

Создание научно-технического задела для разработки угольных энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.574.21.0098 от 22 августа 2014 г. с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 4 в период с 01 июля 2016 г. по 31 декабря 2016 г. были выполнены следующие работы:

1. Анализ результатов экспериментальных исследований модели топочной камеры котельного агрегата, и доработка конструктивного профиля котельного агрегата с УСКП с учетом полученных экспериментальных данных.
2. Численное экспериментальное исследование аэродинамики новой двухвихревой топки котельного агрегата с УСКП горизонтальной компоновки.
3. Изготовлена модель двухвихревой топочной камеры котельного агрегата с УСКП горизонтальной компоновки.
4. Экспериментальное исследование аэродинамики модели двухвихревой топочной камеры котельного агрегата с УСКП горизонтальной компоновки.
5. Анализ результатов экспериментального исследования аэродинамики модели двухвихревой топочной камеры котельного агрегата с УСКП горизонтальной компоновки.
6. Анализ результатов экспериментальных исследований модели турбинной решетки новой паровой турбины, и доработка конструктивного профиля высокотемпературной паровой турбины для энергоблока с УСКП с учетом полученных экспериментальных данных.
7. Численное экспериментальное исследование модели турбинной решетки с двусторонним двойным оребрением торцевых поверхностей лопаточных каналов высокотемпературной турбины для энергоблоков с УСКП.
8. Анализ результатов численного экспериментального исследования модели турбинной решетки с двусторонним двойным оребрением торцевых поверхностей лопаточных каналов высокотемпературной турбины для энергоблоков с УСКП.
9. Сравнительная оценка конкурентоспособности предлагаемых новых жаропрочных материалов в сравнении с существующими отечественными и зарубежными аналогами в части уровня свойств, стоимости и технологичности.
10. Разработка компоновочных решений для энергоблока с ультрасверхкритическими параметрами пара.

11. Разработка проекта технического задания на проведение ОКР по теме «Разработка и создание пылеугольного котельного агрегата с ультрасверхкритическими параметрами пара».
12. Разработка проекта технического задания на проведение ОКР по теме «Разработка и создание высокотемпературной паровой турбины с ультрасверхкритическими параметрами пара».
13. Разработка дорожной карты выполнения последующих научно-технических мероприятий по созданию энергоблока УСКП.
14. Разработка дорожной карты проведения дальнейших исследований и разработок в области разработки и создания материалов для энергоблоков с УСКП.
15. Разработка функционально-стоимостной модели и проведение модельных расчетов стоимости создания энергоблока с УСКП. Сравнительный анализ альтернативных технологических решений с позиции стоимостных характеристик, обоснование и выбор наилучших.
16. Разработка и оценка экономической эффективности инвестиционного проекта по созданию энергоблока с УСКП. Анализ чувствительности инвестиционного проекта к изменению параметров внешнего окружения.
17. Разработка рекомендаций по организации водного режима (по оптимальному водному режиму, объему химического контроля и управлению водным режимом) энергоблока с УСКП.
18. Оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИ.
19. Разработка технических требований и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей промышленного партнера – организации реального сектора экономики.
20. Пуско-наладочные работы экспериментальной установки фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы блочной обессоливающей установки котлов УСКП, поддерживающих заданное качество конденсата.
21. Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований на экспериментальной установке фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы блочной обессоливающей установки котлов УСКП, поддерживающих заданное качество конденсата.
22. Проведение экспериментальных исследований на экспериментальной установке фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы блочной обессоливающей установки котлов УСКП, поддерживающих заданное качество конденсата.

В ходе выполненных серий численных и физических экспериментов на IV этапе были получены научные результаты:

1. В части совершенствования модели оребренной турбинной решетки:

1.1 Добавление дополнительного укороченного ребра прямоугольного сечения приводит к повышению эффективности применения реберной системы на 4,8%.

1.2 Изменение формы ребра с прямоугольного на треугольное с сохранением высоты и толщины приводит к снижению коэффициента концевых потерь по сравнению с базовым вариантом оребренной решетки (см. отчет о ПНИ за IV этап) на 81%.

1.3 Вариант турбинной решетки с одним треугольным ребром полной длины и одним укороченным треугольным ребром обеспечивает снижение коэффициента концевых потерь в 1,89 раза по сравнению с базовым вариантом. При этом коэффициент концевых потерь принимает значение, равное 0,06896.

Процесс исследования новой конструкции оребрения турбинной решетки представлен на рисунке 1.

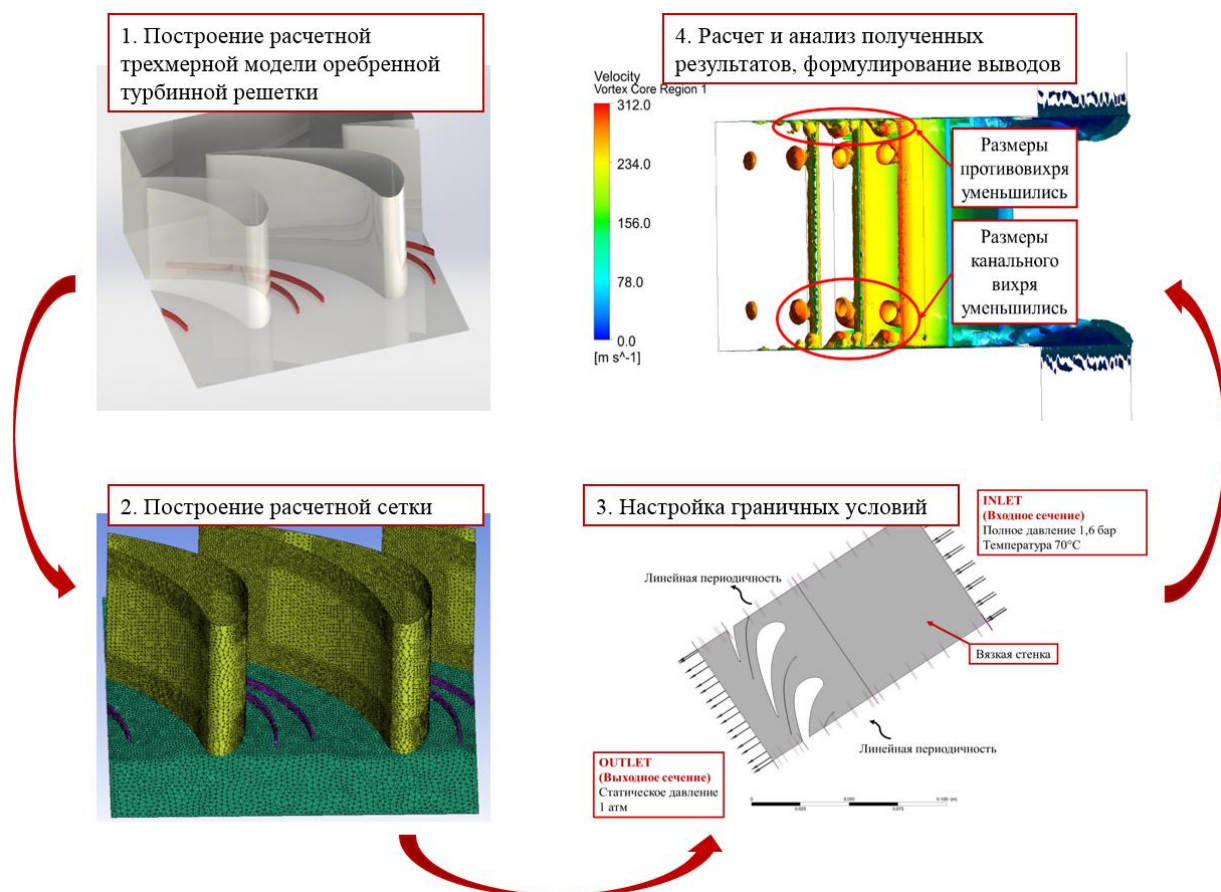


Рисунок 1 – Процесс исследования новой конструкции оребрения турбинной решетки

2. В части разработки и исследования модели новой двухвихревой горизонтальной топочной камеры:

2.1 На основе результатов, полученных в ходе выполнения серии численных экспериментов на модели новой двухвихревой топочной камеры, был сделан вывод о работоспособности предложенной конструкции и о сравнительно более высокой эффективности предложенного решения относительно конструктивного профиля котельного агрегата, разработанного на IV этапе в части эксплуатационных свойств. Процесс выполнения и основные результаты численного исследования представлены на рисунке 2.

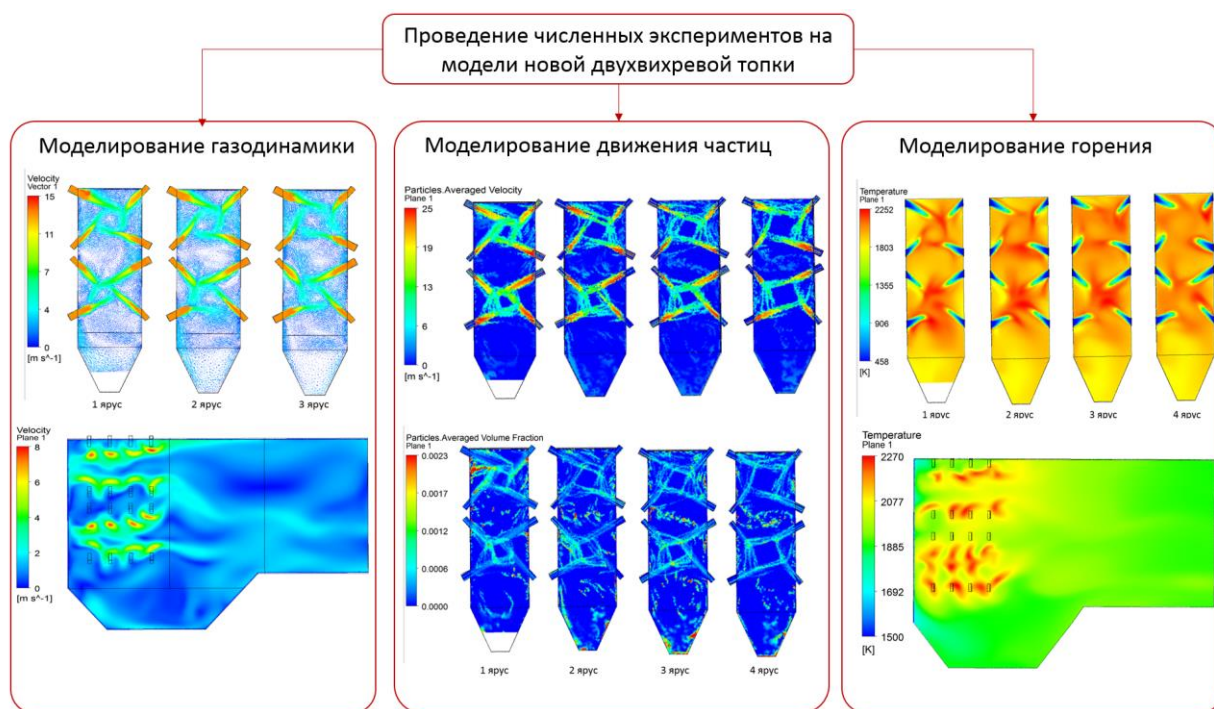


Рисунок 2 – Процесс исследования новой конструкции топки двухвихревой топки прямоугольного сечения

2.2 Данные, полученные по результатам экспериментальных исследований новой модели двухвихревой топки, подтвердили соответствие содержания результатов численного моделирования реальной картине протекающих газодинамических процессов при проведении воздушных продувок. Доказана возможность формирования двух независимых горизонтальных вихрей в топочной камере, сохраняющих свою форму и энергию в части топки, где предполагается организация зоны активного горения топлива. Результаты сопоставления результатов физических испытаний и численного моделирования приведены на рисунке 3.

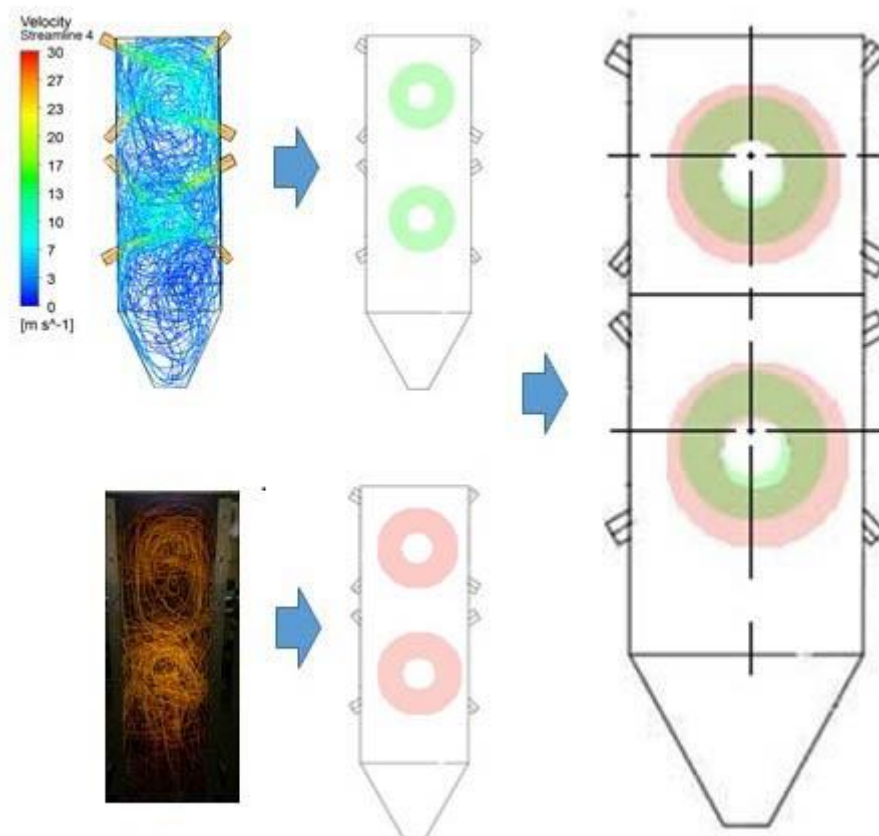


Рисунок 3 – Сравнение результатов численного моделирования и экспериментальных исследований модели двухвихревой топочной камеры котла на УСКП пара

3. Прочие научные и технические результаты:

3.1 Разработана компоновка энергоблока на УСКП пара, обеспечивающая сокращение длины главных паропроводов в 2,8 раза, что обеспечивает сокращение капитальных затрат на строительство энергоблока на 1,5 млрд руб. 3D модель компоновки энергоблока на УСКП пара, показывающая взаимное расположение паротурбинной установки и котельного агрегата, показана на рисунке 4.

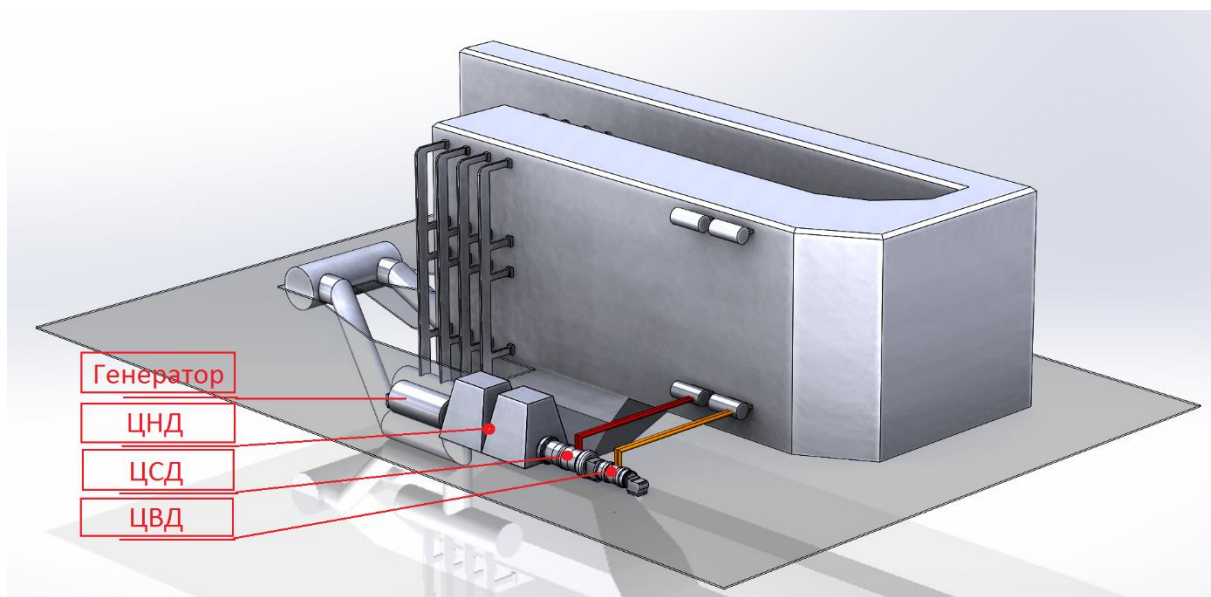


Рисунок 4 – 3D модель компоновки энергоблока на УСКП пара

3.2 Разработана функционально-стоимостная модель высокотемпературного энергоблока. Использование модели позволило получить оценки стоимости создания энергоблоков с различным уровнем начальных параметров пара. Исследование полученных результатов позволил сделать следующие выводы: увеличение давления свежего пара с 26 до 35 МПа увеличивает стоимость котельной установки на 9,20-30,45 % (правой границе диапазона соответствует температура пара 720 °С, левой – 580 °С), паровой турбины – на 1,6-4,9 %, а энергоблока – на 6,25-20,69 %; повышение температуры свежего пара с 580 до 720 °С приводит к росту стоимости котельной установки на 81,2-114,7 %, паровой турбины – на 26-30 %, энергоблока – на 38,17-56,95 %.

Совокупность кривых, характеризующих изменение величины капитальных затрат на строительство высокотемпературных энергоблоков с различным уровнем начальных параметров, приведена на рисунке 5.

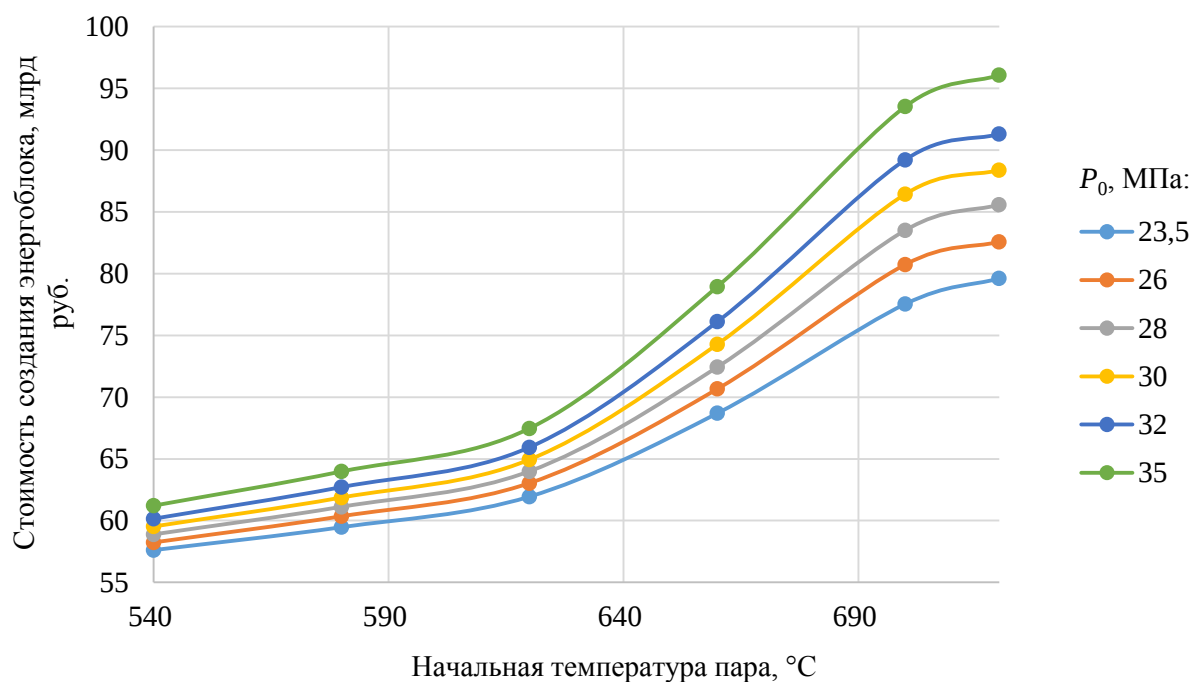


Рисунок 5 – Изменение капитальных затрат на строительство пылеугольного энергоблока от начальных параметров пара (расход свежего пара 692,5 кг/с)

3.3 В ходе разработки дорожной карты были сформулированы и предложены направления для проведения дальнейших прикладных научных исследований: разработка системы охлаждения горячих частей ЦВД и ЦСД паровой турбины на УСКП пара, разработка технических решений по организации выноса высокотемпературного перегрева пара в малогабаритных камерах сгорания с использованием водородных технологий, разработка и оптимизация тепловой и пусковой схем энергоблока с УСКП пара с учетом организации водородного перегрева и охлаждения паровой турбины, разработка системы парового прогрева корпуса ЦВД и ЦСД при пуске из холодного состояния, разработка новых высокотемпературных сталей и сплавов, разработка системы рециркуляции дымовых газов в горизонтальной двухвихревой топке котельного агрегата на УСКП пара.

Оценка элементов новизны результатов работ по V этапу

Полученные в ходе реализации проекта результаты обладают высокой степенью научной новизны, а разработанные новые технические решения по ряду показателей эффективности не уступают и превосходят существующие аналоги.

В ходе проведенных исследований разработана оригинальная конструкция двухвихревой горизонтальной топочной камеры,

обеспечивающей надежную и маневренную работу энергоблока на УСКП пара и сокращение длины паропроводов в 3 раза по сравнению с классической П-образной компоновкой. Отличием от известной конструкции котельного агрегата, разработанной фирмой Siemens является схема включения и тип используемых горелочных устройств. Организация вихревого движения горящих газов обеспечит по сравнению с приведенным аналогом более высокую степень выгорания топлива и более высокие эксплуатационные показатели за счет сниженной интенсивности шлакообразования на экранных поверхностях нагрева.

Кроме того, конструкция горизонтальной топочной камеры обеспечивает возможность сокращения длины главных паропроводов в три раза по сравнению с классической компоновкой котла и снизить капитальные затраты на строительство энергоблока на 1,5 млрд руб.

В рамках настоящего этапа было выполнено дальнейшее совершенствование технического решения, заключающегося в оребрении бандажей турбинных решеток цилиндра высокого давления, которое является новаторским решением, предложенным коллективом исполнителей на IV этапе проекта. Применение двойного двухстороннего оребрения обводов лопаточных каналов ребрами треугольного сечения обеспечивает сокращение концевых потерь энергии в 1,89 раза по сравнению с турбинной решеткой с двухсторонним оребрением одним прямоугольным ребром.

Высокой степенью новизны обладает комплекс математических моделей оценки стоимости создания высокотемпературной паровой турбины, котла и энергоблока в целом, базирующийся на затратном подходе и учитывающий изменение структуры металлозатрат. Встречающиеся в зарубежной и отечественной научной литературе данные по стоимости энергоблоков на УСКП и ССКП пара носят несопоставимый и разрозненный характер и не могут быть использованы для построения зависимостей изменения стоимости высокотемпературных энергоблоков от начальных параметров пара. Полученные с использованием разработанных моделей оценки стоимости создания могут быть использованы для получения информации, необходимой для принятия решения о целесообразности практической реализации высокотемпературной технологии производства электроэнергии.

В ходе выполнения работ на V этапе число патентных заявок, поданных по результатам исследований и разработок, составило – 1 шт. (заявка на изобретение «Лопаточная решетка турбомашины»).

Копия уведомления патентных ведомств о поступлении заявок: уведомление ФИПС № 2016137623 от 21.09.2016 г.

Оценка соответствия полученных результатов работы техническим требованиям к выполнению проекта и оценка перспектив продолжения проекта

Все обозначенные в плане-графике работы выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания и позволяют сделать вывод об успешном выполнении работ по созданию научно-технического задела для разработки угольных энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара.