех началах: сере, ртути и соли. В своих исследованиях Бойль использовал методы количественного и качественного анализа, ввел в практику исследований взвешивание. Одним словом, Бойль, как уже сказано, начал преобразование химии в науку.

Одновременно с Мариоттом и независимо от него Бойль, как уже говорилось, открыл газовый закон, известный теперь как закон Бойля–Мариотта.

Французский ученый *Блез Паскаль* (1623–1662) был математиком, физиком, писателем и религиозным философом. Он родился в г. Клермон-Ферране, в семье математика Э. Паскаля. В 1655 г. Блез Паскаль поселился в *янсенистском*<sup>4</sup> монастыре в Пор-Рояле, представлявшем тогда собой центр буржуазной оппозиции против католической церкви и абсолютизма.

Еще в детском возрасте Паскаль проявил большие способности к математике, развитию которых способствовал его отец. В области математики Паскаль считал себя учеником геометра и архитектора Жирара Дезарга, идеи которого после его смерти получили признание, но который при жизни не пользовался почти никакой известностью. Паскаль работал в области арифметики, теории чисел, алгебры и теории вероятностей. В трактате «О характере делимости чи-

<sup>1</sup> Закон Гука устанавливает линейную зависимость между *упругой деформацией* твердого тела и приложенным механическим напряжением. Например, для стержня длиной  $l$  и поперечным сечением  $s$  при растяжении продольной силой  $F$  удлинение стержня  $\Delta l = Fl/sE$ , где  $E$  – модуль Юнга.

<sup>2</sup> *Бернал Дж.* Наука в истории общества, с.255.

<sup>3</sup> Парацельс (1493–1541) – один из основателей школы ятрохимиков (врачей-химиков).

<sup>4</sup> *Янсенизм* – религиозно-философское течение в католицизме, воспринявшее некоторые черты кальвинизма и резко выступавшее против иезуитов. Ведет начало от голландского богослова Янсения.

сел» он изложил признаки делимости одних чисел на другие, в том числе с использованием суммы цифр делимого. Имеют большое значение математические труды Паскаля, в которых он изложил способ определения числа сочетаний из  $n$  чисел по  $t$ , привел основные положения теории вероятностей, дал интегральные методы определения площадей фигур, объемов тел и их поверхностей.

Физические работы Паскаля пользуются широкой известностью до настоящего времени, а его закон гидростатики, согласно которому *произведенное внешними силами давление на поверхность жидкости передается жидкостью одинаково во всех направлениях*, изучается даже в школе (рис. 8).

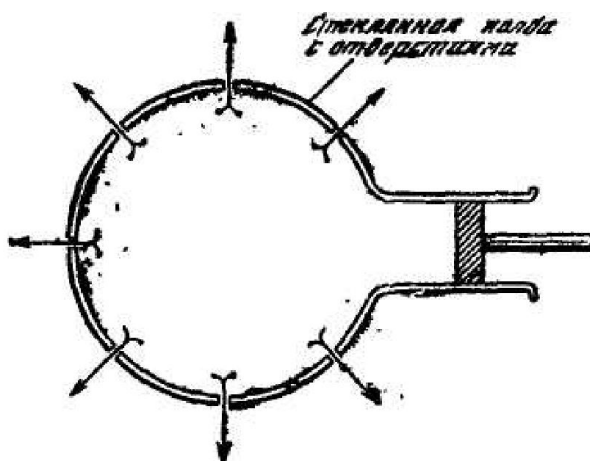


Рис. 8. Прибор, иллюстрирующий закон гидростатики Паскаля

В «Трактате о тяжести массы воздуха» Паскаль привел данные о том, что плотность воздуха становится, тем меньше, чем на более высоком уровне от поверхности Земли производятся измерения, и что показания барометра зависят, кроме того, от состояния воздуха – его температуры и влажности и поэтому барометр может служить прибором для предсказания погоды.

Философские взгляды Паскаля противоречивы. С одной стороны, он считал, что человека охватывает страх, как только он понимает, что находится *между двумя бесконечностями*: бесконечностью Вселенной и бесконечностью (огромной сложностью): ее любого элемента – большого и малого. Паскаль видел необходимость смирения, ограниченность разума, веры. Но, с другой стороны, Паскаль был не согласен с тем, что человек обречен на незнание Вселенной, в которой он живет. Его силы малы, считал Паскаль, но они есть. Пожалуй, можно сказать, выражаясь современным языком, что оптимизм Паскаля не был сбалансирован с его пессимизмом.

«Письма провинциалу», выпущенные Паскалем в свет под псевдонимом Л. Монтальта, по мнению многих литераторов, являются шедевром французской сатирической прозы. В них дана резкая критика лицемерия иезуитов. Письма подверглись осуждению со стороны церкви.

Выдающийся голландский математик, механик и, физик *Христиан Гюйгенс* (1629–1695), современник Галилея и Ньютона, родился в Гааге, в семье

писателями политического деятеля, Образование получил в нидерландских университетах городов Лейдена и Бреды.

Его первые научные статьи касаются вопросов математики. Одна из них была посвящена строгому определению числа  $\pi$  – отношения длины окружности к диаметру; другие касались вычисления длины дуг окружности, эллипса, гиперболы.

Гюйгенсу была свойственна одна очень важная черта научного творчества: связь сложнейших вопросов теории и практики, например разработка новой волновой теории света и совершенствование конструкции телескопа, новые астрономические наблюдения и изобретение часов с маятником (что, кстати, пытался сделать Галилей), дающих возможность измерять время с гораздо более высокой, нужной для астрономии точностью.

Обратимся, однако, к более систематическому обзору работ Гюйгенса. Совместно с Гуком ему удалось установить удобные постоянные точки для термометра – точку таяния льда и точку кипения воды, что было важным шагом в изготовлении простейших термометров.

Работа, проделанная Гюйгенсом по совершенствованию объективов астрономических труб, главным образом в части увеличения их светосилы<sup>1</sup>, позволила ему сделать важные астрономические наблюдения. Гюйгенс открыл один из крупнейших спутников среди планет Солнечной системы – спутник планеты Сатурн, носящий название Титан и имеющий, как теперь известно, атмосферу, состоящую из метана. Он определил также, пользуясь телескопом, имеющим в три раза большую степень увеличения, чем телескоп Галилея, что Сатурн имеет тонкое кольцо вокруг своей поверхности. Гюйгенс, кроме того установил и дал описание туманности в созвездии Ориона и полос на поверхностях Юпитера и Марса.

Работы Гюйгенса по математике и астрономии сделали его имя широко известным. Гюйгенс посетил Лондон, познакомился со многими английскими учеными и в 1663 г. был избран первым иностранным членом Лондонского королевского общества. По приглашению французских ученых Гюйгенс в 1665 г. приехал в Париж и оставался там около 16 лет, будучи избран членом Французской академии наук, занимаясь главным образом маятниковыми часами и в целом вопросами физики и математики движения маятника. Опубликованная Гюйгенсом в Париже книга «Маятниковые часы» (второе издание, гораздо более полное и во многом отличавшееся от первого, вышедшего в Голландии на 15 лет ранее) включала много интересных вопросов: свойства циклоиды (рис. 9), представляющей собой плоскую кривую, образующуюся точкой окружности (например, точкой  $P$ ), катящейся без скольжения по прямой; определение центра качания физического маятника<sup>2</sup> (рис. 10). Книга «Маятниковые часы», как и все творчество Гюйгенса (о чем уже говорилось), отличалась необычайной

<sup>1</sup> *Светосила* – характеристика оптической системы – отношение освещенности изображения, создаваемого оптической системой, к яркости изображаемого предмета.

<sup>2</sup> *Физический маятник* – тело, совершающее под действием тяжести колебания вокруг оси, не совпадающей с центром тяжести маятника. В отличие от физического маятника *математический маятник* представляет собой материальную точку, совершающую колебания под действием силы; такой маятник может быть приблизительно сделан в виде тяжелого груза малых размеров, подвешенного на тонкой нити.

слитностью теории и практики (техники). Примерно такой же характер носила последняя перед отъездом из Парижа работа Гюйгенса: он начал разработку проекта некоторого подобия планетария – машины, которая должна была с помощью зубчатых колес и других механических устройств имитировать Солнечную систему в движении.

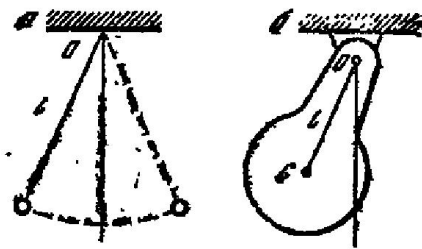
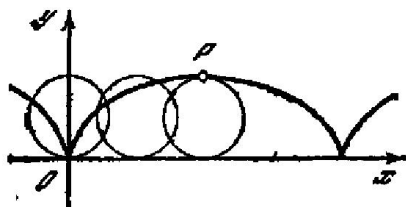


Рис. 9. Плоская кривая циклоида      Рис.10. Математический (а) и физический (б) маятники

В 1681 г. Гюйгенс возвратился в Голландию. Главной причиной этого были трудности, переживаемые протестантами во Франции, которые могли коснуться и Гюйгенса. Вероятно, наиболее крупным делом среди тех дел, которые он совершил после возвращения в Голландию, было создание *волновой теории света*, изложенной в книге «Трактат о свете», напечатанной в 1690 г.

Говоря о работах Ньютона, в которых рассматривается физическая природа света, мы уже упоминали о том, что в настоящее время признается, что свет обладает свойствами как потока частиц (корпускулярными свойствами), так и волн (волновыми свойствами). Мы должны будем еще раз вернуться к этому вопросу, когда доведем наше повествование до физики сегодняшних дней.

Во времена Ньютона и Гюйгенса, а также на протяжении XVIII и XIX вв. существовали два наиболее распространенных представления о природе света, казалось явно противоречащие друг другу, – корпускулярное и волновое. Приводились основанные на опыте доводы как в пользу первого, так и в пользу второго представления. Ньютон рассматривал свет как поток корпускул. Об этом уже говорилось, и мы не будем повторять его соображений и доводов.

Гюйгенс, современник Ньютона, был сторонником другого представления о природе света – волнового. Следовательно, свет, по Гюйгенсу, представляет собой, об этом говорилось выше, как и всякая волна, перенос энергии, но не перенос массы. Но волна может образоваться только в какой-то среде. Значит, если волновая теория света верна, какая-то среда должна заполнять и межпланетное пространство. Чтобы выйти из этого затруднения, Гюйгенсу пришлось воспользоваться представлением об *эфире* – гипотетической субстанции, заполняющей всю Вселенную; в эфир как бы погружена Вселенная. Причем о структуре эфира ничего не было известно. Можно было только предполагать, что, поскольку скорость распространения света очень велика – в вакууме 300 тыс. км/с, упругость эфира должна быть колоссальной.

Какие же имеются преимущества и какие отрицательные стороны у волновой теории света по сравнению с корпускулярной?

Отрицательной стороной волновой теории света, до тех пор пока не была выяснена его электромагнитная природа (что было сделано намного позднее и о чем речь идет ниже), была необходимость ввести новую субстанцию – эфир, в которую должна быть как бы погружена вся Вселенная, а структура и свойства которой неизвестны. Более того, до тех пор пока мы рассматриваем все процессы и явления с точки зрения механики, т.е. пытаемся свести все процессы и явления в конечном итоге к механическим (а во времена Ньютона и Гюйгенса и значительно позже поступали именно так), очень трудно ответить на такой вопрос: почему взаимодействие между эфиром и веществом в оптических явлениях существует (свет проходит через вакуум, т.е. через эфир, с одной скоростью, а, например, через воду или стекло с другой), а в механических, когда через эфир проходят, например, планеты, такого взаимодействия нет?

Вместе с тем введение гипотетического миррвого эфира, на чем настаивал Гюйгенс, снимало необходимость введения огромного числа разновидностей световых корпускул (каждый цвет, по Ньютону, отвечает одному виду корпускул). Многообразие цветов волновая теория света объясняет тем, что световые волны различной длины соответствуют различным цветам. Так как в эфире скорости волн всех длин одинаковы, то мы видим только «суммарный» белый цвет. При прохождении света через иную среду, например через стекло, показатель преломления зависит от длины световой волны, поэтому происходит разложение света в спектр.

Имя Гюйгенса известно также в связи с открытым им принципом (принцип Гюйгенса), имеющим большое значение в понимании волновых процессов.

Соперничество между корпускулярной и волновой теорией света продолжалось еще долго и закончилось в пользу волновой теории в начале XIX в. – после того как английский врач *Томас Юнг* (1773–1829) и французский физик *Огюстен Жан Френель* (1788–1827) показали, что свет способен огибать препятствия, не делая четких теней, что противоречит корпускулярной теории, а достаточно малые препятствия вообще не отбрасывают никакой тени, что согласуется с волновой теорией. Однако вопрос о природе света и после этого ещё нельзя было считать окончательно решенным – оставалась еще необходимость в признании «светоносного эфира», обладавшего несовместимыми качествами высокой разреженности и высокой упругости,

В последнем произведении Гюйгенса – «Космотеорос», опубликованном после его смерти и переведенном примерно через 20 лет после выхода в свет по указанию Петра I на русский язык, высказывается предположение о том, что во Вселенной имеется множество обитаемых миров.

**Кириллин, В.А.** Страницы истории науки и техники. [Текст] / **В.А. Кириллин.** – Москва: Наука, 1986. – С. 215–225.

## **МАНДРЫКА А. П. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПЕРЕВОРОТ И СТАНОВЛЕНИЕ МАШИННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **§1. Техника и содержащиеся в ней предпосылки развития механики**

Период промышленной революции в Англии и во Франции, или, как его иногда называют, промышленный переворот, охватывает конец XVIII и начало XIX в. В это время произошли те коренные преобразования техники, которые во многом повлияли на характер её последующего развития.

Революционные преобразования в технике в изучаемый период дают право предполагать, что в это время произошли принципиальные изменения в соотношении между механикой и техникой, т. е. началось более интенсивное использование положений этой науки в решении возникших технических задач, с одной стороны, и стало более заметным воздействие техники на развитие механики – с другой. Но, согласно имеющимся в литературе высказываниям, большого сближения между механикой и техникой в изучаемый период не наблюдалось. Возможно, это утверждение и не лишено основания, однако оно не вполне отвечает действительности. Анализируемые взаимные связи, вообще говоря, изменились по сравнению с предшествующей эпохой, но они достаточно сложны, чтобы можно было ответить на исследуемый вопрос однозначно. Здесь требуется всесторонний анализ всей системы существовавших в конце XVIII и в начале XIX в. факторов. Начать же целесообразно с рассмотрения имевшейся техники и тех предпосылок, которые она могла дать для развития механики.

Промышленная революция XVIII в. подразделяется, как известно, на два этапа. Первый из них заключается в переходе от ручного способа производства к машинному, что было первоначально осуществлено в текстильном производстве Англии. В результате в промышленность внедряются технологические машины, или машины-орудия, которые заменили функции рук человека. Вторым этапом состоял в распространении в промышленности и на транспорте универсального двигателя – паровой машины. Естественно, что мануфактурный период развития человеческого общества, предшествовавший машинному, подготовил названные преобразования, в первую очередь с технической стороны. Имеются в виду уже известные ранее технологические машины, механизмы и узлы, а также разнообразные водоподъёмные устройства, во многом по своей конструкции предвавшие паровой двигатель.

Появление технологических машин, которые позволили передать функции рук человека машине, было связано со стремлением повысить производительность труда рабочих и удовлетворить запросы рынка в текстильных изделиях <...>.

Помимо этого, требовалось и обеспечение средств их доставки на место сбыта, т. е. на рынок. В XVIII же веке, особенно в его, конце, возрастает число колоний у крупных государств, стоящих на капиталистическом пути развития, например у Англии. А именно колонии служили для них важнейшим рынком сбыта. Поскольку же они находились чаще всего далеко от метрополии и были нередко отделены от неё большими водными пространствами, то для сбыта изготовлявшихся изделий требовалось развитие мореплавания, а следовательно, и

кораблестроения. Для удовлетворения нужд рынка, а также для обеспечения промышленности сырьём возростала потребность и в наземных средствах передвижения. Отсюда возникла необходимость в использовании паровой машины во внедрявшемся железнодорожном транспорте, что стало осуществляться к концу изучаемого периода. Это же выдвигало в порядок дня строительство надёжных мостов. Вот факторы, явившиеся следствием промышленного переворота XVIII в. и послужившие предпосылками развития некоторых областей механики.

Нужно отметить и ещё одно обстоятельство, явившееся следствием промышленной революции XVIII в. Распространение технологических машин, в первую очередь текстильных, а также всё более возрастающее в объёме производство паровых двигателей привело к зарождению промышленности, которая производит агрегаты, входящие в их состав. В результате в конце 30-х годов XIX в. было заложено начало машинного производства. Промышленный переворот привел, таким образом, к преобразованию техники в широком смысле.

Сначала предстоит выяснить, в чём с точки зрения механики состоял первый этап промышленного переворота. Это в свою очередь позволит найти ответ (на данном этапе исследования гипотетически) на следующий вопрос: могли ли положения теоретической механики быть использованы для решения технических задач, связанных с проведением промышленного переворота, а затем выяснить, поставила ли новая техника проблемы, которые повлекли за собой дальнейший прогресс механики. Чтобы ответить на эти вопросы, следует подробнее остановиться на истории развития технологических машин XVIII в.

Необходимо подчеркнуть, что промышленный переворот имел место первоначально в Англии – наиболее развитом в техническом отношении государстве Европы. Выше уже говорилось, что первый этап промышленной революции был связан с перевооружением текстильного производства и заключался в замене рук человека машиной, т. е. во внедрении технологических машин. Прототипом подобных машин в прошлом служили толчеи, дробилки, молоты и т. п. Однако они не давали продукта труда в пригодном для употребления виде. Особенность новых технологических машин и заключалась в том, что они выпускали готовую продукцию. Кроме того, эти станки обеспечивали её массовое производство. Когда же появились текстильные машины и каково было их устройство?

Первый шаг в направлении передачи функции рук человека машине был сделан в целях повышения производительности труда в ткацком деле. В 1731 г. в Англии коренным образом совершенствуется ткацкий станок, в котором ручная операция продёргивания челнока между нитями основы была передана машине. Повышение производительности ткацких станков повлекло за собой необходимость увеличения выработки пряжи. Это привело к усиленной работе над созданием более совершенных прядильных станков. Некоторые из изобретенных машин обладали техническими усовершенствованиями принципиального характера и могли удовлетворить возникшие запросы. Новый станок передавал машине действие пальцев человека.

Одной из первых прядильных машин был станок Харгривса, предложенный им в 1768 г. Один рабочий приводил в движение до семидесяти веретен, что сразу же резко повысило выпуск пряжи. Поскольку же число веретен могло быть увеличено ещё более, что и наблюдалось в действительности, следовало подумать о переходе к более мощным источникам энергии, чем использовавшаяся мускульная сила человека или животного. Таким двигателем явилось получившее достаточное распространение в промышленности водяное колесо. Первая же прядильная машина с приводом от этого двигателя – ватер-машина – была запатентована Аркрайтом в 1769 г. В этом станке была решена задача по обеспечению равномерности работы движущихся частей. Таковы вкратце изменения в технике производства ткани и пряжи.

Если Англия занимала по переоснащению промышленности текстильными машинами и паровыми двигателями первое место в Европе, то Франция в рассматриваемый период, особенно же в начале XIX в., шла впереди по разработке механики, как по форме, так и по существу. По техническому же перевооружению промышленности она отставала от Англии достаточно сильно. В конце XVIII в., например, во Франции не имелось и признаков сколько-нибудь широкого применения прядильных машин и ткацких станков. Эта новая техника начала проникать во французскую промышленность примерно в первое десятилетие XIX в. сперва в виде машин, импортируемых из Англии, а затем и станков с усовершенствованиями, внесенными уже в самой Франции. Этим объясняется, почему во Франции текстильные машины начали находить отражение в руководствах по прикладной механике только в 20-х годах XIX в. <...>.

Принцип действия новых текстильных машин определялся кинематической схемой исполнительного органа. Однако, несмотря на это, в середине XVIII в. кинематика ещё не находилась даже в стадии зарождения. В Англии механика в это время не разрабатывалась, тем более что там не было и крупных учёных в этой области. В результате трудно было ждать появления исследований по кинематике механизмов. Начало изысканий в этой области относится к концу XVIII в. Они были выполнены во Франции. Однако к новой технике эти исследования имели самое отдалённое отношение, поскольку в трудах учёных, занимавшихся этой проблематикой, нельзя найти даже упоминания о ней. Поэтому нет основания говорить и о прямом влиянии текстильных машин на разработку динамики системы материальных точек <...>.

Распространение же водяных колес и их всё более широкое применение в той же Англии, а затем и в других государствах Европы в связи с необходимостью энергообеспечения возрастающего числа ткацких и прядильных фабрик, несомненно, привлекло внимание механиков к решению возникших задач гидродинамики, а затем и к разработке такой технической науки, как гидравлика. Это связано и с тем, что гидравлика и гидростатика являлись теми традиционными науками, которыми учёные занимались со времён античности и эпохи Возрождения. В эти области в середине XVIII в. и был внесен достаточно крупный вклад.

Второй этап промышленной революции заключался, как говорилось, во внедрении в производство более мощного, чем водяное колесо, двигателя – па-

ровой машины. Это «... двигатель универсальный по своему техническому применению и сравнительно мало зависящий от тех или иных условий места его работы», – писал К. Маркс <...>. Здесь в первую очередь имеется в виду независимость двигателя от источника энергии, так как в противоположность водяным колесам он мог быть установлен и вдали от водных артерий. Однако прообразы паровых машин получили первоначально распространение не в текстильной промышленности, а для решения других производственных задач – для откачки воды в шахтах, а также для приведения в действие шахтных и рудничных вентиляторов.

Наиболее близкой предшественницей паровой машины Уатта, которой суждено было стать фундаментом промышленной революции на втором её этапе, была машина, изобретённая слесарем и кузнецом из Дортмунда Ньюкоменом. Насос Ньюкомена включал поршень, который опускался под воздействием сжатого в цилиндре пара. Цилиндр же был непосредственно соединен с котлом, заполненным паром под низким давлением. Машина Ньюкомена предназначалась для откачки воды в рудниках. Главное её преимущество по сравнению с другими машинами такого рода заключалось в том, что она давала однонаправленное вращение вала. Но это движение оставалось прерывистым – недостаток, который был устранен аккумулярованием энергии, как это было сделано в машине И. И. Ползунова и в двигателе Уатта.

Уже машина Ньюкомена явилась серьёзным шагом к превращению тепловой энергии в механическую, естественно, совершенно неосознанно, поскольку изобретатель не был осведомлён в физике даже на уровне своего времени. Для понимания же сущности превращения тепловой энергии в механическую сведений из области механики, а именно динамики, было недостаточно. Правда, и в механике Ньюкомен был некомпетентен. Он располагал сведениями о работе построенных тепловых машин, как например машины Севери, и, безусловно, был знаком с действием насоса, тем более что его машина была предназначена для откачки воды. И, несмотря на то, что принцип действия насоса был установлен наукой еще в XVII в., едва ли эта теория была известна Ньюкомену. Он создавал свою машину на эмпирических началах.

Более обоснованно с точки зрения привлечения теоретических положений подошёл к созданию парового двигателя Уатт – механик лаборатории университета в Глазго. В процессе работы над своим двигателем, совершенствуя машину Ньюкомена, он общался с физиком Блэком. Этот английский учёный установил данные об удельной теплоёмкости некоторых веществ и имел, таким образом, представление о скрытой теплоте парообразования. В итоге Уатт пришёл к идее о сгущении пара в специальном конденсаторе. Именно отделение конденсатора от парового двигателя явилось одним из главных усовершенствований, внесённых Уаттом в машину Ньюкомена и открывшим дорогу для повышения коэффициента полезного действия паровой машины. Машина Уатта была создана им в 1775 г., вскоре стала использоваться в Англии в промышленных целях и уже к концу XVIII в. нашла здесь широкое распространение. В начале XIX в. этот двигатель получил признание во Франции, Бельгии и Германии. С середины того же столетия двигатель стал применяться и в России.

Следует обратить внимание на те проблемы, которые поставило перед механикой внедрение в производство паровой машины. Изобретение этого двигателя не основывалось на глубоких теоретических началах и поэтому не могло на них опираться, но оно, хотя и не сразу, поставило перед механикой целый комплекс проблем. Среди них следует назвать вопросы регулирования равномерности хода двигателя, т. е. теорию махового колеса, затем теорию предложенного Уаттом регулятора подачи пара, а также исследование работы кривошипно-шатунного механизма, или параллелограмма Уатта. Если в конце XVIII в. эти задачи, так же как и функционирование паровой машины в целом, привлекли внимание крупных механиков лишь в самой общей форме, и то далеко не многих, то в 20-х, а особенно в 30-х годах XIX столетия эти вопросы не только нашли отражение в руководствах по прикладной механике, но и стали предметом серьёзного исследования. В первую очередь имеется в виду изучение работы маховика и равномерности вращения, вала двигателя. Этими проблемами занимались, правда, не в Англии, где, как будет видно из дальнейшего, прикладная и теоретическая механика в рассматриваемый период не разрабатывались сколько-нибудь серьёзно, а во Франции, в которой, благодаря происшедшей там политической революции, организационные формы разработки науки претерпели коренные преобразования, приведшие к созданию эффективно действующей школы механиков <...>. Проникновение в промышленность парового двигателя явилось, пожалуй, одним из важнейших стимулов со стороны производственной техники для построения основ прикладной или практической механики.

Паровая машина поставила в порядок дня и ещё одну проблему, бытовавшую в изучаемый период среди инженеров и механиков-теоретиков, однако в неявной форме. Речь идет о законе превращения тепловой энергии в механическую, а если говорить в более широком смысле, о законе превращения энергии. Как известно, этот закон был сформулирован много позднее, т. е. в середине XIX в. <...>, но в конце XVIII столетия уже были обнаружены некоторые его предпосылки. А это означало, что открывалась перспектива для построения моста между механической формой движения и тепловой, а следовательно, путь к более верному представлению о понятии энергии и работы. Создание паровой машины повлекло за собой, пусть опосредствованным образом, построение механики на совершенно иных принципах, чем это делалось прежде.

Промышленная революция XVIII в. не могла быть осуществлена без использования более прочного материала, чем применявшееся ранее дерево. Для изготовления мощных молотов (сначала гидравлических, а затем паровых), прокатных станов, наконец, токарных и сверлильных станков всё шире использовались чугун и железо. Эти же материалы находили применение и в железнодорожном строительстве, в первую очередь при сооружении мостов. Это способствовало развитию металлургии, основанной на пудлинговом способе производства чугуна. Понятно, что паровые машины, становившиеся всё более распространённым источником энергии в металлургической, металлообрабатывающей, текстильной промышленности, а также на транспорте, требовали всё большего количества угля. Для этого надо было повышать его выработку, что

привело к изобретению и внедрению врубовых машин и их совершенствованию. Техническая революция захватила, таким образом, и горнодобывающую промышленность. Однако в XVIII в. переворот не включал ещё применения научных знаний, почему его называют лишь технической революцией, а не научно-технической.

Выше в общих чертах было охарактеризовано состояние производства и уровень развития техники в наиболее развитых странах мира. Поскольку использование механики и в этих странах было минимальным, то нет необходимости детально останавливаться на описании применявшейся техники. Но так как эта техника и последующее её развитие всё же в какой-то степени повлияли на прогресс механики, что будет явствовать из последующих глав, стоит сказать об этом хотя бы в общих чертах. Такой обзор имеет смысл сделать особенно потому, что развитие техники привело к возникновению прикладных областей механики, а затем и технических наук. Что касается теоретической механики (если иметь в виду её разделы, рассматривающие материальную точку, абсолютно твёрдое тело и систему точек), то в этих областях она эволюционировала по своим логическим законам, питая возникавшие прикладные области или технические науки механического цикла своими результатами и методами.

Начало технического переоснащения металлообрабатывающей промышленности относится к середине XVIII в. Так, в Англии около 1750 г. был изобретен станок для нарезки губчатых колес. Это дало возможность сооружать водяные мельницы с литыми чугунными или стальными зубчатыми колесами вместо деревянных. В конце XVIII в. Вилькинсон построил усовершенствованный станок для расверловки стволов орудий. Затем изготавливается станок для расточки цилиндров паровых машин. Наиболее же значительными нововведениями следует считать переход к изготовлению станков из металла, распространение предложенного Модели супорта и изобретение на его основе токарно-винто-нарезного станка.

Перечисленные технические усовершенствования были осуществлены преимущественно в Англии, хотя и в других странах Европы и в Северной Америке было сделано немало крупных изобретений. Однако только в Англии важнейшие изобретения были внедрены в промышленность, что сразу же поставило это государство впереди всех других стран по технической оснащённости производства. Подобное переоснащение промышленности было необходимо ещё и потому, что масштабы изготовления технической продукции стали принимать массовый характер. Примером может служить организованный Уитни в 1789 г. завод по изготовлению мушкетов. Здесь при производстве деталей уже требовалась большая точность, которую могли обеспечить только машины. Поэтому именно Англия и выпускала изделия с наиболее высокой точностью обработки.

Выше было обращено внимание на развитие (по классификации К. Маркса) в период промышленной революции первой части машины, т. е. двигателя, и третьей – исполнительного механизма, или машины-орудия. Обычно с коренным усовершенствованием этих двух частей машины связывают техническую революцию XVIII в. Однако в это время претерпевает большие

изменения и вторая часть машины – трансмиссия. Усовершенствования этой части машины обуславливались необходимостью приводить в действие от одного двигателя большое число технологических станков. Поэтому получают широкое применение ременные и фрикционные передачи, зубчатые зацепления, редукторы и многие другие виды трансмиссии. Но не усовершенствования этой части машины определяли происшедший в промышленности XVIII в. качественный скачок.

## **§2. Техническое образование**

Во второй половине XVII и в начале XVIII в. контингент инженеров уже начал формироваться. Однако их число было ограниченным, а уровень подготовки невысоким. До конца XVIII в. инженеры занимались преимущественно возведением военных сооружений, а также постройкой каналов и водяных мельниц, т. е. работали в области гидротехники. В машиностроении, в частности технологическом, в изучаемый период продолжали работать преимущественно ремесленники, т. е. лица, не получившие специального технического образования. Основная потребность в инженерах появилась в итоге роста железнодорожного строительства, в частности постройки мостов. Ко времени, когда эти работы развернулись в крупных масштабах, уже имелись высшие технические учебные заведения, учреждённые в итоге нужд, исходивших от ряда областей, а также в результате общей тенденции развития высшего образования.

В крупнейших государствах Европы почти до конца XVIII в. функционировали лишь артиллерийские, военно-инженерные и горные школы – чаще всего средние технические учебные заведения. Это накладывало отпечаток на характер преподавания там дисциплин, например на такой общетехнический предмет, каким была механика. Занятия сводились к изложению теории «простых» машин, т. е. к ознакомлению со статикой в приложении к грузоподъёмным устройствам. Специального курса машин не было, и преподавание ограничивалось описанием известной производственной техники.

Книги и статьи, посвящённые вопросам машиностроения и описанию различного рода технических устройств, стали выходить в свет ещё до промышленной революции в Англии. Однако в большинстве случаев по характеру изложения эти книги не были рассчитаны на сколько-нибудь широкий круг читателей, а кроме того, они издавались на латинском языке, что также ограничивало спрос на них. Тем не менее с середины XVIII столетия начинается тенденция вовлечения всё более широкого круга людей в деятельность, связанную с разработкой технических проблем. Инженеры и учёные объединялись в общества и ассоциации, которые нередко издавали специальные журналы. Технические вопросы привлекали, таким образом, всё большее внимание. Но для подготовки инженеров, т. е. лиц, которые могли бы способствовать техническому переоснащению промышленности с привлечением науки, необходимо было начать с коренной перестройки системы образования, в первую очередь технического.

Реформа технического образования, необходимая как для формирования достаточного числа сведущих в математике и механике инженеров, так и для разработки технических наук, фактически началась с конца XVIII в. Эти преоб-

разования явились откликом на промышленную революцию, проходившую в наиболее крупных государствах Европы. Реорганизация в названном плане проводилась в различных странах неодинаково по форме и по существу и определялась спецификой развития в них науки и техники, а также культурным и философским климатом. Изменения в технической подготовке инженеров носили наиболее принципиальный характер во Франции и оказали к тому же большое влияние на постановку технического образования не только в Европе, но и в Северной Америке.

Университеты были, конечно, старейшими высшими учебными заведениями Франции. Однако в них преподавались преимущественно гуманитарные дисциплины, в том числе и богословие; математика же и механика были включены в читаемые курсы только в некоторых университетах. Естественно, что о преподавании технических наук не могло быть и речи. Одним из мероприятий Конвента, направленных на реорганизацию системы образования в сторону его сближения с общественной практикой, был роспуск в 1791 г. всех двадцати двух университетов.

Франция была государством, где ещё в первой половине XVIII в. техническое образование стояло на сравнительно высоком уровне. В начале столетия там было открыто 34 навигаторские школы, к которым позднее были присоединены три вменись морские. В середине XVIII в. учреждаются артиллерийские школы в Ла-Фере, Бапоне и Шалоне-на-Марне. Примерно в это же время была открыта инженерная школа в Мезьере, переведённая в начале XIX в. в г. Мец и получившая название Аппликационной инженерной и артиллерийской школы. Кроме военных учебных заведений, в середине XVIII в. в Париже были основаны и гражданские технические школы, такие как Национальная школа мостов и дорог и Национальная горная школа. В перечисленных учебных заведениях специальные курсы механики или теории машин не читались, о чём уже упоминалось выше. Однако были изданы руководства, где задачи технического характера строились на достаточно солидном математическом фундаменте с привлечением важнейших положений механики. К числу этих трудов следует отнести руководства Белидора и Безу, предназначенные для артиллерийских школ. Очагом проведения реформы технического образования послужила инженерная школа в Мезьере, откуда вышли такие крупные инженеры, как Монж и Л. Карно.

Французские технические школы в XVIII в. не выпускали инженеров с высшим техническим образованием. Наиболее солидную подготовку получали лица, окончившие инженерную школу в Мезьере, которая, собственно, и дала учёных, превративших Париж в центр развития механики в Европе. Одновременно эта школа подготовила специалистов, составивших ядро профессуры Парижской политехнической школы. Существовавшие же во Франции технические учебные заведения не могли дать инженеров, способных ставить и разрешать сложные технические задачи: здесь – в отличие от Англии – искали способ быстрого развития промышленности в привлечении теории, т. е. механики или основанных на ней технических дисциплин. Для решения же этой задачи необходимо было создать именно высшее техническое учебное заведение.

Происшедшие во Франции реформы в области технического образования явились следствием политической революции. Во главе науки стояли прогрессивные деятели того времени – учёные, близкие к практике. Они понимали, что наиболее правильный путь для достижения страной уровня развития промышленности Англии заключался в привлечении науки, и прежде всего механики, что неизбежно должно было привести к ломке технического образования. Буржуазная революция побудила крупнейших ученых Франции, какими были Монж и Карно, заняться наравне с разработкой проблем механики также и политической деятельностью, нацеленной, кроме всего прочего, на реорганизацию форм технического образования и научно-исследовательской работы. Эрудиция этих учёных плюс существовавшие в стране благоприятные социально-политические условия дали необычайно эффективные результаты.

Учрежденная в 1795 г. Парижская политехническая школа оказала революционизирующее влияние на разработку в Европе теоретической и прикладной механики и на постановку высшего технического образования. Во вновь созданном учебном заведении была упразднена система ученичества, практиковавшаяся в технических школах не только Франции, но и других государств. Взамен была введена лекционная система и лабораторные занятия. Политехническая школа давала выпускникам солидную физико-математическую подготовку, после чего они поступали в одну из специальных технических школ – Горную, Школу мостов и дорог или Аппликационную артиллерийскую школу в Меце, где приобретали уже инженерные знания. Кроме этих преимущественно организационных преобразований, в Политехнической школе были проведены и кардинальные реформы в отношении читаемых там курсов.

Впервые в истории высших учебных заведений, в том числе, и университетов, в Парижской политехнической школе был введён курс теоретической механики. Это уже являлось серьёзной основой для инженерной подготовки студентов, а главное – фундаментом для разработки зарождавшихся технических наук. Монжем, а несколько позднее Ашеттом был подготовлен курс механики машин – первой технической науки, с которой стали знакомить воспитанников в стенах высшего учебного заведения. В качестве профессоров по ведущим дисциплинам были приглашены крупнейшие учёные Франции: Лагранж, Пуассон, Монж, Ашетт, позднее – Навье, Понселе и многие другие, не только механики, но математики, физики и химики. Это позволило Парижской политехнической школе стать первоклассным высшим техническим учебным заведением и научно-исследовательским центром, в первую очередь по прикладной и теоретической механике. Сказанное послужило основой для формирования парижской школы математиков и механиков, сыгравшей важную роль в разработке таких технических наук, как сопротивление материалов, гидравлика, баллистика, главное же – прикладная механика. Большое значение в этом имели также руководства и труды, написанные профессурой Парижской политехнической школы.

Разработка прикладной механики во многом проходила по линии деятельности Консерватории (хранилища) искусств и ремесел, где были собраны машины, механизмы, их модели, проекты в чертежи. Среди хранившейся в Кон-

серватории техники были и действующие образцы. На этой материальной базе строилась научно-экспериментальная работа учреждения, представлявшего собой прообраз современного научно-технического института, особенно если иметь в виду, что к работе в Консерватории были привлечены крупнейшие специалисты в области прикладной механики, например Дюпен и Кристиан, бывший к тому же длительное время директором учреждения. На высоком теоретическом уровне читались популярные лекции по всевозможным разделам техники и производства для фабрикантов, инженеров, мастеров и даже для наиболее квалифицированных рабочих. Из этого же учреждения вышло и знаменитое руководство Понселе «Индустриальная механика». Стало быть, Консерватория являлась в первую очередь проводником последних достижений техники в среде широкого круга лиц, в той или иной степени заинтересованных в её совершенствовании. Это последнее обстоятельство до конца XVIII в. являлось прерогативой Парижской Академии наук.

В течение более ста лет после своего основания Парижская Академия наук достаточно эффективно служила совершенствованию техники и ремесел. Однако проходившая во Франции промышленная революция не могла удовлетвориться существовавшими в Академии порядками, тем более что техническая направленность работы стала там ослабевать, а запросы техники к механике возросли. Для сближения науки с техникой французская буржуазия и создала такие учреждения, как Парижская политехническая школа и Консерватория искусств и ремесел. С этой же целью в 1795 г. была преобразована и Парижская Академия наук, называвшаяся некоторое время Институтом Франции. В результате центр тяжести работ был сосредоточен преимущественно на исследованиях в области теоретической механики, т. е. фундаментальной науки, лежавшей в основе складывавшейся в то время прикладной механики. Членами Института Франции, или Академии, были такие крупные ученые, как Лаплас, Лагранж, Лежандр, позднее Пуассон, Пуансо и др. Многие из них были профессорами Парижской политехнической школы или сотрудничали в Консерватории.

В рассматриваемый период, особенно в первой трети XIX в., наибольшее значение в плане сближения механики с техникой имели вышедшие во Франции труды по теоретической и прикладной механике. Издававшиеся здесь руководства по теоретической механике близко стояли к запросам практики и были достаточно понятны для инженеров. Примером могут служить труды конца XVIII в. Монжа или Л. Карно, особенно же неоднократно переиздававшийся курс Пуассона, впервые вышедший в 1811 г. Книги по прикладной механике первой трети XIX в. Ланца и Бетанкура, Ашетта, Борньи, Кристиана, Понселе и других ученых последовательно всё более полно оснащались теоретическими положениями.

Благодаря коренным реформам в системе технического образования Франции там появилась плеяда механиков-теоретиков, сыгравших крупную роль в формировании ряда важнейших технических наук, которые связывали механику с техникой в изучаемый период и позже.

Во Франции развитие механики и реорганизация высшего технического образования были нацелены на удовлетворение запросов практики и в то же время наилучшим образом объединяли оба направления – теоретическое и прикладное. Однако такая гармония имела место во Франции лишь в рассматриваемую эпоху. С середины XIX в. в этой стране начинает превалировать разработка теоретических проблем. В эволюции механики наиболее полное сочетание теории с практикой наблюдалось в России.

В середине XVIII в. центром исследований по механике не только в России, но и в Европе служила Петербургская Академия наук, причем главная заслуга в этом принадлежала Эйлеру. Образовалась целая группа механиков, таких как Л. Ф. Крафт, С. Е. Гурьев и некоторые другие, уступавших, правда, по значению и масштабам творчества основателю Петербургской школы механиков Эйлеру. В 30-е годы XIX в. в состав Петербургской Академии наук вошёл выпускник Харьковского университета, последователь французской школы механиков М. В. Остроградский, который внёс новую струю в разработку проблем механики в России.

Петербургская Академия наук представляла собой центр научно-исследовательской мысли России не только в области механики, но и в других областях знаний. Однако Академия не решала задач, стоявших перед высшими учебными заведениями, которые готовили бы механиков и инженеров. Первую категорию специалистов должны были выпускать университеты, вторую – высшие технические учебные заведения.

Основанный в 1755 г. Московский университет сыграл видную роль не только в серьёзной подготовке специалистов и в разработке теоретической и прикладной механики, но и в формировании московской ветви школы механики. При этом первом в России университете было в середине XIX в. основано Математическое общество. К началу XIX в. относится учреждение университетов в Казани (1804 г.), Харькове (1805 г.) и Петербурге (1819 г.). Эти учебные заведения готовили специалистов, хорошо осведомлённых в теоретической механике с креном в сторону её технических приложений.

В 1773 г. в Петербурге было основано Горное училище – высшее техническое учебное заведение, сыгравшее большую роль в подготовке инженеров и в пропаганде теоретических знаний о машинах среди техников и инженеров-практиков. Позднее в Петербурге же открывается Институт корпуса инженеров путей сообщения (1810 г.), Главное инженерное училище (1810 г.), Практический технологический институт (1828 г.), а также Михайловское артиллерийское и Николаевское инженерные училища (1819 г.). Эти высшие технические учебные заведения пополняли контингент инженеров хорошо подготовленными в механике и технике специалистами. Из этих институтов вышли и многие учёные, которые способствовали развитию технических наук, таких как теория механизмов и машин, сопротивление материалов, баллистика и др.

Открытие в России университетов и высших технических учебных заведений свидетельствует о том, что в стране рос интерес к развитию науки и распространению знаний среди широкого круга специалистов. Это в первую очередь относилось к механике и основанным на ней техническим наукам. Задача

решалась постановкой соответствующих курсов и изданием руководств, в том числе по механике.

Публикация специальных работ, имеющих отношение к механике, началась в России ещё в XVIII в. выходом в свет в 1767 г. книги И. А. Вельяшева-Волынцева, предназначенной для Второго кадетского корпуса, который выпускал артиллерийских офицеров. Следует назвать также Я. Н. Козельского, М. Е. Головина, П. И. Котельникова, С. Е. Гурьева и В. И. Висковатова, которым тоже принадлежали книги и руководства, правда, не всегда отличавшиеся оригинальностью, но способствовавшие распространению достижений механики среди специалистов, подготавливаемых Петербургской Академией наук, университетами и техническими учебными заведениями. Не меньшее значение имели русские переводы значительных работ западноевропейских ученых, например Фергюсона, Кестнера, Безу, Монжа, Боссю. В издававшихся в России трудах ясно ощущался интерес к прикладным вопросам.

К концу изучаемого в настоящей главе периода вышли в свет руководства, предназначенные для преподавания механики в университетах и принадлежавшие Д. С. Чижову и Н. Д. Брашману. В преподавании механики в русских университетах была характерна прикладная направленность читаемых курсов. Этим как бы восполнялось то, что должны были делать высшие технические учебные заведения, развернувшие свою деятельность преимущественно по пути преподавания и разработки специальных технических дисциплин. Особенно рельефно прикладной характер преподавания механики проявлялся в Московском университете. Здесь акцент был сделан на разработку задач гидравлики, связанных с изучением работы водяных колес и других гидравлических сооружений. Эта тематика, ставшая в дальнейшем в какой-то степени традиционной, привела к тому, что именно в Московском университете в конце XIX в. разрабатывалась гидромеханика и зародилась аэродинамика. На первых порах в русских университетах, в частности в Московском, преподавание механики ещё не базировалось на дифференциальном и интегральном исчислениях, и аналитическая механика нашла в университетах прибежище только около 20-х годов XIX в. Примерно к этому же времени относится и начало влияния французской школы, осуществлявшееся через работы Прони, Пуассона, Пуансо, Лагранжа, Франкера и др. Одним из важнейших проводников их идей стали труды и лекции М. В. Остроградского.

Механика в высших технических учебных заведениях России, как уже говорилось, читалась в аспекте её приложения к решению технических задач, т.е. применялась в плане развития складывавшихся технических наук. Так, в Институте инженеров путей сообщения студентам преподавали механику как средство для расчета инженерных сооружений и машин. Только несколькими годами позже, чем в Парижской политехнической школе, в этом институте был введён курс механики машин, имевший своим объектом, правда, не технологические станки, а преимущественно двигатели – водяные колеса, а также водоподъёмные машины. Здесь было введено и черчение – один из основных предметов инженерного образования. В качестве же профессоров были привлечены такие крупные ученые, как Ламе и Клапейрон; во главе же института длитель-

ное время стоял Бетанкур. Вообще, к 30-м годам курс практической механики, или механики машин, был введён почти во всех русских высших технических учебных заведениях. Нередко преподавание технических дисциплин поручалось лицам, кончившим университет по специальности математики или механики. Примером может служить воспитанник Московского университета В. А. Анкудович, читавший в Московском артиллерийском училище сначала курс теоретической механики, а затем – баллистики.

Итак, в России к 30-м годам XIX в. начал складываться контингент инженеров с высшим техническим образованием. Эти инженеры могли не только использовать свои знания для решения технических задач, но и развивать соответствующие прикладные науки, способствуя взаимодействию механики с техникой. Таким образом, в этом плане Россия вышла на один уровень с Францией. Англия же и Северная Америка к середине XIX в., несмотря на значительные технические достижения, сильно отставали по внедрению теоретической механики в технику. Этому способствовал прежде всего низкий уровень технического образования в этих государствах.

Во Франции вмешательство государства в итоге происшедшей там политической революции привело к коренному переустройству технического образования, а отсюда и к изменению направления научных исследований, главным образом в механике. Англия оказалась в этом отношении как бы на противоположном полюсе. Здесь государство не участвовало в подготовке инженеров, передав это в руки частных предпринимателей. Такому положению вещей способствовал и индуктивный подход к развитию науки, возникший в Англии ещё в XVII в. и проникший затем в решение технических задач. В результате в Англии, стоявшей в XVIII в. во главе промышленной революции, наука не привлекалась к решению технических задач. Отсюда пассивное отношение даже частных фирм к подготовке технической интеллигенции, а следовательно, и к созданию системы технического образования. Низкий уровень технического образования в Англии отчасти объяснялся тем, что эта страна в течение длительного времени не вела сухопутных войн, а потому не нуждалась в военных инженерах – артиллеристах и строителях. В горном же деле обходились системой ученичества. Такое же положение вещей сохранилось в конце XVIII в. и в машиностроительном производстве. Исключение представлял учрежденный в 1796 г. Королевский технический колледж. Большое распространение, особенно в 20-х годах XIX в., получили в Англии курсы для рабочих и мастеров, т. е. учебные клубы, известные под названием институтов. Одновременно возникли и профессиональные содружества инженеров, в задачу которых входило содействие повышению технических знаний их членов. В конечном же итоге инженеры в Англии готовились в процессе производственной деятельности. Большинство инженеров-механиков прошло эту школу на заводе, принадлежащем Модсли и Фильду.

Разработка науки в Англии не находилась, как уже упоминалось, в сфере непосредственных интересов государства. Наукой занимались в многочисленных обществах, сосредоточенных в крупных промышленных городах Англии. В эти ассоциации входили промышленники и ремесленники, которые заботи-

лись о прогрессе науки и её применении к развитию экономики и культуры исключительно своего промышленного центра. Естественно, что таким путём едва ли можно было внести серьёзный вклад в решение проблемных вопросов механики или способствовать использованию её результатов для нужд техники.

Основанное ещё в середине XVII в. Лондонское королевское общество, игравшее на первых порах довольно серьёзную роль как в развитии механики, так и в её внедрении в практику, в начале XIX в. утратило своё былое значение. Однако к концу рассматриваемого периода в Англии всё более ощущалась необходимость придать развитию науки рациональные организационные формы. Результатом этой тенденции явилось учреждение в 1831 г. Британской ассоциации содействия науке. Ассоциация была создана по образцу Общества немецких естествоиспытателей, пользовалась большей популярностью, чем Лондонское королевское общество, и должна была способствовать распространению научных знаний среди интеллигенции. Но по-настоящему содействовать прогрессу науки Британская ассоциация не могла уже по самой своей природе, поскольку её деятельность не выходила за рамки принятого в Англии любительства. Таких коренных преобразований, как во Франции, в Англии проведено не было. Влияние же прошедшей во Франции политической революции проникало на Британские острова крайне медленно и сказалось, пожалуй, только на университетском образовании.

В Англии университетское образование приобрело по-настоящему естественнонаучную направленность только во второй половине XVIII в. До этого времени, несмотря на достигнутые успехи в науке, английские университеты все еще не превратились в центры подготовки учёных в области естественных наук, не говоря уже об инженерах, сведущих в технических дисциплинах. В начале XIX столетия английские университеты продолжали отставать от университетов континента в преподавании математики, так как в Великобритании дифференциальное и интегральное исчисление излагалось в архаичной форме, близкой к той, которой пользовался Ньютон. Наиболее прогрессивным оказался Кембриджский университет, где был сделан первый шаг по пути обеспечения механики и соответствующих технических наук необходимым для их развития математическим аппаратом.

Тем не менее английские университеты занимались разработкой не только теоретической механики, но и прикладной. В 1841 г. в Лондонском университетском колледже были открыты кафедры механики, гражданской архитектуры и машиностроения. Технические науки в Англии длительное время преподавались лишь в отдельных университетах, причем не специалистами, а универсалами. Так было и в Лондонском университете, где теорию машин читал профессор физики и астрономии Генри Мосли; в Кембридже минералогию преподавал Уэвэлл, а механику – Виллис. Правда, роль Г. Мосли в постановке технического образования оказалась весьма существенной, поскольку он через университетский курс внедрял достижения французской школы механиков в среду инженеров Англии. Если английские университеты не могли служить посредником инженерных знаний в силу существовавших в них порядков, то и техни-

ческие учебные заведения не имели возможности этого сделать, но уже по иным причинам, а именно ввиду их малочисленности.

Лондонский институт гражданских инженеров был основан ещё в конце XVIII в., однако в дальнейшем он не сыграл сколько-нибудь значительной роли в подготовке инженеров. Не большее значение в этом отношении имел и Королевский институт Великобритании, основанный Румфордом в 1799 г. Румфорд понимал необходимость в подготовке квалифицированных инженеров, которые в своей работе опирались бы на научные знания, а не на интуицию и практический опыт. Кроме этого, Институт должен был содействовать внедрению в производство полезных изобретений. Но состав преподавателей этого учебного заведения был немногочисленным и не отличался хорошей подготовкой. По этим причинам Королевский институт не мог обеспечить страну инженерами ни в нужном количестве, ни достаточно высокой квалификации. Как говорилось выше, в Англии господствовала система ученичества. В этом же направлении шла подготовка технических кадров и в Северной Америке.

Прогресс науки в Северной Америке приходится на конец XVIII в. и совпадает с войной за независимость. Государство не вмешивалось здесь в развитие науки, и её разработка находилась в руках лиц, владевших капиталом. В Северной Америке не все, однако, считали целесообразным привлечение науки к решению практических задач. На приложение науки для этих целей была направлена деятельность лишь наиболее предприимчивых людей. Особое же внимание здесь уделялось сельскому хозяйству и торговле, а следовательно, и судостроению. Превалирующее место занимали геология, химия, медицина и т. п. Механика же оставалась на втором плане.

К числу первых высших учебных заведений, учреждённых в Северной Америке, принадлежал Гарвардский университет. Однако это учебное заведение не привлекает к себе внимания с рассматриваемой в настоящей работе точки зрения. Большой интерес представляет основанная при этом университете школа. Здесь изучали математику, астрономию, химию, а также гражданскую и военную архитектуру. Школа отличалась практическим уклоном и готовила специалистов для промышленности и торгового дела. Но и в этой школе преподавание прикладных наук до конца XVIII в. не занимало центрального места, поскольку в самом Гарвардском университете доминировало классическое образование. Позднее, уже в середине XIX в., в противовес Гарварду был открыт институт в Бостоне – одном из крупнейших промышленных городов Северной Америки. Этот институт должен был выпускать лиц уже со специальной технической подготовкой.

В конце XVIII в. единственным техническим учебным заведением Северной Америки была Военная академия в Вест-Пойнте. Академия выпускала хорошо подготовленных военных инженеров, которые использовались и на гражданской службе. Через Вест-Пойнтскую академию в 20-х годах XIX столетия стало проникать в научные круги Северной Америки влияние Парижской политехнической школы. Это видно даже из перечня читавшихся в Вест-Пойнте предметов – математика, механика, начертательная геометрия, гидродинамика, пневматика и оптика.

В Северной Америке существовал ряд научных обществ, имевших целью популяризацию гуманитарных, естественных и прикладных знаний. К числу этих обществ относится и Клуб любителей науки (Философское общество), учрежденный Франклином. Были организованы Национальная Академия наук, а также Американская Академия наук и искусств в Бостоне. К концу столетия приступили к изданию специального журнала, который отличался практической направленностью.

В Америке с развитием науки наметилась тенденция её использования для решения наиболее насущных практических задач. И несмотря на то что эта линия не получала поддержки от государства, она нашла своих адептов среди наиболее предприимчивых и образованных людей. На первых порах механика не имела широкого приложения, так как интересы общества были устремлены на решение преимущественно практических задач, далеко отстоявших от этой науки. Не располагая собственным контингентом учёных, в том числе и механиков, Америка уже в изучаемый период смело обращалась к достижениям мировой науки с тем, чтобы воспользоваться её результатами в прикладных целях. Что касается постановки технического образования, то Америка сделала в этой сфере только первые шаги, следуя, однако, прогрессивным начинаниям Запада. В этом отношении в первой половине XIX в. выдвинулась Германия, где следовали сложившимся традициям и опирались на солидную научную платформу.

Зарождение технического образования в Германии восходит к середине XVIII в., когда в Брауншвейге, Фрейбурге и Клаустале были учреждены горные школы. Почти одновременно была создана и Саксонская военная школа, послужившая прообразом открытой во Франции военной инженерной школы в Мезьере. Всё это были средние технические школы, к которым в начале XIX в. были присоединены и другие, преобразованные вскоре в учебные заведения, выпускавшие уже лиц с высшим техническим образованием. Так, учреждаются Политехническая школа в Карлсруэ, высшие технические школы в Мюнхене и Нюрнберге, техническое учебное заведение в Дрездене, Высшее техническое училище в Ганновере, а затем и Политехническая школа в Штуттгарте. При Королевской строительной академии, основанной в Берлине, в начале XIX в. открывается промышленный институт.

Таким образом, к середине XIX в. в Германии функционировало достаточное число технических учебных заведений, в которых сообщались сведения как по механике, так и по основанным на ней техническим дисциплинам. На первых порах, однако, соответствующие курсы не отличались ни глубиной, ни оснащённостью математическим аппаратом.

В немецких технических школах курс дифференциального и интегрального исчисления не читался; таким образом, не было прочной математической основы для курса динамики. В результате лекции по механике, являвшиеся в большинстве технических учебных заведений важнейшими в теоретическом плане, сводились к ознакомлению студентов лишь с положениями статики. Почти во всех этих учебных заведениях читались курсы практической, или, как её иногда называли, инженерной механики. В некоторых из технических школ в середине XIX в. были созданы специальные лаборатории, например механи-

ческая мастерская в Карлсруэ. Технические учебные заведения Германии выпускали главным образом специалистов горного дела, инженеров-строителей и инженеров путей сообщения. В рассматриваемый период в Германии был издан и ряд руководств по практической механике, в том числе и труд Вейсбаха. Но эти работы не опирались на сколько-нибудь серьезную теоретическую платформу и знакомили обучавшихся только с материалом, который нужен инженеру в его практической деятельности.

Немецкие университеты сыграли немаловажную роль не только в развитии теоретической и прикладной механики, но и в подготовке учёных, внесших большой вклад в развитие этих наук. Главная заслуга в прогрессе многих технических наук принадлежала ученым, окончившим не только высшее техническое учебное заведение, но и университет по факультетам физическому или математическому <...>. В анализируемый же период в некоторых университетах в программу преподавания уже включается практическая механика. Правда, в связи с отсутствием специалистов этот предмет читали профессора смежных дисциплин – физики, математики или теоретической механики. К середине XIX в. относится и возникновение новой формы подготовки механиков – семинарских занятий. Имеется в виду основанный Нейманом семинар при Кёнигсбергском университете, давший целую плеяду крупнейших специалистов в области теории упругости – науки, служившей фундаментом для такой технической дисциплины, как сопротивление материалов.

Вторая половина XVIII и начало XIX в. были периодом становления технического образования в крупнейших государствах мира. В это время и появились учёные, сыгравшие ведущую роль в развитии теоретической и прикладной механики. Именно выпускникам высших технических учебных заведений начала XIX в. принадлежит заслуга внедрения механики в решение технических проблем. В анализируемый период была создана платформа для подготовки обширного контингента инженеров, способствовавших как развитию техники с привлечением положений механики, так и разработке технических наук, особенно бурно развившихся во второй половине XIX в. И если во Франции родились идеи перестройки технического образования и началась разработка фундаментальных проблем теоретической и прикладной механики, а Россия последовала по тому же пути, то Англия и Северная Америка, подготавливая техников и инженеров преимущественно по линии профессионального обучения, совершенствование техники основывали на эмпирических началах. Германия же как бы сочетала эти два направления – французское и английское. Другие страны в постановке технического обучения примыкали к одному из перечисленных направлений.

***Мандрыка, А. П. Взаимосвязь механики и техники (1770–1970) [Текст] / А. П. Мандрыка. Ленинград: Наука, 1975. – 324 с. С. 16–35***

## **ВЕСЕЛОВСКИЙ О.Н. ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСКИЙ**

Анализ состояния электротехники в 80-х годах прошлого столетия подсказывал учёным и инженерам два основных направления, на которых следовало сосредоточить свои усилия: поиски средств для изменения напряжения постоянного тока с тем, чтобы решить проблему электропередачи, либо изобретение практически пригодного двигателя переменного тока.

Из современной электротехники известно, что основной недостаток двигателей переменного тока – отсутствие у них начального вращающего момента – может быть преодолен, если при помощи не одного, а нескольких переменных токов создать в двигателе так называемое вращающееся магнитное поле.

В ноябре 1824 г. известный французский физик Ф. Д. Араго в Парижской академии наук демонстрировал удивительный опыт. Он вращал вокруг вертикальной оси постоянный магнит, и вслед за магнитом начинал вращаться медный диск, расположенный над полюсами магнита (рис. 1). Никто из присутствовавших не был бы удивлен, если бы вращалась магнитная стрелка, установленная над вращающимися полюсами магнита. Но представлялся совершенно необъяснимым тот факт, что под действием магнитного поля вращался диск, изготовленный из немагнитного материала. Лишь семь лет спустя М. Фарадей, открывший электромагнитную индукцию, сумел объяснить это явление. Он показал, что медный диск можно представить себе в виде колеса с бесконечно большим числом радиальных спиц. При вращении магнита каждая спица пересекает магнитные линии и в ней индуцируется электрический ток. Последний, взаимодействуя с магнитным полем, создаёт момент вращения и увлекает диск вслед за вращающимся магнитом. Таким образом, опыт Араго представлял собой первый и долгое время остававшийся единственным случай полезного использования вихревых токов, которые возникают в металле под действием переменного магнитного поля.

Из опыта Араго можно было бы извлечь полезный эффект, используя механическую работу, совершаемую вращающимся диском, если бы не приходилось затрачивать такую же и даже несколько большую механическую работу для вращения самого магнита. В этом опыте уже был заложен принцип асинхронного двигателя, но предстояло ещё найти способ получения вращающегося магнитного поля в неподвижном устройстве.

В 1879 г. английский ученый У. Бейли на заседании Лондонского физического общества сделал доклад на тему: «Способ получения вращения Араго». Доклад сопровождался демонстрацией прибора, внешний вид которого показан на рис. 2. На деревянной подставке вертикально установлены четыре стержневых электромагнита, над которыми на вертикальной оси свободно подвешен медный диск. Между прибором и источником тока установлен особый переключатель, рукоятка которого приводится во вращение от руки. Устройство переключателя таково, что при его работе в обмотки электромагнитов в определённой последовательности направляются импульсы постоянного тока. При этом полюса сердечников электромагнитов поочередно получают северную или южную полярность. Физическая картина получалась такой, как если бы север-

ный (и, соответственно, южный) полюс «перескакивал» по окружности от одного электромагнита к другому. Это было аналогично прерывистому движению постоянного магнита вокруг вертикальной оси. Диск, таким образом, находился практически в таких же условиях, что и в опыте Араго, но вращение магнитного поля достигалось при помощи системы неподвижных электромагнитов. Бейли указывал, что в предельном случае, если взять очень большое число электромагнитов, можно было бы получить равномерное вращение магнитного поля. Описанное устройство было настолько технически несовершенным, что прибор Бейли, не получив практического применения, остался занимательной физической игрушкой.

С точки зрения принципиальной разработки идеи асинхронного электродвигателя оставалось сделать немного, хотя и очень важное: нужно было устранить вращающийся переключатель в устройстве Бейли и получить эффект вращения магнитного поля при помощи переменных токов. Среда нескольких попыток решить эту задачу (Депре, Борель, Шалленбергер и др.) наиболее ус-

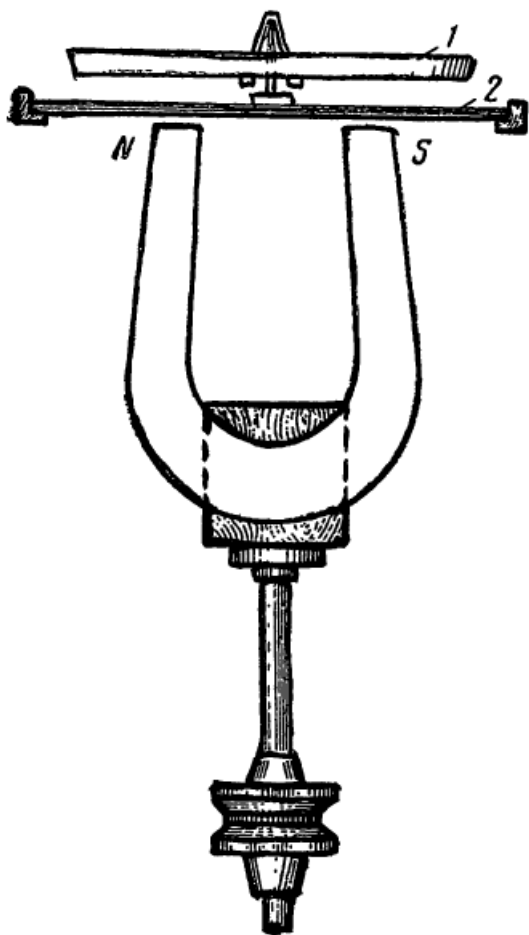


Рис. 1. Опыт Араго

1 — медный диск; 2 — стеклянное основание для крепления оси диска, предохраняющее диск от потоков воздуха при вращении магнита

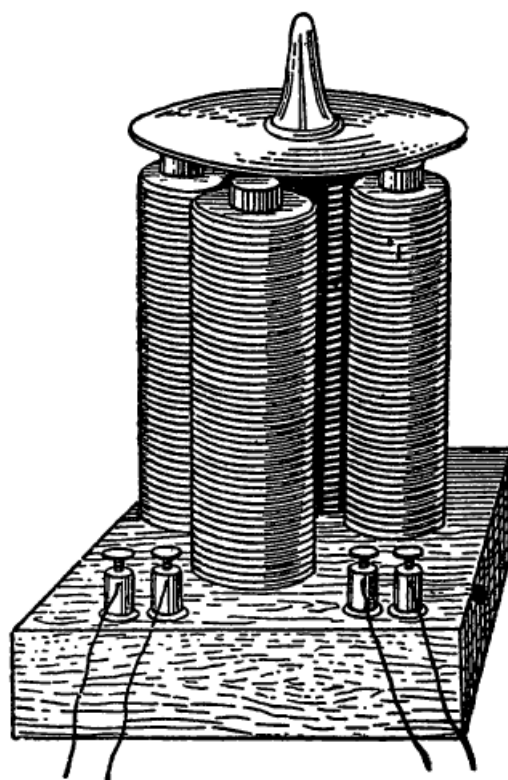


Рис. 2. Прибор Бейли

пешными были работы выдающегося сербского ученого Николы Теслы и известного итальянского физика Галилео Феррариса.

Хотя Тесла пришел к идее бесколлекторного двигателя переменного тока ещё в 1882 г., а Феррарис разработал принцип такого же двигателя в 1885 г., оба учёных опубликовали свои исследования в этой области независимо друг от друга лишь в 1888 г. Поэтому будет справедливым именно эту дату считать исходной в истории многофазных систем. <...>

Следует отметить, что Никола Тесла, получивший на свои изобретения только в области многофазных систем 41 патент, указывал способы получения трёхфазной системы токов. Однако он считал наиболее экономичной двухфазную систему, так как она требовала только четырех проводов, соединяющих генератор и двигатель, тогда как трёхфазная система с тремя электрически не соединенными друг с другом катушками (так называемая несвязанная трехфазная система) приводила к увеличению числа соединительных проводов до шести. Линия электропередачи при этом варианте многофазной системы оказалась бы чрезмерно дорогой. Из этого затруднения нашёл выход Доливо-Добровольский.

Галилео Феррарис построил небольшой двухфазный двигатель, статор которого состоял из двух взаимно перпендикулярных катушек, питаемых двухфазными точками, а ротор был изготовлен в виде медного цилиндра. Ротор вращался со скоростью около 650 *об/мин*, а мощность двигателя составляла около 3 *вт*.

Исходя из ошибочной предпосылки, Феррарие в результате математического анализа работы своего двигателя пришел к неправильному выводу о том, что асинхронный двигатель принципиально не может иметь коэффициент полезного действия выше 50%. Поэтому сконструированный им прибор он считал пригодным лишь для учебно-демонстрационных целей и для электрических измерений. Это была досадная, но весьма поучительная ошибка учёного, остановившая его на пути исследования чрезвычайно важного направления в развитии электрических машин.

Никола Тесла сконструировал опытные двухфазные двигатели, а американская фирма Вестингауз, которой он продал свои патенты, наладила промышленное их производство, хотя и весьма ограниченное. Двигатели Теслы были неудачно сконструированы. Обмотка статора в них выполнялась в виде катушек, насаженных на выступающие полюса, т.е. изобретатель механически перенес опыт конструирования машин постоянного тока на машины переменного тока. Неудачной была и конструкция ротора, выполненного в виде барабана с двумя взаимноперпендикулярными замкнутыми на себя катушками. Указанные особенности существенно снижали качества двигателей как в момент пуска, так и в рабочем режиме.

Для работ Теслы характерны удивительное богатство идей, изящность принципиальных решений и глубокое понимание цели. Но в области многофазных систем он показал себя больше учёным, чем инженером, и не сумел довести свои работы до технически совершенных практических конструкций. Он, впрочем, и не стремился к этому, предоставляя другим дорабатывать его идеи.

Решая частные задачи, американский электротехник Бредли и немецкий инженер Хазельвандер показали возможность получения трёхфазных систем токов. Однако ни тот, ни другой не сумели подняться до необходимых обобщений, и их работы не оказали существенного влияния на развитие техники трёхфазного тока.

Одновременно с деятельностью некоторых из названных электротехников, в тот период, когда Никола Тесла публиковал всё новые и новые исследования в области многофазных систем, развернулась плодотворная деятельность Михаила Осиповича Доливо-Добровольского. В конце 80-х годов изобретения, публикации, патенты, относящиеся к многофазным системам, следовали друг за другом с такой быстротой, что трудно было объективно оценить заслуги каждого изобретателя. Но самый беспристрастный и строгий судья – это время. И многие из сделанных изобретений сегодня забыты или не нашли практического применения вообще, между тем как почти все изобретения и конструктивные решения, найденные Доливо-Добровольским, выдержали более чем полувековое испытание.

Одной из решающих причин успехов М. О. Доливо-Добровольского было чрезвычайно удачное сочетание в его творчестве научного провидения и инженерного подхода к решению задачи. Соединение этих замечательных качеств позволило одному человеку сделать вклад в науку и технику, который, казалось бы, мог быть по силам только большому коллективу.

\* \* \*

«Интенсивное развитие промышленности вообще и электротехники в особенности всё чаще и в больших масштабах приводит к использованию электрической передачи энергии. Ко времени Мюнхенской электрической выставки все с большой радостью приветствовали опыты Марселя Девере и уже тогда предвидели, что «новорожденное дитя» в будущем быстро и пышно разовьётся. Так как в последующие годы в этой области не появилось никаких крупных открытий, наступил застой...». Этими словами М. О. Доливо-Добровольский начал свою статью, в которой он впервые для широких кругов электриков изложил существо сделанных им изобретений в области трехфазной системы<sup>1</sup>. Такое начало свидетельствует о том, что основной проблемой, для решения которой Доливо-Добровольский предназначал свои изобретения, была проблема электропередачи. Только впоследствии, когда были выяснены превосходные качества всех элементов трёхфазной системы, трёхфазный ток получил полные права гражданства и проник почти во все сферы производственной деятельности.

Летом 1888 г. Доливо-Добровольский в туринском академическом журнале нашел статью Феррариса о вращающемся магнитном поле. Статья весьма заинтересовала его. Он пока ещё интуитивно почувствовал важность и научную ценность открытия, но был удивлён заключительной частью работы. Накопленный к этому времени личный опыт проектирования, изготовления и испытаний электрических машин подсказывал Доливо-Добровольскому правильный

---

<sup>1</sup> М. О. Доливо-Добровольский. Избранные труды (о трёхфазном токе). ГЭИ, 1948, стр. 21.

путь в использовании свойств вращающегося магнитного поля. Он понял, что итальянский учёный, говоривший о принципиально низкой эффективности асинхронных двигателей, ошибается.

Действительно, экспериментируя с машиной постоянного тока, Доливо-Добровольский иногда накоротко замыкал обмотку якоря при полном возбуждении её полюсов и замечал, что при этом вращение якоря сильно и быстро затормаживалось (этот опыт называется динамическим торможением).

Впоследствии Михаил Осипович так описывал свои рассуждения по этому поводу: «...я тотчас же сказал себе, что если сделать вращающееся поле по методу Феррариса и поместить в него такой короткозамкнутый якорь малого сопротивления, то этот якорь скорее сам сгорит, чем будет вращаться с небольшим числом оборотов. Во всяком случае он должен будет при весьма малой относительной скорости вращения развить громадную силу. Мысленно я прямо представил себе электродвигатель многофазного тока с ничтожным скольжением».

Вспомним, что у Феррариса ротор представлял собой медный цилиндр без обмотки, а первый же шаг Доливо-Добровольского, который замечательно характеризует его инженерный образ мышления, был шагом в правильном направлении на пути к целесообразной конструктивной разработке асинхронного двигателя. Как видно из приведённого высказывания, Михаил Осипович считал целесообразным выполнить обмотку ротора обладающей по возможности малым сопротивлением. Магнитные линии вращающегося поля будут пересекать стержни этой обмотки, и в последних будут индуцироваться тем большие токи, чем меньше их сопротивление. Эти токи будут взаимодействовать с магнитным полем, вызвавшим их, возникнет вращающий момент, который будет разгонять ротор. Всё выглядит так, как если бы ротор стремился «догнать» вращающееся поле. Однако «догнать» его ротор не может, так как в этом случае (при так называемой синхронной скорости) не было бы относительного движения проводников ротора и магнитного поля и в проводниках не индуцировались бы токи, вызывающие вращение ротора. Следовательно, ротор будет отставать от поля и тем больше, чем больше нагрузка на валу двигателя. Это явление отставания ротора от поля называется скольжением, а рассмотренные физические процессы характеризуют принцип действия асинхронных двигателей.

Фирма АЭГ вначале не сумела оценить важности работ М. О. Доливо-Добровольского и решила сделать патентную заявку лишь после того, как из опытов «что-нибудь выйдет». Сконструированный трёхфазный асинхронный двигатель и трёхфазный одноякорный преобразователь были испытаны весной 1889 г., и 8 марта этого же года Доливо-Добровольский от имени фирмы сделал патентную заявку на трёхфазную систему. Эксперты патентного ведомства не могли быстро разобраться в новом изобретении и требовали бесконечных уточнений. Пока тянулись переговоры, в июне 1889 г. была запатентована система Хазельвандера (его патент позднее был ликвидирован на основе патентов Бредли и Тесла). Доливо-Добровольскому в Германии был выдан только частичный патент на «якорь для двигателей переменного тока» (№51083), в котором были

описаны различные конструкции короткозамкнутых роторов («беличья клетка»). На средства генерирования и распределения трёхфазного тока Доливо-Добровольский получил патенты в Англии, Швейцарии и России.

Итак, первым шагом Доливо-Добровольского в области техники трёхфазного тока было создание конструкции короткозамкнутых роторов. Вначале он предполагал, что в качестве такого ротора можно использовать якорь обычной машины постоянного тока. Для опытных экземпляров достаточно было замыкать накоротко коллектор при помощи медного банджа. Однако стремление сделать скольжение ротора относительно вращающегося поля по возможности малым заставило Доливо-Добровольского усовершенствовать конструкцию короткозамкнутого ротора.

На рис. 4 представлены чертежи, приложенные к германскому патенту №51083. Описывая способ получения вращающегося магнитного поля, предложенный Феррарисом, Доливо-Добровольский указывает, что в двигателе Феррариса о вращающемся полем взаимодействовали токи, индуктированные в медном цилиндре. Но медь – плохой проводник для магнитного потока статора; коэффициент полезного действия такого двигателя был бы низким. Если же медный цилиндр заменить стальным, то магнитный поток резко возрастёт, во сталь будет плохим проводником для индуктированных в роторе токов. Поэтому в качестве выхода из этого противоречия Доливо-Добровольский предлагает выполнять ротор в виде стального цилиндра (что ведёт к уменьшению магнитного сопротивления ротора), а в просверленные по периферии цилиндра отверстия закладывать медные стержни (что ведёт к уменьшению электрического сопротивления ротора).

На лобовых частях ротора эти стержни должны быть хорошо электрически соединены друг с другом. Из приведённых чертежей видно, что изобретатель разработал различные варианты однорядных и многорядных «беличьих клеток» (так называли этот вид обмотки ротора). Такие конструкции роторов асинхронных двигателей широко применяются и в настоящее время.

Доливо-Добровольский хорошо понимал, что при небольшом скольжении скорость ротора, относительно вращающегося магнитного поля ничтожна и, следовательно, стальные части ротора перемагничиваются с небольшой частотой. А это означает, что потери энергии в стали ротора (на вихревые токи и на гистерезис) будут тоже ничтожными. Он предлагал в качестве одного из вариантов изготавливать ротор массивным с неизолированными стержнями. Однако в технологическом отношении проще «набирать» сердечник ротора из штампованных листов стали. Мысль о неизолированных стержнях обмотки ротора оказалась чрезвычайно плодотворной. В настоящее время часто изготавливают «беличью клетку», заливая алюминий в пазы ротора.

Конструкция ротора асинхронного двигателя была разработана. Достаточно было поместить ротор в статор, обмотки которого обтекаются токами, различающимися по фазе, и асинхронный двигатель готов. Но как выполнить рациональную конструкцию статора? <...>

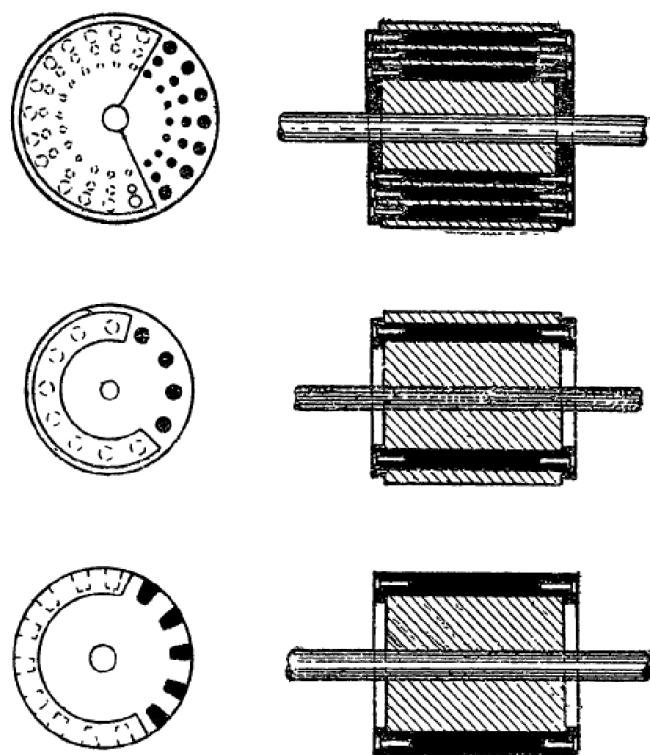


Рис. 4. Однорядные и многорядные обмотки — «беличьи клетки»

Следует отметить, что в процессе поисков рациональной конструкции асинхронного двигателя проявилась способность Доливо-Добровольского проникать в сущность сложных физических явлений без привлечения громоздкого математического аппарата. Многие средства анализа, которые помогают современным специалистам исследовать распределение магнитных полей в электрической машине и видеть преимущества трёхфазных машин перед двухфазными, тогда ещё не были известны.

Итак, изобретатель пришёл к выводу о необходимости избавиться от выступающих полюсов на статоре и о целесообразности увеличения числа фаз. Но если первую задачу было сравнительно просто решить, применив обмотки, равномерно распределенные по всей окружности статора, то решить вторую задачу оказалось сложнее.

Действительно, представим себе, что мы увеличили число фаз с двух до трех. Следовательно обмотка якоря генератора будет состоять из трёх катушек, сдвинутых в пространство не на  $90^\circ$ , а на  $60^\circ$  относительно друг друга. В двигателе тогда тоже нужно разместить на статоре три катушки, причём каждую катушку двигателя соединить двумя проводами с соответствующей катушкой генератора. Таким образом, число проводников, соединяющих генератор и двигатель, возрастёт до шести. Система становится громоздкой и дорогой.

Михаил Осипович проводит бессонные ночи над схемами многофазных цепей. Правление фирмы ещё не придавало серьёзного значения работам молодого инженера и загружало его массой текущих дел. Для любимой работы, которая всё более и более захватывала изобретателя, оставались лишь ночные ча-

сы. На листах бумаги он набрасывал всё новые и новые схемы, и, наконец, решение столько же неожиданное, сколько и простое, найдено!

«Постоянно размышляя таким образом над чертежами и схемами обмоток и протеканием токов, – писал Доливо-Добровольский, – я напал на мысль сделать ответвления от трёх равностоящих точек якоря постоянного тока. Так появился трёхфазный ток с тремя только проводами. Но получил я здесь разность фаз в  $120^\circ$  вместо  $60^\circ$ ». <...>

Первое знакомство с трёхфазным током вызывало недоумение. Казалось необъяснимым, противоречащим всем привычным представлениям то обстоятельство, что по трём проводам могли течь три различных по фазе тока. Все электрики были воспитаны на том, что для каждого отдельного тока, который должен непрерывно циркулировать, требуется двухпроводная замкнутая цепь.

М. О. Доливо-Добровольский показал, что система трёх токов с разностью фаз в  $120^\circ$  обладает замечательным свойством: сумма всех трёх токов в такой связанной, или, как говорил Доливо-Добровольский, «сопряженной», цепи в

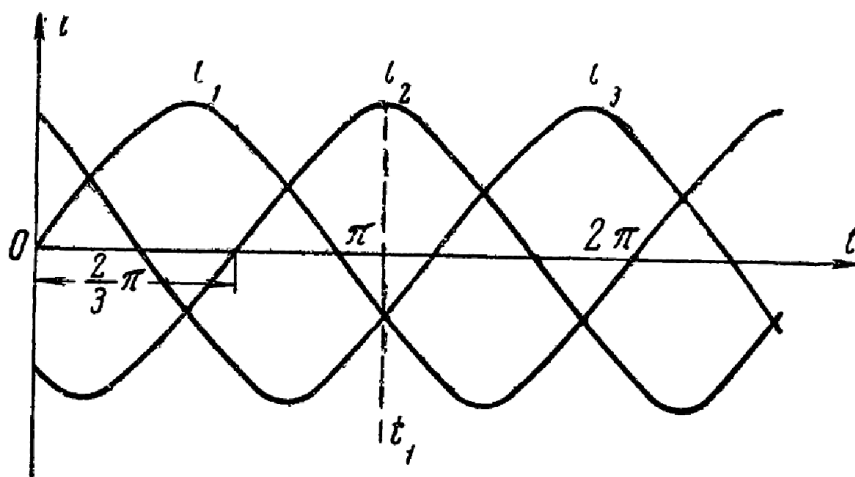


Рис. 6. Синусоидальные кривые токов, сдвинутые по фазе на  $120^\circ$  (трёхфазная система токов)

любой момент времени равна нулю. Таким образом, каждый провод является в каждый момент времени обратным для двух других токов. По синусоидальным кривым трёх токов (рис. 6), сдвинутых по фазе на треть периода ( $120^\circ$ ), можно судить о том, что в любой момент времени, например в момент  $t_1$ , ток  $i_2$  проходит через положительный максимум, а токи  $i_1$  и  $i_3$  имеют отрицательные значения и сумма их равна току  $i_2$ . Следовательно, сумма всех трёх токов равна нулю. <...>

Доливо-Добровольский приложил много усилий для разъяснения современникам сущности и особенностей трёхфазной системы токов. В 1891 г. он несколько раз выступал в Берлинском электротехническом обществе и опубликовал несколько статей в электротехнических журналах. С целью демонстрации необычных свойств трёхфазного тока Михаил Осипович построил даже трёхфазную лампу: его современников поражало, что к лампе подходят не два провода, а три и все три нити лампы (в одном случае соединённые в общей точке – соединение в звезду) одновременно были накалены.

Своеобразный характер взаимной связи между токами в многофазной системе, особые её свойства, столь не сходные с привычными свойствами постоянного и однофазного переменного токов, и, в частности, возможность при помощи многофазных токов создавать вращающееся магнитное поле побудили Доливо-Добровольского предложить даже новый термин, характеризующий новую систему.

Совокупности «сопряженных» токов, т. е. таких токов, которые отличаются друг от друга только на определённый фазный угол, было дано вначале наименование «Wechseldrehstrom» («вращающийся переменный ток»), а затем просто «Drehstrom», что означает в переводе на русский язык «вращающийся ток». Термин «Drehstrom», которым впоследствии стали обозначать трёхфазный ток, сохранился в немецкой литературе до настоящего времени. По определению Доливо-Добровольского, это «...пучок переменных токов, фазы которых следуют друг за другом таким образом, что угол фазного сдвига, помноженный на число токов, даёт в итоге  $180^\circ$  или соответственно  $360^\circ$ »<sup>1</sup>. Таким образом, наименьшее число токов может быть равно двум со сдвигом фаз в  $90^\circ$  (при сдвиге фаз в  $180^\circ$  получаются два взаимно противоположных тока, магнитные действия которых взаимно уничтожаются).

Наиболее целесообразной, по глубокому убеждению Доливо-Добровольского, следует считать совокупность трёх токов с разностью фаз  $120^\circ$ , т.е. трёхфазную систему. Эта система является оптимальной. Действительно, в трёхфазном двигателе достигается достаточно хорошее постоянство по величине магнитного потока. Дальнейшее увеличение числа фаз дало бы незначительный выигрыш в этом отношении, но привело бы к неоправданному увеличению числа линейных проводов.

С другой стороны, трёхфазная система довольно неожиданно раскрыла ещё одну замечательную особенность. Оказалось, что на три провода трёхфазной линии при прочих равных условиях, т. е. при передаче одной и той же мощности на одинаковое расстояние при одинаковых потерях мощности в линии, требовалось затратить меньше проводникового материала, чем на два провода однофазной линии. Теоретически экономия проводникового материала составляет 25%. Это означает, что провода трёхфазной линии могут быть взяты меньшего сечения по сравнению с проводами однофазной линии. Указанное обстоятельство выбивало почву из-под ног противников трёхфазной системы, считавших главным её недостатком необходимость увеличивать число линейных проводов, что должно было, по их мнению, увеличить расход дефицитных проводниковых материалов (в то время провода изготовлялись преимущественно из меди).

Нужно отметить, что эта очевидная и существенная экономия в проводниковой меди в значительной степени способствовала в своё время решению вопроса о выборе системы тока в пользу трёхфазной.

В результате напряжённой и плодотворной работы в короткий срок были найдены принципиальные схемы генераторов и двигателей трёхфазного тока.

---

<sup>1</sup> М. О. Доливо-Добровольский. Многофазный ток и его развитие. Die Elektrizität, 1891, №12.

Сам изобретатель придавал исключительно большое значение именно последнему элементу системы – асинхронному двигателю. <...>

Доливо-Добровольский совершенно правильно представил себе, что асинхронный двигатель в момент пуска ведёт себя как трансформатор в режиме короткого замыкания. В стержнях обмотки ротора при очень малом их сопротивлении возникают чрезмерно большие токи, которые создают свой собственный магнитный поток, направленный навстречу основному. При этом основной поток, как образно говорил изобретатель, как бы «сдувается в сторону».

Установив, что «слишком короткое» замыкание обмотки ротора сильно понижает пусковой момент, Доливо-Добровольский провёл ряд экспериментов с двигателем, у которого изменялось сопротивление обмотки ротора. Обнаружилось противоречие: при большом сопротивлении обмотки ротора двигатель обладал хорошими пусковыми свойствами, но пониженными рабочими характеристиками, а при малом сопротивлении резко ухудшались пусковые свойства, но рабочие характеристики были великолепными. Анализ возникших затруднений подсказал Доливо-Добровольскому мысль о создании «переменной степени короткого замыкания». Эта идея была реализована в конструкции фазного ротора с кольцами и пусковыми устройствами.

В декабре 1890 г. на это изобретение М. О. Доливо-Добровольский сделал патентные заявки в Швейцарии и Англии. <...>

Михаил Осипович Доливо-Добровольский разработал много различных конструкций трёхфазных асинхронных двигателей. Среди них были двигатели с кольцевой, а затем с барабанной обмотками на статоре, специальные двигатели на низкие напряжения (со встроенными трансформаторами), так называемые обращённые двигатели, у которых трёхфазная обмотка размещалась на роторе, а индуктируемая короткозамкнутая обмотка – на статоре, двигатели с массивными роторами и неизолированными стержнями роторной обмотки. Один из своих двигателей с кольцевой обмоткой на статоре изобретатель подарил Московскому Политехническому музею, где его работу можно видеть и сейчас.

Почти все первые двигатели, построенные М. О. Доливо-Добровольским, оказались на редкость удачными. В работах в области техники трёхфазного тока проявился незаурядный талант конструктора в сочетании с исключительно тонким и глубоким пониманием физики процессов. Промышленность получила, наконец, двигатель, в котором ощущалась острая необходимость, – это был асинхронный двигатель в двух его основных модификациях: с короткозамкнутым и с фазным роторами.

Трёхфазные двигатели М. О. Доливо-Добровольского оказались неизмеримо лучше двигателей Теслы и тем более всех других двигателей переменного тока.

Причиной разработки многофазных систем была проблема передачи электроэнергии на большие расстояния. В свою очередь, решающим условием увеличения дальности электропередачи является повышение напряжения.

Трёхфазная система, конечно, не представляла принципиальных затруднений для трансформирования токов. Однако при этой системе нужно было использовать по три трансформатора на каждом конце линии, тогда как для од-

нофазного тока достаточно было лишь двух трансформаторов: повышающего и понижающего.

Сначала Доливо-Добровольский предлагал строить трёхфазные трансформаторы с радиальными сердечниками. В этом случае обмотки высшего и низшего напряжений каждой фазы располагались на соответствующих радикальных сердечниках, а магнитные потоки замыкались по внешнему ярму. Затем он нашёл, что проще стержни с обмотками разместить параллельно, а торцы стержней соединить одинаковыми ярмами. Но всё же такая симметричная магнитная система не удовлетворяла изобретателя, так как трансформаторы получались громоздкими. Лишь в 1891 г. он построил трансформатор с несимметричной магнитной системой: все стержни располагались параллельно друг другу и в одной плоскости. Эта конструктивная форма трёхфазного трансформатора сохранилась до настоящего времени.

Так инженер-изобретатель решал одну проблему за другой, настойчиво устраняя различные препятствия на пути новой системы электрических токов.

Работы М. О. Доливо-Добровольского, относящиеся к 1888–1893 гг., не были механической цепью разрозненных изобретений и открытий. Это была вновь созданная новая комплексная область электротехники. Несомненно и то, что всё это ни в коей мере не являлось плодом случайного вдохновения талантливого изобретателя. Его достижения представляли собой результат ежедневной, напряжённой, кропотливой работы, в процессе которой М. О. Доливо-Добровольский шёл от одной схемы к другой, от порой неудовлетворительных образцов к совершенным конструкциям.

Немного было в истории техники изобретателей, которые бы, подобно Доливо-Добровольскому, разработали все основные элементы целой комплексной системы, нашли для неё практическое воплощение и внедрили в промышленность в такие чрезвычайно короткие сроки.

Содержание работ Доливо-Добровольского совпало с основным направлением в развитии электротехники. Был завершён первый и, нужно сказать, наиболее плодотворный этап в творчестве М. О. Доливо-Добровольского. Сам он теперь был глубоко убежден в великом будущем техники трёхфазного тока, однако предстояло ещё убедить в этом и других. Летом 1891 г. должна была открыться Международная электротехническая выставка во Франкфурте-на-Майне. На этой выставке системе трёхфазного тока перед лицом представителей науки и техники чуть ли не всех стран мира нужно было выдержать серьёзное испытание.

***Веселовский, О. Н. Доливо-Добровольский [Текст] / О. Н. Веселовский. Москва: Издательство Академии наук СССР. 1963. С. 15–38.***

## ***ВЕСЕЛОВСКИЙ И. Н. РУССКАЯ МЕХАНИКА XIX В.***

Развитие русской механики значительно отличается от западноевропейской. Основными стимулами развития европейской механики были два: необходимость создания системы небесной механики, которое занимает почти 250 лет от Коперника до Лапласа, и (примерно со второй половины XVIII в.) необходимость подготовки опытных инженеров, как военных, так и гражданских.

В России начала XIX в. первый стимул ввиду создания Лапласом небесной механики уже не существовал. Индустриализация России интенсивно началась только в 80-х годах XIX в.; поэтому второй стимул проявлялся в военном деле, которое играло первостепенную роль в первой половине XIX в.

Развитие русской механики, а также и математики, пошло по пути, намеченному французской Политехнической школой. В 1810 г., в Петербурге был основан институт путей сообщения, начальником которого был назначен француз Бетанкур. В течение 1820–1830 гг. в нём работали *Ламе* (1795–1870) и *Клапейрон* (1799–1864). Кроме того, в Петербурге, начиная с 1810 г., было основано большое число высших офицерских курсов, которые в дальнейшем были преобразованы в военные академии. Из них особо нужно отметить Михайловскую артиллерийскую академию, воспитанниками которой были *Н. В. Майевский* (1823–1892), первый учёный, поставивший задачу внешней баллистики продолговатого снаряда и решивший её в 1872 г., *И. А. Вышнеградский* (1831–1895), работавший в области теории регулирования хода машин, *Д. К. Бобылёв* (1842–1917), преподававший потом в Петербургском университете и Институте инженеров путей сообщения. Эту академию окончил также *В. Л. Кирпичёв* (1845–1913), работавший затем в Харькове и Киеве; он известен своими трудами по строительной механике, а также прекрасной книгой «Беседы по механике».

В области педагогики трудно отделить работу механиков от математиков. Эта работа велась в университетах, которые были открыты в Дерпте, Вильно, Харькове и Казани. Преподаватели университетов были последователями Эйлера, значение которого для России состоит в создании учебных курсов, в первую очередь по математике, начиная с элементарной алгебры и кончая трёхтомным курсом «Интегральное исчисление»; в области механики таким курсом можно назвать его «Механику точки». Наиболее важными центрами этой работы являются Петербург (академия, университет и военные учебные заведения), затем Казань и Москва.

Первым русским учёным, получившим европейскую известность, был *М. В. Остроградский* (1801–1862). Он родился в Полтавской губернии. Шестнадцати лет он поступил вольнослушателем в Харьковский университет; математикой он заинтересовался лишь на втором курсе, где на него большое влияние оказали преподаватели Т. Ф. Осиповский и его ученик А. Ф. Павловский. В 1820 г. М. В. Остроградский блестяще окончил курс университета, но был лишен диплома «за вольномыслие и непосещение лекций по богословию». Своё

образование закончил в Париже. Там сложился окончательно его математический облик; его основными руководителями были Коши, Лаплас и Пуассон. В 1826 г. ещё в Париже он представил Французской академии свою первую работу «О волнообразном движении жидкости в цилиндрическом сосуде». В 1827 г. М. В. Остроградский вернулся в Россию и стал адъюнктом Академии наук.

Первая работа М. В. Остроградского была продолжением исследований Пуассона по теории упругости – два мемуара, касающиеся малых колебаний упругой среды (неограниченной), а также упругих тел. Прочитанный им в Институте путей сообщения курс небесной механики вместе с предшествовавшими работами по теории упругости были причиной избрания М. В. Остроградского ординарным академиком. Затем он создает ряд работ в области математического анализа и вариационного исчисления.

В 40-х годах М. В. Остроградский занимался баллистической задачей (движение неоднородных сферических снарядов) и аналитической механикой («Об интегралах общих уравнений динамики»), в которой было дано обобщение принципа Гамильтона для нестационарных связей.

Его непосредственным продолжателем был *О. И. Сомов* (1815–1876), получивший высшее образование в Московском университете, где он защитил магистерскую диссертацию по высшей математике. С 1847 г. он начал преподавать различные отделы теоретической механики, придерживаясь Лагранжа, Пуассона и Остроградского. В 1862 г. после смерти Остроградского он был избран академиком.

О. И. Сомову (одновременно с Вейерштрассом) принадлежит исправление одной ошибки Лагранжа, который утверждал, что уравнение частот, получающихся в теории колебаний, не может иметь равных корней, так как в этом случае время, возрастающее до бесконечности, уже не будет всегда находиться под знаком синуса или косинуса.

Идеи Лагранжа, Пуассона, Остроградского развивал также Я. Д. Брашман (1796–1866), приехавший в Россию из Чехии и работавший сначала в Казанском университете, преподавая там математику, механику и астрономию. Он занял кафедру прикладной математики Московского университета, где и читал курс механики. В 1837 г. он выпустил книгу «Теория равновесия тел твёрдых и жидких или статику и гидростатику», а в 1853 г. – большой курс механики. В истории Московского университета Н. Д. Брашмана помнят как основателя Московского математического общества. В 1825 г. он был выбран членом-корреспондентом Петербургской Академии наук.

В середине XIX в. место М. В. Остроградского в академии занял *П. Л. Чебышев* (1821–1894) – основатель Петербургской математической школы. Он получил образование в Московском университете, в который поступил шестнадцати лет; здесь он проявил большое разнообразие своих интересов. Он защитил магистерскую диссертацию на тему «Опыт элементарного анализа теории вероятностей»; позднее он начал читать в Петербургском университете курс теории вероятностей и дал ряд исследований, из которых замечателен мемуар «О средних величинах»; в результате его работ русская теория вероятностей заняла одно из первых мест в европейской науке.

После защиты диссертации на тему «Об интегрировании при помощи логарифмов» он был утвержден адъюнктом Петербургского университета. Эта диссертация представляет собой шаг вперед по сравнению с работами М. В. Остроградского, который дал метод нахождения рациональной части интегралов алгебраических дробей, а П. Л. Чебышев от логарифмической части интеграла перешёл в дальнейшем к вопросам интегрирования иррациональных дифференциалов.

В 1849 г. П. Л. Чебышев написал книгу «Теория сравнений». Его дальнейшие исследования в области теории чисел составили предмет двух фундаментальных работ: «Об определении числа простых чисел, не превосходящих данной величины» и «Мемуар о простых числах». Он не ограничивался развитием чисто теоретических вопросов и состоял членом артиллерийского отделения военно-учёного комитета, а также занимался движением цилиндрико-конических снарядов.

В 1853 г., после первой поездки за границу, П. Л. Чебышев выпустил книгу «Теория механизмов, известных под названием параллелограммов». Разрабатывая конструкцию паровой машины, Уатт не мог для превращения вращательного движения в поступательное воспользоваться кривошипно-шатунным механизмом, который был уже запатентован, и ему пришлось создать специальный механизм, так называемый параллелограмм Уатта. П. Л. Чебышев для получения хотя бы приближённого прямолинейного движения создал теорию функций, наименее отклоняющихся от нуля, которая рассматривалась в этой книге. В течение 1862–1888 гг. он выпустил около 15 работ в области теории механизмов, в частности направляющих механизмов, которые производили бы прямолинейное движение.

Та же самая теория функций, наименее уклоняющихся от нуля, была применена в работах о центробежном регуляторе (получение изохронности хода механизма) и о зубчатых колесах (построение контуров зуба с помощью дуг окружностей при соблюдении возможно близкого к требуемому отношения числа оборотов колес). П. Л. Чебышев занимался и построением различных механизмов (сохранилось около сорока их моделей).

Как писал А. М. Ляпунов, П. Л. Чебышев и его последователи остаются постоянно на реальной почве, руководствуясь взглядом. Что только те изыскания имеют цену, которые вызываются приложениями (научными или практическими), и только те теории действительно полезны, которые вытекают из рассмотрения частных случаев.

Среди математиков, занимавшихся механикой, первой не только в России, но и в Европе женщиной-математиком была *С. В. Ковалевская* (1850–1891) (её девичья фамилия – Корвин-Круковская). Математику она любила ещё в детстве; в загородном доме Корвин-Круковских её комната, на которую не хватило обоев, была оклеена листами из математической книги. В своих воспоминаниях *С. В. Ковалевская* писала о том, что листы эти, испещрённые странными, непонятными формулами, скоро обратили на себя её внимание. В детстве она проводила целые часы перед этой таинственной стеной, пытаясь разобрать хоть от-

дельные фразы и найти тот порядок, в котором листы должны были следовать друг за другом.

В дальнейшем с восьмилетнего возраста она стала учиться математике у домашнего учителя семьи Круковских М. И. Малевича, обладавшего способностью заставлять учеников «полюбить науку и устремиться к дальнейшему самоусовершенствованию». Её математические способности были настолько велики, что четырнадцати лет она смогла вполне самостоятельно разбираться в тригонометрии. После этого родители решили дать ей настоящее математическое образование, и она стала учиться высшей математике.

Когда уже пятнадцатилетней девочкой она брала первый урок дифференциального исчисления у известного преподавателя математики в Петербурге А. Н. Страннолюбского, он удивился, как скоро она схватила и усвоила понятия о пределе и о производной. И дело было в том, что в ту минуту, когда он объяснял эти понятия, ей вдруг припомнилось, что всё это стояло на памятных ей листах Остроградского, и само понятие о пределе показалось давно знакомым.

Для возможности продолжать образование (в 60-х годах в России высшее образование для женщин не считалось возможным) С. В. Ковалевская вступила в фиктивный брак с В. О. Ковалевским (1843–1883), который так же как и его старший брат А. О. Ковалевский (1840–1901), был выдающимся учёным в области биологии. Будучи последователем Дарвина, А. О. Ковалевский установил происхождение позвоночных от одной из групп беспозвоночных, историей развития которых он много занимался. В. О. Ковалевский привёл в восторг самого Дарвина тем, что восстановил родословную лошади на основании изучения ископаемых останков её предков; он является основателем так называемой исторической палеонтологии.

Получив свободу, С. В. Ковалевская уехала за границу в 1869 г. рассказывают, что знаменитый берлинский математик Вейерштрасс рернулсЯ однажды после лекции очень недовольным, так как ни один из его студентов не мог решить предложенных им задач. Когда ему сообщили, что его хочет видеть дама, желающая учиться высшей математике (это была С. В. Ковалевская), то он, чтобы «отвязаться от неё», дал ей задачу из тех, которые не могли решить его ученики, и очень был удивлён, когда на следующий день получил вполне правильное и очень красивое решение.

В 1870–1874 г. С. В. Ковалевская большей частью была за границей – в Берлине и Париже. В 1871 г. она вместе с сестрой Анной принимала некоторое участие в революционном движении Парижской Коммуны.

В 1874 г. кончилось ученье С. В. Ковалевской у Вейерштрасса в Геттингенском университете. Давать диплом об окончании университета женщине в то время не было принято, но Вейерштрасс настоял, чтобы С. В. Ковалевской сделали исключение и выдали диплом без экзаменов на основании лишь представленных новых работ. Она представила три работы: одна из них касалась теории уравнений с частными производными, другая – гиперэллиптических интегралов, а третья носила название «Дополнения и замечания о форме колец Сатурна». Лаплас считал эти кольца жидкими, но Ковалевская доказала ошибочность этого предположения, а именно что устойчивое существование колец

возможно только в случае, если они состоят из мельчайших материальных частиц; в настоящее время теория Ковалевской является общепринятой. В результате С. В. Ковалевская получила диплом доктора философии Геттингенского университета.

Когда С. В. Ковалевская вернулась в Россию, то дорога перед ней была закрыта: она получила лишь право преподавать арифметику. После возвращения в Петербург в математической жизни С. В. Ковалевской создалась пауза; она занялась общественной жизнью; фиктивный брак с В. О. Ковалевским обратился в фактический и в 1874 г. у них родилась дочь.

Хорошо знавший С. В. Ковалевскую профессор Стокгольмского университета Миттаг-Леффлер в 1884 г. после смерти её мужа увёз С. В. Ковалевскую с дочерью в Стокгольм, где она и стала читать лекции сначала в звании доцента, а потом и профессора. В 1888 г. она представила в Парижскую Академию сочинение на премию Бордена, которая предназначалась математику, сумевшему продвинуть динамику твёрдого тела за пределы, достигнутые Эйлером, Лагранжем и Пуансо. Это был третий и, по-видимому, последний случай интегрируемости уравнения Эйлера при любых начальных условиях. Она рассматривала тяжелое тело, эллипсоид инерции которого для неподвижной точки выражался уравнением

$$A(x^2 + y^2) + Cz^2 = 1$$

при  $A = 2C$ , а центр тяжести находился где угодно в плоскости  $Oxy$ . Так как он мог находиться и не на оси симметрии эллипсоида вращения, то рассматриваемое тело называют иногда несимметричным гироскопом.

С. В. Ковалевская выполнила интеграцию при помощи остроумного приёма – она приняла время  $t$  в качестве комплексной переменной. После получения премии Бордена она продолжала свою работу в области динамики твёрдого тела, за которую получила в 1889 г. премию Стокгольмской Академии наук. Более того, в том же году по ходатайству П. Л. Чебышева и других академиков она получила звание члена-корреспондента Петербургской Академии наук. Но пользоваться этим успехом ей долго не пришлось: в 1891 г. она умерла в Стокгольме от воспаления лёгких.

С. В. Ковалевская занималась не только математикой, но и литературной деятельностью. В 1887 г. в сотрудничестве с сестрой профессора Миттаг-Леффлера она написала сочинение под названием «Борьба за счастье». Основная идея этого произведения – «как было и как могло бы быть» математическая. В некотором интервале имеется функция непрерывная и однозначная; в конце этого интервала она раздваивается на две различные ветви, каждая из которых в свою очередь тоже однозначна и непрерывна. В этом произведении изображаются две жизни, из которых одна была, а другая могла бы быть. В жизни С. В. Ковалевской точкой раздвоения можно считать 1870 год; две ветви – это, видимо, направления: одно – направление Вейерштрасса, а другое – Чебышева, если бы С. В. Ковалевская осталась в России.

## А. М. ЛЯПУНОВ. УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Основной работой *А. М. Ляпунова* (1857–1918) была теория устойчивости движения.

Первым этапом в решении задачи на равновесие было определение положения равновесия, или закона движения тела; стали решаться задачи на равновесие тел или механической системы.

После определения положения равновесия вставал вопрос: будет ли найденное положение соответствовать устойчивому или неустойчивому равновесию? Практическое значение могли иметь только устойчивые положения; они характеризовались тем, что находящиеся в таком положении тела при небольшом отклонении автоматически возвращались в положение равновесия. Может быть впервые такая задача была поставлена в приписываемых Аристотелю «Механических проблемах».

Такой же задачей занимался и Архимед, рассматривавший положение равновесия тяжелого параболического сегмента, плававшего в жидкости различной плотности; как истинный практик Архимед рассматривал лишь устойчивые положения равновесия, проверяя, может ли рассматриваемое тело, будучи выведено из положения равновесия, самостоятельно в него вернуться.

После него во избежание затруднительной работы стремились получить критерий, при помощи которого можно было бы без расчётов определить, будет ли данное положение равновесия устойчивым или нет. Первый такой критерий для механической системы тел, находящихся под действием силы тяжести, дал ученик Галилея *Торричелли* (1608–1647); он указал, что устойчивое равновесие соответствует таким положениям системы, в которых высота центра тяжести имеет минимальное значение. Для часто встречающегося случая, когда тяжёлое тело имеет только одну точку опоры, принцип Торричелли толковался так, что устойчивое положение равновесия получается, когда центр тяжести находится ниже точки опоры.

Обобщение второго принципа для сил, обладающих силовой функцией, было дано теоремой *Дирихле* (1805–1859).

Случай устойчивости равновесия системы тел, имеющей несколько степеней свободы, был рассмотрен Лагранжем при помощи обычного в настоящее время приема – «первого приближения», когда дело сводилось к рассмотрению системы линейных дифференциальных уравнений; если для небольших отклонений получались уравнения, соответствующие гармоническим колебаниям, то положение равновесия считалось устойчивым. Для этого требовалось, чтобы корни характеристического уравнения, при помощи которого определяются возможные периоды колебаний, были мнимыми.

Вопрос об устойчивости движения возник в XVIII в. на чисто астрономической почве. После того как было установлено, что движения небесных тел не являются вечными «по своей природе», а совершаются под действием сил всемирного тяготения, необходимо было решить, можно ли считать эти движения устойчивыми. Имелось в виду только периодическое движение планет, совершающееся по эллипсам, близким к окружностям. Если рассматривать движение

только под действием силы притяжения Солнца, то возможности падения планеты на Солнце или, наоборот, удаления от него устранялись при помощи законов площадей и сохранения энергии; при наличии трансверсальной скорости планета, приближаясь к Солнцу, увеличивала свою скорость и таким образом ускользала от него; при удалении же от Солнца её скорость тормозилась работой силы притяжения к Солнцу и планета должна была возвращаться к нему.

Однако на планеты кроме Солнца действуют также силы притяжения и других планет. Если эти возмущения будут всё время действовать в одном и том же направлении, то кроме возмущений, носящих характер колебательных движений и со временем не могущих превзойти некоторой предельной величины, могут возникнуть и вековые возмущения, способные произвести с течением времени очень заметное изменение в движении рассматриваемой планеты. Исследованием этих возмущений занялся Лаплас, показавший в своей «Небесной механике», что для Солнечной системы вековые возмущения незначительны и устойчивость движений всех планет можно считать обеспеченной на очень долгое время.

Планеты далеко не всегда можно рассматривать как материальные точки; в действительности они даже являются не сферами, а всего лишь сфероидами. Таким образом, встает вопрос об устойчивости движений тел конечных размеров. Впервые этот вопрос возник при исследовании движения твёрдого тела в случае Пуансо – Эйлера. Было показано, что без воздействия посторонних сил тела могут вращаться только вокруг осей, совпадающих с главными центральными осями инерции, причем устойчивыми будут вращения только вокруг осей, для которых момент инерции является или наибольшим, или наименьшим.

Развитие машинной техники в XIX в. поставило ещё одну задачу – регулирование хода машин, а именно получение равномерной скорости (или близкой к равномерной), когда действующие силы являются переменными. Простейшим таким прибором является обыкновенный маховик, снимающий избыток кинетической энергии при ускоренном движении и вновь отдающий его при замедлении. Затем последовали и другие типы регуляторов, изучение которых стало предметом особой дисциплины – теории регулирования хода машин. В последнее время эти вопросы стали ещё более актуальными в связи с проведением автоматизации в различных отраслях промышленности: наряду с обыкновенным возникло ещё автоматическое регулирование хода машин, которое развивается особенно быстро в связи с успехами строительства и оборудования скоростных самолетов и спутников.

Вопрос об автоматизации управления ставит новые задачи перед механикой. С одной стороны, заданное движение можно поддерживать путем автоматических силовых воздействий – автоматическое регулирование; с другой стороны, можно сохранить имеющееся движение при помехах и возмущениях со стороны внешних факторов, не зависящих от воли человека. Определением прочности или устойчивости движения против случайных возмущений, имеющих небольшую величину, занимались Раус (Routh), Н. Е. Жуковский, Анри Пуанкаре, но наибольшие успехи сделал А. М. Ляпунов.

А. М. Ляпунов родился 25 мая 1857 г. в Ярославле. Его отец, окончивший Казанский университет, работал в нём сначала в качестве астронома-наблюдателя, а потом заведующим обсерваторией. В 1856 г. он переселился в Ярославль, где стал директором Демидовского лицея. Кроме старшего сына Александра он имел ещё двоих: Сергея (1859–1924), известного композитора, и Бориса (1864–1942), действительного члена Академии наук по славянской филологии.

Первоначальное образование А. М. Ляпунов получил у отца, а потом у дяди по материнской линии Р. М. Сеченова, брата знаменитого физиолога. По окончании гимназии в Нижнем Новгороде в 1876 г. с золотой медалью он поступил в Петербургский университет на физико-математический факультет, сначала на естественное отделение, но уже через месяц перешел на математическое.

В это время главой Петербургской школы математиков был П. Л. Чебышев, оказавший на А. М. Ляпунова очень большое влияние. После окончания А. М. Ляпуновым университета в 1880 г. П. Л. Чебышев предложил ему заняться исследованиями относительно фигуры небесных тел. Первое решение этой задачи было дано Клеро и затем Лапласом. Рассматривая форму планеты как поверхность уровня в силовом поле под действием сил ньютонова тяготения и центробежной силы во вращении вокруг оси планеты, Клеро и Лаплас пришли к выводу, что поверхность Земли должна иметь форму эллипсоида вращения. Однако при некоторой величине угловой скорости эллипсоидальные формы перестают служить устойчивыми формами равновесия вращающейся жидкости. П. Л. Чебышев поставил задачу так: не переходят ли они при этом в какие-нибудь новые формы равновесия, которые при малом увеличении угловой скорости мало отличались бы от эллипсоидов?

После некоторых попыток А. М. Ляпунов отложил полное решение этой задачи, ограничившись магистерской диссертацией «Об устойчивости эллипсоидальных форм равновесия». Защитив успешно диссертацию, А. М. Ляпунов становится заведующим кафедрой теоретической механики в Харьковском университете. В это время им была подготовлена докторская диссертация «Общая задача об устойчивости равновесия», защищенная им в 1892 г.

Теоретически вычисленные уравнения движения механической системы могут отклоняться от реально получающихся в результате действия внешних факторов – неточности в задании начальных условий, необходимых при получении интегралов для уравнений движения, и от других факторов, действующих во время движения и вызывающих случайные, как правило, весьма незначительные отклонения. <...>

При помощи рассмотрения указанных квадратичных форм можно определить условия устойчивости или неустойчивости движения даже и в том случае, когда нельзя будет в полной мере найти выражение интеграла основных дифференциальных уравнений рассматриваемого движения.

В 1902 г. А. М. Ляпунов переезжает в Петербург, где он посвящает себя исключительно научным исследованиям.

Основные работы петербургского периода деятельности А. М. Ляпунова относятся к теории фигур небесных тел и форм равновесия равномерно вращающейся жидкости, частицы которой взаимно притягиваются по закону Ньютона. В это время он получил сочинение Анри Пуанкаре о фигурах равновесия жидких масс. Прочтя работу, он убедился, что Пуанкаре остался на тех же самых позициях, которые он занимал 17 лет тому назад. Поэтому А. М. Ляпунов продолжал свои исследования, которые получили особый интерес вследствие того, что они переплелись с новой космогонической теорией, выдвинутой Джорджем Дарвином – сыном знаменитого естествоиспытателя Чарльза Дарвина, – касавшейся происхождения Луны.

Выдвинутая Дж. Дарвином теория приливной эволюции и происхождения Луны заключалась в следующем. Среди всех планетных спутников Луна выделяется своими размерами и массой; это обстоятельство делает трудно применимой к ней теорию захвата, которой можно объяснить происхождение большого числа планетных спутников.

Рассмотрим механическую систему Земля – Луна. На эти планеты действуют силы притяжения Солнца. Если пренебречь разницей в расстоянии до Солнца от центра Земли и Луны, то можно считать обе эти планеты имеющими по направлению к Солнцу одинаковые нормальные ускорения; в таком случае относительные движения обеих планет не изменятся и можно считать центр Земли неподвижным; при этом, конечно, сохраняются как вращения обеих планет вокруг собственной оси, так и движение Луны вокруг Земли.

В таком случае можно считать постоянным кинетический момент системы, складывающийся из кинетических моментов собственных вращений Земли и Луны вокруг своих осей и кинетического момента движения Луны вокруг Земли.

Так как ближайšie к Луне частицы воды на земной поверхности притягиваются сильнее, чем частицы в центре Земли, а частицы, находящиеся на противоположной стороне Земли, наоборот, слабее, то разность этих сил притяжения обуславливает две приливообразующие силы, которые на ближайшей к Луне части земной поверхности направлены к Луне, а на более отдаленной – наоборот, от Луны. Если считать диаметр Земли весьма малым по сравнению с расстоянием между Землей и Луной, то, дифференцируя формулу, выражающую закон всемирного притяжения, обратно пропорционального квадрату расстояния, нетрудно показать, что приливообразующая сила изменяется обратно пропорционально кубу расстояния. Этим объясняется то обстоятельство, что хотя силы притяжения Земли Солнцем больше, чем Луной, но приливообразующая сила Луны гораздо больше приливообразующей силы Солнца.

Эти две силы оттягивают воды океана в обе стороны от поверхности Земли, образуя приливную волну, которая при вращении Земли вокруг своей оси два раза в сутки обходит вокруг Земли. Действие этой приливной волны, идущей против направления вращения Земли, несколько тормозит вращение Земли (длительность суток незначительно возрастает). То же самое происходило и на Луне. Обе силы, действующие на Землю и на Луну, согласно третьему закону Ньютона, равны, но, поскольку масса и момент инерции Луны гораздо меньше,

чем у Земли, действие приливов на Луну гораздо больше, чем на Землю. Но если кинетические моменты собственного вращения Земли и Луны уменьшаются, а общий кинетический момент системы сохраняет постоянную величину, то расстояние между Землей и Луной должно со временем увеличиваться, ибо нет причин, которые могли бы увеличить скорость Луны в её движении вокруг Земли.

Теперь, если рассматривать движение в направлении, обратном течению времени, то можно сделать вывод, что ранее Луна была ближе к Земле и угловые скорости Земли и Луны вокруг своих осей были больше. Вычисления Дж. Дарвина показали, что когда Луна находилась в непосредственной близости к Земле, то продолжительность суток в системе Земля – Луна составляла всего пять часов. Так как исследования Пуанкаре показали, что одной из форм равновесия вращающейся жидкой массы является грушевидная, а Дарвин определил, что при скорости вращения, соответствующей продолжительности суток около пяти часов, устойчивость грушевидной формы жидкой массы нарушится, то Луна – меньшая часть груши – должна оторваться от остальной части, которая и составит Землю.

Теория приливной эволюции в настоящее время является общепризнанной; она объясняет, почему Луна обращена к Земле всегда одной стороной (угловая скорость собственного вращения Луны одинакова со скоростью её обращения вокруг Земли).

Однако теория Дж. Дарвина о происхождении Луны не оказалась справедливой. А. М. Ляпунов показал, что Пуанкаре и Дарвин в своих исследованиях применяли только первые приближения, и отброшенные ими члены в действительности могли иметь такую величину, что делают результаты, полученные Дарвином, невозможными, а именно грушевидная форма равновесия была неустойчивой с самого начала и, следовательно, не могла образоваться.

В дальнейшем английский астроном Джинс произвел пересмотр вычислений Дарвина по приближенным формулам. Ему удалось обнаружить в вычислениях Дарвина пренебрежение членами, которые сам Дарвин считал ничтожными, но которые в действительности оказались достаточно большими. Когда было произведено вторичное вычисление уже по формулам второго приближения, то полученные результаты оказались в полном согласии с теорией Ляпунова.

Материал, касающийся фигур равновесия жидкой массы, опубликованный за период 1905–1918 г. и только в «Записках Русской Академии наук», составляет около 750 страниц текста. Разработка оставленного Ляпуновым материала представляет громадную задачу, которая выполняется его последователями как в нашей стране, так и за рубежом.

В настоящее время теория устойчивости Ляпунова является одним из сильнейших математических средств в исследованиях, касающихся космических полетов.

## Н. Е. ЖУКОВСКИЙ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКИ

Отец русской авиации *Н. Е. Жуковский* родился 17 января 1847 г. в деревне Орехово Владимирской губернии. Он был сыном инженера по дорожному строительству. Первоначальное образование он со своим старшим братом получил в семье; их учителем был замечательный педагог А. Х. Репман, естествоиспытатель по специальности, который научил Николая Егоровича понимать и любить природу. Живое чувство природы не оставляло ученого в течение всей жизни и оно ясно обозначается в его научно-исследовательской деятельности: он умел наблюдать и выделять наиболее важные черты, определяющие изучаемое явление. В 1857 г. он вместе со старшим братом поступил в Московскую гимназию. Первые два года будущий учёный не выказывал больших успехов. Но в третьем классе, где математику стал преподавать известный автор учебников А. Ф. Малинин и началось изложение геометрии, Николай Егорович показал недюжинные геометрические способности и окончил гимназию в 1864 г. с серебряной медалью.

После окончания гимназии ему пришлось поступить на физико-математический факультет Московского университета, что он сделал с очень большой неохотой, так как не чувствовал в себе никакого призвания к преподавательской деятельности.

В середине XIX в. в Московском университете, как и вообще в России, основное направление в преподавании механики было главным образом аналитическое – по Лагранжу. Определяющим было влияние М. В. Остроградского, идеи которого развивал Н. Д. Брашман – основатель Московского математического общества. Нельзя сказать, чтобы геометрические идеи Пуансо были совершенно неизвестны в Московском университете, но всё-таки они стояли на втором плане.

В Московском университете Н. Е. Жуковскому пришлось столкнуться с представителями обоих направлений. Теоретическую механику он слушал у Ф. А. Слудского – последователя «Аналитической механики» Лагранжа, а также у В. Я. Цингера, преподававшего на младших курсах математику. В этой борьбе двух направлений Н. Е. Жуковский определённо стал на сторону геометрического метода, не пренебрегая, однако, и аналитическим. Его идеи ясно выражены в речи, произнесенной на 25-летнем юбилее Московского математического общества.

«Отстаивая достоинства геометрического метода исследования, я далёк от мысли об его исключительности. Механика должна равноправно опираться на анализ и геометрию, заимствуя от них то, что наиболее подходит к существу задачи... Анализ даёт нам могущественное оружие для разрешения задач динамики. Но последняя обработка решений задачи всегда будет принадлежать геометрии»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Материалы Музея Н. Е. Жуковского.

В 1870 г. Н. Е. Жуковский становится преподавателем физики в Московской второй женской гимназии и увлекается лабораторными работами. Одновременно он готовится к магистерским экзаменам. После их окончания он становится доцентом Московского высшего технического училища по кафедре аналитической механики. В 1876 г. он защищает магистерскую диссертацию на тему «Кинематика жидкого тела». Таким образом, определилось его основное направление научной деятельности.

Механика жидкого тела разделялась на две части: гидростатику и гидродинамику. Как уже известно, гидростатика – учение о равновесии жидкостей и плавающих в ней тел; её основы были заложены еще Архимедом. Дальнейшее ее развитие относится к XVII в., когда основные законы гидростатики были установлены Стевином и Паскалем. В XVIII в. законы плавания судов были почти одновременно установлены Эйлером в его «Морской науке» и Буге, который занялся исследованием условий равновесия плавающего судна. Общее решение задачи об устойчивости равновесия плавающих тел было дано Дюпеном и А. Ю. Давидовым.

Что касается теории движения жидкостей – гидродинамики, то её положение было значительно менее удовлетворительным. Первое сочинение по гидродинамике принадлежит *Даниилу Бернулли* (1700–1782), начало деятельности которого протекало в Петербургской Академии наук: его основное произведение «Гидродинамика» вышло в 1738 г. Ему принадлежит уравнение, устанавливающее связь между скоростью жидкости, движущейся в трубе, и соответствующим давлением; эта теорема вместе с поправочными коэффициентами является основным содержанием прикладной гидродинамики – так называемой гидравлики.

Несколько позднее Эйлер и Лагранж дали дифференциальные уравнения в частных производных, определяющие движение жидкости. Но их интеграция представляла довольно трудный процесс. Кроме математических, имелись ещё и принципиальные трудности. Подобно тому как в геометрической статике рассматривается идеальное, так называемое абсолютно твердое тело, в гидродинамике тоже пришлось установить понятие об идеальной жидкости. Под этим понятием подразумевалась непрерывная, несжимаемая жидкость, все части которой могли свободно перемещаться, касаясь друг друга; последнее требование равнозначно существованию лишь нормальных сил взаимодействия между частицами; таким образом, силы трения и вязкость жидкости устранялись. Но в этом случае при обтекании жидкости вокруг заключенного в ней твёрдого тела полная сила давления на тело оказывалась равной нулю, что, конечно, не соответствовало действительности.

Разработкой гидродинамики в течение XIX в. в Западной Европе занимались три ученых – *Августин Коши* (1789–1857), *Герман Гельмгольц* (1821–1894) и *Густав Кирхгофф* (1824–1887).

Для Коши гидродинамика представляла лишь частный случай его механики непрерывной среды. Он первый начал разрабатывать механику непрерывной среды, т. е. механику упругого твёрдого тела и жидкости. Он первый стал рассматривать условия равновесия и движения выделенного объема этой среды, на

который действуют объёмные и поверхностные силы (силы, действующие на «единицу объёма – массы – тела и на единицу поверхности выделённого объёма»); в случае упругого тела ему принадлежит установление шести составляющих напряжения – трёх нормальных и трёх тангенциальных, – откуда развивалась теория тензоров. В случае жидкой частицы он рассматривал не только её поступательное и вращательное перемещение, но также и деформации – изменения объёма (коэффициент кубического расширения) и формы, когда сфера переходит в эллипсоид. <...>

Герман Гельмгольц родился в Потсдаме 12 августа 1821 г. После окончания военно-медицинской академии он посвятил себя изучению физиологии, не оставляя, однако, механики и физики, которыми он живо интересовался с самого детства.

В 1847 г. Г. Гельмгольц выпустил работу «О сохранении силы» (в то время термина «энергия» еще не существовало), которая наряду с исследованиями Роберта Майера и Джоуля является основополагающей в установлении закона сохранения энергии. В 1858 г. выходит его работа «Об интегралах гидродинамических уравнений, соответствующих вихревому движению», которая даёт физическое истолкование элементарных вращений, лишь слегка и притом чисто аналитически намеченных в работах Коши.

Работы Коши и Гельмгольца предшествовали магистерской диссертации Н. Е. Жуковского, а научная деятельность Густава Кирхгоффа развертывалась одновременно с деятельностью Н. Е. Жуковского.

В 1842 г. Г. Кирхгофф поступил на физико-математический факультет Кенигсбергского университета, в котором процветала кенигсбергская физико-математическая школа, основанная *Францем Нейманом* (1798–1895) и математиком *Карлом-Густавом Якоби* (1804–1851), продолжателем динамики Гамильтона. Первые работы *Кирхгоффа* (1845–1847) касались распространения электричества по пластинкам.

В 1876 г. вышли «Лекции по математической физике» Кирхгоффа, в первом томе которых он изложил математический метод исследования плоскопараллельных движений жидкостей; видоизменение этого метода было плодом одной из блестящих гидродинамических работ Н. Е. Жуковского.

Рассмотрим его первую работу по гидродинамике – магистерскую диссертацию «Кинематику жидкого тела». Во введении к этой работе Н. Е. Жуковский писал, что в ней дан краткий, но по возможности наглядный очерк теории скоростей и ускорений непрерывно изменяемого тела. Это можно рассматривать как вступление в гидродинамику; здесь поставлены общие теоремы о движении жидкости на уровне развития, которое получили исследования изменяемых систем частного вида.

В первой главе Н. Е. Жуковский передает результаты, полученные Коши в его двух основных работах: «О движении или напряжении твердого тела» и «О распространении волн на поверхности тяжелой жидкости бесконечной глубины». Он рассматривает все три изменения, указанных Коши: деформацию, вращение и поступательное перемещение. Всё бесконечно малое движение частицы складывается из поступательного движения её центра, из движения, обра-

шающего бесконечно малый шарик в эллипсоид деформации, бесконечно мало отличающийся от шара, и из вращения осей деформации. <...>

Таким образом, остающееся движение получает название движения с потенциалом скоростей.

После исключения поступательного перемещения, определяемого движением центра частицы, получаем то, что Н. Е. Жуковский называет внутренним движением, т. е. чистую деформацию, которую он подробно рассматривает в остальной части первой главы.

Во второй главе исследуется течение жидкости, а именно рассматриваются линии и поверхности токов. <...>

Последние две главы посвящены сложению и разложению течений жидкости, а также ускорениям точек движущейся жидкости.

После защиты магистерской диссертации Н. Е. Жуковский получает заграничную командировку (1877), а в 1879 г. он назначается сверхштатным профессором теоретической механики в МВТУ. В это время Н. Е. Жуковский сближается с Ф. Е. Орловым, профессором прикладной механики Московского университета и основателем механического кабинета. Одновременно расширяются его знакомства с инженерными кругами, и он становится активным членом Политехнического общества. В это время Н. Е. Жуковский готовится к докторской диссертации «О прочности движения», которую он с успехом защищает в 1882 г.

После защиты докторской диссертации Н. Е. Жуковский получает степень доктора и становится приват-доцентом Московского университета, а затем он выбирается экстраординарным профессором теоретической механики Московского университета. Пребывание в университете и знакомство с рядом выдающихся профессоров – физиком А. Г. Столетовым, астрономами Ф. А. Бредихиным и В. К. Церасским, а также с математиками Б. К. Млодзеевским, В. Я. Цингером и Н. В. Бугаевым – очень расширили круг интересов Н. Е. Жуковского.

Он выпускает ряд работ астрономического характера, из которых особенно интересна большая работа «О движении твёрдого тела, имеющего полости, наполненные однородной капельной жидкостью»; в то время эта работа была удостоена премии Брашмана. В конце сочинения ставится вопрос: если трение жидкости в полости тела влияет на его вращение так, что по начальному состоянию можно указать положение оси вращения, которое она примет по истечении очень продолжительного времени, то не этой ли теоремой следует объяснить то обстоятельство, что, несмотря на всякие случайные начальные скорости, планеты вращаются около своих осей инерции?

Основным сочинением по гидродинамике наряду с «Кинематикой жидкого тела» и «Движением твердого тела с полостями, наполненными капельной жидкостью» было сочинение, вышедшее в 1890 г., «Видоизменение метода Кирхгоффа для определения движения жидкости в двух измерениях при постоянной скорости, данной на неизвестной линии тока». <...>

Знакомство с университетскими астрономами оставило след в астрономических работах Н. Е. Жуковского, в частности в уже упомянутой работе «О

движении твёрдых тел с полостями, заполненными жидкостью». Когда Комиссия по увеличению московского водопровода обратилась к нему с просьбой помочь в её работе, то Н. Е. Жуковский дал несколько работ, касающихся исследования движения почвенных вод, в частности классическую работу «О гидравлическом ударе в водопроводных трубах», позволившую устанавливать место разрыва водопроводных труб, не дожидаясь, когда вода в месте разрыва выйдет наружу; эта работа была переведена на английский язык.

После того как математики Московского университета заинтересовались нахождением частных решений уравнений Эйлера для движения твёрдого тела, Н. Е. Жуковский создал ряд работ по гироскопии, в частности дал геометрическую интерпретацию случая Ковалевской.

Непрерывный ряд исследований Н. Е. Жуковского по аэродинамике и воздухоплаванию выдвинул его в число передовых учёных как в России, так и за рубежом.

Серьёзно заниматься вопросами воздухоплавания Н. Е. Жуковский начал с 1890 г., когда появилась его первая статья по теории летания. В этой статье он показывает, что сила тяги самолёта может получиться или в результате трения, или же вследствие срыва струй с движущегося тела, нарушающего плавное обтекание, которое требуется теорией идеальной жидкости. В этой статье он склонился в пользу силы трения, но в дальнейшем вопрос был решён в пользу теории идеальной жидкости с добавлением срыва струй и соответствующего образования вихрей.

Одна за другой следуют его работы «О парении птиц», «О наивыгоднейшем наклоне аэропланов» и «О присоединенных вихрях». В это время уже с изобретением легкого двигателя внутреннего сгорания экспериментальные и теоретические работы по воздухоплаванию начинают появляться и в России, и за границей. В 1904 г. один из учеников Н. Е. Жуковского Д. П. Рябушинский построил в Кучине Аэродинамический институт, затем строится аэродинамическая труба в Техническом училище и в Московском университете. В Техническом училище создаётся воздухоплавательный кружок, а в 1909–1910 гг. Н. Е. Жуковский читает там впервые созданный курс «Теоретические основы воздухоплавания».

Ставится серьёзно вопрос о причине возникновения подъёмной силы у крыльев, имеющих изгиб кверху. Качественное объяснение причины этого возникновения было дано ещё в 1894 г. английским профессором Ланчестером при помощи толкования известной теоремы Бернулли, устанавливающей связь между скоростью течения жидкой струи и возникающим в ней давлением. Он указывал, что на верхней выпуклой стороне крыла увеличивается скорость протекающей жидкости и соответственно уменьшается давление; разность давлений на нижней и верхней поверхностях крыла и является причиной направленной вверх подъёмной силы. Это в основе своей правильное объяснение не позволяло, однако, получить количественного определения величины подъёмной силы для заданного профиля крыла.

Способ для этого определения был открыт Н. Е. Жуковским в сентябре 1904 г. в Кучине, когда он наблюдал движение в воздухе воздушных змеев; у

него появилась первая догадка, которая через два года привела к теореме Жуковского, изложенной в статье «О присоединенных вихрях». <...>

Так как эти формулы предполагали существование плоскопараллельного движения, простирающегося в бесконечность, то следующей задачей было получить формулы для расчета подъемной силы крыла конечной длины. Некоторые результаты в этой области были известны С. А. Чаплыгину в 1911 г., но полное развитие идей Жуковского и Чаплыгина в применении к крылу конечной длины было сделано немецким учёным Людвигом Прандтлем.

В это время Н. Е. Жуковский занимался другой, болгее сложной теорией, а именно определением силы тяги винта. Кроме избегающего потока со скоростью  $v$  самолета на лопасть винта действовал ещё круговой поток, происходящий от его вращения. Рассматривая фотографии струй, образуемых вращающимся корабельным винтом в бассейне, Н. Е. Жуковский обратил внимание на пузырьки воздуха, образовавшие винтовые линии, которые являлись следами вихревых нитей, сбегавших с лопастей винта. Это послужило основой для создания им вихревой теории воздушных винтов, которой были посвящены четыре больших мемуара, написанных в 1912–1918 гг.

В 1916 г. при аэродинамической лаборатории Московского высшего технического училища было образовано Расчетно-испытательное бюро под председательством Н. Е. Жуковского. Из этого бюро 1 декабря 1918 г. согласно постановлению Совета Народных Комиссаров был создан Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), объединивший группу учеников Н. Е. Жуковского по Московскому высшему техническому училищу. Это были В. П. Ветчинкин, А. Н. Туполев, Б. Н. Юрьев, Б. С. Стечкин, Г. Х. Сабинин, К. А. Ушаков, Г. Н. Мусиньянц, Н. И. Иванов и Н. Г. Ченцов.

## С. А. ЧАПЛЫГИН И ЕГО НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ЦЕНТРАЛЬНОМ АЭРО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ (ЦАГИ)

*С. А. Чаплыгин* родился 6 апреля 1869 г. в городе Раненбурге (теперь г. Чаплыгин). Отец его умер 24 лет от холеры, когда мальчику было всего лишь два года. Семья переехала в Воронеж, и в 1877 г. Сергей Алексеевич поступил в гимназию. Учиться ему было легко, так как он обладал великолепной памятью (позднее он говорил, что настолько хорошо помнил все математические выводы, что даже боялся невозможности самостоятельной работы в своих исследованиях). Лучше всего ему давались языки и математика.

После окончания гимназии он поступил в университет. В университете большое влияние на его формирование оказал профессор физики А. Г. Столетов (1839–1896), который читал курс математической физики.

Властителем его дум оказался Н. Е. Жуковский, который в это время в своих «Лекциях по гидродинамике» утверждал важность этого раздела теоретической механики. Влияние Н. Е. Жуковского обнаруживается уже в первых работах С. А. Чаплыгина «О движении твердого тела в несжимаемой жидкости» (дипломная работа), «О некоторых возможных случаях движения твёрдого

тела в жидкости» (две части, вторая из которых послужила магистерской диссертацией, защищенной в 1898 г.). Эту работу Н. Е. Жуковский охарактеризовал как единственное исследование по геометрической интерпретации движения твердого тела в жидкости; в действительности, это был перевод на геометрический язык результатов, полученных чисто аналитическими методами.

По окончании университета в 1890 г. С. А. Чаплыгин был оставлен для подготовки к профессорской деятельности со стипендией в 50 рублей, которая очень обрадовала его семью: для нее такая сумма казалась недостижимым, идеалом. Через два года, когда истёк срок оставления при университете, Сергею Алексеевичу пришлось искать преподавательскую работу в средних учебных заведениях. <...>

С 1896 по 1906 г. он преподает механику в Московском высшем техническом училище. В это время его теоретические работы совершенно изменяют свой характер; в основном он работает в области исследования движения твёрдого тела, а также изучает системы с неголономными связями, что было в то время открытием. Исследованию неголономных систем посвящены работы «О движении тяжелого тела вращения на горизонтальной плоскости», «О некотором возможном обобщении теоремы площадей на случай катания шаров», а также «Новый взгляд на начало Гамильтона» – обобщение принципа Гамильтона на случай неголономных систем.

В этом отношении С. А. Чаплыгин опередил некоторых западноевропейских учёных, работавших в той же области. В классической механике XIX в. рассматривались преимущественно наложенные на движущиеся точки связи, которые выражались уравнениями от координат точек, а также и времени (нестационарные связи); это так называемые голономные связи; их уравнения можно было рассматривать как уравнения поверхностей в пространстве трёх и более измерений.

При помощи дифференцирования этих уравнений определялись возможные перемещения точек системы, а также направления нормальных реакций связей. Однако практика второй половины XIX в. показала, что существуют такие связи, которые налагаются не на координаты (декартовы или обобщённые) точек систем, а на их производные (скорости). Если имеется стационарная связь  $f(x, y, z) = 0$ , то возможные перемещения материальной точки удовлетворяют уравнению

$$\frac{df}{dx} dx + \frac{df}{dy} dy + \frac{df}{dz} dz = 0,$$

где  $dx, dy, dz$  – виртуальные скорости рассматриваемой точки.

Если связь голономна, то, проинтегрировав приведённое уравнение, получим уравнение первоначальной связи. Если же связи налагаются только на скорости, то получающееся соотношение между виртуальными скоростями нельзя проинтегрировать; поэтому неголономные связи называются неинтегрируемыми. Число степеней свободы системы с голономными связями определяется числом её обобщённых координат, а с неголономными – числом независимых

возможных перемещений. Отсутствие обобщенных координат не позволяет воспользоваться уравнениями Лагранжа второго рода, поэтому исследование движения неголономной системы требует совершенно иного подхода.

Впервые с таким вопросом С. А. Чаплыгин столкнулся в 1895 г., изучая предложенное шведским математиком Линделефом решение задачи о качении тела вращения по шероховатой плоскости. Линделеф определял положение тела пятью координатами и применил уравнения Лагранжа. С. А. Чаплыгин нашёл данное им решение неправильным, указал, в чём заключается ошибка, и предложил собственное решение. <...>

Примерами неголономных систем являются велосипед, скользящие по льду коньки, серсо, направляющие ролики счётных приборов и т. д. С. А. Чаплыгин дал обобщённые уравнения Лагранжа для случая, когда на скорости некоторых точек тела налагаются ограничения. Эти уравнения вошли в курс механики под именем уравнений Чаплыгина. Работы 1897–1898 гг. по механике неголономных систем, а также работы о движении твёрдого тела в жидкости, представленные в Академию наук на соискание премии графа Д. А. Толстого, удостоены присуждения большой почётной золотой медали.

Отметим, что кроме С. А. Чаплыгина неголономными системами занимался также *П. В. Воронец* (1871–1923), который по окончании Рязанской гимназии поступил на математическое отделение Киевского университета и получил золотую медаль за «Геометрическое исследование Эйлера случая вращения твёрдого тяжёлого тела»; затем он защитил магистерскую диссертацию «Уравнения движения твёрдого тела, катящегося без скольжения по неподвижной плоскости», в котором он применил новый метод для получения уравнений движения неголономных систем. В этой области П. В. Воронец опубликовал целый цикл работ, где получил систему дифференциальных уравнений движения системы с линейными неголономными связями в наиболее общем виде и создал общий метод преобразования таких систем.

Первым чисто аэродинамическим произведением С. А. Чаплыгина была его докторская диссертация «О газовых струях», защищённая им в 1903 г. Основные её идеи можно было отметить и раньше. Так, в 1895 г. он делал в Математическом обществе доклады «О движении газа с поверхностями разрыва», а затем «К вопросу о струях в несжимаемой жидкости». Целью этой диссертации была разработка метода, который позволил бы решать задачи о движении сжимаемой жидкости:

Данное С. А. Чаплыгиным решение задачи заключается в том, что если имеется решение соответствующей задачи для несжимаемой жидкости, то при помощи некоторых преобразований можно получить решение и в случае сжимаемой жидкости. Во время защиты диссертации эта работа встретила восторжённые отзывы ряда учёных, но практического приложения тогда она иметь не могла, так как для движений с дозвуковыми скоростями влияние сжимаемости было очень невелико, а для скоростей, превышающих скорость звука, применение метода Чаплыгина встречало очень большие трудности.

Общемировое значение работа получила только в 1935 г. на конгрессе в Риме по газовой динамике. В это время и в авиации стали возможными полеты

со скоростями, большими скоростей звука, и удалось получить формулы для определения влияния сжимаемости газа не только на лобовое сопротивление (это можно было сделать и при помощи метода Чаплыгина), но и рассчитать величину подъемной силы. Таким образом, работа С. А. Чаплыгина опередила техническое решение задачи примерно на 30 лет.

В 1903 г. С. А. Чаплыгин получил звание профессора Московского университета и стал читать лекции по теоретической механике. Несмотря на не очень продолжительное пребывание С. А. Чаплыгина в университете, его деятельность оставила очень заметные следы.

В конце XIX и начале XX в. преподавание механики в московских высших учебных заведениях велось, по существу, под руководством Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина,

В Высшем техническом училище им. Баумана, в котором преподавал Н. Е. Жуковский, чтение курса механики занимало два года: на первом курсе изучалась только теоретическая механика, а на втором – аналитическая. На первом семестре читалась статика вместе с графостатикой и теорией расчета ферм, а на втором – геометрический курс кинематики (без дифференциального исчисления) и начала динамики. Аналитическая механика содержала кинематику точки в таком виде, как теперь преподаётся начальная часть этой науки (определение траекторий, скоростей, ускорений), затем доказательство теоремы Кориолиса при помощи девиаций, интегрирование уравнений динамики точки (в том числе и движение планет, но без колебательных движений), динамику системы и аналитическую статику, а также теорему Кастильяно.

В университете механику изучали на втором и третьем курсах: на третьем семестре читались сначала кинематика, затем статика без графостатики, а на четвертом семестре – динамика точки, в которую входили интеграция дифференциальных уравнений прямолинейного движения, математический маятник и движение планет и, наконец (что представляло особенность курса Жуковского), теория притяжения.

В Московском университете в 1911–1915 гг. основным учебником на втором курсе было литографированное издание первой части механики Н. Е. Жуковского; на третьем курсе – аналитическая статика и динамика системы С. А. Чаплыгина (5-й и 6-й семестры). В чтении курса в университете Н. Е. Жуковский придерживался именно этого порядка. Появление указанных печатных изданий объяснялось тем, что С. А. Чаплыгин читал лекции именно на третьем курсе и вёл там практические занятия.

Семинарские занятия по механике вёл Н. Е. Жуковский: он диктовал каждый раз около десяти задач для самостоятельного решения, которые в следующий раз и решались студентами по предварительной записи. Для получения зачета студенту, решавшему задачи на семинаре, оставалось только представить тетрадь с решёнными задачами. Для тех, кто не успевал это сделать, в конце семестра устраивалось нечто вроде репетиции: ставилось шесть-семь досок, на которых студент решал задачу по своему выбору с тем лишь ограничением, чтобы выбранная им задача не решалась одновременно кем-либо из остальных пяти-шести отвечающих. Задачи Н. Е. Жуковский диктовал наизусть; когда его

просили сообщить ответ, он давал его, подумав минуту, и, как правило, ответ был верным.

Задачи на семинарах Н. Е. Жуковский давал главным образом из сборника Jullien'a, который он и рекомендовал студентам. Что касается семинаров С. А. Чаплыгина, то он давал на них свои специальные задачи, в которых интеграл дифференциального уравнения движения получался в элементарных функциях только при специальном подборе начальных условий. Эти задачи он тоже давал наизусть, не ошибаясь в условиях, иногда довольно сложных.

В конце 1905 г. профессорская коллегия Московских Высших женских курсов избрала С. А. Чаплыгина директором курсов.

Директором Высших женских курсов С. А. Чаплыгин оставался до 1918 г., когда курсы, преобразованные во второй государственный университет, были слиты с Московским университетом.

В конце 1909 г., когда Н. Е. Жуковский на съезде Русского общества естествоиспытателей делал доклад о возникновении подъёмной силы крыла самолета, присутствовавшему на докладе С. А. Чаплыгину пришла мысль, что все трудности, связанные с определением циркуляции скорости, можно преодолеть, если учесть то обстоятельство, что крыло заканчивается острой кромкой, с которой срываются линии тока на верхней и нижней сторонах крыла. После заседания он сообщил это Н. Е. Жуковскому; выяснилось, как можно определить величину циркуляции и таким образом решить полностью задачу об определении подъёмной силы самолетов.

После этого начинается ряд работ С. А. Чаплыгина в области теории воздухоплавания. В течение 1910–1911 гг. в Математическом обществе он делает доклады «Об ударе потока на дугу круга», «К теории биплана и руля высоты», «К теории полета птиц и насекомых», «К теории поддерживающей силы изогнутых пластинок» и выпускает работу «О давлении плоскопараллельного потока на преграждающие тела». В этой работе при помощи теории функций комплексного переменного были выведены формулы для определения величины и точки приложения подъемной силы самолета и приведены профили крыльев с закругленным передним концом, в частности так называемые «профили Жуковского». В 1914 г. им была написана работа «Теория решётчатого крыла», а в 1920 г. – «К общей теории крыла моноплана».

После смерти Н. Е. Жуковского в 1921 г. С. А. Чаплыгин избирается председателем коллегии Центрального аэро-гидродинамического института, и перед ним ставится задача о строительстве здания аэродинамической лаборатории в ЦАГИ, который, не имея собственной лаборатории, пользовался установками, имевшимися в лаборатории Московского высшего технического училища. В очень короткий срок был создан полный комплекс лабораторий, сразу выдвинувший ЦАГИ в первый ряд научно-исследовательских институтов мира. Одновременно был построен опытный завод, выпустивший ряд всемирно известных самолетов легкой и тяжёлой авиации.

Во время работы в качестве директора ЦАГИ Сергей Алексеевич выпускает ряд работ, посвященных теории авиации: «О давлении плоскопараллельного потока на преграждающие тела» (1910) и «К общей теории крыла моноплана»

(1920) и др. Последняя работа дает методы, при помощи которых устанавливаются условия устойчивости самолета, аналогичные тем, которые были получены для устойчивости плавания твёрдых тел в жидкости.

Точка пересечения двух линий действия давления жидкости на корпус корабля, получающихся при бесконечно малом изменении угла его наклона, называется метацентром. С. А. Чаплыгин показал геометрическим методом, что совокупность метацентров (так называемая метацентрическая кривая) для любого профиля является параболой. Приводя систему сил воздушных давлений на самолёт к центру приведения в фокусе этой параболы, получаем следующую теорему Чаплыгина: силы давления воздуха на крыло приводятся в результирующей силе  $P$ , проходящей через фокус, и постоянной паре сил, момент которой (опрокидывающий момент) равен произведению подъёмной силы на расстояние от фокуса параболы до линии действия подъёмной силы.

Вид и положение метацентрической кривой, или параболы устойчивости Чаплыгина, являются определяющими для характера устойчивости данного самолета. Если подобрать профиль крыла так, чтобы опрокидывающий момент равнялся нулю, то вследствие постоянства опрокидывающей пары можно сделать, чтобы подъёмная сила проходила через неизменную точку крыла, так что центр давления крыла с данным профилем будет постоянным.

Если сделать ось вращения крыльев проходящей через этот центр, то управление самолётом становится очень простым, так как моменты сил воздушного потока взаимно уравниваются. Кроме того, С. А. Чаплыгин открыл ещё серию профилей крыльев, известных под именем профилей Чаплыгина; от профилей Жуковского они отличаются тем, что имеют острую заднюю кромку с конечным углом; это обстоятельство не изменяет величины подъёмной силы для соответствующего профиля Жуковского, но делает крыло более устойчивым.

Следующие работы С. А. Чаплыгина касались крыльев с подвижными частями (механизированных); к ним относятся: «Схематическая теория разрезного крыла» (1921), посвящённая памяти Н. Е. Жуковского, «К теории открьлка и закрылка» (1931) и «К теории триплана» (1937).

Работа «О влиянии плоскопараллельного потока воздуха на движущееся в нём цилиндрическое крыло», написанная в 1926 г., является родоначальницей работ ряда советских учёных в области теории неустановившегося движения для профиля, форма которого постоянна или изменяется со временем.

В 1929 г. С. А. Чаплыгин был избран в академики и вместе с Г. М. Кржижановским и В. Ф. Миткевичем стал первым членом новообразованного в Академии отделения технических наук.

С 1931 г. он по состоянию здоровья освобождается от должности начальника ЦАГИ, продолжая в нём работу в качестве начальника общетеоретического отдела, а с 1940 г. – начальника аэродинамической лаборатории ЦАГИ.

В 1941 г., когда началась Великая Отечественная война, Центральный аэро-гидродинамический институт эвакуируется в Новосибирск и С. А. Чаплыгин занимается организационной работой по переводу и приспособлению ЦАГИ к

работе на оборону страны. На этой работе его застигает смерть 8 октября 1942 г.

Имена Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина неразделимы в истории русской механики и теории воздухоплавания первой четверти XX в.; более того, их деятельность настолько органически связана, что даже они сами не могли решить, кто из них первый открыл знаменитую теорему Жуковского–Чаплыгина о циркуляции, а курс теоретической механики в Московском университете в равной мере создан обоими учёными.

Тем не менее даже в этой частной области знания можно отметить резкие расхождения между ними. Исследования Н. Е. Жуковского почти всегда идут от частного к общему, от конкретного наблюдения или практической потребности к общей теории; его научные работы в основном представляют ряд статей, объединенных не общей мыслью, а лишь постоянством предмета исследования.

Работы С. А. Чаплыгина в области воздухоплавания представляют единую последовательность, объединяемую не предметом исследования, а развитием мысли исследователя. Если Н. Е. Жуковский считал, что целью механики является составление таких уравнений, которые можно проинтегрировать, для чего обязательно нужно уметь выбирать приближенную картину явления, наиболее характеризующую его черты, то С. А. Чаплыгин пользовался приближениями только тогда, когда мог определить погрешность, которую они представляют. Он много занимался выработкой приближённых методов интегрирования дифференциальных уравнений. Для него практические приложения получались сами собой, как результаты теории, но не наоборот. В математике он ценил теорию дифференциальных уравнений, функций комплексного переменного, дифференциальную геометрию, но скептически относился к высшей алгебре, топологии, общей теории функций и к теории множеств; следует отметить, что в последнем отношении эту же точку зрения разделял и Н. Е. Жуковский. Теория, не разработанная до конца, не привлекала его внимания; в этом отношении очень характерно, что С. А. Чаплыгин не признавал теории пограничного слоя. Его отношение к теории относительности было очень скептическим именно вследствие того, что в его время она ещё не была разработана в полной мере. Что касается Н. Е. Жуковского по отношению к теории относительности Эйнштейна, то в его время она была ещё «неработающей», а вещи, которые не могли быть полезными в исследовании явлений природы, у Н. Е. Жуковского успехом никогда не пользовались.

Равным образом, оба великих учёных не пользовались уже начинавшей тогда появляться векторной алгеброй: скалярное произведение Н. Е. Жуковский именовал «геометрическим», а о векторном даже и не упоминал.

***Веселовский, И. Н. Очерки по истории теоретической механики [Текст] / И. Н. Веселовский. Москва: Издательство ЛКИ, 2010. С. 224–258.***

## **ГУРЕЕВА О. ТРАНЗИСТОРНАЯ ИСТОРИЯ**

Ровно 50 лет назад американцам Джону Бардину, Уолтеру Браттейну и Уильяму Шокли была присуждена Нобелевская премия по физике «За исследования в области полупроводников и открытие транзистора». Тем не менее, анализ истории науки однозначно свидетельствует, что открытие транзистора – это не только заслуженный успех Бардина, Браттейна и Шокли.

### **Первые опыты**

Рождение твердотельной электроники можно отнести к 1833 году. Именно тогда Майкл Фарадей, экспериментируя с сульфидом серебра, обнаружил, что проводимость данного вещества (а это был, как мы теперь называем, полупроводник) растёт с повышением температуры, в противоположность проводимости металлов, которая в данном случае уменьшается. Почему так происходит? С чем это связано? На эти вопросы Фарадей ответить не смог.

Следующей вехой в развитии твердотельной электроники стал 1874 год. Немецкий физик Фердинанд Браун, будущий нобелевский лауреат (в 1909 году он получит премию «За выдающийся вклад в создание беспроводной телеграфии») публикует статью в журнале *Analen der Physik und Chemie*, в которой на примере «естественных и искусственных серных металлов» описывает важнейшее свойство полупроводников – проводить электрический ток только в одном направлении. Выпрямляющее свойство контакта полупроводника с металлом противоречило закону Ома. Браун пытается объяснить наблюдаемое явление и проводит дальнейшие исследования, но безрезультатно. Явление есть, объяснения нет. По этой причине современники Брауна не заинтересовались его открытием, и только пять десятилетий спустя выпрямляющие свойства полупроводников были использованы в детекторных приемниках.

Год 1906. Американский инженер Гринлиф Виттер Пикард получает патент на кристаллический детектор. В своей заявке на получение патента он пишет:

«Контакт между тонким металлическим проводником и поверхностью некоторых кристаллических материалов (кремний, галенит, пирит и др.) выпрямляет и демодулирует высокочастотный переменный ток, возникающий в антенне при приеме радиоволн». Тонкий металлический проводник, с помощью которого осуществлялся контакт с поверхностью кристалла, внешне очень напоминал кошачий ус. Кристаллический детектор Пикарда так и стали называть – «кошачий ус» (cat's whisker).

Чтобы «вдохнуть жизнь» в детектор Пикарда и заставить его устойчиво работать, требовалось найти наиболее чувствительную точку на поверхности кристалла. Сделать это было непросто. На свет появляется множество хитроумных конструкций «кошачего уса», облегчающих поиск заветной точки, но стремительный выход на авансцену радиотехники электронных ламп надолго отправляет детектор Пикарда за кулисы.

И все же «кошачий ус» намного проще и меньше вакуумных диодов, к тому же намного эффективнее на высоких частотах. А что если заменить вакуум-

ный триод, на котором была основана вся радиоэлектроника того времени, (рис. 8) на полупроводник? Возможно ли это? В начале XX века подобный вопрос не давал покоя многим учёным.

### **Лосев**

Советская Россия. 1918 год. По личному распоряжению Ленина в Нижнем Новгороде создается радиотехническая лаборатория. Новая власть остро нуждается в «беспроволочной телеграфной» связи. К работе в лаборатории привлекаются лучшие радиоинженеры того времени – М. А. Бонч-Бруевич, В. П. Вологдин, В. К. Лебединский, В. В. Татарinov и многие другие.

Приезжает в Нижний Новгород и Олег Лосев. После окончания Тверского реального училища в 1920 году и неудачного поступления в Московский институт связи Лосев согласен на любую работу, только бы приняли в лабораторию. Его берут посыльным. Общежития посыльным не полагается. 17-летний Лосев готов жить в помещении лаборатории, на лестничной площадке перед чердаком, только бы заниматься любимым делом.

С раннего возраста он страстно увлекался радиосвязью. В годы Первой мировой войны в Твери была построена радиоприёмная станция. В её задачи входило принимать сообщения от союзников России по Антанте и далее по телеграфу передавать их в Петроград. Лосев часто бывал на радиостанции, знал многих сотрудников, помогал им и не мыслил свою дальнейшую жизнь без радиотехники. В Нижнем Новгороде у него не было ни семьи, ни нормального быта, но было главное – возможность общаться со специалистами в области радиосвязи, перенимать их опыт и знания. После выполнения необходимых работ в лаборатории ему разрешали заниматься самостоятельным экспериментированием.

В то время интерес к кристаллическим детекторам практически отсутствовал. В лаборатории никто особо не занимался этой темой. Приоритет в исследованиях был отдан радиолампам. Лосеву очень хотелось работать самостоятельно. Перспектива получить ограниченный участок работы «по лампам» его никак не вдохновляет. Может быть, именно по этой причине он выбирает для своих исследований кристаллический детектор. Его цель – усовершенствовать детектор, сделать его более чувствительным и стабильным в работе. Приступая к экспериментам, Лосев ошибочно предполагал, что «в связи с тем, что некоторые контакты между металлом и кристаллом не подчиняются закону Ома, то вполне вероятно, что в колебательном контуре, подключенном к такому контакту, могут возникнуть незатухающие колебания». В то время уже было известно, что для самовозбуждения одной лишь нелинейности вольтамперной характеристики недостаточно, должен обязательно присутствовать падающий участок. Любой грамотный специалист не стал бы ожидать усиления от детектора. Но вчерашний школьник ничего этого не знает. Он меняет кристаллы, материал иглы, аккуратно фиксирует получаемые результаты и в один прекрасный день обнаруживает искомые активные точки у кристаллов, которые обеспечивают генерацию высокочастотных сигналов.

«Все с детства знают, что то-то и то-то невозможно, но всегда находится невежда, который этого не знает, он-то и делает открытие», – шутил Эйнштейн.

Свои первые исследования генераторных кристаллов Лосев производил на простейшей схеме. Испытав большое количество кристаллических детекторов, Лосев выяснил, что лучше всего генерируют колебания кристаллы цинкита, подвергнутые специальной обработке. Для получения качественных материалов он разрабатывает технологию приготовления цинкита методом сплавления в электрической дуге естественных кристаллов. При паре цинкит – угольное острие, при подаче напряжения в 10 В получался радиосигнал с длиной волны 68 м. При снижении генерации реализуется усилительный режим детектора.

Заметим, что «генерирующий» детектор был впервые продемонстрирован ещё в 1910 году английским физиком Уильямом Икклзом. Новое физическое явление не привлекает внимания специалистов, и о нём на какое-то время забывают. Икклз тоже ошибочно объяснял механизм «отрицательного» сопротивления исходя из того, что сопротивление полупроводника падает с увеличением температуры вследствие тепловых эффектов, возникающих на границе «металл–полупроводник».

В 1922 году на страницах научного журнала «Телеграфия и телефония без проводов» появляется первая статья Лосева, посвящённая усиливающему и генерирующему детектору. В ней он очень подробно описывает результаты своих экспериментов, причем особое внимание уделяет обязательному присутствию падающего участка вольтамперной характеристики контакта.

В те годы Лосев активно занимается самообразованием. Его непосредственный руководитель профессор В. К. Лебединский помогает ему в изучении радиофизики. Лебединский понимает, что его молодой сотрудник сделал настоящее открытие и тоже пытается дать объяснение наблюдаемому эффекту, но тщетно. Фундаментальная наука того времени ещё не знает квантовой механики. Лосев, в свою очередь, выдвигает гипотезу, что при большом токе в зоне контакта возникает некий электрический разряд наподобие вольтовой дуги, но только без разогрева. Этот разряд закорачивает высокое сопротивление контакта, обеспечивая генерацию.

Лишь через тридцать лет сумели понять, что собственно было открыто. Сегодня мы бы сказали, что прибор Лосева – это двухполюсник с N-образной вольтамперной характеристикой, или туннельный диод, за который в 1973 году японский физик Лео Исаки получил Нобелевскую премию.

Руководство нижегородской лаборатории понимало, что серийно воспроизвести эффект не удастся. Немного поработав, детекторы практически теряли свойства усиления и генерации. Об отказе от ламп не могло быть и речи. Тем не менее практическая значимость открытия Лосева была огромной.

В 1920-е годы во всем мире, в том числе и в Советском Союзе, радиолюбительство принимает характер эпидемии. Советские радиолюбители пользуются простейшими детекторными приёмниками, собранными по схеме Шапошникова.

Для повышения громкости и дальности приёма применяются высокие антенны. В городах применять такие антенны было затруднительно из-за промышленных помех. На открытой местности, где практически нет помех, хороший приём радиосигналов не всегда удавался из-за низкого качества детекторов. Введение в антенный контур приёмника отрицательного сопротивления детектора с цинкитом, поставленного в режим, близкий к самовозбуждению, значительно усиливало принимаемые сигналы. Радиолюбителям удавалось слышать самые отдаленные станции. Заметно повышалась избирательность приёма. И это без использования электронных ламп!

Лампы были не дешевы, причём к ним требовался специальный источник питания, а детектор Лосева мог работать от обычных батареек для карманного фонарика.

В итоге оказалось, что простые приемники конструкции Шапошникова с генерирующими кристаллами предоставляют возможность осуществлять гетеродинный прием, являвшийся в то время последним словом радиоприёмной техники. В последующих статьях Лосев описывает методику быстрого поиска активных точек на поверхности цинкита и заменяет угольное острие металлическим. Он даёт рекомендации, как следует обрабатывать кристаллы и приводит несколько практических схем для самостоятельной сборки радиоприемников.

Устройство Лосева позволяет не только принимать сигналы на больших расстояниях, но и передавать их. Радиолюбители в массовом порядке, на основе детекторов-генераторов, изготавливают радиопередатчики, поддерживающие связь в радиусе нескольких километров. Вскоре издается брошюра Лосева. Она расходуется миллионными тиражами. Восторженные радиолюбители писали в различные научно-популярные журналы, что «при помощи цинкитного детектора в Томске, например, можно услышать Москву, Нижний и даже заграничные станции».

На все свои технические решения Лосев получает патенты, начиная с «Детекторного приемника-гетеродина», заявленного в декабре 1923 года. Статьи Лосева печатаются в таких журналах, как «ЖЭТФ», «Доклады АН СССР», *Radio Revue*, *Philosophical Magazine*, *Physikalische Zeitschrift*. Лосев становится знаменитостью, а ведь ему ещё не исполнилось и двадцати лет!

Например, в редакторском предисловии к статье Лосева «Осциллирующие кристаллы» в американском журнале *The Wireless World and Radio Review* за октябрь 1924 года говорится: «Автор этой статьи, господин Олег Лосев из России, за сравнительно короткий промежуток времени приобрёл мировую известность в связи с его открытием осциллирующих свойств у некоторых кристаллов».

Другой американский журнал – *Radio News* – примерно в то же время публикует статью под заголовком «Сенсационное изобретение», в которой отмечается: «Нет необходимости доказывать, что это – революционное радиоизобретение. В скором времени мы будем говорить о схеме с тремя или шестью кристаллами, как мы говорим сейчас о схеме с тремя или шестью усилительными лампами. Потребуется несколько лет, чтобы генерирующий кристалл усовер-

шенствовался настолько, чтобы стать лучше вакуумной лампы, но мы предсказываем, что такое время наступит».

Автор этой статьи Хьюго Гернсбек называет твердотельный приёмник Лосева – кристадином (кристалл + гетеродин). Причем не только называет, но и предусмотрительно регистрирует название, как торговую марку. Спрос на кристадины огромен.

Интересно, что когда в нижегородскую лабораторию приезжают немецкие радиотехники, чтобы лично познакомиться с Лосевым, они не верят своим глазам. Они поражаются таланту и юному возрасту изобретателя. В письмах из-за границы Лосева величали не иначе как профессором. Никто и представить не мог, что профессор ещё только постигает азы науки. Впрочем, очень скоро Лосев станет блестящим физиком-экспериментатором и ещё раз заставит мир заговорить о себе.

В лаборатории с должности рассыльного его переводят в лаборанты, предоставляют жилье. В Нижнем Новгороде Лосев женится (правда, неудачно, как оказалось впоследствии), обустривает свой быт и продолжает заниматься кристаллами.

В 1928 году, по решению правительства, тематика нижегородской радиолaborатории вместе с сотрудниками передается в Центральную радиолaborаторию в Ленинграде, которая, в свою очередь, тоже постоянно реорганизуется. На новом месте Лосев продолжает заниматься полупроводниками, но вскоре Центральную радиолaborаторию преобразовывают в Институт радиовещательного приёма и акустик. В новом институте своя программа исследований, тематика работ сужается. Лаборанту Лосеву удаётся устроиться по совместительству в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ), где у него появляется возможность продолжить исследования новых физических эффектов в полупроводниках. В конце 1920-х годов у Лосева появилась идея создать твердотельный аналог трехэлектродной вакуумной радиолампы.

В 1929–1933 гг., по предложению А. Ф. Иоффе, Лосев проводит исследования полупроводникового устройства, полностью повторяющего конструкцию точечного транзистора. Как известно, принцип действия этого прибора заключается в управлении током, текущим между двумя электродами, с помощью дополнительного электрода. Лосев действительно наблюдал данный эффект, но, к сожалению, общий коэффициент такого управления не позволял получить усиление сигнала. Для этой цели Лосев использовал только кристалл карборунда (SiC), а не кристалл цинкита (ZnO), имевшего значительно лучшие характеристики в кристаллическом усилителе. (Что странно! Ему ли не знать о свойствах этого кристалла.) До недавнего времени считалось, что после вынужденного ухода из ЛФТИ Лосев не возвращался к идее полупроводниковых усилителей. Однако существует довольно любопытный документ, написанный самим Лосевым. Он датирован 12 июля 1939 года и в настоящее время хранится в Политехническом музее. В этом документе, озаглавленном «Жизнеописание Олега Владимировича Лосева», кроме интересных фактов его жизни содержится и перечень научных результатов. Особый интерес вызывают следующие строки: «Установлено, что с полупроводниками может быть построена трехэлектродная

система, аналогичная триоду, как и триод, дающая характеристики, показывающие отрицательное сопротивление. Эти работы в настоящее время подготавливаются мною к печати...».

К сожалению, пока не установлена судьба этих работ, которые могли бы полностью изменить представление об истории открытия транзистора – самого революционного изобретения XX века.

Рассказывая о выдающемся вкладе Олега Владимировича Лосева в развитие современной электроники, просто невозможно не упомянуть о его открытии светоизлучающего диода.

Масштаб этого открытия нам ещё только предстоит понять. Пройдет не так много времени, и в каждом доме вместо привычной лампы накаливания будут гореть «электронные генераторы света», как назвал светодиоды Лосев.

Ещё в 1923 году, экспериментируя с кристаллинами, Лосев обратил внимание на свечение кристаллов при пропускании через них электрического тока. Особенно ярко светились карборундовые детекторы. В 1920-е годы на Западе явление электролюминесценции одно время даже называли «свет Лосева» (Losev light, Lossew Licht). Лосев занялся изучением и объяснением полученной электролюминесценции. Он первым оценил огромные перспективы таких источников света, особо подчёркивая их высокую яркость и быстрое действие. Лосев стал обладателем первого патента на изобретение светового реле – прибора с электролюминесцентным источником света.

В 70-х годах XX века, когда светодиоды стали широко применяться, в журнале *Electronic World* за 1907 год была обнаружена статья англичанина Генри Роунда, в которой автор, будучи сотрудником лаборатории Маркони, сообщал, что видел свечение в контакте карборундового детектора при подаче на него внешнего электрического поля. Никаких соображений, объясняющих физику этого явления, не приводилось. Данная заметка не оказала никакого влияния на последующие исследования в области электролюминесценции, тем не менее, автор статьи сегодня официально считается первооткрывателем светодиода.

Лосев независимо открыл явление электролюминесценции и провёл ряд исследований на примере кристалла карборунда. Он выделил два физически различных явления, которые наблюдаются при разной полярности напряжения на контактах. Его несомненной заслугой является обнаружение эффекта предпробойной электролюминесценции, названной им «свечение номер один», и инжекционной электролюминесценции – «свечение номер два». В наши дни эффект предпробойной люминесценции широко применяется при создании электролюминесцентных дисплеев, а инжекционная электролюминесценция является основой светодиодов и полупроводниковых лазеров. Лосеву удалось существенно продвинуться в понимании физики этих явлений задолго до создания зонной теории полупроводников. Впоследствии, в 1936 году, свечение номер один было заново обнаружено французским физиком Жоржем Дестрио. В научной литературе оно известно под названием «эффект Дестрио», хотя сам Дестрио приоритет в открытии этого явления отдавал Олегу Лосеву. Наверное, было бы несправедливо оспаривать приоритет Роунда в открытии светодиода.

И всё же нельзя забывать, что изобретателями радио по праву считаются Маркони и Попов, хотя всем известно, что радиоволны первым наблюдал Герц. И таких примеров в истории науки множество.

В своей статье *Subhistory of Light Emitting Diode* известный американский учёный в области электролюминесценции Игон Лобнер пишет о Лосеве: «Своими пионерскими исследованиями в области светодиодов и фотодетекторов он внес вклад в будущий прогресс оптической связи. Его исследования были так точны и его публикации так ясны, что без труда можно представить сейчас, что тогда происходило в его лаборатории. Его интуитивный выбор и искусство эксперимента просто изумляют».

Сегодня мы понимаем, что без квантовой теории строения полупроводников представить развитие твердотельной электроники невозможно. Поэтому талант Лосева поражает воображение. Он с самого начала видел единую физическую природу кристадина и явления инжекционной люминесценции и в этом значительно опередил своё время.

После него исследования детекторов и электролюминесценции проводились отдельно друг от друга, как самостоятельные направления. Анализ результатов показывает, что на протяжении почти двадцати лет после появления работ Лосева не было сделано ничего нового с точки зрения понимания физики этого явления. Только в 1951 году американский физик Курт Леховец установил, что детектирование и электролюминесценция имеют единую природу, связанную с поведением носителей тока в  $p-n$ -переходах.

Следует отметить, что в своей работе Леховец приводит в первую очередь ссылки на работы Лосева, посвящённые электролюминесценции.

В 1930–31 гг. Лосев выполнил на высоком экспериментальном уровне серию опытов с косыми шлифами, растягивающими исследуемую область, и системой электродов, включаемых в компенсационную измерительную схему, для измерения потенциалов в разных точках поперечного сечения слоистой структуры. Перемещая металлический «кошачий ус» поперек шлифа, он показал с точностью до микрона, что приповерхностная часть кристалла имеет сложное строение. Он выявил активный слой толщиной приблизительно в десять микрон, в котором наблюдалось явление инжекционной люминесценции. По результатам проведённых экспериментов Лосев сделал предположение, что причиной униполярной проводимости является различие условий движения электрона по обе стороны активного слоя (или, как бы мы сказали сегодня, – разные типы проводимости). Впоследствии, экспериментируя с тремя и более зондами-электродами, расположенными в данных областях, он действительно подтвердил своё предположение. Эти исследования являются ещё одним значительным достижением Лосева как учёного-физика.

В 1935 году, в результате очередной реорганизации радиовещательного института и непростых отношений с руководством, Лосев остаётся без работы. Лаборанту Лосеву позволялось делать открытия, но не греться в лучах славы. И это при том, что его имя было хорошо известно сильным мира сего. В письме, датированном 16 мая 1930 года, академик А. Ф. Иоффе пишет своему коллеге Паулю Эренфесту: «В научном отношении у меня ряд успехов. Так, Лосев по-

лучил в карборунде и других кристаллах свечение под действием электронов в 2–6 вольт. Граница свечения в спектре ограничена...».

В ЛФТИ у Лосева долгое время было свое рабочее место, но в институт его не берут, слишком независимый он человек. Все работы выполнял самостоятельно – ни в одной из них нет соавторов.

При помощи друзей Лосев устраивается ассистентом на кафедре физики Первого медицинского института. На новом месте ему намного сложнее заниматься научной работой, поскольку нет необходимого оборудования. Тем не менее, задавшись целью выбрать материал для изготовления фотоэлементов и фотосопротивлений, Лосев продолжает исследования фотоэлектрических свойств кристаллов. Он изучает более 90 веществ и особо выделяет кремний с его заметной фоточувствительностью.

В то время не было достаточно чистых материалов, чтобы добиться точного воспроизведения полученных результатов, но Лосев (в который раз!) чисто интуитивно понимает, что этому материалу принадлежит будущее. В начале 1941 года он приступает к работе над новой темой – «Метод электролитных фотосопротивлений, фоточувствительность некоторых сплавов кремния». Когда началась Великая Отечественная война, Лосев не уезжает в эвакуацию, желая завершить статью, в которой излагал результаты своих исследований по кремнию. По всей видимости, ему удалось закончить работу, так как статья была отослана в редакцию «ЖЭТФ». К тому времени редакция уже была эвакуирована из Ленинграда. К сожалению, после войны не удалось найти следы этой статьи, и теперь можно лишь догадываться о её содержании.

22 января 1942 года Олег Владимирович Лосев умер от голода в блокадном Ленинграде. Ему было 38 лет.

В том же 1942 году в США компании Sylvania и Western Electric начали промышленное производство кремниевых (а чуть позже и германиевых) точечных диодов, которые использовались в качестве детекторов смесителей в радиолокаторах. Смерть Лосева совпала по времени с рождением кремниевых технологий.

### **Военный трамплин**

В 1925 году корпорация American Telephone and Telegraph (AT&T) открывает научный и опытно-конструкторский центр Bell Telephone Laboratories. В 1936 году директор Bell Telephone Laboratories Мервин Келли решает сформировать группу учёных, которая проведет бы серию исследований, направленных на замену ламповых усилителей полупроводниковыми. Группу возглавил Джозеф Бекер, привлёкший к работе физика-теоретика Уильяма Шокли и блестящего экспериментатора Уолтера Браттейна.

Окончив докторантуру в Массачусетском технологическом институте, знаменитом МТИ, и поступив на работу в Bell Telephone Laboratories, Шокли, будучи исключительно амбициозным и честолюбивым человеком, энергично берётся за дело. В 1938 году, в рабочей тетради 26-летнего Шокли появляется первый набросок полупроводникового триода. Идея проста и не отличается оригинальностью: сделать устройство, максимально похожее на электронную

лампу, с тем лишь отличием, что электроны в нем будут протекать по тонкому нитевидному полупроводнику, а не пролетать в вакууме между катодом и анодом. Для управления током полупроводника предполагалось ввести дополнительный электрод (аналог сетки) – прикладывая к нему напряжение разной полярности. Таким образом, можно будет либо уменьшать, либо увеличивать количество электронов в нити и, соответственно, изменять её сопротивление и протекающий ток. Всё как в радиолампе, только без вакуума, без громоздкого стеклянного баллона и без подогрева катода. Вытеснение электронов из нити или их приток должен был происходить под влиянием электрического поля, создаваемого между управляющим электродом и нитью, то есть благодаря полевому эффекту. Для этого нить должна быть именно полупроводниковой. В металле слишком много электронов и никакими полями их не вытеснишь, а в диэлектрике свободных электронов практически нет. Шокли приступает к теоретическим расчетам, однако все попытки построить твердотельный усилитель ни к чему не приводят.

В то же время в Европе немецкие физики Роберт Поль и Рудольф Хилш создали на основе бромида калия работающий контактный трёхэлектродный кристаллический усилитель. Тем не менее, никакой практической ценности немецкий прибор не представлял. У него была очень низкая рабочая частота. Есть сведения, что в первой половине 1930-х годов трехэлектродные полупроводниковые усилители «собрали» и два радиолобителя – канадец Ларри Кайзер и новозеландский школьник Роберт Адамс. Адамс, в дальнейшем ставший радиоинженером, замечал, что ему никогда не приходило в голову оформить патент на изобретение, так как всю информацию для своего усилителя он почерпнул из радиолобительских журналов и других открытых источников.

К 1926–1930 гг. относятся работы Юлиуса Лилиенфельда, профессора Лейпцигского университета, который запатентовал конструкцию полупроводникового усилителя, в наше время известного под названием полевой транзистор.

Лилиенфельд предполагал, что при подаче напряжения на слабо проводящий материал будет меняться его проводимость и в связи с этим возникнет усиление электрических колебаний. Несмотря на получение патента, создать работающий прибор Лилиенфельд не сумел. Причина была самая прозаическая – в 30-х годах XX века еще не нашлось необходимого материала, на основе которого можно было бы изготовить работающий транзистор. Именно поэтому усилия большинства учёных того времени были направлены на изобретение более сложного биполярного транзистора. Таким образом, пытались обойти трудности, возникшие при реализации полевого транзистора.

Работы по твердотельному усилителю в Bell Telephone Laboratories прерываются с началом Второй мировой войны. Уильям Шокли и многие его коллеги откомандированы в распоряжение министерства обороны, где работают до конца 1945 года.

Твердотельная электроника не представляла интереса для военных – достижения им представлялись сомнительными. За одним исключением. Детекторы. Они-то как раз и оказались в центре исторических событий.

В небе над Ла-Маншем развернулась грандиозная битва за Британию, достигшая апогея в сентябре 1940 года. После оккупации Западной Европы Англия осталась один на один с армадой немецких бомбардировщиков, разрушающих береговую оборону и подготавливающих высадку морского десанта для захвата страны – операцию «Морской лев». Трудно сказать, что спасло Англию – чудо, решительность премьера Уинстона Черчилля или радиолокационные станции. Появившиеся в конце 30-х годов радары позволяли быстро и точно обнаруживать вражеские самолеты и своевременно организовывать противодействие. Потеряв в небе над Британией более тысячи самолетов, гитлеровская Германия сильно охладела к идее захвата Англии в 1940-м и приступила к подготовке блицкрига на Востоке.

Англии были нужны радары, радарам – кристаллические детекторы, детекторам – чистые германий и кремний. Первым, и в значительных количествах, на заводах и в лабораториях появился германий. С кремнием, из-за высокой температуры его обработки, сначала возникли некоторые трудности, но вскоре проблему решили. После этого предпочтение было отдано кремнию. Кремний был дешёв по сравнению с германием. Итак, трамплин для прыжка к транзистору был практически готов.

Вторая мировая стала первой войной, в которой наука, по своей значимости для победы над врагом, выступила на равных с конкретными оружейными технологиями, а в чём-то и опередила их. Вспомним атомный и ракетный проекты. В этот список можно включить и транзисторный проект, предпосылки для которого были в значительной степени заложены разлитием военной радиолокации.

### **Открытие**

В послевоенные годы в Bell Telephone Laboratories начинают форсировать работы в области глобальной связи. Аппаратура 1940-х годов использовала для усиления, преобразования и коммутации сигналов в абонентских цепях два основных элемента: электронную лампу и электромеханическое реле. Эти элементы были громоздки, срабатывали медленно, потребляли много энергии и не отличались высокой надёжностью. Усовершенствовать их значило вернуться к идее использования полупроводников. В Bell Telephone Laboratories вновь создается исследовательская группа, научным руководителем которой становится вернувшийся «с войны» Уильям Шокли. В команду входят Уолтер Браттейн, Джон Бардин, Джон Пирсон, Берт Мур и Роберт Гибни.

В самом начале команда принимает важнейшее решение: направить усилия на изучение свойств только двух материалов – кремния и германия, как наиболее перспективных для реализации поставленной задачи. Естественно, группа начала разрабатывать предвоенную идею Шокли – усилителя с эффектом поля. Но электроны внутри полупроводника упрямо игнорировали любые изменения потенциала на управляющем электроде. От высоких напряжений и токов кристаллы взрывались, но не желали изменять свое сопротивление.

Над этим задумался теоретик Джон Бардин. Шокли, не получив быстрого результата, охладел к теме и не принимал активного участия в работе. Бардин

предположил, что значительная часть электронов на самом деле не «разгуливает» свободно по кристаллу, а застревает в каких-то ловушках у самой поверхности полупроводника. Заряд этих «застрявших» электронов экранирует прикладываемое извне поле, которое не проникает в объём кристалла. Вот так в 1947 году в физику твёрдого тела вошла теория поверхностных состояний. Теперь, когда, казалось, причина неудач найдена, группа начала более осмысленно реализовывать идею эффекта поля. Других идей просто не было. Стали различными способами обрабатывать поверхность германия, надеясь устранить ловушки электронов. Перепробовали все – химическое травление, механическую полировку, нанесение на поверхность различных пассиваторов. Кристаллы погружали в различные жидкости, но результата не было. Тогда решили максимально локализовать зону управления, для чего один из токопроводов и управляющий электрод изготовили в виде близко расположенных подпружиненных иголок. Экспериментатор Браттейн, за плечами которого был 15-летний опыт работы с различными полупроводниками, мог по 25 часов в сутки крутить ручки осциллографа.

Теоретик Бардин всегда был рядом, готовый сутки напролёт проверять свои теоретические выкладки. Оба исследователя, как говорится, нашли друг друга. Они практически не выходили из лаборатории, но время шло, а скольконибудь существенных результатов по-прежнему не было.

Однажды Браттейн, издёрганый от неудач, сдвинул иголки почти вплотную, более того – случайно перепутал полярности прикладываемых к ним потенциалов. Учёный не поверил своим глазам. Он был поражен, но на экране осциллографа было явно видно усиление сигнала. Теоретик Бардин отреагировал молниеносно и безошибочно: эффекта поля никакого нет, и дело не в нём. Усиление сигнала возникает по другой причине. Во всех предыдущих оценках рассматривались только электроны, как основные носители тока в германиевом кристалле, а «дырки», которых было в миллионы раз меньше, естественно игнорировались. Бардин понял, что дело именно в «дырках». Введение «дырок» через один электрод (этот процесс называли инъекцией) вызывает неизмеримо больший ток в другом электроде. И всё это на фоне неизменности состояния огромного количества электронов.

Вот так, непредсказуемым образом, 19 декабря 1947 года на свет появился точечный транзистор.

Сначала новое устройство называли германиевым триодом. Бардину и Браттейну название не понравилось. Не звучало. Они хотели, чтобы название заканчивалось бы на «тор», по аналогии с резистором или термистором. Здесь им на помощь приходит инженер-электронщик Джон Пирс, который прекрасно владел словом (в дальнейшем он станет известным популяризатором науки и писателем-фантастом под псевдонимом J. J. Coupling). Пирс вспомнил, что одним из параметров вакуумного триода служит крутизна характеристики, по-английски – transconductance. Он предложил назвать аналогичный параметр твердотельного усилителя transresistance, а сам усилитель, а это слово просто вертелось на языке, – транзистором. Название всем понравилось.

Через несколько дней после замечательного открытия, в канун Рождества, 23 декабря 1947 года состоялась презентация транзистора руководству Bell Telephone Laboratories.

Уильям Шокли, который проводил отпуск в Европе, срочно возвратился в Америку. Неожиданный успех Бардина и Браттейна глубоко задевает его самолюбие. Он раньше других задумался о полупроводниковом усилителе, возглавил группу, выбрал направление исследований, но на соавторство в «звёздном» патенте претендовать не мог. На фоне всеобщего ликования, блеска и звона бокалов с шампанским Шокли выглядел разочарованным и мрачным. И тут происходит нечто, что всегда будет скрыто от нас пеленой времени. За одну неделю, которую впоследствии Шокли назовет своей «страстной неделей», он создает теорию транзистора с  $p-n$ -переходами, заменившими экзотические иглопочки, и в новогоднюю ночь изобретает плоскостной биполярный транзистор. (Заметим, что реально работающий биполярный транзистор был изготовлен только в 1950 году.)

Предложение принципиальной схемы более эффективного твердотельного усилителя со слоёной структурой уравнило Шокли в правах на открытие транзисторного эффекта с Бардиным и Браттейном.

Через полгода, 30 июня 1948-го, в Нью-Йорке, в штаб-квартире Bell Telephone laboratories, после улаживания всех необходимых патентных формальностей, прошла открытая презентация транзистора. В то время уже началась холодная война между США и Советским Союзом, поэтому технические новинки прежде всего оценивались военными. К удивлению всех присутствующих, эксперты из Пентагона не заинтересовались транзистором и порекомендовали использовать его в слуховых аппаратах.

Через несколько лет новое устройство стало незаменимым компонентом в системе управления боевыми ракетами, но именно в тот день близорукость военных спасла транзистор от грифа «совершенно секретно».

Журналисты отреагировали на изобретение тоже без особых эмоций. На сорок шестой странице в разделе «Новости радио» в газете «Нью-Йорк Таймс» была напечатана краткая заметка об изобретении нового радиотехнического устройства. И только.

В Bell Telephone Laboratories не ожидали такого развития событий. Военных заказов с их щедрым финансированием не предвиделось даже в отдалённой перспективе. Срочно принимается решение о продаже всем желающим лицензий на транзистор. Сумма сделки – \$25 тыс. Организовывается учебный центр, проводятся семинары для специалистов. Результаты не заставляют себя ждать.

Транзистор быстро находит применение в самых различных устройствах – от военного и компьютерного оборудования до потребительской электроники. Интересно, что первый портативный радиоприёмник долгое время так и называли – транзистор.

### **Европейский аналог**

Работы по созданию трехэлектродного полупроводникового усилителя велись и по другую сторону океана, но о них известно намного меньше.

Совсем недавно бельгийский историк Арманд Ван Дормел и профессор Стэнфордского университета Майкл Риордан обнаружили, что в конце 1940-х годов в Европе был изобретен и даже запущен в серию «родной брат транзистора» Бардина–Браттейна.

Европейских изобретателей точечного транзистора звали Герберт Франц Матаре и Генрих Иоганн Велкер. Матаре был физиком-экспериментатором, работал в немецкой фирме Telefunken и занимался микроволновой электроникой и радиолокацией. Велкер больше был теоретиком, долгое время преподавал в Мюнхенском университете, а в военные годы трудился на люфтваффе.

Встретились они в Париже. После разгрома фашистской Германии оба физика были приглашены в европейский филиал американской корпорации Westinghouse.

Ещё в 1944 году Матаре, занимаясь полупроводниковыми выпрямителями для радаров, сконструировал прибор, который назвал дуодиодом. Это была пара работающих параллельно точечных выпрямителей, использующих одну и ту же пластинку германия. При правильном подборе параметров устройство подавляло шумы в приёмном блоке радара. Тогда Матаре обнаружил, что колебания напряжения на одном электроде могут обернуться изменением силы тока, проходящего через второй электрод. Заметим, что описание подобного эффекта содержалось ещё в патенте Лилиенфельда, и не исключено, что Матаре знал об этом. Но как бы там ни было, он заинтересовался наблюдаемым явлением и продолжал исследования.

Велкер пришел к идее транзистора с другой стороны, занимаясь квантовой физикой и зонной теорией твёрдого тела. В самом начале 1945 года он создаёт схему твердотельного усилителя, очень похожего на устройство Шокли. В марте Велкер успевает его собрать и испытать, но ему повезло не больше, чем американцам. Устройство не работает.

В Париже Матаре и Велкеру поручают организовать промышленное производство полупроводниковых выпрямителей для французской телефонной сети. В конце 1947 года выпрямители запускаются в серию, и у Матаре с Велкером появляется время для возобновления исследований. Они приступают к дальнейшим экспериментам с дуодиодом. Вдвоём они изготавливают пластинки из гораздо более чистого германия и получают стабильный эффект усиления. Уже в начале июня 1948 года Матаре и Велкер создают стабильно работающий точечный транзистор. Европейский транзистор появляется на полгода позже, чем устройство Бардина и Браттейна, но абсолютно независимо от него. О работе американцев Матаре и Велкер не могли ничего знать. Первое упоминание в прессе о «новом радиотехническом устройстве», вышедшем из Bell Laboratories, появилось только 1 июля.

Дальнейшая судьба европейского изобретения сложилась печально. Матаре и Велкер в августе подготовили патентную заявку на изобретение, но французское бюро патентов очень долго изучало документы. Только в марте 1952 года они получают патент на изобретение транзитрона – такое название выбрали немецкие физики своему полупроводниковому усилителю. К тому времени парижский филиал Westinghouse уже начал серийное производство транзитро-

нов. Основным заказчиком выступало Почтовое министерство. Во Франции строилось много новых телефонных линий. Тем не менее, век транзистронов был недолог. Несмотря на то, что они работали лучше и дольше своего американского «собрата» (за счёт более тщательной сборки), завоевать мировой рынок транзистроны не смогли. Впоследствии французские власти вообще отказались субсидировать исследования в области полупроводниковой электроники, переключившись на более масштабные ядерные проекты. Лаборатория Матаре и Велкера приходит в упадок. Учёные принимают решение вернуться на родину. К тому времени в Германии начинается возрождение науки и высокотехнологичной промышленности. Велкер устраивается на работу в лабораторию концерна Siemens, которую впоследствии возглавит, а Матаре переезжает в Дюссельдорф и становится президентом небольшой компании Intermetall, выпускающей полупроводниковые приборы.

### **Послесловие**

Если проследить судьбы американцев, то Джон Бардин ушёл из Bell Telephone Laboratories в 1951 году, занялся теорией сверхпроводимости и в 1972 году вместе с двумя своими учениками был удостоен Нобелевской премии «За разработку теории сверхпроводимости», став, таким образом, единственным в истории учёным, дважды нобелевским лауреатом.

Уолтер Браттейн проработал в Bell Telephone Laboratories до выхода на пенсию в 1967 году, а затем вернулся в свой родной город и занялся преподаванием физики в местном университете.

Судьба Уильяма Шокли сложилась следующим образом. Он покидает Bell Telephone Laboratories в 1955 году и, при финансовой помощи Арнольда Бекмана, основывает фирму по производству транзисторов – Shockly Transistor Corporation. На работу в новую компанию переходят многие талантливые учёные и инженеры, но через два года большинство из них уходят от Шокли. Заносчивость, высокомерие, нежелание прислушиваться к мнению коллег и навязчивая идея не повторить ошибку, которую он допустил в работе с Бардиным и Браттейном, делают свое дело. Компания разваливается.

Его бывшие сотрудники Гордон Мур и Роберт Нойс при поддержке того же Бекмана основывают фирму Fairchild Semiconductor, а затем, в 1968 году создают собственную компанию – Intel.

Мечта Шокли построить полупроводниковую бизнес-империю была претворена в жизнь другими, а ему опять досталась роль стороннего наблюдателя. Ирония судьбы заключается в том, что еще в 1952 году именно Шокли предложил конструкцию полевого транзистора на основе кремния. Тем не менее, компания Shockly Transistor Corporation не выпустила ни одного полевого транзистора. Сегодня это устройство является основой всей компьютерной индустрии.

После неудачи в бизнесе Шокли становится преподавателем в Стэнфордском университете. Он читает блестящие лекции по физике, лично занимается с аспирантами, но ему не хватает былой славы – всего того, что американцы называют ёмким словом *publicity*. Шокли включается в общественную жизнь и начинает выступать с докладами по многим социальным и демографическим

вопросам. Предлагая решения острых проблем, связанных с перенаселением азиатских стран и национальными различиями, он скатывается к евгенике и расовой нетерпимости. Пресса, телевидение, научные журналы обвиняют его в экстремизме и расизме. Шокли снова «знаменит» и, похоже, испытывает удовлетворение от всего происходящего. Его репутации и карьере учёного приходит конец. Он выходит на пенсию, перестаёт со всеми общаться, даже с собственными детьми, и доживает жизнь затворником.

Разные люди, разные судьбы, но всех их объединяет причастность к открытию, коренным образом изменившему наш мир.

Дату 19 декабря 1947 года можно по праву считать днем рождения новой эпохи. Начался отсчет нового времени. Мир шагнул в эру цифровых технологий.

***Гуреева, О. Транзисторная история [Текст] / О. Гуреева // Компоненты и технологии. №9. 2006.***

**БОГДАНОВ Владимир Владимирович**  
**ЛЫСАК Ирина Витальевна**  
**ПАПЧЕНКО Елена Викторовна**

# **История и философия науки. История технических наук**

**Учебно-методическое пособие  
для аспирантов**

Заказ № 8449 от 15.03.2022 г.  
Усл. печ. лист. 7,15. Уч. изд. л. 6,9.

Отдел полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции  
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.  
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.