

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ВВЕДЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ  
140100 – «Теплоэнергетика и теплотехника»**

**Учебное пособие**

**Беляев Л. А., Беспалов В.И.**

**Томск 2012**

## Содержание

<b>I. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ</b> .....	4
Термины и определения.....	4
<b>1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТПУ</b> .....	7
1.1. История ТПУ .....	7
1.2. Миссия ТПУ.....	9
1.3. Стратегия ТПУ.....	11
1.4. Общие требования к ООП .....	13
1.5. Особенности инженерной деятельности и роль инженера в современном мире .	14
1.5.1. Зарождение инженерной деятельности, ее сущность и функции.....	14
1.5.2. Доинженерная деятельность .....	14
1.5.3. Прединженерный период (с II-I тыс. до н.э. до XVII–XVIII вв. н.э.).....	16
1.5.4. Факторы, способствовавшие вызреванию инженерного труда .....	18
1.5.5. Функции инженера.....	22
1.5.6. Развитие инженерной деятельности, профессии инженера и профессионального образования .....	25
1.5.7. Особенности становления и развития инженерной деятельности и профессии инженера в России.....	29
1.5.8. Инженерная деятельность в индустриальном и постиндустриальном обществе.....	39
1.5.9. Вклад отечественных ученых в развитие инженерных наук .....	42
1.5.10. Актуальные инженерные проблемы XXI века .....	55
1.5.11. Понятие «профессиональный инженер»: требования к профессиональным инженерам .....	60
<b>2. ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ТПУ 140100</b>	
<b>ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА</b> .....	64
2.1. Концепция ООП .....	64
2.2. Цели ООП.....	66
2.3. Характеристика профессиональной деятельности выпускников ООП .....	67
2.3.1. Область профессиональной деятельности выпускников .....	68
2.3.2. Объекты профессиональной деятельности выпускников .....	68
2.3.3. Виды профессиональной деятельности выпускника .....	69
2.3.4. Задачи профессиональной деятельности выпускников.....	69
2.4. Результаты обучения (компетенции выпускников) .....	73
<b>II. ПРОФИЛЬНЫЙ МОДУЛЬ</b> .....	81
<b>1. ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ</b> .....	81
1.1. Энергетика мира и России.....	81
1.2. Тепловые электрические станции (технологическая схема).....	86
<b>2. ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ</b> .....	89
2.1. Назначение и классификация турбин .....	89
2.2. Устройство и принцип действия паровой турбины .....	92
2.3. Преобразование энергии в турбинной ступени.....	97
<b>3. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ</b> .....	100
3.1. Типы тепловых электрических станций.....	100
3.2. Тепловые схемы ТЭС.....	101
3.3. Способы повышения тепловой экономичности ТЭС .....	104
3.3.1. Повышение начальных параметров.....	104

3.3.2. Промежуточный перегрев пара.....	105
3.3.3. Регенеративный подогрев питательной воды.....	107
3.3.4. Понижение конечного давления .....	111
3.4. Деаэрация воды на ТЭС. Деаэраторы.....	112
3.5. Отпуск теплоты внешним потребителям .....	115
3.5.1. Отпуск производственной (технологической) теплоты .....	116
3.5.2. Отпуск теплоты с сетевой водой.....	118
3.6. Потери пара и конденсата и их восполнение .....	125
3.7. Насосы ТЭС .....	129
3.8. Топливное хозяйство.....	132
3.9. Техническое водоснабжение ТЭС .....	134
3.10. Золошлакоудаление.....	136
3.11. Охрана окружающей среды от вредных выбросов электростанций .....	136
3.12. Газотурбинные и парогазовые ТЭС.....	140
3.12.1. Газотурбинные установки (ГТУ) .....	140
3.12.2. Парогазовые установки.....	142
<b>4. НЕТРАДИЦИОННАЯ (МАЛАЯ) ЭНЕРГЕТИКА .....</b>	<b>147</b>
4.1. Электростанции, работающие на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии .....	149
4.1.1. Солнечные электростанции.....	149
4.1.2. Ветряные электростанции .....	152
4.1.3. Геотермальные электростанции.....	154
4.1.4. Гидроэлектростанции.....	156
4.2. Вторичные энергоресурсы (ВЭР) как дополнительный источник энергии.....	158
4.3. Гибридные электростанции.....	161
4.4. Будущее малой энергетики Томской области .....	162
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>169</b>

# І. ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ

## Термины и определения

Стандарт ООП ТПУ определяет основные термины, обозначения сокращения и устанавливает их англоязычные аналоги, используемые в международных документах по высшему образованию.

**Основная образовательная программа, ООП** (*Higher Education Programme*) - совокупность учебно-методической документации, регламентирующей цели, ожидаемые результаты, содержание и реализацию образовательного процесса по данному направлению, уровню и профилю подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием.

**Уровень ООП** (*Cycle*) - характеристика, определяющая степень (квалификацию) выпускника (бакалавр, магистр, специалист), его подготовленность к профессиональной деятельности определенного вида по совокупности приобретаемых компетенций в результате освоения программы.

**Направление подготовки** (*Discipline*) - совокупность образовательных программ для профессиональной подготовки бакалавров, магистров и специалистов различных профилей, интегрируемых на основе общей фундаментальной подготовки.

**Профиль** (*Profile*) - совокупность основных типичных черт профессии (направления подготовки), определяющих конкретную направленность образовательной программы и ее содержание.

**Вид профессиональной деятельности** (*Kind of Professional Activity*) - методы, способы, приемы, характер воздействия на объект профессиональной деятельности с целью его изменения и преобразования.

**Объект профессиональной деятельности** (*Object of Professional Activity*) - системы, предметы, явления, процессы, на которые направлено воздействие.

**Область профессиональной деятельности** (*Area of Professional Activity*) - совокупность объектов профессиональной деятельности в их научном, социальном, экономическом и производственном проявлении.

**Цели ООП** (*Programme Objectives*) - компетенции, приобретаемые выпускниками данного профиля, уровня и направления через некоторое время (3-5 лет) после окончания программы (могут достигаться не всеми выпускниками).

**Результаты обучения** (*Learning Outcomes*) - профессиональные и универсальные (общекультурные) компетенции, приобретаемые выпускниками к моменту окончания программы данного профиля, уровня и направления (достигаются всеми выпускниками).

**Компетенция** (*Competence*) - готовность (мотивация и личностные качества) проявить способности (знания, умения и опыт) для ведения

успешной профессиональной или иной деятельности в определенных условиях (проблема и ресурсы).

**Составляющие результатов обучения** (*Learning Outcome Components*) - знания, умения и опыт их применения на практике.

**Знания** (*Knowledge*) - результат усвоения (ассимиляции) информации через обучение, который определяется набором фактов, принципов, теорий и практик, соответствующих области рабочей или учебной деятельности. Знания могут быть теоретическими и (или) фактическими.

**Умения** (*Skills*) - подтвержденные (продемонстрированные) способности применять знания для решения задач или проблем. Умения могут быть когнитивными (применение логического, интуитивного, творческого мышления) и практическими (навыки использования методик, материалов, механизмов, инструментов). Когнитивные умения - результат формирования методологической культуры выпускника в процессе образования. Методологическая культура формируется в результате овладения методом - знанием, организованным как средство познания и деятельности.

**Опыт** (*Experience*) - устойчивые (множественно подтвержденные) умения успешно решать проблемы в области профессиональной или иной деятельности. Приобретение опыта связано с абилитацией (фр. «*habile*» - искусный, ловкий, умелый) выпускника - получением им соответствующей квалификации.

**Концепция** (*Concept*) **ООП** - основная идея программы, отражающая ее направленность, особенность подготовки специалистов, а также уникальность компетенций выпускников.

**Качество** (*Quality*) **ООП** - сбалансированное соответствие целей программы и результатов обучения запросам студентов как основных потребителей и ожиданиям заинтересованных сторон - государства, потенциальных работодателей и профессионального (в том числе международного) сообщества, а также миссии и стратегии вуза.

**Модуль** (*Module*) - часть образовательной программы или учебной дисциплины, имеющая определенную логическую завершенность по отношению к установленным целям и результатам обучения и воспитания.

**Кредит** (*Credit*) - интегрированная количественная оценка результатов обучения и, соответственно, содержания программы (модуля) с учетом объема изучаемого материала, его уровня, значимости и нормативного срока освоения.

**Уровень** (*Level*) **кредита** - дополнительная характеристика результатов обучения, указывающая на сложность и глубину приобретенных знаний, умений, опыта, профессиональных и универсальных (общекультурных) компетенций, а также на степень самостоятельности их применения. Стандарт ООП ТПУ определяет уровень кредита курсом (годом

обучения в базовом учебном плане), на котором планируется изучение модуля.

***Пререквизит (Prerequisite)*** - модуль (дисциплина), которая должна быть освоена до изучения данного модуля (дисциплины).

***Кореквизит (Co-requisite)*** - модуль (дисциплина), которая должна изучаться одновременно с освоением данного модуля (дисциплины).

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТПУ

## 1.1. История ТПУ

Томский технологический институт - первый технический вуз в азиатской части России был основан в 1896 г. как институт практических инженеров. Вузом пройден более чем вековой путь развития: Томский технологический институт (ТТИ, 1900 - 1925 гг.), готовивший специалистов для становления промышленности и экономики Сибири; Томский индустриальный институт (ТИИ, 1925 - 1944 гг.) - кузница кадров для индустриализации региона; Томский политехнический институт (ТПИ, 1944 - 1991 гг.) - образовательный и научный центр для развития производительных сил Сибири; Томский политехнический университет (ТПУ с 1991 г.) - центр науки, образования и культуры, первый технический университет новой России за Уралом; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (с 2009 г.) - первый технический университет в азиатской части страны, отнесенный к категории исследовательских университетов.

За более чем вековую историю ТТИ - ТИИ - ТПИ - ТПУ подготовил свыше 130 000 специалистов. Из этого числа более 600 выпускников стали докторами наук, лауреатами Ленинской и Государственной премий, премий Президента и Правительства Российской Федерации, удостоены почетного звания «Заслуженный деятель науки и техники».

Ученые и выпускники института активно участвовали в проектировании, строительстве и пуске «индустриальных гигантов» Сибири: Кузнецкого металлургического комбината, шахт и рудников Кузбасса, заводов Новосибирска, городов Урала и Дальнего Востока, а также в открытии, разработке и освоении сибирских недр. Сегодня большинство руководителей и ведущих специалистов крупнейших научно-производственных организаций, промышленных предприятий, вузов и научно-исследовательских институтов Сибири - это выпускники ТПИ - ТПУ.

Значительное влияние институт оказал на развитие образования, науки и подготовку кадров в бывших советских республиках Средней Азии - Казахстане, Узбекистане, Киргизии, Таджикистане, Туркменистане, а также Кавказа - в Грузии, Азербайджане, Армении. На базе факультетов, кафедр и специальностей института было открыто более 20 самостоятельных вузов в Москве, Новосибирске, Омске, Томске, Красноярске, Иркутске, Кемерово, Барнауле, Чите, Хабаровске и других городах. По существу, институт оказал решающее влияние на формирование и развитие высшей технической школы на территории от Урала до Дальнего Востока.

В 1991 г. Томский политехнический институт Постановлением Правительства Российской Федерации был преобразован в технический университет, а в 1997 г. Указом Президента Российской Федерации Том-

ский политехнический университет был включен в «Свод особо ценных объектов культурного наследия народов России». В 2009 г. ТПУ отнесен к категории «Национальный исследовательский университет».

В настоящее время в ТПУ обучается свыше 22 000 студентов, большинство - по инженерным направлениям и специальностям, связанным с приоритетными направлениями развития ресурсоэффективных технологий. Ежегодно университет выпускает около 3 000 специалистов. Более 30 % выпускников специализируется в наукоемких и комплексных межотраслевых технологиях. Творческая атмосфера, академические традиции и высокое качество подготовки специалистов в ТПУ хорошо известны не только в России, но и за рубежом. В университете обучаются около 2 000 студентов, аспирантов и слушателей из 30 стран СНГ и дальнего зарубежья: Азиатско-тихоокеанского региона, Ближнего Востока, Африки, Америки и Европы. Иностранные студенты составляют более 15 % контингента студентов очной формы обучения.

Университет активно проводит политику интеграции в мировое научно-образовательное пространство, интенсивно развиваются международные связи университета, в том числе с научными учреждениями США, Великобритании, Германии, Франции, Японии, Южной Кореи, Китая и других стран. Университет имеет более 200 соглашений о сотрудничестве с зарубежными вузами, научными центрами и компаниями.

Понимая важность экспертной оценки своей деятельности со стороны отечественных и зарубежных профессиональных сообществ, ТПУ активно участвует в различных конкурсах, процедурах сертификации и аккредитации, что позволяет ему развивать систему качества для непрерывного совершенствования продукции и услуг, увеличивая тем самым конкурентоспособность вуза и его выпускников на отечественном и зарубежном рынках труда.

Система менеджмента качества ТПУ в 2001 г. впервые в высшей школе России была успешно сертифицирована на соответствие международному стандарту *ISO 9001:2000* в *National Quality Assurance (NQA)* - авторитетной организации Великобритании. В 2002 г. ТПУ принял участие в конкурсе Минобразования РФ «Внутривузовские системы обеспечения качества высшего образования» и стал его лауреатом. В 2006 г. университет стал победителем конкурса на соискание премии Правительства в области качества. В 2007 г. Томский политехнический университет успешно прошел сертификацию в Торгово-промышленной палате (ТПП) Российской Федерации, которая подтвердила, что качество подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в ТПУ отвечает требованиям для включения образовательного учреждения в реестр ТПП РФ.



Начиная с 1995 г. ТПУ регулярно подвергает свои образовательные программы внешней оценке с участием отечественных и зарубежных экспертов. Так, с 1995 по 2000 г. 10 образовательных программ Томского политехнического университета успешно прошли аудит в Аккредитационном независимом центре (АНЦ) инженерных специальностей. В 2000 г. *Global Alliance for Transnational Education (GATE)* сертифицировал четыре программы подготовки специалистов в области техники и технологии на английском языке. В 2005 г. образовательная программа «*Computer Engineering*» успешно прошла аудит в Канадском инженерном аккредитационном совете (*Canadian Engineering Accreditation Board -EAB*). В 2006 г. прошла оценку в Американском совете по технике и технологии (*Accreditation Board for Engineering and Technology - ABET*) образовательная программа подготовки бакалавров по направлению «*Electrical Engineering*».

С 2003 г. по 2010 г. более 20 программ подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов в области техники и технологий Томского политехнического университета успешно прошли общественно-профессиональную аккредитацию в АИОР, в том числе 5 программ с присвоением европейского знака качества «*EUR-ACE*» и занесением их в регистр Европейской сети аккредитации инженерного образования (*ENAE*) и Европейской федерации инженерных организаций (*FEANI*).

Одним из подтверждений высоких темпов развития и повышения конкурентоспособности ТПУ является традиционное позиционирование университета в первой десятке технических вузов по рейтингу Минобрнауки РФ. В 2009 г. по результатам этого рейтинга ТПУ занял второе место среди более 150 российских инженерных школ.

В последние годы университет стал членом 12 международных ассоциаций и консорциумов, в том числе *Conference of European Schools for Advanced Engineering Education and Research (CESAER)* и *Consortium linking Universities of Science and Technology for Education and Research (CLUSTER)*, в которых ТПУ - пока единственный среди российских вузов.

## **1.2. Миссия ТПУ**

Миссия университета определяет основное предназначение вуза, описывает его традиции и актуальные особенности. В ней отмечается, что Томский политехнический университет - старейший технический вуз в азиатской части России, основанный в 1896 г. и оказавший значительное влияние на развитие науки, образования, промышленности и культуры страны. Это достигнуто усилиями ученых, преподавателей, студентов и более чем сотни тысяч выпускников. Томский политехнический университет - это сочетание традиций и инноваций в области высшего технического образования. Этим он отличается от других высших учебных заведений. Ведущая роль ТПУ и его влияние на культуру общества отме-

чены включением университета в «Свод особо ценных объектов культурного наследия народов России» Указом Президента Российской Федерации от 2 апреля 1997 г.

В своей работе коллектив университета опирается на традиции, сложившиеся за вековую историю университета:

- единство научной и учебной деятельности, дающее специалистам глубокие общенаучные знания;
- фундаментальная инженерная и практическая подготовка, позволяющая выпускникам быстро адаптироваться в современных производственных условиях;
- высокий уровень требований к студентам и преподавателям, гарантирующий соответствующее качество подготовки специалистов;
- инновации, требующие от студентов, преподавателей, ученых и менеджеров университета постоянно находить лучшие пути решения стоящих перед ними задач.

Университет создает условия для свободного выражения мыслей и идей, поддерживает культ знаний и стремление к успеху, поэтому на гербе университета значится девиз: «Знание. Свобода. Процветание».

Миссия университета заключается в том, чтобы нести в мир знания и опыт, позволяющие личности, обществу и Российскому государству видеть и использовать лучшие образцы подготовки высококлассных специалистов и эффективной реализации нововведений в сфере науки и высшего образования.

Стратегическими направлениями деятельности университета являются:

- проведение фундаментальных и прикладных научных исследований;
- формирование и развитие научно-педагогических школ;
- активное взаимодействие с ведущими научными, образовательными и производственными центрами;
- стимулирование студентов, преподавателей и сотрудников к интеграции традиционных академических ценностей и предпринимательских идей;
- формирование гармонично развитой личности и подготовка специалиста, способного быть лидером, работать в команде, действовать и побеждать в условиях конкурентной среды;
- обеспечение выпускникам доступа к непрерывному образованию и содействие их успешной деловой карьере.

Реализация миссии направлена на то, чтобы ТПУ стал международно-признанным центром подготовки специалистов мирового уровня и инноваций в области высшего образования.

### 1.3. Стратегия ТПУ

Основой для развития ТПУ с начала 1990-х гг. стала постановка стратегических целей и планирование деятельности на среднесрочную перспективу в рамках пятилетних Комплексных программ развития (КПР).

В результате выполнения первой Комплексной программы развития ТПУ в период 1991-1995 гг. были в основном решены задачи формирования и становления института как технического университета, отработки эффективных механизмов повышения качества, продуктивности и результативности его деятельности в условиях рыночного социально-экономического уклада, а также задачи начального этапа интеграции в международную академическую систему, гуманизации и демократизации жизнедеятельности университета.

В результате выполнения второй Комплексной программы развития ТПУ в период 1996-2000 гг. были решены задачи наращивания потенциала, повышения качества деятельности и перевод университета на траекторию устойчивого динамичного развития в условиях рыночной экономики, сохранения традиций университета как вуза, обеспечивающего подготовку инженерных и научных кадров, способных оказать заметное влияние на экономику региона, образование и культуру, создания основы для широкого включения университета в мировое научно-образовательное пространство и превращения его в один из ведущих технических университетов России.

В результате выполнения КПР ТПУ на 2001-2005 гг. университет укрепил свое лидирующее положение в сфере высшего профессионального образования России и успешно продолжил интеграцию в мировое научно-образовательное пространство.

Комплексная программа развития ТПУ на 2006-2010 гг. базируется на вековых традициях, опыте подготовки специалистов в Томском политехническом университете и достижениях отечественных и зарубежных вузов. Основой являются современные научные представления об образовательном учреждении как целе- и ценностно-ориентированной системе учитываются результаты выполнения трех предыдущих Комплексных программ развития. КПР ТПУ-2010 имеет стратегической целью развитие вуза как университета инновационного типа, ориентированного на проведение научных исследований, создание перспективных наукоемких технологий и подготовку специалистов, способных обеспечить позитивные изменения в экономике страны и повысить ее конкурентоспособность.

Комплексная программа развития ТПУ на 2006-2010 гг. декомпозирована на 5 комплексных программ совершенствования основных направлений деятельности университета и 7 целевых программ по приоритетным направлениям его развития. При формировании бюджета ТПУ на 2006-2010 гг. впервые в вузовской практике консолидированный бюд-

жет разделен на бюджеты функционирования и развития (около 30 %), что позволяет более эффективно использовать имеющиеся финансовые ресурсы.

В 2007-2008 гг. в Томском политехническом университете успешно выполнена Инновационная образовательная программа «Развитие опережающей подготовки элитных специалистов и команд профессионалов мирового уровня для приоритетных направлений науки, техники и технологий» в рамках реализации Национального проекта «Образование».

В результате выполнения Инновационной образовательной программы ТПУ были существенно развиты материальная база и кадровый потенциал университета, создан новый стандарт основной образовательной программы ТПУ, на базе которого разработаны образовательные программы, отвечающие международным требованиям подготовки специалистов в области техники и технологий.

Приказом Минобрнауки от 17.11.2009 г. № 613 утверждена Программа развития ТПУ как национального исследовательского университета с основными показателями на 2009-2018 гг. (дополнительные показатели реализации Программы развития университета утверждены приказом ректора от 25.11.2009 г. № 6865).

Основная цель Программы - становление ТПУ как национального исследовательского университета мирового уровня, ориентированного на кадровое обеспечение и разработку технологий для ресурсоэффективной экономики.

Программой развития предусмотрены следующие приоритетные направления:

1. Рациональное природопользование и глубокая переработка природных ресурсов.
2. Традиционная и атомная энергетика, альтернативные технологии производства энергии.
3. Нанотехнологии и пучково-плазменные технологии создания материалов с заданными свойствами.
4. Интеллектуальные информационно-телекоммуникационные системы мониторинга и управления.
5. Неразрушающий контроль и диагностика в производственной и социальной сферах.

Каждое из этих приоритетных направлений интегрирует творческий потенциал ТПУ, институтов СО РАН и РАМН, Томской особой экономической зоны технико-внедренческого типа, отечественных и зарубежных партнёров.

Категория «Национальный исследовательский университет» и дополнительная финансовая поддержка из федерального бюджета стимулирует ТПУ интенсивнее проводить фундаментальные и прикладные исследова-

дования, развивать инновационную инфраструктуру, совершенствовать формы и методы интеграции и интернационализации научного и образовательного процессов.

#### **1.4. Общие требования к ООП**

Томский политехнический университет самостоятельно разрабатывает ООП на основе ФГОС по соответствующему направлению подготовки (специальности) с учетом международных стандартов инженерного образования, миссии университета, его традиций, сформировавшихся научных и педагогических школ, мировых тенденций развития высшего образования, требований национального и международного рынка труда и профессионального сообщества.

Томский политехнический университет при формировании общих требований к ООП руководствуется ФГОС, современными требованиями к профессиональным инженерам, требованиями к выпускникам образовательных программ в области техники и технологий со стороны международных аккредитующих организаций, международными критериями аккредитации инженерных программ, структурой и номенклатурой двухуровневых инженерных программ, соответствующих мировой практике, методологией компетентностного подхода к проектированию, реализации и оценке качества программ, кредитной системой оценки и поддержания программ и рейтинговой системой оценки их освоения студентами, асинхронной организацией учебного процесса с приоритетом самостоятельной работы студентов, личностно-ориентированными образовательными технологиями, европейскими рекомендациями по управлению качеством образовательной деятельности, требованиями международных стандартов к управлению процессами, обеспечивающими образовательную деятельность в вузе.

В соответствии с европейскими рекомендациями (*Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area*), разработанными в результате развития Болонского процесса, Томский политехнический университет руководствуется:

- политикой и процедурами обеспечения качества ООП;
- регламентами утверждения и мониторинга ООП;
- процедурами оценки качества освоения ООП студентами;
- регламентами обеспечения качества преподавательского состава, участвующего в реализации ООП;
- процедурами управления ресурсами для освоения ООП студентами и их поддержки;
- требованиями к информационному обеспечению и открытости информации по ООП.

## 1.5. Особенности инженерной деятельности и роль инженера в современном мире

### 1.5.1. Зарождение инженерной деятельности, ее сущность и функции

В истории становления и развития производительных сил общества на различных этапах **проблема инженерной деятельности** занимает особое место. Инженерное дело прошло довольно непростой, исторически длительный путь становления. История материальной культуры человечества знает немало примеров удивительного решения уникальных инженерных задач еще на довольно ранних этапах развития человеческого общества. Если мы обратимся к истории создания знаменитых семи чудес света, то убедимся в наличии оригинального решения конкретных инженерных проблем.

Семь чудес света получили свое название во времена античности как сооружения, поражающие своим величием, размерами, красотой, техникой исполнения и оригинальностью решения инженерных проблем. «Профессия» инженера, «представителя инженерного цеха» по праву может отстаивать место на одной ступени пьедестала с Охотником, Врачом, Жрецом.

Вместе с тем история материальной культуры иногда отрицает наличие инженера в обществе древности, а в этой связи и наличия и целенаправленной инженерной деятельности так, как мы понимаем эту деятельность сегодня, как она наполнена в век электричества, электронно-вычислительных машин, спутников, межконтинентальных воздушных лайнеров и ракет. Но некоторое отрицание инженера и инженерной деятельности на ранних ступенях развития общества еще не означает отрицания инженерной деятельности вообще при решении конкретных задач. Она в различных формах существовала в человеческой истории и существовала вполне активно. В рамках данной лекции мы рассмотрим процесс зарождения и становления инженерной деятельности, ее эволюции, появление инженера в производительных силах как обязательной профессии на пути преобразования этих сил, а также внешние и внутренние функции инженерной деятельности в современных условиях.

### 1.5.2. Доинженерная деятельность

На заре становления общества *не существовало в явном виде инженерной специальности* (это результат позднейшего общественного разделения труда), ни тем более «инженерного цеха», «касты» или социально-профессиональной группы. Но за многие века, даже тысячелетия до того, как общественный способ производства сделал возможным и необходимым появление инженеров в полном смысле этого слова, перед людьми возникали инженерные задачи и находились индивиды, способные их ре-

шать. Ведь человеческая цивилизация основана на преобразовании природного мира с помощью орудий труда, то есть совокупности разнообразных технических средств. *История их создания – одновременно и история инженерной деятельности.*

История инженерной деятельности относительно самостоятельна; ее нельзя свести ни к истории техники, ни к истории науки. Корни ее теряются в глубине прошедших тысячелетий. Зачастую мы можем догадываться, какого упорства и таланта требовал каждый новый шаг в освоении и преобразовании мира, какие творческие коллизии, взлеты и крушения скрыты от нашего взгляда дымкой веков. Данные археологических раскопок позволяют лишь очень приблизительно реконструировать уровень знаний и умений, доступных творцам техники далекого прошлого. Судить об особенностях инженерной деятельности давно ушедших поколений приходится по ее результатам, сохранившимся в натуре или хотя бы в описании. И техника может рассказать о своих создателях очень многое.

По своему происхождению именно *техническая деятельность* стала одним из первых видов социальной деятельности. Чтобы выжить, добыть пищу, защитить себя от диких животных, первобытные люди вынуждены были прибегнуть к помощи орудий. Переход к труду, основанному на применении орудий, первых примитивных технических средств, был необходим. Все доступные нам факты борьбы рода человеческого за выживание подтверждают, что техническое (технологическое) направление и характер цивилизации являются не случайностью и не ошибкой общественного развития, а единственно возможным его путем.

*Характер и содержание технической деятельности* на ранних стадиях человеческой истории *менялись крайне медленно*: технические новинки сотни раз находились и сотни раз утрачивались, погибали вместе с их изобретателями.

Шли тысячелетия, и вместе с ними неуклонно шел дальше и дальше технический прогресс. На границе между верхним и нижним древнекаменным веком (палеолитом), примерно 40–30 тысяч лет назад, завершается предыстория человеческого общества и начинается его история. Этот переход совершился во многом благодаря накопленным техническим достижениям. В производственной деятельности человек освоил много новых пород камня, научился изготавливать свыше двадцати видов различных каменных орудий (резцов, сверл, скобелей и т. п.). Были созданы гарпун и копьеметалка. Апофеозом инженерной мысли каменного века стал лук. Человек, сообразивший, как использовать потенциальную энергию согнутой палки, натянувший на нее тетиву из жил животных и заостривший тонкую стрелу, совершил эпохальное техническое открытие.

Широкомасштабное применение лука, вкладышевых орудий, шлифованных топоров, тесел, мотыг, долот и прочих технических достижений неолита подготовило производственную революцию. Сущность так называемой неолитической революции – в переходе от охоты к земледелию и скотоводству.

В период неолита достоянием человечества сделались новые приемы обработки материалов – пиление, шлифование, сверление, появились составные орудия, был приручен огонь. Невозможно представить, что эти элементы материально-технической культуры возникли без целенаправленной умственной работы их создателей. Можно согласиться, что познание, техническое проектирование и организация производства не были расчленены и не существовали вне повседневной рутинной деятельности. Поэтому уже применительно к первобытнообщинному способу производства мы вправе говорить о существовании инженерной деятельности в ее неявной форме. Обозначим ее как *доинженерную деятельность*.

### *1.5.3. Прединженерный период (с II-I тыс. до н.э. до XVII–XVIII вв. н.э.)*

Возникли классы и государство. Ширилась специализация труда. При становлении рабовладельческого способа производства происходит обособление ремесел. Это второе крупное общественное разделение труда порождает ремесленника – человека, занятого главным образом технической деятельностью.

*Центром технической (и инженерной) деятельности было строительное дело.* Возникновение древних городов, которые становились центрами ремесленного производства, возведение культовых и ирригационных сооружений, мостов, плотин, дорог требовало кооперации труда огромного количества людей.

Очевидно, что «ни одно крупное и сложное сооружение древности не могло быть построено без детально разработанного проекта, требующего обособления целеполагающей деятельности. В процессе строительства технический замысел (проект) мог быть реализован только на основе совместного труда рабов. Для того чтобы организовать трудовые усилия больших масс низкоквалифицированных работников, подчинить их единой задаче, требовался инженер. *Архитектурное дело и строительство* стали исторически первой областью производства, где возникла потребность в людях специально занятых функциями *проектирования и управления* (инженера).

Материально-техническая и духовная культура человечества в эпоху рабовладения достигла такого уровня, что в отдельных ее сферах – строительстве и архитектуре – возникла потребность в профессиональном инженерном труде. Сквозь тысячелетия дошли до нас имена египетского



жреца-архитектора Имхотепа (ок.2700 г. до н.э.), китайского гидростроителя Великого Юя (ок.2300 г. до н.э.), древнегреческого зодчего и скульптора Фидия – создателя афинского акрополя Парфенона (V в. до н.э.). Были ли они инженерами? И да, и нет. Ответ на этот вопрос неоднозначен, и вот почему. Для производства периода поздних рабовладельческих государств характерно появление сложных технических задач нового класса, решение которых предполагало обособление инженерно-технических и инженерно-управленческих функций. Здравый смысл подсказывает, что тех, кто эти функции выполнял, мы вправе назвать инженерами.

Вместе с тем, следует заметить:

1) функции инженерного труда не сводятся к двум названным выше, они гораздо шире;

2) деятельность первых инженеров опиралась главным образом на практические, опытные знания, а также на весьма примитивные технические средства; универсальным и малоэффективным технологическим приемом было массовое применение рабского труда;

3) умственный труд, отпочковавшись от физического, долгое время оставался нерасчлененным.

Так, в рабовладельческом обществе естествознание, не говоря уже о точных (тем более – о технических) науках, не успело выделиться в самостоятельную отрасль знания. Каждого инженера древности можно с не меньшим основанием именовать ученым, философом, писателем. Иначе говоря, любой инженер того времени заведомо «обязан» был быть мудрецом, любой мудрец одновременно владел инженерным делом.

Исходя из приведенных выше соображений, точнее можно обозначить этот период становления инженерии как **прединженерный**. Этот период неоднороден с точки зрения способа производства – рабовладение сменил феодализм, который в свою очередь, готовился уступить место капитализму. Менялось общественно-политическое устройство: возникали и гибли империи, возвышались и приходили в упадок нации, классы, религии. Развивалась техника и технология, рождались гениальные изобретения, создавались принципиально новые технические объекты, изделия, инструменты, приемы обработки материалов. Неизменным оставалось одно: *основным создателем технических нововведений, субъектом технической деятельности по-прежнему оставался ремесленник.*

Достижения ремесленной деятельности древности и средневековья поражают воображение. Военное дело, сельское хозяйство, мореплавание, металлургическое, текстильное, бумажное производство – вот далеко не полный перечень областей деятельности, где в прединженерный период развития техники произошли технические революции: «порох, компас, книгопечатание – три изобретения, предваряющие буржуазное общество».

Многие технологические приемы древнего ремесла настолько уникальны, что не могут быть воспроизведены даже на основании современных научно-технических знаний. Длинный и сложный путь к прогрессу прошел человек. От каменного топора – к меди и бронзе, к железу и металлам космической эры.

Большинство из великих изобретений человечества относится к *средствам передвижения* (колесо, повозка, велосипед, паровоз, автомобиль, самолет и др.), *орудиям труда* (гончарный круг, мельница, прялка, паровой молот, робот и др.), *материалам* (бронза, железо, бумага, пластмасса и др.), *энергетике* (паровая машина, электрическая машина, дизель и др.), *военному делу* (порох, винтовка, атомная бомба и др.), *сфере информации* (книга, интернет и др.), *связи* (телеграф, телефон, телевидение и др.), *приборам* (компас, телескоп и др.).

До конца XVI – начала XVII веков техническая деятельность человека осуществлялась практически вне связи с развитием естественных наук и математики. И только после того, как результаты научных исследований стали использоваться для создания новой техники и технологий возникла **инженерная деятельность**.

Первые **инженеры** формировались в среде ученых, обратившихся к технике, и ремесленников-самоучек, приобщившихся к науке. Первые инженеры – это одновременно художники и архитекторы, консультанты по фортификационным сооружениям, артиллерии и гражданскому строительству, алхимики и врачи, математики и естествоиспытатели. Их объединяло то, что они впервые стали использовать научные знания как вполне реальную производительную силу.

Так сформировалась **миссия инженера**, которая состоит в *создании искусственных технических объектов, сред и технологий*, необходимых для обеспечения жизнедеятельности и повышения качества жизни человека и общества, *с использованием природных ресурсов и применением естественнонаучных знаний и практического опыта*.

Рождение инженерной профессии стало результатом переворота во всех без исключения слоях и сферах общественной жизнедеятельности. Техника, способ производства, общественно-экономические отношения, политические институты, общественное сознание и психология, наука – все это необходимо было изменить, причем изменить самым решительным образом, прежде чем работа по решению инженерных проблем приобрела статус профессионального занятия в общественно-значимых масштабах.

#### 1.5.4. Факторы, способствовавшие вызреванию инженерного труда

**1. Технологическая революция.** Долгое время технологический способ производства, то есть основной тип связи между человеком и тех-

ническими средствами труда, оставался неизменным. Орудия совершенствовались, усложнялись, становились эффективнее, но в целом в системе «человек-техника» человек был представлен ручным трудом, техника – инструментами для этого труда. Однако наступил момент, когда ремесленник, вооруженный ручными инструментами, перестал быть эффективным, исчерпал свой потенциал. Ремесленное производство уже не поспевало за растущими потребностями общества.

Смысл перемен в системе «человек-техника», обусловленный становлением машинного производства, заключался в передаче технике ряда человеческих функций; машина возникает с того момента, когда орудия превращаются «из орудий человеческого организма в орудия механического аппарата». Перемещение функции непосредственного управления орудиями от человека к машине ознаменовало собой не просто техническую революцию – такие революции «местного значения» происходят в технике в связи с любым крупным изобретением. Нет, произошел полный переворот во всей технической системе, после которого она начала развиваться по-новому, на основании новых принципов, новых технических форм и структур. Иными словами, *возникновение машин определило начало нового исторического этапа в развитии техники – механизации производства.*

Необходимость изобретать и применять в промышленных масштабах различного рода машины невольно породила потребность в специалистах, способных осуществлять эту деятельность не от случая к случаю, а постоянно. Таким образом, переворот в техническом компоненте производительных сил привел к видоизменению человеческого компонента – появились рабочие и инженеры, на которых возлагалась задача работать «преимущественно только головой».

**2. Развитие общественно-экономических отношений.** «Машинная революция», изменяя характер и содержание труда, его технологию, организацию и структуру, способствует изменению производственных отношений. Вместе с происшедшей революцией в производительных силах, совершается также революция в производственных отношениях. Укрепление капиталистической формы собственности и превращение ее в господствующую неразрывно связано с крупной машинной индустрией, преобразованием производства на новых, рациональных началах.

Место инженера в исторически определенной системе общественного производства – это одновременно его принадлежность и к определенной профессии, и к определенной социальной группе.

**3. Переворот в мировоззрении, становление личности.** Консерватизм средневекового мышления, усугубляемый догматическим религиозным мировоззрением, долгое время сдерживал развитие инженерной мыс-

ли. Изменять, «конструировать» мир в соответствии с заранее намеченными целями, личной волей вправе был только Бог. Посягательство на творческую функцию Бога, попытки усовершенствовать созданное им воспринимались с точки зрения религиозного фанатизма как ересь, грех. В христианском монотеизме беспредельно возносилась изобретательская деятельность Бога и бесконечно принижался человек, если он занимался этой деятельностью. Такое положение сохранялось довольно долго. Целый ряд изобретений (например, магнитная стрелка компаса) веками не использовался или использовался тайно, с опаской ввиду их «дьявольской природы». Господство средневековой парадигмы неприятия нового было низвергнуто лишь в эпоху Ренессанса. Замена Бога-творца человеком-творцом, первоначально произошедшая в сфере художественного мышления, распространилась постепенно и на техническое творчество. Человек понемногу перестает воспринимать изобретательство как божественную прерогативу, становится, по выражению Леонардо да Винчи, «свободен в изобретениях».

Становлению инженерного творчества предшествовало также становление личности как индивидуального субъекта этого творчества. В средние века личности инженера в современном смысле слова, собственно говоря, не существовало; не только в труде, но и во всех без исключения сферах жизнедеятельности ремесленник был неотделим от цеховой общины. Индивидуальное «Я» почти без остатка растворялось в коллективной психологии, и автором технического нововведения выступал не отдельный человек, а коллективная личность-мастерская, личность-цех. До тех пор пока человек не умел и не мог осмыслить грань, отделяющую от его товарищей по мастерской, цеховой корпорации, ремесле, он не в состоянии был нарушить технические традиции, целенаправленно создавать новое в технике. И лишь эпоха буржуазных отношений, освободившая сознание людей от многовекового груза феодальных, религиозных, цеховых традиций, рождает обособленного от других, суверенного индивида, способного стать творцом.

**4. Перемены в науке.** XVI-XVII вв. – это время, когда свежий ветер естественнонаучного познания врывается в затхлую атмосферу умозрительной науки. Изобретательская деятельность Леонардо да Винчи, открытия Френсиса Бэкона и Галилея вооружают умы идеей грандиозных прикладных возможностей применения научного знания.

Нужды растущего машинного производства, мореплавания, торговли положили начало союзу научной и технической изобретательской деятельности. Динамичное развитие крупной промышленности, формируя специальную потребность в решении сложных технических задач, создает условия для практического применения данных науки. *Изменение ориен-*

*тации науки на производственные проблемы сказалось на ее развитии самым живительным образом.*

В XVII-XVIII вв. наука становится профессиональным занятием для достаточно многочисленной группы лиц; возникают первые академии и научные общества. Решающим фактором расцвета науки выступает именно связь с производством, технические потребности которого продвинули, науку вперед больше, чем десяток университетов. *Слияние науки и техники как раз и определяет содержание инженерного труда, его основную функцию: создание средств и способов технической деятельности на основе научных достижений.*

**5. Создание средств инженерного труда.** В XVI-XVII вв. в техническом деле начинают широко использоваться наброски и рисунки для изображения деталей, узлов, конструкций. Период перехода от ремесленного производства к машинному характеризуется еще более бурным развитием графических методов передачи технической информации. Одновременно с искусством черчения создаются и точные чертежные приборы и инструменты, ведутся теоретические изыскания в этой области. В 1798 году Гаспар Монж опубликовал книгу «Начертательная геометрия», в которой систематизировал приемы изображения технического объекта в виде проекций на две взаимно перпендикулярные плоскости. В результате «чертеж» прочно воцарился в технике. Инженерное дело получило свой особый язык – средство инженерного труда.

Следует заметить, что историческая логика развертывания общественного разделения труда вкупе с целым набором технических, экономических, социальных и психологических факторов привели к обособлению инженерной деятельности от прочих видов умственного труда. Возникла новая профессия, смысл которой заключался (и заключается) в применении научных знаний при решении технических проблем производства.

*Сущность инженерной деятельности* находит свое отображение в функциях такой деятельности. Состав и последовательность выполнения функций инженерной деятельности незначительно изменились с той поры, как инженерный труд обрел статус профессии. Но содержание их многократно усложнились.

Первым внутривидовым разделением функций инженерного труда стало обособление друг от друга тех, кто придумывал и конструировал технику, и тех, кто налаживал ее выпуск на заводах. Но на этом процесс специализации в среде инженерно-технических работников не остановился, и два первоначальных крупных блока внешних и внутренних функций раздробились к настоящему времени на ряд более мелких. К *внешним функциям* (или социальным) относятся гуманистическая, социально-

экономическая, управленческая, воспитательная и функция развития технического базиса общества.

К *внутренним или техническим функциям* относятся такие, как функции анализа и технического прогнозирования, исследовательских разработок, конструирования, проектирования, технологического обеспечения, регулирования производства, эксплуатации и ремонта оборудования, т.е. группа функций, обеспечивающих развитие производства и его функционирование. Для того чтобы представители разных инженерных специальностей сумели найти общий язык, потребовалось координировать их действия, плотно состыковать приобретенные автономии инженерные функции. В связи с этим возникает еще одна, особая функция – системное проектирование.

### 1.5.5. *Функции инженера*

Основные функции инженера достаточно жестко разграничены и закреплены за определенными специальностями.

1. *Функция анализа и технического прогнозирования.* Ее выполнение связано с выяснением технических противоречий и потребностей производства. Здесь определяются тенденции и перспективы технического развития, курс технической политики и соответственно намечаются основные параметры инженерной задачи. Короче говоря, формулируется в первом приближении ответ на вопрос, что нужно производству завтра. Осуществляют эту функцию инженерные «зубры» – руководители, ведущие специалисты научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, бюро, лабораторий.

2. *Исследовательская функция инженерной деятельности* состоит в поиске принципиальной схемы технического устройства или технологического процесса. Инженер-исследователь обязан по роду своей деятельности найти способ «вписать» намеченную к разработке задачу в рамки законов естественных и технических наук, т.е. определить направление, которое приведет к поставленной цели.

3. *Конструкторская функция* дополняет и развивает исследовательскую, а порой и сливается с ней. Особенное ее содержание заключается в том, что голый скелет принципиальной схемы прибора, механизма обрабатывает мышцами технических средств, технический замысел получает определенную форму. Инженер-конструктор берет за основу общий принцип работы прибора – результат усилий исследователя – и «переводит» его на язык чертежей, создавая технический, а затем и рабочий проект. Из совокупности известных технических элементов создается такая комбинация, которая обладает новыми функциональными свойствами, качественно отличается от всех прочих.

4. *Функция проектирования* – родная сестра двух предыдущих функций. Специфика ее содержания заключается, во-первых, в том, что инженер-проектировщик конструирует не отдельное устройство или прибор, а целую техническую систему, используя при этом в качестве «деталей» созданные конструкторами агрегаты и механизмы; во-вторых, в том, что при разработке проекта часто приходится учитывать не только технические, но и социальные, эргономические и другие параметры объекта, т.е. выходить за рамки сугубо инженерных проблем. Труд проектировщика завершает период инженерной подготовки производства; техническая идея приобретает свою окончательную форму в виде чертежей рабочего проекта.

5. *Технологическая функция* связана с выполнением второй части инженерной задачи: как изготовить то, что изобретено? Инженер-технолог должен соединить технические процессы с трудовыми и сделать это таким образом, чтобы в результате взаимодействия людей и техники затраты времени и материалов были минимальны, а техническая система работала продуктивно. Успех или неуспех технолога определяет ценность всего инженерного труда, затраченного перед этим на создание технического объекта и идеальной форме.

6. *Функция регулирования производства.* Проектировщик, конструктор и технолог совместными усилиями определили, что и как делать, осталось самое простое и одновременно самое сложное – сделать. Это задача рабочего, но направить его усилия, непосредственно на месте организовать его труд с трудом других и подчинить совместную деятельность работников решению конкретной технической задачи – дело инженера-производственника, производителя работ.

7. *Функция эксплуатации и ремонта оборудования.* Здесь название говорит само за себя. Современная сверхсложная техника во многих случаях требует инженерной подготовки обслуживающего ее работника. На плечи инженера-эксплуатационника ложится отладка и техническое обслуживание машин, автоматов, технологических линий, контроль за режимом их работы. Все чаще инженер нужен за пультом оператора.

8. *Функция системного проектирования* сравнительно нова для инженерной деятельности, но по значимости превосходит многие другие функции. Смысл ее в том, чтобы всему циклу инженерных действий придать единую направленность, комплексный характер. Возникает новая профессия инженера-системотехника, призванного давать экспертные оценки в процессе создания сложных технических и особенно «человеко-машинных» систем, где необходим их постоянный диагностический анализ, направленный на раскрытие резервных и узких мест, выработку решений с целью устранения обнаруженных недостатков. Эксперты-

универсалисты должны помочь руководителю достичь согласия по всей программе работ, включающей разные проекты.

Развитие инженерной деятельности после появления инженера протекало необычно стремительно. Союз науки и техники породил лавину технических и общественных перемен, которая по мере движения вперед захватывала все более широкие пласты жизни общества. В отношении инженерной профессии действие научно-технической революции оказалось воистину всеобъемлющим. Прогресс инженерии в XIX и особенно в XX столетии стал подобен разливу полноводной могучей реки, разветвляющейся к тому же на десятки и сотни новых потоков.

Самые общие, коренные изменения, произошедшие в инженерном деле и приведшие его к небывалому прежде расцвету: в технической сфере – это овладение новыми источниками энергии и создание новых материалов; в социальной области – превращение инженерной специальности в одну из самых массовых, а также те перемены в общественной сущности инженерного труда, которые связаны с установлением нового общественного способа производства; в области научной – прогресс инженерии опирается на становление и развитие технических наук.

Перечисленные явления относятся не только к прошлому, но и к настоящему инженерного дела; история здесь тесно переплетается с современностью.

### **Выводы:**

Корни инженерной деятельности теряются в глубине прошедших тысячелетий, так как известно, что человеческая цивилизация основана на преобразовании природного мира с помощью орудий труда, а создание разнообразных технических средств, история их создания и появления и есть история инженерной деятельности.

*Профессия инженера прошла долгий путь становления и развития, имеет свои особенности на том или ином этапе истории. Длительное время на эту деятельность смотрели как на неблагородное дело, удел простолюдина, профессия не была популярной. С переходом к феодализму возрастает количественно и качественно категория людей, занимающихся инженерной деятельностью. С развитием машинной индустрии она начинает быстро развиваться, появляется инженер-промышленник, который становится основной фигурой технического прогресса. Бурное развитие машинного производства вызвало к жизни необходимость подготовки кадров, способных решать инженерные проблемы.*



### 1.5.6. Развитие инженерной деятельности, профессии инженера и профессионального образования

Еще в античном обществе инженерное дело впервые приобрело признаки профессии: регулярное воспроизводство, доход от занятия, определенную систему получения знаний. Чрезвычайно важное значение придавалось мастерству архитектора (так в Риме называли руководителей строительства). Считалось, что для получения этой профессии необходимы три вещи: врожденные способности, знания и опыт. Причем, кроме знаний прикладных, практических, архитектор должен был обладать философским складом ума. Несмотря на все эти условия, архитекторы (так же как и инженеры других специальностей относились) относились к «заурядным работягам», к людям второго сорта, находящимся ближе к ремесленникам, чем к ученым.

В период расцвета Римской империи инженеры становятся относительно многочисленной группой. Внутри профессии происходит разделение труда: наряду с военными, появляются гражданские инженеры, специализирующиеся в строительстве, коммунальном хозяйстве, мелиорации и ирригации. Формальных институтов инженерного образования не было. Обучение проходило на практике, что во многом напоминало цеховую систему подготовки – «ученик – подмастерье – мастер». Не сформировались еще общественные формы контроля уровня квалификации. Вместе с тем инженеры удовлетворяли общественную потребность в создании и эксплуатации техники, строительстве различных сооружений.

В феодальную эпоху оформилось разделение инженеров на гражданских и военных (хотя термин «гражданский инженер» стал широко употребляться несколько позже). Основной специальностью *гражданских инженеров* средневековья оставалось строительное дело. Однако в связи с развитием металлургии, текстильной промышленности, кораблестроения и т.п. нарождается новый тип инженера-промышленника, который пока практически неотделим от высококвалифицированного мастера. Только с развитием машинной индустрии этот тип инженера вполне оформится и станет основной фигурой технического прогресса.

Основные технические достижения феодальной эпохи: *в строительном деле* – нахождение новых конструктивных принципов готического стиля построек, усовершенствование техники строительства замков и крепостей; *в металлургии* – открытие передельного способа получения железа, начало чугунолитейного дела; *в морском транспорте* – изобретение компаса, усовершенствование кораблестроения; *в военном деле* – распространение огнестрельного оружия, а также изобретение книгопечатания.

Основным фактором, вызвавшим к жизни позже технические успехи, было *разложение рабовладельческого строя*, столь долгое время служив-

шего тормозом внедрения новшеств в производственный процесс. Другим фактором, сыгравшим важную роль в ускорении технического прогресса, стало *развитие торговли*, служившей каналом распространения инноваций.

XVII век – переломный в профессии инженера. Наблюдается постоянный рост общественной потребности в инженерах. Перестает удовлетворять качество их подготовки, не базирующееся на специфическом фундаментальном образовании. В массовом сознании формируется понятие “*инженерное дело*” как совокупность знаний и умений в самых разных областях техники: в военном деле, в гражданских областях – в строительстве, кораблестроении. До XVII века мы не находим у инженеров еще многих признаков полного профессионализма: отсутствует развитая система специального технического образования, практическая специальная символика группы, инженеры не представляют сплоченной и социально однородной группы, не выработаны нормы поведения.

Появление машинной индустрии совершает поистине революционный переворот в инженерном деле, что позволяет заявить о вступлении профессии в институциональную стадию с распространением капиталистического способа производства. Именно *эпоха машинной индустрии порождает инженера в современном смысле слова*.

До XVII в. инженерное дело было главным образом сферой деятельности либо гениальных ученых, либо ремесленников – самоучек. Однако запас научных инженерных знаний и фактов становится настолько велик, что для его освоения требуется *специальное техническое образование*. С конца XVII в. развивается прикладная наука, которая “снисходит” к потребностям промышленности. Появляется обширная техническая литература. Создаются новые институты – школы прикладных наук, которые выпускают новый тип инженера – профессионала, обогащенного не только разнообразными знаниями, но и сознанием своей полезности.

Большое значение для инженерного дела имело учреждение в Лондоне Королевского научного общества (1660 г.) и Французской академии наук (1666 г.). С этого времени инженерное дело как профессия становится зависимым от формальных исследований и целенаправленного обучения. Школы прикладных наук, получавшее все большее распространение во Франции, также способствовали переходу профессии на институционально оформленную стадию: появились инженеры-профессионалы, имеющие формальные удостоверения своей компетентности и стремящиеся защищать свои профессиональные права и привилегии.

Профессиональная инженерная ассоциация возникла в Англии в 1771 г. и получила название “Общество гражданских инженеров”. Основной целью этой организации был провозглашен обмен мнениями в области

инженерного дела. Однако это общество не удовлетворяло профессиональных потребностей молодых инженеров, которые в 1818 г. образовали свой институт гражданских инженеров, основной целью которого была помощь в приобретении профессиональных инженерных знаний. Но развитие и использование техники в то время шли настолько быстрыми темпами, что институт не успевал осуществлять взятую на себя задачу. Дж. Стефенсон – известнейший в Англии изобретатель паровоза – основал в 1847 г. новый институт инженеров-механиков. Впоследствии возник еще ряд институтов: в 1860 г. – институт морских архитекторов, в 1871 г. – институт инженеров-электриков и т.п.

Во Франции нет упоминаний о каких-либо формальных инженерных организациях вплоть до 1716 г., когда был образован Корпус мостов и шоссе. Этот корпус осуществлял координацию всех строительных работ по сооружению мостов и дорог. А в 1747 г. была создана специальная школа для работников этого корпуса. В XVIII веке во Франции образовались еще несколько подобных учебных заведений: в 1778 г. – Высшая национальная школа минеров, в 1749 г. – публичная трудовая школа минеров, в 1794 г. – Публичная трудовая школа, которая впоследствии стала называться политехнической.

В Германии еще в XVIII веке впервые возникла система среднего специального технического образования. Ее появление было связано с острой потребностью развивающейся промышленности в квалифицированных инженерах, с одной стороны, и неспособностью традиционной академической системы образования удовлетворить эту потребность – с другой. Появилась новая форма учебного заведения – техникум, создающая сокращенный путь приобретения технических познаний. Курс обучения в техникумах продолжался от двух с половиной до четырех лет. Выпускникам присваивалось звание инженера в отличие от выпускников высшей политехнической школы. Первоначально техникумы готовили лишь техников-механиков и строителей. Но рост электротехнической промышленности вызвал необходимость подготовки специалистов электриков, что повлекло за собой открытие почти во всех техникумах специальных электротехнических отделений. В XIX веке в Англии и Америке инженерами называют техников высшего разряда, а научно-образованные техники именуется «Civil Engineer». Однако это звание часто не связано с получением высшего образования, которое вплоть до XX столетия не давало никаких привилегий при устройстве на работу. Многие из гражданских инженеров имели чисто практическое образование.

Кроме институтов гражданских инженеров, продолжало развиваться и военно-инженерное образование: в 1653 г. в Пруссии была учреждена первая кадетская школа. В 1620 г. во Франции основана артиллерийская шко-

ла, которая была единственной в мире в течение 50 лет. В XVII в. в Дании появилось первое особое училище для образования военных инженеров, а в начале XVIII в. такие училища были открыты в Англии, Саксонии, Австрии, Франции и Пруссии; 1742 г. – Дрезденское инженерное училище; 1747 г. – Австрийская инженерная академия; 1788 г. – Инженерная школа в Потсдаме.

Технический прогресс, развитие специального инженерного образования способствовали дальнейшему углублению внутри профессионального разделения труда. Осмысление технической задачи, определением способов ее решения стали заниматься инженеры – исследователи, проектировщики, технологи, труд которых стал почти неотличим от труда ученого-прикладника. Конструирование выделилось как исключительная функция инженеров-конструкторов.

Развитие технических наук привело не только к глубокой дифференциации инженеров – разработчиков новой техники, но и способствовало большему сближению с учеными. Производство технических средств с каждым годом становилось все более и более связанным с научной деятельностью, а развитие техники – результатом укрепляющего взаимодействия науки и производства, продуктом совокупного труда, компонентами которого является научная и практическая деятельность. Этот процесс сближения породил группу специалистов, которую сегодня называют научно-технической интеллигенцией.

Таким образом, инженеры превращаются во вполне сформировавшуюся социально-профессиональную группу. Они обладали высоким общественным статусом: привлекательным выглядели и характер труда, и высокий заработок, их роль в создании и распространении культурных ценностей. Наиболее мощный всплеск престижа инженерного труда приходится на вторую половину XIX века.

### **Выводы:**

В античном мире инженеры занимали промежуточное положение между учеными и ремесленниками, но были ближе к ремесленникам. В феодальном обществе наблюдается дальнейшее становление профессии инженера: разделение инженеров на гражданских и военных.

Становление и развитие фабричного производства знаменовало начало новой эры для инженерной профессии. Отмена цехового строя и переход к свободному предпринимательству стимулировали резкое повышение инновационной активности – одно за другим были сделаны изобретения, изменившие традиционные технологии в самых различных отраслях промышленности. Постепенно растет престиж инженерного труда, появляется сеть учебных заведений, готовящих военных и гражданских инженеров, особенно всплеск значимости профессии инженера приходится на вторую

половину XIX в., когда складывается специфическая социально-профессиональная группа инженеров, дифференцированная по специальностям, с особой формой мировоззрения, проявляющегося в виде технизма.

#### *1.5.7. Особенности становления и развития инженерной деятельности и профессии инженера в России*

Как же зарождалось инженерное дело, как шел процесс становления профессии инженера на Руси?

Слово «инженер» в русских источниках впервые встречается в середине XVII века в «Актах московского государства». Массовая инженерная деятельность на Руси возникает и закрепляется лишь тогда, когда в ремесленном производстве намечается отделение умственного труда от физического. Как и везде, исключительной функцией инженера в Древней Руси следует считать интеллектуальное обеспечение процесса создания техники и различных сооружений.

Вместе с тем истоки инженерного искусства на Руси уходят вглубь веков. Еще до прихода на Русь первых инженеров-строителей имелись хорошо укрепленные города: Чернигов, Киев, Новгород и другие. Самобытно русское лицо запечатлено в мировых творениях Пскова, Ростова, Суздаля, Владимира и иных городов. В истории Руси есть немало имен русских мастеров, владевших собственными приемами в области строительной механики. Именно об этом говорят сооружения, возводившиеся такими зодчими, как новгородец Арефа и киевлянин Петр Милонег в XII веке, каменных дел мастер Авдей – в XIII веке, Кирилл и Василий Ермолины, Иван Кривцов, Прохор и Борис Третьяк и другие.

Уже в XI веке занятие строительством получает статус профессии. Строителей оборонительных сооружений именуют «городники», «мостники», «мастера порочные». «Городники» занимались строением городских стен, «мостники» выполняли работу, состоявшую в устройении различного рода переправ. «Порочными мастерами» назывались специалисты по постройке и эксплуатации осадных машин. Они всегда находились при войске, чинили старые и делали новые военные машины.

Влияние иностранных специалистов, в том числе на военно-инженерное дело, было крайне ничтожным. Но со второй половины XV века Иван III начал выписывать из-за границы искусных строителей. Так, в 1473 г. был послан в Италию Семен Толбузин для приискания там знающего зодчего. Он привез с собой знаменитого архитектора Аристотеля Фиораванти, который возвел несколько храмов, каменных палат, башен, а также участвовал в ряде военных действий русской армии. В 1490 г. из Италии приехали в Москву архитектор Петр Антоний с учеником, пушеч-

ный мастер Яков, в 1494 г. – знаменитый стеной мастер Алевиз и Петрушечник. В 1504–1505 гг. прибыло еще много итальянских зодчих и пушечных мастеров. Каждый из них обязывался отслужить определенный срок за известную плату.

Приглашенные инженеры и архитекторы сыграли заметную роль в истории русского инженерного дела, способствовали становлению на Руси инженерной профессии. Но свои, отечественные умельцы могли и делали свое дело мастерски с инженерным размахом. Современные инженеры, архитекторы приходят в изумление от точности практического расчета древних строителей церкви Вознесения в селе Коломенском под Москвой, достигающей в высоту 58 метров. Как выдающийся памятник инженерной мысли у стен Кремля в Москве стоит храм Василия Блаженного, сооруженный великим псковским зодчим Бармой вместе с русским мастером И. Постником. Это поистине произведение искусства, архитектуры и инженерной мысли.

Официально «инженерами» стали называться специалисты по военному строительству при царе Алексее Михайловиче. Причем это звание давалось только иностранцам. Фактически русских инженеров в истинном смысле этого слова не существовало вплоть до XVIII в.

В период царствования Ивана Грозного военные строители начинают разделяться на разряды: 1) к высшему разряду принадлежали военные архитекторы – систематики, занимающиеся преимущественно усовершенствованием оборонительной части; 2) ко второму – собственно строители, руководившие сооружением укреплений; 3) к низшему разряду – все остальные строители: каменных, стеной, палатных дел мастера.

Коренные преобразования в инженерном деле произошли в связи нарастанием тенденций централизации и созданием единого Русского государства. С того времени все военное строительство и изготовление военной техники поступили в ведение *Пушкарского приказа*, основанного в царствование Ивана IV Грозного. В результате создания Пушкарского приказа постройка оборонительных сооружений сделалась менее произвольной, появились установленные стандарты: инструкции и чертежи, составленные в приказе. Начали распространяться и, так называемые, городские «строельные» книги, заключающие в себе подробное описание оборонительных оград. При Пушкарском приказе числились: *инженеры*, или *иноземные строители*, которые выступали чаще всего экспертами или консультантами: они рассматривали проекты, присылавшиеся с места сооружения или сами их составляли; *городовые мастера* – большей частью русские строители, находящиеся постоянно в крупных городах: они рассматривали сметы, которые присылались строителями в Пушкарский приказ и непосредственно руководили строительными работами; *мастера и подмастерья*

–низшие разряды строителей, помощники городских мастеров, осуществляли непосредственный надзор за производством работ; *чертежники*, осуществлявшие чертежные работы.

Пушкарский приказ был единственной организацией, регулировавшей осуществление инженерных функций. Хотя Иван Грозный сделал определенный шаг вперед в развитии инженерного дела, все же он, как и его предшественники, основным способом удовлетворения потребности в специалистах избрал их приглашение из европейских стран (в основном из Германии, Голландии и Англии).

При Василии Шуйском (1552–1612) было положено начало некоторому теоретическому образованию русских инженеров: в 1607 г. был переведен на русский язык «Устав дел ратных», в котором, кроме правил образования и разделения войска, действий пехоты, рассматривались и правила сооружения крепостей, их осады и обороны. Своеобразную роль учителей инженерного дела в русской армии взяли на себя шведские офицеры. Инженерные работы производились, как правило, наемными людьми, набираемыми из дворян, боярских детей и дьяков. Все они получали денежное и натуральное жалование.

Эпоха коренных преобразований в инженерном деле связана с именем Петра I. Почти непрерывные войны, сопровождавшие его царствование, сделали необходимым развитие как военного искусства вообще, так и инженерного, в частности. Основной целью преобразовательной деятельности Петра I было дать возможность России стать самостоятельной развитой державой и обходиться по возможности без иностранцев. Именно это и послужило причиной основания корпуса собственных русских инженеров.

Первым шагом в распространении инженерных знаний среди русских было направление молодых дворян за границу с целью изучения там архитектуры, корабельного искусства и инженерного дела. Петр I сразу по возвращении из своего первого путешествия по Европе приступил к учреждению учебного заведения, получившего название *Школы математических и навигацких наук* (1708 г.). Среди преподававшихся в школе предметов значились: арифметика, геометрия, тригонометрия, а также их практическое применение в артиллерии, фортификации, геодезии, мореплавании.



В 1712 г. открывается первая, а в 1719 г. – вторая инженерные школы, куда начали поступать дети из знатных русских фамилий. Качество образования в этих первых инженерных школах не удовлетворяло даже тем скромным требованиям, которые предъявлял XVIII в. Юноши, посвятившие себя военно-инженерному делу, получали в основном теоретическую, математическую подготовку, дальнейшее же образование по инженерной части им приходилось получать практическим путем, в ходе службы в зва-



нии кондукторов. И все же эти первые шаги инженерного образования дали свои плоды: во-первых, повышался образовательный уровень людей военного звания, а во-вторых, постепенно складывался круг образованных инженеров русского происхождения. Кроме специализированной подготовки военных инженеров, Петр I в 1713 г. издал Указ о том, что все офицеры в свободное время должны обучаться инженерству. Таким образом, число русских технических специальностей мало-помалу росло, что привело впоследствии к образованию инженерного корпуса.

В 1724 г. Петр I приступил к формированию инженерного полка, в котором инженеры были разделены на два разряда: полевых и гарнизонных. Численность инженеров в то время была уже довольно значительной, а круг действий вполне определен. Именно с того времени можно считать, что военно-инженерная профессия перешла на свою институциональную стадию, опередив гражданскую специальность где-то на 100 лет. Однако развитие профессии инженера в военной сфере России отставало примерно на 60 лет от европейских темпов. А как же обстояло дело с применением инженерного труда в гражданских областях?

Вплоть до петровского времени Русь была страной кустарной промышленности. Наиболее крупными в то время являлись оружейные, литейные и суконные предприятия (отрасли, обслуживавшие армию). Если не считать единичных попыток иностранцев основать на Руси фабрики и заводы в XVI–XVII веках, до Петра I фабричной промышленности не было.

Инженерные функции на заводах и фабриках петровского времени вменялись в обязанности определенной категории работников. Гражданских инженеров в современном смысле слова не было. Основной рабочей массой были посессионные крестьяне, приписываемые к фабрике, кроме того, на заводах работали под караулом преступники, солдаты, военнопленные. Такой контингент рабочей силы характеризовался низкой производительностью труда, отсутствием навыков для тщательной и тонкой работы, незаинтересованностью в результатах своего труда. Но кроме этой, часто недисциплинированной и неквалифицированной массы, на фабриках имелись мастера, знавшие технологию производства и, по существу дела, объединявшие в своем лице и инженера, и квалифицированного рабочего, и ремесленника.

В XVIII в. состоялось окончательное прикрепление мастеровых к фабрикам, что тормозило рост производительности труда и улучшение качества товаров. Отсутствие необходимой для развития капитализма свободы предпринимательской деятельности сказывалось и на инновационной активности.

При Екатерине II промышленная политика постепенно проникается духом предпринимательской свободы и поощрения частной инициативы. За годы царствования Екатерины II число фабрик и заводов увеличилось более чем вдвое. Все это обуславливало необходимость наличия людей, способных решать возникающие технические проблемы, знающих технологии, умеющих заниматься разработкой техники и создавать ее.



В петровское и послепетровское время инженерная профессия вступает в новую стадию своего развития с возрастающим ускорением. Но для огромной России этого было недостаточно. К тому же развитие промышленности отличалось большой неравномерностью. Текстильная промышленность развивалась довольно быстро, в отраслях тяжелой промышленности технический прогресс шел черепашьими шагами.

В XIX век Российская империя вступила со сложным багажом. Старые производственные отношения пришли в явное несоответствие с развитием экономики. Первая половина XIX века характеризуется тем, что многие отрасли промышленности Российской империи находились как бы еще в зачаточном точнее, «эмбриональном», состоянии или же совсем не прогрессировали, оставаясь на низком технологическом уровне, несмотря на то, что в Европе шла техническая революция, были созданы предпосылки для промышленного переворота, продвигались его начальные этапы.

Рабочие были закреплены за фабрикой, подобно крепостным крестьянам. Никакие льготы не могли заменить основного условия промышленного прогресса – свободы труда. В таких условиях потребность в инженерах почти отсутствовала. На фабриках машинный труд не был господствующей формой труда. Отсталая технология и использование подневольного труда посессионных и вотчинных мастеровых сводили функцию технологического контроля к минимуму. На многих фабриках инженеров не было вплоть до 1917 года.

Только с середины 30-х годов XIX в стало наблюдаться одновременное и непрерывное внедрение машин в различные отрасли промышленности, в одних более быстро, в других – замедленное и менее эффективное. Крайняя неравномерность технического прогресса, быстрыми скачками передвигающегося в одних отраслях и медленно ползущего в других, создала ситуацию, когда на наиболее современных предприятиях инженерные кадры были многочисленны и неоднородны по своей специализации, в то время как в отсталых отраслях экономики «об инженерстве никто толком не знал».

Завершение промышленного переворота создало реальные условия для индустриализации страны. Россия переходила к ней позже других передовых стран. Уже завершилась индустриализация в Англии, близки были к этому в конце XIX в. Германия и США. Как и в других странах, индустриализация началась с легкой промышленности еще в середине XIX в. Из нее средства переливались в тяжелые отрасли.

Рост машиностроения, усиленный ввоз машин, техническое перевооружение заводов – все это потребовало подготовленных кадров. С 1860 по 1896 г. число машиностроительных заводов возросло с 99 до 544 (в 5,5 раза), а число рабочих на них с 11600 до 85445 (в 7,4 раза). Были построены такие крупные машиностроительные предприятия, как Обуховский сталелитейный и пушечный, механический завод Нобеля – в Петрограде, паровозостроительный завод в Коломне, пушечный и механический в Перми, машиностроительный – в Одессе и др.

Острая нехватка инженеров, мешавшая развитию производительных сил страны, тормозившая процесс концентрации труда, восполнялась несколькими способами:

- 1) импортом иностранных специалистов, продолжающимся вплоть до середины XIX в.;
- 2) вынужденным взятием фабрикантом на себя функций инженера;
- 3) слабым контролем за наличием формальных удостоверений квалификации специалиста, что позволяло использовать в качестве инженеров и техников лиц, не имеющих специального образования. В 1889 году 96,8 % на промышленных предприятиях были практиками.

Развитие капитализма в России, рост промышленности и концентрации труда делали необходимыми значительные увеличения численности инженеров и техников, занятых в гражданских отраслях. Однако в первой половине XIX в. этот род деятельности не пользовался особым уважением в высших сословиях. Несмотря на все старания правительства расширить сеть высших технических учебных заведений, в стране ощущался острый дефицит высококвалифицированных кадров. Это вынуждало снижать требования к сословной и национальной принадлежности соискателей на зва-

ние инженера. Так же как и в армии, командный состав промышленности претерпевал демократические изменения: многие втузы и политехникумы, прежде привилегированные, были объявлены формально не сословными. Это была одна из мер расширения количества инженеров в соответствии с растущими потребностями развивающейся промышленности. Другой мерой, направленной на удовлетворение растущей потребности в инженерах, по-прежнему оставался ввоз иностранных специалистов в Россию.

В 1875 г. станочный парк России на 90 % был иностранного происхождения. Такое положение практически сохранилось вплоть до начала первой мировой войны. Причины недостаточного развития станкостроения в стране крылись в слабой металлургической базе России, отсутствии поощрительных мер развития станкостроения, беспошлинном ввозе станков из-за границы, а также в дефиците инженеров и опытных рабочих-станкостроителей.

Это не значит, что станки в России вовсе не производились. Такие крупные заводы, как Киевский, Мотовилихинский (Пермь), Нобеля, братьев Бромлей и др., производили станки собственной конструкции: токарные, сверлильные, расточные и строгальные. В конце XIX – начала XX вв. на Харьковском паровозостроительном заводе были созданы универсальные радиально-сверлильный и долбежно-сверлильно-фрезерный станки оригинальной конструкции.

Отсутствие достаточного числа инженерных кадров тормозило развитие станкостроения. В европейской части России в 1885 г. из 20322 заведующих крупными и средними предприятиями специальное техническое образование имели лишь 3,5 %, в 1890 г. – 7 %, в 1895 – 8%. В 1890 г. директорами фабрик работали 1724 иностранца, из них 1119 не имели технического образования. Промышленность России делилась на два сектора: отечественный и концессионный. Предприниматели-иностранцы не брали на свои заводы русских специалистов, не доверяя их квалификации и стремясь сохранить секреты технологии. Инженеры на такие предприятия выписывались, как правило, из-за границы.

Во второй половине XIX в. стремление преодолеть сильную зависимость русской промышленности от иностранных специалистов побудило правительство обратить внимание на *развитие* в стране *системы высшего технического образования*.

Одним из старейших технических учебных заведений России был Горный институт, основанный еще в 1773 г. Екатериной II. В 1804 г. он был преобразован в Горный кадетский корпус. Сюда принимались дети горных офицеров и чиновников, знавшие арифметику, чтение, письмо по русскому, немецкому и французскому языкам. Кроме того, на собственный счет принимались дети дворян и фабрикантов. Горный кадет-

ский корпус – одно из наиболее престижных учебных заведений; «наибольшая часть воспитанников поступала в корпус не с той целью, чтобы окончить полный курс и выйти офицерами по горной части, а главным образом для того, чтобы получить хорошее общее гимназическое образование. Горный корпус являлся наилучшим из петербургских «благородных пансионов», но как специальное высшее учебное заведение по горной части он мало выдавался. В 1891 г. в России было всего 603 дипломированных горных инженера.

В 1857 г. в России действовало шесть вузов: Николаевское главное инженерное училище, Михайловское артиллеристское училище, Морской Кадетский корпус, Институт корпуса инженеров путей сообщения, Институт корпуса горных инженеров, Строительное училище Главного управления путей сообщения и публичных зданий.

Во второй половине XIX века открывается целый ряд технических вузов в ответ на потребности развивающейся промышленности. Так, открывается Московское высшее техническое училище (1868), Петербургский технологический институт (1828), Томский университет (1888), Технологический институт в Харькове (1885 г.) и другие. Эти учебные заведения были более демократичными по своему положению и составу.

Несколько позднее, в 1906 году, в Петербурге открываются *женские политехнические курсы*. Их открытие явилось важным событием для развития инженерной профессии в России. Это было реакцией на растущую нехватку специалистов, с одной стороны, и на всплеск движения за эмансипацию женщин – с другой. Под натиском женского движения открывались возможности для участия женщин во все новых сферах деятельности.

Несмотря на открытие новых технических вузов, конкурс в них был довольно высоким и колебался от 4,2 человека на место в Петербургском политехническом институте до 6,6 человека – в Институте корпуса инженеров путей сообщения и до 5,9 человека – в Институте корпуса горных инженеров (данные 1894 г.).

В многомиллионной массе безграмотного населения инженеры представляли собой группу, по своему общему культурному уровню намного превосходящую тех, с кем ей приходилось интенсивно общаться. Дипломированные инженеры относились к интеллектуальной элите общества. Это были «сливки» интеллигенции. Такому положению способствовал характер технического образования тех лет, которое отличалось универсализмом и отличной общеобразовательной подготовкой.

Доходы инженеров также привлекали к ним взоры простых людей, рабочих, повышая престиж профессии в массовом сознании. Стремление стать инженером (об этом говорят результаты конкурсов), диктовалось не в последнюю очередь достаточно высоким материальным положением

выпускника. Материальное положение российских инженеров в конце XIX века было таково, что приближало их по уровню доходов к наиболее обеспеченным слоям общества, по-видимому, их доходы были самыми большими по сравнению с доходами всех других наемных работников.

Развитие экономики требовало постоянного притока технических специалистов, создания действенной системы их подготовки. В то же время система технического образования XIX в. отличалась определенной консервативностью и не обеспечивала нужного стране количества инженеров, т.е. профессия «инженер» была не только уникальной, но и дефицитной, несмотря на развитие системы образования, профессиональных сообществ, клубов, атрибутики и символики.

### **Выводы:**

С глубокой древности на Руси решались оригинальные технические проблемы, связанные со строительством, развитием металлургических процессов (изготовление металлов, литье колоколов, пушек и т.д.), другими сложными технологиями.

Первые шаги отечественного инженерного дела были весьма робкими по сравнению с Западной Европой. Инженерное искусство получает мощный импульс вследствие реформирования российского государства Петром I. Однако этот процесс идет с помощью иностранных специалистов, западных идей, новшеств и некоторого развития собственных возможностей. На этапе становления инженерной профессии в России возникает специальное высшее образование, появляется промышленное законодательство и его институты в виде мануфактур, коллегий и других учреждений, проводивших техническую политику и отчасти регулировавших деятельность инженеров; происходит выделение инженеров в особый род войск; появление гражданской инженерной специальности, связанной с развитием промышленного производства. Происходит определенный перелом в развитии инженерного дела, возникает инженерная профессия и первые профессиональные учебные заведения, что ускоряет становление профессии инженера в России.

XIX век, особенно его вторая половина, характеризуется бурным развитием промышленности и ростом темпов железнодорожного строительства, что дало толчок развитию инженерной профессии, формированию достаточно многочисленной группы заводских инженеров.

Неравномерность технического прогресса в России: быстрыми темпами развиваются отдельные отрасли, где концентрировались инженерные кадры, и также существовали отрасли, развивающиеся медленно, неравномерно, где явно недоставало инженеров. Их недостаток восполнялся за счет практиков, процент которых был достаточно высоким. Многие учебные заведения становятся всесловными, претерпевают демократические

изменения, что дает возможность в какой-то мере удовлетворять потребности развивающейся промышленности в инженерах.

К концу XIX века повышается престиж российских инженеров, по уровню доходов они относятся к наиболее обеспеченным слоям общества, складывается система льгот, наград и поощрений, что делает профессию инженера более привлекательной.

#### *1.5.8. Инженерная деятельность в индустриальном и постиндустриальном обществе*

Инженерная деятельность в индустриальном и постиндустриальном обществе имеет различный характер. *Индустриальное общество* — это общество, которое достигло определенного уровня общественно-экономического развития за счет добычи и промышленной переработки природных ресурсов. Для индустриального общества характерны разделение труда, развитие средств массовой коммуникации и высокий уровень урбанизации.

Индустриальное общество возникло в XIX веке и развилось в XX веке в результате четырех промышленных революций. Первая промышленная революция (1750-1850 гг.) была связана с развитием машинного текстильного производства, вторая (1850-1900 гг.) — с применением паровых машин и развитием железнодорожного транспорта, третья (1875-1925 гг.) — с широким использованием электричества и созданием тяжелой промышленности, а четвертая (1900-1950 гг.) — с развитием автомобилестроения и массового производства.

Для **индустриального** общества характерным является:

- резкий рост промышленного и сельскохозяйственного производства,
- ускоренное развитие науки и техники, а также средств коммуникации,
- рост населения, увеличение продолжительности и значительное повышение уровня жизни,
- резкое возрастание мобильности населения,
- сложное разделение труда не только в рамках отдельных стран, но и в международном масштабе,
- снижение горизонтальной дифференциации населения (деление его на касты, сословия, классы),
- рост вертикальной дифференциации (деление общества на нации, «миры», регионы).

В индустриальном обществе определяющей является промышленность, а главными структурами — корпорации и фирмы. Инженеры в индустриальном обществе решают специализированные задачи, связанные с

исследованиями, проектированием, конструированием, производством, эксплуатацией, обслуживанием, ремонтом и утилизацией технических объектов и систем. Разделение инженерного труда дает его наивысшую производительность в условиях индустриального общества.

В результате научно-технической революции индустриальное общество трансформируется в постиндустриальное общество. *Постиндустриальное общество* — это общество, в экономике которого в результате научно-технической революции и существенного роста доходов населения приоритет переходит от преимущественного производства товаров к производству услуг. К постиндустриальным странам относят те, в которых на производство в сфере услуг приходится более половины внутреннего валового продукта (ВВП).

Производственным ресурсом в постиндустриальном обществе становятся информация и знания. Наукоемкие разработки являются главной движущей силой экономики. Все больше ценятся такие качества работников как высокий уровень образования, профессионализм, обучаемость и креативность.

**Постиндустриальный** способ производства основан на:

- наукоемких технических разработках и технологиях,
- информации и знаниях как основном производственном ресурсе,
- творческой деятельности человека, непрерывном обучении, самосовершенствовании и повышении квалификации в течение всей жизни.

В постиндустриальном обществе – *главным ресурсом* является **знания**, а *главной структурой* – **университет** как место, где его производят и накапливают. При этом основной производственный ресурс – квалификацию людей – невозможно повысить через рост инвестиций в производство. Этого можно добиться только путем увеличения инвестиций в человека и повышения потребления, в том числе образовательных услуг, вложений в здоровье человека и т. д.

Если в индустриальном обществе технологический прогресс достигается, в основном, благодаря работе изобретателей-практиков, часто не имеющих научной подготовки, то в постиндустриальном обществе резко возрастает прикладная роль научных исследований, в том числе фундаментальных. Основным двигателем технологических изменений становится **внедрение в производство научных достижений**.

В постиндустриальном обществе наибольшее развитие получают наукоемкие, ресурсосберегающие и информационные технологии (высокие технологии). Это, в частности, микроэлектроника, программное обеспечение, телекоммуникации, робототехника, производство материалов с заранее заданными свойствами, биотехнологии и др. Информатизация



пронизывает все сферы жизни общества, не только производство товаров и услуг, но и домашнее хозяйство, а также культуру и искусство.

Главный тренд изменения технологических процессов в постиндустриальном обществе – автоматизация, постепенная замена неквалифицированного труда работой машин и компьютеров. **Постиндустриальное общество** – это **общество профессионалов**, где основным классом является класс интеллектуалов. В постиндустриальном обществе основным средством производства является квалификация сотрудников. То есть средства производства принадлежат самому работнику. Поэтому ценность сотрудников для компаний резко возрастает.

Инженерная деятельность в постиндустриальном обществе приобретает все более интегрированный, **комплексный** и **инновационный** характер. Инженер, вооруженный методологическими знаниями, безграничными информационными ресурсами и современными компьютерными системами, может комплексно решать исследовательские, проектные, конструкторские, технологические и другие задачи. **Комплексная инженерная деятельность** является сложной и многокомпонентной, она охватывает широкий спектр различных инженерно-технических и других вопросов, проектные решения основываются на фундаментальных принципах, используются методы моделирования и оптимизации.

**Инновационная инженерная деятельность** направлена на разработку и создание новой техники и технологий, доведенных до вида товарной продукции, обеспечивающей новый социальный и экономический эффект, а потому востребованной и конкурентоспособной. Инновационная инженерная деятельность является многоуровневой и междисциплинарной, основана на глубоких фундаментальных и прикладных знаниях, требует глубокого анализа и построения моделей высокого уровня.

Анализ мировой практики показывает, что инновационная способность нации связана не столько с наукой, сколько с состоянием инженерной системы страны, которая включает в себя разработку новой продукции, организацию ее производства и доведения до потребителей. В постиндустриальном обществе инженерное творчество и научные исследования взаимосвязаны между собой. Однако следует иметь в виду, что нововведения – это инженерная, а не научная деятельность. Последняя, как известно, предполагает изучение объективно существующих законов природы.

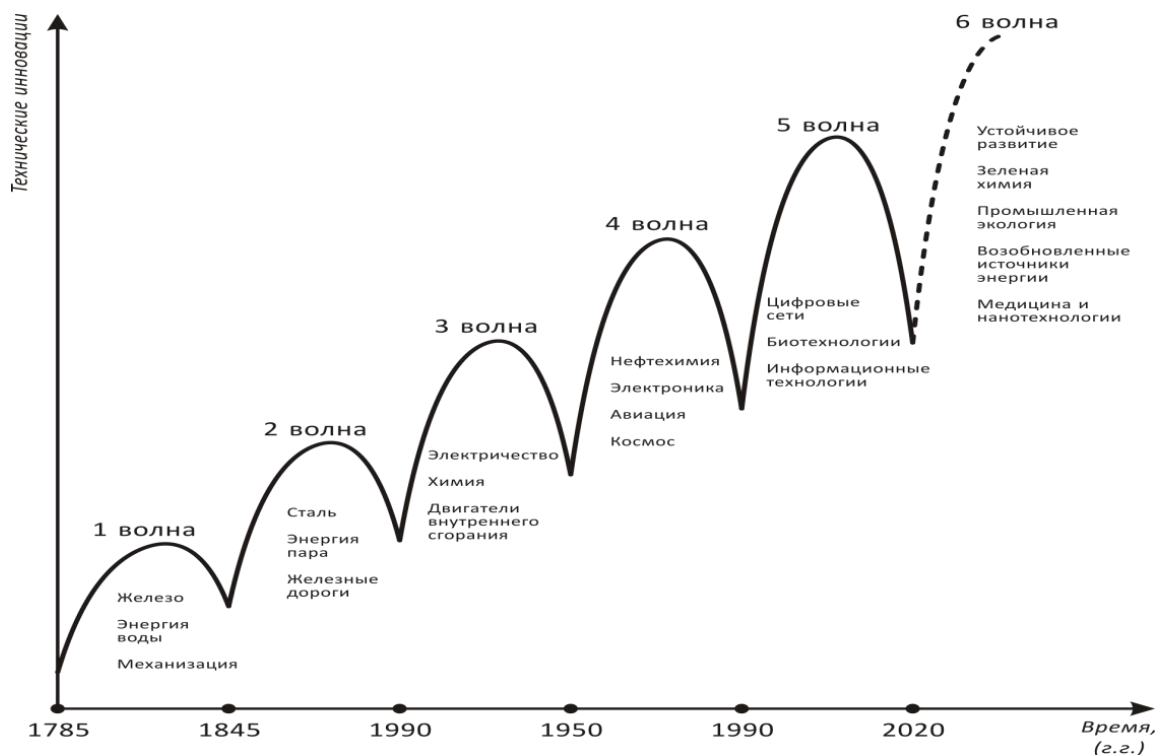


Рис. 1.1. Волны технических инноваций

В постиндустриальную эпоху обществом уже накоплена масса фундаментальных и прикладных знаний, создан огромный информационный ресурс, и главной целью становится создание новой конкурентоспособной продукции и новых рынков за счет умелого управления знаниями. Инновации в технике и технологиях в настоящее время формируются на **междисциплинарной основе** в результате передачи знаний из одной области в другую. Распределение и комбинация фундаментальных и прикладных знаний, а главное, их использование «неожиданным образом» в практических целях становится главной задачей инженера в его инновационной деятельности.

Иллюстрацией технологического развития индустриального и постиндустриального общества в результате инженерной деятельности являются известные волны технических инноваций Кондратьева (К-волны) с 50-летними жизненными циклами (рис. 1.1).

#### 1.5.9. Вклад отечественных ученых в развитие инженерных наук

С глубокой древности Русь славилась своими умельцами – литейщиками, оружейниками, ювелирами, строителями ветряных и водяных мельниц. Средневековые русские мастера умели делать сложные механические устройства – часы, хитроумные замки, сверлильные и токарные станки, станки для чеканки монет, ткацкие станки, самопрялки, копры для забивания свай, подъемные сооружения, лесопильни. Опыт, накопленный русски-

ми ремесленниками, создал благодатную почву для развития теории, накопления практических знаний.

Отечественные ученые внесли значительный вклад в разработку теории машин, механизмов, строительных конструкций. В отечественных древних книгах на эту тему излагались знания, накопленные русскими и иностранными мастерами в практической деятельности. Например, знаменитый «Устав ратных, пушечных и других дел, касающихся воинской науки» содержит много ученых сведений по технике. Автором книги – выдающийся деятель русской техники XVII века Онисим Михайлов. В книге изложение технических вопросов основано на данных математики.

В начале XVIII века в России стали появляться сочинения, написанные уже специалистами-учеными:

1722 г. *«Наука статическая, или механика»* – первый русский труд, посвященный специально механике (автор Г.Г. Скорняков-Писарев);

1738 г. *«Краткое руководство к подписанию простых и сложных машин, сочинение для употребления российского юношества»* (перевод сочинений петербургского академика Крафта). Книга эта служила источником знаний для нескольких поколений русских механиков.

1764 г. *«Механические предложения для употребления обучающегося при Артиллерийском и Инженерном шляхетном кадетском корпусе благородного юношества»* (автор **Яков Павлович Козельский**).



Богатое наследие оставил после себя знаменитый ученый **Леонард Эйлер** – 865 трудов (многое посвящено механике: 1727 г. – «Механика»; 1760 г. – «О движении твердого тела»). Эйлер занимался изучением трения, в течение многих лет продолжал исследования трения в машинах и механизмах.

Эйлера называют самым результативным математиком за всю историю. Он является автором более 800 работ по математическому анализу, теории чисел, дифференциальной геометрии, приближенным числам, небесной механике, оптике, баллистике, кораблестроению и даже теории музыки.

Многие его работы внесли огромный вклад в мировую науку и повлияли на ее дальнейшее развитие.

Значительную часть жизни Эйлер провел в России, где оказывал свою помощь в создании российской науки. В 1726 году его пригласили работать в Санкт-Петербург. Здесь он стал академиком Петербургской Академии Наук. Хорошо владея русским языком, Леонард Эйлер некоторые свои научные работы, например, учебники, публиковал на русском. Первый русский академик по математике Котельников, а также астроном С.Я. Румовский являлись учениками Эйлера.

Вклад Эйлера в мировую науку трудно переоценить – после себя он оставил великое множество важных трудов по различным направлениям математики, механики, физики, астрономии и по некоторым прикладным наукам. Без сомнения, он был лучшим математиком своего века. Многие имеющиеся до него математические открытия были разрозненными и несогласованными, однако Эйлер был первым, кто провел связь между алгеброй, тригонометрией, математическим анализом, теорией чисел и другими направлениями, внося при этом в математику немало собственных открытий. Именно Эйлеру приписывают создание таких математических дисциплин, как теория чисел, теория комплексных функций, вариационное исчисление и ещё множество других наук.



Большой вклад в развитие и становление механики и инженерного дела внес **Михаил Васильевич Ломоносов**. Он изобрел ряд специальных устройств и приборов: машины для испытания материалов на твердость, инструмент «для раздавливания и сжимания тел», с помощью которых он исследовал прочность различных материалов, прибор для определения вязкости жидкостей. Ломоносов оставил ряд интереснейших исследований часовых механизмов, высказал мысль об использовании в часах хрустала и стекла для уменьшения трения. Ученый выступал не только как теоретик, но и как конструктор. Им

были построены токарный и лобовые станки, созданы проекты коленчатых валов, водяных помп, лесопильных мельниц.

### **Михаил (Миха́йло) Васи́льевич Ломоно́сов**

(8 [19] ноября 1711, деревня Мишанинская, Россия — 4 [15] апреля 1765, Санкт-Петербург, Российская империя) — первый русский учёный-естествоиспытатель мирового значения, энциклопедист, химик и физик; он вошёл в науку как первый химик, который дал физической химии определение, весьма близкое к современному, и предначертал обширную программу физико-химических исследований; его молекулярно-кинетическая теория тепла во многом предвосхитила современное представление о строении материи и многие фундаментальные законы, в числе которых одно из начал термодинамики; заложил основы науки о стекле. Астроном, приборостроитель, географ, металлург, геолог, поэт, утвердил основания современного русского литературного языка, художник, историк, сборник развития отечественного просвещения, науки и экономики. Разработал проект Московского университета, впоследствии названного в его честь. Открыл наличие атмосферы у планеты Венера. Действительный член Академии наук и художеств (адъюнкт физического класса с 1742, профессор химии с 1745).

Заслуга Ломоносова перед механикой состоит и в том, что под его руководством работали мастерские Академии наук, ставшие одним из центров



русской технической мысли. После его смерти они пришли в упадок и только после того как в 1769 г. во главе мастерских становится **Иван Петрович Кулибин**, они занимают то место, которое занимали при Ломоносове.

Идея создания самодвижущейся машины, не требующей лошадиной силы для передвижения, абсолютно не нова. Еще в XV веке появились первые проекты и разработки таких машин. Леонардо да Винчи описывал такие экипажи, приводимые в движение слугами. Художник Альберт Дюрер изобрел повозку со всеми приводными колесами – если одно колесо начинает скользить, то все

остальные продолжают везти экипаж. Леонтий Шамшуренков создал самобеглую коляску со счетчиком пробега. Она успешно прошла испытания в Петербурге.

Интересной является трехколесная «самокатка» **Ивана Петровича Кулибина**, придворного механика Екатерины II. Она приводилась в движение слугой, который стоял «на запятках» и наступал на специальные педали. Одними из основных проблем, которые пришлось решить изобретателю, было обеспечение плавного движения машины, а также ее движение на подъемах и пересеченных дорогах.



Рис. 1.2. Самокатка Кулибина

Движение в гору можно было обеспечить только двумя способами – или увеличением усилий слуги, который нажимал на педали, или снижением скорости экипажа. Для того, чтобы экипаж мог двигаться вверх или по неровной мостовой с той же скоростью, что и по прямой ровной дороге, нужна втрое большая сила, приложение которой было бы очень утомительно для человека. Потому Кулибин выбрал второй вариант. «Самокатка» его конструкции двигалась на подъемах вдвое или даже втрое медленнее, чем по обычной дороге, но слуга работал равномерно, без перенапряжения.

Многочисленные изобретения Кулибина свидетельствуют, что он был инженером в современном смысле слова. Он строил свои творческие замыслы на прочной основе строгих расчетов и тщательных исследований. Задумав мост через Неву, Кулибин воплотил его в точные и подробные чертежи. К 1776 г. изобретатель закончил проект, донныне удивляющий нас замечательной глубиной инженерного решения, красотой и изяществом конструкций. Интересен метод, при помощи которого Кулибин провел предварительную проверку возможностей сооружения. Натянув веревку и

подвешивая к ней в определенных местах грузики, изобретатель воспроизвел как бы подобие своего моста и сил, действующих на мост. Построил Кулибин и специальную испытательную машину, с помощью которой он проверял свои расчеты.

Создав подобие моста и определив нагрузки, которые способна выдержать модель, Кулибин мог совершенно точно установить и наибольшую нагрузку, которую сможет вынести его мост-гигант. Таким образом, знаменитый российский механик внес важное решение: как в модели воспроизвести точное механическое, а не только геометрическое, внешнее подобие крупного сооружения. Эйлер тщательно проверил расчеты Кулибина и, убедившись в их абсолютной правильности, дал о них восторженный отзыв. Эйлер облек теоретическое открытие Кулибина в математическую форму. Метод подобия вошел в технику как одно из мощнейших ее средств. В практике ни одно ответственное сооружение не строится, прежде чем его маленькое подобие – модель – не пройдет всесторонних испытаний.

Неустанно работала отечественная мысль над развитием теории механики. Продолжая дело Ломоносова и Эйлера, академик **Семен Кириллович Котельников** в 1774 г. выпустил книгу, содержащую учение о равновесии и движении тел. В начале XIX века академик **Семен Емельянович Гурьев** опубликовал несколько работ по теории машин и механизмов, в том числе «Основы механики» и «Главные основания динамики». Вопросы механики занимают большое место в «Начальных основаниях общей физики», выпущенных в 1801 г. профессором Московского университета П. И. Страховым.

Трудно перечислить все имена выдающихся деятелей российской науки и техники. Имена многих из них стали гордостью всего передового человечества. Одним из таких людей был гениальный математик и механик **Михаил Васильевич Остроградский** (1801–1862). Принцип Остроградского–Гамильтона – жемчужина теоретической механики. Все механические системы подчиняются этому принципу. Руководствуясь им, можно в математических уравнениях отобразить механические процессы. Остроградский занимался теорией волн, теорией теплоты, изучал упругие колебания тел, вопросы равновесия и движения твердых тел, вековые неравенства в движении планет. Большое внимание он уделял педагогической работе.

Прикладная механика была хорошо поставлена в петербургских высших школах. Отчасти это было заслугой **Августина Бетанкура**, который приехал в Россию в 1808 г.: принимал участие в организации службы путей сообщения; построил ряд заводов и зданий (по его проектам был построен Манеж в Москве и заложен фундамент Исаакиевского собора); руководил застройкой Петербурга; построил ансамбль ярмароч-

## *Михаил Васильевич Остроградский*

**Дата рождения:**

12 (24) сентября 1801

**Место рождения:**

деревня Пашенная,  
Полтавская губерния,  
Российская империя

**Дата смерти:**

20 декабря 1861 (1 января 1862)  
(60 лет)

**Место смерти:**

Полтава, Российская империя

**Страна:**

 Российская империя

**Научная сфера:**

математика, физика

**Место работы:**

Петербургский государственный  
университет путей сообщения,  
Морской кадетский корпус,

Главный педагогический институт, Главное артиллерийское училище,  
Главное инженерное училище

**Альма-матер:**

Харьковский университет и Сорбонна

**Известные ученики:**

Н. Д. Брашман, В. Я. Буняковский, И. А. Вышнеградский, Д. И. Журавский, Н. П. Петров, Ф. В. Чижов и другие

**Известен как:**

метод Остроградского, формула Остроградского, работы по теории упругости, теории магнетизма и теории вероятностей

ных зданий в Нижнем Новгороде. А. Бетанкур являлся одним из учредителей и руководителей первого в России высшего учебного заведения нового типа – Петербургского института путей сообщения, открытого в 1809 г.

В связи с задачами строительства железных дорог в 30-х годах XIX в. активизируется работа над созданием строительной механики и теории сооружений. Важную работу в этом направлении выполнили воспитанники института путей сообщения. Многим обогатил механику замечательный мостостроитель *Дмитрий Иванович Журавский* (1821–1891).





Журавский Дмитрий Иванович (1821—1891), учёный и инженер-мостостроитель. Окончил Институт корпуса инженеров путей сообщения (1842). Основатель русской научной школы в области строительной механики и мостостроения. Участвовал в изысканиях, проектировании и строительстве железной дороги Петербург — Москва. В 1857—1858 при участии А. С. Рехневского и П. П. Мельникова произвёл замену деревянного шпилья Петропавловского собора железным. В 1871—1876 участвовал в переустройстве Мариинской системы и Приладожских каналов. С 1877 директор Департамента железнодорожных дел и заведующий Технично-инспекторским комитетом Министерства путей сообщения. Похоронен на Митрофаньевском кладбище.

*Санкт-Петербург. Петроград. Ленинград: Энциклопедический справочник. — М.: Большая Российская Энциклопедия. Ред. коллегия: Белова Л. Н., Булдаков Г. Н., Дегтярев А. Я. и др. 1992.*

Достаточно сказать, что именно Журавский Д.И. спроектировал и построил большинство мостов железной дороги между Петербургом и Москвой, прокладка которой началась в 1843 г. Опыт предшественников – создателей мостов обычного назначения – мало годился для проектирования железнодорожных мостов, которые должны были выносить значительно

большие динамические нагрузки. Его последователь **Николай Аполлонович Белелюбский** (1845–1922) вошел в историю техники как создатель большого числа замечательных мостов, пришедших на смену деревянным: он спроектировал более пятидесяти сооружений (Сызранский мост через Волгу, построенный им в 1875–1881 гг., долгое время не имел равных в Европе по величине и оригинальности конструкций (13 пролетов по 111 метров каждый)).

Богатейшее наследство оставили в механике **Пафнутий Львович Чебышев** и его ученики Александр Михайлович Ляпунов, Хаим Иегудович Гохман и др.

Во второй половине XIX в., когда в промышленности все шире и шире стали распространяться первые двигатели. Перед инженерами встал вопрос о создании надежно работающих регуляторов, способных точно и безотказно реагировать на малейшие изменения нагрузки на паровую машину. К плеяде выдающихся ученых-механиков принадлежит **Иван Алексеевич Вышнеградский** (1831–1895): он положил начало теории автоматического регулирования.



**Иван Алексеевич Вышнеградский** (20 декабря 1831 (1 января 1832), Вышний Волочёк — 25 марта (6 апреля) 1895, Санкт-Петербург) — русский учёный (специалист в области механики) и государственный деятель. Основположник теории автоматического регулирования, почётный член Петербургской АН (1888), кроме того, в 1887—1892 — министр финансов России.

Этот труд явился ответом русского ученого на настоятельные требования инженерной практики. От качества точности изготовления регулятора, его расчета и исполнения зависела работа машины. Неоднократные попытки создать методы предварительного расчета регулятора не давали результатов. Вышнеградскому удалось решить эту важнейшую научную и техническую задачу: в отличие от своих многочисленных предшественников он рассматривал движение регулятора не изолированно, а во взаимодействии с движением самой машины. Он вывел ряд математических уравнений и блестяще их проанализировав, создал знаменитые «неравенства Вышнеградского». «Неравенства» и «диаграммы

Вышнеградского» стали основой расчета чувствительных, безотказно работавших в свое время регуляторов. И сегодня теория, созданная Вышнеградским, помогает инженерам создавать различные автоматические устройства.

Крупные успехи были достигнуты российскими исследователями и в изучении трения в машинах. Борьба с трением, правильно разработанный режим смазки имеют огромное значение в технике. В конце XIX в., когда промышленность развивалась особенно бурно, от правильного решения этих проблем зависел дальнейший прогресс техники, успех борьбы за высокие скорости и большие мощности. Русский ученый **Николай Павлович Петров** (1836–1920) опубликовал в 1883 г. в «Инженерном журнале» работу о трении в машинах. Большое внимание ученый уделил проблеме смазывания трущихся поверхностей. Он доказал, что правильно смазанные твердые поверхности не приходят в соприкосновение: их разделяет жидкая пленка. Труд Петрова «Трение в машинах» положил начало классической гидродинамической теории трения. Формула Петрова, позволяющая определить силу трения в зависимости от качеств смазочной жидкости, скорость движения и давления на единицу трущейся поверхности, – одна из важнейших инженерных формул, которой пользуются механики.

Существенный вклад в науку в XIX в. внесла первая русская женщина-математик **Софья Васильевна Ковалевская** (1850–1891). В области механики особенно велик ее вклад в теорию гироскопов: в 1888 г. она опубликовала «Задачу о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки», в кото-

рой указала на новый случай гироскопа. Впервые после Эйлера и ЛAGRANЖА было сказано новое слово в теории волны. Своим вкладом в эту область механики Ковалевская продвинула теорию далеко вперед, оставив блестящие исследования вращения твердого тела вокруг неподвижной точки.



**Софья Васильевна Ковалёвская** (урождённая Корвин-Круковская; 3 [15] января 1850, Москва — 29 января [10 февраля] 1891, Стокгольм) — русский математик и механик, с 1889 года иностранный член-корреспондент Петербургской Академии наук. Первая в России и в Северной Европе жен-

щина-профессор и первая в мире женщина-профессор математики (получившая ранее это звание Мария Анъези никогда не преподавала).

Говоря о развитии инженерных наук, нельзя не сказать о заслугах отечественных ученых в создании теоретических основ одного из важнейших производственных процессов – процесса резания. Резание – один из старейших способов придать изделию нужную форму. Но до середины XIX века, когда на заводах всего мира работали уже десятки тысяч металлорежущих станков, сущность процесса резания оставалась неизвестной. По-научному подошел к проблеме резания ученый **Иван Тиме**, опубликовавший в 1870 году труд «Сопротивление металлов и дерева резанию». Русский ученый дал научно обоснованные таблицы резания и формулы, которые перешли затем во все руководства по металлообработке. Большое значение для продвижения вперед науки о резании металлов имели работы К. А. Зворыкина, А. А. Брикса, Я. Г. Усачева, А. М. Игнатъева.

Многим обогатил механику и «создатель кораблестроительной науки» **Алексей Николаевич Крылов** (1863–1945). Разрабатывая метод подобия, основы которого заложил еще Кулибин, он дал теорию моделирования кораблей. Крылов оставил глубокие исследования в труднейшей отрасли механики, изучающей гироскопы. Его труды по теории гироскопа, стали настольными книгами конструкторов навигационных приборов. Теория Крылова помогает строить морские и авиационные гироскопы и автопилоты.



**Алексей Николаевич Крылов** (3 (15) августа 1863, село Висяга Ардатовского уезда Симбирской губернии — 26 октября 1945, Ленинград) — русский и советский кораблестроитель, специалист в области механики, математик, академик Петербургской АН / РАН / АН СССР (с 1916 года; член-корреспондент с 1914-го), генерал по адмиралтейству (1916), генерал для особых поручений при морском министре Российской империи (1911), лауреат Сталинской премии (1941), Герой Социалистического Труда (1943).

Новое слово в машиностроении сказал академик *Василий Прохорович Горячкин* (1868–1935). С его именем связано рождение науки о сельскохозяйственных машинах. Возраст плуга исчисляется многими тысячами лет, но и в конце XIX в. это важнейшее сельскохозяйственное орудие конструировали, основываясь только на одном опыте, не вводя теоретических расчетов. Так же обстояло дело и с машинами, появившимися позднее, – жатками, сеялками, молотилками. Науки о сельскохозяйственных машинах не существовало. Тем более не делалось попыток установить зависимость конструкции земледельческих машин от свойств зерна, почвы и особенностей растений. Горячкин создает теорию для сельскохозяйственного машиностроения – теорию построения плуга. В 1900 г. он печатает научные работы «Бороны», «Веялки», «Сортировки», «Жатвенные машины». Раскрывая законы механики, на которых основано действие машин, он впервые пытается теоретически решить, каким требованиям должно отвечать устройство земледельческой машины. Этими трудами и ознаменовалось рождение науки о сельскохозяйственных машинах.

Период конца XIX и первые десятилетия XX века – чрезвычайно плодотворный в истории развития теоретической и прикладной механики. В эти годы были высказаны многие идеи, развитые впоследствии в целые научные направления.

Активно велись математические исследования, возникали новые направления. Важную роль в развитии отечественного математического естествознания сыграла московская математическая школа, основанная А. Д. Егоровым и его учеником Н.Н. Лузиным. Лузин и его ученики развили ряд важнейших направлений математики и создали математический аппарат для решения многих задач теоретической и прикладной механики.

В 20-е гг. XX века развивалась кинематика механизмов в направлении решения задач теории пространственных механизмов, значение которых возросло в связи со становлением авиационного и сельскохозяйственного машиностроения. Бурное развитие машиностроения в довоенные пятилетки заставило обратить внимание на создание его теоретических основ. Сложность задач кинематики пространственных механизмов вызвало поиски общей методики решения. Первыми обратились к изучению пространственных механизмов Н. И. Мерцалов, И. И. Артоболевский, Н. Г. Бруевич и В. В. Добровольский.



**Никола́й Егорович Жуко́вский** (5 [17] января 1847, с. Орехово (ныне Владимирской области) — 17 марта 1921, Москва) — русский учёный, создатель аэродинамики как науки.

Заслуженный профессор Московского университета, профессор теоретической механики Императорского Московского технического училища (с 1918 — Московского высшего технического училища); член-корреспондент Императорской Академии наук по разряду математических наук (1894).

С появлением и развитием автомобильного, а затем авиационного транспорта повысился интерес к нефти и ее транспортировке. Возникла практическая задача движения вязкой жидкости. Над ее решением работал один из учеников Жуковского – Л. С. Лейбензон. В 20-30-е годы самыми важными задачами в области аэрогидродинамики продолжали оставаться те, что были связаны с теорией самолета.

Огромные преобразования, происшедшие в народном хозяйстве СССР в 30-х годах, не могли не отразиться и на развитии не только механики, но и других инженерных наук. Проблемы, которые имели ранее только теоретическое значение, получили важное практическое применение. К ним относилась, в частности, проблема устойчивости. Она имеет важное значение для самых различных областей науки и техники, имевших дело с системами, состояниями и процессами. Исследования А.Н. Ляпунова, И. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова привели к созданию нового научного направления, получившего название нелинейной механики. Методы нелинейной механики тогда же были применены к решению важнейших задач строительной механики, авиастроения, машиностроения, электротехники и радиотехники.

Во второй половине 30-х годов развиваются исследования по созданию машин автоматического действия. В США, Германии, Советском Союзе начинается интенсивная работа над теорией автоматов. Важную роль в этом отношении сыграли труды И. И. и С.И. Артоболевских. Одним из первых советских ученых, работавших в этом направлении, был А.П. Павлов («Методика построения механизмов-автоматов»).

В эти годы началась разработка механики материалов и теории их прочности. Большие объемы строительных работ, новые отрасли машиностроения (авто- и авиастроение и др.) требовали металла более высокого качества. Кроме того, новые требования на строительные и машиностроительные материалы определили поиски новых материалов с заданными свойствами. Возникают и новые методы обработки металлов. Важнейшим из них стала электросварка. Основоположителем сварки в Советском Союзе был выдающийся машиностроитель Е. А. Патон (1870–1953). Одной из первых задач, поставленных и решенных электросварочной лабораторией, созданной им, было определение надежности и прочности сварных соединений железных конструкций.

В середине 50-х гг. XX века начинается период современной научно-технической революции. Изменяются интересы исследователей, работавших в разных направлениях механики. Интересы эти были обусловлены практическими задачами, поэтому в аналитической механике большой интерес стали проявлять к динамике переменной массы, неголономной механике, теории гироскопов. Большое распространение получает нелинейная механика; идеи теории колебания пересеклись едва ли не во всех направлениях прикладной механики. Все большее значение получают исследования находящиеся на стыке различных направлений механики, а также на стыке механики и математики, геологии, метеорологии, биологии.

Одной из характерных особенностей научно-технической революции является то, что наука становится непосредственной производительной силой: она вызывает к жизни технические решения, определяет появление новых отраслей техники, новых видов производства. В ее развитии теперь преобладает интегральный путь, когда новое направление возникает на стыке других, зачастую разнородных.

На стыке наук постоянно появляются новые направления: теория атомов, молекулярная теория, теория спектров излучения, аэродинамика газовых потоков, некоторые направления авиационной техники, электродинамика и другие науки небесных туманностей, небесных тел, космических структур; зарождается новое научное направление – космическая аэродинамика. XX век расширил диапазон исследований. Но как показывает практика, опыт – не предел, ибо развитие человеческого знания идет по спирали, которая уходит в бесконечность. На этом пути вклад отечественных ученых безмерен, многогранен и актуален.

#### *1.5.10. Актуальные инженерные проблемы XXI века*

Благодаря активной инженерной деятельности за последние четверть века было создано многое, необходимое для обеспечения жизнедеятельности и повышения качества жизни человека и общества. В середине 80-х

годов XX века еще не было мобильных телефонов. Люди получали информацию из книг, поскольку не была создана всемирная сеть *Internet*. Компьютер еще не вошел в нашу повседневную жизнь. Сегодня все это к нашим услугам, а также спутниковое телевидение и радио, гибридные автомобили, использующие различные источники энергии. Расшифрован генетический состав многих организмов, широко применяется на практике анализ ДНК человека, проводятся опыты по клонированию животных. Лазерные технологии используются в медицине, *CD* и *DVD* системах. Сверхмощный телескоп позволил рассмотреть далекие галактики, исследования на большом адронном коллайдере приблизили нас к разгадке возникновения нашей галактики. За прошедшие четверть века благодаря деятельности инженеров жизнь человеческого общества значительно изменилась и стала более комфортной. Однако существует еще достаточно проблем, которые стоят перед человечеством и требуют, в том числе, инженерных решений.

Национальная инженерная академия США организовала специальную комиссию экспертов, которые определили главные технологические задачи прикладного характера на XXI век. Это задачи из разных областей науки и техники, но все они крайне важны для развития человечества в целом.

Одной из приоритетных задач экспертами названо ***овладение технологией термоядерного синтеза***. Актуальность определяется тем, что энергетический вопрос стоит крайне остро. За источники энергии ведутся войны, возникают конфликты между государствами. Запасы углеводородов не бесконечны. Ограничены запасы уранового сырья для нужд ядерной энергетики. Идут разработки в области использования альтернативных, в том числе возобновляемых источников энергии (солнечные батареи, геотермальные, ветряные электростанции и др.). Но все они проигрывают перспективе термоядерной энергетики. Учёные уже научились запускать эту реакцию в водородных бомбах, но ещё не получается управлять ходом реакции, чтобы можно было безопасно использовать термоядерную энергию в промышленных целях.

Среди приоритетных задач XXI века экспертами было названо ***улучшение инфраструктуры городов***. К концу XX началу XXI века стало очевидно, что крупнейшие города мира задыхаются от потока людей, машин, товаров. А потому эта проблема требует незамедлительного решения. Необходимо создать такую систему жизнеобеспечения городов, включающую в себя водопровод, канализацию, электросеть, газопровод, транспорт, чтобы сделать жизнь населения в городах более комфортной в экологическом, экономическом и социальном планах.

Не менее важной является ***проблема использования новых информационных технологий в медицинской сфере***. Большинство болезней про-



текают на ранних стадиях незаметно для человека. Когда они выявляются, их лечение становится либо невозможным, либо к этому времени болезнь успевает нанести непоправимый вред здоровью человека. Ранняя и точная диагностика заболевания являются залогом успешного лечения. Перед учёными и инженерами стоит задача осуществить более глубокое внедрение информационных технологий в сферу здравоохранения. Важна разработка новых лекарств и методов лечения, в том числе с использованием нанотехнологий.

Технологическая задача – развивать виртуальную реальность. По мнению учёных, с помощью таких технологий станет возможным решать некоторые задачи в области образования и обучения личности тем или иным навыкам, их можно будет использовать при лечении психологических расстройств, восстанавливать память и т.д.

В числе первоочередных задач – **уменьшение или прекращение выброса углекислого газа в атмосферу**. Концентрация углекислого газа в воздухе растёт, и людям, особенно в городах, где промышленные и транспортные выбросы этого газа крайне велики, становится всё труднее дышать, учащаются случаи заболевания болезнями органов дыхания: астмой, раком лёгких. Кроме того, необходимо также уменьшить выбросы азотосодержащих соединений в атмосферу. Под их действием разрушается озоновый слой земли, и ультрафиолетовое солнечное излучение, не встречая сопротивления в атмосфере, доходит до самой земли, вызывая «парниковый эффект».

Американская ассоциация инженерного образования суммировала основные проблемы человечества, которые следует решить с участием инженеров в XXI веке, и разделила их на *четыре области*:

1. **Устойчивое развитие цивилизации.** Проблема устойчивого развития цивилизации связана с увеличением населения Земли и возрастанием его потребностей в источниках энергии, продуктах питания, пресной воде. Земля – планета с ограниченными ресурсами. Инженерам следует изобрести новые способы производства продуктов питания, новые технологии снабжения населения чистой питьевой водой.

2. **Здоровье человека.** Здоровью человека угрожают болезни. Нужны исследования и разработки в области биомедицинского инжиниринга, которые бы позволили создать «персонализированную медицину», реализующую индивидуальный подход к пациенту в вопросах диагностики, подборе лекарств, определении методов лечения с использованием компьютеризированных каталогов.

3. **Уязвимость человека.** Уязвимость человека связана как с естественными факторами (землетрясения, наводнения, ураганы, цунами), так и с возможными техногенными катастрофами, а также с проявлением терроризма. Необходима разработка новых технологий предсказания природ-

ных катаклизмов, быстрого обнаружения угроз и организаций контр мероприятий, обеспечивающих спасение людей.

4. **Удовлетворенность человека жизнью.** Удовлетворенность человека жизнью является высшей целью его пребывания на Земле. Важно использовать все технические и технологические возможности для того, чтобы сделать жизнь человека комфортной, интересной и радостной. Инженерам придется потрудиться!

#### ***Приоритетные области развития экономики и научных исследований:***

**Д.А. Медведев, президент РФ** (в Послании Федеральному собранию РФ, 12.11.2009 г.)

1. Энергоэффективность и энергосбережение
2. Ядерные технологии
3. Космические технологии с уклоном в телекоммуникации
4. Медицинские технологии
5. Стратегические информационные технологии, включая создание суперкомпьютеров и программного обеспечения

**Б. Обама, президент США** (на ежегодном собрании американской Национальной академии наук, 27.04.2009 г.)

1. Энергоэффективность, энергосбережение, производство возобновляемых источников энергии
2. Разработки в области космических исследований (проблема глобального потепления)
3. Исследования в области медицины
4. Исследования в области физики, химии, биологии

#### ***Востребованные инженерные специальности ближайшего будущего:***

1. На лидирующие позиции выйдут **инженерные специальности**, связанные с промышленным производством. Западный капитал еще только делает первые шаги по вхождению на российский рынок и присутствует в основном только в столицах и крупных городах, но уже сейчас возникает острая нехватка профессиональных инженеров, технических специалистов и руководителей среднего звена на производстве. Особенно будет цениться **сочетание технического и экономического или юридического образования, знание английского или любого другого европейского языка.** Востребованность инженеров - маркетологов и менеджеров растет во всех отраслях промышленности.

**Сегодня востребован не просто инженер, а эффективный менеджер, знающий экономику и мировую конъюнктуру, не пасующий перед рынком и умеющий “пробивать” инженерные идеи.**

2. Наиболее востребованные профессии ближайшего будущего связаны с **нанотехнологиями**. Нанотехнологии - это огромная сфера, которую можно разделить на три части: производство микросхем, роботов в наноразмерах, а также инженерия на атомном уровне. По прогнозам, будут востребованы все специальности, связанные с нанотехнологиями. Уже ясно, что нанотехнологии охватят все сферы: машиностроение, космические технологии, пищевую промышленность, медицину.

3. **Биотехнологии:** в настоящее время довольно широко применяются в сельском хозяйстве, где с помощью генной инженерии и методов микробиологии получают генно-модифицированные продукты; в молекулярной медицине, в биофармацевтических производствах и в других отраслях. Специальности на стыке электроники и биотехнологий требуют от специалиста глубоких знаний как в электронике, так и в биоинженерии.

4. **Специалисты в области химии** будут особенно востребованы в сфере энергетики. Уже сейчас человечество работает над развитием альтернативных источников энергии. К 2016 г. **разработки и исследования в области альтернативных, экологически чистых** источников энергии достигнут своего пика - и без химиков здесь будет совсем не обойтись.

5. **Специалисты в сфере альтернативной энергетики.** Запасы углеводородов в мире велики, но не безграничны. Энергия, добываемая из возобновляемых источников, будет вытеснять «нефтяную» и «угольную». В ближайшее время **специалисты по альтернативной энергетике будут весьма востребованы**. Производство солнечных батарей, производство кремния, главным потребителем которого является солнечная энергетика, выпуск термоэлементов и другие проекты. Всем создаваемым предприятиям потребуются кадры — от управленцев и инженеров до рабочих.

6. **Специалисты в сфере энергетики.** Проблема дефицита квалифицированных кадров является чрезвычайно острой для современной российской энергетики. Нехватка специалистов ощущается на всех этапах – от проектирования до инжиниринга, строительства и эксплуатации энергетических объектов. **Причины нехватки специалистов в сфере энергетики:**

- недостаточное количество специализированных учебных заведений в нашей стране, осуществляющих подготовку кадров в сфере энергетики;
- отток специалистов в другие отрасли российской промышленности (нефтяную, газовую, оборонную) по причине более высокого уровня заработной платы;
- общая демографическая ситуация в России.

7. **Специалисты авиационно-космического профиля.** Аэрокосмическое образование в России развивается успешно и создает кадровый фундамент для авиации и космонавтики - областей, в которых наша страна

может серьезно конкурировать с другими мировыми державами. Но **спрос на выпускников для аэрокосмической сферы пока больше, чем предложение на рынке**, считают представители руководства ведущих профильных вузов страны.

#### *1.5.11. Понятие «профессиональный инженер»: требования к профессиональным инженерам*

Глобализация экономики и возрастающая конкуренция на рынке инженерного труда требуют *выработки единых требований к качеству подготовки специалистов и обеспечения их международной мобильности*. Решению этой задачи способствует *создание международных регистров профессиональных инженеров*. В настоящее время, в мире существует три международные организации, которые ведут регистрацию профессиональных инженеров и способствуют международному признанию их квалификаций, а именно: Форум мобильности инженеров (*Engineers Mobility Forum, EMF*), регистр инженеров стран АПЕС (*APEC Engineering Register*) и Европейская федерация национальных инженерных организаций (*Fédération Européenne d'Associations Nationales d'Ingénieurs, FEANI*).

Звание **«профессиональный инженер»**: *Professional Engineer* (США, Япония, Южная Африка, Канада, Южная Корея, Сингапур) и *Chartered Engineer* (Великобритания, Новая Зеландия, Австралия, Ирландия) означает, что его обладатель способен вести самостоятельную профессиональную деятельность и имеет лицензию одного или более правительственных органов на оказание профессиональных инженерных услуг в качестве независимого практика.

Как правило, профессиональный инженер имеет дело с разработкой и внедрением передовых технологий и использует в своей работе инновации и творческий подход. Его деятельность предполагает использование фундаментальных знаний и принципов для разработки и применения новейших технологий, использование современных методов проектирования, внедрение новых и эффективных концепций и методов в области производства, маркетинга, управления, выполнение рискованных проектов. Деятельность профессионального инженера включает работу из различных областей знаний и носит преимущественно интеллектуальный характер. Она предполагает использование оригинальных подходов и суждений и способность осуществлять техническое и административное руководство над подчиненными.

В большинстве стран для регистрации в качестве профессионального инженера, кандидат должен соответствовать *требованиям национальных организаций, отвечающих за сертификацию и лицензирование профессиональных инженеров*:

- окончить университет, обучаясь по аккредитованной инженерной программе;
- иметь лицензию на осуществление профессиональной деятельности;
- иметь опыт практической инженерной деятельности (от 3-х до 7-ми лет в зависимости от страны);
- сдать профессиональные экзамены (как правило);
- поддерживать свою квалификацию путем непрерывного профессионального совершенствования;
- следовать кодексу профессиональной этики.

### *Требования EMF к компетенциям профессиональных инженеров*

Международная организация Форум мобильности инженеров – EMF была создана в 1997 году, с целью устранения искусственных барьеров для свободного передвижения и практики профессиональных инженеров в странах-участницах соглашения. Форум объединяет профессиональные организации, осуществляющие сертификацию и регистрацию профессиональных инженеров в следующих странах: США, Канада, Великобритания, Ирландия, Австралия, Новая Зеландия, Япония, Малайзия Гонконг, Корея, Сингапур и Шри-Ланка. Участники Форума согласовали между собой международные стандарты для присуждения звания «*профессиональный инженер*» и требования к компетенциям специалистов в области инженерной профессии. Кроме того, участники Форума учредили Международный регистр профессиональных инженеров EMF (*EMF International Register of Professional Engineers*), который должен служить основой для признания квалификаций профессиональных инженеров, прошедших процедуры сертификации, лицензирования и зарегистрированных в одной из стран-участниц EMF. Включение в Международный регистр профессиональных инженеров EMF дает специалистам право получения равнозначного статуса во всех странах-участницах Форума.

#### **Для регистрации EMF-профессиональных инженеров необходимо:**

- наличие инженерного образования, полученного в университете по программе аккредитованной организацией, имеющей статус полноправного члена или разделяющей принципы, критерии и процедуры аккредитации участников Вашингтонского соглашения;
- способность к самостоятельной профессиональной инженерной деятельности на основе приобретенных компетенций,
- опыт практической деятельности не менее 7-ми лет, включая 2 года работы на ответственной руководящей должности при выполнении важного инженерного проекта,

– стремление к непрерывному профессиональному совершенствованию.

В настоящее время, у претендентов на звание ЕМФ-профессионального инженера, появилась еще одна возможность попасть в Международный регистр профессиональных инженеров ЕМФ. Альтернативный путь предполагает наличие у кандидата инженерного образования, соответствующего требованиям ЕМФ, его стремление к непрерывному профессиональному совершенствованию, и соответствие **требованиям к компетенциям** профессиональных инженеров, принятых в странах-участницах Форума. Соответствие кандидата **требованиям к компетенциям** профессиональных инженеров предполагает наличие у него профессиональной подготовки и практического опыта равнозначного вышеупомянутому требованию ЕМФ к профессиональной деятельности.

Требования к компетенциям ЕМФ-профессиональных инженеров:

1. Применение универсальных знаний (обладание широкими и глубокими принципиальными знаниями и умение их использовать в качестве основы для практической инженерной деятельности).
2. Применение локальных знаний (обладание теми же знаниями и умение их использовать в практической деятельности в условиях специфической юрисдикции).
3. Анализ инженерных задач (постановка, исследование и анализ комплексных инженерных задач).
4. Проектирование и разработка инженерных решений (проектирование и разработка инженерных решений комплексных инженерных задач).
5. Оценка инженерной деятельности (оценивание результатов комплексной инженерной деятельности).
6. Ответственность за инженерные решения (ответственность за принятие инженерных решений по части или по всему комплексу инженерной деятельности).
7. Организация инженерной деятельности (организация части или всего комплекса инженерной деятельности).
8. Этика инженерной деятельности (ведение инженерной деятельности с соблюдением этических норм).
9. Общественная безопасность инженерной деятельности (понимание социальных, культурных и экологических последствий комплексной инженерной деятельности, в том числе в отношении устойчивого развития).
10. Коммуникация (ясность общения с другими участниками комплексной инженерной деятельности).
11. Обучение в течение всей жизни (непрерывное профессиональное совершенствование, достаточное для поддержания и развития

компетенций).

12. Здравомыслие (руководство здравым смыслом при ведении комплексной инженерной деятельности).

13. Законность и нормативность (соблюдение законодательства и правовых норм, охрана здоровья людей и обеспечение безопасности комплексной инженерной деятельности).

Требования к компетенциям инженеров сформулированы таким образом, что могут применяться в выполнении различных видов работ независимо от области специализации инженера. Требования к компетенциям включают как профессиональные (анализ задач, проведение исследований, проектирование, оценка инженерной деятельности), так и личностные навыки (коммуникация, соблюдение кодекса профессиональной этики, понимание ответственности инженера перед обществом).

Международный регистр профессиональных инженеров и соответствующие соглашения ряда стран обеспечивают реальное признание качества подготовки специалистов в области техники и технологий и их профессиональности.

## 2. ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ТПУ 140100 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

### 2.1. Концепция ООП

Образовательная программа 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» направлена на подготовку бакалавров в области теплоэнергетики и теплотехники. По программе осуществляется подготовка по профилям:

- «Тепловые электрические станции»
- «Промышленная теплоэнергетика»
- «Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике».

Выпускники программы готовятся к проектно-конструкторской, производственно-технологической, организационно-управленческой, научно-исследовательской, монтажно-наладочной и сервисно-эксплуатационной деятельности на объектах отраслей промышленности в соответствии с профилем подготовки.

Теплотехническая школа ТПУ имеет более чем столетний опыт подготовки дипломированных специалистов по теплотехнике и теплоэнергетике. ТПУ и ЭНИН развивает свою деятельность в русле интеграции в международную научно-образовательную систему, что предъявляет повышенные требования в разработке и реализации образовательных программ международного уровня. Настоящая ООП «Теплоэнергетика и теплотехника» имеет ряд принципиальных особенностей, которые проявляются в следующем:

- Оценка уровня подготовки определяется *компетенциями* выпускников. Наряду с общекультурными и общепрофессиональными компетенциями, определенные ФГОС ВПО в настоящей ОП *сформулированы профильно-специализированные профессиональные компетенции*, соответствующие профилю подготовки и планируемым результатом обучения. Они разработаны совместно с *ведущими специалистами предприятий* - работодателей: Территориальные генерирующие компании (ТГК-11, ТГК-12, ДГК), Управления тепловых сетей (Томское, Кемеровское), Томский нефтехимический комбинат, ОАО «ЗИОМАР», ООО «Лукойл – Западная Сибирь» и др.

- Использование *кредитной системы ECTS (European Credit Transfer System)* для оценки компетенций, а также дидактических единиц программы, обеспечивающих их достижение.

- Реализация *асинхронной модели* организации учебного процесса и использование *рейтинговой системы* контроля качества учебной деятельности как инструмента мотивации систематической работы студента.

- Учет требований *международного стандарта BS ENISO 9001:2008, Европейских стандартов и руководств* для обеспечения качества высшего



образования (*ESG, Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area*), национальных и международных критериев качества образовательных программ (Ассоциации инженерного образования России, согласованных с *EUR-ACE Framework Standards for Accreditation of Engineering Programs* и *FEANI*).

- Привлечение *специалистов - производителей* электроэнергетической и электротехнической отраслей для определения содержания профессиональных задач, решаемых на производстве, применительно к профилям подготовки бакалавров в ЭНИН.

- Использование в учебном процессе лабораторий с новейшим оборудованием, *специализированных* научно-исследовательских лабораторий ЭНИН, *уникального оборудования* научно-образовательного центра «Теплофизические проблемы новых энергетических технологий».

- Активная *академическая мобильность* студентов и сотрудников. Совершенствование языковых, коммуникативных и профессиональных навыков и знаний студентов ЭНИН осуществляется посредством их активного участия в программах международного академического обмена.

- Многолетнее *сотрудничество* коллективов профилирующих кафедр ЭНИН с *зарубежными* партнерами на основе соглашений в сфере научно-образовательной деятельности позволяет расширить возможности ООП «Теплоэнергетика и теплотехника». Обмены студентами для теоретического обучения по специальным курсам осуществляются с Техническим Университетом г. Брно (Чехия), Чешским Техническим Университетом г. Прага, Техническим Университетом г. Вены (Австрия), Университетами г. Карлсруэ и Дрездена (Германия). В ЭНИН имеются фонды поддержки таких обменов. В ежегодном академическом обмене участвует 12-15 студентов.

Энергетический институт прошел оценку и регистрацию уполномоченной организацией *National Quality Assurance (NQA*, Великобритания) на соответствие Системы Менеджмента Качества ТПУ требованиям стандарта *BS EN ISO 9001:2008* в области разработки и предоставления образовательных услуг в сфере высшего, послевузовского и дополнительного профессионального образования и научных исследований.

Эти особенности существенно повышают качество программы, что делает ее привлекательной для школьников России, ближнего и дальнего зарубежья и обеспечивает выпускникам конкурентные преимущества на рынке труда.

Нормативный срок освоения бакалаврской программы – 4 года, содержание и трудоемкость освоения ООП соответствует 240 кредитам *ECTS*.

## 2.2. Цели ООП

Цели образовательной программы по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» определяют получение профессионального образования, позволяющего выпускнику успешно работать в сфере деятельности, обладать универсальными и предметно-специализированными компетенциями, способствующими его социальной мобильности и устойчивости на рынке труда.

Целью образовательной программы в области воспитания личности является формирование социально-личностных качеств студентов: целеустремленности, организованности, трудолюбия, ответственности, гражданственности, коммуникабельности, толерантности, повышения общей культуры и т. д.

Цели ООП согласуются с ФГОС по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», миссией ТПУ и соответствующими запросами потенциальных потребителей программы.

Цели образовательной программы разрабатываются с использованием широких формулировок, что достаточно при взаимодействии с основными потребителями программы для информации об областях профессиональной подготовки выпускников, профиле программы, видах профессиональной деятельности выпускников и т. д.

Учет запросов потребителей образовательной программы и заинтересованных сторон в постановке целей обеспечивается использованием соответствующих исходных данных. При этом требования потенциальных работодателей являются для разработчиков программы приоритетными.

При формулировании целей образовательной программы приняты следующие положения:

- каждая цель соответствует одному или более запросу потребителей,
- цель должна пониматься и разделяться той группой потребителей, чьи интересы она должна удовлетворять,
- цель должна подчеркивать уникальность программы,
- формулировка цели должна быть краткой и ясной,
- цель должна быть достижимой,
- цель должна иметь более широкую формулировку, чем требования к результатам обучения,
- каждой цели должен соответствовать как минимум один результат обучения.

При определении целей ООП, в соответствии с требованиями Критерия 1 АИОР, проводится их широкое обсуждение, как в группе разработчиков, так и в подразделениях вуза, которые принимают участие в реализации программы. Цели в составе ООП утверждаются на Ученом совете ТПУ и публикуются для информирования всех заинтересованных сторон, мониторинга и проходят регулярную экспертную оценку.

Томский политехнический университет организует и постоянно поддерживает связь с представителями рынка труда и работодателями, обеспечивая их участие в проектировании и методическом обеспечении ООП, учебном процессе, оценке качества высшего образования и подготовки специалистов к профессиональной деятельности. Университет обеспечивает активное участие студентов в процедурах формирования, мониторинга, экспертной оценки и планирования изменений в основных образовательных программах.

Томский политехнический университет в соответствии с требованиями ФГОС ежегодно обновляет основные образовательные программы с учетом развития науки, культуры, экономики, техники, технологий и социальной сферы, в ходе этой процедуры при необходимости производится корректировка целей ООП 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника».

#### ***Цели ООП 140100 Теплоэнергетика и теплотехника:***

- Ц 1: Подготовка выпускника к расчетно-проектной и проектно-конструкторской деятельности в области создания теплоэнергетического оборудования с использованием современных технологий высокоэффективного преобразования тепловой энергии в другие виды.
- Ц 2: Подготовка выпускника к производственно-технологической деятельности в области эксплуатации современного высокоэффективного теплоэнергетического оборудования с соблюдением требований защиты окружающей среды и безопасности производства.
- Ц 3: Подготовка выпускника к научно-исследовательской деятельности связанной с выбором, оптимизацией и разработкой высокоэффективных методов и оборудования для преобразования теплоты в другие виды энергии.
- Ц 4: Подготовка выпускника к организационно-управленческой деятельности, включающей управление малыми коллективами исполнителей, планирование и анализ результативности их работы.
- Ц 5: Подготовка выпускника к монтажу, наладке, обслуживанию и испытаниям теплоэнергетического оборудования.
- Ц 6: Подготовка выпускника к самостоятельному обучению и освоению новых профессиональных знаний и умений, непрерывному профессиональному самосовершенствованию

### **2.3. Характеристика профессиональной деятельности выпускников ООП**

Требования к уровню подготовки абитуриента – среднее (полное) общее образование.

Абитуриент должен иметь документ государственного образца о среднем (полном) общем образовании или среднем профессиональном образовании, или начальном профессиональном образовании, если в нем есть

запись о получении предьявителем среднего (полного) общего образования, или высшем профессиональном образовании.

Область, объекты, виды и задачи профессиональной деятельности выпускников определены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 140100 Теплоэнергетика и теплотехника квалификация (степень) «Бакалавр», утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 18 ноября 2009 года № 635.

### *2.3.1. Область профессиональной деятельности выпускников*

Область профессиональной деятельности бакалавров по направлению подготовки 140100 Теплоэнергетика и теплотехника включает совокупность технических средств, способов и методов человеческой деятельности по применению теплоты, управлению ее потоками и преобразованию теплоты в иные виды энергии и наоборот:

- исследование, проектирование, конструирование, эксплуатация монтаж, ремонт и модернизация технических средств по производству теплоты;
- применение теплоты и управление её потоками, преобразование иных видов энергии в теплоту;
- автоматизация процессов.

### *2.3.2. Объекты профессиональной деятельности выпускников*

Объектами профессиональной деятельности бакалавров являются:

***По профилю «Тепловые электрические станции»:*** тепловые и атомные электрические станции, энергетические паровые, водогрейные котлы, реакторы и парогенераторы атомных электростанций, паровые и газовые турбины, энергоблоки, парогазовые и газотурбинные установки, тепловые насосы, вспомогательное оборудование тепловых электростанций (тепло- и массообменные аппараты, насосы, вентиляторы, компрессоры, системы топливо- и воздухообеспечения, удаления остаточных продуктов технологического процесса, трубопроводы), тепловые сети систем централизованного теплоснабжения, технологии и оборудование для проведения аварийных и плановых ремонтов энергетического оборудования.

***По профилю «Промышленная теплоэнергетика»:*** системы энергообеспечения предприятий и объектов ЖКХ, объекты малой энергетики, установки, системы и комплексы низкотемпературной и высокотемпературной теплотехнологии, установки по производству сжатых и сжиженных газов, тепло- и массообменные аппараты различного назначения, установки систем кондиционирования воздуха, тепловые насосы, компрессорные,

холодильные установки, теплотехнологическое и электрическое оборудование, тепловые и электрические сети промышленных предприятий.

### *2.3.3. Виды профессиональной деятельности выпускника*

Бакалавр по направлению подготовки 140100 Теплоэнергетика и теплотехника готовится к следующим видам профессиональной деятельности:

- расчетно-проектная и проектно-конструкторская;
- производственно-технологическая;
- научно-исследовательская;
- организационно-управленческая;
- монтажно-наладочная;
- сервисно-эксплуатационная.

### *2.3.4. Задачи профессиональной деятельности выпускников*

Бакалавр по направлению подготовки 140100 Теплоэнергетика и теплотехника должен решать следующие профессиональные задачи в соответствии с видами профессиональной деятельности и профилем бакалаврской программы.

#### ***Профиль: Тепловые электрические станции***

*а) расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:*

- сбор и анализ информационных исходных данных для проектирования тепловых электрических станций;
- расчет и проектирование деталей и узлов в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;
- разработка проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
- контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;
- проведение предварительного технико-экономического обоснования проектных решений;

*б) производственно-технологическая деятельность:*

- организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования;
- контроль соблюдения технологической дисциплины при производстве электрической энергии и теплоты;
- обеспечение энергосберегающих технологий, контроль соблюдения норм расхода топлива и всех видов энергии;

- организация метрологического обеспечения технологических процессов, использование типовых методов контроля качества выпускаемой продукции;

- участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции;

- подготовка документации по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках;

- контроль соблюдения экологической безопасности на производстве;

*в) научно-исследовательская деятельность:*

- изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;

- проведение экспериментов по заданной методике и анализ результатов;

- проведение измерений и наблюдений, составление описания проводимых исследований, подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций;

- составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок;

*г) организационно-управленческая деятельность:*

- выполнение работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;

- организация работы малых коллективов исполнителей;

- планирование работы персонала и фондов оплаты труда;

- разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений;

*д) монтажно-наладочная деятельность:*

- участие в наладке, настройке, регулировке и опытной проверке энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования;

- участие в монтаже, наладке, испытаниях и приемке/сдаче в эксплуатацию энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования в целом, а также изделий, узлов, систем и деталей в отдельности;

*е) сервисно-эксплуатационная деятельность:*

- обслуживание технологического оборудования;

- проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;

- составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт;

- обеспечение подготовки котлов, сосудов, работающих под давлением, трубопроводов пара и горячей воды, электроустановок и других

объектов энергохозяйства для приемки в эксплуатацию, проверки и освидетельствования органами государственного надзора.

### ***Профиль Промышленная теплоэнергетика***

*а) расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:*

– сбор и анализ информационных исходных данных для проектирования систем теплоэнергоснабжения, топливоснабжения установок, цехов промышленных предприятий и объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ);

– расчет и проектирование деталей и узлов оборудования систем теплоэнергоснабжения установок, обеспечение предприятий технологическими энергоносителями, систем кондиционирования в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;

– разработка проектной и рабочей технической документации установок и систем энергоснабжения промышленных предприятий и объектов ЖКХ; оформление законченных проектно-конструкторских работ;

– контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации оборудования, установок и систем энергоснабжения предприятий стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

– проведение предварительного технико-экономического обоснования проектных решений по выбору оборудования, установок и систем энергоснабжения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

*б) производственно-технологическая деятельность:*

– организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования установок и систем энергоснабжения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

– контроль соблюдения технологической дисциплины при обеспечении промышленных объектов топливом, теплотой, электроэнергией, технологическими энергоносителями;

– контроль соблюдения норм расхода топлива и всех видов энергии оборудованием, цехами, промышленными предприятиями, промышленными и общественными зданиями и другими объектами ЖКХ;

– организация метрологического обеспечения технологических процессов при потреблении топлива, теплоты, электроэнергии, технологических энергоносителей,

– использование типовых методов контроля качества выпускаемой продукции;

– участие в работах по доводке и освоению технологических процессов при их обеспечении энергоресурсами и технологическими энергоносителями в ходе подготовки производства новой продукции;

– подготовка документации по менеджменту качества технологических процессов при их обеспечении энергоресурсами и технологическими энергоносителями на производственных участках;

– контроль соблюдения экологической безопасности при использовании топлива, тепловой и электроэнергии и технологических энергоносителей на производстве;

*в) научно-исследовательская деятельность:*

– изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в области рационального использования топливно-энергетических и вторичных энергоресурсов, повышение надежности и безопасности установок и систем энергоснабжения;

– проведение экспериментов по заданной методике на опытно-промышленных установках и в лабораториях систем энергоснабжения предприятий и анализ результатов;

– проведение измерений и наблюдений, составление описания проводимых исследований, подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций в области рационального использования топливно-энергетических ресурсов, повышения надежности и безопасности установок и систем энергоснабжения;

– составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок в области рационального использования топливно-энергетических ресурсов, повышения надежности и безопасности установок и систем энергоснабжения;

*г) организационно-управленческая деятельность:*

– выполнение работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

– организация работы малых коллективов исполнителей по проектированию, монтажу, наладке и эксплуатации систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

– планирование работы персонала u1087 по проектированию, монтажу, ремонту, наладке и эксплуатации систем энергообеспечения и фондов оплаты труда;

– разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений по монтажу, наладке, эксплуатации и ремонту систем и установок энергообеспечения и их элементов;

*д) монтажно-наладочная деятельность:*

– участие в наладке, настройке, регулировке и опытной проверке энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудова-



ния систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

– участие в монтаже, наладке, испытаниях и приемке/сдаче в эксплуатацию энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования систем энергообеспечения предприятия в целом, а также изделий, узлов, систем и деталей в отдельности;

*е) сервисно-эксплуатационная деятельность:*

– обслуживание технологического оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

– проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;

– составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;

– обеспечение подготовки котлов, сосудов, работающих под давлением, трубопроводов пара и горячей воды, электроустановок и других объектов энергохозяйства для приемки в эксплуатацию, проверки и освидетельствования органами государственного надзора.

## **2.4. Результаты обучения**

### *2.4.1. Компетенции выпускников*

Результаты обучения согласуются с требованиями ФГОС по направлению бакалаврской подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», Критерием 2 АИОР и целями ООП.

При этом используются исходные данные, полученные на подготовительном этапе проектирования программы. При формулировании результатов обучения заложены следующие принципы:

- каждый результат обучения сформулирован таким образом, чтобы студент или выпускник смог продемонстрировать его достижение, соответственно, в процессе освоения или по окончании программы,
- результаты обучения в терминах компетенций соответствуют как минимум одной цели программы (как правило, цель достигается 3 – 5 результатами обучения).

Результаты обучения должны достигаться всеми выпускниками в момент окончания обучения по образовательной программе.

При определении результатов обучения по ООП 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», проводится их широкое обсуждение, как в группе разработчиков, так и в подразделениях вуза, которые принимают участие в реализации программы.

Томский политехнический университет организует и постоянно поддерживает связь с представителями рынка труда и работодателями, обес-

печивая их участие в проектировании и методическом обеспечении ООП, учебном процессе, оценке качества высшего образования и подготовки специалистов к профессиональной деятельности.

Томский политехнический университет в соответствии с требованиями ФГОС ежегодно обновляет основные образовательные программы с учетом развития науки, культуры, экономики, техники, технологий и социальной сферы, в ходе этой процедуры при необходимости производится корректировка результатов обучения по ООП 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Бакалавр должен обладать следующими компетенциями, в соответствии целями основной образовательной программы и задачами профессиональной деятельности, указанными в ФГОС ВПО по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника».

#### 2.4.2. Планируемые результаты обучения (выпускник должен быть готов)

##### **Универсальные компетенции**

- Р1 Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе *на иностранном языке*, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты *комплексной* инженерной деятельности.
- Р2 Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении *комплексных* инженерных задач.
- Р3 Демонстрировать *личную* ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения *комплексной* инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
- Р4 Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
- Р5 К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
- Р6 Осознавать необходимость и демонстрировать *способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни*, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.

##### **Общепрофессиональные компетенции**

- P7 Осознавать необходимость и демонстрировать *способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни*, непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
- P8 Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач *комплексного* инженерного анализа с использованием *базовых и специальных* знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
- P9 Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять *комплексные* инженерные проекты с применением *базовых и специальных* знаний, *современных* методов проектирования для достижения *оптимальных* результатов, соответствующих техническому заданию *с учетом* нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
- P10 Проводить *комплексные* научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением *базовых и специальных* знаний и *современных* методов.
- P11 Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
- P12 Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами на основе АСУТП; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.

### **Специальные профессиональные**

- P13 Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по ме-

неджменту качества технологических процессов на производственных участках.

- P14 Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
- P15 Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
- P16 Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Таблица 2.1. Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения

Результаты обучения	Цели ООП					
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6
P1	+	+	+	+	+	+
P2	+	+	+	+	+	
P3	+	+	+	+		+
P4		+		+		+
P5		+			+	+
P6				+	+	+
P7	+	+	+			+
P8	+		+			+
P9	+					
P10	+	+	+			
P11	+	+	+	+		+
P12	+	+			+	
P13		+		+	+	
P14		+		+		
P15		+		+	+	
P16		+		+	+	

Таблица 2.2. Структура основной образовательной программы

Код дисциплины программы ТПУ	Наименование дисциплины	Кредиты ТПУ	Пререквизиты	Форма контроля
<b>Б1 Гуманитарный, социальный и экономический цикл</b>		<b>39</b>		
<b>Б1.Б Базовая часть</b>		<b>27</b>		
Б1.Б1	Иностранный язык	12 3/3/3/3		Экзамен Зачет, зачет, зачет
Б1.Б2	История	4		Экзамен
Б1.Б3	Философия	4		Экзамен
Б1.Б4	Правоведение	3		Зачет
Б1.Б5	Экономическая теория	4		Зачет
<b>Б1.В Вариативная часть</b>		<b>12</b>		
Б1.В1	Экономика энергетики	4	Б1.Б5, Б2.Б1	Экзамен Зачет
Б1.В2.1	Профессиональный иностранный язык	8 2/2/2/2	Б1.Б1	Экзамен Зачет, зачет, зачет
Б1.В2.2	Русский язык и культура речи	2		Зачет
Б1.В2.3	Культурология	2	Б1.Б2, Б1.Б3	Зачет
Б1.В2.4	Психология	2		Зачет
Б1.В2.5	Социология	2	Б1.Б2	Экзамен
<b>Б2 Математический и естественнонаучный цикл</b>		<b>56</b>		
<b>Б2.Б Базовая часть</b>		<b>36</b>		
Б2.Б1	Математика	13 7/6		Экзамен, экзамен Зачет
Б2.Б2	Физика	9 4/5		Экзамен, экзамен Зачет, зачет
Б2.Б3	Информационные технологии	8 4/4		Зачет, зачет
Б2.Б4	Химия	4		Экзамен
Б2.Б5	Экология	2	Б2.Б2, Б2.Б4	Зачет
<b>Б2.В Вариативная часть</b>		<b>20</b>		
Б2.В1	Специальные главы высшей математики	4	Б2.Б1	Экзамен
Б2.В2	Специальные главы физики	5	Б2.Б2	Экзамен
<b>Б2.В.1 «Тепловые электрические станции»</b>		<b>11</b>		
Б2.В.1.1	Объектно-ориентированное программирование	3	Б2.Б3	Зачет
Б2.В.1.2	Основы планирования и обра-	4	Б2.Б1,	Экзамен,

	ботки эксперимента		Б2.Б2,Б2.Б3	зачет
Б2.В.1.3	Методы оптимизации и расчеты на ЭВМ технико-экономических задач	4	Б2.Б1, Б2.Б2,Б2.Б3	Зачет
<b>Б2.В.1 «Промышленные теплоэнергетика»</b>		<b>10</b>		
Б2.В.1.1	Программирование для инженеров	5	Б2.Б3	Зачет
Б2.В.1.2	Математическое моделирование и расчеты теплотехнических систем на ЭВМ	5	Б2.Б1, Б2.Б2,Б2.Б3	Зачет
<b>Б3 Профессиональный цикл</b>		<b>118</b>		
<b>Б3. Б Базовая часть</b>		<b>58</b>		
Б3.Б.1	Начертательная геометрия, Инженерная и компьютерная графика	6 4/2		Экзамен Дифзачет
Б3.Б.2	Материаловедение и технология конструкционных материалов	4	Б2.Б2, <b>Б2.Б4</b>	Экзамен
Б3.Б.3	Механика	11 4/4/3	Б2.Б1,Б2.Б2	Экзамен зачет Дифзачет
Б3.Б.4	Электротехника и электроника	5	Б2.В1,Б2.В2	Экзамен
Б3.Б.5	Безопасность жизнедеятельности	3	Б2.Б2, Б2.Б4	зачет
Б3.Б.6	Гидрогазодинамика	4	Б2.В1,Б2.В2	Экзамен
Б3.Б.7	Техническая термодинамика	7	Б2.Б1,Б2.Б2	Экзамен зачет
Б3.Б.8	Тепломассообмен	6	Б2.В1,Б2.В2	Экзамен
Б3.Б.9	Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях	3	Б3.Б.7, Б3.Б.6, Б3.Б.8	зачет
Б3.Б.10	Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов	5	Б2.В1,Б2.В2	Экзамен зачет
Б3.Б.11	Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	4	Б2.Б2, Б2.Б4	Экзамен
<b>Б3.В Вариативная часть</b>		<b>60</b>		
Б3.В1	Прикладной системный анализ	4	Б2.В1	Зачет
<b>Б3.В.1 «Тепловые электрические станции»</b>		<b>56</b>	Б2.Б1	
	Основы проектирования и САПР	2	Б2.Б3	Зачет
Б3.В.1.2	Котельные установки и парогенераторы	9 4/5	Б2.Б4, Б3.Б.2, Б3.Б.6, Б3.Б.8 Б3.В.1.1	Экзамен Экзамен Дифзачет
Б3.В.1.3	Турбины тепловых и атомных электростанций	12 4/5/3	Б2.В1, Б2.В2 Б3.Б.1, Б3.Б.2, Б3.Б.3, Б3.Б.6, Б3.Б.7 Б3.В.1.1	Экзамен Экзамен Дифзачет
Б3.В.1.4	Тепловые и атомные электро-	9	Б2.В.1.3,	Экзамен

	станции	5/4	Б3.В.1.2, Б3.В.1.3	Дифза- чет
Б3.В.1.5	Водоподготовка	2	Б2.Б4, Б3.В.1.2	Экзамен
Б3.В.1.6	Режимы работы и эксплуатация ТЭС	3	Б3.В.1.4	Экзамен
Б3.В.1.7	Природоохранные технологии на ТЭС	3	Б2.Б2, Б2.Б4, Б2.Б5, Б3.В.1.4	Экзамен
Б3.В.1.8	Системы и источники энерго-снабжения	3	Б2.В.1.3, Б3.Б.6, Б3.Б.8, Б3.В1 Б3.В.1.10 Б3.В.1.11	Зачет Дифза- чет
Б3.В.1.9	Вспомогательное теплообменное оборудование электростанций	2	Б3.Б.6, Б3.Б.8, Б3.В.1.4	Зачет
Б3.В.1.10	Нагнетатели ТЭС	5	Б3.Б.3, Б3.Б.6	Экзамен
Б3.В.1.11	Основы производства электро-энергии и теплоты	2		Зачет
Б3.В.1.12	Системы качества	4		Зачет
<b>Б3.В.1 «Промышленные теплоэнергетика»</b>		<b>58</b>		
Б3.В.1.1	Основы инженерного проектиро-вания	2	Б2.Б3	Зачет
Б3.В.1.2	Тепломассообменное оборудова-ние предприятий	6 4/2	Б3.Б.6, Б3.Б.8,	Зачет Экзамен
Б3.В.1.3	Котельные установки	6 3/3	Б2.Б4, Б3.Б.2, Б3.Б.6, Б3.Б.8 Б3.В.1.1	Зачет Дифза- чет
Б3.В.1.4	Источники и системы тепло-снабжения предприятий	7 4/3	Б3.Б.6, Б3.Б.8, Б3.В.1.2, Б3.В.1.3	Экзамен Дифза- чет
Б3.В.1.5	Подготовка воды для энерготех-нологических процессов пред-приятий	2	Б2.Б4, Б3.В.1.3	Экзамен
Б3.В.1.6	Технологические энергоносители предприятий	3	Б2.Б2, Б2.Б4	Экзамен
Б3.В.1.7	Охрана окружающей среды в теплотехнологии	4	Б2.Б2, Б2.Б4, Б2.Б5, Б3.В.1.4	Экзамен
Б3.В.1.8	Энергетические системы обеспе-чения жизнедеятельности чело-века	3		Зачет
Б3.В.1.9	Холодоснабжение промпредпри-ятий	3	Б3.Б.6, Б3.Б.7 Б3.Б.8	Зачет
Б3.В.1.10	Введение в промышленную теп-лоэнергетику	2		Зачет
Б3.В.1.11	Нагнетатели и тепловые двигате-ли	4	Б3.Б.3, Б3.Б.6, Б3.Б.7 Б3.Б.8	Экзамен

Б3.В.1.12	Надежность и оптимизация систем теплоэнергоснабжения промпредприятий	4		Экзамен
Б3.В.1.13	Газоснабжение промпредприятий	4		Экзамен
Б3.В.1.14	Проектирование и эксплуатация систем отопления, вентиляции и кондиционирования	4		Экзамен
Б3.В.1.15	Энергосбережение на промышленных предприятиях и жилищно-коммунального хозяйства	4	Б3.Б.9	Экзамен
<b>Б4.1</b>	<b>Физическая культура</b>	2		
<b>Б.5</b>	Учебная и производственная практики	13		
<b>Б.6</b>	Итоговая государственная аттестация	12		
Общая трудоемкость основной образовательной программы		240		



## II. ПРОФИЛЬНЫЙ МОДУЛЬ

### 1. ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

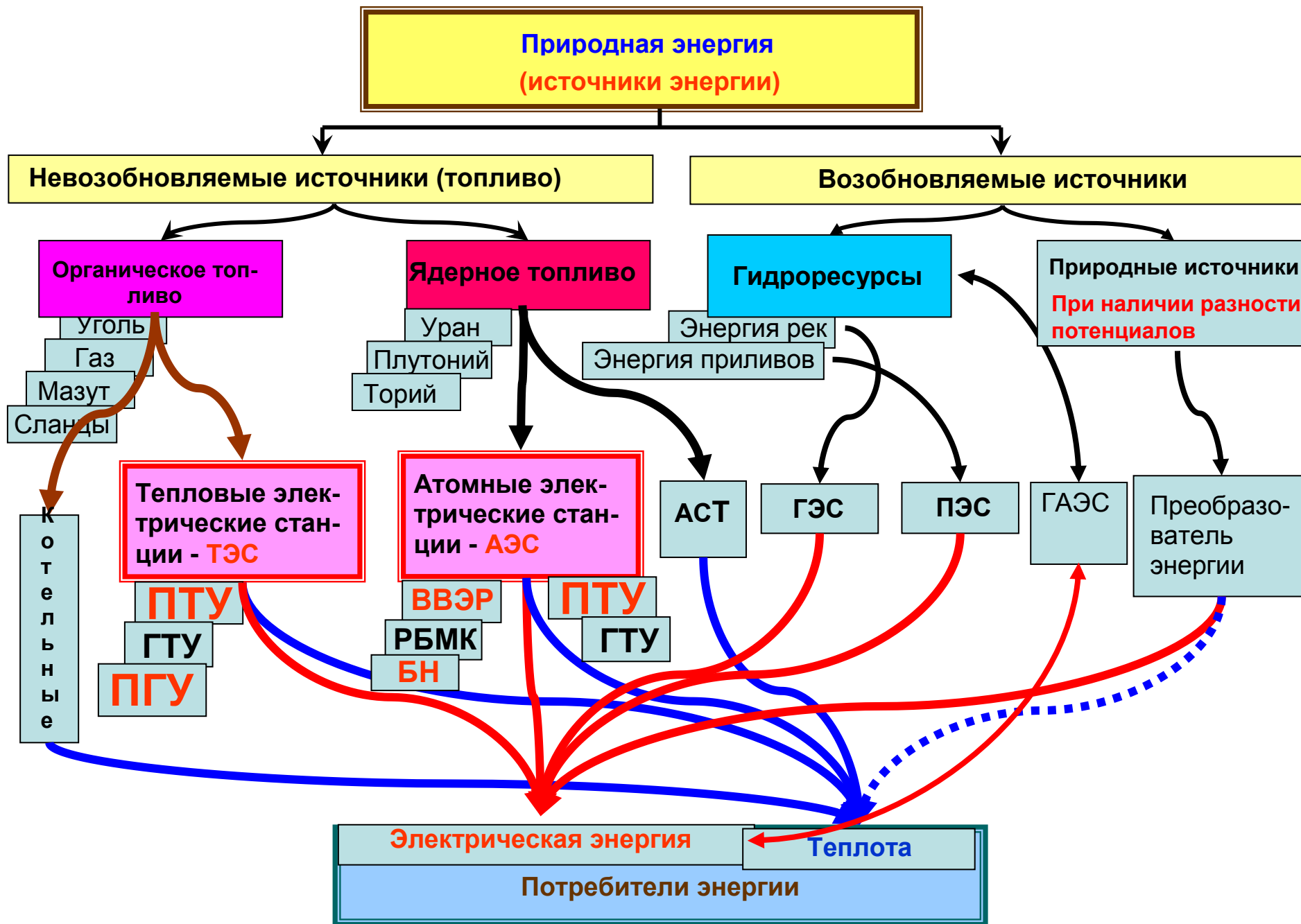
*Энергия* – количественная мера различных форм движения материи, которые могут взаимно превращаться. Различают энергию *механическую, тепловую, электрическую, электромагнитную, ядерную, химическую, гравитационную и др.* Для жизнедеятельности человека наиболее важное значение имеет потребление электрической и тепловой энергии, которые возможно извлекать из природных источников – энергоресурсов. *Энергоресурсы* – это первичные источники энергии находящиеся в окружающей природе. Их принято делить на *возобновляемые* (энергия рек, морских приливов, солнечная энергия, энергия ветра и др.) и *невозобновляемые* (уголь, природный газ, нефть, торф, сланцы, ядерная).

Приблизительно 30% добываемых энергоресурсов используется для централизованной выработки электроэнергии. Широкое распространение электрическая энергия получила благодаря следующим ее свойствам:

- ✓ возможность получения практически из любых энергоресурсов при умеренных затратах;
- ✓ простоте трансформации в другие формы энергии (механическую, тепловую, звуковую, световую, химическую);
- ✓ способность сравнительно легко передаваться в значительных количествах на большие расстояния с огромной скоростью и относительно небольшими потерями;
- ✓ возможность использования в устройствах, различающихся по мощности, напряжению, частоте.

#### 1.1. Энергетика мира и России

Промышленное предприятие, обеспечивающее преобразование исходной природной энергии в электрическую, называется *электростанцией*. В зависимости от типа используемой первичной энергии различают следующие основные виды электрических станций: *гидроэлектростанции (ГЭС)* – использующие потенциальную энергию воды (сюда же относятся *приливные электростанции (ПЭС)* – использующие энергию морских приливов); *тепловые электрические станции (ТЭС)* – использующие потенциальную тепловую энергию, заключенную в органическом топливе (тепловая энергия из органического топлива выделяется в



результате химической реакции окисления горючих элементов, входящих в состав топлива); *атомные электрические станции (АЭС)* – использующие потенциальную тепловую энергию, заключенную в ядерном топливе (тепловая энергия из ядерного топлива выделяется в результате реакции деления тяжелых ядер под действием нейтронов).

В настоящее время в мире примерно 80% выработки электроэнергии производится на базе тепловой энергетики (из них: примерно 80% на ТЭС и 20% на АЭС), но гидроэлектростанции приходится около 20% выработки электроэнергии. На другие виды электростанций, включая использующие нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, приходится незначительная доля в выработке электроэнергии. Для конкретных стран это соотношение очень различается, например, в Норвегии практически 95% выработки электроэнергии приходится на ГЭС, в Испании около 60% электроэнергии вырабатывается на ГЭС, во Франции примерно 75% электроэнергии на АЭС, в Новой Зеландии более 40% электроэнергии вырабатывается на *геотермальных электростанциях* (ГеоЭС – использующих в качестве природной энергии теплоту подземных вод), в Германии около 6% электроэнергии вырабатывается на *ветровых электростанциях* (ВЭС – использующих кинетическую энергию перемещения атмосферного воздуха). На рис.1.1. представлена зависимость мирового производства электроэнергии за период с 1970 по 2020 гг. Видно, что на прогнозируемый период предполагается увеличение выработки энергии всеми видами генерирующих мощностей, однако доля выработки электроэнергии на тепловых электрических станциях (сжигающих уголь, нефть и газ) сохранится на обозримый период времени.

В целом по России соотношение выработки электроэнергии различными электростанциями соответствует среднемировому. Структура генерирующих мощностей (табл. 1.1) и соответственно, структура выработки электроэнергии по территории России существенно различается, сохраняется лишь преобладающая роль тепловой энергетики.

Энергетика предназначена для обеспечения потребителей электроэнергией и теплом в количествах необходимых потребителю в данный момент времени. Поэтому перспективы развития энергетики в первую очередь определяются теми прогнозами энергопотребления, которые строятся в соответствии с предполагаемыми темпами роста экономики страны. В настоящее время перспективы энергопотребления определены до 2030 г.

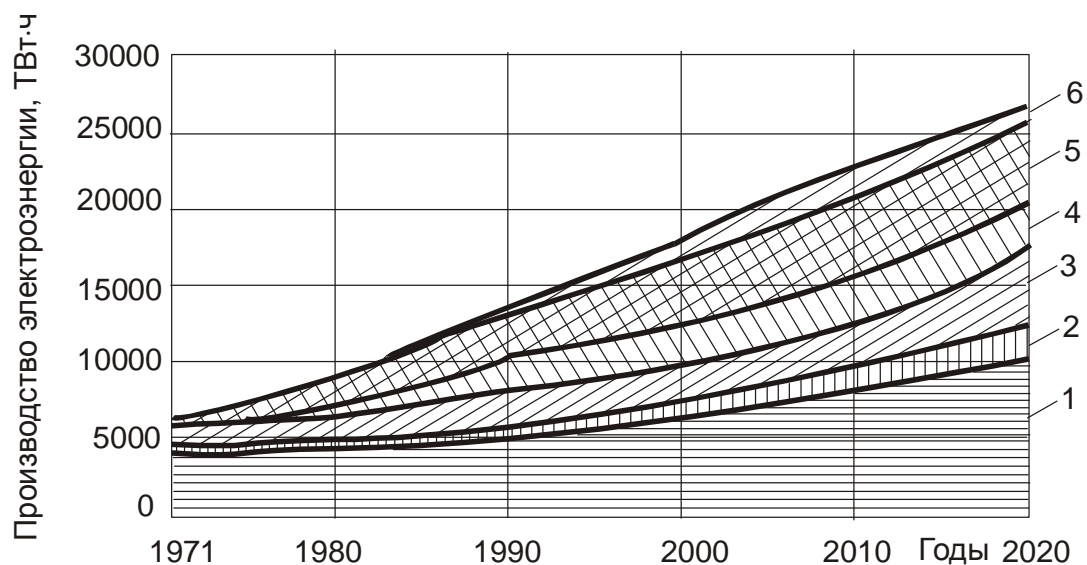


Рис.1.1. Мировое производство электроэнергии в 1971 – 2020 гг.  
1 – уголь; 2 – нефть; 3 – газ; 4 – АЭС; 5 – ГЭС; 6 – нетрадиционные источники

Таблица 1.1. Структура генерирующих мощностей и доля выработки электроэнергии по территориальным округам России (в %)

Федеральный округ						Доля выработки электроэнергии от всей по России
	ГЭС	ТЭС		АЭС	Прочие	
ГРЭС		ТЭЦ				
Северо-Западный	22,0	22,0	43,0	30,0	5,0	9,6
Центральный	4,0	34,0	35,0	26,0	1,0	25,8
Южный	28,0	30,0	20,0	21,0	1,0	5,2
Приволжский	20,6	24,3	45,1	9,7	0,3	11,2
Уральский	-	80,0	17,0	3,0	-	23,6
Сибирский	52,0	10,0	38,0	-	-	20,4
Дальневосточный	32,0	28,6	33,6	0,4	5,3	4,3

На рис.1.2 представлен прогноз электропотребления в России по годам. При этом рассматривается два варианта стратегии развития экономики: «реалистичный», который принят за базовый, и «оптимистичный», который определяет сценарий максимального электропотребления в стране. Как видно из графика, в 2009 г. имеется провал электропотребления по сравнению с 2010 г., который, как считают аналитики, обусловлен мировым экономическим кризисом. Данные по 2008 и 2009 г.г. приведены по фактическому потреблению электрической энергии в России.

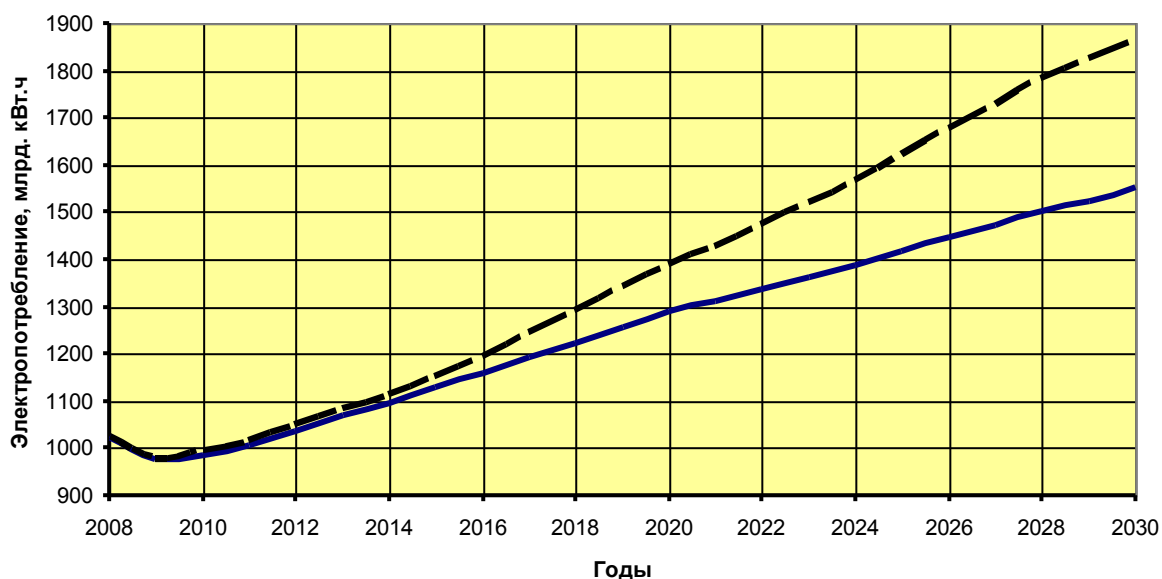


Рис.1.2. Прогноз электропотребления в России на период до 2030 г.:  
 а) базовый вариант развития экономики страны;  
 б) максимальный вариант развития экономики страны.

Прогноз прироста потребления электроэнергии по годам различается (так максимальный прирост электропотребления по России в базовом варианте развития предполагается в 2013 г., который составит 3,23% по сравнению с 2012 г., в максимальном варианте развития - в 2018 г. 3,98%), средний приростов год за этот период по России составит: в базовом варианте - 2,24%, в максимальном варианте - 3,12%.

По максимальному варианту развития прогноз электропотребления по всем федеральным округам России будет меняться практически пропорционально суммарному изменению по стране.

Одной из особенностей энергетики России является высокая степень централизации теплоснабжения. Около 30 % всего потребляемого тепла вырабатывается на крупных ТЭЦ и котельных (ранее принадлежащих холдингу РАО «ЕЭС России», а после реструктуризации в основном ТГК) при значительной разветвленности тепловых сетей. При этом лишь для поддержания в рабочем состоянии действующих в настоящее время 257 000 км тепловых сетей необходимо в течение 10 лет ежегодно менять не менее 12 000...20 000 км. Сегодня традиционные технологии теплоснабжения считаются устаревшими, поскольку они не обеспечивают достаточной экономии топлива. Наряду с этим широко распространенные в нашей стране внутри кварталные котельные, исключая комбинированную выработку электроэнергии и тепла, также не дают должной эффективности теплоснабжения.

В то же время прогнозируемый к 2010 г. прирост потребления тепла может составить около 1,5...2,9 млрд. ГДж/год, а структура теплопотребления в России будет выглядеть следующим образом:

- промышленность - 5,0...5,4 млрд. ГДж/год;
- жилищно-коммунальный сектор - 3,76...4,59 млрд. ГДж/год;
- сельскохозяйственные объекты - 2,5.. 2,9 млрд. ГДж/год.

В целом требуемый рост теплопотребления должен происходить за счет новых технологий как централизованного, так и децентрализованного теплоснабжения при использовании одномагистральных тепловых сетей и внутриквартальных теплофикационных установок.

## 1.2. Тепловые электрические станции (технологическая схема)

*Технологическая схема* воспроизводит взаимосвязи основных агрегатов и укрупненных систем электростанции. Она отображает весь технологический процесс производства электроэнергии (и отпуска теплоты) от поступления топлива на станцию до выхода готовой продукции и отвода побочных продуктов производства.

Технологическая схема ТЭС, работающей на твердом топливе, представлена на рис. 1.3. Вместе с топливом на ТЭС поступает некоторое количество тепла  $Q_c$ , которое выделится при сгорании топлива в топке котла 3. В котле получают водяной пар требуемых параметров, который направляют в паровую турбину 4 (часть пара теряется в виде утечек  $\Delta G_0$ ). В турбине потенциальная энергия пара в конечном итоге превращается в механическую, используемую для привода электрического генератора 5, в последнем получают один из видов конечного продукта – электрическую энергию в виде  $N_3^{бр}$ . Эта мощность делится на два потока: основной –  $N_3^{нетто}$  – идет через линии электропередачи потребителям (на заводы, население и т.п.), второй  $N_{эсн}$  – потребляется на самой ТЭС (мощность собственных нужд). Второй вид продукции, вырабатываемой на ТЭС, – тепло, отпускаемое тепловым потребителям  $Q_{тепл}$  (в виде горячей воды и пара), причем часть пара  $\Delta G_T$  теряется; конденсат от потребителя перекачивается насосом 20 в контур станции. Отработанный пар из турбины поступает в конденсатор 11, где конденсируется и отдает тепло охлаждающей воде, которая охлаждается в устройстве 13, отдавая в окружающую среду тепло  $\Delta Q_k$ .

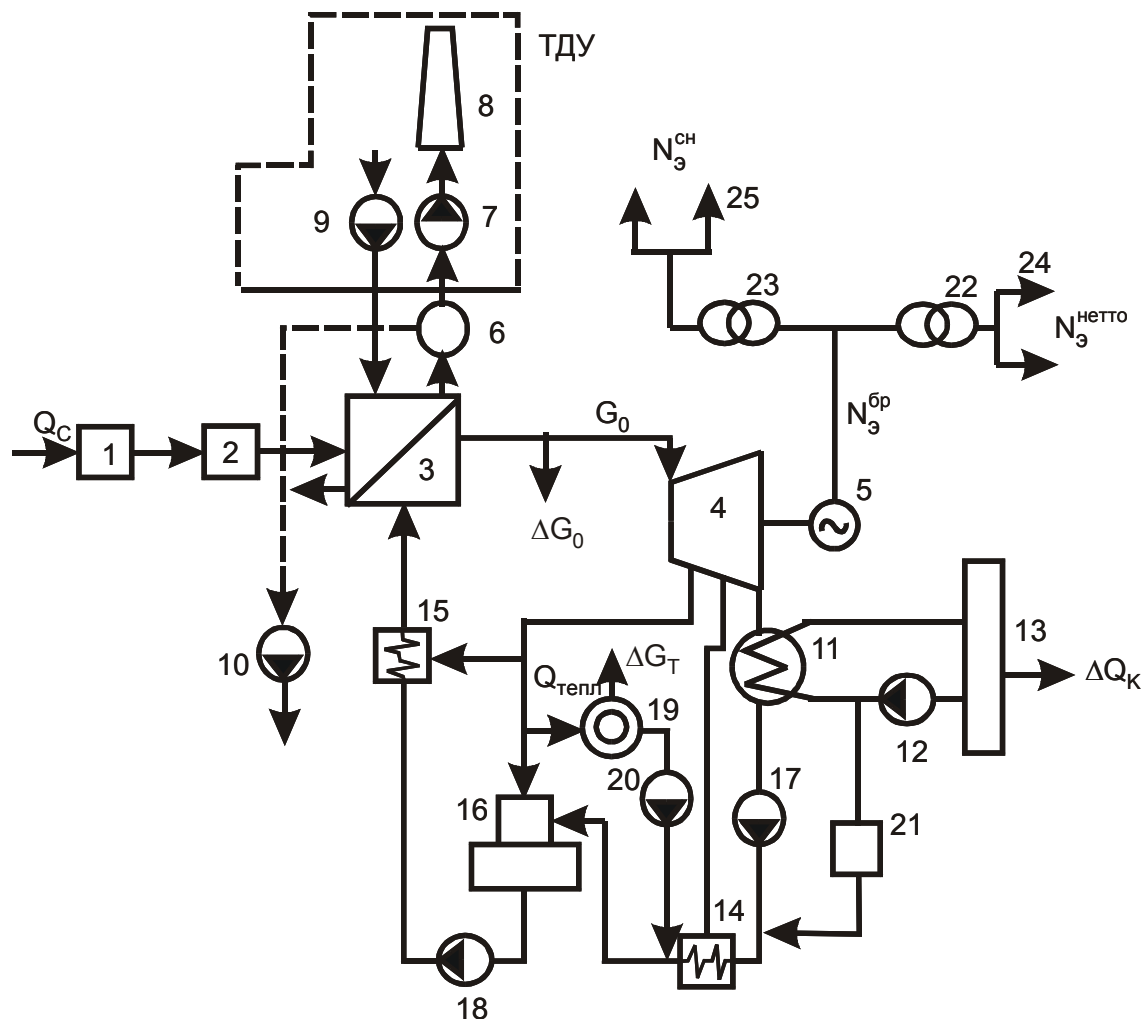
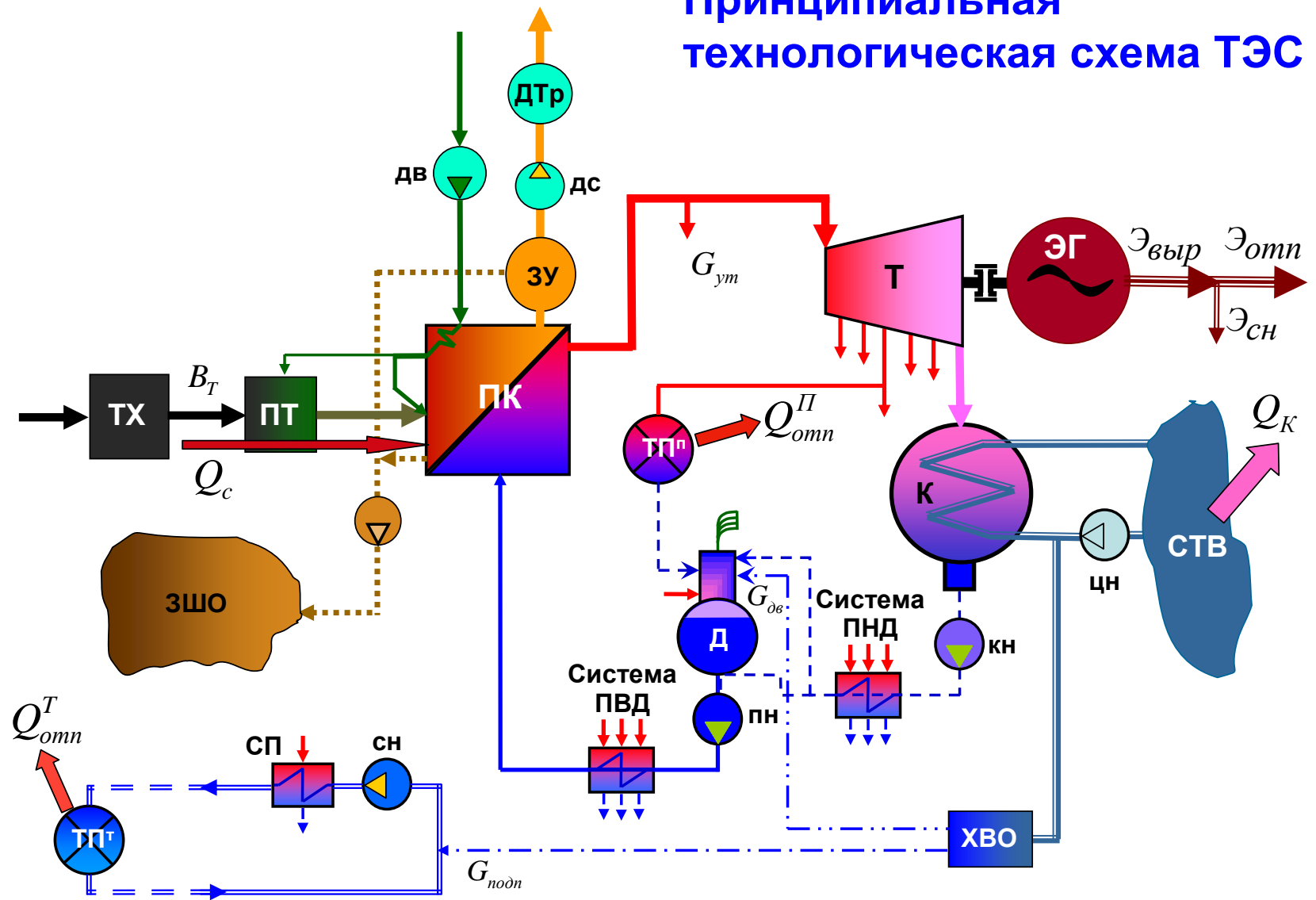


Рис. 1.3. Технологическая схема ТЭС:

1 – топливный склад; 2 – система топливоприготовления; 3 – котел; 4 – паровая турбина; 5 – генератор; 6 – золоуловитель; 7 – дымосос; 8 – дымовая труба; 9 – дутьевой вентилятор; 10 – система золошлакоудаления; 11 – конденсатор; 12 – циркуляционный насос; 13 – охлаждающее устройство; 14 – группа ПНД; 15 – группа ПВД; 16 – деаэратор; 17 – конденсатный насос; 18 – питательный насос; 19 – тепловой потребитель; 20 – насос, перекачивающий конденсат от теплового потребителя; 21 – система химической подготовки воды; 22 – открытое распредустройство; 23 – трансформатор собственных нужд; 24 – линии электропередачи; 25 – шины собственных нужд

Конденсат из конденсатора, возвращаемый конденсат от теплового потребителя и добавочная вода из системы химводоочистки 21 через систему регенерации 14, 16, 15 поступают в котел. Котел имеет вспомогательные системы – тягодутьевую и систему золошлакоудаления. Работа элементов технологической схемы ТЭС рассматривается в соответствующих разделах настоящего пособия.

# Принципиальная технологическая схема ТЭС





## 2. ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

### 2.1. Назначение и классификация турбин

Рассмотрим назначение турбины на примере привода генератора электрического тока. Принцип работы электрического генератора основывается на действии двух законов Ленца.

По первому закону Ленца: если проводник перемещается в магнитном силовом поле, то в нем наводится электродвижущая сила (э.д.с.), т.е. возникает электрический ток. В генераторе это в очень упрощенном виде реализуется следующим образом (рис. 2.1). Магнитное силовое поле создается магнитом. В пространстве между северным и южным полюсами магнита помещена рамка из токопроводящего материала, которая вращается с числом оборотов  $n$ ,  $c^{-1}$ . При пересечении магнитного поля в рамке индуцируется электрический ток, который снимется с коллектора.

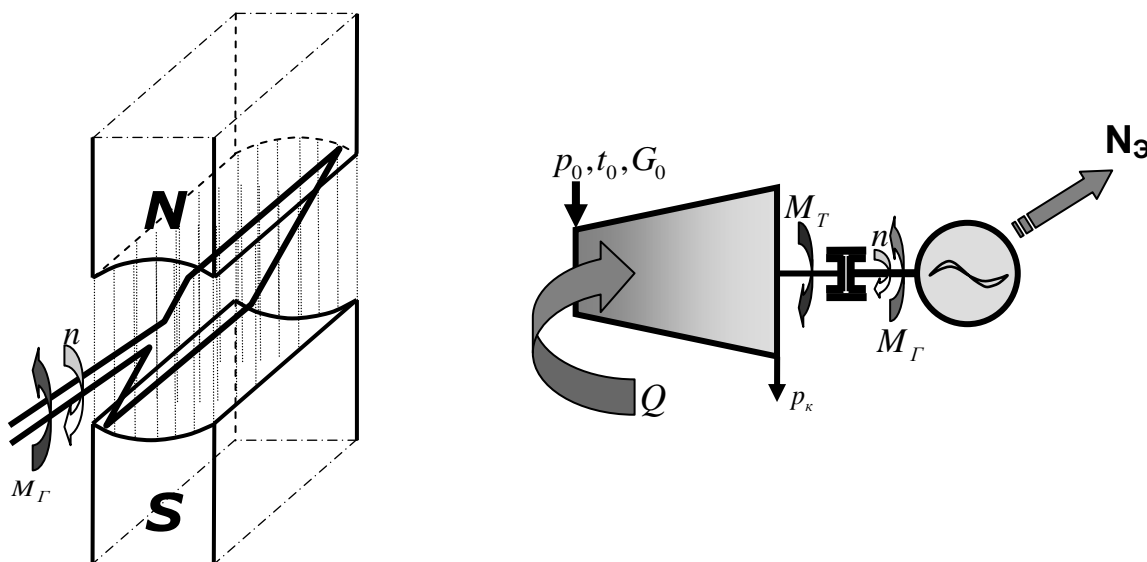


Рис. 2.1. К определению назначения турбины

По второму закону Ленца: на проводник, перемещающийся в магнитном силовом поле и по которому протекает электрический ток, действует сила направленная против движения. В связи с этим на валу генератора возникает крутящий момент ( $M_{Г}$ ), направленный в противоположную сторону вращению. Таким образом, для того, чтобы в рамке индуцировался электрический ток, необходимо приложить момент силы, который заставит вращаться рамку.

Аналогичным образом можно показать, что для того, чтобы различные вращающиеся устройства выполняли свои функции, к ним необходимо прикладывать извне соответствующий момент. Например, насос. Для того, чтобы насос перекачивал воду и создавал необходимое давление, к ротору насоса надо приложить определенное усилие (крутящий момент).

Для создания необходимого крутящего момента используются различные двигатели, в частности, тепловые. Возможны различные тепловые двигатели: поршневые машины, двигатели внутреннего сгорания, паротурбинные установки, газотурбинные установки. На тепловых электростанциях для привода электрических генераторов наибольшее распространение получили паротурбинные установки. В настоящее время происходит увеличение парка газотурбинных установок. Важнейшим агрегатом этих установок является паровая или газовая турбина. В термодинамическом цикле электростанции их функция одинакова; отличие заключается в виде рабочего тела: в паровых турбинах рабочим телом является водяной пар, в газовых – смесь продуктов сгорания с воздухом.

Паровая (газовая) турбина представляет собой тепловой двигатель *роторного* типа. Назначение турбины как элемента тепловой схемы цикла – непрерывный процесс преобразования потенциальной (тепловой) энергии рабочего тела – пара или газа – в механическую энергию вращения ротора.

Преимущества *паровых турбин* по сравнению с другими типами тепловых двигателей заключаются в следующем:

- получение непосредственно вращательного движения, которое чаще всего необходимо приводимому в движение механизму;
- возможность получения частоты вращения, одинаковой с частотой вращения электрогенератора;
- экономичность работы;
- большая концентрация единичных мощностей в одном агрегате. В настоящее время существуют паровые турбины мощностью 1350 МВт, считается возможным создание турбин мощностью 2000 МВт

Кроме того, *паротурбинные установки* имеют такие важные достоинства, как использование глубокого вакуума в конденсаторе, возможность применения любых видов топлива. Поэтому паровая турбина является основным типом теплового двигателя, служащего для привода электрического генератора ТЭС. Иногда на ТЭС используются газовые турбины.

*Классификация турбин.* Паровые турбины ТЭС и АЭС различаются по следующим основаниям.

1. По давлению свежего пара: турбины среднего давления – до 8,83 МПа (90 кг/см<sup>2</sup>), высокого давления – 12,75÷16,7 МПа (130÷170 кг/см<sup>2</sup>), сверхкритического давления – выше 22,15 МПа (225,5 кг/см<sup>2</sup>).

2. По способу расширения и действия рабочего тела: турбины активные и реактивные.

3. По направлению потока рабочего тела: турбины *осевые* (поток рабочего тела движется вдоль оси ротора) и *радиальные* (движение потока перпендикулярно оси ротора). В крупных паровых и газовых турбинах ТЭС и АЭС применяется осевое направление потока. Поэтому ниже рассматриваются только осевые турбины.

4. По числу корпусов, цилиндров: *однокорпусные* и *многокорпусные* турбины.

5. По состоянию пара – рабочего тела: турбины *перегретого пара* (применяются на ТЭС) и турбины *насыщенного пара (влажнопаровые)* – на АЭС.

6. По частоте вращения ротора: *тихоходные* турбины – на 25 Гц (1500 об/мин) и *быстроходные* – на 50 Гц (3000 об/мин). Турбины ТЭС – быстроходные; на АЭС применяются быстроходные и тихоходные турбины.

7. По назначению: *конденсационные* – для снабжения потребителей электроэнергией, и *теплофикационные* – одновременно удовлетворяющие внешних потребителей теплотой и электрической энергией.

*Обозначения паровых турбин.* Остановимся подробнее на типах турбин, различающихся назначением.

**Конденсационные** турбины предназначены для выработки механической энергии (снабжают потребителей электроэнергией), у них отсутствуют регулируемые отборы пара, отработавший пар отводится в конденсатор.

**Теплофикационные** турбины предназначены для снабжения потребителей электроэнергией и теплотой за счет отработавшего пара. К ним относятся турбины с противодавлением и турбины с регулируемыми отборами пара.

Для турбин *с противодавлением* расход отработавшего пара и его параметры задаются внешним тепловым потребителем. Поскольку графики потребления теплоты и электрической энергии не совпадают, турбина с противодавлением, работая изолированно, не может обеспечить потребителей электрической энергией в соответствии с нагрузкой. Поэтому турбины с противодавлением устанавливаются вместе с конденсационными турбинами.

Турбины *с регулируемыми отборами* пара могут работать по независимым графикам тепловой и электрической нагрузки. Регулируемым называется отбор пара, параметры которого поддерживаются в заданных пределах, независимо от условий работы турбины. Регулируемый отбор

пара из турбины, используемый для отопления и кондиционирования воздуха, называют *отопительным*. Регулируемый отбор, предназначенный для обеспечения паром технологических нужд производства, называют *производственным*.

Полное условное обозначение паровой турбины включает буквенную и цифровую части. Буквенная часть указывает тип турбины: **К** – конденсационная; **Р** – теплофикационная с противодавлением; **П** – теплофикационная с производственным отбором пара; **Т** – теплофикационная с отбором пара для нагрева воды на отопление; **ПТ** – теплофикационная с двумя регулируемыми отборами (производственным и отопительным); **ПР** – теплофикационная с противодавлением и производственным отбором пара; **ТР** – теплофикационная с противодавлением и отопительным отбором пара; **ПТР** – теплофикационная с противодавлением и производственным и отопительным отборами..

В цифровой части приводятся значения номинальной/максимальной мощности, МВт; начального давления/давления пара в отборе или противодавления пара, кгс/см<sup>2</sup>; для новых турбин давление приводится в МПа. Для турбин АЭС указывается частота вращения. Последняя цифра – номер заводской модификации турбины данного типоразмера.

Примеры условных обозначений паровых турбин:

К-500-240 – конденсационная турбина номинальной мощностью 500 МВт с начальным абсолютным давлением пара 240 кгс/см<sup>2</sup> (23,8 МПа);

ПТ-135/165-130/15 – теплофикационная турбина номинальной мощностью 135 МВт и максимальной 165 МВт с абсолютным начальным давлением пара 130 кгс/см<sup>2</sup> (12,8 МПа), имеющая отопительный отбор и производственный отбор при давлении 1,5 МПа (15 кгс/см<sup>2</sup>);

К-1000-60/1500-I – конденсационная турбина номинальной мощностью 1000 МВт, начальное давление пара 60 кгс/см<sup>2</sup> (5,9 МПа), частота вращения 1500 об/мин, первая заводская модификация этого типоразмера.

## 2.2. Устройство и принцип действия паровой турбины

Преобразование энергии пара в турбине происходит последовательно в два этапа. Сначала тепловая энергия пара преобразуется в процессе его расширения в соплах в кинетическую энергию потока пара, затем кинетическая энергия потока преобразуется на рабочих лопатках в механическую энергию вращения ротора.

Устройство паровой турбины на примере простейшей одноступенчатой турбины активного типа приведено на рис. 2.2.

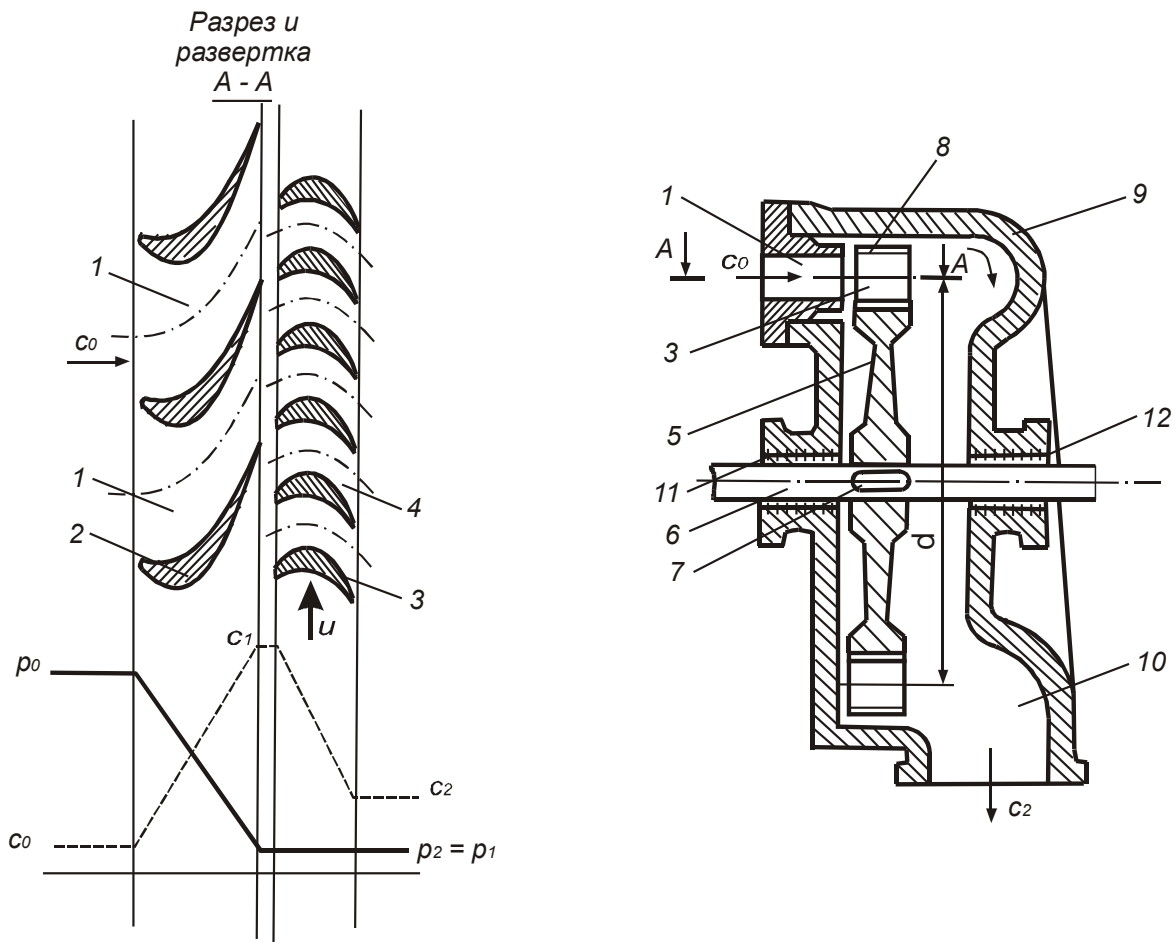


Рис.2.2. Схема работы пара в одноступенчатой активной турбине:  
 1 – сопла; 2 – сопловые лопатки; 3 – рабочие лопатки; 4 – рабочие каналы; 5 – диск;  
 6 – вал; 7 – осевая шпонка; 8 – бандажная лента; 9 – корпус турбины;  
 10 – выхлопной патрубок; 11, 12 – переднее и заднее концевые уплотнения турбины;  
 $d$  – средний диаметр ступени;  $p$  и  $c$  – давление и скорость пара

*Рабочее тело* поступает в *сопла*, закрепленные в корпусе, приобретает в них высокую скорость и направляется на криволинейные *рабочие лопатки*.

При повороте потока рабочего тела в каналах рабочих лопаток возникают усилия, вращающие *рабочее колесо* и связанный с ним вал. В турбинах электростанций вращение ротора с помощью муфты передается ротору электрогенератора, составляющего с турбиной единое целое. Комплекс этих агрегатов называют *турбоагрегатом*. Отработавший поток выходит из турбины через *выхлопной патрубок*.

В местах прохода вращающегося вала через корпус турбины устанавливают *концевые уплотнения* для уменьшения протечек пара (переднее уплотнение) и предотвращения подсоса воздуха (заднее уплотнение).

Современные мощные турбины выполняют *многоступенчатыми*, т.е. разбивают процесс расширения на ряд ступеней, в каждой из которых используется лишь часть энергии рабочего тела.

*Типичная паровая турбина тепловой электростанции* показана на рис. 2.3. Для того чтобы увидеть внутреннее устройство турбины, при ее изображении «вырезана» передняя верхняя четверть и показана лишь задняя часть кожуха.

Турбина состоит из трех *цилиндров* (ЦВД, ЦСД и ЦНД), нижние половины корпусов этих цилиндров обозначены соответственно 39, 24 и 18. Отдельные роторы цилиндров (ротор ЦВД 47, ротор ЦСД 5 и ротор ЦНД 11) жестко соединяются *муфтами* 31 и 21. К полумуфте 12 присоединяется полумуфта ротора электрогенератора (не показан), а к нему – ротор возбuditеля. Цепочка из собранных отдельных роторов называется *валопроводом*.

Валопровод вращается во вкладышах 42, 29, 23, 20, 16 опорных подшипников скольжения на тонкой масляной пленке и не касается металлической части вкладышей подшипников. Развиваемый паром на каждом из роторов вращающие моменты суммируются и достигают на полумуфте 12 максимального значения.

К каждому из роторов приложено осевое усилие. Они суммируются и результирующая осевая сила передается с гребня 30 на упорные сегменты, установленные в корпусе упорного подшипника.

При сверхкритических давлениях (выше 24 МПа) корпус ЦВД выполняют двухстенным, что уменьшает разность давлений на каждый из корпусов. При этом стенки его могут быть выполнены более тонкими, что при необходимости позволяет быстро изменять мощности турбины.

Для установки роторов при монтаже все корпуса имеют горизонтальные разъемы, плоскости которых совмещают. Ось валопровода помещают в плоскость разъема таким образом, чтобы она точно совпала с осью кольцевых расточек корпусов. Этим обеспечивается центровка, исключаются задевания ротора о статор, которые могут привести к тяжелой аварии.

Из соображений пожаробезопасности и сохранения свойств масла его температура не должна превышать 100 °С. Поэтому вкладыши подшипников вынесены из корпусов цилиндров и размещены в специальных опорах (поз. 45, 28, 7).

В местах прохода концов вала через корпуса цилиндров установлены концевые уплотнения (поз. 40, 32, 19).

При работе турбины пар из котла поступает через главную паровую задвижку к стопорным, а затем к регулирующим клапанам (чаще всего к четырем), на рис. 8.3 не показаны. От регулирующих клапанов пар по перепускным трубам 1 подводится в паровпускную камеру 33 внутреннего корпуса ЦВД. Из этой полости пар попадает в проточную часть турбины и, расширяясь, движется к выходной камере ЦВД 38. В этой камере в нижней половине корпуса ЦВД имеются два выходных патрубка 37. К ним приварены паропроводы, направляющие пар в котел для промежуточного перегрева.

Вторично перегретый пар через стопорный клапан и регулирующие клапаны 4 поступает в паровпускную полость ЦСД 26. Далее пар расширяется в проточной части ЦСД и поступает в его выходной патрубок 22, а из него – в две перепускные (ресиверные) трубы 6, которые подают пар в паровпускную камеру ЦНД 9. Попав в камеру 9, пар расходится на два одинаковых потока и, пройдя проточную часть ЦНД, поступает в выходные патрубки ЦНД 14. Из них пар направляется вниз в конденсатор.

Перед передней опорой 41 располагается блок регулирования и управления турбиной 44. Его механизм позволяет пускать, нагружать, разгружать и останавливать турбину.

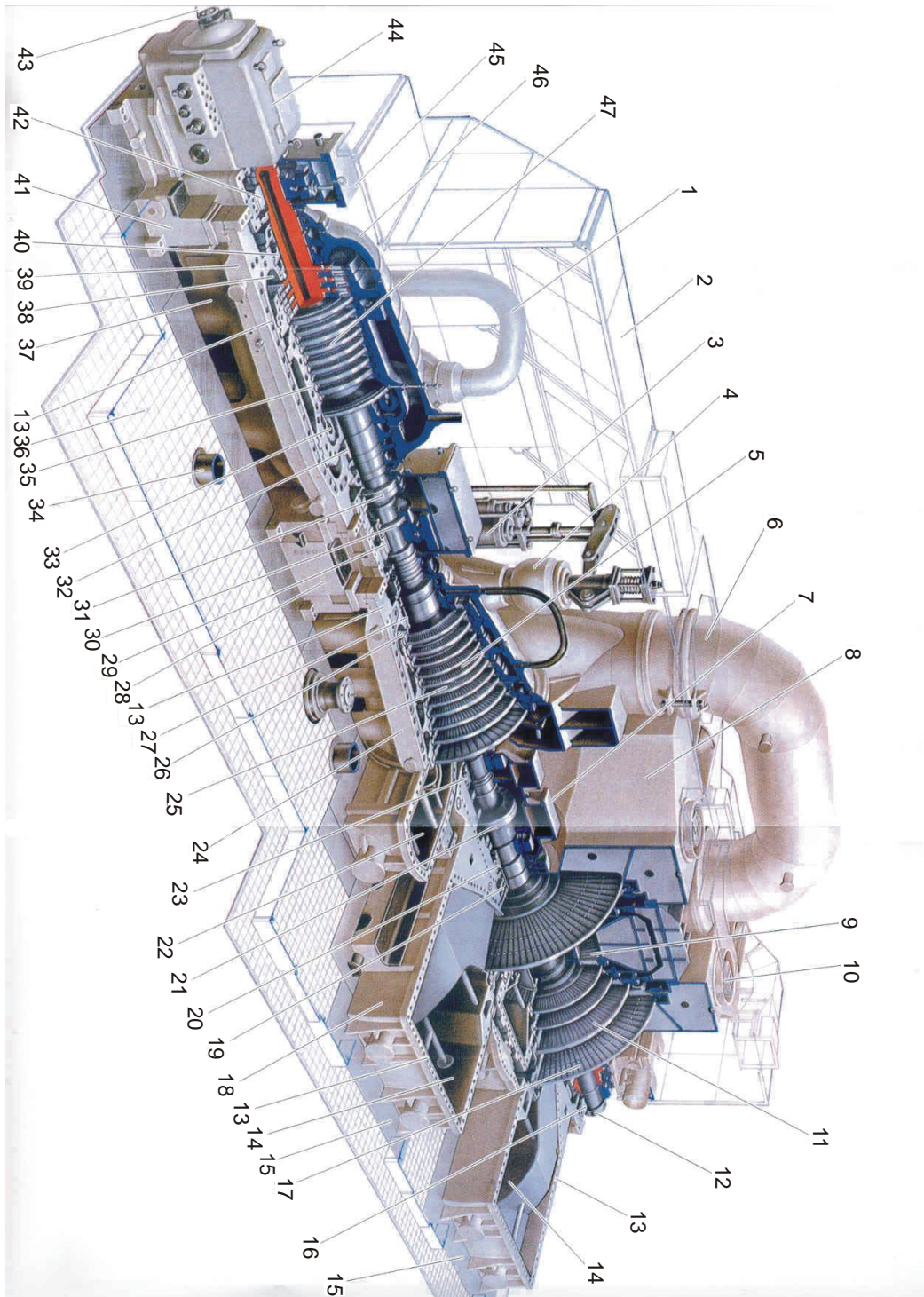


Рис. 2.3. Конструкция паровой турбины К-215-12,7

1 – труба подвода пара к ЦВД; 2 – кожух; 3 – сервомотор регулирующего клапана ЦСД; 4 – регулирующий клапан ЦСД; 5 – ротор ЦСД; 6 – ресиверная труба, перепускающая пар из ЦСД в ЦНД; 7 – опора ротора ЦНД; 8 – верхняя половина корпуса ЦНД; 10 – атмосферный клапан, открывающийся при недопустимом повышении давления в выхлопном патрубке ЦНД; 11 – ротор ЦНД; 12 – полумуфта для присоединения ротора электрогенератора; 13 – поверхности горизонтального разъема корпусов цилиндров; 14 – выходной патрубок ЦНД, из которого пар поступает в конденсатор, расположенный под турбиной; 15 – опорный пояс ЦНД; 16 – вкладыш задней опоры ЦНД; 17 – рабочие лопатки последней ступени ЦНД; 18 – нижняя половина корпуса ЦНД; 19 – заднее



концевое уплотнение ЦНД; 20 – вкладыш переднего опорного подшипника ЦНД; 21 – муфта, соединяющая роторы ЦСД и ЦНД; 22 – выходной патрубок ЦСД; 23 – вкладыш заднего опорного подшипника ЦСД; 24 – нижняя половина корпуса ЦСД; 25 – рабочие лопатки ротора ЦСД; 26 – паровпускная полость ЦСД; 27–28 – нижняя половина средней опоры валопровода; 29 – опорный вкладыш среднего подшипника; 30 – гребень упорного подшипника; 31 – муфта, соединяющая роторы ЦВД и ЦСД; 32 – заднее концевое уплотнение ЦВД; 33 – паровпускная камера для свежего пара; 34 – паропровод подвода пара к ЦВД (такой же, как 1); 35 – внутренний корпус ЦВД; 36 – верхняя фундаментная плита; 37 – выходной патрубок отвода пара из ЦВД на промежуточный перегрев; 38 – выходная камера ЦВД; 39 – нижняя; 40 – переднее концевое уплотнение ЦВД; 41 – нижняя половина корпуса передней опоры ЦВД; 42 – вкладыш переднего опорного подшипника ЦВД; 43 – механизм управления турбиной; 44 – блок регулирования и управления турбиной; 45 – передняя опора; 46 – верхняя половина внешнего корпуса ЦВД; 47 – ротор ЦВД

### 2.3. Преобразование энергии в турбинной ступени

Введем ряд понятий и определений, относящихся к устройству паровых турбин (рис.2.2). *Сопловая решетка* – кольцевой ряд неподвижных сопловых лопаток и образованных ими сопловых каналов. Сопловая решетка крепится в *статоре турбины*.

*Рабочая решетка* – совокупность рабочих лопаток и образованных ими рабочих каналов, вращающихся вместе с рабочим колесом. Рабочие решетки, как и сопловые, выполняются *кольцевыми*. Собственно каналы сопловых и рабочих решеток называют *проточной частью*.

Сверху рабочая решетка ограничена бандажной лентой, которая скрепляет лопатки в пакеты по 10 – 20 штук. Рабочая решетка крепится на ободе *диска* и вместе с диском образует *рабочее колесо*. Рабочее колесо и связанный с ним через шпонку вал составляют *ротор турбины*.

Преобразование энергии в турбинной ступени происходит в такой последовательности: вначале потенциальная (тепловая) энергия пара превращается в кинетическую энергию движущегося потока, затем кинетическая энергия потока пара превращается в механическую энергию (работу) вращения ротора турбины. Для того чтобы понять физический механизм преобразования, необходимо вспомнить основные законы механики (законы Ньютона) и правильно их использовать.

*Первый закон Ньютона:*

Если на движущееся тело не действует сила, то тело сохраняет равномерное прямолинейное движение. В реальном движении такой ситуации практически не бывает. Так на любой движущийся объект всегда действует какая-либо сила. Например, на автомобиль, движущийся по ровной горизонтальной дороге, действуют силы сопротивления воздуха, трения в подшипниках колес и т.д. Поэтому, чтобы двигаться с постоянной скоростью, даже в этом случае необходимо создавать силу работающим двигателем.

*Второй закон Ньютона:*

Для того чтобы происходило ускорения тела, необходимо приложить к нему силу. При этом сила равна массе тела умноженной на ускорение.

*Третий закон Ньютона:*

Сила действия равна силе противодействия.

Первый этап преобразования энергии в ступени связан с тем, что на частицы пара, находящиеся в каналах сопловой и рабочей решеток действует сила от перепада давления (на единицу площади проходного сечения канала она равна разности давлений перед и за соответствующим каналом). Эта сила заставляет ускоряться частицы пара, что приводит к росту кинетической энергии пара. По закону сохранения энергии это увеличение кинетической энергии происходит из-за превращения в нее другой энергии, а именно, тепловой и по величине равной располагаемой энергии на соответствующий канал. В сопловой решетке пар поворачивается на определенный угол в направлении движения рабочих лопаток.

Второй этап преобразования связан с тем, что кинетическая энергия превращается в механическую энергию вращения ротора ступени, что происходит на рабочих лопатках. Как известно, механическая работа есть сила умноженная на путь. В турбинной ступени перемещаются рабочие лопатки с линейной скоростью  $u$  (т.е. есть путь), а возникновение силы на рабочих лопатках связано со следующим механизмом (рис. 2.4). Зайдя на криволинейные рабочие лопатки, струя пара поворачивается в них. Чтобы происходил поворот струи пара, со стороны рабочих лопаток на него по всему пути следования действует сила. Поскольку сила действия равна силе противодействия, то с такой же силой струя пара воздействует на рабочие лопатки. Эта составляющая называется *активной*. Кроме этого, если поток ускоряется на рабочих лопатках, то сила, заставляющая пар ускоряться, по третьему закону Ньютона равна силе, с которой струя пара отталкивается от рабочих лопаток – *реактивная* составляющая парового усилия.

Результирующая сила воздействия струи пара на рабочие лопатки ( $R$ ) включает в себя как активную, так и реактивную составляющие. Если разложить эту силу на две составляющие  $R_u$  (проекция результирующей силы на направление движения рабочих лопаток) и  $R_a$  (проекция  $R$  на направление оси вращения), то можно сказать, что сила  $R_u$  есть сила, совершающая работу, а сила  $R_a$  стремится сдвинуть лопатки в осевом направлении.

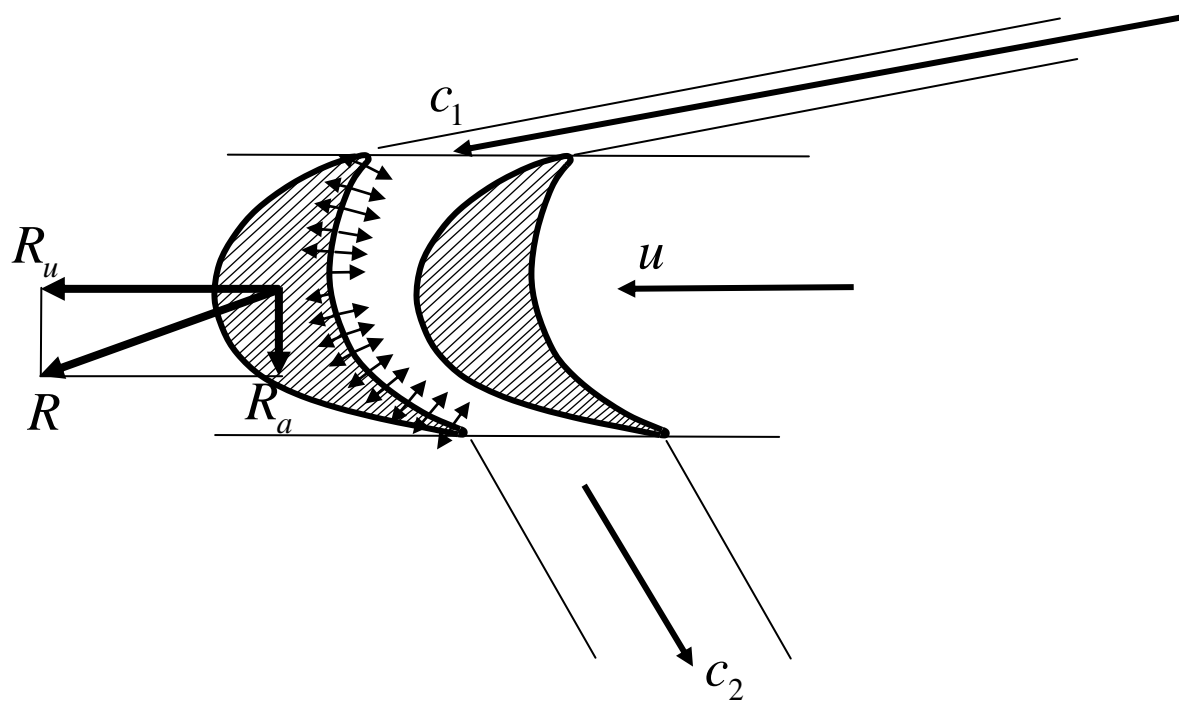


Рис. 2.4. Механизм возникновения сил, действующих на рабочие лопатки

### 3. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

#### 3.1. Типы тепловых электрических станций

Электрическая станция – совокупность установок и оборудования, используемых для производства электрической энергии и теплоты, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на определенной территории. Наиболее распространены *паротурбинные* тепловые электрические станции (ТЭС), использующие теплоту сжигаемого в котлах органического топлива. Электрическая энергия на ТЭС вырабатывается генератором с приводом от паротурбинной установки.

Различают *конденсационные* электрические станции (КЭС), предназначенные для производства только электрической энергии, и *теплоэлектроцентрали* (ТЭЦ), которые производят электрическую энергию и теплоту.

На КЭС отработанный пар поступает в конденсатор, где поддерживается низкое давление и где пар конденсируется, отдавая в конечном итоге теплоту в окружающую среду. На ТЭЦ отработанный пар используют полностью или частично для отпуска теплоты потребителю (в виде пара или горячей воды), потери теплоты в окружающую среду при этом сокращаются. Мощность ТЭЦ составляет около 40 % мощности всех ТЭС, доля же выработанной энергии – около 35 %.

*По виду используемого топлива* различают угольные, мазутные, газовые и газомазутные ТЭС, при использовании ядерного горючего – атомные электрические станции (АЭС).

*По начальным параметрам пара* различают ТЭС с докритическим давлением пара ( $p_0 \leq 13$  МПа) и сверхкритическим давлением ( $p_0 = 23,5$  МПа); внедряются ТЭС на суперсверхкритические параметры ( $p_0$  до 30 МПа).

*По типу котельного агрегата* бывают ТЭС при докритических параметрах с барабанными котлами с естественной циркуляцией, на ТЭЦ они находят преимущественное применение. Прямоточные котлы применяют на электростанциях с критическим и сверхкритическим давлением пара.

*В соответствии с технологической структурой* различают блочные и неблочные ТЭС. При блочной схеме каждая турбина снабжается паром только от своего котла, между блоками связей по пару и по питательной воде нет. Система «котел – турбина» называется *энергоблоком*. Неблочные ТЭС имеют общие для всех котлов магистрали перегретого пара и питательной воды.

*В зависимости от роли станции* в покрытии графика электрических нагрузок различают базовые, полубазовые, полупиковые, пиковые.

Если АЭС предназначена только для выработки электрической энергии, то ее называют просто АЭС; если АЭС предназначена для выработки электроэнергии и отпуска большого количества тепла потребителям, то ее назы-

вают *атомной теплоэлектроцентралью* (АТЭЦ); если атомная станция отпускает только тепло потребителям, то это *атомная станция теплоснабжения* (АСТ).

### 3.2. Тепловые схемы ТЭС

*Тепловая схема* является техническим воплощением термодинамического цикла. На тепловых схемах приводятся только взаимосвязанные агрегаты и оборудование тракта рабочего тела (на паротурбинных ТЭС – пароводяного тракта). Ниже рассмотрены *принципиальные* тепловые схемы ТЭС, на них не приводится резервное и однотипное оборудование, дублирующие линии, вспомогательное оборудование. Линии на тепловых схемах означают трубопроводы, транспортирующие рабочее тело.

Рассмотрим основные элементы тепловых схем, показанных на рис. 2.1, 2.2. *Паровой котел* – предназначен для генерации пара, который получается из питательной воды за счет теплоты сжигаемого топлива; *стопорно-регулирующие клапаны* (СРК) – *стопорный клапан* (СК) аварийно останавливает турбину, *регулирующие* (парораспределительные) *клапаны* (РК) – для изменения расхода пара на турбину и ее мощности; *ЦВД, ЦСД, ЦНД* – цилиндры высокого, среднего, низкого давления, где размещены ступени турбины, в которых происходит преобразование потенциальной энергии пара в механическую; *промежуточный пароперегреватель* предназначен для промежуточного перегрева пара, подробнее см. п. 3.3.2 первой части пособия; *отсечной клапан* ЦСД (ОК) прекращает поступление пара из пароперегревателя в ЦНД при аварийной остановке турбины и предотвращает тем самым повышение числа оборотов ротора турбины из-за поступления пара из пароперегревателя, ОК закрывается одновременно со стопорным клапаном; *электрогенератор* – в нем механическая энергия превращается в электрическую, он приводится во вращение турбиной; *конденсатор* поддерживает низкое давление на выхлопе турбины вследствие конденсации пара (резко уменьшается удельный объем, например от 30 м<sup>3</sup>/кг до 0,001 м<sup>3</sup>/кг, последняя цифра – удельный объем воды), пар при конденсации отдает тепло охлаждающей воде, прокачиваемой циркуляционными насосами, в конденсаторе собирается образующийся конденсат; *конденсатный насос первой ступени* прокачивает конденсат из конденсатора через БОУ (давление воды в фильтрах БОУ ограничено); БОУ – *блочная очистительная установка*, удаляет из конденсата соли, которые попадают в него вместе с присосами охлаждающей воды через неплотности креплений трубок конденсатора в трубных досках; *конденсатный насос второй ступени* подает поток основного конденсата через *подогреватели низкого давления* (ПНД) в деаэратор, давление воды сравнительно невысокое; *охладитель пара уплотнений* – подогревает поток основного конденсата паром из концевых уплотнений турбины, установленных в местах выхода вала из корпуса; ПНД осуществляют регенеративный

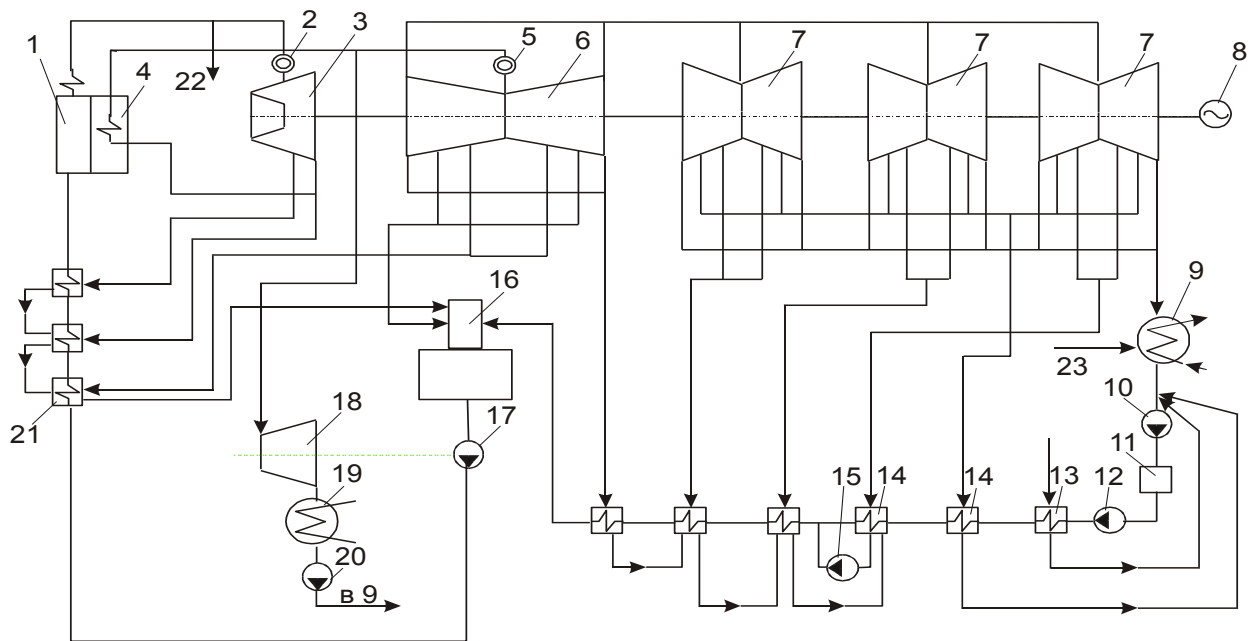


Рис. 3.1. Тепловая схема конденсационного блока КЭС

1 – паровой котел; 2 – стопорно-регулирующие клапаны; 3 – ЦВД турбины; 4 – промежуточный перегреватель пара; 5 – отсечной клапан ЦСД; 6 – ЦСД турбины; 7 – ЦНД турбины; 8 – электрогенератор; 9 – конденсатор; 10 – конденсатный насос 1 ступени; 11 – БОУ; 12 – конденсатный насос 2 ступени; 13 – охладитель пара уплотнений; 14 – подогреватель низкого давления; 15 – дренажный насос; 16 – деаэратор; 17 – питательный насос; 18 – турбопривод питательного насоса; 19 – конденсатор отработавшего пара приводной турбины; 20 – насос; 21 – подогреватели высокого давления; 22 – утечки пара; 23 – подача добавочной воды

подогрев потока основного конденсата паром отборов (см. цикл с регенерацией в первой части пособия); *дренажный насос* подает конденсат греющего пара из ПНД в линию основного конденсата; *деаэратор* предназначен для удаления газов из питательной воды, вода в нем нагревается до состояния насыщения (кипения); *питательный насос* подает питательную воду из деаэратора через *регенеративные подогреватели высокого давления* (ПВД) в паровой котел, давление воды высокое; *турбопривод питательного насоса* – специальная турбина для привода питательного насоса, имеет переменное число оборотов для изменения подачи и напора, турбина имеет свой *конденсатор*, последний имеет свой *конденсатный насос* для перекачки конденсата в главный конденсатор; *ПВД* предназначены для подогрева питательной воды паром отборов для целей регенерации. Дополнительные элементы на схеме ТЭЦ: *регулирующий орган производственного отбора* поддерживает (с помощью системы регулирования) постоянным давление, заданное регулятору давления; *регулирующий орган отопительного отбора* выполняет аналогичную функцию у отопительного отбора; *охладитель основного эжектора* подогревает поток конденсата из конденсатора; воздух не конденсируется и его следует удалять из конденсатора (для поддержания в конденсаторе нужного вакуума), *эжектор* отсасывает паровоздушную смесь из конденсатора с помощью рабочего пара из деаэратора, пар указанных потоков и является греющей средой для потока основного

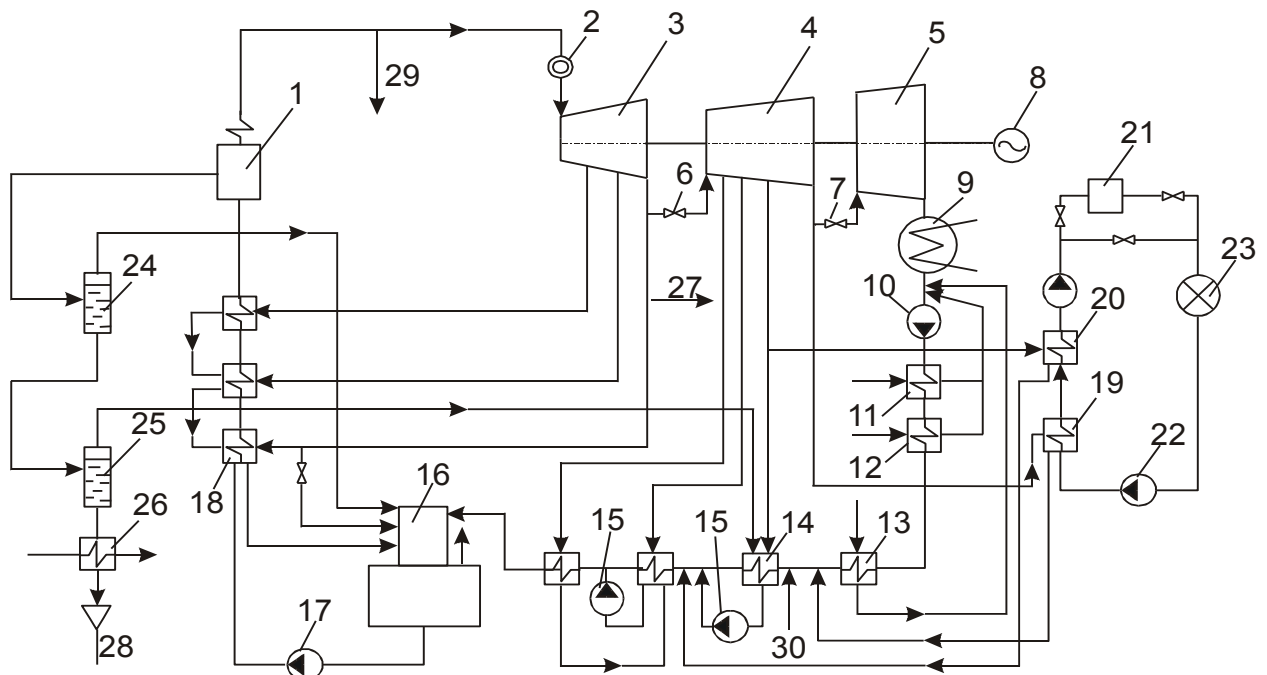


Рис. 3.2. Тепловая схема теплофикационной турбоустановки:  
 1 – паровой котел; 2 – стопорно-регулирующие клапаны; 3, 4, 5 – соответственно ЦВД, ЦСД, ЦНД турбины; 6 – регулирующий орган производственного отбора; 7 – регулирующий орган отопительного отбора; 8 – электрогенератор; 9 – конденсатор; 10 – конденсатный насос; 11 – охладитель основного эжектора; 12 – сальниковый подогреватель; 13 – охладитель пара уплотнений; 14 – подогреватели низкого давления; 15 – дренажные насосы; 16 – деаэратор; 17 – питательный насос; 18 – подогреватели высокого давления; 19 – нижний сетевой подогреватель; 20 – верхний сетевой подогреватель; 21 – пиковый водогрейный котел; 22 – сетевой насос; 23 – тепловые потребители; 24, 25 – первая и вторая ступени расширителя непрерывной продувки котла; 26 – охладитель продувки; 27 – отпуск пара технологическим потребителям; 28 – отвод концентрата продувки в канализацию; 29 – утечки пара; 30 – подача добавочной воды

конденсата в охладителе эжектора; *нижний и верхний сетевые подогреватели* осуществляют двухступенчатый подогрев сетевой воды, причины применения двухступенчатого подогрева см. в п. 8.14; *пиковый водогрейный котел* (ПВК) предназначен для покрытия пика отопительной нагрузки; *расширители непрерывной продувки* котлов уменьшают потери теплоты и теплоносителя при продувке.

На рис.3.1 представлена принципиальная тепловая схема мощного блока конденсационной электростанции, работающего на сверхкритических параметрах с промежуточным перегревом пара. ЦВД турбины имеет двухстенный корпус, ЦСД выполнен двухпоточным, ЦНД – шестипоточным. Энергоблок имеет развитую систему регенерации, включающую три подогревателя высокого давления, деаэратор и пять подогревателей низкого давления. Питательный насос имеет приводную турбину, в которой расширяется пар основной турбины после промежуточного перегрева.

Принципиальная тепловая схема *теплоэлектроцентрали* с трехцилиндровой турбиной, имеющей два регулируемых отбора пара (производ-

ственный и отопительный), представлена на рис.3.2. Энергетический паровой котел барабанного типа работает на докритических параметрах пара. Регулирующие органы 6 и 7 турбины поддерживают заданное давление в отборах для отпуска теплоты потребителям. Отпуск теплоты на отопление происходит от двух отборов, питающих паром верхний и нижний сетевые подогреватели, в которых нагревается сетевая вода. При максимальных отопительных нагрузках в работу включается пиковый водогрейный котел 21. Из барабана котла осуществляется непрерывный отвод части воды с наибольшей концентрацией примесей (продувка). Для сокращения потерь теплоты и рабочего тела применен двухступенчатый расширитель непрерывной продувки 24, 25. Для восполнения потерь пара и конденсата на производстве, а также компенсации потерь с концентратом продувки 27 и утечками 28 подается добавочная вода по линии 29.

### 3.3. Способы повышения тепловой экономичности ТЭС

Рассматриваемы методы повышения тепловой экономичности тепловых электростанций, направлены на повышение КПД термодинамического цикла, лежащего в основе работы ТЭС. Они определяют уровень совершенства строящихся и построенных ТЭС. Возможность с их помощью повышать экономичность действующих станций практически отсутствует, т.к. это будет связано с заменой или существенной реконструкцией основного оборудования. Рассмотрение этих методов дает ответ на вопрос, почему тепловые электрические станции развивались так, а не иначе, каковы направления развития в будущем и какие показатели имеют сравниваемые станции?

Для повышения термодинамической эффективности могут быть использованы следующие методы:

- ✓ повышение начальных параметров;
- ✓ применение промежуточного перегрева;
- ✓ регенеративный подогрев питательной воды;
- ✓ понижение конечного давления.

Комбинированное производство энергии так же является методом повышения тепловой экономичности.

#### 3.3.1. Повышение начальных параметров

Начальные параметры пара определены перед стопорным клапаном турбины. Повышение начальной температуры ( $t_0$ ) и начального давления ( $p_0$ ) приводит к увеличению термического КПД цикла (рис.3.3).



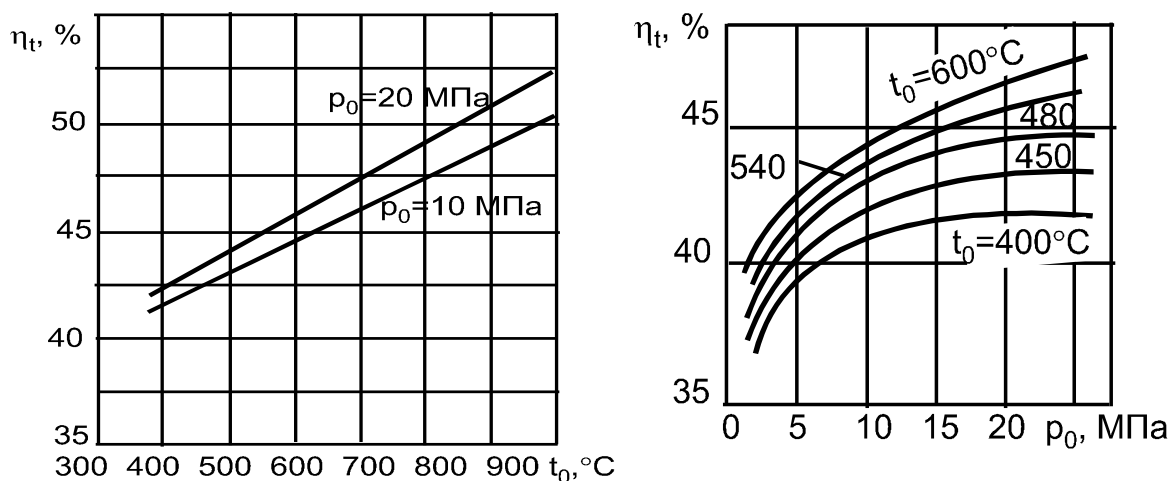


Рис. 3.3. Влияние начальных температуры и давления на экономичность цикла

Повышение начальной температуры приводит к увеличению степени сухости пара в конце процесса расширения в турбине – это положительный фактор. Повышение начального давления наоборот ведет к уменьшению конечной степени сухости – это отрицательный фактор. Более того, для надежной работы лопаток последней ступени турбины конечная степень сухости не должна быть меньше 14%. Например, при  $t_0 = 540^\circ\text{C}$  такая влажность достигается при  $p_0 = 13$  МПа, иными словами при такой начальной температуре повышение начального давления выше 13 МПа приведет к быстрому выходу из строя турбины.

### 3.3.2. Промежуточный перегрев пара

Вначале применение промежуточного перегрева пара было предложено как метод борьбы с недопустимой конечной влажностью в процессе расширения пара в турбине при повышении начального давления. Анализ термодинамического цикла с промежуточным перегревом пара показал, что его применение приводит к увеличению термического КПД.

Введение промежуточного перегрева пара вызывает изменения в цикле и схеме паротурбинной установки (рис. 3.4).

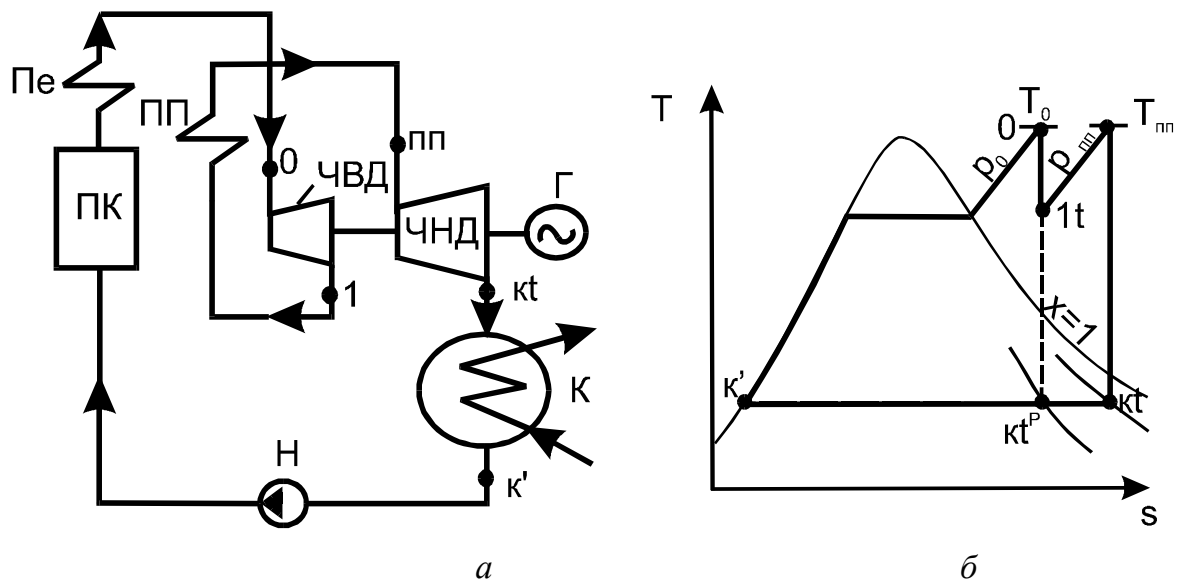


Рис. 3.4. Паротурбинная установка с промежуточным перегревом пара а – схема; б – цикл в Ts-диаграмме:

ПК – паровой котел; Пе – пароперегреватель; ПП – промежуточный перегреватель пара; ЧВД, ЧНД – части высокого и низкого давления турбины; К – конденсатор; Н – насос; Г – электрогенератор

В этой установке турбина, механически связанная с электрическим генератором, выполняется из двух отдельных частей – части высокого давления (ЧВД) и части низкого давления (ЧНД). В ЧВД пар адиабатно расширяется до давления  $p_{пп}$  и совершает работу, равную действительному теплоперепаду ЧВД –  $H_i^{ЧВД}$ . Затем пар направляется для повторного перегрева в промежуточный перегреватель, где получает теплоту  $q_{пп} = \Delta h_{пп}$  и после этого поступает в ЧНД, в котором адиабатно расширяется до давления  $p_k$  в конденсаторе, совершая при этом работу, равную действительному теплоперепаду ЧНД  $H_i^{ЧНД}$ . Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, где конденсируется в процессе отвода тепла. Конденсат насосом подается в котел, где за счет сжигания топлива рабочему телу передается тепло  $q_0$ , за счет чего вода превращается в насыщенный пар, который перегревается и поступает в турбину. Таким образом, суммарное количество тепла, подведенного к рабочему телу в цикле, составит

$$q_1 = q_0 + q_{пп} = q_0 + \Delta h_{пп}.$$

На рис. 3.5 приведена зависимость изменения отношения термических КПД циклов с промежуточным перегревом пара и обычного цикла Ренкина при одинаковых начальных и конечных параметрах ( $\eta_i^{пп} / \eta_i^P$ ) от давления в промежуточном перегревателе  $p_{пп}$ . При определенном значении  $p_{пп}$ , называемом *оптимальным*, КПД имеет наибольшее значение.

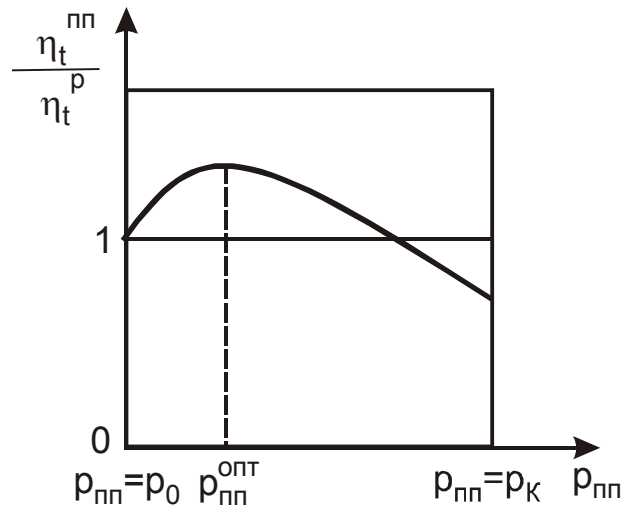


Рис. 3.5. Зависимость относительного прироста термического КПД цикла с промежуточным перегревом пара от давления в промежуточном перегревателе

По технико-экономическим соображениям оптимальное давление одноступенчатого промежуточного перегрева составляет  $p_{\text{пп}} = (0,15 \div 0,20) \cdot p_0$ . Температура промежуточного перегрева обычно равна начальной ( $t_{\text{пп}} = t_0$ ).

Относительное изменение КПД за счет применения промежуточного перегрева пара составляет:

$$\Delta \eta = \frac{\eta_t^{\text{пп}} - \eta_t^p}{\eta_t^p} = (0,04 \div 0,06).$$

Абсолютное увеличение КПД за счет промперегрева составляет величину  $1,7 \div 2,8\%$ . Следует отметить, что это достигается за счет существенного увеличения капиталовложений (стоимость дополнительных паропроводов от ЧВД турбины до котла и от котла к ЧНД турбины, стоимость дополнительной поверхности нагрева в котле, увеличение стоимости турбины, т.к. входная область ЧНД будет работать при более высокой температуре, что требует применения высококачественных сталей, и стоимость дополнительной арматуры) и усложнения режимов эксплуатации (особенно пуско-остановочных).

Возможно применение многократного промежуточного перегрева. Каждая дополнительная ступень перегрева связана с потерей давления пара, дополнительной стоимостью и усложнением установки.

### 3.3.3. Регенеративный подогрев питательной воды

Для повышения экономичности цикла паротурбинной установки необходимо увеличивать среднюю температуру подвода теплоты в цикле. Поэтому большое значение имеет повышение температуры питательной воды, т.е. температуры, с которой начинается подвод теплоты в цикле.

Этого можно достичь, если применить принцип регенерации теплоты (рис.3.6).

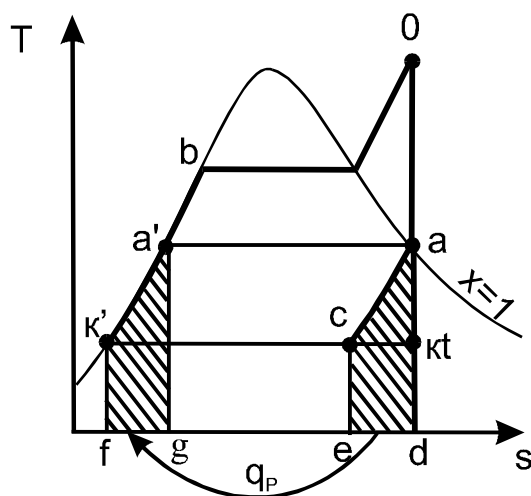


Рис. 3.6. Регенеративный цикл паротурбинной установки в Ts-диаграмме

В данном случае под регенерацией понимают использование теплоты рабочего тела, совершившего в цикле механическую работу, на другом участке цикла. Для осуществления регенерации необходимо, чтобы в цикле имелись участки, на которых подвод и отвод теплоты производились бы в одинаковых температурных условиях.

Рассматривая изображение цикла Ренкина в Ts-диаграмме, можно установить, что наиболее подходящим для осуществления регенерации является участок нагрева питательной воды (линия  $k'-b$ ). Для регенерации теплоты необходимо провести расширение пара по адиабате только до точки  $a$  (процесс  $0-a$ ), а затем – по политропе  $a-c$ , эквидистантной линии нагрева воды  $k'-b$ , и всю выделившуюся при этом теплоту (площадь  $a-d-e-c-a$ ) передать в идеальном теплообменнике воде (площадь  $a'-g-f-k'-a'$ ). В результате к питательной воде на участке  $k'-a'$  будет подведена теплота  $q_p$ . Таким образом, выгода от применения регенерации заключается, во-первых, в снижении термодинамической необратимости процесса подвода теплоты на участке  $k'-k$ , во-вторых, в снижении потерь теплоты, поскольку в цикле с регенерацией отводимая в холодном источнике теплота (площадь  $c-e-f-k'-c$ ) меньше, чем в цикле Ренкина (площадь  $kt-d-f-k'-kt$ ).

На практике такую идеальную регенерацию осуществить не удастся, но в несколько ином виде регенеративный подогрев воды применяется очень широко, так как позволяет существенно увеличить экономичность цикла.

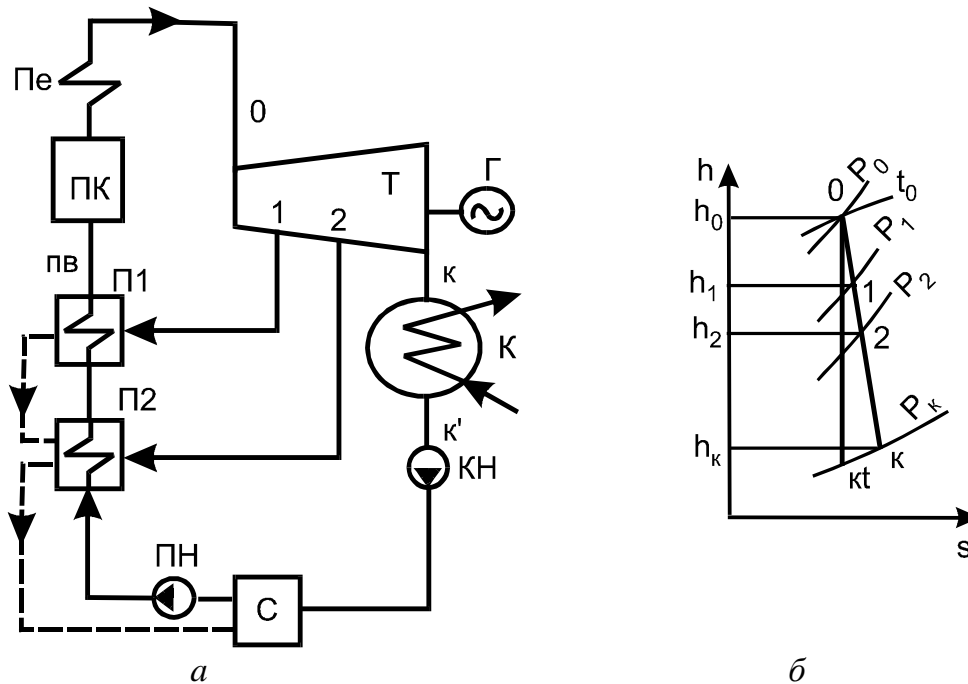


Рис. 3.7. Паротурбинная установка с регенеративным подогревом питательной воды

*a* – схема; *б* – процесс расширения пара в турбине в  $hs$ –диаграмме:

В реальных паротурбинных установках с регенеративным подогревом питательной воды (РППВ) принцип регенерации реализуется путем подогрева питательной воды в регенеративных пароводяных подогревателях, в которые поступает пар, отбираемый из турбины. Принципиальная схема паротурбинной установки с двумя отборами пара на регенеративный подогрев питательной воды приведена на рис. 3.7,а.

Из пароперегревателя котла пар поступает в турбину. Из 1 кг пара, поступившего от котла, через первый отсек турбины (0–1) проходит весь пар. Расширяясь до давления  $p_1$ , он совершает удельную работу  $l_1 = h_0 - h_1$ . После расширения в первом отсеке турбины некоторая доля от 1 кг пара  $\alpha_1$  с энтальпией  $h_1$  отбирается к подогревателю П1, где отдает свою теплоту питательной воде и конденсируется. В приведенной на схеме установке применены регенеративные подогреватели поверхностного типа, вода проходит внутри трубок, пар конденсируется снаружи. Пунктиром показан отвод из подогревателей конденсата греющего пара (дренажа). Во втором отсеке турбины (1–2) оставшее количество пара  $(1 - \alpha_1)$  расширяется до давления  $p_2$  и совершает удельную работу  $l_{11} = (1 - \alpha_1)(h_1 - h_2)$ . После расширения от него отбирается в подогреватель П2 доля пара  $\alpha_2$  с энтальпией  $h_2$ . Оставшиеся  $\alpha_k = (1 - \alpha_1 - \alpha_2)$  пара расширяются в третьем отсеке турбины до конечного давления  $p_k$ , совершают удельную работу  $l_k = \alpha_k(h_2 - h_k)$  и поступают в конденсатор. Далее с помощью конденсатного и питательного насосов вода, нагреваясь в смесителе и регенеративных подогревателях, подается в котел.

Вода последовательно нагревается в смесителе за счет теплоты конденсата отборного пара из П1 и П2, а затем в регенеративных подогревателях. На выходе из П1 ее температура близка к температуре насыщения  $t_{н1}$  при давлении  $p_1$ , а в установке со смешивающими подогревателями равна  $t_{н1}$ .

Таким образом, по сравнению с циклом Ренкина вода на входе в котел имеет значительно более высокую температуру, и тепло, которое необходимо подвести к 1 кг рабочего тела в котле, значительно меньше.

Учитывая, что при отсутствии регенерации в конденсатор поступает весь расход пара, подаваемый на турбину ( $\alpha_k = 1$ ), получаем, что в турбоустановке с регенерацией, приведенной на рис.3.7,а, расход пара в конденсатор  $\alpha_k = (1 - \alpha_1 - \alpha_2)$  меньше, чем в установке без регенерации. Следовательно, меньше и потеря теплоты в конденсаторе.

На рис. 3.8 показаны кривые относительного повышения термического КПД цикла в зависимости от температуры воды и числа ступеней подогрева  $z$  при равномерном распределении подогрева воды.

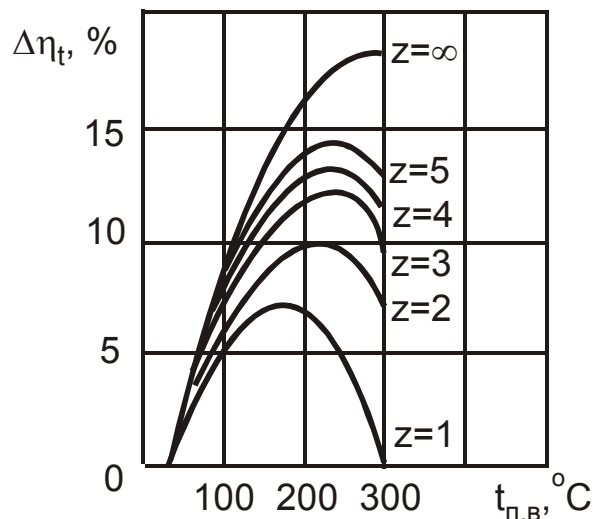


Рис.3.8.Зависимость прироста термического КПД цикла ПТУ с РППВ от температуры питательной воды  $t_{п.в}$  и числа ступеней РППВ  $z$

Из этого графика следует:

1. Чем больше число отборов и подогревателей ( $z$ ), тем выше КПД цикла.
2. Максимум КПД достигается при оптимальном значении температуры питательной воды для установки с заданным  $z$ .
3. С увеличением числа ступеней РППВ оптимальная температура питательной воды увеличивается.
4. С увеличением числа  $z$  прирост термического КПД замедляется. Каждый последующий отбор оказывает все меньшее влияние на повышение КПД.

На практике в энергетических ПТУ применяют 7–8 ступеней регенеративного подогрева питательной воды, что позволяет повысить термический КПД ПТУ на 15–17 % (относительных).

### 3.3.4. Понижение конечного давления

Сравним три цикла Ренкина (рис.9.16) с разными значениями давления пара в конденсаторе ( $p_k$ ,  $p_k^I$  и  $p_k^{II}$ ). Поскольку в области влажного пара изотермы совпадают с изобарами, то чем ниже  $p_k$ , тем ниже температуры пара в конденсаторе  $t_k$ . Это ведет к росту термического КПД  $\eta_t^P$ , так как уменьшаются потери теплоты в цикле (площадь под кривой процесса  $kt-k'$  отвода теплоты в конденсаторе уменьшается при снижении  $p_k$ ).

Одновременно увеличивается доля теплоты, превращенной в полезную работу цикла (площадь, ограниченная кривой цикла  $0-kt-k'-0$ ).

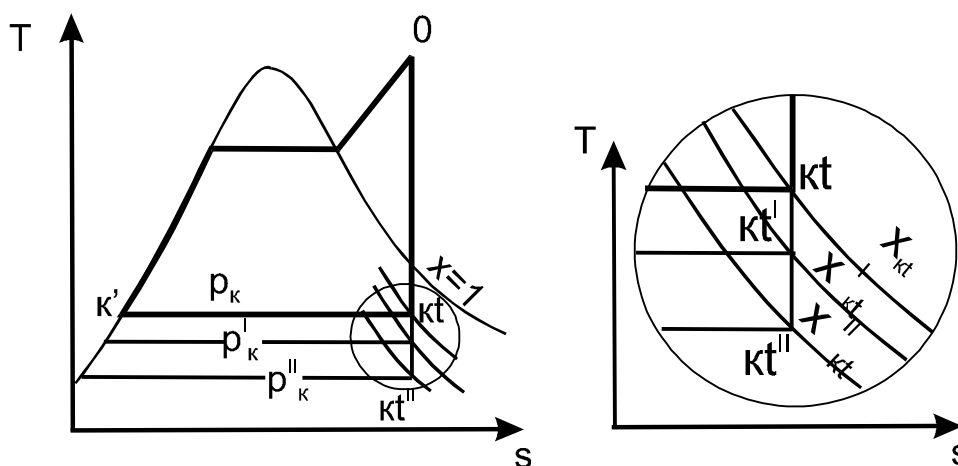


Рис. 3.9. Цикл Ренкина при различных давлениях пара в конденсаторе

$$T_0 = \text{const}, \quad p_0 = \text{const}, \quad p_k^{II} < p_k^I < p_k$$

На рис. 3.10 показана зависимость термического КПД цикла Ренкина от конечных параметров в цикле.

С другой стороны, с понижением давления за турбиной увеличивается влажность пара в конце процесса расширения в турбине (на рис.3.9 показано уменьшение степени сухости  $x_{kt}$ ), что приводит к увеличению потерь энергии в турбине и снижению её относительного внутреннего КПД  $\eta_{oi}$ . Кроме того, высокая влажность приводит к интенсивному эрозионному износу деталей последних ступеней турбины.

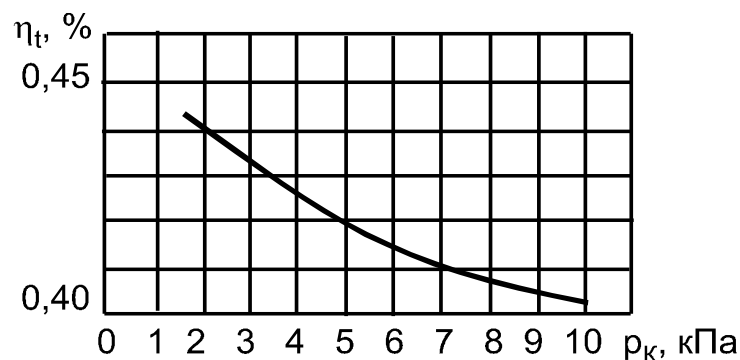


Рис. 3.10. Зависимость КПД  $\eta_t$  цикла Ренкина от конечного давления

Давление за турбиной, равное давлению пара в конденсаторе, определяется температурой охлаждающей воды. Среднегодовая температура охлаждающей воды на входе в конденсатор составляет приблизительно  $10 \div 15^\circ\text{C}$ . Из конденсатора она выходит нагретой до  $20 \div 25^\circ\text{C}$ . Пар может конденсироваться только в том случае, если обеспечен отвод выделяющейся при конденсации теплоты, а для этого нужно, чтобы температура пара в конденсаторе  $t_k$  была больше температуры охлаждающей воды хотя бы на  $5 \div 10^\circ\text{C}$ . Поэтому температура насыщенного пара  $t_k$  составляет обычно  $25 \div 35^\circ\text{C}$ , а абсолютное давление этого пара  $p_k$  соответственно  $3 \div 5$  кПа. Дальнейшее понижение давления в конденсаторе практически невозможно из-за отсутствия естественных охладителей с более низкой температурой.

Необходимо также считаться с ростом капитальных вложений при попытках приблизить температуру пара в конденсаторе к температуре охлаждающей воды. С понижением  $p_k$  растет удельный объем пара в конце процесса расширения в турбине, что приводит к увеличению размеров последних ступеней турбины и конденсатора.

### 3.4. Деаэрация воды на ТЭС. Деаэраторы

Деаэрацией называется процесс удаления из воды растворенных в ней газов. В воде могут присутствовать кислород ( $\text{O}_2$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), углекислота ( $\text{CO}_2$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ) и другие газы. Газы  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  и частично  $\text{CO}_2$  растворяются в воде при контакте с воздухом. Основная часть  $\text{CO}_2$  и весь  $\text{NH}_3$  образуются при химической обработке воды.

Присутствие в воде газов вредно: они скапливаются в застойных участках теплообменников и ухудшают условия теплообмена. Наиболее опасны коррозионно-активные газы  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$ . Источниками попадания газов в питательную воду являются присосы воздуха в элементах тепловой схемы, находящихся под вакуумом (конденсатор, вакуумные отборы и подогреватели). Кроме того, добавочная вода, может содержать карбонатные и бикарбонатные соли, выделяющие при высокой температуре  $\text{CO}_2$ . Пра-



вилами технической эксплуатации установлены нормы содержания  $O_2$  в питательной воде – 20 мкг/кг для установок с давлением 4,0 – 10,0 МПа и 10 мкг/кг – с давлением выше 10,0 МПа.

Для обеспечения допустимых концентраций газов в питательной воде, добавочной воде котлов и подпиточной воде теплосети на ТЭС предусматривается деаэрация воды. Основным способом освобождения воды от растворенных в ней газов является *термическая деаэрация*. Она базируется на законе *Дальтона – Генри*, по которому концентрация газа, растворенного в воде, пропорциональна давлению этого газа над поверхностью воды (для смеси газов – пропорциональна *парциальному* давлению каждого газа). При кипении воды парциальное давление газов над поверхностью жидкости падает: газы оттесняются водяными парами, образующимися над поверхностью воды, – газы из воды выделяются.

Изменение содержания кислорода в воде в зависимости от ее температуры при различных давлениях показано на рис. 3.11.

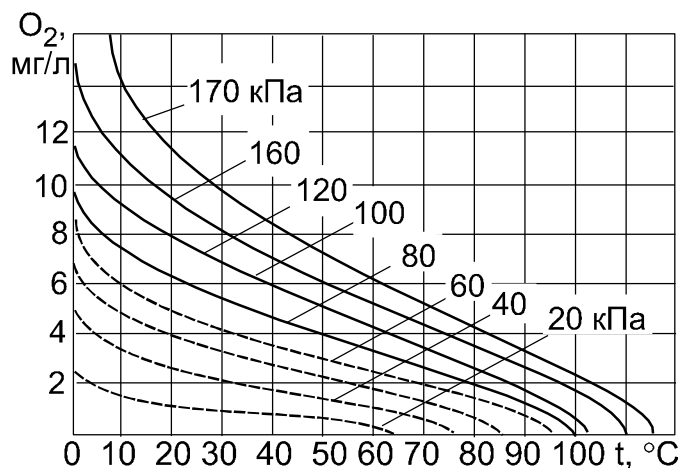


Рис. 3.11. Содержание кислорода в воде в зависимости от температуры

*Основные условия деаэрации:* вода должна находиться в состоянии кипения; для увеличения скорости выхода газов надо обеспечить большую поверхность выхода, для этого воду необходимо разбивать на струи, пленки, капли. Для создания низкого парциального давления газов над поверхностью воды необходимо непрерывно удалять газы, с газами удаляется небольшое количество пара, т.е. необходимо обеспечить непрерывное удаление *выпара* вместе с газами.

Перечисленные условия выполняются в смешивающих подогревателях особой конструкции – *термических деаэраторах*. Как видно из рис.3.12, вода, подлежащая деаэрации, подводится в деаэрационную колонку на расположенные одна под другой разбрызгивающие тарелки с небольшими отверстиями.

В такой конструкции вся масса воды разбивается на мелкие струи и капли, увеличивается поверхность соприкосновения воды с паром. Струи и

капли воды нагреваются до температуры кипения подводимым снизу греющим паром.

Газы выделяются из воды и с некоторой примесью водяных паров удаляются из верхней части колонки.

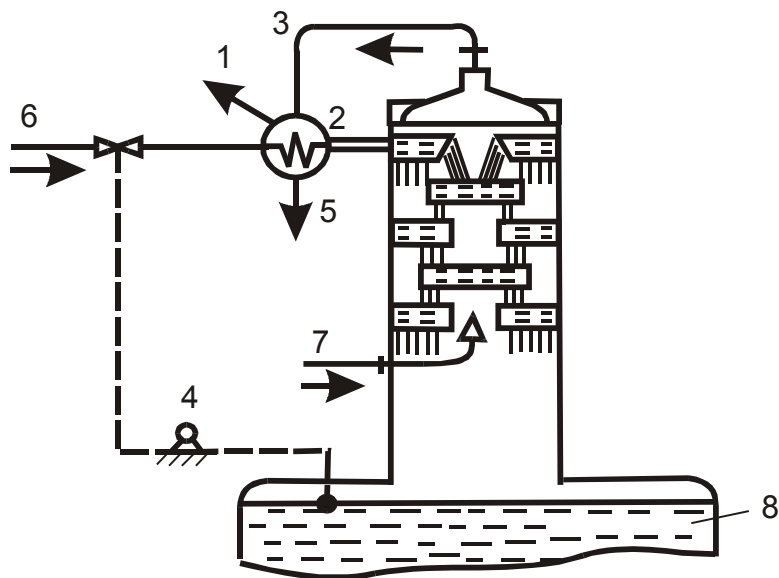


Рис. 3.12. Схема термического деаэратора:

1 – воздух; 2 – охладитель выпара; 3 – паровоздушная смесь (выпар); 4 – регулятор уровня воды; 5 – отвод конденсата выпара; 6 – подвод воды на деаэрацию; 7 – подвод греющего пара; 8 – бак сбора воды после деаэрации

Содержащийся в паровоздушной смеси пар конденсируется в дополнительном подогревателе, подогревая поступающую в колонку воду, а газы выбрасываются в атмосферу. Из нижней части колонки очищенная от газов вода собирается в сборном баке.

В целом деаэратор питательной воды с давлением 0,6 – 0,7 МПа выполняет следующие функции: очищает воду от газов, подогревает ее на 10 – 15 °С в расчетном режиме и до 50 °С в нерасчетных режимах; служит резервной емкостью запаса воды для аварийной остановки котла и емкостью для сбора высокотемпературных потоков воды и пара (например, дренажей ПВД, протечек пара от штоков регулирующих клапанов, от концевых уплотнений турбины); служит емкостью пара для подачи на эжекторы турбины, на форсунки для распыливания мазута и т.п.; обеспечивает надежную работу питательных насосов – создает подпор во всасывающем патрубке, для чего деаэратор располагают на большой высоте (22 ÷ 24 м). В зависимости от рабочего давления деаэраторы бывают:

- вакуумные ( $p = 0,0075 - 0,05$  МПа), применяются для деаэрации подпиточной воды теплосети;
- атмосферные ( $p = 0,118$  МПа), применяются для деаэрации добавочной воды котлов;

- *повышенного давления* ( $p = 0,6 - 0,7$  МПа, реже  $0,8 - 1,2$  МПа), применяются для деаэрации питательной воды.

В настоящее время получают распространение *бездеаэрационные схемы*. Исследования таких схем показывают, что роль деаэраторов могут выполнить ПНД смешивающего типа. При этом повышается надежность работы установки, так как снижается число задвижек; нет опасности переполнения деаэратора из-за ошибок персонала; отсутствует выпар и потери теплоты с ним; исключается дросселирование пара отбора; сокращается количество трубопроводов; происходит экономия металла, капитальных затрат на строительные конструкции; ускоряется пуск блока примерно на 2 часа. При возможности отказа от третьего ПВД снижаются гидравлические сопротивления тракта питательной воды. С другой стороны, отсутствие деаэратора требует увеличения объема баков смешивающих ПНД и установки бака запаса конденсата у конденсатора на случай аварийных ситуаций. Следует обеспечить надежную работу питательного насоса, создав подпор за счет перекачивающего насоса смешивающего подогревателя. Расчеты ЦКТИ и МЭИ для блока мощностью 800 МВт показывают, что переход к бездеаэрационной схеме увеличивает КПД блока на  $0,1 - 0,7$  % и дает экономию средств на 400–600 тыс. руб. (в ценах до 1991г.).

### **3.5. Отпуск теплоты внешним потребителям**

Тепловая энергия требуется для технологических процессов и силовых установок промышленности, для отопления и вентиляции производственных, жилых и общественных зданий, кондиционирования воздуха и бытовых нужд.

На станции с учетом потребности в теплоте, а также видом теплоносителя различают два вида нагрузки:

- *производственная* (технологическая) – отпускаемая со станции с паром давлением  $0,7-3,0$  МПа.
- *отопительная* – отпускаемая со станции с *сетевой водой* с температурой  $70-150$  градусов.

Производственному потребителю требуется теплота с температурой  $150-270^{\circ}\text{C}$ . Пар с указанным выше давлением обеспечивает необходимую температуру насыщения, при этом каждый килограмм пара несет к потребителю большое количество теплоты – практически скрытую теплоту парообразования  $\approx 2200$  кДж/кг. Если пытаться передать это тепло с водой, как теплоносителем, то давление воды будет высоким, что потребует увеличенных толщин стенок трубопроводов. Кроме того, каждый килограмм пара несет для потребителя теплоту, равную произведению теплоемкости воды на разность температур на входе к потребителю и на выходе, при этом температура воды на выходе от потребителя должна быть выше, чем температура, необходимая для потребителя. Это потребует увеличения расхода теплоносителя для обеспечения заданного количества теплоты.

Поэтому для отпуска теплоты производственным потребителям в качестве теплоносителя используется пар. Однако теплота с помощью пара может быть передана на ограниченное расстояние - 3 ÷ 5 км. Поскольку при передаче пара на длинные расстояния возникает проблема с эксплуатацией паропроводов (например, возникновение явлений гидравлического удара при прогреве паропроводов).

Теплота с сетевой водой отпускается для покрытия потребности в теплоте для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, как для коммунально-бытового потребления, так и производственного. У потребителя теплота отдается за счет охлаждения воды от температуры на выходе со станции (*температура прямой сетевой воды*) до температуры воды возвращающейся на станцию (*температура обратной сетевой воды*). Поскольку самая высокая температура сетевой воды  $\approx 150^\circ\text{C}$ , то, с учетом потери давления в магистральных трубопроводах сетевой воды, максимальное давление сетевой воды будет  $\approx 1,5\text{ МПа}$ , т.е. толщина стенок трубопроводов сетевой воды относительно невелика.

### 3.5.1. Отпуск производственной (технологической) теплоты

Тепловая нагрузка, определяемая расходом теплоты на производственные процессы, практически не зависит от температуры наружного воздуха. Однако летом эта нагрузка несколько меньше, чем зимой. Типичный график изменения суточной тепловой нагрузки промышленных предприятий  $Q_{пр}$  дан на рис. 9.20.

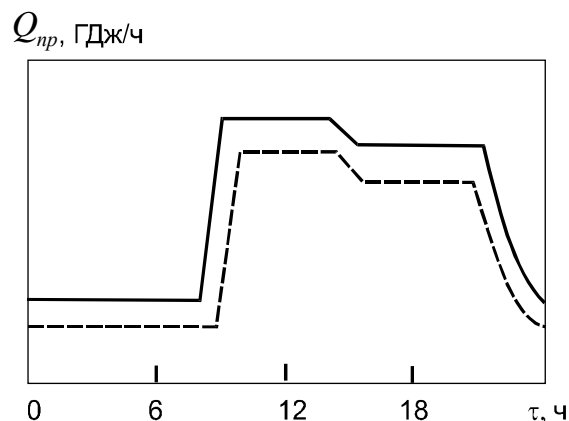


Рис. 3.13. График суточной тепловой нагрузки предприятий:  
 ----- лето; — зима

Со станции производственная нагрузка отпускается либо непосредственно с паром из отбора турбины, либо через *паропреобразователь*.

В первом случае негативным фактором является то, что от теплового потребителя возвращается в виде обратного конденсата не все количество направленного к нему пара. Для возмещения невозврата конденсата необходимо производить добавку в тепловую схему большого количества высококачественной добавочной воды.

При больших потерях пара и его конденсата на производстве применяется так называемая *закрытая* схема отпуска пара на производство с применением *паропреобразователя* (ПП), представленная на рис.3.14. Из регулируемого отбора турбины подается греющий пар с давлением  $p_{п2}$  на паропреобразователь ПП, в котором из возвращаемого с производства конденсата и добавочной воды, подаваемой из ХВО, получают *вторичный пар*, идущий на производство с давлением  $p_{пр}$ . Для обеспечения передачи теплоты в ПП должен быть температурный

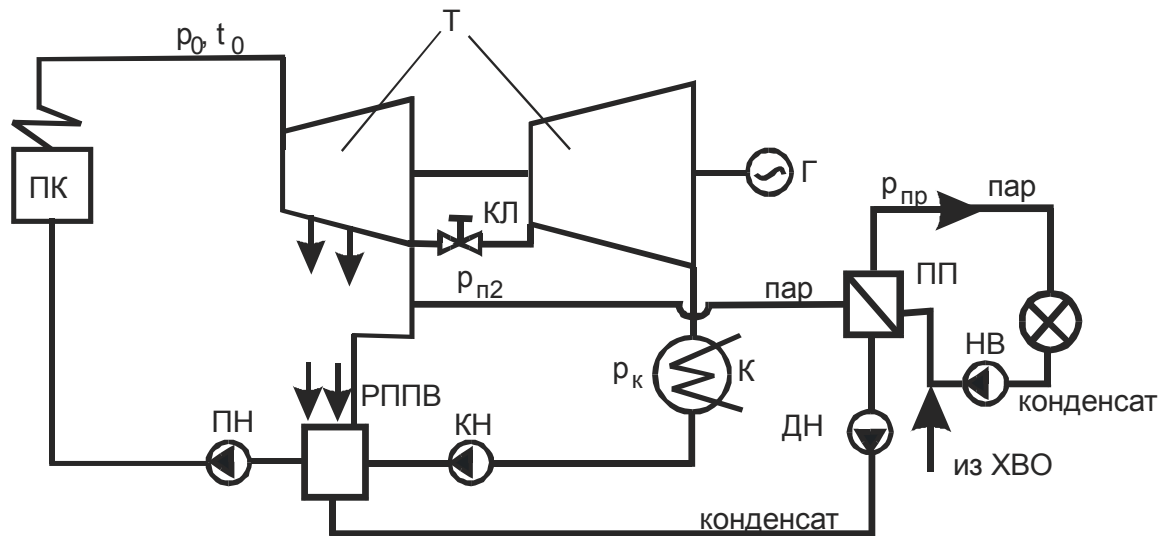


Рис 3.14. Схема отпуска пара с применением паропреобразователя:

ПП – паропреобразователь; ДН – дренажный насос, перекачивающий конденсат греющего пара паропреобразователя в тепловую схему; НВ – насос, перекачивающий ту часть конденсата, которая возвращается с производства; ХВО – химводоочистка ПП; РППВ – схема регенеративного подогрева питательной воды (под этим знаком находятся регенеративные подогреватели и деаэратор); остальные обозначения такие же, как и на рис.8.13

напор, т.е. температура насыщения, соответствующая  $p_{п2}$ , должна быть на 15 – 20 °С выше температуры насыщения, соответствующей  $p_{пр}$ . Потребителю требуется пар определенного давления, ему безразлично, откуда подается пар – или из отбора турбины, или из ПП. Отсюда следует, что давление в отборе при применении ПП будет выше давления в отборе  $p_{п1}$ , когда пар отпускается на производство непосредственно из отбора.

### 3.5.2. Отпуск теплоты с сетевой водой

Отпуск теплоты с сетевой водой предназначен для покрытия потребности в теплоте нужд потребителя для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

*Количество теплоты для горячего водоснабжения* в единицу времени

$$Q_{ГВ} = mgc_p(t_{Г} - t_{Х}) \times n_c^{-1}, \text{ кВт (или кДж/ч)},$$

где  $m$  – число жителей данного района теплоснабжения;  $g$  – среднесуточная норма расхода горячей воды на человека в единицу времени, кг/сут;  $c_p$  – удельная массовая теплоемкость воды;  $t_{Г}$ ,  $t_{Х}$  – температуры горячей ( $60^{\circ}\text{C}$ ) и холодной водопроводной воды, используемой для горячего водоснабжения,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{Х}$  принимается равной  $+5^{\circ}\text{C}$  – зимой,  $+15^{\circ}\text{C}$  – летом;  $n_c$  – расчетный период отпуска теплоты, с/сутки.

*Отопительная нагрузка*  $Q_{ОТ}$  определяется из выражения

$$Q_{ОТ} = x_0 V(t_{П} - t_{Н}) \times 10^{-3}, \text{ кВт},$$

где  $x_0$  – отопительная характеристика зданий, зависящая от конструкции и качества сооружения зданий,  $x_0 = 0,3 - 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ;  $V$  – объем отапливаемых зданий по наружному обмеру,  $\text{м}^3$ ;  $t_{Н}$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{П}$  – температура внутри отапливаемого помещения,  $^{\circ}\text{C}$ ; принимается  $t_{П} = +18^{\circ}\text{C}$ . Для производственных зданий  $t_{П}$  зависит от вида выполняемых работ и определяется по справочникам; эта температура должна обеспечивать нормальные гигиенические и комфортные условия для людей. Максимум отопительной нагрузки определяется для *расчетной температуры наружного воздуха*  $t_{Нр}$ , которая рассчитывается как средняя температура наружного воздуха наиболее холодных пятидневок из 8 лет за 50-летний период, определяется по справочникам. Отопительная нагрузка уменьшается пропорционально росту температуры наружного воздуха, при  $t_{Н} = +18^{\circ}\text{C}$   $Q_{ОТ} = 0$ . Фактически отопительный сезон заканчивается при  $t_{Н} = +8^{\circ}\text{C}$ .

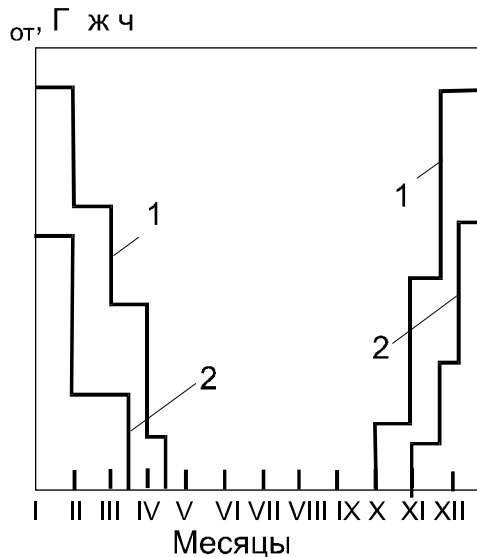


Рис. 3.15. Годовой график отопительной нагрузки:  
1 – максимальные значения нагрузки; 2 – минимальные значения

*Расход теплоты на вентиляцию помещений* производственного характера и общественных зданий определяется по следующему выражению:

$$Q_B = nV_B c(t_{II} - t_H), \text{ кВт; (кДж/ч);}$$

где  $n$  – кратность обмена воздуха в помещении, 1/с или 1/ч;  $c$  – объемная теплоемкость воздуха, равная 1,26 кДж/(м<sup>3</sup>·К);  $V_B$  – внутренний объем отапливаемых помещений, м<sup>3</sup>.

На рис. 3.16 показаны график зависимости от  $t_H$  суммарной тепловой нагрузки ТЭЦ в виде горячей воды и годовой график по продолжительности этой нагрузки (правая часть).

Площадь, ограниченная кривой графика по продолжительности, осями ординат, абсцисс и крайней правой ординатой – годовое количество отпущенного тепла от ТЭЦ. На паротурбинных ТЭЦ большая часть  $Q_{\text{общ}}$  удовлетворяется теплотой отборного пара из паровых турбин  $Q_{\text{отб}}$ . Пиковую часть нагрузки, равную  $Q_{\text{общ}}^{\text{макс}} - Q_{\text{отб}}^{\text{макс}} = Q_{\text{пк}}^{\text{макс}}$  целесообразно покрывать от постороннего источника теплоты, для чего на ТЭЦ устанавливают самостоятельные пиковые водогрейные котлы (ПВК), простые по конструкции и относительно недорогие. Такое распределение тепловой нагрузки между турбинами и ПВК обеспечивает более равномерную нагрузку на отборы пара паровых турбин и повышает экономичность работы электростанции.

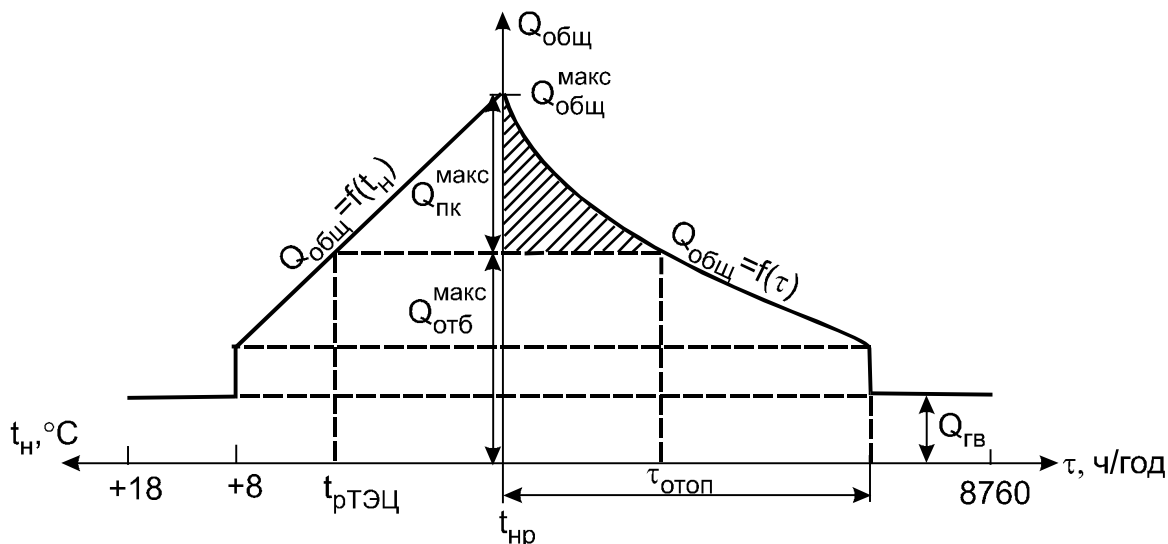


Рис. 3.16. График по продолжительности  $Q_{\text{общ}}$  :

$\tau$  – часы,  $\tau_{\text{отоп}}$  – продолжительность отопительного сезона

Годовое покрытие пиковой части нагрузки соответствует заштрихованной области на графике по продолжительности тепловых нагрузок. При расчетной температуре наружного воздуха отношение максимальной тепловой нагрузки отборов турбины к максимальной общей нагрузке называется *коэффициентом теплофикации*

$$\alpha_{\text{тэц}} = \frac{Q_{\text{отб макс}}}{Q_{\text{общ макс}}}$$

В современных условиях  $\alpha_{\text{тэц}}$  колеблется в пределах 0,5 – 0,7.

Оптимальному значению коэффициента теплофикации соответствует, как видно из рис.3.16, *расчетная температура ТЭЦ*  $t_{\text{тэц}}^p$ , при которой происходит максимальная загрузка отборов пара турбины, и при температурах наружного воздуха ниже которой находятся в работе пиковые водогрейные котлы.

На рис. 3.17 представлена схема отпуска теплоты от ТЭЦ в виде горячей воды.



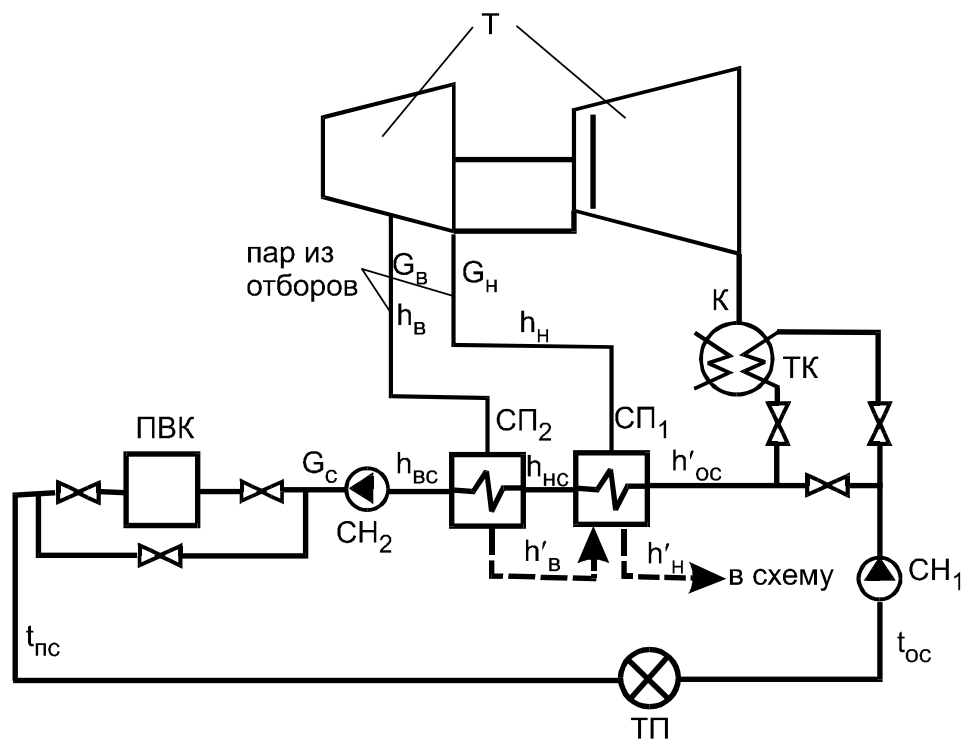


Рис. 3.17. Схема отпуска теплоты от ТЭЦ в виде горячей воды:

$T$  – теплофикационная турбина с двумя отопительными отборами пара;  $СН_1$ ,  $СН_2$  – сетевые насосы первой и второй ступеней;  $СП_1$ ,  $СП_2$  – сетевые подогреватели первой (нижней) и второй (верхней) ступеней;  $ПВК$  – пиковый водогрейный котел;  $ТП$  – тепловой потребитель;  $К$  – конденсатор паровой турбины;  $ТК$  – теплофикационный пучок конденсатора турбины, используется на некоторых ТЭЦ при малых расходах пара в конденсатор при отключении охлаждающей воды;  $G_C$  – расход сетевой воды;  $G_B$ ,  $G_H$  – расходы пара из верхнего и нижнего отборов

Промежуточным теплоносителем от ТЭЦ до тепловых распределительных пунктов является *сетевая вода*. Воду легко передавать на большие расстояния (20–30 км, рассматривается вопрос о создании систем дальнего теплоснабжения на расстояние до 100 км и больше), тепловые потери и потери теплоносителя при этом ниже, чем в паровых системах теплоснабжения. Водяные системы теплоснабжения имеют большую аккумулирующую способность, вследствие чего кратковременные изменения количества теплоты, подводимой к сетевой воде, мало отражаются на температурных режимах обогреваемых помещений. При обогреве помещений горячей водой легче поддерживать умеренную температуру отопительных батарей 90–95 °С. Недостатки воды как теплоносителя: значительный расход электроэнергии на перекачку, большой вес, большие утечки при авариях.

При заданной тепловой нагрузке с ростом температуры *прямой* сетевой воды  $t_{пс}$  уменьшается ее расход  $G_C$ . Это приведет к уменьшению диаметра трубопроводов магистрали и снижению расхода электроэнергии на транспорт сетевой воды от ТЭЦ до тепловых потребителей.

С другой стороны, рост  $t_{\text{пс}}$  потребует повышения давления отборного пара, что снижает эффективность теплофикации. Перемещение отбора пара в зону больших давлений уменьшает выработку электроэнергии на базе теплового потребления. Для компенсации недовыработки электроэнергии потребуется затратить дополнительное количество топлива на замещающей КЭС. Отсюда следует, что определение оптимального значения  $t_{\text{пс}}$  – это комплексная технико-экономическая задача.

Максимальная температура сетевой для городских ТЭЦ чаще всего бывает равной 150 °С, иногда 130 °С. При большой длине основных магистралей сетевой воды  $t_{\text{пс}}$  повышают до 170–180 °С. Для магистралей загородных ТЭЦ, чаще всего это атомные теплоэлектроцентрали или просто АЭС, оправдана температура прямой сетевой воды 180–200 °С.

Максимальное значение температуры обратной сетевой воды лежит в пределах 55 – 70 °С.

Вышеуказанные значения температуры прямой и обратной сетевой воды соответствуют расчетной температуре наружного воздуха  $t_{\text{нр}}$ . При повышении температуры наружного воздуха  $t_{\text{пс}}$  и  $t_{\text{ос}}$  снижаются по так называемому температурному графику теплосети, пример которого дан на рис. 3.18. На этом графике приведены зависимости температуры сетевой воды от температуры наружного воздуха  $t_{\text{н}}$ : *абвг* – линия изменения  $t_{\text{пс}}$ ; *эже* линия изменения  $t_{\text{ос}}$ ; *абвд* – изменение температуры воды после сетевых подогревателей, причем участок *вд* – в период работы пиковых водогрейных котлов.

Все температуры меняются в зависимости от температуры наружного воздуха.

Температура  $t_{\text{пс}}$  по условиям горячего водоснабжения не должна опускаться ниже 60–70 °С (участок *аб*); регулировка отопления в этом случае осуществляется периодическими отключениями абонентских установок потребителей теплоты. При качественном регулировании отпуска теплоты расход сетевой воды остается постоянным, при наличии открытого водоразбора на горячее водоснабжение постоянство расхода сетевой воды при изменении  $t_{\text{н}}$  не выполняется. При закрытой схеме горячего водоснабжения расход зависит от схемы включения подогревателей горячего водоснабжения, этот вопрос надо смотреть в специальной литературе. Изменение температуры сетевой воды за сетевыми подогревателями осуществляется путем регулирования давления в теплофикационных отборах турбины. Для увеличения выработки электроэнергии паром теплофикационных отборов применяется двухступенчатый подогрев сетевой воды, а при предварительном подогреве во встроенном пучке конденсатора трехступенчатый нагрев паром турбины (см. схему на рис. 3.18).

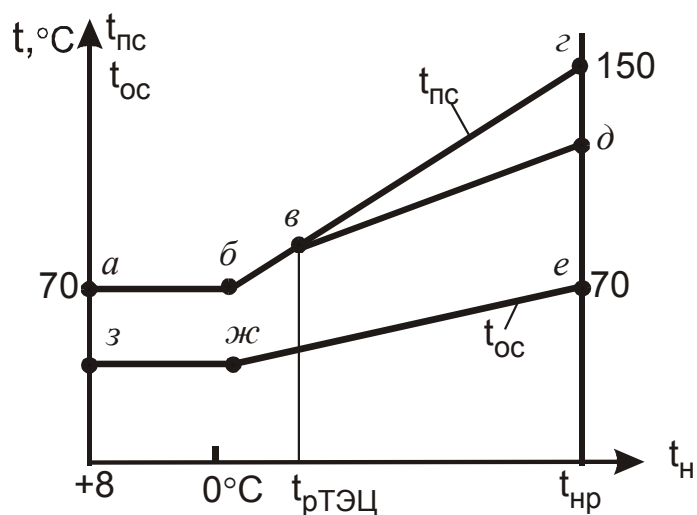


Рис. 3.18. Температурный график теплосети:

$абвг$  – линия изменения  $t_{\text{пс}}$ ; участок  $бв$  – в период работы пиковых водогрейных котлов;  $зже$  – линия изменения  $t_{\text{ос}}$ ;  $абвд$  – изменение температуры воды после сетевых подогревателей (участок  $вд$  – в период работы пиковых водогрейных котлов)

На некоторых ТЭЦ, где общая производительность энергетических котлов по пару превышает расходы пара на турбины и отпуск пара на производство через *редукционно-охладительные установки* (РОУ), пиковую тепловую нагрузку покрывают с помощью *пиковых сетевых подогревателей*, греющий пар на которые подается из энергетического котла через РОУ. На рис. 3.19 дана принципиальная схема включения сетевых подогревателей для такого случая; на рис.3.20 – упрощенная схема РОУ.

С помощью РОУ параметры пара снижаются до требуемых величин. Давление пара понижается при дросселировании его в редукционном клапане. Капли питательной воды, впрыскиваемой в пар через форсунки, испаряются и температура пара снижается.

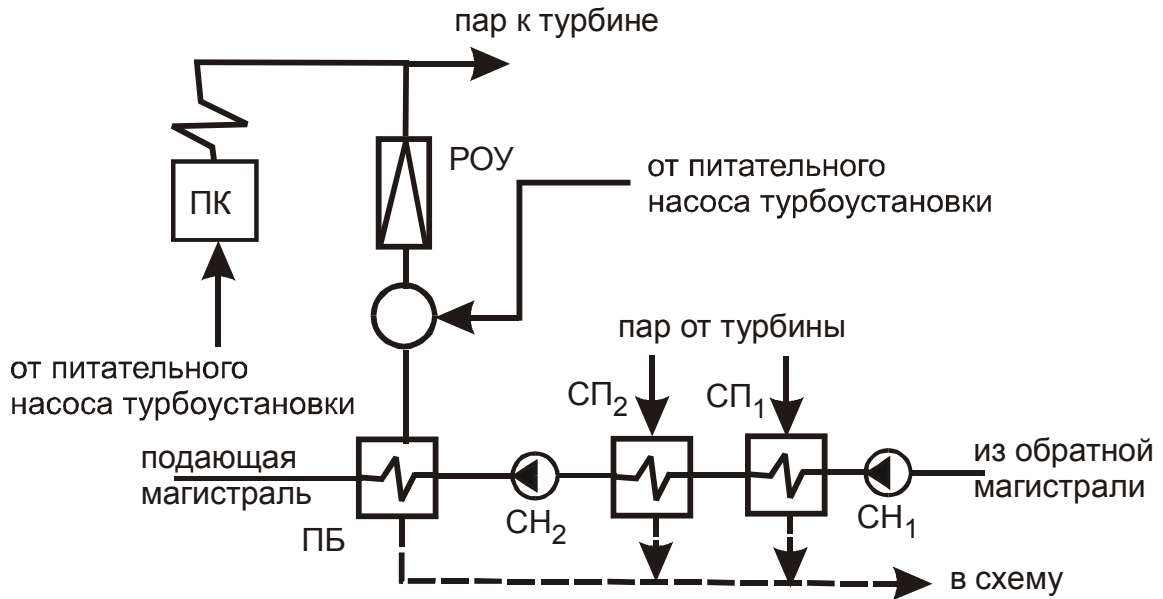


Рис. 3.19. Схема подключения пикового сетевого подогревателя к РОУ:  
*ПК* – паровой энергетический котел, *ПБ* – пиковый сетевой подогреватель (пиковый бойлер), *РОУ* – редукционно-охладительная установка, остальные обозначения такие же, как и на рис.3.17

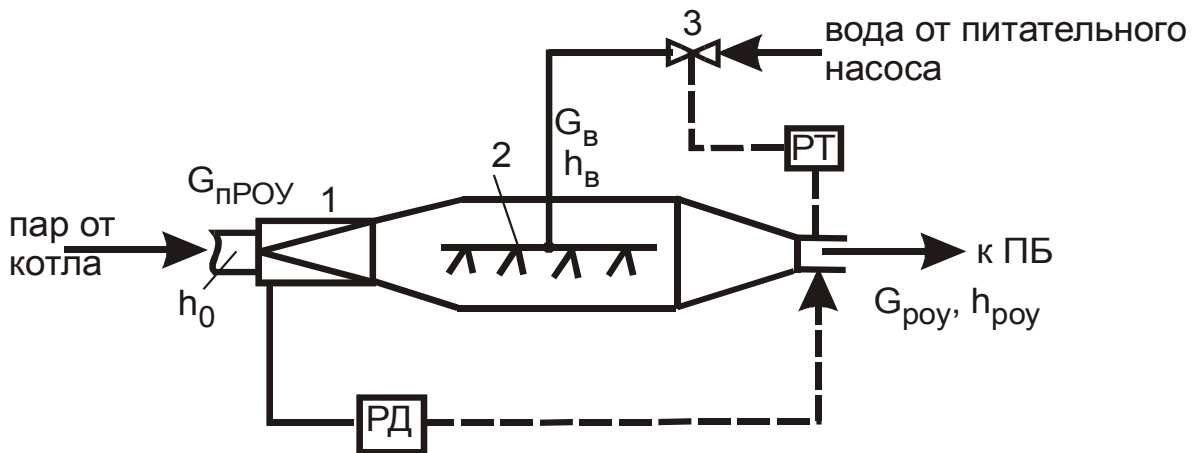


Рис. 3.20. Принципиальная схема РОУ:  
*1* – редукционный клапан, понижающий давление пара, *2* – форсунки, разбрызгивающие воду, *3* – клапан для изменения подачи воды, *РД* – регулятор давления, *РТ* – регулятор температуры

Пусть при  $t_H$  температура прямой сетевой воды по графику равняется  $150\text{ }^\circ\text{C}$ . Температура насыщения, соответствующая давлению пара за РОУ, должна быть выше  $t_{\text{ПС}}$  на  $30\text{ }^\circ\text{C}$ , т.е.  $t_s^{\text{роу}} = 150 + 30 = 180\text{ }^\circ\text{C}$ , чему соответствует давление  $0,98\text{ МПа}$ . Температуру пара за РОУ выбирают так, чтобы пар был немного перегретым (на  $20 - 25\text{ }^\circ\text{C}$ ), что необходимо для измерения расхода пара простыми дроссельными приборами и упрощения системы дренажа паропроводов, тогда температура пара за РОУ равна  $200\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.6. Потери пара и конденсата и их восполнение

Потери рабочего тела бывают внутренние и внешние. К *внутренним* относят потери вследствие наличия неплотностей во фланцевых соединениях, в арматуре, предохранительных клапанах; потери через лабиринтовые уплотнения валов турбин при пуске; потери при прогреве трубопроводов и вспомогательного оборудования. Безвозвратно теряется пар, используемый в мазутном хозяйстве станции для прогрева и распыла мазута в топочных форсунках; пар, используемый для обдувки поверхностей нагрева котлов от золы и шлака, и т.п. Много котловой воды теряется с периодической и непрерывной продувкой котлов. *Внешние* потери рабочего тела – это потери пара или конденсата в технологических установках теплового потребителя.

Для уменьшения внутренних потерь (утечек рабочего тела) фланцевые соединения трубопроводов и арматуры часто заменяют сварными соединениями, а также предъявляют повышенные требования к плотности предохранительных клапанов, арматуры, осуществляют сбор дренажей трубопроводов и оборудования и т. п.

По правилам технической эксплуатации потери от внутренних утечек для КЭС не должны превышать 0,8–1,0 %, а для ТЭЦ – 1,2–1,6 % (без учета потерь при работе форсунок, продувках и обдувках котлов, водных отмывках, обслуживании установок для очистки конденсата, деаэрации добавочной воды для теплосети, разгрузке мазута).

Непрерывная продувка котлов производится с целью поддержания в допустимых пределах содержания солей в котловой воде, обеспечивающего получение пара нужной чистоты. Величина непрерывной продувки котлов не должна превышать 0,5–1 %, если потери воды восполняются дистиллятом испарителей, и 0,5–3 % – при восполнении потерь химически очищенной водой.

Для снижения материальных и тепловых потерь с продувочной водой для котлов с естественной циркуляцией предусматривается установка расширителя и охладителя продувки по схеме, представленной на рис. 3.21.

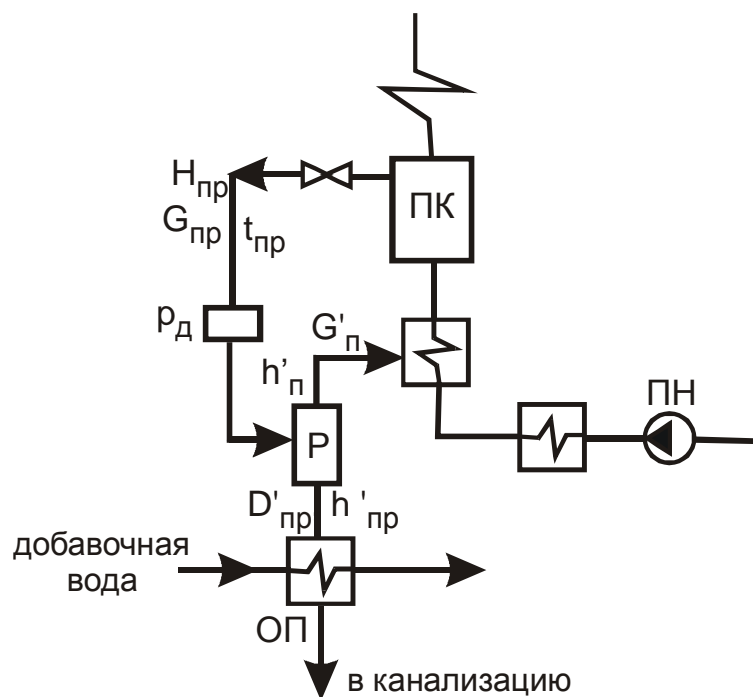


Рис.3.21. Включение расширителя непрерывной продувки котла  
 ПК – паровой барабанный котел; Рд – редуцирующее устройство; Р – расширитель;  
 ОП – охладитель продувки; ПН – питательный насос, подающий питательную  
 воду через регенеративные подогреватели в котел

Расширитель продувки представляет собой цилиндрический сосуд, в который вводится продувочная вода, имеющая температуру, равную температуре кипения при давлении пара в котле. С помощью редуцирующего устройства давление в расширителе поддерживается значительно ниже давления пара в паровом котле. Продувочная вода в расширителе оказывается перегретой по отношению к температуре кипения, соответствующей давлению в расширителе. Вода в расширителе вскипает, выделяя некоторое количество пара. Растворимые примеси, содержащиеся в продувочной воде, в образующийся пар почти не переходят, поэтому этот пар можно использовать в тепловой схеме станции.

Для использования теплоты концентрата продувки, выходящего из расширителя, последний направляется в охладитель продувки (ОП), где он охлаждается химически очищенной водой, предназначенной для покрытия потерь рабочего тела в контуре станции. Расширитель продувки позволяет сократить потери рабочего тела с продувочной водой на 15–30 %.

Потери рабочего тела в контуре станции восполняются добавочной водой, которая проходит предварительную подготовку. Применяется или термическая, или химическая подготовка.

При *термической* подготовке добавочная вода испаряется в специальном теплообменнике-испарителе с последующей конденсацией полученного вторичного пара. На рис. 3.22 дана конструктивная схема испарителя.

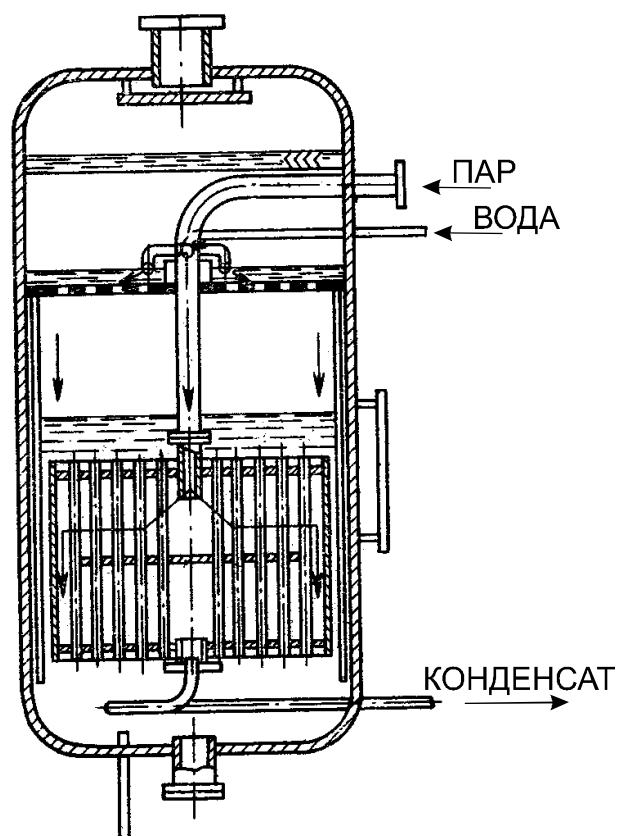


Рис. 3.22. Испаритель

На ТЭС применяются в основном вертикальные испарители с естественной циркуляцией. Внутри вертикального цилиндрического сосуда размещен второй цилиндр меньшего диаметра и меньшей высоты, торцы которого закрыты трубными досками, в последние ввальцованы прямые трубки.

Корпус испарителя заполнен водой так, что внутренний цилиндр оказывается полностью погруженным в водяной объем. В межтрубное пространство внутреннего цилиндра через верхнюю трубную доску подводится греющий пар, омывающий снаружи трубную поверхность. Вода нагревается и в трубках начинается парообразование, обеспечивающее устойчивую естественную циркуляцию с подъемным движением внутри труб и опускным движением в кольцевом зазоре между цилиндрами.

Для получения чистого вторичного пара испарители снабжаются специальными паропромывными и паросепарационными устройствами, расположенными в верхней части. Солесодержание вторичного пара – не более 0,3 мг/л.

Вода, поступающая в испаритель, должна быть предварительно очищена для получения чистой добавочной воды и для повышения надежности работы испарителей. Жесткость воды, поступающей в испаритель, – не выше 30 мг/кг, при сильно минерализованной воде – не выше 75 мг/кг, содержание  $O_2$  – не выше 0,03 мг/кг, т.е. воду надо деаэрировать. Испаритель должен

иметь непрерывную продувку (отвод из нижней части корпуса части воды с высокой концентрацией примесей).

Для передачи теплоты через стенки труб разность между температурой насыщения, соответствующей давлению греющего пара, и температурой насыщения, соответствующей давлению вторичного пара, должна составлять 12–25 °С.

Наиболее предпочтительным вариантом включения испарителя в тепловую схему станции является схема без энергетических потерь (рис. 3.23), когда испаритель И с конденсатором КИ и регенеративный подогреватель П1 образуют одну ступень регенеративного подогрева (питательная вода нагревается за счет теплоты одного отбора).

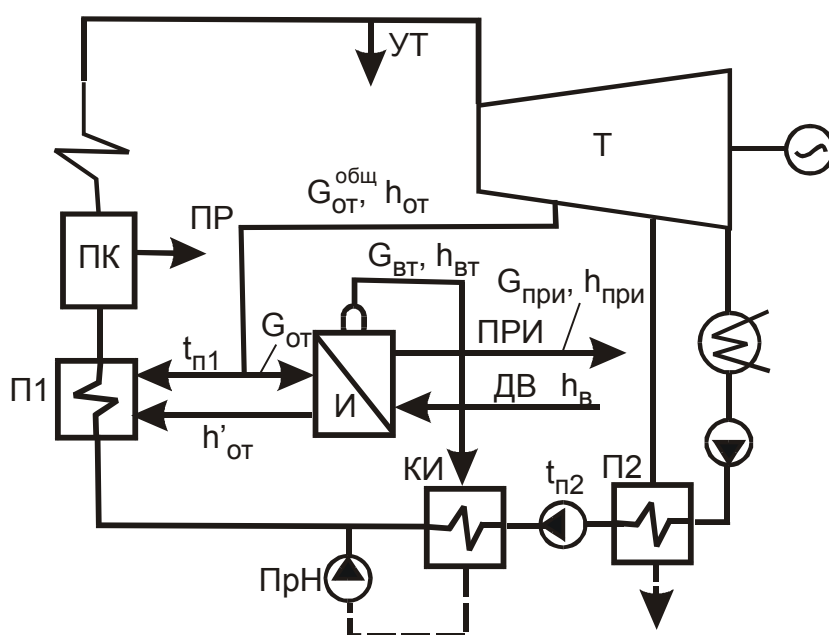
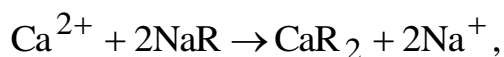


Рис. 3.23. Схема включения испарителя

*И* – испаритель; *КИ* – конденсатор испарителя; *П1*, *П2* – регенеративные подогреватели; *ПК* – паровой котел; *Т* – турбина; *ПР* – продувка парового котла; *УТ* – учетки рабочего тела; *ПРИ* – продувка испарителя; *ДВ* – добавочная вода; *ПрН* – промежуточный насос

*Химический способ подготовки добавочной воды:* для очистки от солей жесткости используются фильтры с Na-катионированием и H-катионированием, а для удаления анионов различных кислот – анионитные фильтры (в качестве обменных ионов – ионы  $\text{OH}^-$ ).

Принцип действия Na-катионирования: фильтр содержит слой катионита, где в качестве обменных ионов – катионы  $\text{Na}^+$ , имеет место реакция





катионы  $\text{Ca}^+$  в воде заменяются катионами  $\text{Na}^+$ , образующими легко растворимые соединения, жесткость воды снижается (аналогично удаляются катионы  $\text{Mg}^+$ ). По аналогичной схеме действуют Н-катионитовые фильтры. Назначение анионитных фильтров указано выше. На рис. 3.24 представлена схема подготовки добавочной воды для прямоточных котлов.

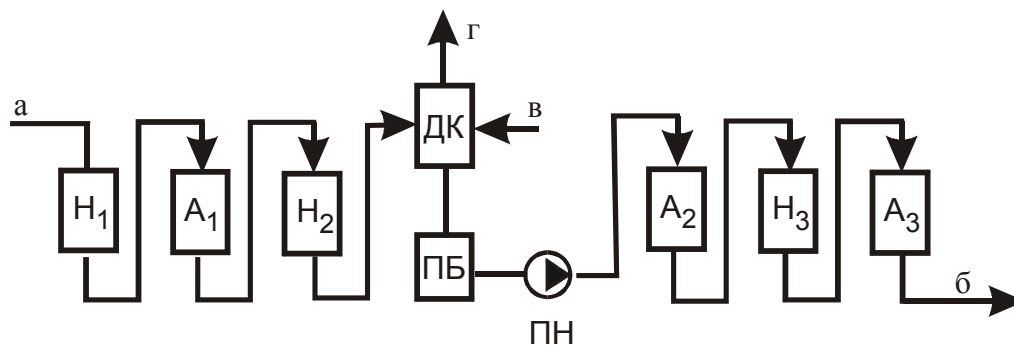


Рис.3.24. Принципиальная схема химического способа подготовки добавочной воды:

$H_1, H_2, H_3$  – Н-катионитовые фильтры соответственно 1-й, 2-й, 3-й ступеней;  $A_1, A_2, A_3$  – анионитные фильтры соответственно 1-й (слабоосновной), 2-й (сильноосновной) и 3-й ступеней; ДК – декарбонизатор; ПБ – промежуточный бак; а – ввод осветленной воды; б – вывод обработанной воды; в – подача воздуха; г – выход  $\text{CO}_2$ ; ПН – промежуточный насос

### 3.7. Насосы ТЭС

На ТЭС, АЭС и на большом количестве промышленных предприятий широко используется класс центробежных нагнетательных машин: насосы, вентиляторы, дымососы, компрессоры. В данном пособии ограничимся знакомством с работой центробежных насосов, это даст возможность получить представление о принципе работы других нагнетательных машин. На рис.3.25 представлена конструктивная схема центробежного насоса.

**Работа насоса.** Перед включением электродвигателя необходимо заполнить насос перекачиваемой жидкостью (всасывающий клапан не позволит вытекать жидкости из насоса), задвижка на нагнетательном трубопроводе (на рисунке не показана) должна быть закрытой. Здесь не указывается целый ряд предпусковых операций. После заполнения насоса жидкостью включают электродвигатель, рабочее колесо начинает вращаться. На жидкость, находящуюся в межлопастных каналах рабочего колеса, будет действовать центробежная сила, под действием которой жидкость перемещается к периферии, давление при этом возрастает от  $p_1$  на входе в рабочее колесо до  $p_2$  на выходе. Жидкость из рабочего колеса поступает в спиральную камеру, в которой происходит выравнивание поля скоростей потока и некоторое восстановление статического давления, так как канал спиральной камеры

расширяется, скорость потока несколько падает и (по теореме Бернулли) статическое давление возрастает.

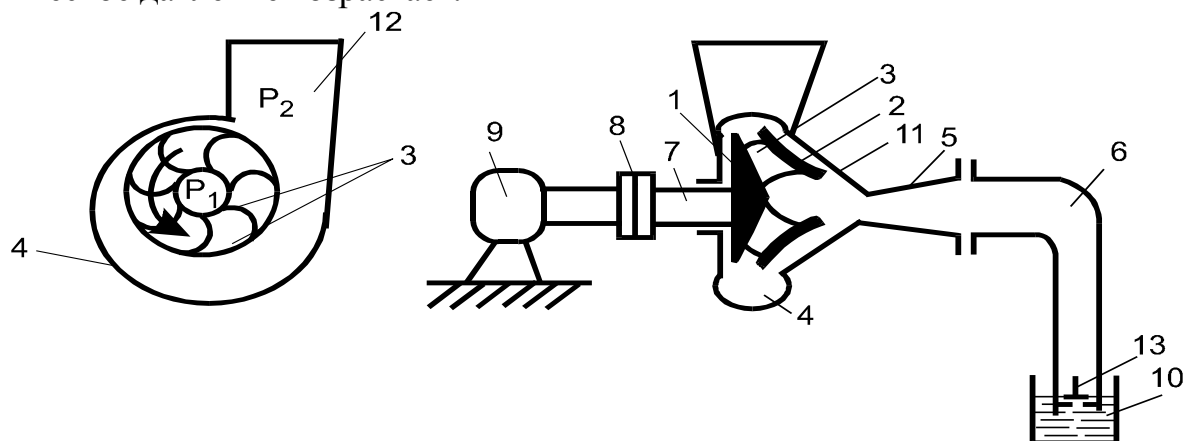


Рис.3.25. Схема центробежного насоса:

1 – несущий диск, 2 – покрывающий диск рабочего колеса; 3 – рабочие лопасти; 4 – спиральная камера; 5 – всасывающий патрубок; 6 – подводящая труба; 7 – вал; 8 – муфта; 9 – электродвигатель; 10 – колодец, из которого насос всасывает жидкость, например воду; 11 – корпус; 12 – нагнетательный патрубок; 13 – всасывающий клапан

После открытия задвижки на нагнетательном патрубке жидкость из спиральной камеры через нагнетательный патрубок будет уходить в нагнетательный трубопровод, а из подводящей трубы 6 будут поступать в рабочее колесо новые порции жидкости.

*Величины, характеризующие работу насоса. Давление, развиваемое насосом (по физическому смыслу – это повышение давления в насосе)  $\Delta p = \rho g H$ , Па;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – напор в метрах столба перекачиваемой жидкости;  $e$  – удельная полезная энергия, подведенная к потоку, Дж/кг;  $e = gH$ ;  $H$  – напор, о нем сказано выше;  $Q$  – объемная подача, м<sup>3</sup>/с;  $m$  – массовая подача, кг/с. Общй КПД насоса*

$$\eta = \frac{N}{N_e} = \frac{\rho Q e}{N_e} = \frac{\rho Q g H}{N_e}; \quad \rho \cdot Q \cdot g \cdot H = N;$$

где  $N$  – полезная мощность, подведенная к потоку, Вт;  $N_e$  – мощность на муфте, Вт. С другой стороны, КПД может быть записан через произведение:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_{\Gamma} \eta_o \eta_M; \\ \eta_{\Gamma} &= \frac{H}{H + h_{\Gamma}}; \\ \eta_M &= \frac{N_e - N_M}{N_e}; \\ \eta_o &= \frac{Q}{Q + \Delta Q_y}. \end{aligned}$$

где  $\eta_{\Gamma}$  – гидравлический КПД насоса;  $H$  – полезный напор;  $h_{\Gamma}$  – гидравлические потери (гидравлические потери при входе в рабочее колесо, при прохождении каналов рабочего колеса, при прохождении спиральной камеры, входного и нагнетательного патрубков);  $Q$  – полезная подача;  $\Delta Q_y$  – утечки в зазоры между корпусом и рабочим колесом;  $\eta_0$  – объемный КПД насоса;  $\eta_M$  – механический КПД насоса;  $N_M$  – мощность, затрачиваемая на преодоление механических потерь (трение в подшипниках, трение в сальниковом уплотнении, трение рабочего колеса о жидкость в зазорах между рабочим колесом и корпусом).

Удельную полезную энергию, подведенную к потоку в насосе, можно определить так:

$$e = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + g(z_2 - z_1) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}, \text{ Дж/кг};$$

где  $z_1, z_2$  – геометрические отметки соответственно входа и выхода для жидкости у насоса, м;  $(p_2 - p_1)/\rho$  – энергия повышения давления;  $g(z_2 - z_1)$  – работа по преодолению сил тяжести при прохождении жидкости через насос;  $\frac{(c_2^2 - c_1^2)}{2}$  – изменение кинетической энергии потока при прохождении жидкости через насос.

Перейдем к *напору* в метрах столба перекачиваемой жидкости:

$$H = \frac{e}{g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + (z_2 - z_1) + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g};$$

где  $\frac{P_2 - P_1}{\rho g} = H_p$  – пьезометрический напор;  $(z_2 - z_1)$  – геометрический напор;  $\frac{c_2^2 - c_1^2}{2g}$  – скоростной напор.

Рабочая точка насоса и сети показана на рис.3.26.

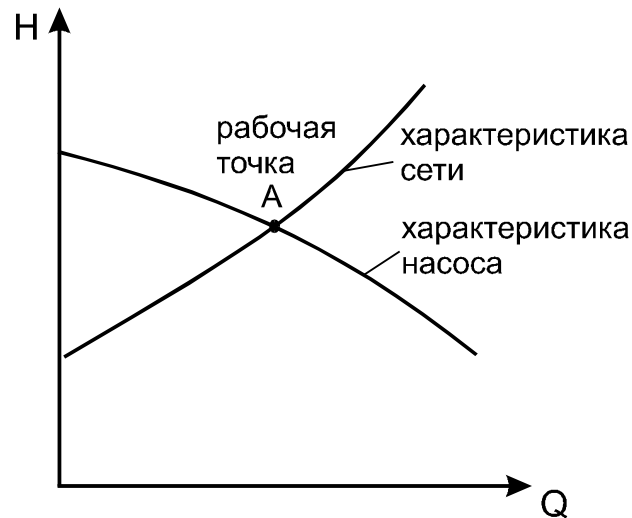


Рис.3.26. Рабочая точка насоса и сети

Область применения насосов на ТЭС: в качестве питательных насосов (многоступенчатые), конденсатных (на мощных ТЭС — многоступенчатые), сливных (дренажных насосов), в качестве сетевых, циркуляционных насосов и для других целей.

Для вентиляторов используют понятие давления

$$\Delta p = e\rho = p_2 - p_1 + \frac{\rho(c_2^2 - c_1^2)}{2},$$

где  $(p_2 - p_1)$  — разность статических давлений, Па;  $\frac{\rho(c_2^2 - c_1^2)}{2}$  — разность динамических давлений, Па. Работой по преодолению сил тяжести пренебрегают. Надо помнить, что в общем виде  $p + \rho \frac{c^2}{2}$  — это *полное давление*.

Вентиляторы на ТЭС используются в качестве дутьевых вентиляторов, дымососов (вентиляторы, приспособленные для работы с повышенной температурой дымовых газов), в различных вентиляционных системах.

### 3.8. Топливное хозяйство

Топливное хозяйство ТЭС служит для разгрузки, хранения, транспортировки и приготовления к сжиганию поступающего на электростанцию топлива. На современных электростанциях на твердом топливе топливное хозяйство обслуживают до 20 % всего персонала ТЭС.

Структура топливного хозяйства и применяемое оборудование зависят от вида топлива. Наиболее сложным и дорогим является хозяйство для сжигания твердого топлива, рис. 3.27.

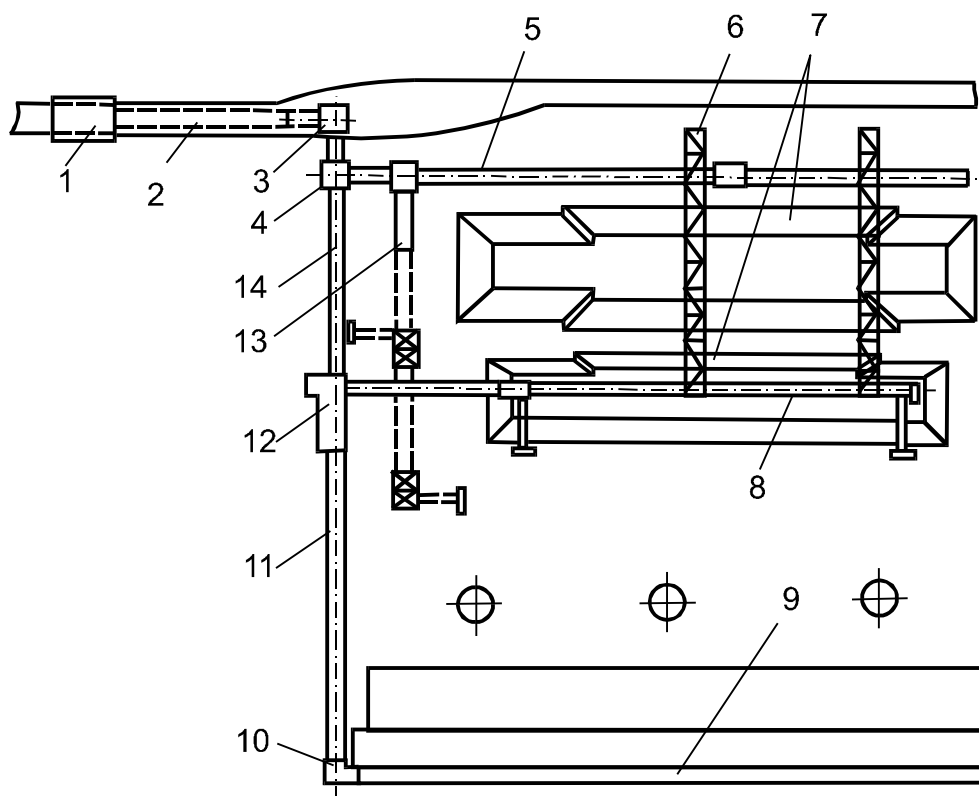


Рис.3.27. Схема топливного хозяйства:

1 – разгрузочное устройство; 2 – конвейер; 3, 4 – узлы пересыпки; 5 – конвейер; 6 – грейферный кран-перегрузатель; 7 – штабеля; 8 – конвейер; 9 – бункерная галерея; 10 – узел пересыпки главного корпуса; 11 – конвейер; 12 – дробильный корпус; 13, 14 – конвейеры

Уголь на ТЭС доставляется железнодорожным транспортом. Вагоны с топливом разгружаются в разгрузочном устройстве 1. Для обеспечения разгрузки топлива имеются размораживающие устройства, вагоноопрокидыватели, механические рыхлители, вибраторы. Уголь попадает в приемные бункеры, закрытые сверху решетками. Задержанные решеткой крупные куски измельчаются специальными устройствами. Из бункеров ленточными питателями уголь подается на конвейер 2, которым доставляется в узел пересыпки 3 и далее с помощью конвейера 14 – в дробильный корпус 12. После измельчения в молотковых или валковых дробилках уголь поступает через конвейер 11 в узел пересыпки 10 главного корпуса электростанции, а оттуда перегружается на конвейеры бункерной галереи 9, с которых сбрасывается в бункеры мельниц котельных агрегатов.

По конвейерам 5, 8 уголь может поступать на склад, где он грейферным краном-перегрузателем 6 укладывается в штабеля 7. Емкость складов угля равна 30-суточному расходу его котлами электростанции. Если электростанция размещена на расстоянии до 100 км от места добычи угля, емкость склада уменьшается вдвое. Срок хранения бурых и каменных углей с выходом летучих более 13 % не превышает полугода, тощих углей – до 1 года, антрацита – до 2 лет. Со склада уголь по конвейерам 13 или 5 поступает в узел пересыпки 4 и далее в дробильное помещение 12.

### 3.9. Техническое водоснабжение ТЭС

Основными потребителями воды на ТЭС являются конденсаторы паровых турбин (92 – 96 % общего количества воды), газоохладители электрических генераторов (2–4 %), маслоохладители (1–2%), система охлаждения подшипников вращающихся механизмов (0,3–0,8 %), гидротранспорт золы и шлака 0,1–0,4 %), водоподготовка (0,05–0,8 %). Применяются прямоточная, оборотная и смешанная системы водоснабжения.

*Прямоточная* система предполагает наличие в районе электростанции естественного источника воды (реки, моря) с дебитом, в 3 – 4 раза превышающем потребность в охлаждающей воде. Вода поступает на электростанцию от *центральной насосной станции* (ЦНС) по трубам (см. рис.3.28), а затем поступает к конденсаторам турбин (К) и другим потребителям. Сброс воды производится через сбросной канал (СК) ниже по течению (если водоисточником является река) или в удаленное от водозабора место (если море).

При отсутствии источника воды с большим дебитом один и тот же запас воды используется многократно. Такую систему водоснабжения называют *оборотной*. В нее входят охладитель воды, подводящие сбросные водопроводы и циркуляционные насосы. В качестве охладителей используются водохранилища-охладители, брызгальные бассейны и градирни.

Охлаждение воды в *водохранилищах* происходит за счет частичного ее испарения и конвективного теплообмена. Забор и сброс воды для нужд электростанции производится в удаленных друг от друга местах водоема. Достоинством водохранилищ-охладителей являются малый расход воды на возмещение ее потерь, низкая температура воды зимой, хорошие условия водозабора.

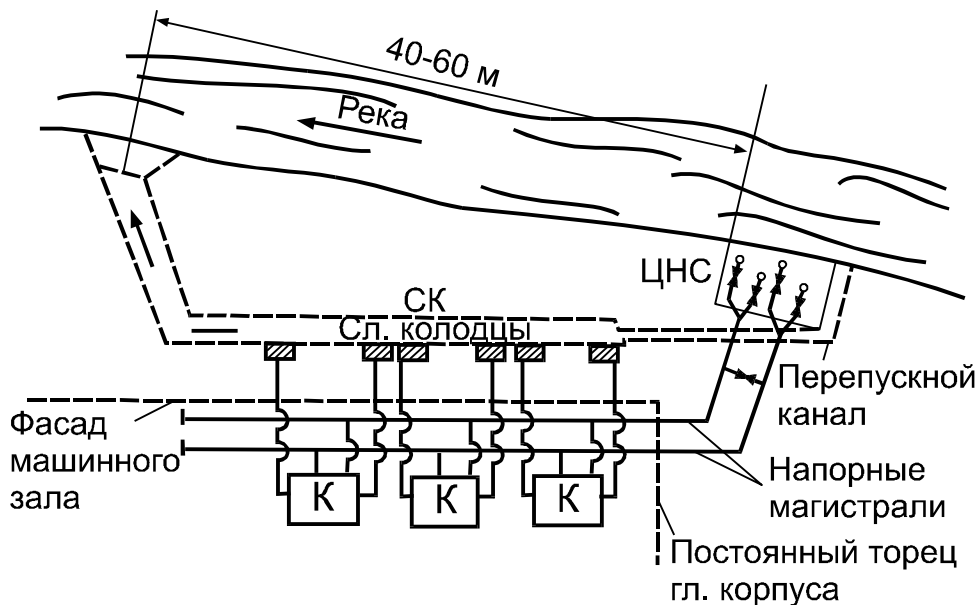


Рис.3.28. Схема прямоточного водоснабжения

К – конденсаторы турбин; ЦНС – центральная насосная станция; СК – сбросной канал

К недостаткам таких схем относятся большие площади, требующиеся для охлаждения воды (8 – 10 м<sup>2</sup> на 1 кВт установленной мощности), необходимость сооружения плотины.

Одним из видов искусственного охладителя является *брызгальный бассейн*. Разбрызгивание воды происходит посредством сопел за счет напора насосов. На 1 кВт установленной мощности нужно 0,1 – 0,2 м<sup>2</sup> площади бассейна. Достоинством брызгальных бассейнов является простота конструкции и небольшая стоимость, а недостатком – меньший, по сравнению с водохранилищами-охладителями, эффект охлаждения, большой унос воды, что приводит к увлажнению, а в зимнее время – к обледенению местности в радиусе до 200 м.

Часто в качестве охладителей в системе оборотного водоснабжения используются *градирни* с естественной тягой и с искусственной, в последнем случае более интенсивное движение воздуха достигается с помощью вентилятора.

Градирня с естественной тягой представлена на рис. 3.29. Охлажденная вода бассейна 4, расположенного в основании градирни, поступает по трубопроводу 5 к циркуляционным насосам, которыми прокачивается через конденсаторы, и по трубопроводу 1 подается к разбрызгивающим устройствам 3 и затем проходит в виде капель и пленок через оросительное устройство 2.

Основным достоинством градирен, по сравнению с водохранилищами-охладителями, является компактность при хорошем эффекте охлаждения. Удельная площадь градирен составляет 0,01 – 0,02 м<sup>2</sup>/кВт.

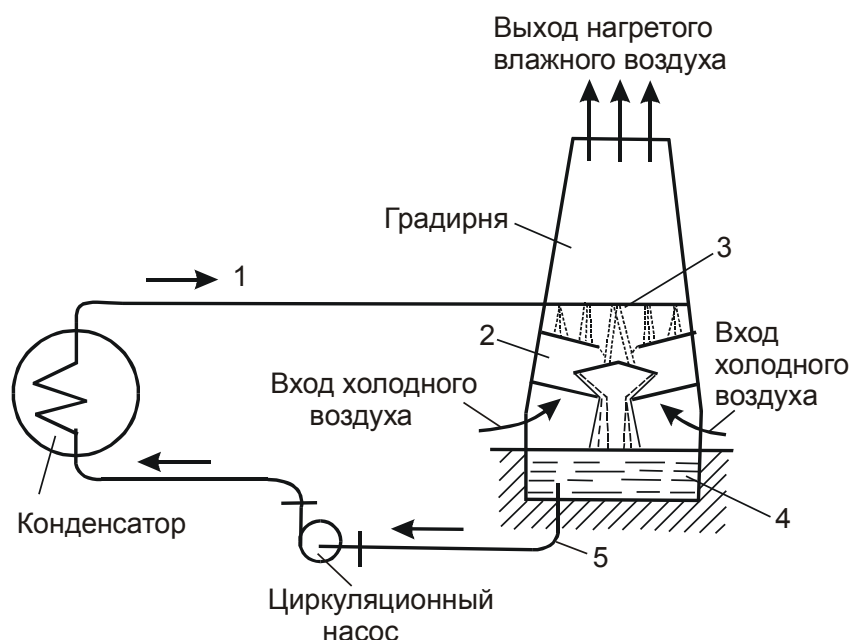


Рис.3.29. Обратное водоснабжение с градирней

1 – трубопровод нагретой воды; 2 – оросительное устройство;  
3 – разбрызгивающее устройство; 4 – бассейн; 5 – трубопровод охлажденной воды

### 3.10. Золошлакоудаление

В отечественной энергетике для удаления золы и шлака чаще всего применяют гидрозолошлакоудаление, схема которого представлена на рис.3.30.

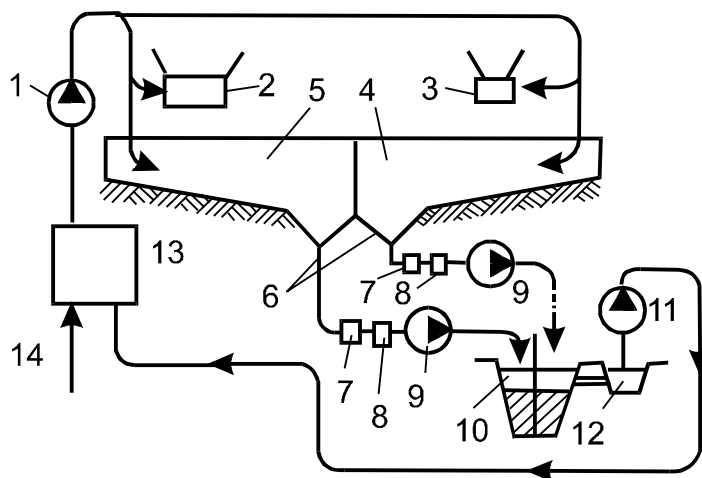


Рис.3.30. Система золошлакоудаления

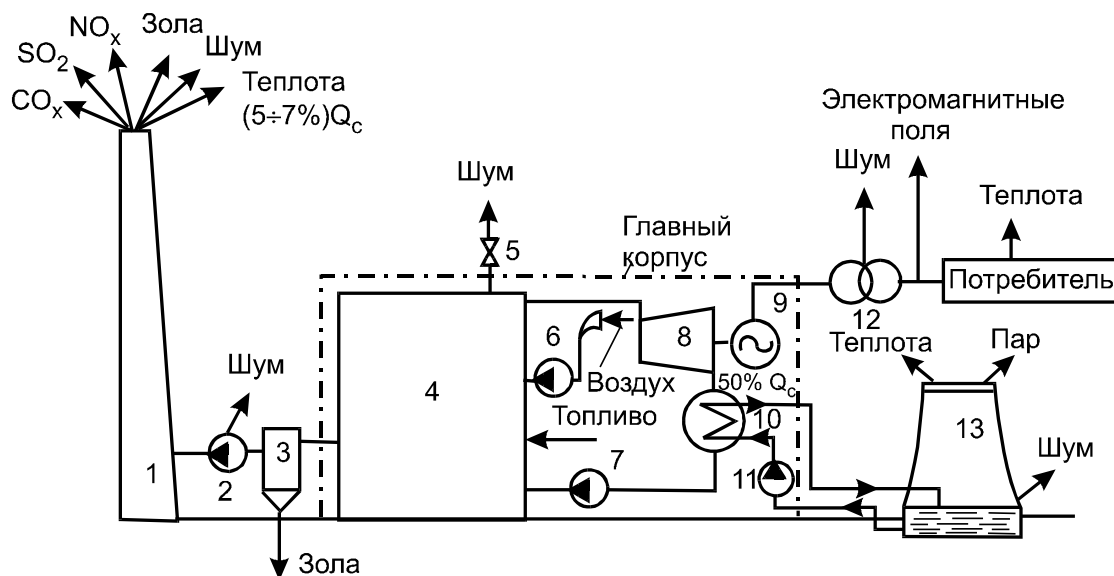
1 – насос смывной воды; 2 – устройство для удаления шпак из топки; 3 – золосмывной аппарат; 4, 5 – каналы для удаления шлака и золы; 6 – золошлакопроводы; 7 – дробилки; 8 – металлоуловители; 9 – багерные насосы; 10 – золошлакоотвал; 11 – насос осветленной воды; 12 – бассейн осветленной воды; 13 – резервуар осветленной воды; 14 – подпитка

Выпадающие в бункерах котлов зола и шлак смываются водой и транспортируются в пределах котельной по смывным каналам. Далее *пульпа* (золошлаковая смесь с водой) транспортируется с помощью *багерных* насосов на золоотвалы, расположенные в пределах 1 – 3 км от электростанции. Там золошлаковая смесь отстаивается, а вода может быть вновь использована для транспорта. Багерные насосы, подверженные интенсивному износу, выполняются специальной конструкции. Перед багерными насосами устанавливаются дробилки для измельчения крупных кусков шпак и золы. В процессе эксплуатации необходимо учитывать расход электроэнергии, убыль воды и замену быстро изнашиваемых элементов дробилок, багерных насосов и др.

### 3.11. Охрана окружающей среды от вредных выбросов электростанций

При работе ТЭС загрязняют окружающую среду вредными выбросами. На рис.3.31 показаны основные источники вредных веществ на ТЭС, оказывающих вредное влияние на окружающую среду в районе электростанции.





### 3.31. Источники загрязнений на ТЭС:

1 – дымовая труба; 2 – дымосос; 3 – золоуловитель; 4 – паровой котел; 5 – предохранительный клапан; 6 – вентилятор; 7 – питательный насос; 8 – паровая турбина; 9 – генератор; 10 – конденсатор; 11 – циркуляционный насос; 12 – повышающий трансформатор; 13 – градирня

Котельная установка выбрасывает через дымовую трубу 1 в атмосферу CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, окислы азота NO<sub>x</sub>, золу, сажу (копоть). К чрезвычайно опасным относятся пятиокись ванадия и бензапирен, появляющийся в дымовых газах при сжигании любого топлива с недостатком кислорода. В среднем на 1 кВт установленной мощности при сжигании твердого топлива приходится 500 кг золошлаков, 75 кг окислов серы, 10 кг оксидов азота. Складирование в золоотвалах золы, уловленной в золоуловителе 3, исключает землю из сельскохозяйственного оборота; последующая рекультивация поверхности золоотвала не приводит к полному восстановлению свойств почв. Предельно допустимые концентрации вредных веществ [C], мг/м<sup>3</sup>, устанавливаются санитарными нормами (в числителе – максимальная концентрация, в знаменателе – средне-суточная):

Диоксид азота.....	0,085/0,085
Серный ангидрид.....	0,25/0,25
Сернистый ангидрид.....	0,30/0,10
Оксид углерода.....	3,0/1,0
Пятиокись ванадия.....	–/0,002
Сажа (копоть) .....	0,15/0,05
Пыль (зола) .....	0,50/0,15

При  $n$  вредных веществ в воздухе воздушная среда будет безопасной, если отношение суммы действительных концентраций  $\sum_{i=1}^n C_i$  к сумме пре-

дельно допустимых концентраций  $\sum_{i=1}^n [C_i]$  будет меньше или равно единице.

В атмосферу удаляется 50 % теплоты топлива через охлаждающие устройства с циркуляционной водой, 5 – 7 % теплоты удаляется с дымовыми газами из дымовой трубы. Остальное количество теплоты топлива выделяется в атмосферу у потребителей электрической энергии и теплоты. Теплота и влага, уносимые из градирен и брызгальных бассейнов, снижают солнечную освещенность, вызывают образование низкой облачности и туманов, морозящих дождей, инея и гололеда в холодное время, обледенение дорог и конструкций, в теплое время из-за возможных осадков капель влаги – засоление почв.

Обмывочные воды, остатки нефтепродуктов и другие отходы, загрязняющая сточные воды электростанции, попадают в водоемы и могут вредно воздействовать на организмы в водах последних.

Источники шумов: сбросы пара через предохранительные клапаны, повышающие трансформаторы, градирни, дымососы.

На территории вокруг электростанции изменяется рельеф местности, распределение воздушных течений, нарушается поверхностный слой почвы, растительный покров, режим грунтовых вод, что нарушает экологическое равновесие.

Методы охраны окружающей среды от воздействия ТЭС делятся на активные и пассивные. *Активные* способы связаны с применением природосберегающих технологий при получении энергии: технологий, связанных с повышением КПД, заменой КЭС на ТЭЦ (уменьшается расход топлива и уменьшаются выбросы), предварительной переработкой топлива, позволяющей уловить загрязнители заранее, применением замкнутых технологических циклов (полным использованием золы, получением серной кислоты и т.п.).

К *пассивным* способам защиты относят применение различного вида устройств, улавливающих загрязнения на конечных стадиях технологического цикла, способствующих их уменьшению до концентраций и доз, меньших предельно допустимых (очистные сооружения, золоуловители, высокие дымовые трубы, шумоглушители и т.п.).

Разработанные способы очистки топлива от соединений серы: растворение топлива в жидких углеводородах, газификация топлива с последующим удалением соединений серы, обогащение углей с выделением серного колчедана – не нашли применения на электростанциях из-за удорожания электроэнергии примерно вдвое. Удаление соединений серы в скрубберах (контакт с жидкостью, имеющей щелочные добавки) имеет затруднения в применении из-за коррозии оборудования, забивания его отложениями и затруднением со складированием шлаков. Перспективный способ – сжигание топлива с добавками в кипящем слое. Самый простой

способ снижения влияния выбросов ТЭС – рассеивание их с помощью высоких дымовых труб до допустимых концентраций в приземном слое атмосферы, но сами примеси при этом не улавливаются, что указывает на несовершенство способа.

Лучшим способом борьбы с  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  является организация процесса горения с предотвращением их образования (уменьшение доли первичного воздуха и затягивание процесса перемешивания топливовоздушной смеси со вторичным воздухом), второй способ – рециркуляция топочных газов и снижение температуры воздуха. Указанные способы применяются при сжигании газа и мазута. При сжигании твердых топлив организуют двухступенчатое сжигание: основное количество топлива сгорает при пониженных избытках воздуха, а остальной необходимый воздух подается выше активной зоны горения. Снижение температуры в области горения с целью сокращения образования  $\text{NO}_x$  приводит к снижению коррозии поверхностей нагрева котла.

Для улавливания механических примесей применяются золоуловители: инерционные, мокрые золоуловители и электрофильтры (рис.3.32).

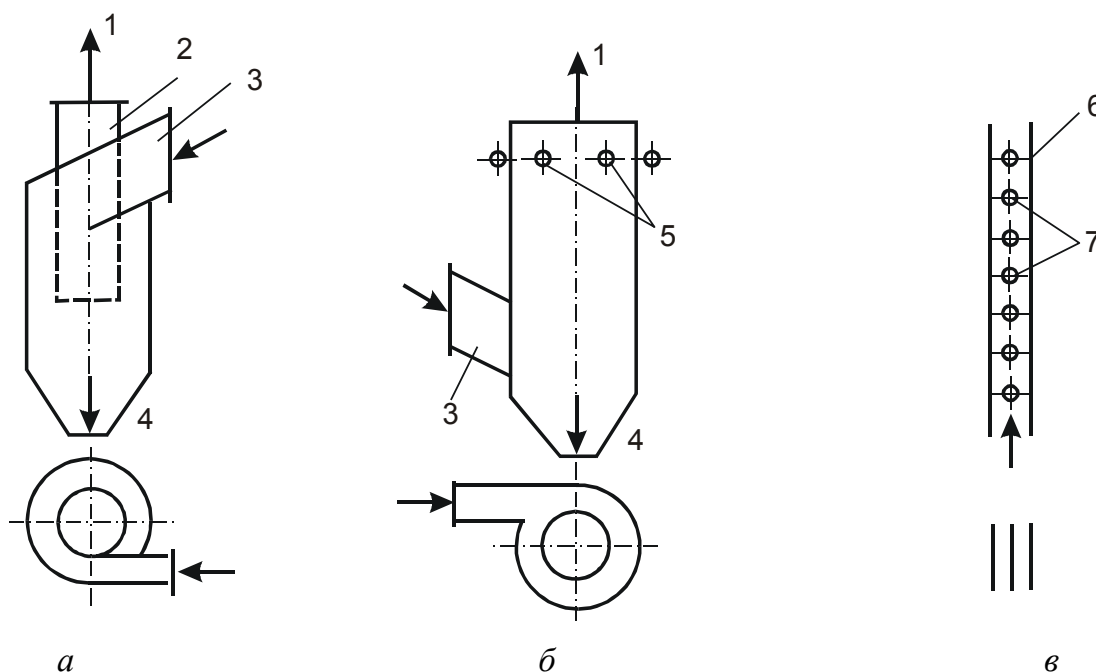


Рис. 3.32. Золоуловители:

*a* – инерционный золоуловитель; *б* – мокрый; *в* – электрофильтр; 1 – выход очищенного газа; 2 – выходной патрубок; 3 – входной патрубок; 4 – выход золы; 5 – оросительное устройство; 6, 7 – осадительный и коронирующий электроды

В инерционных золоуловителях (циклонах) твердые частицы за счет закрутки потока отжимаются к стенкам камеры и затем ссыпаются вниз в воронку и далее в бункер; газы через внутренний цилиндр уходят вверх и к дымососу. Батарея циклонов обеспечивает КПД до 93 %.

Мокрые золоуловители отличаются от инерционных тем, что на частицу золы действует, увлекая ее за собой, пленка воды, движущаяся по

внутренней стенке цилиндра; КПД таких золоуловителей – 82 – 90 %, при наличии трубки Вентури значение КПД лежит в пределах 95 – 97 %.

Электрофильтры имеют КПД 99–99,5 %; в них дымовые газы движутся в канале, образованном осадительными электродами (имеют знак плюс), между которыми расположены коронирующие электроды (имеют знак минус). Частицы золы получают отрицательный заряд и притягиваются к осадительным электродам. Периодическим встряхиванием налипшая на них зола под действием силы тяжести ссыпается в бункер и далее удаляется.

### **3.12. Газотурбинные и парогазовые ТЭС**

В настоящее время в мире существенно изменилась структура вновь вводимых энергетических мощностей. Значительное место в ней заняли газотурбинные (ГТУ) и парогазовые (ПГУ) установки. Объем заказов на ГТУ в мире превысил 117000 МВт в год.

#### *3.12.1. Газотурбинные установки (ГТУ)*

ГТУ широко применяются в различных областях: в энергетике, на транспорте (в качестве двигателей турбореактивных и турбовинтовых самолетов и судов морского флота), для привода стационарных установок (компрессоров и других агрегатов).

Открытая ГТУ, выполненная по простой схеме, состоит из газовой турбины, камеры сгорания и воздушного компрессора, а также вспомогательных систем, обеспечивающих ее работу. Давления воздуха на входе в компрессор и газа на выходе из газовой турбины равны атмосферному давлению. В камеру сгорания подается значительно больше воздуха (в 3,5÷4,5 раза), чем требуется для сгорания топлива. Это необходимо для снижения температуры продуктов сгорания от ~ 2000 °С до температуры на входе в турбину, приемлемой по условиям прочности и окалиностойкости металла. Рабочим телом газовой турбины служит смесь избыточного воздуха с продуктами сгорания газообразного или легкого жидкого топлива. После расширения в турбине газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

КПД простой ГТУ невысок, для его повышения необходимо увеличивать температуру газа перед турбиной. В перспективных газовых энергетических турбинах  $t_0=1300\div1500$  °С, но, несмотря на высокий уровень начальной температуры, экономичность простой ГТУ невелика (КПД ГТУ  $\eta_{э}\leq 37$  %). Это объясняется высокой температурой газов на выходе из турбины и, следовательно, значительной потерей теплоты с уходящими газами.

Дальнейшее повышение КПД возможно путем усложнения схемы ГТУ.

*Газотурбинные установки с регенерацией теплоты.* Повысить экономичность ГТУ можно за счет использования части теплоты газов после турбины для подогрева сжатого воздуха, поступающего из компрессора в камеру сгорания. Для этой цели устанавливается регенератор – теплообменник, в котором обычно трубки со сжатым воздухом омываются горячими газами после турбины. Температура воздуха на входе в камеру сгорания повышается, что приводит к снижению расхода топлива в камере сгорания.

*Газотурбинные установки с использованием теплоты уходящих газов для снабжения тепловых потребителей.* Один из наиболее простых и распространенных способов повышения экономичности ГТУ – использование ее для теплофикации. Теплота уходящих газов используется в теплообменниках для получения пара, отпускаемого производственным потребителям, или в подогревателях сетевой воды для отопления и горячего водоснабжения (по такой схеме работают, например, ГТУ на Якутской ГРЭС).

*Газотурбинные установки с промежуточным охлаждением воздуха и промежуточным подводом теплоты.* Работа сжатия в компрессоре составляет более половины работы, совершенной газами в турбине. Уменьшить работу сжатия в компрессоре можно промежуточным охлаждением воздуха в воздухоохладителе, установленном между двумя отсеками компрессора. Пропорционально снижению абсолютной температуры воздуха уменьшается работа на сжатие во втором отсеке компрессора и, как следствие, увеличиваются полезная работа и КПД ГТУ.

Применяя вторую камеру сгорания и *промежуточный подвод теплоты к газу* после его частичного расширения в турбине, можно увеличить теплоперепад турбины, полезную работу и КПД ГТУ.

На рис. 3.33 в качестве примера приведена схема сложной ГТУ, в которой для повышения экономичности одновременно применяются промежуточное охлаждение воздуха, промежуточный подвод теплоты и регенерация.

Усложнение схемы приводит, одновременно с ростом КПД ГТУ и увеличением полезной работы, к повышению капитальных затрат на сооружение ГТУ и усложнению эксплуатации. Поэтому оптимальная схема выбирается на основании технико-экономических расчетов.

*Газотурбинные установки в составе парогазовых установок.* Теплота газов ГТУ используется в паротурбинном цикле для получения пара, работающего в паровой турбине, либо для подогрева питательной воды.

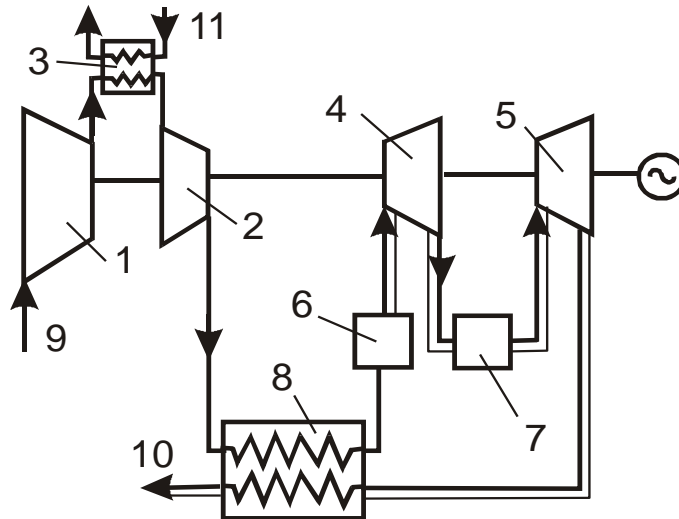


Рис. 3.33. Схема сложной ГТУ

1 – компрессор низкого давления; 2 – компрессор высокого давления; 3 – охладитель; 4 – газовая турбина высокого давления; 5 – газовая турбина низкого давления; 6, 7 – камеры сгорания высокого и низкого давления; 8 – регенератор; 9 – вход атмосферного воздуха; 10 – отвод отработавших газов в трубу; 11 – охлаждающая вода

Выше упомянуты *недостатки* ГТУ: невысокий КПД, сравнительно небольшие величины единичной мощности и низкая доля полезной мощности. К недостаткам относится также жесткое требование к топливу: можно использовать только газообразное или легкое жидкое топливо, которое не дает отложений на лопатках турбины. *Достоинствами* ГТУ являются: небольшие габариты, масса и стоимость на единицу мощности, незначительная потребность в охлаждающей воде, практически полная автоматизация работы, способность быстро запускаться и работать в циклическом режиме без снижения надежности, слабое воздействие на окружающую среду. Кроме того, для ГТУ характерны хорошие экономические показатели – быстрая окупаемость капитальных затрат, минимальные затраты на обслуживание и ремонты, наименьшие затраты за срок службы.

### 3.12.2. Парогазовые установки

Наибольшие термодинамические и экономические выгоды обеспечиваются при объединении газотурбинного и паротурбинного циклов. Для ГТУ характерна высокая температура *подвода* теплоты, а для ПТУ – низкая, близкая к температуре окружающей среды, температура *отвода* теплоты в конденсаторе. Вследствие объединения циклов увеличиваются отношение температур горячего и холодного источников теплоты в комбинированном цикле и его КПД. На современном этапе такое сочетание циклов является самым перспективным способом увеличения эффективности тепловых электростанций, использующих природный газ.

Парогазовые установки (ПГУ) представляют собой комбинированные установки, в которых осуществляется совместная работа газотурбинной и паротурбинной установок. По виду связи ГТУ и ПТУ можно выделить несколько типов ПГУ.

1. Утилизационные ПГУ (рис. 3.34) позволяют наиболее эффективно использовать теплоту отработавших газов ГТУ в котле-утилизаторе (КУ) для производства пара, расширяющегося затем в паровой турбине с выработкой электроэнергии. При этом возможно достижение значений КПД ПГУ 55-60%.

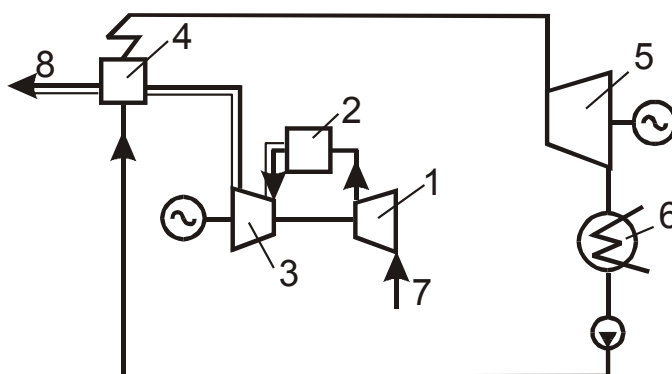


Рис. 3.34. Принципиальная схема утилизационной ПГУ

1 – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – газовая турбина; 4 – паровой котел-утилизатор; 5 – паровая турбина; 6 – конденсатор; 7 – воздух; 8 – газы

В утилизационной ПГУ сжигание топлива происходит только в камере сгорания ГТУ, а котел-утилизатор представляет собой чисто конвективный теплообменный агрегат. Он должен иметь большую поверхность нагрева вследствие сравнительно малой разности температур газов и воды.

С целью достижения высокой экономичности в утилизационных ПГУ должны применяться высокотемпературные ( $t_0^T = 1250 \div 1500$  °С) газовые турбины с температурой уходящих газов на уровне  $550 \div 600$  (до  $640$ ) °С, что позволяет генерировать пар высоких параметров. Пока такие ГТУ могут работать либо на природном газе, либо на легком жидком топливе.

Благодаря своей простоте и высокой экономичности утилизационные ПГУ являются преобладающими.

2. ПГУ со сбросом газов в котел. Отработавшие газы ГТУ (смесь продуктов сгорания с воздухом) сбрасываются в **энергетический** паровой котел, где служат окислителем для дополнительно сжигаемого топлива, замещаая воздух, подаваемый дутьевыми вентиляторами из атмосферы. Отпадает необходимость в воздухоподогревателе и дутьевых вентиляторах. Газы на входе в котел имеют повышенную температуру, поэтому расход теплоты топлива на производство пара снижается, что приводит к повышению КПД установки. Давление газов в котле несколько выше атмо-

сферного, поэтому дымососы отсутствуют. Принципиально тепловая схема ПГУ не отличается от схемы на рис. 3.34. На практике сбросная ПГУ имеет очень сложную схему, так как необходимо обеспечить автономную работу паротурбинной части на случай выхода из строя ГТУ. В *сбросной ПГУ* энергетический котел может работать на любом топливе, что является главным ее преимуществом.

3. В ПГУ с высоконапорным парогенератором (ВПГ) парогенератор совмещен с камерой сгорания газового контура, он устанавливается между компрессором и газовой турбиной (рис. 3.35). В ВПГ поступает воздух из компрессора и все топливо сгорает при высоком давлении. Это значительно интенсифицирует процессы горения и теплообмена, в результате чего высоконапорный парогенератор оказывается компактным и имеет высокий КПД. Ввиду того, что рабочим телом газовой турбины являются газы, уходящие из парогенератора, работа ПГУ с ВПГ на твердом топливе невозможна, что является недостатком этих установок. Приведенная на рис. 3.35 схема ПГУ реализована в опытно-промышленной установке на Невинномысской ГРЭС.

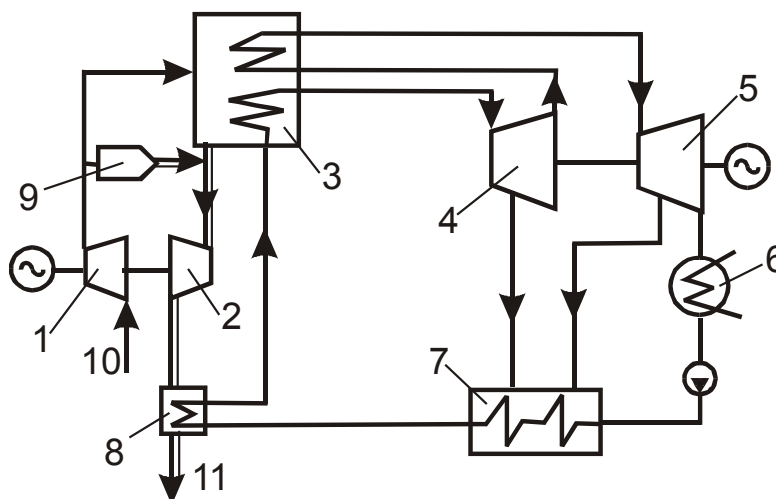


Рис. 3. 35. Принципиальная тепловая схема ПГУ-200:

1 – компрессор; 2 – газовая турбина; 3 – парогенератор; 4, 5 – ЦВД и ЦНД паровой турбины; 6 – конденсатор; 7 – система регенерации паротурбинной установки; 8 – экономайзер; 9 – дополнительная камера сгорания; 10 – атмосферный воздух; 11 – отработавшие газы

В состав энергоблока ПГУ-200 входят: паровая турбина мощностью 160 МВт и газотурбинная установка мощностью 40 МВт. *Компрессор* подает в ВПГ воздух с давлением 0,54 МПа. Газы – продукты сгорания топлива с температурой 770 °С поступают в *газовую турбину*, расширяются в ней и поступают в экономайзер, где теплота уходящих газов используется для подогрева питательной воды. *Дополнительная камера сгорания* служит для поддержания номинальной температуры газов перед газовой турбиной при частичных нагрузках и, тем самым, для обеспечения высокой экономичности блока при всех режимах работы. В *парогенераторе* выра-



батывается перегретый пар, работающий в паротурбинной установке по обычной схеме. Для ПГУ с ВПГ серьезную проблему представляет износ проточной части газовой турбины под действием продуктов коррозии ВПГ.

4. В ПГУ с вытеснением регенерации теплота отработавших газов газовой турбины с используется для подогрева питательной воды (рис. 3.36). В базовом режиме работает только ПТУ по обычной схеме с регенерацией, а ГТУ не работает. Задвижки 11 и 12 при этом открыты, а задвижки 13 и 14 – закрыты. В пиковом режиме включается в работу ГТУ, подогрев питательной воды производится теплотой уходящих газов ГТУ в газодляном подогревателе (задвижки 13 и 14 открыты). Система регенерации паровой турбины отключается путем закрытия задвижек 11 и 12. Пар регенеративных отборов вырабатывает дополнительную электрическую мощность и направляется в конденсатор. Экономичность установки может быть повышена, если увеличение потери теплоты в конденсаторе не превысит уменьшение потери теплоты с уходящими газами ГТУ.

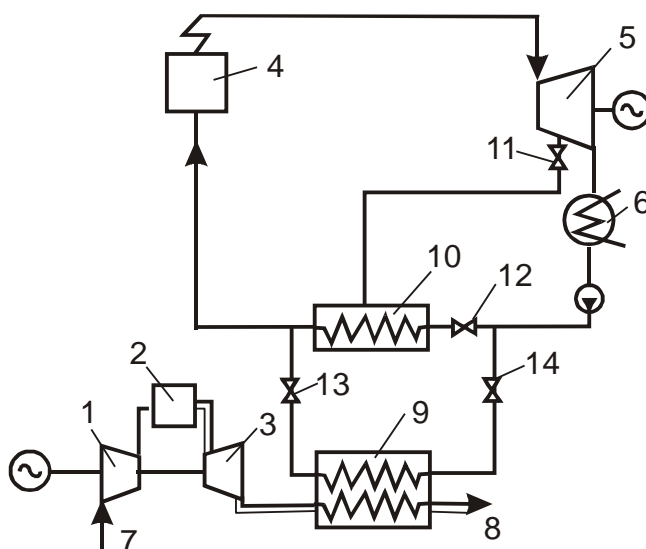


Рис. 3.36. Упрощенная схема ПГУ с вытеснением регенерации:  
1–8 – обозначения те же, что на рис. 9.43; 9 – газодляной подогреватель; 10 – система регенерации; 11–14 – задвижки

ПГУ с вытеснением регенерации дает наименьшую экономию топлива, однако она позволяет надстроить существующий паротурбинный блок с минимальными переделками.

Все приведенные схемы относятся к двухвальному типу ПГУ, в которых паровая и газовая турбины имеют каждая свой генератор электрического тока. Возможна также одновальная схема ПГУ, когда один электрогенератор расположен на общем валу паровой и газовой турбин.

Кроме рассмотренных ПГУ *раздельного* типа, в которых используется два рабочих тела (газы и пар), движущихся по самостоятельным контурам,

возможно создание *контактных* парогазовых установок (рис. 3.37). В такой ПГУ рабочим телом турбины служит смесь газов (продуктов сгорания) и водяного пара, выработанного в котле-утилизаторе. Газопаровая смесь, образуемая в камере сгорания, расширяется в турбине, совершая работу, и поступает в котел-утилизатор, где ее теплота используется для испарения воды.

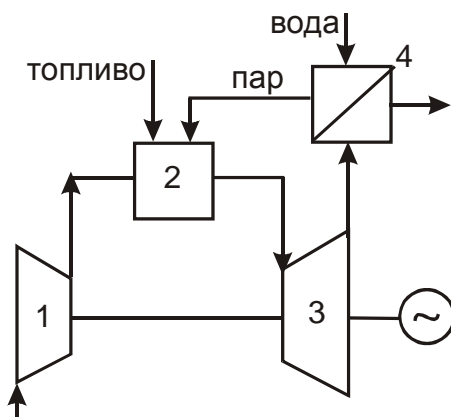


Рис. 3.37. Схема ПГУ контактного типа:  
1–4 – обозначения те же, что на рис. 3.36

*Достоинством* контактных ПГУ является снижение образования окислов азота при вводе пара в камеру сгорания, особенно при высоких температурах в ней. Их *недостаток* – потеря с уходящими газами рабочего тела (воды), которые необходимо компенсировать, что требует развития системы водоочистки.

*По сравнению с паротурбинными энергоблоками* равной мощности современные ПГУ имеют значительно более высокий КПД, меньший расход топлива (на 30 – 35 %), требуют меньше охлаждающей воды. Они меньше загрязняют окружающую среду теплотой и характеризуются низким уровнем вредных выбросов в атмосферу (для окислов азота – в 2,5–3 раза). Существенным *достоинством* ПГУ являются меньшие удельные капиталовложения и объем строительно-монтажных работ (до 20–30 %). При довольно большой единичной мощности и высокой экономичности ПГУ также обладают высокой маневренностью, что позволяет использовать их в равной мере для покрытия как базовой, так и переменной частей графиков нагрузки.

Масштабы использования газотурбинных и парогазовых технологий значительно увеличатся в течение последующих десятилетий вследствие расширения использования природного газа для производства электроэнергии. Эти технологии совершенствуются и будут развиваться по мере промышленного освоения газификации твердого топлива.

#### 4. НЕТРАДИЦИОННАЯ (МАЛАЯ) ЭНЕРГЕТИКА

Задача удовлетворения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства в электрической и тепловой энергии, особенно в регионах, удалённых от централизованных энергосетей, а также более глобальные проблемы энергообеспечения России в будущем и обеспечения экологической чистоты её территории, приводят к необходимости развития малой и нетрадиционной энергетики.

Малая и нетрадиционная энергетика - область хозяйства, науки и техники, охватывающая производство, передачу, накопление и потребление электрической, тепловой и механической энергии, получаемой за счёт использования малых месторождений ископаемых видов топлива - угля, нефти, газа, торфа, имеющих местное значение, и нетрадиционных возобновляемых источников энергии - солнца, ветра, тепла Земли, биомассы, малых рек, морей и океанов, низкопотенциального тепла, а также новых и альтернативных экологически чистых видов топлива. Основой развития этой энергетики являются местные источники всех видов энергии, а обеспечиваемые ими мощности единичных агрегатов электростанций ограничиваются значением 5 МВт при общей мощности до 30 МВт.

Комплексное освоение местных ископаемых и нетрадиционных источников энергии позволит решить серьёзные социально-экономические проблемы:

- обеспечения бытовых и производственных потребителей на более чем 70% территории России с населением около 22 млн. человек, в настоящее время не охваченных системой централизованного энергоснабжения;
- повышения надёжности энергообеспечения всех районов страны за счёт создания резервных источников;
- снижения вредных воздействий энергетики на природную среду посредством использования экологически чистых новых и возобновляемых источников энергии и постепенной замены ими традиционных источников с загрязняющими отходами производства.

Разведанные запасы местных месторождений угля, нефти и газа в России составляют 8,7 млрд. тонн условного топлива (т.у.т.), а торфа 10 млрд. т.у.т. Потенциальные возможности новых и возобновляемых источников энергии составляют в год:

- энергии Солнца - 2300 млрд. т.у.т.;
- энергии ветра - 26,7 млрд. т.у.т.;
- энергии биомассы - 10 млрд. т.у.т.;
- тепла Земли - 40000 млрд. т.у.т.;
- энергии малых рек - 360 млрд. т.у.т.;
- энергии морей и океанов - 30 млрд. т.у.т.;
- энергии вторичных низкопотенциальных источников тепла - 530 млрд. т.у.т.

Эти источники намного превышают современный уровень энергопотребления России, составляющий около 1,2 млрд. т.у.т. в год, что создаёт перспективы полного решения энергетической проблемы в будущем при одновременном решении проблемы экологии.

Особенностью современного состояния научно-технических разработок и практического использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии является высокая стоимость получаемой тепловой и электрической энергии по сравнению с традиционными источниками. В то же время существует устойчивая во времени тенденция снижения стоимости нетрадиционных возобновляемых источников энергии, обусловленная научными достижениями в совершенствовании методов их использования, и тенденция повышения стоимости традиционных ископаемых источников энергии, вызванная их истощением и усложнением технологии добычи.

Существуют районы страны, где по экономическим и экологическим условиям целесообразно приоритетное развитие малой и нетрадиционной энергетики, в том числе:

- зоны децентрализованного энергоснабжения с низкой плотностью населения;
- зоны централизованного энергоснабжения с большим дефицитом мощности и значительными потерями в сельскохозяйственном производстве из-за частых отключений энергосети;
- города и места массового отдыха населения со сложной экологической обстановкой из-за вредных выбросов в атмосферу промышленных и городских котельных на органическом топливе;
- зоны с проблемами энергообеспечения индивидуального жилья, фермерских хозяйств, мест сезонной работы, садово-огородных строений.

В разработке методов использования новых и возобновляемых источников энергии и технологического оборудования для освоения местных видов топлива Россия имеет крупные результаты на уровне, а в ряде направлений выше, мировых достижений. При этом выявлены большие потенциальные возможности повышения эффективности использования источников и снижения стоимости получаемой тепло- и электроэнергии, что обеспечивает широкие перспективы решения энергетических и экологических проблем в будущем. Однако по объёму научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а тем более по объёму производства оборудования и установок малой и нетрадиционной энергетики, Россия резко отстаёт как от ведущих, так и от большего числа развивающихся стран.

Важный новый этап в развитии нетрадиционной энергетики связан с привлечением к разработке и производству современного оборудования крупнейших предприятий и конструкторских бюро, в том числе оборонно-промышленного комплекса. В настоящее время отечественными предприятиями освоено производство широкой номенклатуры оборудования и

установок нетрадиционной и малой энергетики, которые могут найти применение и уже используются на практике. В их числе:

- ветроэлектрические установки широкого ряда мощностей - от 100 Вт до 1 МВт;
- широкая гамма фотопреобразователей и модулей солнечных батарей со сроком службы от 5 до 20 лет, а также их систем с аккумуляторами и инверторами;
- тепловые коллекторы, использующие современные материалы для коррозионно-стойких панелей и оптических покрытий;
- агрегаты малых и микро-ГЭС различных типоразмеров и мощностей от 5 кВт до 3 МВт, которые вырабатывают электроэнергию в соответствии с требованиями ГОСТа, имеют полную автоматизацию и обеспечивают ресурс не менее 5 лет до капитального ремонта, полный ресурс - не менее 40 лет;
- геотермальные тепловые станции блочно-модульного типа тепловой мощностью от 6 до 20 МВт и геотермальные электростанции электрической мощностью от 0,5 до 23 МВт;
- биогазовые установки для экологически чистой безотходной переработки различных органических отходов (навоз крупного рогатого скота, помёт птицы, пищевые и твёрдые бытовые отходы), с получением топлива - биогаза (производительностью единичных агрегатов до 450 м<sup>3</sup> в сутки) и экологически чистых органических удобрений;
- различные серии тепловых насосов теплопроизводительностью от 100 кВт до 4 МВт с высоким отношением (от 3 до 7) получаемой теплоты к электроэнергии, затрачиваемой на привод компрессора.

Разработанные и выпускаемые системы нетрадиционной и малой энергетики успешно эксплуатируются в различных регионах России и стран СНГ и поставляются в страны дальнего зарубежья.

На сегодняшний день эффективная энергосберегающая политика залог не только экономического роста, но и устойчивого развития страны в целом. По результатам многочисленных исследований органическое топливо к 2020 г. может удовлетворить запросы мировой энергетики только частично. Остальная часть энергопотребности может быть удовлетворена за счет других источников энергии – нетрадиционных и возобновляемых.

#### **4.1. Электростанции, работающие на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии**

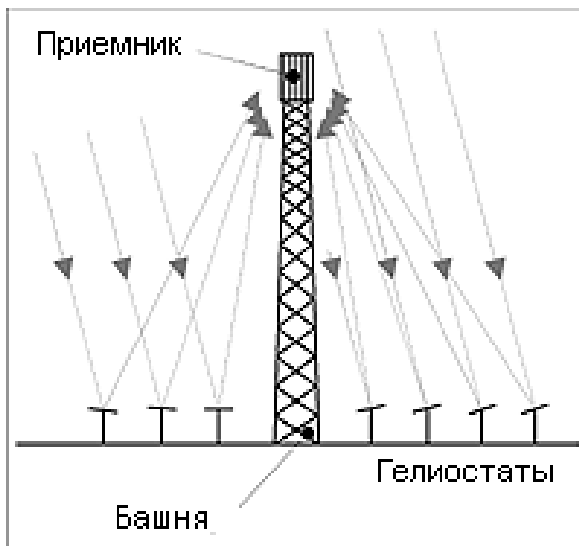
##### *4.1.1. Солнечные электростанции*

*Нетрадиционные возобновляемые источники электрической энергии* - это те энергоресурсы, которые восполняются естественным образом и в обозримой перспективе являются практически неисчерпаемыми.

Все **солнечные электростанции (СЭС)** подразделяют на несколько типов:

- СЭС башенного типа
- СЭС тарельчатого типа
- СЭС, использующие фотобатареи
- СЭС, использующие параболические концентраторы
- Комбинированные СЭС
- Аэростатные солнечные электростанции

#### 4.1.1.1 СЭС башенного типа

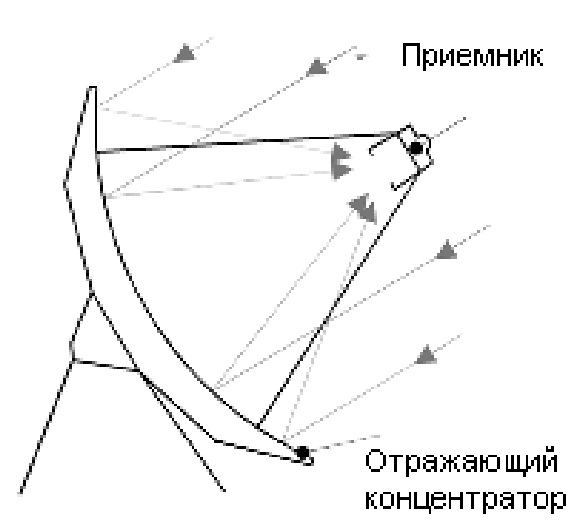


Данные электростанции основаны на принципе получения водяного пара с использованием солнечной радиации. В центре станции стоит башня высотой от 18 до 24 метров (в зависимости от мощности и некоторых других параметров высота может быть больше либо меньше), на вершине которой находится резервуар с водой. Этот резервуар покрашен в чёрный цвет для поглощения теплового излучения. Также в этой башне находится

насосная группа, доставляющая пар на турбогенератор, который находится вне башни. По кругу от башни на некотором расстоянии располагаются гелиостаты. **Гелиостат** — зеркало площадью в несколько квадратных метров, закреплённое на опоре и подключённое к общей системе позиционирования. То есть, в зависимости от положения солнца, зеркало будет менять свою ориентацию в пространстве. Основная и самая трудная задача — это позиционирование всех зеркал станции так, чтобы в любой момент времени все отраженные лучи от них попали на резервуар. В ясную солнечную погоду температура в резервуаре может достигать 700 градусов. Такие температурные параметры используются на большинстве традиционных тепловых электростанций, поэтому для получения энергии используются стандартные турбины. Фактически на станциях такого типа можно получить сравнительно большой КПД (около 20 %) и высокие мощности.

#### 4.1.1.2 СЭС тарельчатого типа

Данный тип СЭС использует принцип получения электроэнергии, схожий с таковым у Башенных СЭС, но есть отличия в конструкции самой станции. Станция состоит из отдельных модулей. Модуль состоит из опоры, на которую крепится ферменная конструкция приемника и отражателя. Приемник находится на некотором удалении от отражателя, и в нем концентрируются отраженные лучи солнца. Отражатель состоит из зеркал в форме тарелок (отсюда название), радиально расположенных на ферме.

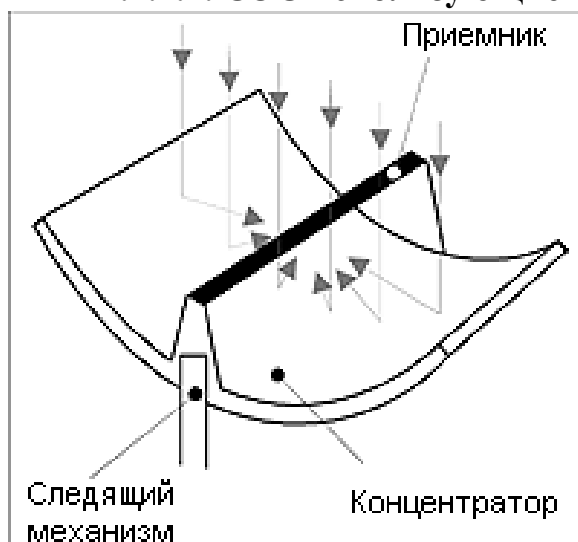


Диаметры этих зеркал достигают 2 метров, а количество зеркал - нескольких десятков (в зависимости от мощности модуля). Такие станции могут состоять как из одного модуля (автономные), так и из нескольких десятков (работа параллельно с сетью).

#### 4.1.1.3. СЭС, использующие фотобатареи

СЭС этого типа в настоящее время очень распространены, так как в общем случае СЭС состоит из большого числа отдельных модулей (фотобатарей) различной мощности и выходных параметров. Данные СЭС широко применяются для энергообеспечения как малых, так и крупных объектов (частные коттеджи, пансионаты, санатории, промышленные здания и т. д.). Устанавливаться фотобатареи могут практически везде, начиная от кровли и фасада здания и заканчивая специально выделенными территориями. Установленные мощности тоже колеблются в широком диапазоне, начиная от снабжения отдельных насосов, заканчивая электроснабжением небольшого посёлка.

#### 4.1.1.4. СЭС использующие параболические концентраторы



Принцип работы данных СЭС заключается в нагревании теплоносителя до параметров, пригодных к использованию в турбогенераторе.

Конструкция СЭС: на ферменной конструкции устанавливается параболическое зеркало большой длины, а в фокусе параболы устанавливается трубка, по которой течет теплоноситель (чаще всего масло). Пройдя весь путь, теплоноситель разогревается и в теплообменных аппаратах отдаёт теплоту воде, которая превращается в пар и поступает на турбогенератор.

#### 4.1.1.5. СЭС, использующие двигатель Стирлинга

Представляют собой СЭС с параболическими концентраторами, у которых в фокусе установлен двигатель Стирлинга. Существуют кон-

струкции двигателей Стирлинга, которые непосредственно преобразуют колебания поршня в электрическую энергию, без использования кривошипно-шатунного механизма. Это позволяет достичь высокой эффективности преобразования энергии. Эффективность таких электростанций достигает 31,25%. В качестве рабочего тела используется водород или гелий.

#### **4.1.1.6. Комбинированные СЭС**

Часто на СЭС различных типов дополнительно устанавливают теплообменные аппараты для получения горячей воды, которая используется как для технических нужд, так и для горячего водоснабжения и отопления. В этом и состоит суть комбинированных СЭС. Также на одной территории возможна параллельная установка концентраторов и фотобатарей, что тоже считается комбинированной СЭС.

**Исходя из всей полученной информации, можно сопоставить характеристики солнечных электростанций:**

Башни и параболоцилиндрические концентраторы оптимально работают в составе крупных, соединенных с сетью электростанций мощностью 30-200 МВт, тогда как системы тарельчатого типа состоят из модулей и могут использоваться как в автономных установках, так и группами общей мощностью в несколько мегаватт. Параболоцилиндрические установки - на сегодня наиболее развитая из солнечных энергетических технологий и именно они, вероятно, будут использоваться в ближайшей перспективе. Электростанции башенного типа, благодаря своей эффективной теплоаккумулирующей способности, также могут стать солнечными электростанциями недалекого будущего. Модульный характер “тарелок” позволяет использовать их в небольших установках. Башни и “тарелки” позволяют достичь более высоких значений КПД превращения солнечной энергии в электрическую при меньшей стоимости, чем у параболических концентраторов. Однако, остается неясным, смогут ли эти технологии достичь необходимого снижения капитальных затрат. Параболические концентраторы в настоящее время - уже апробированная технология, ожидающая своего шанса на совершенствование. Башенные электростанции нуждаются в демонстрации эффективности и эксплуатационной надежности технологии расплавленных солей при использовании недорогих гелиостатов. Для систем тарельчатого типа необходимо создание хотя бы одного коммерческого двигателя и разработка недорогого концентратора.

#### *4.1.2. Ветряные электростанции*

Использование **ветряных электростанций** позволяет в значительной степени решить экологическую проблему. Ветряная электростанция представляет собой систему ветрогенераторов, которые устанавливаются на высоте 30-60 метров в местностях, где скорость ветра достигает выше



4,5 м/с. Во многих странах уже созданы специальные карты ветров, с помощью которых планируется установка ветрогенераторов.

Существует несколько типов ветряных электростанций (ВЭС):

- Наземные
- Прибрежные
- Шельфовые
- Плавающие
- Наземные ВЭС

Это самый распространённый в настоящее время тип ветряных электростанций. Ветрогенераторы устанавливаются на холмах или возвышенностях. Ветрогенератор промышленного уровня можно собрать и запустить за 10 дней. Однако получение разрешений регулирующих органов на строительство ветряной фермы может занимать год и более. Для строительства необходима дорога до строительной площадки, тяжёлая подъёмная техника с выносом стрелы более 50 метров, так как гондолы устанавливаются на высоте около 50 метров. Электростанция соединяется кабелем с передающей электрической сетью.

#### **4.1.2.1. Прибрежные ВЭС**

Прибрежные ветряные электростанции строят на небольшом удалении от берега моря или океана. На побережье с суточной периодичностью дует бриз, что вызвано неравномерным нагреванием поверхности суши и водоёма. Дневной, или морской бриз, движется с водной поверхности на сушу, а ночной, или береговой — с остывшего побережья к водоёму.

#### **4.1.2.2. Шельфовые ВЭС**

Шельфовые ветряные электростанции строят в море за 10—60 километров от берега. Они обладают рядом преимуществ:

- их практически не видно с берега;
- они не занимают землю;
- они имеют большую эффективность из-за регулярных морских ветров.

Шельфовые электростанции строят на участках моря с небольшой глубиной. Башни ветрогенераторов устанавливают на фундаменты из свай, забитых на глубину до 30 метров, а **электроэнергия** передаётся на землю по подводным кабелям. Шельфовые электростанции более дороги в строительстве, чем их наземные аналоги. Для генераторов требуются более высокие башни и более массивные фундаменты. Солёная морская вода может приводить к коррозии металлических конструкций.

#### **4.1.2.3. Плавающие ВЭС**



В десяти километрах к юго-западу от побережья Норвегии работает первая полномасштабная демонстрационная плавающая ветровая электростанция. Ей не страшны невзгоды Северного моря. Глубина воды в этом месте - 200 метров, что исключает использование свай, цепко закрепленных на морском дне, или установку турбины на погруженных в воду башнях.

Вместо этого, турбины крепятся на плавучих стальных цилиндрах и находятся в вертикальном положении благодаря балласту. Для стабильности они прикреплены (не слишком плотно) к морскому дну тремя мёртвыми якорями.

При помощи плавучей платформы становится возможным использование ветров, которые дуют над глубоководными участками моря. С экономической точки зрения морские ветропарки способствуют использованию меньшего количества более крупных турбин. В новых проектах предполагается использование турбин мощностью от 5 до 7 МВт высотой от 126 до 164 метров. В некоторых случаях размер лопастей турбин близится к 200 метрам в диаметре. Крупнейшие ветровые турбины на земле имеют лишь около половины этого размера.

#### *4.1.3. Геотермальные электростанции*

##### **Принцип работы геотермальных электростанций:**

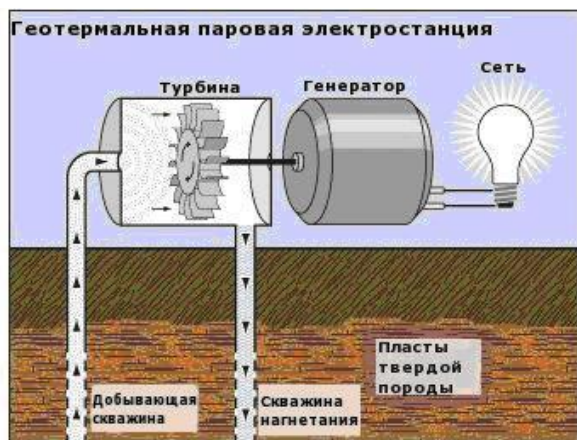
В настоящее время существует три схемы производства электроэнергии с использованием гидротермальных ресурсов: прямая с использованием сухого пара, непрямая с использованием водяного пара и смешанная схема производства (бинарный цикл). Тип преобразования зависит от состояния среды (пар или вода) и ее температуры. Первыми были освоены электростанции на сухом пару. Для производства электроэнергии на них пар, поступающий из скважины, пропускается непосредственно через турбину/генератор. Электростанции с непрямым типом производства электроэнергии на сегодняшний день являются самыми распространенными. Они используют горячие подземные воды (температурой до 182 °С) которая закачивается при высоком давлении в генераторные установки на поверхности. Геотермальные электростанции со смешанной схемой производства отличаются от двух предыдущих типов геотермальных электростанций тем, что пар и вода никогда не вступают в непосредственный контакт с турбиной/генератором.

##### **Виды геотермальных электростанций:**

- Работающие на сухом пару

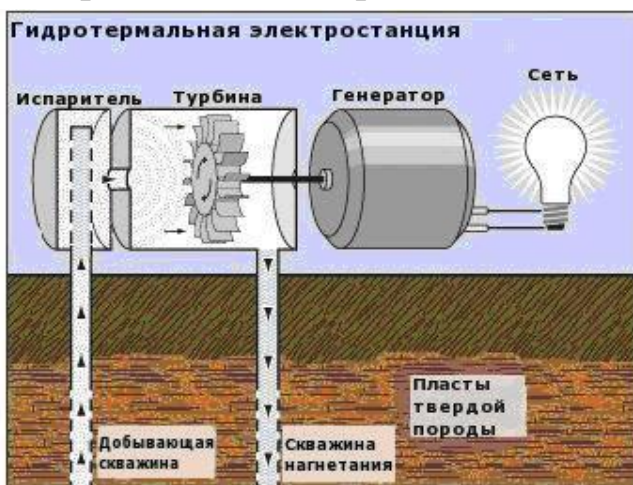
- Работающие на парогидротермах
- С бинарным циклом производства электроэнергии

### Геотермальные электростанции, работающие на сухом пару



Паровые электростанции работают преимущественно на гидротермальном пару. Пар поступает непосредственно в турбину, которая питает генератор, производящий электроэнергию. Использование пара позволяет отказаться от сжигания ископаемого топлива (также отпадает необходимость в транспортировке и хранении топлива).

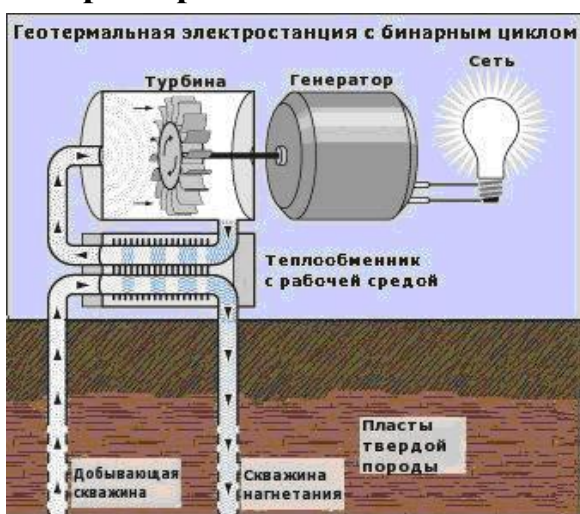
### Геотермальные электростанции на парогидротермах



Для производства электричества на таких заводах используются перегретые гидротермы (температура выше 182 °C). Гидротермальный раствор нагнетается в испаритель для снижения давления, из-за этого часть раствора очень быстро выпаривается. Полученный пар приводит в действие турбину. Если в резервуаре остается жидкость, то ее можно выпарить в следующем испарителе для получения еще большей мощности.

рить в следующем испарителе для получения еще большей мощности.

### Геотермальные электростанции с бинарным циклом производства электроэнергии



Большинство геотермальных районов содержат воду умеренных температур (ниже 200°C). На электростанциях с бинарным циклом производства эта вода используется для получения энергии. Горячая геотермальная вода и вторая, дополнительная жидкость с более низкой точкой кипения, чем у воды, пропускаются через теплообменник. Тепло геотермальной воды выпаривает вторую жидкость, пары которой приводят в действие турбины. Так как это замкнутая система, выбросы

рой приводят в действие турбины. Так как это замкнутая система, выбросы

в атмосферу практически отсутствуют. Воды умеренной температуры являются наиболее распространенным геотермальным ресурсом, поэтому большинство геотермальных электростанций будущего будут работать на этом принципе.

#### *4.1.4. Гидроэлектростанции*

Электростанции, которые используют энергию водного потока в качестве источника энергии, называются **гидроэлектростанциями**. Они, как правило, сооружаются на реках, плотинах и водохранилищах.

Для эффективной работы и производства электроэнергии на гидроэлектростанции необходимо соблюсти два основных фактора:

- 1) Бесперебойное обеспечение водой на протяжении всего года;
- 2) Для строительства выбрать место с большими уклонами реки;

Основным принципом работы гидроэлектростанции является преобразование механической энергии воды, которая обусловлена разностью высот, при помощи турбины и генератора, в электрическую энергию.

**Гидроэлектростанции подразделяются на следующие виды:**

- гидроаккумулирующие;
- деривационные;
- плотинные станции;

Принцип работы **гидроаккумулирующих станций** заключается в перекачивании воды из более низкого резервуара в более высокий, в тот момент, когда стоимость и спрос на электроэнергию низкие. Сбрасывание воды и выработка электроэнергии происходит в тот момент, когда спрос и цена на электроэнергию возрастают.

Наиболее распространенным видом гидроэлектростанций в России являются **плотинные станции**. Для них используют плотину, которая перегораживает русло реки и создает водоем. Чтобы поддерживать уровень в водоеме, а также для производства электроэнергии, производится спуск воды. Такой вид гидроэлектростанций сооружают в местах, где имеются многоводные равнинные реки, а также горные реки, в местах, где наиболее сжатое и узкое русло реки.

В отличие от плотинных ГЭС, **деривационный тип** не использует весь поток реки, а забирает необходимое количество воды из реки, при помощи каналов и водоотводов, для подачи ее на турбину. Водоотводы выпрямлены, при этом получается уклон намного меньше, чем средний уклон реки. Воду подводят прямо к зданию ГЭС. Деривационные ГЭС подразделяются на безнапорные и с напорной деривацией. В связи с этим для этих станций плотины не сооружаются. Данный вид гидроэлектростанций сооружают в местах, в которых уклон реки наиболее велик.

Существует еще один вид гидроэлектростанций, которые называются морские станции. Они функционируют за счет энергии волн, а также приливов и отливов.

Гидроэлектростанции оборудуются дополнительными сооружениями, например шлюзами и судоподъемниками, которые способствуют навигации по водоему, в зависимости от их назначения.

**Принцип работы ГЭС** достаточно прост. Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти



гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.

Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины, и как следствие концентрации реки в определенном месте, или деривацией — естественным током воды. В

некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию.

Непосредственно в самом здании гидроэлектростанции располагается все энергетическое оборудование. В зависимости от назначения, оно имеет свое определенное деление. В машинном зале расположены гидроагрегаты, непосредственно преобразующие энергию тока воды в электрическую энергию. Есть еще всевозможное дополнительное оборудование, устройства управления и контроля над работой ГЭС, трансформаторная станция, распределительные устройства и многое другое.

Гидроэлектрические станции разделяются в зависимости от **вырабатываемой мощности**:

- мощные — вырабатывают от 25 МВт и выше;
- средние — до 25 МВт;
- малые гидроэлектростанции — до 5 МВт.

Мощность ГЭС зависит от напора и расхода воды, а также от КПД используемых турбин и генераторов. Из-за того, что по природным законам уровень воды постоянно меняется, в зависимости от сезона, а также еще по ряду причин, в качестве выражения мощности гидроэлектрической станции принято брать цикличную мощность. К примеру, различают годичный, месячный, недельный или суточный циклы работы гидроэлектростанции.

Гидроэлектростанции также делятся в зависимости от максимального использования **напора воды**:

- высоконапорные — более 60 м;
- средненапорные — от 25 м;
- низконапорные — от 3 до 25 м.

В зависимости от напора воды, в гидроэлектростанциях применяются различные виды турбин. Для высоконапорных – ковшовые и радиально-осевые турбины с металлическими спиральными камерами. На средненапорных ГЭС устанавливаются поворотнолопастные и радиально-осевые турбины, на низконапорных – поворотнолопастные турбины в железобетонных камерах. Принцип работы всех видов турбин схож – вода, находящаяся под давлением (напор воды) поступает на лопасти турбины, которые начинают вращаться. Механическая энергия, таким образом, передается на гидрогенератор, который и вырабатывает электроэнергию. Турбины отличаются некоторыми техническими характеристиками, а также камерами – стальными или железобетонными, и рассчитаны на различный напор воды.

#### **4.2. Вторичные энергоресурсы (ВЭР) как дополнительный источник энергии**

При употреблении энергии и материалов в технологических процессах, на вспомогательные нужды или в сфере услуг потенциал энергоносителей используется не полностью. Та часть энергии, которая прямо или косвенно не используется как полезная для выпуска готовой продукции или услуг, называется энергетическими отходами. Общие энергетические отходы равны разности между энергией, поступающей в технологический аппарат, и полезно используемой энергией.

**Все ВЭР разделяются на три основные группы:**

**1. Горючие (топливные) ВЭР** – химическая энергия отходов технологических процессов химической и термохимической переработки сырья, а именно это: – побочные горючие газы плавильных печей (доменный газ, колошниковый, шахтных печей и вагранок, конверторный и т.д.),

– горючие отходы процессов химической и термохимической переработки углеродистого сырья (синтез, отходы электродного производства, горючие газы при получении исходного сырья для пластмасс, каучука и т.д.),

– твердые и жидкие топливные отходы, не используемые (не пригодные) для дальнейшего технологической переработки,

– отходы деревообработки, щелока целлюлозно-бумажного производства.

Горючие ВЭР используются в основном как топливо и немного (5%) на не топливные нужды (преимущественно в качестве сырья).

**2. Тепловые ВЭР** – это тепло отходящих газов при сжигании топлива, тепло воды или воздуха, использованных для охлаждения технологических агрегатов и установок, теплоотходов производства, например, горячих металлургических шлаков.

Одним из весьма перспективных направлений использования тепла слабо нагретых вод является применение так называемых тепловых насо-

сов, работающих по тому же принципу, что и компрессорный агрегат в домашнем холодильнике. Тепловой насос отбирает тепло от сбросной воды и аккумулирует тепловую энергию при температуре около 90 °С, иными словами, эта энергия становится пригодной для использования в системах отопления и вентиляции.

Следует отметить, что пока ещё большое количество тепловой энергии теряется при так называемом “сбросе” промышленных сточных вод, имеющих температуру 40–60 °С и более, при отводе дымовых газов с температурой 200–300 °С, а также в вентиляционных системах промышленных и общественных зданий, животноводческих комплексов (температура удаляемого из этих помещений воздуха не менее 20÷25 °С).

Особенно значительны объемы тепловых вторичных ресурсов в чёрной металлургии, в газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

**3. ВЭР избыточного давления** – это потенциальная энергия газов, жидкостей и сыпучих тел, покидающих технологические агрегаты с избыточным давлением (напором), которое необходимо снижать перед последующей ступенью использования этих жидкостей, газов, сыпучих тел или при выбросе их в атмосферу, водоёмы, ёмкости и другие приёмники. Сюда же относится избыточная кинетическая энергия.

Вторичные энергетические ресурсы избыточного давления преобразуются в механическую энергию, которая или непосредственно используется для привода механизмов и машин или преобразуется в электрическую энергию.

Примером применения этих ресурсов может служить использование избыточного давления доменного газа в утилизационных бескомпрессорных турбинах для выработки электрической энергии.

Принципиально, **применение утилизируемой энергии** возможно в двух направлениях:

- возвращение ВЭР непосредственно в технологический процесс, что позволяет существенно снизить удельный расход энергии;
- использование утилизируемой энергии для выработки энергоресурсов (электроэнергия, пар, горячая вода).

### **Топливо с полей**

**Биотопливо** – один из видов альтернативного топлива, производимый из сырья растительного или животного происхождения. Самыми распространенными в настоящее время являются биоэтанол, биодизель и, в меньшей степени, биогаз.

#### **Биоэтанол**

Биоэтанол, который по-нашему мы называем спиртом, производится в основном из кукурузы или сахарного тростника. Наиболее распространен в Бразилии, США, Швеции. Применяется не в чистом виде, а в смеси с бензином в разных пропорциях. Смесь Е-10 содержит 10% биоэтанола, Е-

85, соответственно, 85%. Десятипроцентным топливом без переделок можно заправлять любой современный автомобиль, применение 85-процентного требует переделки двигателя и системы питания. Существуют и так называемые Flex-Fuel (FFV) автомобили, которые могут работать и на бензине, и на его смеси с этанолом в любом соотношении.

### **Биодизель**

Биодизель является продуктом переработки растительного масла, сырьем для которого чаще всего служат рапс, соя или подсолнечник. Так же, как и биоэтанол, биодизель применяется в автомобилях не в чистом виде, а в смеси с дизтопливом. Например: В-20 – 20% биодизеля, 80% обычного дизтоплива. В отличие от биоэтанола применение биодизеля не требует доработки двигателя и топливной системы.

И биоэтанол, и биодизель обеспечивают выхлоп, позволяющий с запасом укладываться в экологические нормы. Но так как их энергетическая эффективность ниже, чем у чистого бензина или солярки, то мощность двигателя снижается, а расход топлива возрастает. А самое главное, что широкое использование этих видов биотоплива создает продовольственные проблемы, так как пищевые сельскохозяйственные культуры используются не по прямому назначению, а для производства топлива для автомобилей.

### **Биотоплива второго поколения**

Решить эту проблему призваны биотоплива второго поколения. Главное их отличие в том, что сырьем для их производства служит биомасса, то есть разного рода отходы: остаточные непищевые части растений (стебли, листья, шелуха), древесная стружка, солома, кожура и мякоть от прессовки фруктов, навоз и т.п. Одним из представителей биотоплива второго поколения является биогаз, который еще называют «канализационный» газ. Состоит биогаз из метана и углекислого газа. Для применения в автомобилях его предварительно очищают от углекислого газа и получают биометан. По своим свойствам это аналог природного метана, разница лишь в происхождении. Также из биомассы можно получать и этанол, и дизель.

Биотопливо третьего поколения вырабатывается из водорослей, но до его практического применения пока еще далеко.

### **Преимущества и недостатки биотоплива**

Если еще не так давно перспективы использования биотоплива были довольно радужными, то с началом массового производства биодизеля и биоэтанола возникли социальные, экономические и даже экологические проблемы. Основные из них — рост цен на продовольствие; истощение почв энергетическими культурами; вырубка лесов с целью создания новых посевных площадей для «топливных» культур, и, как следствие, изменение климата; продвижение генномодифицированных культур как сырья для биотоплива.



Все сказанное относится, главным образом, к биотопливам первого поколения. Производство топлива второго поколения еще не набрало достаточных промышленных масштабов и поэтому судить о возможных рисках еще рано. В любом случае ясно, что человечество не перейдет в мировом масштабе на биотопливо, а его доля в общей структуре потребления вряд ли превысит 5%.

### **4.3. Гибридные электростанции**

При решении вопроса о составе генерирующих установок выбор потребителя зачастую падает на дизель-генератор (бензогенератор). Однако подобные установки шумны, не экологичны, требуют значительных затрат на эксплуатацию. Стоимость электроэнергии, получаемой при помощи дизель-генераторов, составляет не менее 15 руб./кВт·ч.

График электрической нагрузки потребителя неравномерен. В то же время дизель-генераторы предназначены для постоянной работы, регулярные отключения-выключения значительно уменьшают срок службы, снижают КПД генератора (двигатель работает впустую, повышая стоимость произведенного кВт·ч).

Оптимальной является работа дизель-генератора в качестве резерва в комбинированной системе электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии. Таким образом, ветроустановка (или СФЭУ) работает при наличии ветра (ясной погоды), заряжая аккумуляторы или выдавая мощность потребителю. Как только ветроустановка (СФЭУ) перестает выдавать необходимую мощность, включается дизель-генератор и восполняет недостаток. Такая схема электроснабжения имеет преимущества: надежность системы электроснабжения, экономия топлива, увеличение ресурса работы дизель-генератора, экологичность.

#### **Наиболее распространенные виды гибридных электростанций: Система ветер - солнце - топливо:**

Принцип работы

1. Выработка электроэнергии Ветрогенератором, Солнечным модулем и Тепловым генератором;

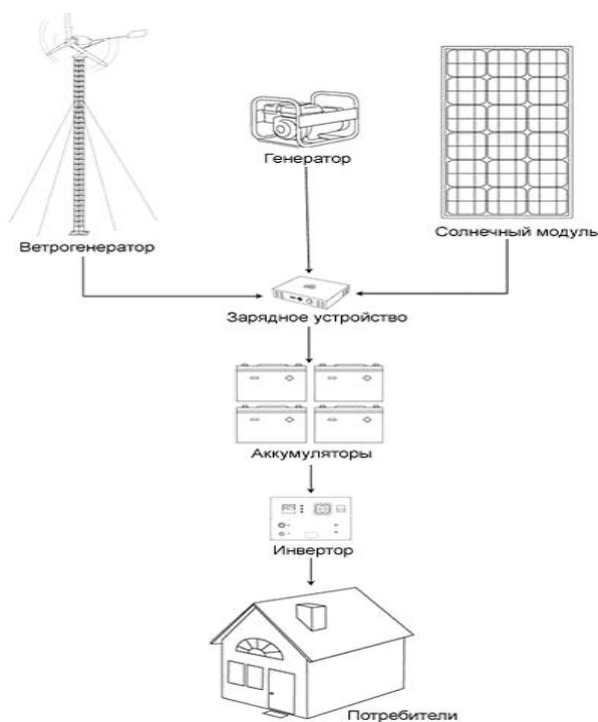
2. Накопление электроэнергии;

Выработанная электроэнергия через зарядные устройства заряжает аккумуляторную станцию.

3. Преобразование электроэнергии;

Электричество из аккумуляторной станции поступает в инвертор, где постоянный ток преобразуется в переменный (220 В/50 Гц).

Преимущества:



Происходит взаимная «подстраховка» альтернативных источников электропитания:

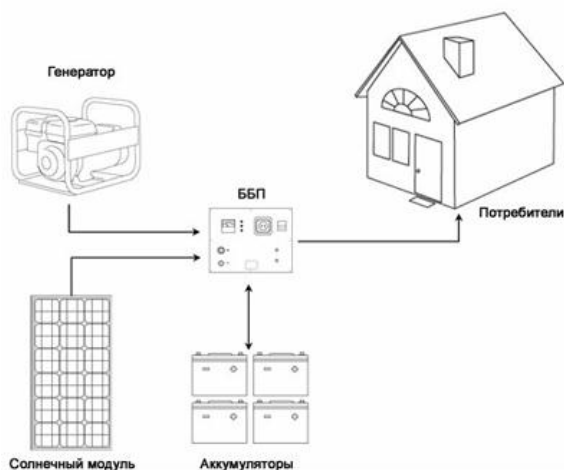
- ветер может дуть как днем, так и ночью, но вероятна штилевая погода;
- ночью нет солнечного света, но день настает неизбежно.

Использование теплового генератора сводится к минимуму. Генератор включается на короткое время лишь в том случае, когда потребление электроэнергии превышает выработку.

Практически любая система электроснабжения с ветроэлектрической установкой может быть до-

полнена бензо- или дизельным генератором для питания нагрузки переменного тока в качестве дополнительного источника электроэнергии на период безветрия или пиковой нагрузки, а также солнечными батареями.

#### Система солнце - топливо:



Основным источником энергии в системе является тепловой генератор. Солнечные фотоэлектрические модули несут вспомогательную функцию. Солнечное зарядное устройство (СЗУ) встроено в блок бесперебойного питания (ББП).

Расчётный срок службы такой системы - 20 лет, аккумуляторов - свыше 10 лет.

#### 4.4. Будущее малой энергетики Томской области

Ещё в 2006 году департамент энергетики администрации Томской области подготовил постановление о различных видах альтернативной энергетики, которые могут быть применены в регионе. Ниже приведено данное постановление:

“.....Экономический потенциал

Для определения экономического потенциала возобновляемых и нетрадиционных источников энергии требуется проведение серии технико-

экономических исследований непосредственно по конкретным пунктам их возможного размещения (технико-экономическое обоснование проектов). На основании экономических оценок проведено ранжирование технологий возобновляемых и нетрадиционных источников энергии по эффективности. Для районов децентрализованного электроснабжения, в которых электроэнергию вырабатывают дизельные электростанции, даны количественные оценки возможной выработки возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, конкурирующих с дизельными электростанциями. Такой анализ позволяет наметить подходы к разработке программы развития возобновляемых и нетрадиционных источников энергии в Томской области, в том числе, определить пилотные проекты, для которых в первую очередь целесообразна разработка технико-экономического обоснования.

Рассмотренные технологии можно ранжировать в порядке убывания их эффективности следующим образом.

1. Газогенераторные электростанции на древесном топливе эффективны в районах децентрализованного электроснабжения. В случае конкуренции с дизельными электростанциями они вырабатывают существенно (в несколько раз) более дешевую электроэнергию и являются наиболее предпочтительными источниками электрической энергии для изолированных потребителей.

Томская область богата лесными ресурсами. В период наибольшего развития лесопромышленной деятельности отходы отрасли составляли 260 тыс. т. Даже во время наибольшего развития лесозаготовок лесная промышленность использовала лишь около четвертой части древесного запаса, подлежащего рубке, что привело к накоплению спелых и перестойных насаждений.

С учетом этого при коэффициенте полезного действия газогенераторных электростанций 20 процентов возможности производства электроэнергии для Томской области в целом составляют примерно 160–640 млн. кВт.ч (т.е. 3 - 12 процентов суммарного производства электроэнергии).

2. Ветроэнергетические установки конкурентоспособны по сравнению с дизельными электростанциями в районах децентрализованного электроснабжения при средней скорости ветра более 3,4 м/с (такие скорости характерны для значительного количества населенных пунктов). Их использование позволяет уменьшить выработку электроэнергии на дизельных электростанциях и экономить дорогое дизельное топливо.

3. Малые гидроэлектростанции деривационного типа в отдельных случаях могут оказаться эффективными для электроснабжения изолированных потребителей, однако условия для строительства таких гидроэлектростанций в Томской области неблагоприятны вследствие равнинности рельефа. Возможные масштабы развития малой гидроэнергетики невелики – несколько установок единичной мощностью порядка сотен киловатт.

4. Большие запасы торфа позволяют (в случае наращивания его добычи и производства топливных брикетов) значительно снизить зависимость Томской области от привозного угля, потребляемого котельными. Ограничений на возможности добычи торфа не выявлено.

5. Геотермальное теплоснабжение конкурентоспособно с котельными на всей территории области. Пункты, в которых выявлены термальные месторождения, имеются потребности в тепловой энергии, и целесообразно строительство соответствующих систем: в Асино, Тегульдете, Зырянском, Первомайском, Белом Яре, Бакчаре, Подгорном, Степановке, Назино, Колпашево, Катайге, Нарыме, Парабели, Каргаске и других населенных пунктах.

6. Тепловые насосы, использующие низкопотенциальное тепло, в районах централизованного электроснабжения (там, где электроэнергия дешевле) приблизительно равноэкономичны по сравнению с котельными. Их внедрение может быть целесообразно по не экономическим (экологическим или социальным) критериям.

7. Геотермальные электростанции в принципе могли бы быть построены в Томской области, однако низкая температура термальных вод требует разработки специального оборудования, которое в настоящее время на рынке недоступно.

8. Использование солнечной энергии для электро- или теплоснабжения экономически неэффективно и применение этих технологий в заметных масштабах нецелесообразно.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии обеспечивают наибольший экономический эффект в районах децентрализованного электроснабжения, где они конкурируют с дизельными электростанциями. Характеристики дизельных электростанций зоны децентрализованного электроснабжения Томской области предоставлены районными администрациями.

Основные затраты на электроснабжение связаны с закупкой дизельного топлива, его удельный расход характеризуется значительным разбросом и лежит в интервале 350–720 г у.т./кВт.ч; стоимость отпускаемой потребителям электрической энергии очень высока (4,9–9,8 руб./кВт.ч).

Во всех указанных районах возможно (и экономично) использование для электроснабжения либо газогенераторных электростанций, либо ветроэнергетических установок.

В сумме соответствующий потенциал этих технологий равен выработке дизельных электростанций и экспертно разделен между этими технологиями с учетом наличия в данном районе древесных отходов лесозаготовительной и лесоперерабатывающей промышленности (мощности лесопромышленного комплекса сосредоточены в основном: в Верхнекетском, Первомайском, Асиновском, Колпашевском, Молчановском, Тегульдетском и Парабельском районах) и пунктов с достаточной скоростью

ветра для обеспечения экономичной работы ветроэнергетических установок.

Таблица 4.1. Характеристики дизельных электростанций в зоне децентрализованного электроснабжения Томской области (2009 году)

Район (населенный пункт)	Выработка млн. кВт.ч	Полезный отпуск млн. кВт.ч	Потери и собственные нужды, %	Расход топлива т	Расход топлива г у.т кВт.ч	Затраты млн. руб./год	Затраты млн. руб./кВт.ч
Александровский район							
п. Новоникольское	0,56	0,48	13,6	276	719	4,70	9,23
с. Назино	0,80	0,69	13,6	299	542	3,28	4,49
с. Лукашкин Яр	0,80	0,69	13,6	246	446	3,30	4,49
Верхнекетский район	5,15	4,45	13,6	1674	472	36,59	7,76
Каргасокский район	10,74	9,25	13,9	3558	480	нет данных	нет данных
Колпашевский район	1,48	1,28	13,6	527	516	11,40	8,42
Молчановский район	1,21	1,04	13,8	320	385	6,60	5,99
Парабельский район	5,76	4,98	13,5	нет данных	347	нет данных	4,35

Таблица 4.2. Оценка возможностей использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии для производства электроэнергии в районах децентрализованного электроснабжения, млн. кВт.ч

Район	ВЭУ	ГГЭС на биомассе
Александровский	1,1	1,1
Верхнекетский	0,2	5,0
Каргасокский	2,0	8,7
Колпашевский	0,5	1,0
Молчановский	0,4	0,8
Парабельский	1,5	4,0

Таким образом, получается следующая оценка потребных мощностей на базе использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии для населенных пунктов с электроснабжением от дизельных электростанций:

- а) электрическая мощность ветроэнергетических установок – 2–3 МВт;
- б) электрическая мощность газогенераторных электростанций – 5–6 МВт.

### Технический потенциал

Оценки технически реализуемого потенциала возобновляемых и нетрадиционных источников энергии позволяют определить технический потенциал для основных видов возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, среди которых наиболее привлекательным выглядит энергия ветра.

Таблица 4.3. Ежегодный технический потенциал возобновляемых и нетрадиционных источников энергии для Томской области

Наименование	Годовое производство электроэнергии, ТВтч	Годовое производство тепла, млн. Гкал
Ветровая энергия	100–402	–
Солнечная энергия	15–25	36
Малые гидроэлектростанции	4,1	–
Биомасса	4,7	26
Геотермальная энергия	–	76

Приведенные значения характеризуют суммарные технические возможности производства энергии с помощью возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. В большинстве случаев такие оценки получаются существенно завышенными. Сопоставление данных таблицы с современным уровнем производства в Томской области электрической (5,5 млрд. кВт.ч) и тепловой энергии (12,3 млн. Гкал), показывает, что технический потенциал возобновляемых и нетрадиционных источников энергии значительно превосходит потребности в энергии.

Для оценки реальных возможностей применения возобновляемых и нетрадиционных источников энергии в первую очередь необходимо определить их экономический потенциал, т.е. ту часть технического потенциала, использование которого может быть эффективно при существующих и прогнозных показателях энергоустановок для существующих и прогнозных нагрузок (потребностях в энергии).

Для Томской области наиболее эффективным направлением развития возобновляемых и нетрадиционных источников энергии является внедрение газогенераторных электростанций с целью экономии топлива, потребляемого дизельными электростанциями. Одним из перспективных районов для строительства газогенераторных электростанций является Верхнекетский район, где самая крупная дизельная электростанция находится в п. Степановка. В 2006 году на дизельных электростанциях выработано 2,4 млн. кВт.ч при удельном расходе дизельного топлива 424 г у.т./кВт.ч. Средняя цена дизельного топлива - 15055 руб./т, цена дров – около 982 руб./т у.т. (Таблица 6.4). Предлагается рассмотреть возможность

строительства в этом поселке газогенераторной электростанции на древесном топливе мощностью 500 кВт (разработка НПО «Инверсия», г. Екатеринбург). В качестве второго пилотного проекта целесообразно рассмотреть возможность строительства ветроэнергетической установки в с. Новоникольское Александровского района. Этот населенный пункт выбран исходя из того, что средняя годовая скорость ветра в нем одна из наивысших в Томской области (4,1 м/с), а дизельная электростанция с выработкой 0,6 млн. кВт.ч/год работает крайне неэффективно с удельным расходом топлива 719 г у.т./кВт.ч (Таблица 6.4). В данном пункте предполагается использование ветроэнергетической установки «Муссон-Ф30» мощностью 30 кВт.

Таблица 4.4. Характеристики системы электроснабжения

Наименование	Степановка	Новоникольское
Потребность в электроэнергии, тыс. кВт.ч	2400	600
Цена дизтоплива, руб./т	15055	22710
Расход топлива на ДЭС, г у.т./кВт.ч	424	719
Затраты, руб./кВт.ч	5,54	9,78
Цена дизельного топлива, руб./т у.т.	9820	14730

Коммерческая эффективность определялась при годовой норме дисконта 10 процентов, ставке налога на прибыль 24 процента, на имущество – 2 процента. В связи с тем, что газогенераторная электростанция вырабатывает лишь часть потребляемой электроэнергии, она работает в базисном режиме (пиковая нагрузка покрывается от дизельной электростанции). Годовое число часов работы ветроэнергетической установки определяется вероятностным распределением скорости ветра. Тарифы на электроэнергию, вырабатываемую газогенераторной электростанцией и гидроэлектростанцией приняты меньшими, чем современные удельные затраты на производство электроэнергии на дизельной электростанции.

Таблица 4.5. Техничко-экономические показатели проектов строительства газогенераторной электростанции и ветроэнергетической установки

Показатель	Газогенераторная электростанция	ВЭУ
Установленная мощность, кВт	200	30
Удельные капиталовложения, руб./кВт	18412,5	55237,5
Инвестиции, тыс. руб.	3682,5	1657,1
Постоянные издержки, % от капиталовложений	10	2,5
Амортизация, %	6	6

Число часов использования установленной мощности, час./год	7000	2190
Расход электроэнергии на собственные нужды, %	5	2
Срок службы (период реализации проекта), лет	20	20
Удельный расход топлива, г у.т./кВт.ч	680	
Цена топлива, руб./т у.т. (2010 г./2020 г.)	1104,8/1227,5	-/-
Отпуск электроэнергии, тыс. кВт.ч/год	1330	64,4
Тариф, руб./кВт.ч	3,7	6,1
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	18940,3	709,5
Срок окупаемости, лет	2	10
Внутренняя норма доходности, %	73	15,8
Минимальный тариф, руб./кВт.ч	1,5	4,4
Экономия дизельного топлива, т/год	389	31,96
тыс. руб./год	5548,3	82,5

В данном случае экономический эффект в основном получает инвестор и частично за счет снижения тарифа по сравнению с современным уровнем, - потребители. Имеется возможность перераспределить этот эффект в пользу потребителей, снижая тариф. Минимальный тариф, при котором проект еще остается эффективным (окупается за срок службы, т.е. дает инвестору приемлемый доход на вложенный капитал) равен 1,5 руб./кВт.ч, что более чем в 3 раза меньше, чем современные удельные затраты на производство электроэнергии на дизельной электростанции.

Проект использования ветроэнергетической установки в п. Новоникольское также экономически эффективен. Однако эта эффективность в значительной степени обусловлена дороговизной топлива и большими затратами на существующей дизельной электростанции, в связи с чем он анализировался при тарифе 6,1 руб./кВт.ч. Минимальная цена электроэнергии (4,4 руб./кВт.ч) незначительно ниже, чем затраты на более эффективно работающих дизельных электростанциях (например, в рассмотренном п. Степановка).

Поэтому перенесение этого проекта в другие аналогичные населенные пункты может сделать его неэффективным. Несмотря на это, более подробный анализ такого проекта (в рамках технико-экономического обоснования) представляет определенный интерес.”



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автономов А.Б. Мировая энергетика: состояние, масштабы, перспективы, устойчивость развития, проблемы экологии, ценовая динамика топливно-энергетических ресурсов//Электрические станции. 2003. №5 С. 55–64.
2. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1980. – 552с.
3. Арсеньев Г.В. Энергетические установки: Учебник для вузов по спец. «Энергоснабжение». – М.: Высш. шк., 1991. 335с.: ил.
4. Арсеньев Г.В., Белоусов В.П., Дранченко А.А. и др. Тепловое оборудование и тепловые сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 400 с.: ил.
5. Быстрицкий Г.Ф. Основы теплоснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. Ч.1 /Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Изд-во МЭИ, 1975. – 186с.
6. Гиршфельд В.Я., Кароль Л.А. Общий курс электростанций. Учеб. пособие для учащихся энергетических и энергостроительных техникумов. 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. 352 с.: ил.
7. Дьяков А.Ф. Перспективы использования газовых турбин в электроэнергетике России//Энергетик. 2003. №2. С. 4–10.
8. Елизаров Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций: Учебник для вузов 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. 264 с.: ил.
9. Кендысь П.Н. Теплоэнергетические установки электростанций. Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. 280 с.: ил.
10. Кузнецов В.А. Мутновская геотермальная электростанция // Электрические станции. 2002. № 3. С. 31–35.
11. Никитина Н.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 176с.
12. Оборудование теплообменное АЭС. Расчет тепловой и гидравлический// РТМ 108.031.05-84. – Л.: НПО ЦКТИ, 1986.
13. Об энергетической стратегии России на период до 2020 г. // Электрические станции. 2003. №7. С. 2–7.
14. Основы современной энергетики: Курс лекций для менеджеров энергетических компаний/ Под общей редакцией Е.В. Аметистова. – М.: Издательство МЭИ, 2002. 368 с., ил.
15. Перспективы и проблемы использования ГТУ и ПГУ в российской энергетике//Теплоэнергетика. 2002. № 9. С. 2–5.
16. Теплотехника: Учебник для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.; Под ред. А.П. Баскакова. – М.: Энергоиздат, 1982. 264 с.: ил.
17. Теплотехника: Учебное пособие/ М.М. Хазен, Г.А. Матвеев, М.Е. Грицевский, Ф.П. Казакевич; Под ред. Г.А. Матвеева. – М.: Высшая школа, 1981. 480 с.