

## ДЕГРАДАЦИЯ ТРАДИЦИОННОГО ПАРОТУРБИННОГО ЦИКЛА — ОСНОВНАЯ ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

С. В. ПОЛОЖИИ

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

Развитие современной энергетики базируется на использовании традиционного паросилового цикла I и II областей: традиционного цикла I области в установках с органическим топливом небольшой мощности, в маневренных энергоблоках и в мощных базовых АЭС; традиционного цикла II области в мощных блочных базовых ТЭС СВД и СКД. Паротурбинные ТЭС с традиционным циклом I области до сверхвысоких параметров пара обладают низкой тепловой экономичностью, высокими расчетными затратами на производство электрической энергии, но имеют простое энергетическое оборудование и высокую маневренность, хорошо отвечают требованиям переменного режима работы энергосистем. Паротурбинные ТЭС с традиционным циклом II области обладают высокой тепловой экономичностью в базовом режиме и низкими расчетными затратами, сложным энергетическим оборудованием, являются неманевренными и не соответствуют условиям работы ЭЭС в переменной части графиков нагрузок.

Развитие энергетики в прошлом, на современном этапе и в перспективе всецело определяется объективными свойствами и закономерностями традиционного цикла I и II области, раскрытие и исследование которых подводит теоретическую базу технического прогресса в энергетике, позволяет правильно оценить современное состояние и перспективы развития блочных ТЭС, вскрыть причины ошибочных решений и прогнозирования в энергетике, деградацию традиционного цикла I области в прошлом и II области в перспективе. Развитие энергетики на всех этапах, особенно с традиционным циклом II области, характеризуется явно выраженным эмпиризмом, без глубоких теоретических основ в развитии традиционного цикла, знания объективных закономерностей его развития.

Эмпиризм в развитии энергетики выражается в допущении ошибочных технических решений в строительстве блочных ТЭС, в необоснованных прогнозах технического прогресса в энергетике в прошлом на настоящее время и в настоящее время на будущее. Невыявленность многих проблем в развитии блочных ТЭС с традиционным циклом II области, внедрение блоков с неоптимальными и технически неприемлемыми начальными параметрами пара, строительство только базовых ТЭС без учета перехода их в переменную часть графиков нагрузки ЭЭС так-

же являются результатом эмпирического подхода в развитии энергетики. Этим объясняется непредвидение фактических результатов от внедрения блочных ТЭС в энергетику таких, как повышение удельных расходов топлива и расчетных затрат на производство электроэнергии от внедрения и хорошего освоения блочных ТЭС вместо их снижения от внедрения такой новой техники (США, Англия).

В 50-х годах на 70-е годы прогнозировалось использование мощных ТЭС на 400—500 ата, 700—750°С с низким теоретическим удельным расходом топлива и высокой эффективностью развития энергетики. В соответствии с такими прогнозами в США в начале пятидесятых годов приступили к строительству и эксплуатации мощных блоков на практически недопустимые высокие параметры пара до 350 ата, 650°С. Объективные условия и возможности традиционного цикла II области привели к установлению на практике предельных начальных параметров пара и тепловой экономичности мощных блочных ТЭС на значительно более низком уровне, не превышающем 240 ата, 540—560°С как технически выполнимых, экономически целесообразных и эксплуатационно приемлемо надежных для условий работы таких блоков в базовом режиме при высоком числе часов использования установленной мощности. Дальнейшее развитие блоков привело к утверждению мирового стандарта на начальные параметры пара в 240 ата, 540°С в энергетике.

Энергетики мира за прошедшие 15—20 лет убедились в низких предельных возможностях традиционных блоков в повышении тепловой экономичности даже при базовых условиях их эксплуатации и окончательно отказались от первоначальных технических решений и прогнозов как не отвечающих реальным возможностям традиционного цикла. Фактические сроки освоения блоков с традиционным циклом II области оказались непредвиденно очень высокими или вообще не удалось реализовать проектных показателей блоков сверхбарьерной (540—560°С) температуры пара. Не предвиделись также исключительно высокая степень новизны блоков СКД, многие новые проблемы и трудности освоения блочных ТЭС, а также неэффективная работа блоков в течение многих лет, большая аварийность и расчетные затраты на производство электрической энергии. Возникла неопределенность в сроках освоения, в надежности работы блоков, в достижении проектных показателей их работы. Происходило нарушение всех расчетных, теоретических и плановых показателей их работы от технического прогресса в энергетике. Преодоление этого периода освоения и эксплуатации блочных ТЭС принесло большой ущерб развитию энергетики во многих странах мира. Все это также не рассматривалось как объективная закономерность развития традиционного цикла II области.

В мировой энергетике отсутствуют понятие деления традиционного цикла на первую и вторую область, исследования свойств и закономерностей традиционного цикла и неизбежной деградации традиционного цикла II области в развитых странах мира в будущих энергосистемах. Современный этап развития мировой энергетики характеризуется необоснованностью прогнозов развития энергетики будущего, невыявленностью окончательной деградации традиционного цикла II области — непрерывностью повышения удельных расходов топлива и расчетных затрат на производство электрической энергии в ЭЭС развитых странах мира, связанных с массовым переходом ТЭС в переменную часть нагрузки энергосистем.

На прошлом этапе развития блочных ТЭС и в настоящее время уже заложены условия неэффективной работы будущих энергосистем благодаря строительству только мощных блочных ТЭС базисного режима,

массового внедрения таких блоков, несовместимости их свойств с требованиями переменного режима работы ЭЭС, технической непригодности и технико-экономической нецелесообразности использования базовых блоков в переменной части графиков нагрузки энергосистем, а также необходимости одновременного развития и ввода неэкономичных, но более дешевых специальных пиковых и полупиковых ТЭС с одновременным переводом базовых блоков в переменную часть графиков нагрузки ЭЭС.

Деградация традиционного цикла II области при хорошем освоении блочных ТЭС особенно наглядно проявляется за последние 8—10 лет в энергетике США. Она выражается в непрерывном повышении удельного расхода топлива в ЭЭС США за последнее десятилетие по сравнению с расходом топлива в 1963 году. Фактический удельный расход топлива в США возрос в 1970 году за этот период на 6—7% (рис. 1) в связи с массовым переходом на блочные ТЭС и хорошим освоением таких блоков. Уже в ближайшей перспективе повышение удельных расходов топлива в энергетике США достигнет максимальных значений, когда блочные ТЭС полностью перейдут в переменную часть графиков нагрузки в связи с развитием атомных электростанций базового назначения.

Работа базовых блоков в полупиковой и пиковой части графиков нагрузки ЭЭС резко повышает удельный расход топлива с 330—340 до 400—420 г/квтч. Использование для этой цели специальных полупиковых паротурбинных ТЭС или ГТУ приводит к еще более резкому повышению удельного расхода топлива до 450—500 г/квтч (рис. 2). Однако расчетные затраты на производство электрической энергии специальных полупиковых ТЭС и ГТУ имеют меньшую величину, чем при работе базисных блоков в полупиковом режиме (рис. 3). Производство электрической энергии в остропиковом режиме связано с

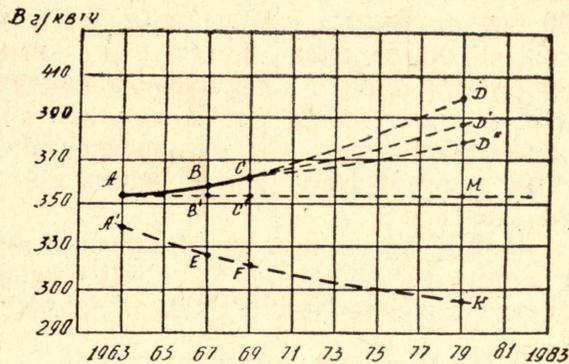


Рис. 1. Динамика повышения удельного расхода топлива в связи с деградацией традиционного цикла II области в энергетике США. A — рекордный уровень минимального расхода топлива в энергетике США; A, B, C — начало деградации традиционного цикла II области, возрастание удельного расхода топлива в стране, понижение эффективности использования блочных ТЭС с улучшением надежности и экономичности работы блоков в базовом режиме; C, D — дальнейшая деградация традиционного цикла II области в будущих энергосистемах: D, D', D'' — возможные ситуации развития энергетики США будущего по прогнозам ТПИ в связи с деградацией традиционного цикла; D — максимальное развитие АЭС, значительная мощность маневренных ТЭС низкой тепловой экономичности, большая доля работы блочных ТЭС в переменной части графиков нагрузки ЭЭС, невысокий или нормальный резерв мощности в энергосистемах; D'' — низкая доля АЭС в энергосистемах, невысокая доля пиковых и маневренных ТЭС в ЭЭС, большие резервы мощности, менее значительное разуплотнение графиков нагрузки в ЭЭС; A', E, F, K — прогнозируемый удельный расход топлива в энергетике США от перехода энергетики на мощные высокоэкономичные блоки в будущих ЭЭС США без представления о деградации традиционного цикла II области; A, B, C — фактическая экономичность энергетики США от перехода на мощные блоки СВД и СКД и хорошего их освоения, обусловленная деградацией традиционного цикла II области; BB' — превышение фактического удельного расхода топлива в США в 1967 году; CC' — то же в 1969 году; BE, CF — превышение удельного расхода топлива в 1967 и 1969 гг. относительно прогнозируемого от внедрения блочных ТЭС в США

еще более высокими удельными расходами топлива порядка 550—600 г/квтч. Внедрение специальных маневренных ТЭС низкой тепловой экономичности оказывается более выгодным по расчетным затратам, чем работа блоков базисного назначения в переменной части графиков нагрузки, но, главное, такие маневренные ТЭС низкой тепловой экономичности обеспечивают техническое решение проблемы переменного режима работы ЭЭС ввиду непригодности блочных базисных ТЭС для этих целей.

В ФРГ уже в настоящее время вынуждены отказаться от строительства мощных блочных ТЭС СКД базисного режима и перейти к производству маневренных блоков на пониженные параметры и низкую тепло-

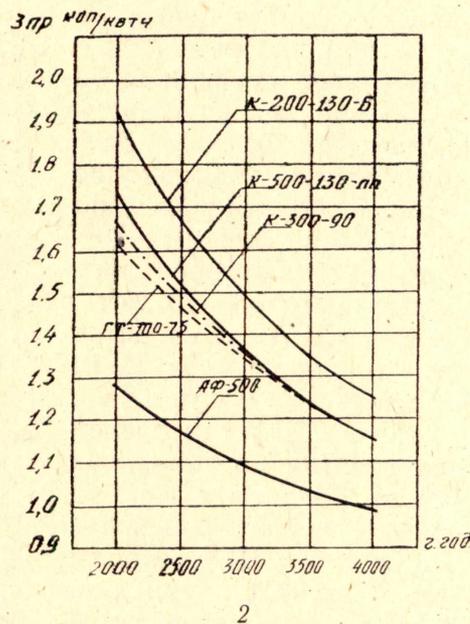
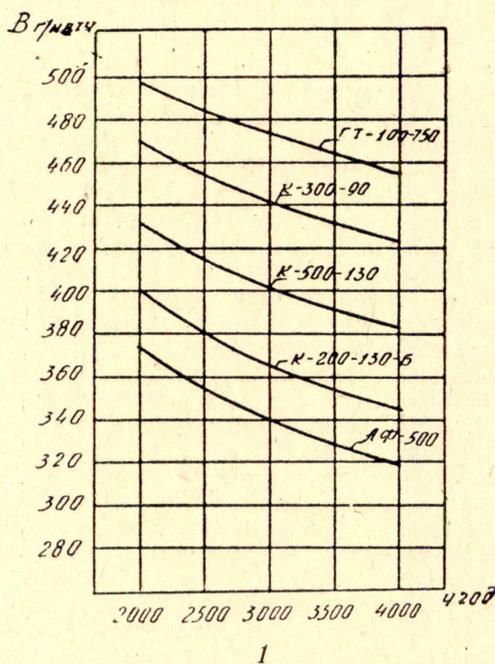


Рис. 2. Повышение удельного расхода топлива энергетическими установками при переходе теплоэнергетики в переменную часть графиков нагрузки энергосистем. 1. Число часов использования установленной мощности. Блоки К-200, К-300, К-500 и ГТ-750 по данным СЭИ СО АН СССР и Госкомитета по науке и технике при СМ СССР [3]. Блоки АФ-500 по данным ТПИ

Рис. 3. Повышение удельных расчетных затрат на производство электрической энергии при переходе теплоэнергетики в переменную часть графиков нагрузки энергосистем. 1. Удельные расчетные затраты на производство электрической энергии, коп/квтч; 2. Число часов использования установленной мощности, ч/год. Блоки К-200, К-300, К-500 и ГТ-750 по данным СЭИ СО АН СССР и Госкомитета по науке и технике при СМ СССР [3]

вую экономичность. В США в ближайшей перспективе базисные блочные ТЭС СКД будут вытеснены в переменную часть графиков нагрузки с высокими удельными расходами топлива и расчетными затратами на производство электрической энергии (рис. 4, 5). Такая перспектива развития энергетики с традиционным циклом не осознана в мировой практике. Продолжается непрерывное наращивание энергетики мощными базисными ТЭС без учета перехода таких блоков в переменный режим работы, не пригодный для этих блоков ни по техническим, ни по технико-экономическим причинам. По-прежнему прогнозируются параметры 240 ата, 540/540°С на далекую перспективу, когда блочные ТЭС будут использоваться с небольшим числом часов работы в год. Тепловая экономичность таких блоков для условий переменного режима излишне за-

вышена, неприемлемо высоки капиталовложения для условий их работы в будущих ЭЭС.

Ущерб, который может быть нанесен энергетике будущего от непредвидения объективных закономерностей традиционного цикла II области, окажется более значительным, чем это имело место в прошлом от трудностей освоения блочных ТЭС в базисном режиме с традиционным циклом. Существенно возрастут удельные расходы топлива и особенно расчетные затраты на производство электрической энергии по сравнению с современным уровнем уже освоенных блочных ТЭС (США, ФРГ) и тем более с прогнозируемым эффектом технического прогресса в энергетике, на основании которого осуществляется развитие будущих ЭЭС. Такой прямо противоположный результат от технического прогресса в энергетике с традиционным циклом II области в ЭЭС будущего также окажет-

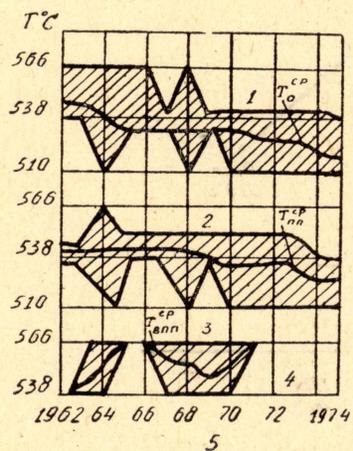


Рис. 4. Динамика снижения температуры острого пара и пара промперегрева (1962—1975 гг.) в связи с деградацией традиционного цикла II области в энергетике США. 1 — острый пар; 2 — первый промперегрев; 3 — второй промперегрев; 4 — нет второго промперегрева пара; 5 — годы ввода в эксплуатацию.  $T_0^{cp}$  — средняя температура острого пара в энергетике США, °С.  $T_{np}^{cp}$  — средняя температура первого промперегрева, °С.  $T_{впп}^{cp}$  — средняя температура второго промперегрева пара, °С

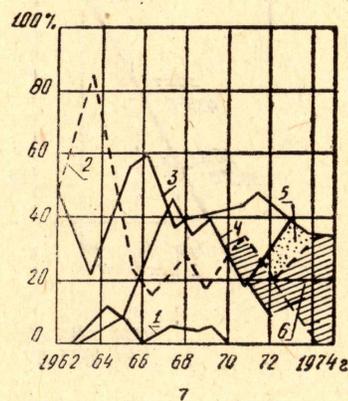


Рис. 5. Динамика изменения начального давления пара и структуры генерирующих мощностей в связи с деградацией традиционного цикла II области в энергетике США. 1—4. Базисные блоки: 1 — менее 126 ата; 2 — 126—146 ата; 3 — 152—184 ата; 4 — 235—264 ата. 5—6. Маневренные блоки: 5—152—184 ата; 6—126—148 ата. 7. Годы ввода в эксплуатацию

ся неожиданным и является результатом эмпиризма в развитии блочных ТЭС, следствием неучета объективных закономерностей развития традиционного цикла II области. В этом состоит сущность развития энергетики с традиционным циклом II области (рис. 6).

Теоретические исследования традиционного цикла, его свойств и закономерностей, установление неизбежной деградации традиционного цикла II области как закона развития мировой энергетики, проведенные и выявленные в Томском политехническом институте при постановке и решении проблемы перевода энергетики на адиабатическое фазообразо-

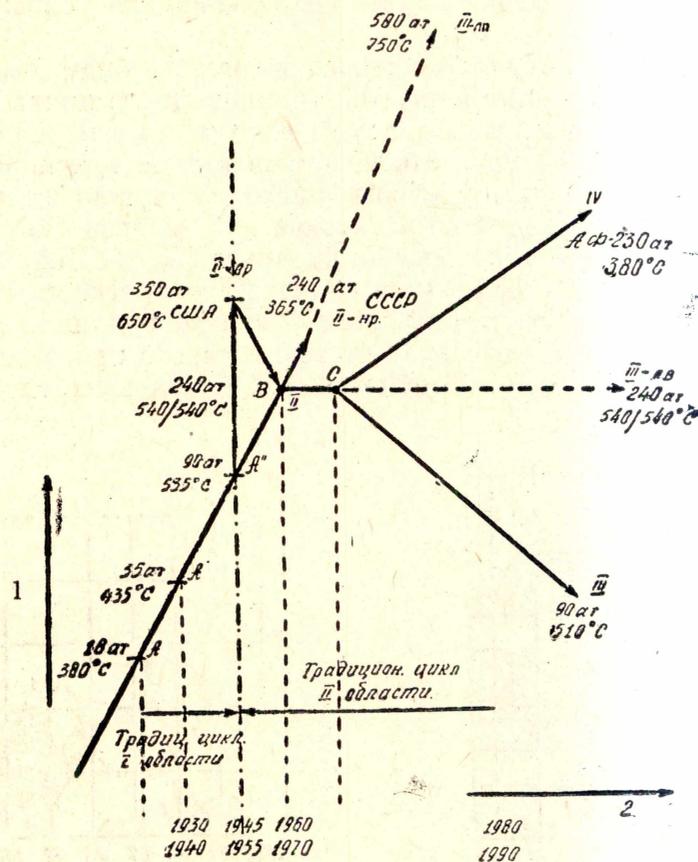


Рис. 6. Схема объективного развития мировой теплоэнергетики в связи с деградацией традиционного цикла II области. 1. Уровень технического прогресса мировой энергетики. 2. Годы развития энергетики. I—II. Восходящий период развития энергетики с традиционным циклом. A—A'—A''—этапы развития энергетики с традиционным циклом I области. A—B—начальный период развития энергетики с традиционным циклом II области. A''—II<sub>ор</sub>—переход на неосваиваемые и технико-экономически нецелесообразные мощные блоки в США. II<sub>ор</sub>—II—отказ от ошибочного решения и переход на оптимальные блоки с пониженными параметрами пара в США. II—C—предельные параметры блоков, установление мирового стандарта предельных параметров пара мощных блоков с традиционным циклом II области. C—III<sub>оп</sub>—ошибочный прогноз 60-х годов на 80-90-е годы со стабилизацией современных предельных параметров пара в 240 ата, 540/540°С в будущей энергетике. B—III<sub>лп</sub>—ложный прогноз первого периода на 70-е годы по использованию очень высоких параметров пара в энергетике. C—III—нисходящий период развития энергетики в будущих энергосистемах с традиционным циклом II области. BC—период стабилизации и начало снижения технико-экономической эффективности энергетики США с традиционным циклом II области. C—III—деградация традиционного цикла II области в ЭЭС будущего, массовый или 100%-ный переход паротурбинных ТЭС в переменную часть графиков нагрузки ЭЭС, массовое внедрение пиковых и полупиковых ТЭС с высокими удельными расходами топлива и большими расчетными затратами на производство электрической энергии: снижение —  $P_0$ ,  $t_0$ ,  $t_{пп}$ ,  $\eta_t$ ,  $\eta_{oi}$ ,  $\eta_{ку}$ ; отказ от  $t_{пп}$ , ПВД, газового ВП; повышение —  $t_{вх}$ ,  $P_k$ ,  $b_T$ ,  $Z_{пр}$ . IV—перевод энергетики на адиабатическое фазообразование. C—IV—прогресс в теплоэнергетике при пертводе ТЭС на адиабатическое фазообразование. A—A'—A''—B—повышение —  $P_0$ ,  $t_0$ ,  $t_{пп}$ ,  $\eta_t$ ,  $\eta_{oi}$ ,  $\eta_{ку}$ ; снижение —  $t_{ух}$ ,  $P_k$ ,  $b_T$ ,  $Z_{пр}$ . C—достижение самой высокой степени совершенства паротурбинных установок с традиционным циклом II области, термодинамического цикла и тепловых схем, минимальных расчетных затрат, удельных расходов топлива и удельных капиталовложений в строительство ТЭС

вание, получают за последние годы блестящее подтверждение в развитии энергетики США. Деграция традиционного цикла II области в энергетике США происходит за последнее десятилетие в соответствии с несовместимостью свойств и закономерностей традиционного цикла II области с условиями и требованиями энергосистем на современном и будущем этапах развития мировой энергетики. Эта деграция традиционно цикла II области характеризуется следующими обстоятельствами:

1. Непрерывным повышением удельных расходов топлива за последние 7—8 лет в ЭЭС США по мере технического совершенствования энергетических блоков. Через пять-десять лет надо ожидать дальнейшего значительного возрастания удельных расходов топлива в ЭЭС США (рис. 1).

2. Возрастанием расчетных затрат на производство электрической энергии на отдельных базисных ТЭС ввиду перехода их в переменную часть графиков нагрузки энергосистем и массовой эксплуатации специальных маневренных ТЭС в пиковую и полупиковую нагрузку [2—6].

3. Сокращением строительства высокоэкономичных базовых ТЭС СКД в энергетике США (рис. 5), переходом на строительство неэкономичных маневренных ТЭС пониженных параметров пара и температуры питательной воды с упрощенными котлами и турбинами и другими мероприятиями, направленными на удешевление ТЭС и на повышение их маневренности.

Ни одна отрасль мирового производства в период технической революции, интенсивного развития производительных сил, науки и техники не сопровождается в перспективе ухудшением технико-экономических показателей, повышением расчетных затрат, как это наблюдается в развитии теплоэнергетики с традиционным циклом II области. Это противоречит общему прогрессу и требует устранения как ненормального явления в развитии производительных сил общества.

Вопросам развития энергетики, прогнозирования и ее тенденциям уделяется в последние годы все возрастающее внимание во всех развитых странах мира, и особенно в США [14—18]. При этом изыскивают и оптимизируют производство электрической энергии в будущих энергосистемах на базе традиционных энергетических установок в условиях развития мощных базисных АЭС, перехода блочных ТЭС СВД и СКД в переменную часть графиков нагрузки энергосистем и массового внедрения ГТУ для пиковой нагрузки без глобальных выводов о полной деграции традиционного паротурбинного цикла II области в недалекой перспективе (рис. 6).

В энергетике США в настоящее время наблюдаются интенсивная перестройка и изменения в структуре генерирующих мощностей и в технических характеристиках паротурбинных ТЭС в соответствии с условиями и требованиями развивающихся энергосистем на современном и перспективном этапах [1—3, 17, 18].

В отечественной энергетике применительно к ЕЭС решение задачи оптимизации генерирующих мощностей и покрытия переменной части графика нагрузки энергосистем является главной проблемой исключительной важности [4—6].

Единственным пока известным способом преодоления деграции традиционного цикла II области, регресса теплоэнергетики в перспективе является перевод ее на адиабатическое фазообразование [7—13].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Бесчинский, К. Д. Лаврененко. Уровень производства и перспективы развития мировой энергетики. VIII Мировой конгресс энергетиков. «Теплоэнергетика», 1972, № 1.

2. В. Я. Вольфович. Некоторые технико-экономические вопросы развития энергоснабжения в США. «Энергохозяйство за рубежом», 1971, № 2.
  3. М. А. Стырикович, Л. С. Попырин. Зарубежный опыт применения паротурбинных электростанций для покрытия пиковой и полупиковой части графиков нагрузки электроэнергетических систем. «Теплоэнергетика», 1971, № 3.
  4. Л. А. Мелентьев, К. Д. Лаврененко. О выборе эффективного оборудования в переменной части графиков нагрузки электроэнергетических систем. «Теплоэнергетика», 1971, № 3.
  5. С. С. Рокотян, И. М. Волькенау, Е. А. Волков. Требования энергосистем к маневренности оборудования. «Теплоэнергетика», 1971, № 3.
  6. Н. С. Черницкий, Е. Р. Плоткин, А. Ш. Лайзерович. Технико-экономические показатели электростанций для переменного режима работы. «Теплоэнергетика», 1971, № 3.
  7. С. В. Положий. Основы научно-технического прогнозирования в теплоэнергетике. Прогнозирование паротурбинных установок с адиабатическим фазообразованием. Информ. бюллетень ТПИ, № 3, 1969. Гос. регистр. № 70002202, М., 1970.
  8. С. В. Положий. Паросиловые установки с адиабатическим парообразованием. Изв. вузов СССР, «Энергетика», 1965, № 1.
  9. С. В. Положий. Изв. ТПИ, том 150, Томск, 1968.
  10. С. В. Положий. Обзор исследований ТПИ по паротурбинным установкам с адиабатическим фазообразованием. Вопросы перевода ТЭС на адиабатическое фазообразование. Информ. бюллетень ТПИ по ПТУ АФ, 1970. Гос. регистр. № 70013070, М., 1970.
  11. С. В. Положий. Трудности развития паротурбинных установок — результат использования современного паросилового цикла, его противоречий и недостатков. Сб. статей I научн. техн. конференции по теплообмену и сжиганию. Красноярск, 1970.
  12. С. В. Положий. Перевод ТЭС на адиабатическое фазообразование — средство повышения эффективности теплоэнергетики. Сб. «Ускорение техн. прогресса — путь к повышению эффективности производства». Томск, 1970.
  13. С. В. Положий. Еще раз к вопросу о применении адиабатического фазообразования в паротурбинных установках. Изв. ТПИ, том 205. Томск, 1972.
  14. Power Engineering, 1970, № 3.
  15. Electrical World, 1971, т. 175, № 1, т. 176, № 9; 1972, т. 177, № 6.
  16. Power, 1970, т. 114, № 10; 1971, т. 115, № 11.
  17. В. Я. Вольфович. Некоторые технико-экономические вопросы развития энергетики в США. «Энергохозяйство за рубежом», 1971, № 2.
  18. И. Е. Семеновкер, И. Н. Розенгауз. Ввод новых блоков на ТЭС США в 1971—75 гг. «Энергохозяйство за рубежом», 1972, № 5.
-