

Разработка и исследование нового цилиндра низкого давления (ЦНД) повышенной пропускной способности для мощных конденсационных паровых турбин

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0072 от 05 июня 2014г. 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 № 3 в период с 01 июля 2015 г. по 31 декабря 2015 г. выполнялись следующие работы:

Проведена конструктивная проработка системы организации регенеративных отборов из верхнего яруса двухъярусного цилиндра низкого давления, а также подготовка к экспериментальным исследованиям, в том числе:

1. Разработка системы организации регенеративных отборов из верхнего яруса двухъярусного ЦНД и экспериментального стенда для ее исследования:

1.1 Разработка модели системы организации регенеративных отборов из верхнего яруса двухъярусного ЦНД;

1.2 Разработка проекта модернизации экспериментального стенда для экспериментальной проверки эффективности предложенных конструктивных решений по организации регенеративного обора из верхнего яруса;

1.3 Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований модели системы организации регенеративных отборов;

2 Разработка выхлопного патрубка двухъярусного цилиндра низкого давления и экспериментальной установки для его исследования;

2.1 Разработка конструкции выхлопного патрубка;

2.2 Разработка модели выхлопного патрубка;

2.3 Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований модели выхлопного патрубка;

2.4 Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный стенд для исследования модели выхлопного патрубка;

3.1 Разработка осесимметричной модели соплового аппарата последней ступени двухъярусного ЦНД;

3.2 Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный стенд для исследования осесимметричной модели соплового аппарата последней ступени двухъярусного ЦНД;

3.3 Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований осесимметричной модели соплового аппарата последней ступени двухъярусного ЦНД.

При этом были получены следующие результаты:

1) Разработана новая система организации регенеративных отборов

Влияние регенеративного отбора на экономичность последующей ступени зависит от доли отбираемой среды. Особенности конструктивного исполнения двухъярусного ЦНД вынуждают производить регенеративные отборы только из верхнего яруса, влияя тем самым существенным образом на аэродинамику проточной части. Первым шагом при разработке новой системы регенеративных отборов было исследование традиционной системы при применении ее для верхнего яруса. В результате трехмерного CFD моделирования потока в отборном отсеке двух ступеней (рис.1), было получено, что внесение регенеративного отбора существенным образом искажает течение перед второй ступенью (рис 2-3).

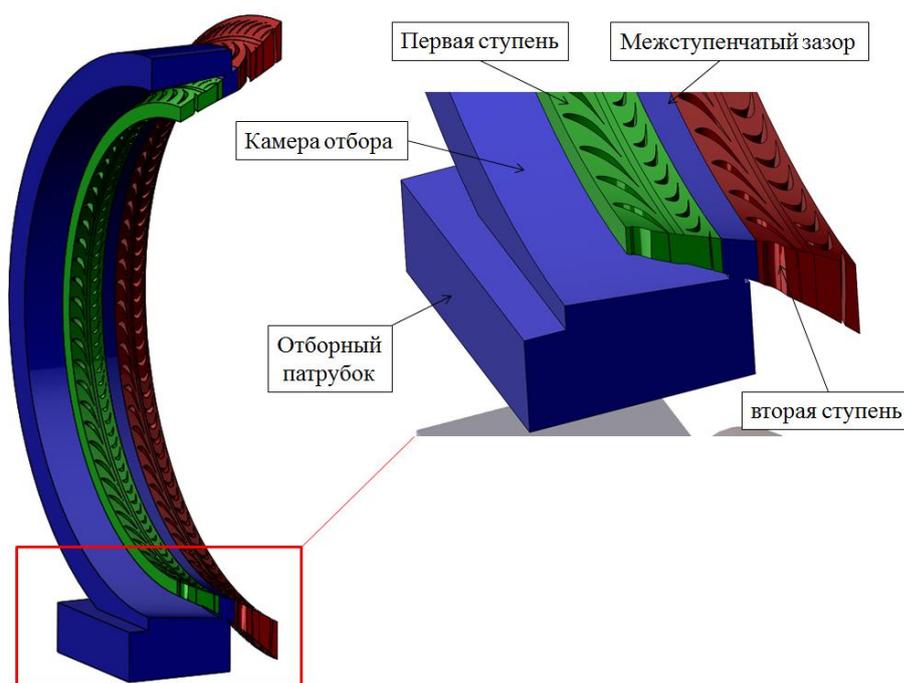


Рисунок 1 – Расчетная модель отборного тракта верхнего яруса двухъярусного ЦНД в разрезе

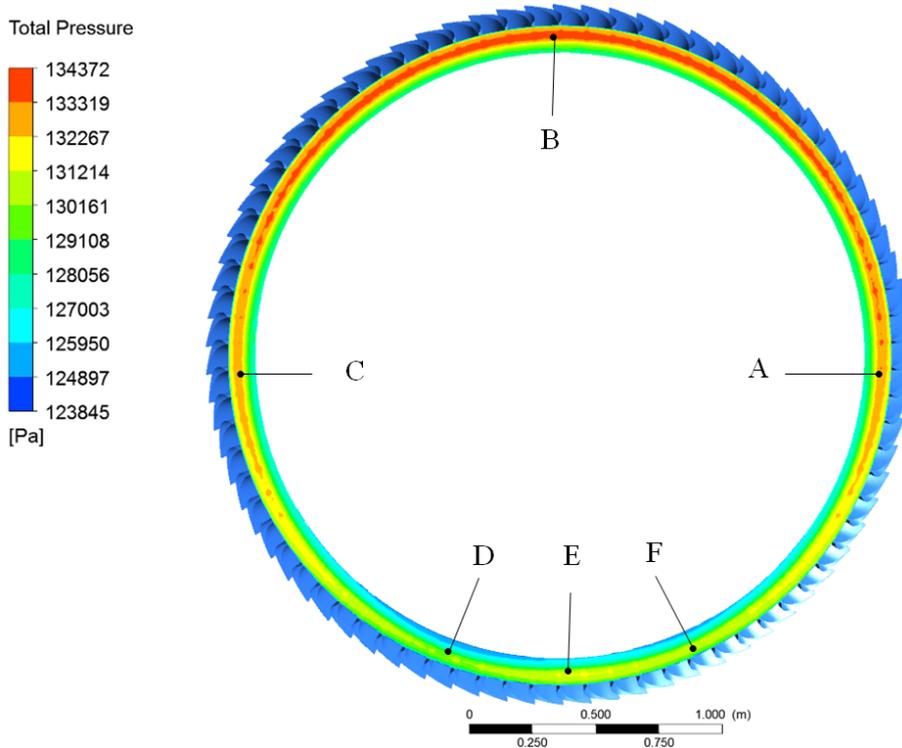


Рисунок 2- Поле полного давления на входе в сопловой аппарат послеотборной ступени

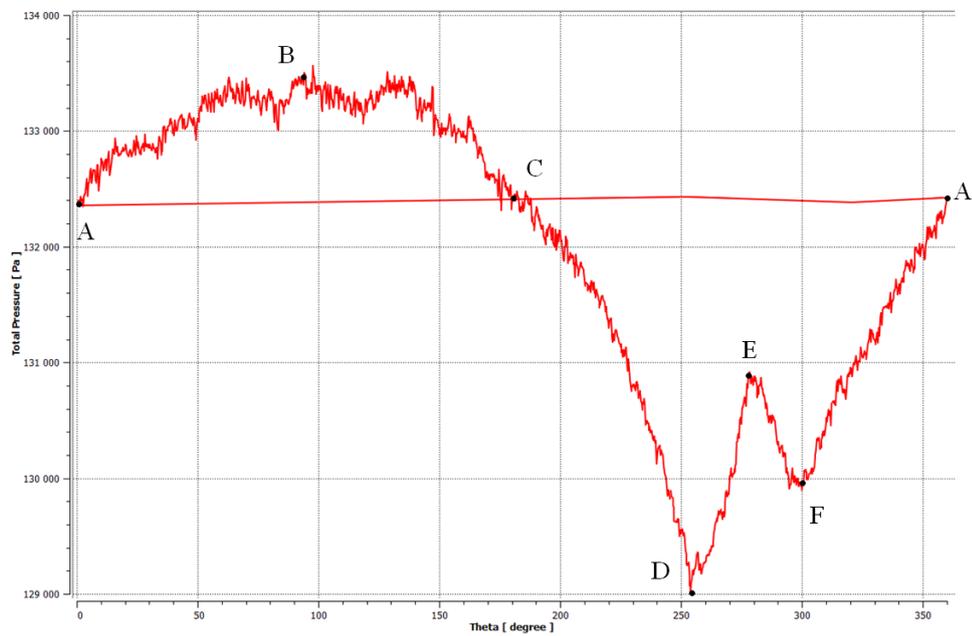


Рисунок 3 – Окружное распределение полного давления на среднем диаметре перед сопловым аппаратом послеотборной ступени

Нарушение структуры потока приводит к росту потерь в послеотборной ступени, снижая ее КПД на 8-9% и к появлению неуравновешенной поперечной силы, действующей на ротор двухъярусного ЦНД.

Для осевого выравнивания структуры течения в межступенчатом зазоре была разработана и численно проверена новая система организации регенеративного отбора, заключающаяся в конструктивном изменении камеры отбора путем внесения аэродинамического отсека (kozyрьka). Результаты трехмерного моделирования с применением разработанного решения показаны на рис. 4-6. Применение аэродинамического отсека в межступенчатом зазоре позволило существенно выровнять структуру течения в окружном направлении и тем самым снизить дополнительные потери в послеотборной ступени, повысив КПД ступени на 1-2%. Результаты проработки новой системы регенеративного отбора показали большую перспективность такого технического решения, однако, требуется дальнейшая проработка на базе экспериментальных и численных исследований, запланированных на следующем этапе.

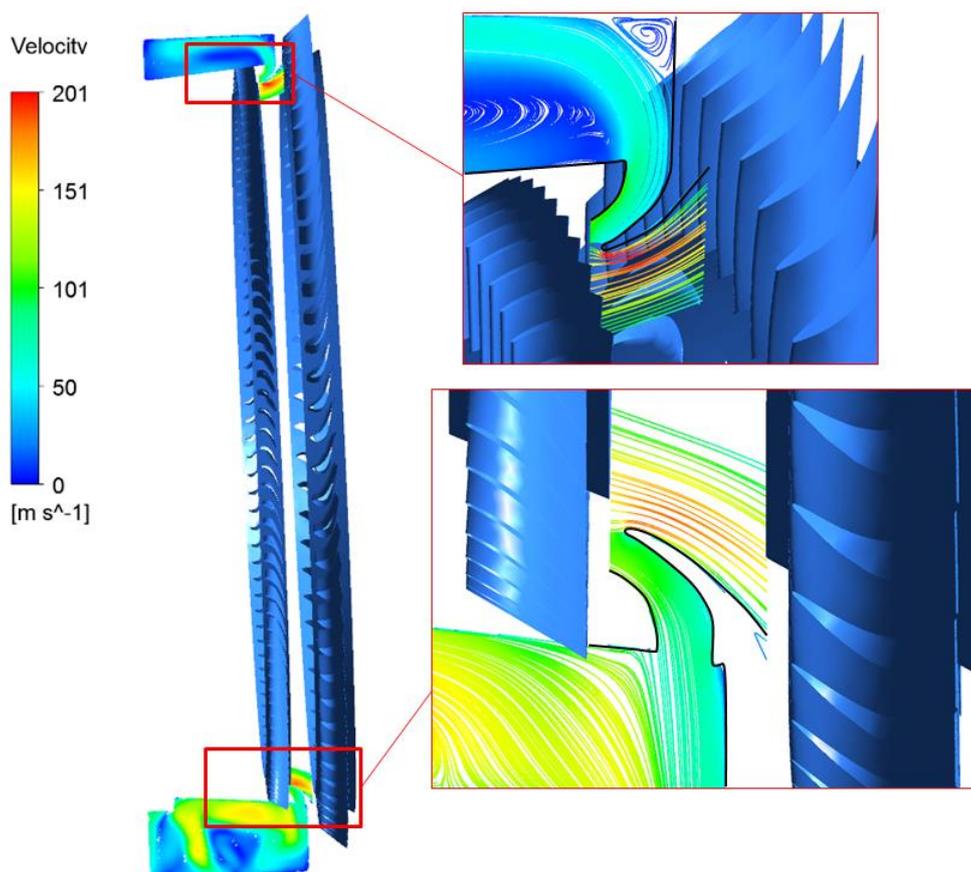


Рисунок 4 – Линии тока на меридиональном сечении межступенчатого зазора

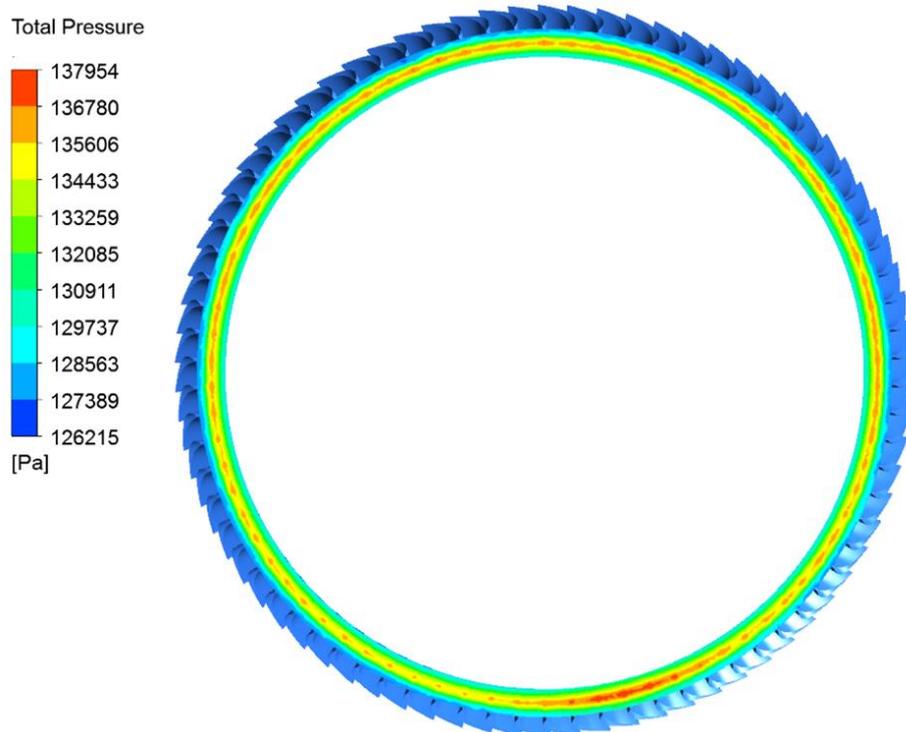


Рисунок 5 – Поле полного давления перед сопловым аппаратом послеотборной ступени

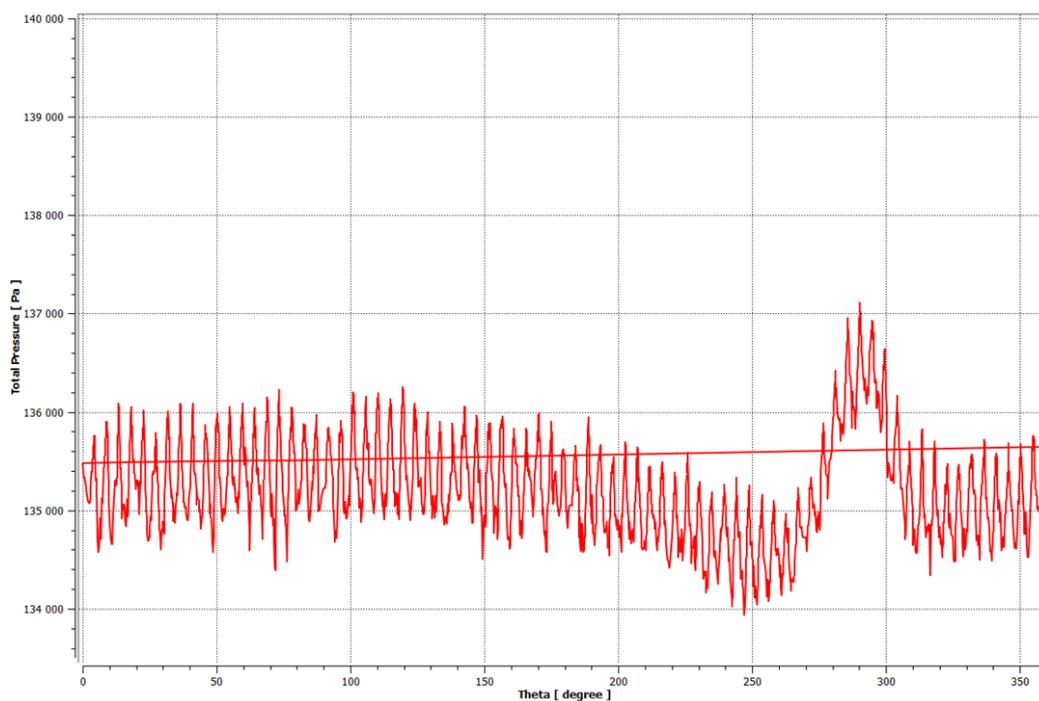


Рисунок 6 – Окружное распределение полного давления на среднем диаметре перед сопловым аппаратом послеотборной ступени

2) Разработана ЭКД экспериментальной модели и стенда.

Разработанные решения по новой системе регенеративного отбора воплощены в проект экспериментальной модели и стенда. В процессе экспериментальных исследований, запланированных на следующий этап будет проведена проверка эффективности новой системы регенеративного отбора. Трехмерная модель ресивера и испытательной части изображены на рис. 7. Эскиз модели для исследования влияния регенеративного отбора на эффективность послеотборной решетки отображена на рис.8.

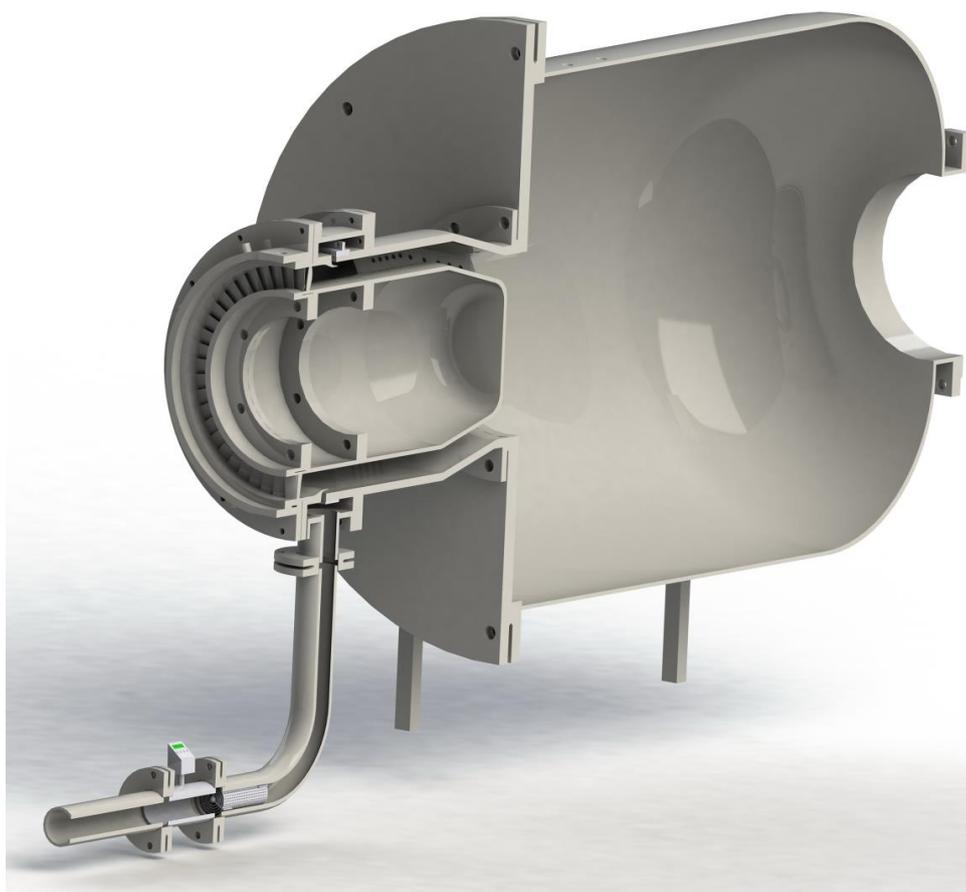


Рисунок 7- Ресивер и модель системы регенеративного отбора (продольное сечение)

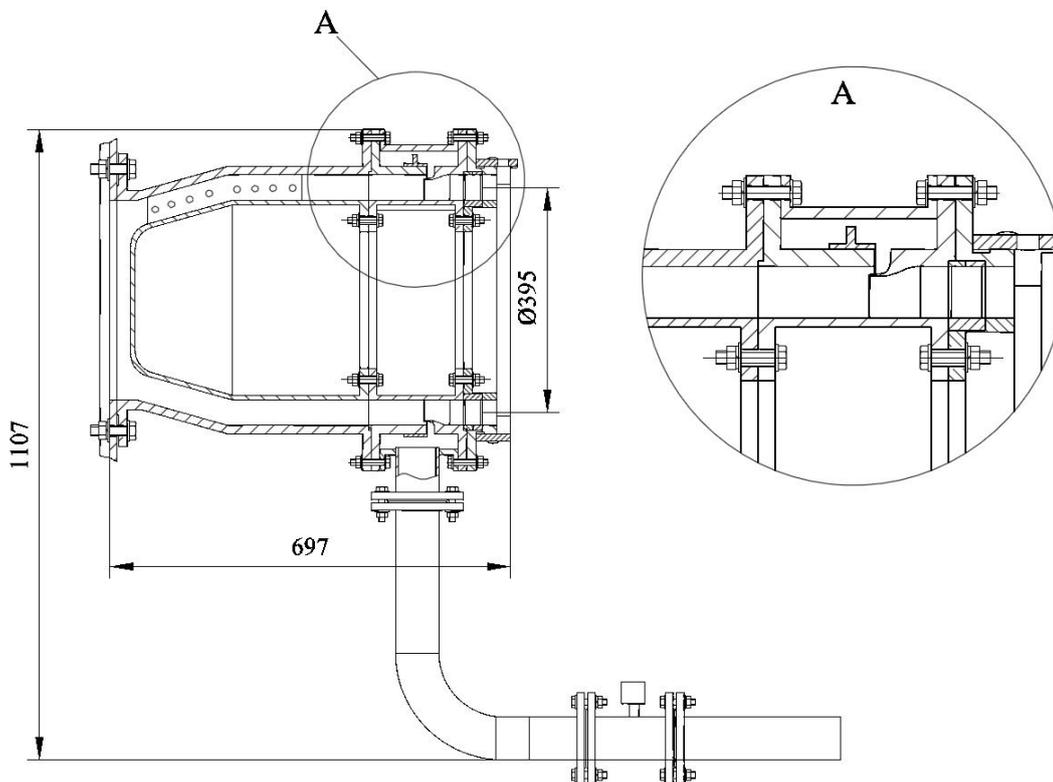


Рисунок 8- Модель для исследования влияния регенеративного отбора

3) Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований модели системы регенеративного отбора.

Для проведения экспериментальных исследований влияния отбора на структуру потока разработана программа и методика.

4) Разработана конструкция выхлопного патрубка двухъярусного ЦНД

Переход к двухъярусной проточной части потребовал изменения конструкции выхлопного патрубка. В результате проработки было принято решение выполнить выходные диффузорные участки верхнего и нижнего ярусов аэродинамически независимыми с установкой противовихревых решеток. Трехмерные модели разработанного патрубка изображены на рис.9-10. Проведенные трехмерные CFD расчеты показали высокую эффективность разработанного выхлопного патрубка. Картины течения показаны на рисунках 11-12.

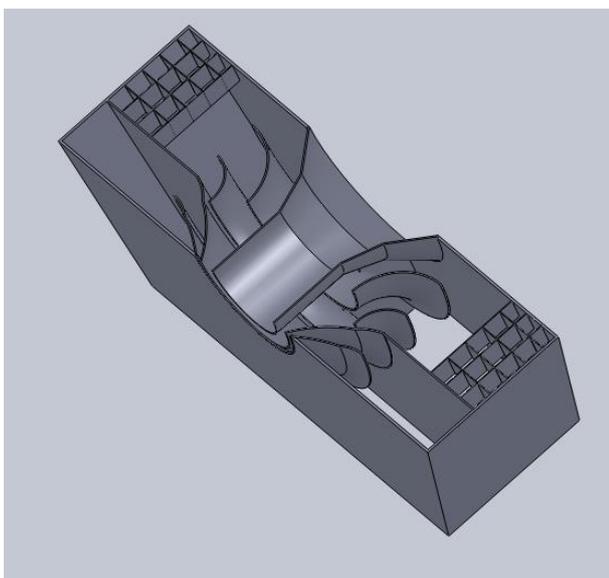


Рисунок 9 – Изометрия нижней половины патрубка с квадратной противовихревой решеткой

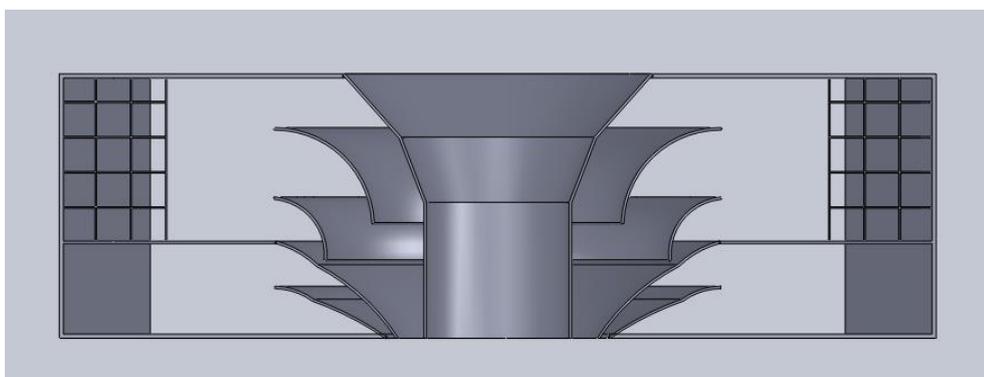


Рисунок 10 – Вид сверху на нижнюю половину патрубка с квадратной противовихревой решеткой

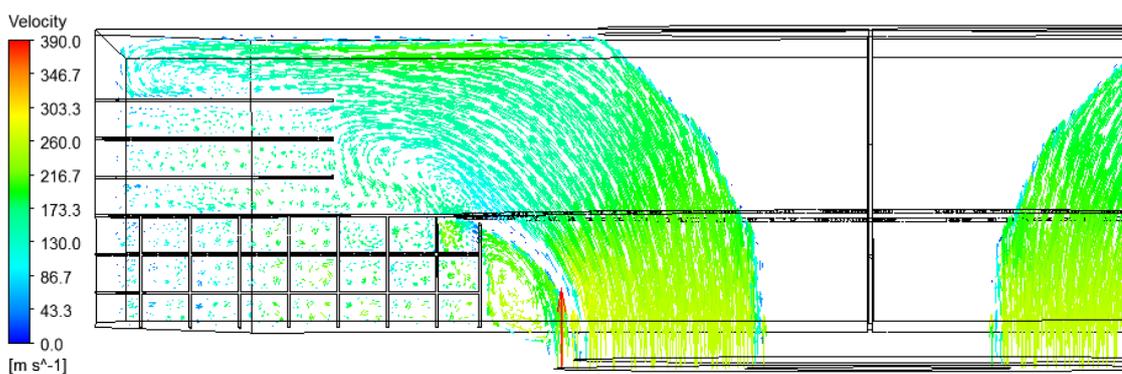


Рисунок 11 – Векторное поле скоростей в сечении горизонтального разреза

диффузорного патрубка с применением противовихревой решетки

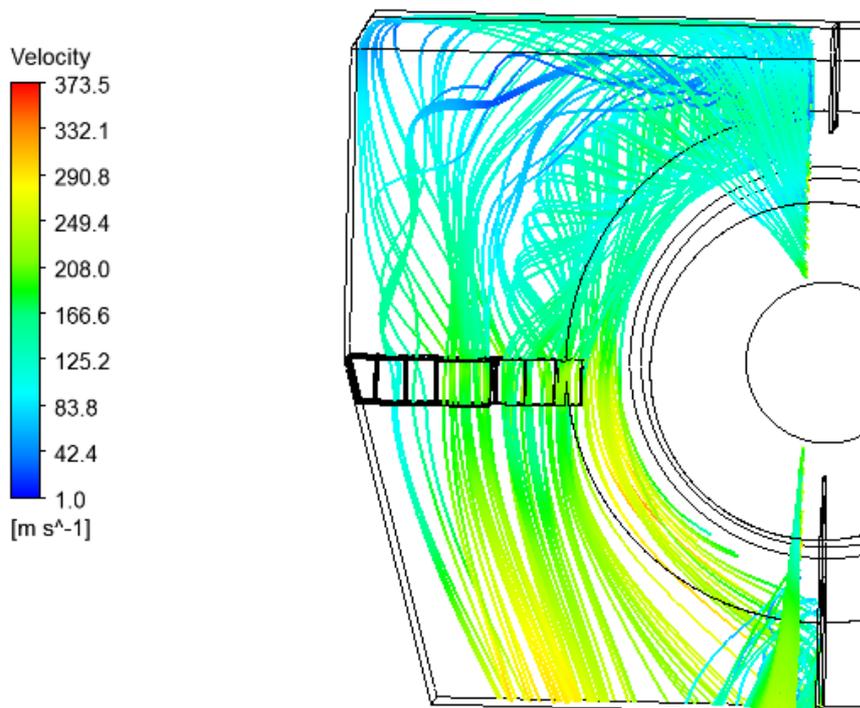


Рисунок 12 – Траектории движения пара в поперечном сечении диффузорного патрубка с применением противовихревой решетки

5) Разработана модель выхлопного патрубка

Для экспериментальной проверки предлагаемых конструктивных решений была разработана экспериментальная модель патрубка (рисунок 13). Модель выхлопного патрубка позволяет осуществлять повышение скорости в периферийных сечениях за счет отдельного подвода воздуха и устанавливать различные конфигурации противовихревых решеток и прочих конструктивных элементов, эффективность работы которых требует экспериментальной проверки. На следующем этапе реализации проекта планируется получить надежные сведения о эффективности разработанных конструктивных решений посредством проведения экспериментальных исследований.

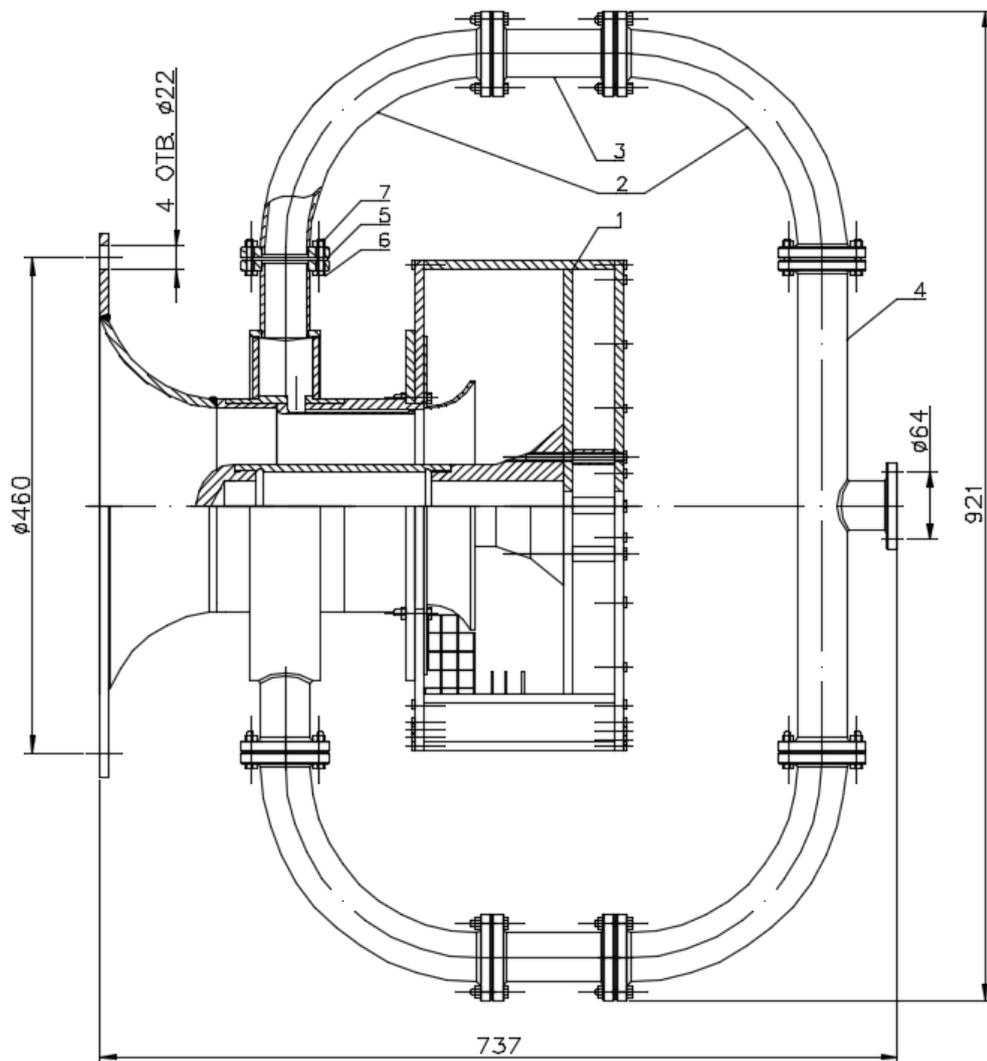


Рисунок 13 – Эскиз модели выхлопного патрубка

6) Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований модели выхлопного патрубка

7) Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный стенд для исследования модели выхлопного патрубка.

Для разработанной модели создана эскизная документация на экспериментальный стенд. Продольный разрез рабочей части экспериментального стенда отображен на рис .14.

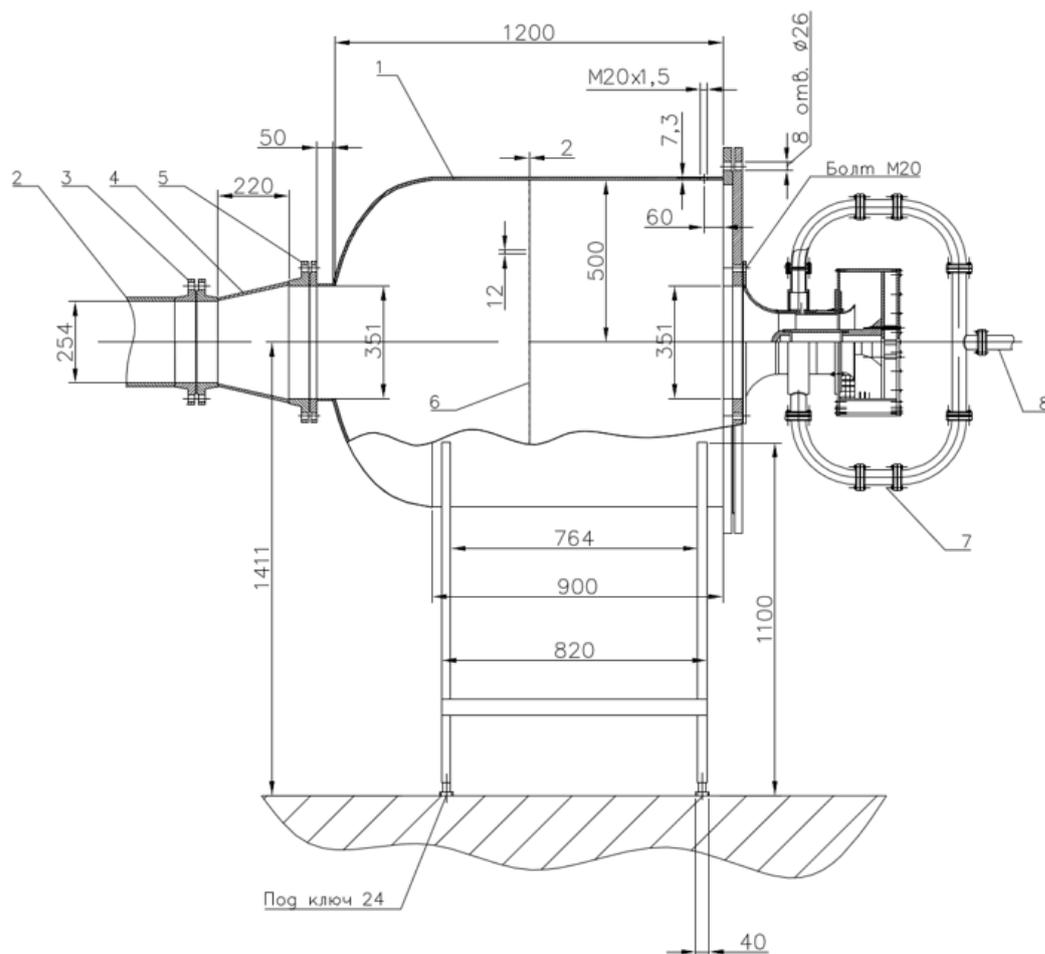


Рисунок 14 – Ресивер с установленной экспериментальной моделью

8) Разработана осесимметричная модель соплового аппарата последней ступени двухъярусного ЦНД

Последняя ступень цилиндра низкого давления характеризуется большими (45° - 55°) углами раскрытия проточной части, приводящими к отрывным течениям и, следовательно, к росту потерь в периферийных областях. Для исследования данной проблемы и проверки разработанных конструктивных мер по предотвращению отрыва потока от периферии разработана экспериментальная модель. Данная модель имеет три исполнения: с углом раскрытия 0° , с углом раскрытия 45° и с углом раскрытия 45° с применением аэродинамического дефлектора. Второй вариант исполнения показан на рис. 15-17. На рисунке 17(б) показаны отверстия для отсоса пограничного слоя. Данное решение планируется применять для предотвращения отрывных течений за счет “поджатия” потока к периферийной области.

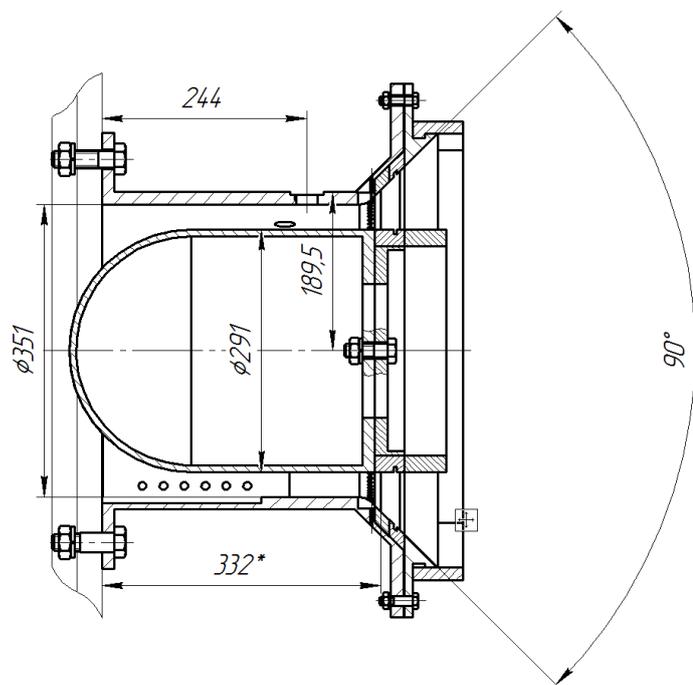
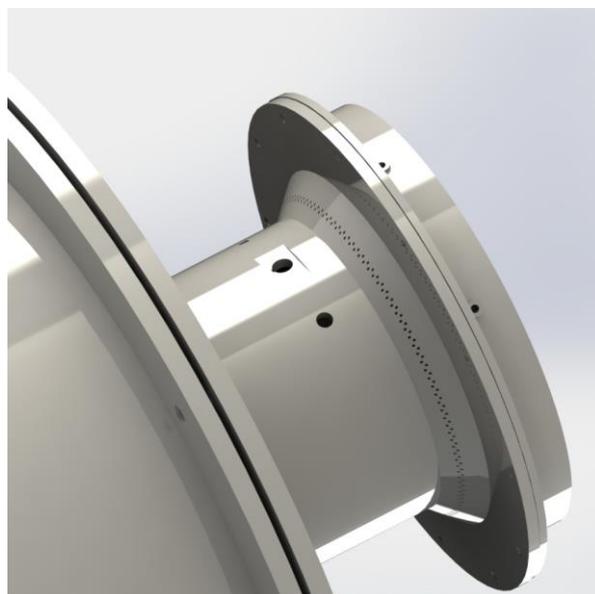


Рисунок 15 – Экспериментальная модель соплового аппарата в исполнении с углом раскрытия проточной части раскрытия 45°



а)

а) продольный разрез экспериментальной модели



б)

б) Внешний вид экспериментальной модели

Рисунок 16 –Трехмерная модель экспериментальной части

9) Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный стенд для исследования осесимметричной модели соплового аппарата последней ступени двухъярусного ЦНД

Для проведения испытаний моделей сопловой решетки спроектирован экспериментальный стенд.

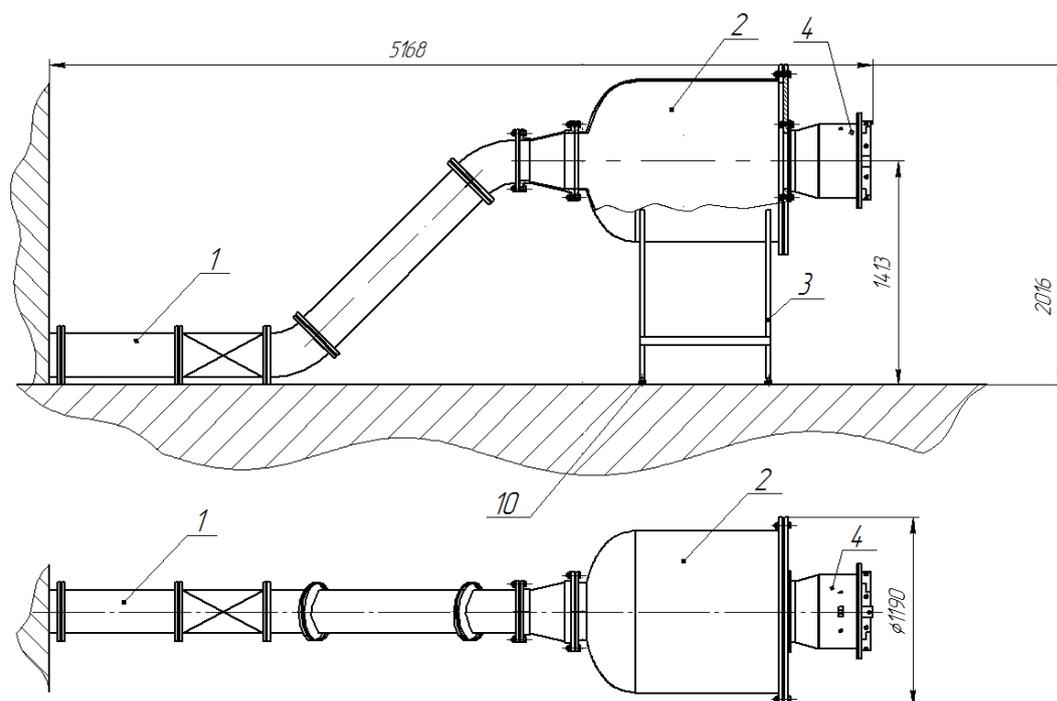


Рисунок 17 – Ресивер с установленной экспериментальной моделью и подводящим воздуховодом

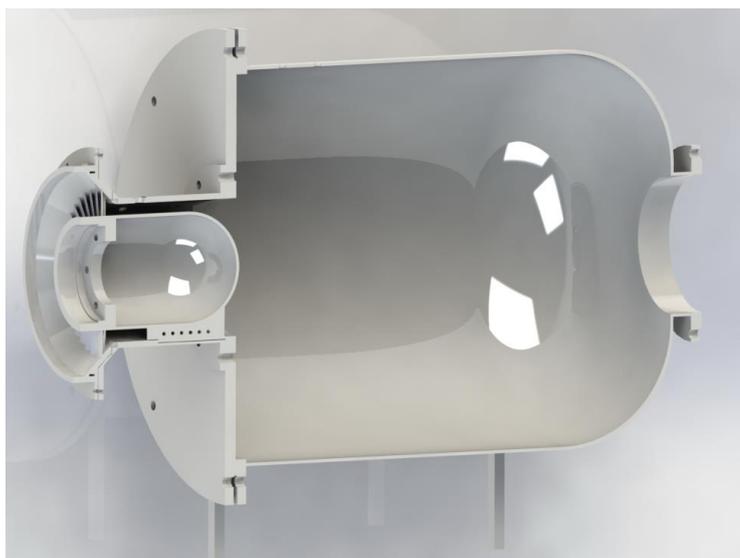


Рисунок 18 – Ресивер с установленной экспериментальной моделью (продольный разрез)

10) Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований осесимметричной модели соплового аппарата последней ступени двухъярусного ЦНД

Оценка элементов новизны результатов работ по III Этапу

Аналогичных конструкторских решений по части организации регенеративного обора с применением аэродинамических отсекаелей в доступной научно-технической литературе обнаружено не было. Экспериментальные исследования влияния регенеративного отбора на КПД послеотборных ступеней не проводились с 70-х годов минувшего века, и содержали ограниченное количество данных (испытания проводились только на двух режимах). Поэтому предстоящие испытания систем организации регенеративного отбора позволят дополнить и уточнить существующие данные по влиянию отбора на эффективность проточной части.

Проблема влияния угла раскрытия проточной части активно исследовалась в период с 70-х по 90-е годы 20-го века. Однако, полученные решения подразумевали, как правило, воздействие на реактивность и характер проточной части. Так же обозначалась потенциальная эффективность применения отсоса пограничного слоя в периферийном сечении. Научная новизна в решении обозначенной проблемы состоит в проверке эффективности аэродинамического дефлектора.

В ходе выполнения работ на этапе № 3 - число патентных заявок, поданных по результатам исследований и разработок составило – 1 шт.

В процессе исследования различных вариантов компоновки двухъярусного ЦНД выяснилось, что наиболее оптимальной конструктивной схемой является сочетание независимого подвода пара в каждый ярус при трех ступенях в верхнем ярусе. Однако, существующие конструкции диафрагм не позволяют надежно расположить сопловой аппарат первой ступени нижнего яруса при наличии второго яруса с тремя ступенями. Поэтому для решения этой проблемы была разработана специальная конструкция диафрагмы паровой турбины решающая обозначенную проблему.

Патент на изобретение «Диафрагма паровой турбины».

Копия уведомления патентных ведомств о поступлении заявок: уведомление ФИПС № 2015131462 от 29.07.2015 года.

Копия информационной карты РИД (ИКР) в соответствии с приложением №4 к приказу Минобрнауки России от 21.10.2013 № 1168.

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

Все обозначенные в Планах-графиках работы выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания, и позволяют перейти к экспериментальным исследованиям, запланированным на IV этап реализации проекта.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.