

М.И. Баранов

АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 43: ТРАДИЦИОННАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Наведено короткий науково-аналітичний огляд про сучасний технічний стан і найближчі перспективи розвитку світової теплоенергетики. Розглянуті основні теплоенергопристрої, схеми побудови і види теплових електричних станцій (ТЕС). Вказані переваги і недоліки ТЕС перед іншими видами електричних станцій, що генерують тепло і електрику. Приведені основні технічні характеристики найбільших ТЕС України. Позначені існуючі проблемні завдання і можливі шляхи їх рішення в галузі теплоенергетики України. Бібл. 21, табл. 2, рис. 7.

Ключові слова: теплоенергетика, теплові електричні станції, парогенератори, турбогенератори, характеристики теплових електростанцій, проблеми і перспективи розвитку теплоенергетики.

Приведен краткий научно-аналитический обзор о современном техническом состоянии и ближайших перспективах развития мировой теплоэнергетики. Рассмотрены основные теплоэнергоустройства, схемы построения и виды тепловых электрических станций (ТЭС). Указаны преимущества и недостатки ТЭС перед другими видами электрических станций, генерирующих тепло и электричество. Приведены основные технические характеристики крупнейших ТЭС Украины. Обозначены существующие проблемные задачи и возможные пути их решения в области теплоэнергетики Украины. Библ. 21, табл. 2, рис. 7.

Ключевые слова: теплоэнергетика, тепловые электрические станции, парогенераторы, турбогенераторы, характеристики тепловых электростанций, проблемы и перспективы развития теплоэнергетики.

Введение. Развитие человеческой цивилизации на планете Земля оказалось невозможным без использования людьми энергии. Ученые, изучавшие различные виды энергии (механическую, тепловую, химическую, электрическую энергию и др.), в XVIII веке открыли один из фундаментальных законов природы – закон сохранения и превращения энергии [1]. В обществе та отрасль народного хозяйства, которая охватывает энергетические ресурсы, производство, преобразование, передачу, распределение и потребление различных форм энергии, получила название энергетика [2]. В энергетике используются пять основных видов энергоустановок: генерирующие, преобразующие, аккумулирующие, транспортирующие и потребляющие энергию. При достаточно большом разнообразии в природе первичных энергоресурсов в настоящее время основными формами применяемой в современном социуме энергии стала *теплота* и *электричество*. Как известно, эти два вида энергии, в свою очередь, используются людьми также в различных формах [2, 3]: тепловая энергия в виде водяного пара, нагретых газов, нагретой воды и других жидких теплоносителей, нагретых до различных уровней температуры, а электрическая энергия в виде переменного, постоянного и импульсного токов в проводах, кабелях и других проводящих структурах при различных значениях электрического напряжения. Первичными источниками тепловой энергии у землян были и пока остаются полезные ископаемые в виде органического (каменного угля, природного газа, нефти, горючих сланцев и др.) и ядерного (урана) топлива. Анализ взаимосвязей между источниками энергии, тепловой энергией и электроэнергией относится к сфере интересов теплоэнергетики [2, 3]. Поэтому можно говорить о том, что теплоэнергетика является той отраслью энергетика, которая занимается преобразованием теплоты в такие виды энергии как механическая и

электрическая. Предметом изучения теплоэнергетики являются термодинамические циклы, схемы построения энергоустановок и их совершенствование, задачи сгорания топлива и теплообмена, теплофизические свойства рабочих тел и теплоносителей [2, 3]. Техническую основу современной теплоэнергетики составляют теплоэнергетические установки (ТЭУ), применяемые, прежде всего, на тепловых электрических станциях (ТЭС) [4]. ТЭУ включают в себя котлоагрегаты и паровые турбины, работающие в паре с турбогенераторами. Выработка электроэнергии на ТЭС осуществляется в турбогенераторах, имеющих синхронные генераторы. Так как ТЭС являются в мире одними из основных видов электростанций, на которых вырабатывается не менее половины объема всей потребляемой человечеством электроэнергии, то анализ современного состояния и перспектив развития ТЭС в развитых странах мира является актуальной задачей.

Целью статьи является составление краткого научно-технического обзора имеющегося в информационных источниках обширного материала на предмет состояния и перспектив развития в мире ТЭС.

1. Общие сведения о ТЭС, их составе и схемах построения. ТЭС является той электростанцией, на которой вырабатывается электроэнергия за счет преобразования химической энергии органического топлива вначале в тепловую энергию водяного пара (газа), а затем в механическую энергию вращения вала паровой (газовой) турбины и ротора турбогенератора с последующим преобразованием в последнем этой механической энергии в электрическую энергию его статора [4]. На рис. 1 приведена принципиальная схема построения ТЭС, содержащая такие ее основные устройства как [4] котел-парогенератор, паровая турбина, синхронный электрогенератор, конденсатор

© М.И. Баранов

отработанного пара и циркуляционный насос, обеспечивающий по замкнутому контуру подачу образовавшейся из конденсированного пара охлажденной воды снова в котел-парогенератор. Синхронный электрогенератор согласно рис. 1 работает только в паре с паровой турбиной. ТЭС использует химическую энергию, высвобождающуюся при сжигании в котле топлива (угля, природного газа, мазута и др.), для превращения воды в перегретый пар (с температурой примерно в 540 °С) высокого давления (около 240 атм) [4]. Этот пар приводит во вращение лопатки паровой турбины и одновременно магнитную систему, находящуюся на вале-роторе синхронного генератора. Вращающееся магнитное поле ротора этого генератора за счет явления электромагнитной индукции вызывает появление электродвижущей силы в обмотках его статора [4, 5].

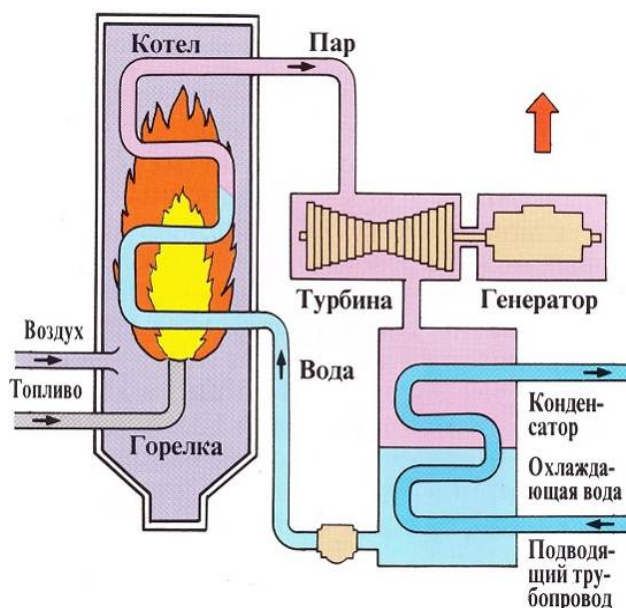


Рис. 1. Принципиальная схема построения ТЭС [4]

Современные ТЭС электрической мощностью до нескольких тысяч мегаватт превращают в электроэнергию до 50 % теплоты, выделяющейся при сгорании топлива в их котлах-парогенераторах [4]. Видно, что на ТЭС около 50 % получаемой тепловой энергии сбрасывается через котел и конденсатор (градирню) в окружающую среду. При использовании на ТЭС отработанной теплоты для отопления жилых домов и помещений промышленных предприятий энергетическая отдача на них может быть доведена до 80 % [4, 5].

ТЭС подразделяются на конденсационные электростанции (КЭС) и теплофикационные электрические централи (ТЭЦ). КЭС вырабатывает только электроэнергию [5], а современные ТЭЦ – главным образом тепло для отопления домов и зданий предприятий, а иногда параллельно тепло и электроэнергию [4]. Ранее в отечественной терминологии КЭС традиционно назывались как государственные районные электростанции (ГРЭС). В зависимости от длительности работы ТЭС в течение года по покрытию графиков энергетических нагрузок, характеризующихся числом часов использования установленной мощности T , электростанции при-

нято классифицировать на базовые ($T > 6000$ ч/год), полупиковые ($T \approx 3500$ ч/год) и пиковые ($T < 2000$ ч/год) [4]. К базовым относят электростанции, несущие максимально возможную постоянную нагрузку в течение большей части года. В мировой энергетике в качестве базовых используют атомные электростанции (АЭС) и КЭС. При этом пиковые нагрузки покрывают гидроэлектростанции (ГЭС), гидроаккумулирующие станции (ГАЭС) и газотурбинные установки, обладающие высокой маневренностью и мобильностью. Пиковые электростанции включаются в то время суток, когда требуется покрыть пиковую (возросшую) часть суточного графика электрической нагрузки. В настоящее время на ряде ТЭС получила распространение газотурбинная схема, в которой полученная при сжигании газообразного или жидкого топлива компрессионная смесь горячих газов вращает рабочее колесо турбины газотурбинной установки, стальная ось которой соединена с валом-ротором электрогенератора [4-6]. Такие ТЭС получили название газотурбинных электростанций (ГТЭС) [6]. На ГТЭС после газовой турбины отработанные газы остаются достаточно горячими. Для полезного использования тепловой энергии этих газов их направляют в котел-утилизатор (рис. 2) с дальнейшим применением в парогазовых установках (двигателях) и схемах теплоснабжения [7]. Электрическая мощность ГТЭС может составлять от десятков киловатт до сотен мегаватт [6]. Значительный вклад в создание и практическое использование отечественных газовых турбин был внесен первым заведующим кафедрой турбиностроения в Харьковском политехническом институте (ХПИ), профессором Маковским В.М. (1870-1941 гг.).



Рис. 2. Общий вид теплоутилизационного котла ГТЭС [7]

1.1. Водотрубные котлы-парогенераторы. В водотрубном котле ТЭС происходит теплообмен горячих продуктов сгорающего в его топке топлива с кипящими стальными трубками, заполненными водой [7]. Различают прямоточные и барабанные водотрубные котлы. На рис. 3 приведена схема строения прямоточного водотрубного котла, являющегося главной составной частью любого парогенератора [8]. Прямоточный водотрубный котел представляет собой, как правило, трубный змеевик с водой, помещенный в топку, где сгорает топливо. Нагретая вода, проходя по испарительным трубкам этого змеевика, постепенно превращается в пар. После испарительных трубок пароводяная смесь попадает в пароперегреватель котла. Далее перегретый пар по паропроводу направляется на рабочие колеса паровой турбины.

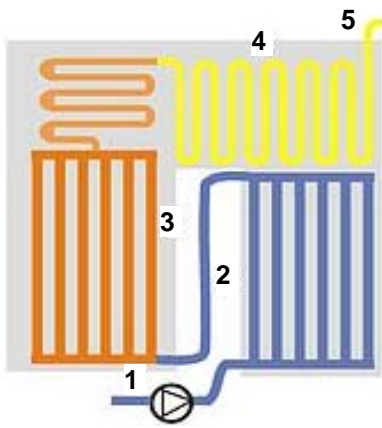


Рис. 3. Схема построения прямоточного водотрубного котла, используемого в парогенераторе ТЭС (1 – питательный водяной насос; 2 – экономайзер; 3 – испарительные трубки; 4 – пароперегреватель; 5 – паропровод турбины) [8]

1.2. Паровые турбины. На ТЭС паровая турбина, по сути, является тем тепловым двигателем, в котором происходит преобразование энергии перегретого пара в механическую (кинетическую) энергию кругового вращения ее рабочих колес с лопатками и соответственно осевого стального вала (рис. 4). Для лучшей энергоотдачи этот водяной пар на ТЭС должен быть сухим и не содержать микрокапель воды. Криволинейные высокопрочные лопатки турбины, закрепленные по окружности ее ротора, вовлекаются в круговое вращение со скоростью около 3000 об/мин (для двухполюсных электрогенераторов) или 1500 об/мин (для четырехполюсных электрогенераторов) направляемым соплами на них паром от парогенератора [9].



Рис. 4. Общий вид ротора и корпуса современной мощной паровой турбины производства компании «Siemens» (Германия) в процессе ее монтажа на рабочей площадке ТЭС [9]

Паровые турбины в зависимости от направления движения в них мощного потока пара различают на аксиальные (поток пара в них движется вдоль продольной оси турбины, а ее рабочие лопатки перпендикулярны последней) и радиальные (направление потока пара в них перпендикулярно продольной оси турбины, а ее рабочие лопатки параллельны последней) [10]. Мощные паровые турбины могут содержать ступени высокого, среднего и низкого давления водяного пара. В этом случае турбина называется многокорпусной. Такой тип паровых турбин используется главным образом в мощных паротурбинных установках. В зависимости от назначения паровые турбины, аналогично приведенной классификации ТЭС, подразделяются на базовые (несут постоянную основную электронагрузку потребления), пиковые (работают кратковременно для покрытия пиков электронагрузки потребления) и вспомогательные (обеспечивают внутреннюю потребность ТЭС в электроэнергии). В зависимости от характера протекающего теплового процесса паровые турбины могут подразделяться на три большие группы [9]: конденсационные (без регулируемого отбора пара с максимальным превращением его теплоты в механическую работу и дальнейшим выпуском (выхлопом) отработанного пара в конденсатор согласно рис. 1); теплофикационные (с регулируемым отбором пара); специального назначения (работают на отбросном тепле металлургических и химических предприятий). Паровые турбины для ТЭС имеют парк ресурс, исчисляемый примерно в 270 тыс. часов с межремонтным периодом в 4-5 лет [9, 10]. Паровые турбины и электрогенераторы согласуются по шкале мощности. Каждой паровой турбине соответствует определенный тип электрогенератора. Для блочных тепловых конденсационных электростанций мощность турбин соответствует мощности блоков, а число блоков определяется заданной мощностью ТЭС. На современных блоках ТЭС используются конденсационные турбины ПТ мощностью 160, 200, 220, 300, 500, 800, 1000 и 1200 МВт с промежуточным перегревом пара. Важный вклад в разработку, создание и повышение энергоэффективности отечественных мощных паровых турбин для ТЭС и АЭС, производимых харьковским предприятием ВАТ «Турбоатом» в период индустриального подъема страны, был внесен заведующим кафедрой турбиностроения ХПИ (1941-1976 гг.), профессором Шнез Я.И. (1902-1977 гг.).

1.3. Турбогенераторы. Данные энергоагрегаты для ТЭС являются синхронными электрогенераторами, работающими в паре с паровыми (газовыми) турбинами. Основная функция турбогенератора (рис. 5) заключается в преобразовании механической энергии вращения паровой (газовой) турбины в электрическую энергию. Для этой цели вал-ротор его синхронного электрогенератора в рабочей зоне последнего должен создавать вращающееся магнитное поле в воздушном зазоре между ротором и статором электрогенератора. Исходное магнитное поле неподвижного ротора электрогенератора возникает либо за счет установленных на нем (роторе) постоянных магнитов, либо за счет протекания постоянно-

го тока в медных витках обмотки возбуждения указанного ротора [11]. Возникающий в трехфазных обмотках статора рассматриваемого генератора электрический потенциал и соответственно индуцируемое в них напряжение будет тем больше, чем сильнее магнитное поле его ротора, определяемое протекающим в его обмотках постоянным током. Отметим, что у синхронных турбогенераторов с внешним возбуждением напряжение и ток в обмотках ротора обычно создает тиристорная система самовозбуждения или специальный возбудитель-генератор, размещаемый на валу турбогенератора [10, 11]. Массивный стальной ротор турбогенератора устанавливается на двух подшипниках скольжения.

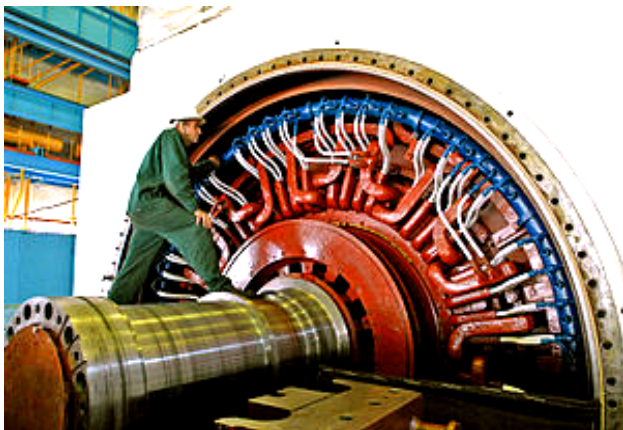


Рис. 5. Общий вид фрагмента мощного синхронного турбогенератора после его остановки в процессе планового техобслуживания и ремонта (на переднем плане виден его массивный стальной вал-ротор, а на заднем плане – элементы его статора) [11]

Для нужд ТЭС отечественной промышленностью выпускаются 2-х полюсные (со скоростью вращения v_{p2} до 3000 об/мин) и 4-х полюсные (со скоростью вращения v_{p4} до 1500 об/мин) синхронные электрогенераторы указанных электромашин (ЭМ). Могут изготавливаться и многополюсные турбогенераторы в зависимости от условий их эксплуатации. В зависимости от способов охлаждения обмоток турбогенератора различают [10]: ЭМ с жидкостным охлаждением через «рубашку» статора турбогенератора; ЭМ с непосредственным жидкостным охлаждением их обмоток; ЭМ с воздушным охлаждением их обмоток; ЭМ с водородным охлаждением обмоток турбоагрегата, часто используемым на АЭС. В ходе многолетней практики эксплуатации ТЭС было установлено, что чем больше мощность турбогенератора, тем он является более экономичным [9, 10]. Это приводит к снижению стоимости 1 кВт установленной мощности ТЭС. В этой связи на КЭС устанавливаются турбогенераторы повышенной мощности. Частота вращения ротора турбогенератора пропорциональна частоте вырабатываемого им тока ($v_{p2} \approx 50 \text{ об/с} \times 60 \text{ с} \approx 3000 \text{ об/мин}$), численно составляющей по ГОСТ 13109-97 около $(50 \pm 0,1)$ Гц. Резкое падение электрической частоты вырабатываемого турбогенератором напряжения (тока) приводит к аварийной остановке энергоблока ТЭС и его отключению от промышленной сети [11].

Укажем, что в настоящее время около 86 % мирового производства электроэнергии производится при помощи турбогенераторов, приводимых во вращение паровыми турбинами [10, 11]. Эти данные свидетельствуют о важной роли рассматриваемого тепло- и электроэнергетического оборудования при выработке в различных странах в промышленных масштабах электроэнергии. На электроэнергоагрегатах различной мощности и современных ТЭС применяются [4, 11]: турбогенераторы серии Т (с воздушным охлаждением) мощностью 2,5, 4, 6, 12 и 20 МВт; турбогенераторы серии ТВФ (с водородным охлаждением) мощностью 63, 110 и 120 МВт; турбогенераторы серии ТВВ (с водородно-водяным охлаждением) мощностью 160, 200, 220, 300, 500, 800, 1000 и 1200 МВт. Укажем, что в серии ТВВ турбогенераторов с КПД до 98,8 % напряжение статора составляет до 24 кВ, ток статора – до 27 кА, а ток возбуждения – до 7 кА [11].

1.4. Преимущества и недостатки ТЭС. Основными преимуществами ТЭС в сравнении с другими видами электростанций является следующее [12]:

- используемое на ТЭС органическое топливо является относительно дешевым сырьем-товаром;
- для создания и ввода в эксплуатацию ТЭС требуют меньших капиталовложений по сравнению с такими видами электростанций как АЭС и ГЭС;
- ТЭС могут быть построены гораздо быстрее, чем АЭС и ГЭС и практически в любом месте страны независимо от места нахождения источника топлива;
- для сооружения и эксплуатации ТЭС площади отчуждения и вывода их из хозяйственного оборота земли гораздо меньше, чем это необходимо для АЭС и ГЭС (в этой связи ТЭС занимают меньше производственной площади и территории, чем АЭС и ГЭС);
- способность ТЭС вырабатывать электроэнергию без заметных сезонных колебаний мощности;
- удельная стоимость на единицу установленной мощности ТЭС ниже по сравнению с АЭС, а стоимость выработки электроэнергии меньше, чем у таких электростанций как дизельные электростанции.

К недостаткам ТЭС в сравнении с другими видами электростанций можно отнести следующее [12]:

- ТЭС не являются экологически чистыми источниками электроэнергии и характеризуются большим загрязнением окружающей среды за счет выбросов дыма (копоти) и появления золы при их работе;
- более высокие эксплуатационные расходы по сравнению с подобными расходами на АЭС и ГЭС;
- характеризуются относительно низким КПД (не более 40-50 %) большинства существующих ТЭС;
- переменность режимов работы ТЭС снижает их энергоэффективность, повышают расход топлива и приводят к повышенному износу их энергоагрегатов.

1.5. Экологические аспекты ТЭС. Экспертные оценки указывают на то, что ТЭС всего мира выбрасывают в земную атмосферу ежегодно [13]: около 250 млн. тонн золы, более 60 млн. тонн сернистого ангидрида, большое количество оксидов азота и углекислого газа. Эти выбросы приводят к парниковому эффекту, вызывающему глобальные и долгосрочные климатические изменения на нашей планете. Установлено, что избыточный радиационный фон вокруг ТЭС, ра-

ботающих на каменном угле, в среднем в мире в 100 раз выше, чем вблизи АЭС такой же мощности [13]. Связано это с тем, что каменный уголь в качестве микропримесей всегда содержит уран, торий и радиоактивный изотоп углерода. Несмотря на эти негативные особенности, хорошо отработанные технологии строительства, оборудования и эксплуатации ТЭС, а также меньшая стоимость их сооружения приводят к тому, что на ТЭС в настоящее время приходится основная часть мирового производства электроэнергии.

1.6. Крупнейшие ТЭС Украины. По данным государственного предприятия «Национальная энергетическая компания «Укрэнерго» по состоянию на 1 января 2016 г. суммарная установленная мощность электростанций Украины составляла 54 826,1 МВт, из которых 34 266 МВт (или 62,5 %) приходилась на ТЭС [14]. Электротепловая генерация Украины предоставлена сейчас шести основным компаниям. Пять из них являются частными: ООО «ДТЭК Востокэнерго», ПАО «ДТЭК Днепроэнерго», ПАО «ДТЭК Западэнерго», ПАО «Киевэнерго» и «Донбассэнерго». Приватизация «Центрэнерго» была отложена на неопределенный срок из-за пожара на крупнейшей тепловой электростанции Украины – Угледорской ТЭС (рис. 6) в марте 2013 г. Укажем, что ООО «ДТЭК Востокэнерго», ПАО «ДТЭК Днепроэнерго», ПАО «Киевэнерго» и ПАО «ДТЭК Западэнерго» входят в состав ДТЭК, являющейся наиболее крупной энергетической компанией Украины, входящей в состав финансово-промышленной группы «Систем Кэпитал Менеджмент» (СКМ) [14]. В табл. 1 на основе [14] приведены основные сведения о крупнейших ТЭС Украины.

Таблица 1
Данные о крупнейших ТЭС Украины [14]

№	Название ТЭС	Мощность, МВт	Марка топлива	Регион
1	Угледорская (до пожара)	3600	Уголь ГСШ	Донец. обл.
2	Запорожская	2825	Уголь ГСШ	Запорож. обл.
3	Бурштынская	2334	Уголь Г	И.-Фран. обл.
4	Криворожская	2328	Уголь Т	Днепр. обл.
5	Змиевская	2200	Уголь АШ, Т	Харьк. обл.
6	Старобешевская	2010	Уголь АШ, Т	Донец. обл.
7	Трипольская	1800	Уголь АШ	Киев. обл.
8	Ладыжинская	1800	Уголь ГСШ	Винниц. обл.
9	Кураховская	1527	Уголь Г	Донец. обл.
10	Зуевская	1270	Уголь Г	Донец. обл.
11	Приднепровская	1195	Уголь АШ	Днепр. обл.
12	Славянская	800	Уголь АШ, Т	Донец. обл.
13	Добровторская	510	Уголь Г	Львов. обл.
14	Мироновская	275	Уголь Г	Донец. обл.

В настоящее время наиболее широкое распространение в мире получили ТЭС блочного типа построения своих энергоагрегатов. При этом каждый блок такой ТЭС в одном заданном оперативном персоналом режиме работает независимо от других блоков электростанции. На рис. 7 показан общий вид блочного щита управления (БЩУ) современной ТЭС, обслуживающего блок мощностью 300 МВт [4, 15].



Рис. 6. Общий вид Угледорской ТЭС установленной мощностью 3600 МВт с близлежащим озером-охладителем [4]



Рис. 7. Общий вид БЩУ современной мощной ТЭС [15]

1.7. Объемы выработки ТЭС электроэнергетики в промышленно развитых странах мира. Во всем мире производится и потребляется огромное количество электроэнергии. Так, в 1990 г. ее годовой объем составлял около 11900 млрд. кВт·ч, а в 2000 г. – 15100 млрд. кВт·ч [13]. Данная электроэнергия вырабатывалась и вырабатывается поныне тремя традиционными видами электростанций [13]: ТЭС, АЭС и ГЭС. Заметим, что в современных условиях годовой объем выработки электроэнергии нетрадиционной энергетикой (например, ветровыми, водородными, геотермальными и гелиоэлектростанциями) не превышает 10 % в мировом годовом балансе производства электроэнергии [16]. В тоже время в отдельных странах (например, в Дании) по состоянию на 2014 г. только такой вид альтернативной энергетики как ветроэнергетика обеспечивала выработку электроэнергии до 40 % в их суммарном годовом балансе производства электричества [16]. По состоянию на 2010 г. примерно 70 % от вырабатываемого в мире годового объема электроэнергии приходилось на ТЭС [13]. Например, в Российской Федерации (РФ) около 67 % электроэнергии

вырабатывается на ТЭС, размещенных в местах добычи органического топлива (в центральных и восточных регионах страны) [13]. В западных и южных регионах РФ преимущества по производству электроэнергии отданы АЭС, работающим на тепловых нейтронах. В табл. 2 на базе данных из [13] приведены основные сравнительные количественные показатели выработки в мире электроэнергии за 1990 г. и 2000 г.

Таблица 2
Основные показатели выработки электроэнергии в мире
ТЭС, АЭС и ГЭС [13]

Наименование показателя	Период времени	
	1990 г.	2000 г.
1. Доля общей выработки электроэнергии по видам электростанций в мире, %		
- АЭС	17	16
- ТЭС на природном газе	14	19
- ТЭС на мазуте	12	10
- ТЭС на каменном угле	38	37
ГЭС и электростанции на возобновляемых источниках энергии	19	18
2. Установленная мощность электростанций в мире, ГВт	2830	3580
- АЭС	340	394
- ТЭС на природном газе	481	716
- ТЭС на мазуте	424	501
- ТЭС на каменном угле	934	1146
ГЭС и электростанции на возобновляемых источниках энергии	651	823
3. Выработка электроэнергии по регионам мира, %		
- Западная Европа	20	19
- Восточная Европа	18	13
- Америка	36	34
- Азия и Австралия	21	28
- Средний Восток и Африка	5	6

2. Проблемные задачи тепловой энергетики и перспективы развития ТЭС в Украине. Основой современных ТЭС и АЭС, а также теплоснабжающих станций (ТЭЦ) являются ТЭУ. В этой связи технический уровень развития ТЭУ определяет уровень развития технического прогресса в той или иной стране мира в целом. К середине 1960-х годов ТЭС, использующие в топках парогенераторов уголь в пылевидном состоянии, практически достигли предела совершенства в технологии факельного (пылеугольного) сжигания каменного угля. Это позволило достичь на таких ТЭС значения коэффициента преобразования тепловой энергии топлива и пара в электроэнергию на выходе их турбогенераторов (показателя КПД) до 40 %. Общий кризис в ряде стран (включая и Украину) привел к тому, что в них на выработку 1 кВт·ч электроэнергии приходится тратить большие финансовые средства, чем в передовых государствах мира. Так, в РФ данные показатели повысились до 1,5 раз [17]. В этой связи в РФ удельный расход условного топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии на ТЭС сейчас требуется снижать с 360 до 280 грамм [18]. Кроме того, большая половина действующих ТЭУ на ТЭС как в РФ, так и в Украине, построенных к концу

1970-х годов, изношена и нуждается в реконструкции и замене. Котлоагрегаты, паровые турбины и турбогенераторы ТЭС Украины, имеющие расчетный ресурс в 100 тыс. часов эксплуатации, уже практически выработали данные показатели своего ресурса [19]. Удручать нас дополнительно должно еще и то, что сложившаяся ситуация с высоким износом производственных фондов касается и всех других отраслей нашей экономики. Для сравнения отметим, что и в РФ примерно 90 % всех действующих паровых турбин на ТЭС имеют «возраст» не менее 20 лет [18]. Поэтому одной из наиболее сложных проблемных задач (*задача №1*) для отечественной теплоэнергетики является вывод из эксплуатации на ТЭС отслужившего энергетического оборудования и замена его на новое и более высокоэффективное. Текущие решения, связанные с мотивированными причинами продления сроков эксплуатации действующих ТЭУ на ТЭС (эти задачи касаются и АЭС) возникшей проблемы физического и морального износа ТЭУ не решают, а лишь отодвигают ее решение на определенное более позднее время. Для этого очевидно необходим стратегический план развития теплоэнергетики Украины на ближайшие, как минимум, 10 лет. На сегодня, к большому сожалению, в рассматриваемой области энергетики Украины такого плана, на мой взгляд, пока нет. Поэтому отстают у нас и разработки новых высокоэффективных ТЭУ для ТЭС. Одним из примеров подобных ТЭУ могут служить парогазовые установки энергоблоков ТЭС и ТЭЦ с КПД до 50 %, активно используемые в мировой практике [19, 20]. Другой актуальной проблемной задачей (*задача №2*) в нашей теплоэнергетике является замена на ТЭС устаревшей технологии сжигания мелкоразмолотого каменного угля на более прогрессивную технологию сжигания твердого топлива в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) при атмосферном давлении [19]. В странах Западной Европы такая передовая технология на ТЭС уже успешно применяется в течение последних 15 лет. Использование указанной технологии позволяет повысить экономичность и экологическую чистоту современных мощных ТЭС. По мнению авторитетных теплоэнергетиков именно технология на базе ЦКС является наиболее перспективной при реконструкции и строительстве в Украине новых энергоблоков ТЭС [19]. Кстати, следует заметить, что в Украине за последние 40 лет из-за отсутствия частных инвестиций и должного государственного финансирования на ТЭС не был введен в эксплуатацию ни один новый энергоблок. За годы независимости Украины был построен лишь один новый котлоагрегат с ЦКС на Старобешевской ТЭС, а на Змиевской ТЭС (ГРЭС) был реконструирован только один пылеугольный котел по современной высокоэффективной технологии [19]. Так что можно вполне обоснованно говорить сейчас о том, что даже ближайшие перспективы развития ТЭС в Украине затянута «туманом» неопределенности и прикрыты «горой» внутригосударственных проблем.

Очередная проблемная задача (*задача №3*) в теплоэнергетике Украины связана с эффективным решением актуальных экологических аспектов, возникающих при эксплуатации ТЭС. Современная энергетика

и в том числе теплоэнергетика наносит ощутимый вред окружающей среде, ухудшая условия жизни на нашей планете людей. Все технологии производства электроэнергии на ТЭС связаны с большим количеством промышленных отходов, выбрасываемых в окружающую их среду. Сегодня проблема влияния энергетики и особенно теплоэнергетики на природу становится особенно острой, так как загрязнение окружающей среды (земли, воздушной атмосферы и гидросферы) с каждым годом всё увеличивается [21]. Продукты сгорания органического топлива, попадая в атмосферу, вызывают выпадение кислотных дождей и усиливают парниковый эффект, что крайне неблагоприятно сказывается на общей экологической обстановке. Злободневной задачей для ТЭС, работающих на угле, являются золоотвалы, требующие значительных площадей. К тому же они являются очагами скопления вредных для человека тяжёлых металлов и обладают повышенной радиоактивностью [21]. В этой связи вопросам совершенствования теплоэнергетических технологий на ТЭС и снижению отрицательного влияния их на окружающую среду во всем мире уделялось и должно далее уделяться большое внимание.

Выводы.

1. Выполненный краткий научно-технический обзор развития мировой теплоэнергетики свидетельствует о том, что ТЭС в промышленно развитых странах мира продолжают удерживать свои высокие позиции при промышленном производстве электроэнергии. Несмотря на то, что, начиная с середины 1970-х годов, в бывшем СССР и в ряде других стран мира приоритет в развитии энергетики был отдан строительству АЭС с его последовавшим быстрым «замораживанием» и, несмотря на прекращение с этого периода времени реального вложения инвестиций в их теплоэнергетику и энергомашиностроение, разработанные и созданные в те годы ТЭУ, выбрав свой расчетный ресурс, продолжают успешно «трудиться» (например, в РФ и Украине) на многих десятках мощных энергоблоков ТЭС старого поколения. Страны Западной Европы, в отличие от указанных стран Восточной Европы, значительно успешнее модернизируют свои ТЭУ, повышают на их основе энергоэффективность и объемы выработки электроэнергии на мощных энергоблоках ТЭС нового поколения.

2. Нормальное развитие отечественной теплоэнергетики требует коренного пересмотра энергетической политики страны, направленной на обеспечение энергосбережения во всех отраслях экономики, подготовку высококвалифицированных кадров электроэнергетического профиля, поддержку соответствующих научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро и на разработку и создание новых жаропрочных материалов и технологий для изготовления и внедрения высокоэффективных ТЭУ на мощных энергоблоках ТЭС нового поколения. При таком новом подходе у теплоэнергетики Украины появляется реальная перспектива для своего дальнейшего прогресса и активного участия на энергорынке страны.

3. Нетрадиционная (альтернативная) энергетика с неисчерпаемыми и возобновляемыми источниками энергии, особенно ветроэнергетика и гелиоэнергети-

ка, в ближайшее десятилетие должна составить традиционной энергетике Украины с ее мощными ТЭС, ТЭЦ, АЭС и ГЭС, если не достойную внутриотраслевую конкуренцию, то хотя бы достойное энергетическое дополнение в годовом балансе промышленной выработки в Украине тепла и электроэнергии.

4. Проблема экологической безопасности эксплуатируемых в Украине мощных ТЭС для своего успешного решения требует нового подхода и больших инвестиций как со стороны частного капитала, так и бюджета страны. Уход от ее решения лишь усугубляет положение отечественной теплоэнергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: Феникс, 2006. – 1176 с.
2. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-1/1-1>.
3. http://elemo.ru/article/teplovyje_elektrostancii.html.
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловая_электростанция.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Конденсационная_электростанция.
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/Газотурбинная_электростанция.
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Котёл-утилизатор>.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Водотрубный_котёл.
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Паровая_турбина.
10. Буров В.Д., Дорохов Е.В., Елизаров Д.П., Лавыгин В.М., Седов В.М., Цанев С.В. Тепловые электрические станции / Под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 466 с.
11. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Турбогенератор>.
12. <http://elstan.ru/articles/teplovyje-elektrostantsii/10045/>.
13. http://www.gigavat.com/tipi_elektrostancij.php.
14. https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_тепловых_электростанций_Украины.
15. <http://forca.ru/knigi/arhiv/ustroystvo-i-obluzhivanie-vtorichnyh-cepey-22.html>.
16. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 32: Альтернативная энергетика: состояние и перспективы развития // Электротехника і електромеханіка. – 2016. – №3. – С. 3-16. doi: 10.20998/2074-272X.2016.3.01.
17. Андриющенко А.И. Современные проблемы теплоэнергетики и важнейшие пути их решения // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2003. – №1. – С. 140-143.
18. <http://paes250.ru/ru/pts-problem/index.html>.
19. Кравченко А.Н. Глобальные проблемы украинской теплоэнергетики // Электрик. – 2013. – №9. – С. 38-41.
20. https://ru.wikipedia.org/wiki/Парогазовая_установка.
21. http://www.saveplanet.su/articles_114.html.

REFERENCES

1. Khramov Yu.A. *Istoriia fiziki* [History of Physics]. Kiev, Feniks Publ., 2006. 1176 p. (Rus).
2. Available at: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-1/1-1> (accessed 22 January 2016). (Rus).
3. Available at: http://elemo.ru/article/teplovyje_elektrostancii.html (accessed 20 May 2015). (Rus).
4. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_station (accessed 08 August 2016).
5. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_power_stations_in_Russia_and_Soviet_Union (accessed 12 June 2016).
6. Available at: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gasturbinenkraftwerk> (accessed 08 April 2015). (Ger).

7. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Котёл-утилизатор> (accessed 18 September 2013). (Rus).
8. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Water-tube_boiler (accessed 25 August 2015).
9. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine (accessed 02 May 2014).
10. Burov V.D., Dorokhov E.V., Elizarov D.P., Lavygin V.M., Sedov V.M., Tsanev S.V. *Teplovye elektricheskie stancii. Uchebnik dlja vuzov* [Thermal electric stations. Textbook for high schools]. Moscow, MEI Publ. House, 2007. 466 p. (Rus).
11. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Turbo_generator (accessed 12 February 2015).
12. Available at: <http://elstan.ru/articles/teplovye-elektrostantsii/10045/> (accessed 28 September 2016). (Rus).
13. Available at: http://www.gigavat.com/tipi_elektrostancij.php (accessed 11 October 2015). (Rus).
14. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_тепловых_электростанций_Украины (accessed 28 May 2016). (Rus).
15. Available at: <http://forca.ru/knigi/arhivnyustroystvo-i-obsluzhivanie-vtorichnyh-cepey-22.html> (accessed 15 March 2016). (Rus).
16. Baranov M.I. An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 32: Alternative energy: state and prospects of development. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.3, pp. 3-16. (Rus). doi: **10.20998/2074-272X.2016.3.01**.
17. Andryushchenko A.I. Modern problems of thermal energy and the most important ways of their solution. *Vestnik of Saratov State Technical University*, 2003, no.1, pp. 140-143. (Rus).
18. Available at: <http://paes250.ru/ru/pts-problem/index.html> (accessed 12 May 2017). (Rus).
19. Kravchenko A.N. Global problems of Ukrainian thermal energy. *Electrician*, 2013, no.9, pp. 38-41. (Rus).
20. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_cycle (accessed 22 September 2016).
21. Available at: http://www.saveplanet.su/articles_114.html (accessed 15 March 2016). (Rus).

Поступила (received) 30.06.2017

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., г.н.с.,
НИПКИ «Молния»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
тел/phone +38 057 7076841,
e-mail: baranovmi@kpi.kharkov.ua

M.I. Baranov
Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute «Molniya»,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 43: Traditional power engineering. Thermal power plants: state and prospects of their development.

Purpose. Preparation of brief scientific and technical review with an analytical analysis about the state, achievements, problems and prospects of development of world thermal power engineering. **Methodology.** Known scientific methods of collection, analysis and analytical treatment of the opened scientific and technical information, present in scientific monographs, journals and internet reports, world level in area of thermal power engineering. **Results.** A brief analytical scientific and technical review is resulted about the present state, achievements, problem tasks and prospects of development of thermal power engineering in the industrially developed countries of the world. Considerable progress is marked in development and creation of technical base of modern thermal power engineering including such thermal power devices (TPD) as steam generators, steam turbines and turbogenerators. Basic TPDs are described, charts of design and types of the modern thermal power plants (TPP), producing in the world about 70 % annual production electric power are presented. From positions of approach of the systems advantages and lacks of TPPs are described before other types of electric stations, generating heat and electric energy in industrial scales. Basic technical descriptions of largest TPPs of Ukraine are resulted, TPDs of powerful power units of which behave to the morally out-of-date past generation and characterized a large physical wear. Some topical problem tasks and possible ways of their decision are indicated in area of thermal power engineering of Ukraine. In a review an accent is done on the necessity of development and acceptance of strategic plan of development of thermal power engineering of Ukraine on the nearest 10 years. A regard is paid to power engineering experts acceleration of rates of introduction in domestic practice of achievements alternative and ecologically clean power engineering specialists – especially wind energy and sun energy. **Originality.** Systematization of the scientific and technical materials touching functioning of such important sector of world economy as thermal power engineering known from the sources opened in outer informative space is executed. It is shown that for normal development and determination of the nearest prospects for domestic thermal energy the native revision of power politics of Ukraine is needed. **Practical value.** Popularization and deepening for students, engineers and technical specialists and research workers of front-rank scientific and technical knowledge in area of modern thermal energy, extending their scientific range of interests and further development of scientific and technical progress in society. References 21, tables 2, figures 7.

Key words: thermal power engineering, thermal power plants, steam generators, turbogenerators, characteristics of thermal power plants, problems and prospects of development of thermal power engineering.