

УДК 621.311.22-112

П.А. Кругликов, д-р техн. наук,

Л.Н. Моисеева, канд. техн. наук

ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (ОАО «НПО ЦКТИ»)

ул. Атаманская, 3/6, г. Санкт-Петербург, Россия, 191167

E-mail: general@ckti.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ЭНЕРГООБЛОКОВ

Рассматриваются пути повышения начальных значений параметров пара с обоснованием экономической эффективности применения суперкритических начальных параметров для мощных угольных энергетических блоков.

Повышение начальных параметров пара являлось одним из важнейших направлений научно-технического прогресса и повышения экономической эффективности мировой и российской электроэнергетики.

Первые блочные энергетические установки мощностью 150 и 200 МВт с начальными параметрами пара 13 МПа, 565/565°C были созданы в России в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого столетия. В дальнейшем были созданы и серийно вводились в эксплуатацию энергоблоки 300, 500, 800 и 1200 МВт на сверхкритическое давление пара 24 МПа, температура перегрева в этих блоках 545/545°C.

Первый в мире котел на суперкритические параметры пара 30 МПа, 600 °C, затем 650 °C, введен в РСФСР на ТЭЦ ВТИ в 1949 г. В 60-х годах прошлого столетия на Каширской ГРЭС введен один из первых в мире опытно-промышленных блоков СКР-100 на параметры пара 30 МПа, 650 °C. Однако дальнейшего распространения суперкритические параметры пара не имели.

С начала 90-х годов двадцатого века в мировой энергетике наметилась тенденция применения для мощных энергоблоков суперкритических параметров. Повышение параметров острого и промежуточно перегретого пара признано в настоящее время стратегическим направлением обеспечения эффективности паротурбинных энергоустановок.

Наибольшие успехи в развитии угольных ТЭС за счет повышения параметров пара достигнуты в Германии, Японии, Дании. Созданию энергоблоков на суперкритические параметры предшествовало выполнение широкой программы разработки и исследований целого ряда опытно-промышленных установок, которые продолжались почти 20 лет.

Реализация угольных ТЭС с параметрами пара до 30 МПа, 600/600°C, имеющих КПД нетто примерно 47 %, стала возможной благодаря применению относительно недорогих жаростойких перлитных сталей. В рамках программ Thermie и Cost разрабатываются стали, способные выдержать температуры первичного пара 700 °C и вторичного пара 720 °C. С созданием новых суперсплавов на никелевой основе вполне реальна перспектива повышения параметров пара до 38,3 МПа, 720...800 °C с увеличением КПД нетто цикла до 55 %.

В свете новых тенденций развития российской энергетики в 90-е годы прошлого столетия были разработаны отечественные высокохромистые стали без вольфрама для элементов турбинного и котельного оборудования с рабочей температурой до 580-590°C. В последние годы выполнены работы по созданию новых вольфрамодержащих хромистых сталей с повышенной жаропрочностью при температурах до 600...620°C для котельного, паропроводного и турбинного оборудования.

Уровень механических характеристик российских сталей по результатам проведенных исследований не уступает соответствующим зарубежным аналогам.

Для обеспечения безопасной эксплуатации высокотемпературных элементов (коллектора, трубы пароперегревателя) при более высоких температурах необходимо использование сложнелегированных аустенитных сталей.

Целью настоящих исследований является пути повышения начальных суперкритических параметров пара для энергоблоков, использующих угольное топливо, выбора их единичной мощности в новых условиях развития экономики и электроэнергетики России.

В таблице 1 в соответствии с предварительными проработками развития российской энергетики на перспективный период приведена программа ввода мощных блоков для работы на угольном топливе. В период до 2020 г. в зависимости от вариантов развития экономики страны предполагается ввести 25...60 млн. кВт энергоблоков класса мощностей 660...900 МВт.

Далее приведены результаты выполненного комплексного технико-экономического проекта по указанному направлению применительно к условиям энергозоны «Сибирь России».

Таблица 1 – Программа развития угольных энергоблоков мощностью 660 МВт и выше

Тип блока	Установленная мощность, шт./МВт			
	базовый вариант		максимальный вариант	
	2015 г.	2020 г.	2015 г.	2020 г.
К–660–240	4/2640	9/5940	15/9900	31/20460
К–660–300	9/5820	14/9120	32/21000	45/29580
К–800 ССК	3/2400	3/2400	3/2400	3/2400
К–900 ССК	8/7200	8/7200	8/7200	8/7200
Всего	24/18060	34/24660	58/40500	87/59640

В основу оценки эффективности проекта положены следующие основные принципы [1]:

- рассмотрение проекта на протяжении его жизненного цикла (расчетного периода) – от начала инвестирования до окончания срока службы;
- моделирование (учет) денежных потоков, включающих все связанные с осуществлением проекта денежные поступления и расходы за расчетный период;
- учет фактора времени, отражающего неравноценность разновременных затрат и результатов; при этом дисконтирование денежных потоков, т.е. приведение их разновременных (относящихся к разным шагам расчетного периода) значений к их ценности на определенный момент времени, осуществляется при помощи нормы дисконта; норма дисконта является экзогенно (обусловленным внешними причинами) задаваемым основным экономическим нормативом, используемым при оценке эффективности инвестиционных проектов;
- учет изменения цен на различные виды продукции и ресурсов в период реализации проекта.

Определялись следующие показатели эффективности: чистый дисконтированный доход (ЧДД); внутренняя норма доходности проекта (ВНД); срок окупаемости (дисконтированный или простой); индекс доходности (ИД); отношение выгоды/затраты.

Технико-экономические расчеты по обоснованию рациональной единичной мощности энергоблоков на суперкритические параметры пара проведены в условиях применения в турбоагрегатах двух цилиндров низкого давления (ЦНД) с лопаткой последней ступени длиной 1000 мм. Необходимость обеспечения оптимальных значений торцевых нагрузок выходного сечения ЦНД в диапазоне 30-37 т/м².ч предопределили следующие ступени единичных мощностей энергоблоков – 500, 660, 700 и 800 МВт.

В таблице 2 показаны общие экономические параметры, принятые для расчетов. Жизненный цикл всех проектов, включающий срок строительства, пуско-наладочные работы и период эксплуатации, принят равным 30 годам. Остальные показатели – в соответствии с существующими нормативами.

Таблица 2 – Общие экономические параметры

Наименование	Показатели
Жизненный цикл, лет	30
Ставка дисконтирования, %	10
Ставка налогов, %	
налог на добавленную стоимость (НДС)	18
налог на прибыль	24
налог на имущество	2,2
местные налоги	0,5
Единый социальный налог, %	26,2
Размер дивидендов, %	6

Оценка эффективности рассматриваемых типоразмеров энергоблоков проведена для двух вариантов: в текущих (базисных) ценах, сложившихся на момент проведения расчетов; в прогнозных ценах в соответствии с прогнозной оценкой РАО «ЕЭС России».

Принятые в соответствии с прогнозными сценарными условиями развития российской энергетики значения тарифов на отпускаемую электроэнергию и изменение цен на топливо в течение рассматриваемого периода приведены на рисунках 1, 2.

Текущий тариф в энергозоне Сибири в середине 2007 г. составлял 55,24 коп./кВт.ч. В течение периода эксплуатации тариф возрастал от 1,03 руб./кВт.ч до 3,34 руб./кВт.ч. Цена топлива: текущая – 580 руб./т у.т.; прогнозная – 980 руб./т у.т. в начальный период эксплуатации, 2375 руб./т у.т. в последний год расчетного периода.

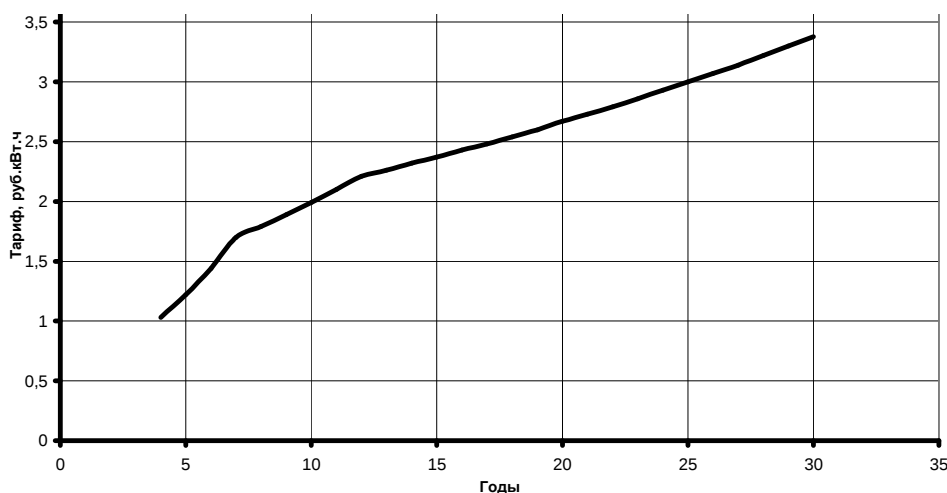


Рисунок 1 – Прогноз изменения тарифа на электроэнергию. Сибирь. Текущий тариф 55,24 коп./ (кВт·ч)

Для каждого варианта единичной мощности энергоблока определены программы производства и реализации электроэнергии, инвестиционные затраты в строительство, производственные издержки, отчет о движении денежных средств, отчет о прибылях и убытках.

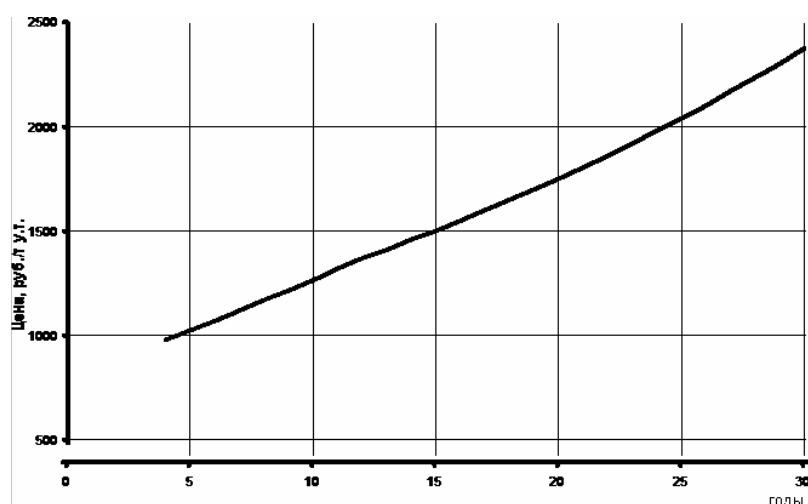


Рисунок 2 – Прогноз цен на топливо. Сибирь. Текущая цена 580 руб. /т у.т.

Важнейшим показателем, определяющим эффективность варианта, являются инвестиционные затраты. Вместе с тем до настоящего времени отсутствуют отечественные проектные проработки рассматриваемых вариантов энергоблоков и укрупненные показатели их стоимости. В связи с этим оценка капиталовложений, связанных с сооружением энергоблоков, произведена экспертно на базе анализа имеющихся зарубежных объектов-аналогов и на работах по выбору единичных мощностей и параметров пара энергоблоков, выполненных в НПО ЦКТИ в период 60-х – 90-х годов прошлого столетия.

На рисунке 3 изображена принятая зависимость изменения удельных капвложений от единичной мощности и начальных параметров пара. На основании данных зарубежных исследований применение сверхкритических параметров увеличивает капитальные затраты на 15% (таблица 3).

Таблица 3 — Капитальные вложения с учетом НДС

Мощность блока, МВт	500	500	660	700	800
Начальные параметры пара, МПа/°С	24/545	28/600			
Удельные капиталовложения, руб./кВт	34680	39880	39310	38970	38630

В таблице 4 в качестве примера для энергоблока мощностью 500 МВт с начальными параметрами пара 24 МПа, 545/545 °С показана структура денежных средств, включающих капитальные вложения, осуществляемые в период строительства, производственные издержки и налоговые платежи в период

эксплуатации. При этом производственные издержки и налоговые платежи приведены для 6-го и 30-го интервалов расчетного периода.

Выполненные расчеты оценки эффективности вариантов ввода энергоблоков различной мощности показали, что положительный баланс денежных средств (как разность между получаемой выручкой и производственными издержками) на каждом этапе периода эксплуатации достигается лишь в варианте использования прогнозных цен на электроэнергию и топливо. В варианте текущих цен имеет место отрицательный баланс денежных средств на всем протяжении периода эксплуатации рассмотренных типоразмеров энергоблоков.

В связи с этим совокупность показателей эффективности определена для варианта использования прогнозных цен.

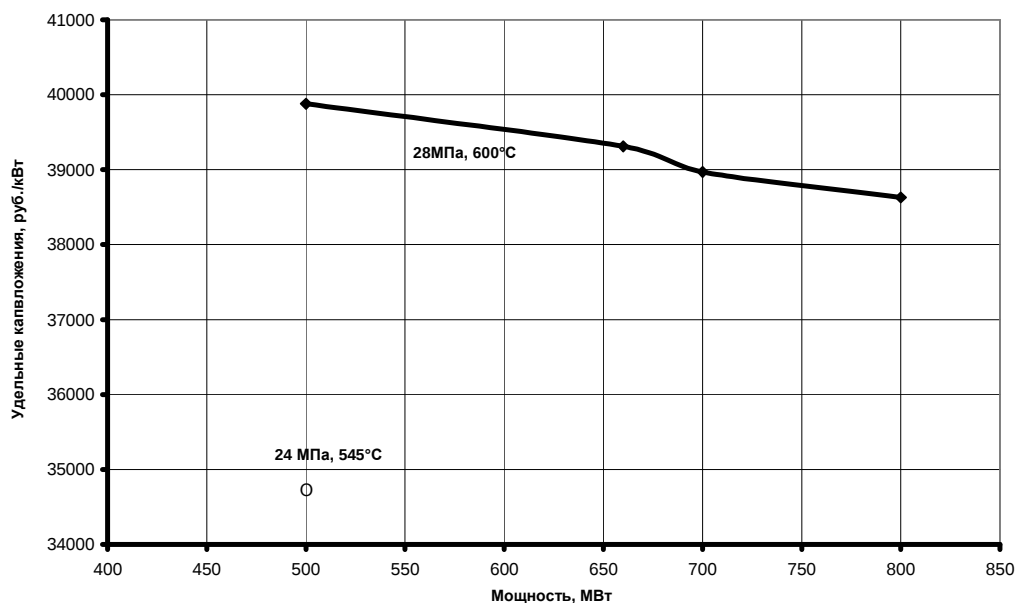
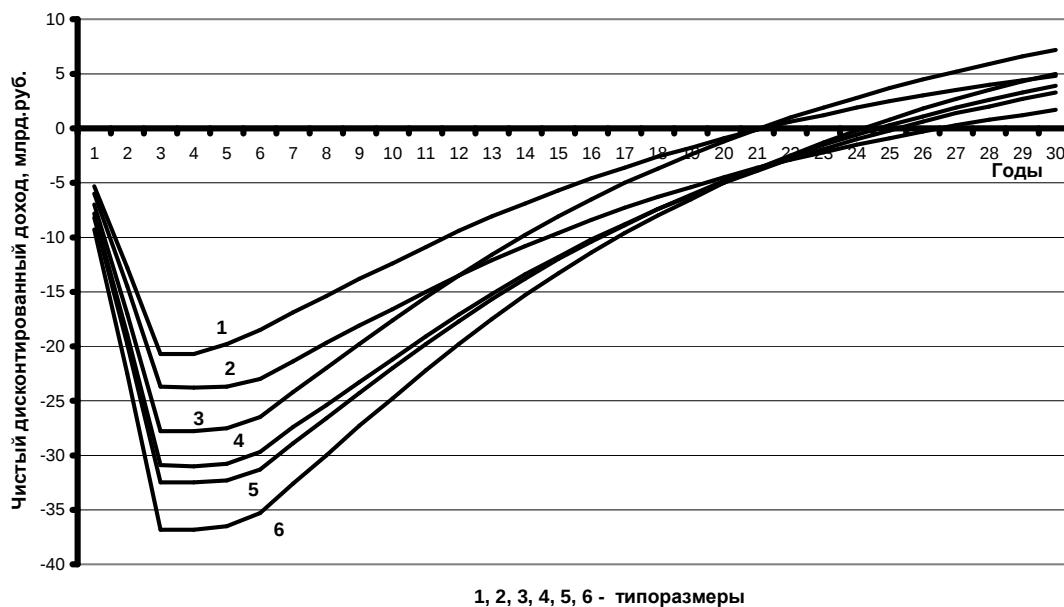


Рисунок 3 – Удельные капитальные вложения

Таблица 4 – Структура денежных средств. Энергоблок 500 МВт на начальные параметры пара 24 МПа, 545°C

Наименование	Денежные средства					
	Базовые значения цен на электроэнергию и топливо		Прогнозные значения цен на электроэнергию и топливо			
			6-й год расчетного периода		30-й год расчетного периода	
	млн. руб.	%	млн. руб.	%	млн. руб.	%
Расходы на капитальное строительство	14695		14695		14695	
Производственные издержки, всего	1917	100,0	2477	100,0	3967	100,0
в том числе:						
- стоимость топлива	662	34,5	1222	49,3	2712	68,4
- амортизация	687	35,8	687	27,7	687	17,3
- заработная плата	123	6,4	123	5,0	123	3,1
- единый соц. налог	32	1,7	32	1,3	32	0,8
- текущий ремонт, общецеховые, общестанционные, прочие затраты.	413	21,6	413	16,7	413	10,4
Выручка от реализации электроэнергии	1779		4628		10870	
Прибыль от продажи	-138		2151		6903	
Налоговые платежи, дивиденды.	-		516		1972	
Чистая прибыль	-		1635		4932	

На рисунке 4 показано изменение чистого дисконтированного дохода в течение жизненного цикла (с начала строительства) рассмотренных типоразмеров блоков при увеличении капитальных затрат для блоков СКП на 15 % по сравнению с СКД. Совокупность показателей эффективности приведена в таблице 5.



1 - 500 МВт, 24 МПа/545°C; 2 - 500 МВт, 28 МПа/600°C; 3 - 660 МВт, 28 МПа/600°C при удорожании на 5%;
4 - 660 МВт, 28 МПа/600°C; 5 - 700 МВт, 28 МПа/600°C; 6 - 800 МВт, 28 МПа/600°C

Рисунок 4 – Чистый дисконтированный доход, млрд. руб.

Из приведенных данных следует, что все рассмотренные проекты эффективны, характеризуются финансовой реализуемостью и могут считаться привлекательными: ЧДД – положителен, ВНД – больше принятой нормы дисконта, ИД – больше единицы, отношение выгоды/затраты – больше нуля.

Вместе с тем сроки окупаемости рассмотренных вариантов весьма велики и составляют 21...22 года в диапазоне мощностей 660...800 МВт. Показатели эффективности блоков 660...800 МВт практически одинаковы.

Таблица 5 – Показатели эффективности энергоблоков на суперкритические параметры пара

Показатели	Мощность блока, МВт					
	500	660	700	800	660	
	Начальные параметры пара, МПа/°C					
	24/545	28/600. Удорожание 15%				28/600. Удорожание 5%
Чистый дисконтированный доход, млн.руб.	4859,1	1704,8	3272,8	3935,8	4990,4	7171,0
руб./кВт	9718	3410	4959	5623	6238	10865
Срок окупаемости, лет, от начала эксплуатации,						
дисконтированный	18,4	23,6	22,2	21,8	21,3	18,2
То же, простой	8,7	9,9	9,6	9,6	9,4	8,1
Внутренняя норма доходности, %	11,9	10,6	10,8	11,0	11,1	
Индекс доходности	1,234	1,072	1,104	1,121	1,136	
Отношение выгоды/затраты	0,929	0,974	0,962	0,957	0,953	

Основным исходным показателем, определяющим эффективность применения суперкритических параметров по сравнению со сверхкритическими параметрами, являются капитальные затраты, несмотря на принятые благоприятные условия инвестирования. Уменьшение капитальной составляющей как за счет снижения цен на оборудование и затрат на строительно-монтажные работы, так и за счет сокращения сроков строительства, будет способствовать повышению эффективности создания новых типоразмеров энергоблоков. Например, как показали расчеты, при увеличении капитальных вложений в энергоблоки на 28 МПа не более, чем на 5 %, срок окупаемости энергоблока 660 МВт снижается до 18,2 лет, ЧДД возрастает до 10865 руб./кВт, что делает энергоблок 660 МВт на суперкритические параметры пара эффективнее современного энергоблока мощностью 500 МВт на 24 МПа, 545°C.

Целью дальнейших исследований является изучение влияния повышения суперкритических параметров пара с ростом мощности энергоблоков на эффективность капитальных вложений и сроки их окупаемости.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Официальное издание. — М.: Экономика, 2000. — 421 с.

Поступила в редакцию 5.10.2008 г.