

## К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКОМ ПРОГРЕССЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

С. В. ПОЛОЖИИ

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

Развитие энергетики за последние 15—20 лет и прогнозирование на будущие 10—15 лет характеризуется слабым представлением о действительных результатах технического прогресса, реально достижимом эффекте от внедрения и освоения новой техники.

Переход на блочные ТЭС с традиционным циклом на параметры пара в 300—350 ата, 600—650°C 15 лет тому назад в США оказался неоправданным по технико-экономическим и эксплуатационным показателям, по надежности работы и целесообразности использования таких блоков в энергосистемах. Переход на такие блоки оказался ошибочным решением. В последующий период энергетика США перешла на строительство реально эффективных блоков большой мощности с низкими относительно прошлых блоков параметрами пара в 160—240 ата, 540—540°C. Такие блоки удалось хорошо освоить в короткое время, успешно реализовать проектные показатели и полностью перевести в последнее десятилетие энергетику на такие параметры пара с непрерывным повышением единичной мощности блоков до 800—1200 мвт в последние годы. По этому же пути пошло развитие энергетики и в других странах мира. На этом уровне начальных параметров и термического к.п.д. произошла консервация развития мощных блочных ТЭС в мировой энергетике. Таким образом, на практике был достигнут предел повышения тепловой экономичности энергетических блоков, дальнейшего технического прогресса в паротурбинных ТЭС с традиционным циклом II области. За этот период развития энергетики произошел полный крах прогнозов и представлений о высоких возможностях технического прогресса в повышении начальных параметров и тепловой экономичности блочных ТЭС.

Полная неожиданность отрицательных результатов и низких возможностей блочных ТЭС, ошибочность первоначальных технических решений оказались характерной чертой развития энергетики с традиционным циклом второй области за прошедшие полтора десятка лет. Переход на блоки в 300 Мвт СКД также оказался непредвиденным по трудностям и срокам освоения таких блоков в отечественной энергетике. После 6—7 лет эксплуатации таких блоков СКД было принято решение и намечена широкая программа научно-исследовательских, проектных, конструкторских и промышленных мероприятий по повышению надежности и экономичности блоков СКД К-300-240 в нашей стране [1].

В современной научно-технической литературе не находят объяснения и не вскрывают коренных причин неудовлетворительного развития блочной энергетики, принятия ошибочных решений и прогнозов, непредвидения низких реальных возможностей в повышении тепловой экономичности ЭЭС современными энергетическими блоками, экономической нецелесообразности и эксплуатационной непригодности внедрения такой новой техники. Не объясняются также действительные причины застоя и снижения тепловой экономичности энергосистем США за последние 7—8 лет, полностью перешедших на самые технически совершенные, высокоэкономичные и надежные мощные блоки, вместо планируемой экономии топлива в ЭЭС США от внедрения таких блоков.

Развитие мировой энергетики за последние полтора-два десятка лет, как показывают исследования ТПИ [2-4], протекает в соответствии с объективными свойствами и закономерностями традиционного цикла, используемого в энергетике, с его фактическими реальными возможностями обеспечить технический прогресс паротурбинных ТЭС и полностью отражает деградацию традиционного цикла второй области на современном этапе развития блочной энергетики.

Развитие энергетики доблочного периода базировалось на использовании традиционного цикла первой области. Особенностью развития энергетики этого периода является однозначная зависимость технического прогресса в энергетике от значения термического к. п. д. цикла первой области. Переход к более высоким параметрам пара и повышение термического к. п. д. цикла полностью определяло технический прогресс в энергетике: экономию топлива на ТЭС и в энергосистемах, снижение себестоимости производства электроэнергии и повышение общей эффективности энергетики, снижение первоначальных и текущих вложений в энергетическую инфраструктуру, более интенсивный прирост мощности и производства электроэнергии. Этот длительный период развития энергетики всецело определялся задачей экономии топлива на ТЭС за счет повышения термического к. п. д. традиционного цикла первой области. При этом автоматически решались все другие стороны технического прогресса в энергетике. Увеличивалась агрегатная мощность и напряженность энергетического оборудования, снижались первоначальные и текущие капиталовложения на строительство и эксплуатацию ТЭС более высоких параметров пара, снижалась себестоимость производства электрической энергии. Улучшались условия эксплуатации, возрастала эффективность работы ТЭС и энергосистем, повышалась надежность и маневренность работы энергосистем. Действовал объективный закон развития традиционного цикла первой области. Десятилетиями подтверждалась всеобъемлющая роль и значение термического к. п. д. и снижение удельного расхода топлива на технический прогресс в энергетике, ведущая роль термодинамики в развитии энергетики. При этом в пределах этого периода переход к более высокой ступени параметров не требовал изменения самого цикла и технологической схемы ТЭС, разработки существенно нового энергетического оборудования, изготовления специальных сталей, не происходило существенных изменений термодинамических, теплотехнических и теплофизических свойств воды и пара, условий генерации рабочего тела и работы его в паровой турбине.

Условия работы новых ТЭС не претерпевали изменений к худшему ни по срокам освоения, ни по режимам и надежности работы. Прогнозирование в энергетике по этим причинам ограничивалось значениями термического к. п. д. новых ТЭС. Не возникало потребности пользоваться методом приведенных суммарных затрат при технико-экономических обоснованиях, не требовалось и разработки такого метода так же, как и третьего этапа прогнозирования по условиям освоения и эксплуатации

новых ТЭС. В этот период отрабатывается в сознании энергетиков исключительная роль в прогрессе энергетики термодинамической эффективности цикла, необходимость всемерного повышения термического к. п. д. цикла для развития энергетики. Главным недостатком и противоречием традиционного цикла первой области является непригодность его для концентрации мощностей агрегатов ТЭС и низкая абсолютная экономичность ТЭС с традиционным циклом первой области, несовместимость его с задачами и требованиями современного этапа развития энергетики, огромных темпов и масштабов развития ТЭС и производства электроэнергии, без которых невозможен технический прогресс во всех отраслях промышленности развитых стран мира. В этом заключается деградация традиционного цикла первой области, происшедшая полтора-два десятка лет тому назад, несостоятельность его обеспечить дальнейший прогресс в энергетике и повысить технический уровень развития паротурбинных ТЭС невысокой мощности. В этом причина перехода энергетики и к использованию традиционного цикла второй области в мировой энергетике.

США возглавили это новое направление в развитии энергетики и начали его осуществлять с внедрения мощных энергетических блоков на очень высокие закритические параметры пара 300—350 *ата*, 600—650°C. Однако в основу перехода на такие параметры пара в блочных ТЭС была положена термодинамическая концепция: стремление реализовать максимальное значение термического к. п. д. с намерением к последующему переходу на еще более высокие начальные параметры пара и сложные тепловые схемы до 400—500 *ата*, 700—750°C. Этому первоначальному этапу развития блочных ТЭС с традиционным циклом второй области в США не предшествовали теоретические исследования свойств и закономерностей этого цикла. Не возникало даже идеи организации исследований в таком плане. При переходе к строительству мощных блочных ТЭС с традиционным циклом второй области не подлежали выяснению особенности и закономерности традиционного цикла данной области. Ввиду этого оказались невыясненными коренные различия и принципиальные особенности развития блочных ТЭС и технического прогресса с традиционным циклом второй области. Термодинамическая концепция оказалась непригодной для развития технического прогресса в энергетике с блочными ТЭС СВД и СКД. Из положительного ведущего фактора развития энергетики с традиционным циклом первой области она переходит в отрицательный во второй области. Значительное повышение термического к. п. д. приводит к технико-экономической нецелесообразности таких установок с традиционным циклом второй области, к невозможности технического осуществления и освоения таких тепловых электрических станций, к огромным убыткам в энергетике при развитии и внедрении таких ТЭС. Вместо снижения приведенных суммарных затрат на производство электрической энергии от повышения термического к. п. д. цикла первой области происходит увеличение этих затрат по мере повышения термического к. п. д. установок с традиционным циклом второй области. Возрастают материальные затраты и себестоимость производства электрической энергии от повышения термического к. п. д. в таких установках. Высокая мобильность и режимоспособность электростанций термодинамического цикла первой области сопровождаются потерей этих важнейших свойств ТЭС с повышением  $\eta_t$  традиционного цикла второй области. Вместо сохранения благоприятных физических, термодинамических, теплотехнических свойств воды и водяного пара при повышении  $\eta_t$  в установках с циклом первой области происходит резкое ухудшение этих свойств с повышением термического к. п. д. в установках с традиционным циклом второй области.

Наряду с этим происходят коренные изменения термодинамического цикла, тепловой и технологической схемы от  $\eta_c$  в установках второй области. Вводятся промежуточные перегревы пара, усложняется схема регенеративного подогрева питательной воды, вводится химизация установок, облагораживание конденсата и питательной воды для удаления растворимых солей и металлов, химическая обработка энергетического оборудования по всей технологической схеме. Возникла проблема создания высококачественного металла и энергетического оборудования и тем сложнее, чем выше термодинамический к. п. д. установок с циклом второй области. Хорошая совместимость работы ТЭС с условиями и требованиями энергосистем ТЭС с термодинамическим циклом первой области заменилась на полную несовместимость работы блоков в энергосистемах в переменной части графиков нагрузки. Отсутствие проблемы покрытия пиковой нагрузки в энергосистемах с ТЭС с традиционным циклом первой области перешло в главную проблему эксплуатации энергосистем с блочными ТЭС с циклом второй области и тем более сложную и трудноразрешимую с повышением термического к. п. д. таких блоков. Отсутствие проблемы надежности работы энергосистем в прошлом перешло в главную проблему эксплуатации энергосистем с установками с традиционным циклом второй области. Прогнозирование и определение технического прогресса по термическому к. п. д. привело к ошибочным решениям в энергетике с блочными ТЭС и решающими факторами выдвинуло технико-экономическое обоснование по приведенным суммарным затратам и условиям эксплуатации работы в переменной части графиков нагрузки энергосистем, освоения и надежности работы ТЭС в энергосистемах.

Деградация традиционного цикла второй области в мировой энергетике на начальном и современном этапе ее развития характеризуется огромными трудностями освоения и неудовлетворительной эксплуатацией энергетических блоков, энергосистем и энергетики в целом в развитых странах мира ввиду следующих причин:

1. Наличие многолетнего убыточного периода эксплуатации блочных ТЭС с традиционным циклом второй области. В течение многих лет не удается реализовать проектные показатели работы таких блоков ни по экономичности, ни по надежности, ни по числу часов использования установленной мощности.

2. Большое недопроизводство электрической энергии в период освоения блоков СВД и СКД. Вынужденное производство по этой причине электрической энергии на старых неэкономичных ТЭС, повышение удельного расхода топлива в ЭЭС в этот период освоения блоков.

3. Огромные дополнительные капиталовложения и затраты материальных ресурсов в многолетний период ненадежной и аварийной работы блочных ТЭС.

4. Большие убытки в энергетике, связанные с эксплуатацией неосваиваемых блоков, с разработкой новых, более совершенных блоков, с их освоением и внедрением.

5. Ухудшение эффективности работы энергосистем по мере развития и хорошего освоения блоков СКД, связанное с несовместимостью блочных базовых ТЭС с условиями переменного режима эксплуатации ЭЭС (возникновение проблемы пиковой мощности, строительство неэкономичных пиковых электростанций, низкая эффективность работы блоков СВД и СКД в переменном режиме ЭЭС) [7], приводящих к повышению удельного расхода топлива в ЭЭС и приведенных расчетных затрат на производство электрической энергии в стране в целом.

Деградация традиционного цикла второй области в будущих ЭЭС при хорошей освоенности блочных ТЭС и массовом их внедрении будет

проявляться за счет дальнейшего обострения главного противоречия блочных ТЭС СКД: несовместимости работы блочных установок базисного режима с условиями и требованиями развития энергетики будущего с разуплотненными графиками нагрузок и строительства базовых АЭС. Переход блочных ТЭС в переменную часть графиков нагрузок ЭЭС (малое число часов использования установленной мощности блочных ТЭС, строительство пиковых ТЭС) приведет к резкому увеличению удельного расхода топлива и расчетных затрат на производство электрической энергии в будущих ЭЭС развитых стран мира. Ожидаемое число часов использования установленной мощности блоков СКД 300 Мвт в Европейской части нашей страны в 1985 г. составит всего лишь 1000—1200 час в год вместо 7000 час, на которые они спроектированы в настоящее время. Блоки 800 Мвт на угле, которые еще только разрабатываются в нашей стране, в 1985 году будут работать с использованием установленной мощности порядка 5000 час в год [5]. Эта деградация традиционного цикла второй области будет выражаться в дальнейшем непрерывном ухудшении тепловой экономичности энергетики стран мира: в непрерывном повышении удельного расхода топлива и приведенных расчетных затрат на производство электрической энергии вместо их снижения, как это планируется в настоящее время для развития будущих энергосистем, как за счет производства электроэнергии современными базисными дорогими блоками в переменном режиме с очень низкой экономичностью, так и за счет строительства специальных неэкономичных маневренных пиковых и полупиковых ТЭС различных типов и специальных паротурбинных блоков переменного режима большой мощности и невысокой экономичности (рис. 1. Схема деградации традиционного цикла в энергетике США).

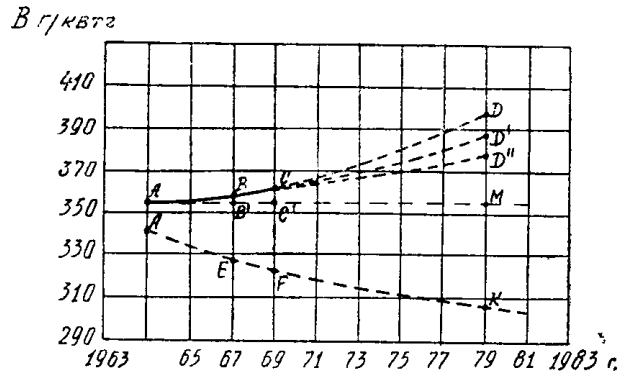


Рис. 1. Динамика повышения удельного расхода топлива в связи с деградацией традиционного цикла второй области в энергетике США. А — Рекордный уровень минимального расхода топлива в энергетике США. А—В—С — Начало деградации традиционного цикла II области — возрастание удельного расхода топлива в стране, понижение эффективности использования блочных ТЭС с улучшением надежности и экономичности работы блоков в базовом режиме. С—Д — Дальнейшая деградация традиционного цикла II области в будущих энергосистемах, Д, Д', Д'' — Возможные ситуации развития энергетики США будущего по прогнозам ТПИ в связи с деградацией традиционного цикла. Д — Максимальное развитие АЭС, значительная мощность маневренных ТЭС низкой тепловой экономичности, большая доля работы блочных ТЭС в переменной части графиков нагрузки ЭЭС, высокий или нормальный резерв мощности в энергосистемах. Д' — Низкая доля АЭС в энергосистемах, невысокая доля пиковых маневренных ТЭС в ЭЭС, большие резервы мощности, менее значительное разуплотнение графиков нагрузки ЭЭС. А'—Е—F—К — Прогнозируемый удельный расход топлива в энергетике США от перехода энергетики на мощные высокоэкономичные базисные блоки в будущих ЭЭС США без представления о неизбежной деградации традиционного цикла II области. А—В—С — Фактическая экономичность энергетики США от перехода на мощные блоки СВД и СКД и хорошего их освоения, обусловленная деградацией традиционного цикла II области. ВВ' — Превышение фактического удельного расхода топлива в США в 1967 году, СС' — то же в 1969 году по сравнению с 1963 годом. ВЕ, СF — То же — относительно прогнозируемого от внедрения блочных ТЭС в США

Схема деградации традиционного цикла в энергетике США).

Деградация традиционного цикла второй области будет происходить также от неоптимальных решений развития блочной энергетики на современном этапе и, в частности, от завышения начальных параметров пара и  $\eta_i$ , осуществленных и проектируемых на ближайшие 10—15 лет блоков (240 *ата*, 540°C), особенно той части, которая прежде всего будет вынуждена работать в переменном режиме. Современные параметры и тепловая экономичность блоков большой мощности являются завышенными для будущих энергосистем по использованию установленной мощности и требованиям переменного режима работы мощных блоков. Огромное количество таких нерезимоспособных блоков в современной энергетике может нанести значительный ущерб энергосистемам будущего, осложнить эксплуатацию и надежность их работы. Потребуется разработка специальных мер в виде создания большого энергетического резерва, применения значительной мощности маневренных ТЭС низкой экономичности, включая блоки повышенной режимоспособности с невысокой тепловой экономичностью.

В этом отношении современные параметры блоков и  $\eta_i$  достигли для традиционного цикла второй области самого высокого целесообразного уровня в развитии блочной энергетики, и дальнейшее развитие традиционного цикла, по всей вероятности, пойдет по пути снижения этих, уже достигнутых параметров пара в соответствии с условиями переменного режима работы блочных ТЭС в будущих энергосистемах. Поэтому прогнозирование современных параметров блочной энергетики для будущих энергосистем окажется неоптимальным, значительно завышенным подобно тому, как это имело место в развитии блочных ТЭС в прошлом, когда США приступили в пятидесятых годах к внедрению нецелесообразных блоков на 300—350 *ата*, 600—650°C и вынуждены были перейти затем к внедрению блоков на 240 *ата*, 540°C.

Деградация традиционного цикла второй области будет выражаться также в неуправляемости развития будущих энергосистем благодаря ошибочным решениям и прогнозированию блочных ТЭС на современном этапе, возникновению непредвиденных в настоящее время ситуаций и фактических результатов технического прогресса, ухудшения работы будущих энергосистем и особенно в снижении тепловой экономичности по сравнению с достигнутым уровнем на современном этапе в США и эффективности использования капиталовложений в современные и проектируемые блоки. Эта неудовлетворительная картина развития традиционного цикла второй области, неспособность его обеспечить технический прогресс энергетики будущего является объективной закономерностью, следствием свойств и противоречий традиционного цикла, что и начинает уже проявляться в энергетике США. В энергетике США за последние 7—8 лет происходит по этим причинам непрерывное увеличение удельного расхода топлива, особенно существенное по сравнению с прогнозируемым расходом его на эти годы, и снижение эффективности капиталовложений в блочные ТЭС за эти годы (рис. 1). В этом заключается сущность деградации традиционного цикла как закона развития мировой энергетики.

Объективным и закономерным, с другой стороны, является открытие адиабатического фазообразования, возникновение и развитие идеи перевода энергетики на адиабатическое фазообразование как единственной пока известной возможности технического прогресса современной и особенно будущей энергетики как эффективного средства преодоления деградации традиционного цикла II области [2, 3, 4, 6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение надежности и экономичности энергетических блоков СКД. «Теплоэнергетика», 1970, № 5.
  2. С. В. Положий. Основы научного прогнозирования в энергетике. Прогнозирование паротурбинных установок с адиабатическим фазообразованием. Информ. бюллетень ТПИ № 3 по проблеме перевода ТЭС на АФ, 1969. Гос. регистр. № 70002202, микрофильм, М., 1970.
  3. С. В. Положий. Адиабатическое фазообразование. Информ. бюллетень ТПИ по проблеме перевода ТЭС на АФ. Томск, 1969. Гос. регистр. № 70002200, микрофильм, М., 1970.
  4. С. В. Положий. Обзор исследований ТПИ по паротурбинным установкам с адиабатическим фазообразованием. Вопросы перевода ТЭС на адиабатическое фазообразование. Информ. бюллетень ТПИ по проблеме перевода ТЭС на АФ. Томск, 1970. Гос. регистр. № 70013070, микрофильм, М., 1970.
  5. Г. Б. Левенталь, Л. С. Попырин. Оптимизация теплоэнергетических установок. М., «Энергия», 1970.
  6. С. В. Положий. Еще раз к вопросу о применении адиабатического фазообразования в паротурбинных установках. Изв. ТПИ, том 205, 1972.
  7. П. С. Непорожний. Проблемы и перспективы научно-технического прогресса теплоэнергетики. «Теплоэнергетика», 1973, № 1.
-