

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС ПАРОТУРБИННЫМИ  
АГРЕГАТАМИ МАКСИМАЛЬНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ  
С АДИАБАТИЧЕСКИМ ФАЗООБРАЗОВАНИЕМ  
В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ**

С. В. ПОЛОЖИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

Технический прогресс в мировой и отечественной энергетике за последние 15—20 лет обусловлен современным паросиловым циклом благодаря переводу теплоэнергетики на сверхвысокие и закритические параметры пара, применению сложного регенеративного подогрева питательной воды, повторного перегрева пара при широчайшем прогрессе в части производства основного и вспомогательного оборудования блочных ТЭС, исключительно высокой концентрации и централизации производства электрической энергии в блочных установках огромной мощности. В результате этого произошло резкое улучшение технико-экономических показателей производства электроэнергии на ТЭС — снижение удельного расхода топлива, первоначальных и текущих капиталовложений на строительство и эксплуатацию ТЭС, себестоимости производства электрической энергии.

В рамках существующего паросилового цикла современное направление развития теплоэнергетики, техническая политика в этой области, безусловно, являются правильными и доказаны всем ходом развития мировой и отечественной энергетике за последние два десятка лет. Низкий технический уровень развития теплоэнергетики прошлого периода особенно рельефно подчеркивает высокие технико-экономические показатели мощных блочных ТЭС сверхвысоких и закритических параметров пара. Последнее обстоятельство является одной из причин удовлетворения таким путем развития теплоэнергетики, не критического отношения к недостаткам современного паросилового цикла. Этим также в значительной степени определяется недооценка сторонниками современного паросилового цикла работ Томского политехнического института по паротурбинным установкам с адиабатическим фазообразованием, а также строительство блочных ТЭС в начальный период в мировой энергетике на практически непригодные начальные температуры и давления пара в 300—350 ат и 600—650°C. В результате этого энергетика США после 6—8 лет освоения и эксплуатации таких высокотемпературных блоков в 600—650°C в начале шестидесятых годов полностью от них отказалась и вынуждена была перейти к строительству блоков на низкую температуру порядка 538°C. То же случилось и с энергетикой ФРГ, а позже пришлось понизить начальную температуру пара и в энергетике СССР.

Седьмая энергетическая мировая конференция (Москва, 1968 г.) фактически подвела неутешительные итоги современному состоянию мощных блочных установок сверхвысокого и закритического давления пара, дала объективную оценку современному паросиловому циклу и его низким возможностям обеспечить дальнейшее повышение тепловой экономичности ТЭС [1—4]. Работу мировой энергетической конференции в этом отношении необходимо расценивать положительной для ТЭС с адиабатическим фазообразованием как наиболее эффективного способа производства электрической энергии [5—9]. Огромных трудностей и материальных затрат стоило освоение в нашей стране блоков с более низкой начальной температурой пара, чем в прошлом в блоках США, в  $565^{\circ}\text{C}$  в прошлой семилетке. Еще больших напряжений и дополнительных материальных затрат потребовало освоение и эксплуатация блоков в 300 *Mвт* на температуру пара в  $560^{\circ}\text{C}$  при закритическом давлении введенных в эксплуатацию в конце прошлой семилетки основных агрегатов девятой пятилетки. В результате невозможности достичь проектных показателей работы таких блоков в течение многих лет в 1971 году было принято решение снизить температуру пара в блоках закритического давления мощностью в 300, 500, 800 и выше *Mвт* до  $540^{\circ}\text{C}$ . Это решение фактически ознаменовало переход отечественной энергетики, как это прежде произошло с энергетикой США, на низкую реально достижимую температуру пара в мощных блоках закритического давления. Еще более наглядным примером несостоятельности современного паросилового цикла является застой в снижении удельного расхода топлива за последние 5—6 лет в ряде передовых капиталистических стран мира и прежде всего в США. Насыщение энергетики США самыми мощными и совершенными блоками в мире не привело к ожидаемому снижению удельного расхода топлива в стране. За последние пять лет удельный расход топлива в энергетике США не только не сократился, но даже несколько возрос — с 361 *г/квтч* в 1963 году до 363 *г/квтч* в 1967 году. В Англии за последние шесть лет значительный ввод блочной мощности также не обеспечил снижения удельных расходов топлива в стране, которые стабильно остаются на уровне 440—445 *г/квтч*. Особенно примечательно то, что за рубежом произошла переоценка возможностей современных блоков. Теперь многие энергетики мира новые блоки рассматривают как последний этап развития классической теплоэнергетики перед заменой ее атомными электрическими станциями, а также пришли к выводу о предельных возможностях — «потолке» современных блоков при невысокой температуре пара в  $555$ — $540^{\circ}\text{C}$ . Потребовались огромные материальные затраты, многолетняя и многообразная деятельность по разработке, освоению и эксплуатации блоков со сверхвысокой температурой пара, чтобы убедиться в ошибочности такого пути развития теплоэнергетики на очень высокую температуру пара. Такая температура пара современного паросилового цикла в мощных установках оказалась на  $90$ — $110^{\circ}\text{C}$  ниже той, которую начали осваивать полтора десятка лет тому назад, и на  $150$ — $200^{\circ}\text{C}$  ниже той, которую предсказывали теплоэнергетики в прошлом на сегодняшнее время — на 1970—1975 годы. В этом заключается регресс современного паросилового цикла в большой энергетике, невозможность его обеспечить дальнейший существенный прогресс в теплоэнергетике, и объективные условия для перевода ее на адиабатическое фазообразование как средство технического прогресса в теплоэнергетике.

Теперь особенно очевидна ошибочность рекомендаций по переводу отечественной энергетики на сверхвысокие начальные параметры пара в  $580$ — $650^{\circ}\text{C}$ , сделанных еще в начале пятидесятых годов. В этой свя-

зи стоит также напомнить неоправданный оптимизм участников совещания по паротурбинным установкам с адиабатическим парообразованием в ЭНИН в 1965 году в Москве, которые утверждали о широкой перспективе и возможностях повышения начальных параметров и тепловой экономичности отечественных блоков большой мощности и отрицали на этом основании необходимость развития работ ТПИ по паротурбинным установкам, актуальность этих исследований. В основу перевода энергетики на блочные установки как за рубежом, так и в нашей стране в прошлом, была положена технически и экономически неоправданная, как затем стало очевидным, высокая термодинамическая эффективность современного паросилового цикла сверхвысокой начальной температуры пара, расчетные (теоретические) показатели работы таких блоков в базовой нагрузке в предположении высокой надежности работы и малых сроков освоения. Внедрению таких блоков не предшествовал и глубокий анализ реальных возможностей осуществления и целесообразности реализации таких расчетных и проектных показателей работы блоков, научно обоснованные прогнозы, знание новых проблем и путей их решения как по самим блокам, так и по энергосистемам и энергетике страны в целом.

Для обеспечения этого нового этапа развития энергетики в высокоразвитых странах мира была проделана огромная работа, перед которой меркнут масштабы и научные достижения прошлого периода развития теплоэнергетики. Однако ни высокий уровень организации научных исследований, ни невиданные в прошлом интенсивность и масштабы этих исследований, ни большие усилия эксплуатационного персонала ТЭС и энергосистем, монтажных, наладочных и других организаций и энергетической промышленности, не позволили преодолеть недостатков современного паросилового цикла и реализовать теоретические возможности такого цикла сверхвысокой температуры пара 600—650°C и давлений в 300—350 ат, с которых начали осуществлять новый этап развития теплоэнергетики 15—20 лет тому назад в наиболее развитых странах мира. Сроки освоения проектных показателей блоков сверхвысокой температуры растянулись на многие годы, что предполагалось и было принято в проектах. Блоки же с температурой пара свыше 570°C оказались экономически неоправданными, эксплуатационно ненадежными, технически неподготовленными. Освоение и эксплуатация таких блоков сопровождалась невиданной в истории энергетики низкой надежностью работы и огромной аварийностью, малым числом часов использования установленной мощности, недопроизводством огромного количества электроэнергии, потребовали больших ежегодных дополнительных капиталовложений, а также низкой тепловой экономичностью работы таких блоков в течение многих лет. Полная непригодность и нецелесообразность работы блоков на переменном режиме приводит к резкому ухудшению экономичности энергосистем, к широкому использованию в переменной части нагрузок неэкономичных ТЭС и пиковых установок. В результате действия этих противоречивых факторов произошел застой в снижении удельного расхода топлива за последние годы в США, Англии и других развитых странах, несмотря на ежегодное внедрение большой мощности блочных установок.

С этих позиций необходимо подходить к оценке паротурбинных установок с адиабатическим фазообразованием, а также для коренного пересмотра сложившейся ситуации с целью реализации задачи перевода энергетики на адиабатическое фазообразование. Перевод отечественной энергетики на адиабатическое фазообразование полностью подготовлен современным состоянием развития теплоэнергетики и может осуществляться широким фронтом и быстрыми темпами со

значительным снижением материальных затрат и с большой эффективностью в эксплуатации. Перевод ТЭС на адиабатическое фазообразование базируется на хорошо освоенном энергетическом оборудовании невысоких давлений пара (паровых турбин промышленных ТЭС, ЦСД и ЦНД современных блоков, паропроводов и пароперегревателей невысокого давления, вспомогательного оборудования), на организации производства дешевых элементов таких установок [5, 7, 9] (турбин с адиабатическим фазообразованием, низкотемпературных котлов с пароперегревателем низкого давления) с прекращением производства прямоточных дорогих котлов СКД, цилиндров паровых турбин сверхвысокого давления и других элементов в части сверхвысоких и закритических параметров пара. Такой перевод энергетики на адиабатическое фазообразование устраняет недостатки современного паросилового цикла в блочных установках и промышленных ТЭС [5—9]. Степень подготовленности и обоснованности внедрения блоков АФ в настоящее время несравнимо более высокая, чем это имело место для блоков с традиционным паросиловым циклом при их внедрении в США, ФРГ, СССР и других странах.

В паротурбинных установках с АФ используются все основные свойства адиабатического фазообразования: получение новой фазы, кинетической энергии потока и дисперсность потока. Этим определяется своеобразие циклов и тепловых схем, технологического процесса и элементов таких энергетических установок [5—9]. При этом удачным является в установках с АФ первоначальной модификации использование современного энергетического оборудования в наиболее простой и дешевой его части с сохранением общестанционного и вспомогательного оборудования, а также строительных, компоновочных и других решений современных ТЭС.

Турбина АФ является принципиально новым и прогрессивным элементом паротурбинных установок с адиабатическим фазообразованием первоначальной модификации и может по конечному результату процесса АФ выполняться как испаритель-генератор или как конденсатор-генератор (при подаче рабочего тела несколько выше критического состояния — 230—250 атм, 380—385°C). Насыщенный пар в последнем случае для паровой части цикла получается за счет конденсации паровой фазы в турбине «КГ». Этот тип турбины АФ обеспечивает более высокую тепловую экономичность таких установок, снижает конечную влажность потока в проточной части и расход энергии на циркуляционный насос котла по сравнению с турбинами «ИГ». Турбина АФ как энергетический агрегат обладает значительными преимуществами перед

Таблица 1

**Сравнение проектных показателей современного котла и котла АФ**

Марка стали элементов котла под давлением	Блок 1200 Мвт, 247 ат, 565° С 62 ат, 570° С, 19/570° С 11		Блок АФ200 Мвт 224/373, 36/560		Изм. относ. С бл. 1200 Мвт
	%	кг/квт	%	кг/квт	%
Углеродистая сталь	20,7	0,628	85,4	2,21	353
Перлитная сталь	67,7	2,05	11,6	0,30	14,65
Аустенитная сталь	11,6	0,357	3,0	0,08	22,40
Расход перлитных и аустенитных сталей	79,3	2,41	14,6	0,38	15,75
Общий расход металла	100%	3,03	100%	2,59	85,30

паровыми турбинами, особенно перед цилиндрами СВД и ВД, которые она заменяет в современных установках.

Котлы паротурбинных установок АФ не имеют недостатков современных прямоточных котлов закритических параметров и барабанных котлов на докритические давления пара [5, 8].

Для некоторого сравнения преимущества котлов установок АФ в табл. 1 приведены проектные данные современного котла закритического давления [11] блока 1200 Мвт и котла АФ блока в 200 Мвт [5].

Тепловая экономичность ТЭС АФ и сравнение ее с блоком К-300-240 в 300 Мвт приведены в табл. 2. Котел установки АФ в 200 Мвт на 15% имеет меньший расход металла, чем котел блока в 1200 Мвт на закритические параметры пара. Расход перлитных сталей в 6,8, а аустеничных в 4,5 раза у котла АФ меньше, чем котла блока 1200 Мвт.

Таблица 2

Сравнение проектных показателей блока К-300-240 и АФ-300

Показатели	К-300-240, 240/580, 35/565° С	АФ-300, 230/380 С 45/565° С
К.п.д. брутто	0,389	0,406
К.п.д. нетто	0,378	0,380
Удельный расход топлива, г/квтч	325 (нетто)	314 (нетто)
Удельный расход пара, кг/квтч	2,94	2,84
Расход пара через ЦСД, т/час	740	858
Расход пара через ЦВД, т/час	884	ЦВД нет
Расход рабочего тела через турбину АФ, т/час	Турбины АФ нет	1279
Расход пара в конденсатор, т/час	530	587

Высокая надежность работы блоков АФ и их мобильность, низкая аварийность и другие положительные характеристики таких блоков прогнозировались в прошлом на основании теоретических исследований, в настоящее время подтверждаются практикой освоения и эксплуатацией современных блоков в мировой и отечественной энергетике.

Низкая стоимость энергетического оборудования, высокая экономичность ТЭС с АФ наряду с высокими эксплуатационными показателями блоков АФ позволяют рекомендовать внедрение адиабатического фазообразования в энергетику страны и прежде всего для повышения эффективности теплоэнергетики Сибири — для строительства мощных, надежных и дешевых блоков на сибирских углях открытой разработки для массового производства и транспорта электрической энергии в западные районы страны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. Д. Лавриненко. Седьмой Мировой конгресс энергетиков. «Теплоэнергетика», № 8, 1968.
2. В. Б. Пакшевер. Вопросы теплоэнергетики на VII Мировой энергетической конференции. «Энергохозяйство за рубежом», № 5, 1968.
3. В. Г. Жилин, А. М. Некрасов, А. С. Павленко. Энергетика СССР и ближайшие перспективы ее развития. «Электрические станции», № 8, 1968.

4. Д. Г. Ж и м е р и н. Проблемы развития теплоэнергетики СССР. «Теплоэнергетика», № 8, 1968.
5. С. В. П о л о ж и й. Паросиловые установки с адиабатическим парообразованием. Изв. Вузов СССР Энергетика. № 1, 1965.
6. С. В. П о л о ж и й. Паросиловые циклы с адиабатическим парообразованием. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
7. С. В. П о л о ж и й. Испарители-генераторы паросиловых установок с адиабатическим парообразованием. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
8. С. В. П о л о ж и й. Повышение эффективности промышленных электростанций посредством применения адиабатического парообразования. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
9. С. В. П о л о ж и й. Состояние и перспективы научных исследований по проблеме адиабатического парообразования. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
10. С. В. П о л о ж и й. К вопросу о кинетике процесса конденсации пара в турбинной ступени. Изв. ТПИ, том 137, 1965.
11. В. С. П а т ы ч е н к о, С. И. М о ч а н, М. З. Г у д к и н, Б. М. Ш л е й ф е р, Л. М. Х р и с т и ч, В. И. Ш е п т у н, С. И. З а р а й с к и й. Разработка котельного агрегата для блока мощностью 1200 Мвт. «Энергомашиностроение», № 7, 1968.