

*На правах рукописи*



**Кондрашев Александр Владиславович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА  
ДРОССЕЛЬНО-РЕГУЛИРУЮЩИХ КЛАПАНОВ И ПОВОРОТНЫХ  
ЗАСЛОНОК ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТУРБИН ТЭС И АЭС**

**Специальность 05.04.12**

**«Турбомашины и комбинированные турбоустановки»**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Москва - 2014**

Работа выполнена на кафедре паровых и газовых турбин ФГБОУ ВПО «Научный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

Научный руководитель: Зарянкин Аркадий Ефимович  
заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук Мильман Олег Ошеревич,  
директор по науке ЗАО «Турбокон», г. Калуга

кандидат технических наук Гудков Эдуард Ильич  
заведующий лабораторией физико-технических  
проблем энергетического оборудования  
ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт - Петербург

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный  
энергетический университет имени  
В.И.Ленина»

Защита состоится 24 февраля 2015г. в 16 часов на заседании диссертационного  
Совета Д 212.229.06 в ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург,  
Политехническая ул., д.29, Главное здание, ауд.118.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте (<http://www.spbstu.ru>) и в  
Фундаментальной библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного  
политехнического университета».

Автореферат разослан « 23 » декабря 2014г.

Ученый секретарь

диссертационного Совета

Д 212.229.06., к.т.н., доцент



Талалов Виктор Алексеевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Рассматривая пути развития современной электроэнергетики, можно отметить хорошо выраженные тенденции. Применительно к тепловым станциям это повышение начальных параметров теплоносителей. Применительно к паровым турбинам АЭС, работающим на влажном паре, это рост единичной мощности турбоустановок.

В соответствии с этими тенденциями практически все турбиностроительные фирмы мира интенсивно разрабатывают паровые турбины нового поколения. К указанным турбинам относятся и новые паровые турбины ЛМЗ:

- К-660-280, предназначенная для работы на тепловых электростанциях с сверхкритическими параметрами пара ( $P_0=280\text{бар}$ ,  $t_0 = 610^\circ\text{C}$ );
- К-1200-6,8/50 ( $P_0 = 68\text{бар}$ ,  $t_0 = 273^\circ\text{C}$ ), быстроходная влажнопаровая турбина для турбоустановок большой мощности АЭС.

С ростом единичной мощности турбоустановок и начальных параметров пара неизбежно увеличиваются требования по обеспечению надежной работы паровых турбин и постоянно остаются в силе требования высокой экономичности вновь создаваемого оборудования. Большой вклад в обеспечение надежной и экономичной работы паровых турбин вносит регулирующая и стопорно-отсечная арматура, которая используется непосредственно на паротурбинных блоках. При этом важно отметить, что при повышении типоразмеров блоков и начального давления пара пропорционально увеличивается и амплитуды пульсаций давления в потоке, что ведет к увеличению динамических нагрузок на все элементы паротурбинной арматуры. В этой связи, резко возрастает роль экспериментальной отработки новых конструктивных решений, обеспечивающих как максимальное снижение пульсаций давления, так и минимизацию гидравлических потерь в проточных частях разрабатываемого оборудования.

В представленной работе указанные задачи решались применительно к регулирующим клапанам ЦВД паровых турбин ТЭС, а также к поворотным заслонкам, устанавливаемым на перепускных паропроводах перед ЦНД влажнопаровых турбин АЭС производства ОАО «Силовые машины»- ЛМЗ.

Актуальность решения отмеченных задач достаточно очевидна и далее рассматриваются возможные пути их решения, основанные на результатах экспериментальных исследований.

**Объект исследований** Объектом исследований являются:

- Блоки клапанов ВД с центральным расположением одного стопорного клапана относительно двух симметричных регулирующих клапанов, предназначенные для паровых турбин ТЭС.

- Блоки поворотных заслонок НД, состоящие из двух последовательно расположенных поворотных заслонок. Предназначены для влажнопаровых турбин АЭС.

**Цели работы** состоят в:

- разработке и исследовании способов оптимизации конструкции блоков клапанов и блоков поворотных заслонок, позволяющих снизить уровень пульсаций давления в потоке пара и динамических нагрузок на подвижные детали блоков;

- исследование работы блоков клапанов и блоков поворотных заслонок на базовых и переменных режимах работы. Определение гидравлических сопротивлений как блоков в целом, так и отдельных его элементов. Поиск мер снижения потерь давления при работе блоков на данных режимах.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие **задачи**:

— выполнить расчетно-аналитические исследования блоков клапанов ВД и НД, показывающие качественную картину течения в них;

— провести экспериментальные исследования исходных моделей блока клапанов ВД и блока поворотных заслонок НД на всех диапазонах работы;

— определить, на основе расчетных исследований, возможные варианты оптимизации исходных экспериментальных моделей;

— выполнить экспериментальные исследования модернизированных вариантов блоков на всех диапазонах их работы. С учетом анализа полученных результатов рекомендовать к использованию на натурных блоках найденные оптимальные решения.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

— исследовано и проанализировано взаимное влияние регулирующих клапанов работающих в составе блока при их симметричном и несимметричном открытиях.

— для регулирующих клапанов ВД предложено и исследовано введение сквозной перфорации чашки клапана, в дополнении к имеющейся в конструкции проточной паровой подгрузки паром, что позволяет снизить уровень динамических нагрузок на штока регулирующих клапанов в 1,5-1,7раза.

— определен диапазон критических углов открытия поворотной заслонки работающей в составе блока клапанов НД, при которых наблюдаются максимальные амплитуды пульсаций давления и усилий на оси заслонки.

— предложено и исследовано введение продольного оребрения тыльной стороны регулирующей поворотной заслонки, что позволяет увеличить в 1,5 раза момент на закрытие заслонки (в положениях близких к полному закрытию), в 2 раза снизить амплитуды пульсаций давления в потоке за заслонкой и в 1,8 раз уменьшить динамические составляющие момента на опорном валу поворотной заслонки.

**Практическая значимость работы.** Полученные в работе результаты имеют важное практическое значение. Предложенные варианты улучшения конструкций повышают надежность работы и могут при минимальных затратах быть использованы для аналогичных по расположению блоков клапанов ВД паровых турбин ТЭС и блоков поворотных заслонок НД влажнопаровых турбин АЭС.

**Методы исследований и достоверность полученных результатов:**

При выполнении работы широко использовались общепринятые методы проведения физических экспериментов, численные исследования выполнялись с использованием лицензированного инженерного пакета Ansys CFX.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась применением современной измерительной техники, повторяемостью опытных данных, апробированными методиками обработки опытных данных и хорошим совпадением результатов модельных и расчетных исследований.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Полученные результаты переданы в СКБ «Турбина» ОАО «Силовые машины» - «ЛМЗ» для модернизации существующих и учета при проектировании новых блоков клапанов ВД и блоков поворотных заслонок НД паровых турбин средней и большой мощности.

**Личный вклад автора.** Участие автора выразилось в:

- проведении обзора литературы и анализе литературных данных;
- проектировании и изготовлении экспериментального стенда, моделей блоков клапанов ВД и блоков поворотных заслонок НД;
- проведении серии экспериментальных исследований на блоках клапанов ВД;

— разработке и исследовании блока клапанов ВД с перфорированной чашкой регулирующего клапана, а также блока поворотных заслонок с оребрением тыльной стенки регулирующей заслонки;

— проведении численного моделирования течений в проходных трактах исследуемых блоков;

— проведении анализа полученных результатов и разработке проектов модернизации конструкций блока клапанов ВД и блока поворотных заслонок НД

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- в докладе на международной конференции «POWER GEN India & Central Asia 2008».- Индия, Нью-Дели, апрель, 2008г;

- на семинаре кафедры ПГТ. – М.: ФГОУ ВПО «НИУ МЭИ», апрель, 2014г;

- на заседании кафедры ПГТ. - М.: ФГОУ ВПО «НИУ МЭИ», 17 июня 2014г.

- на заседании секции паротурбинных, газотурбинных, парогазовых и гидротурбинных установок НТС. – СПб.: ЦКТИ, 26 июня 2014г.

- на заседании кафедры Турбины, гидромашины и авиационные двигатели. – СПб.: ФГАОУ ВО СПбГПУ, 30 октября 2014г

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 3 научных статьи.

**Автор защищает:**

- результаты экспериментальных исследований блока клапанов ВД с одним стопорным клапаном и двумя симметричными относительно него регулирующими клапанами.

- конструкцию регулирующего клапана со сквозной перфорацией чашки клапана и системой проточной паровой подгрузки подвижных деталей клапана.

- результаты экспериментальных исследований блока поворотных заслонок НД с двумя последовательно расположенными друг за другом заслонками.

- конструкцию поворотной заслонки с симметричным расположением вала и продольным оребрением тыльной стороны заслонки.

**Объем и структура работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, изложена на 194 страницах текста и содержит 157 рисунков, 2 таблиц и список литературы из 64 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, практическая научная значимость проводимых исследований. Показана взаимосвязь между ростом единичной мощности турбоустановок, а также начальных параметров пара и ростом динамических нагрузок на элементы паротурбинной арматуры.

**В первой главе** представлен краткий обзор литературных источников, посвященных вопросам, в той или иной степени связанных с предметом настоящих исследований.

Показаны достоинства и недостатки различных типов поворотных заслонок и блоков клапанов ВД выпускаемых ведущими турбостроительными мировыми фирмами. Приводится краткий обзор проводимых ранее экспериментально-теоретических исследований осесимметричных заслонок дискового типа. Особое место в главе занимают раздел о перспективах развития блочной конструкции органов паровпуска паровых турбин.

**Во второй главе** дано описание новых установок для исследования течения в блоках клапанов ВД и блоках поворотных заслонок НД на базовых и переменных режимах работы.

Продольный разрез и вид сверху установки для исследования характера течения в блоке поворотных заслонок НД показан на рис.1. Она состоит из подводного колена (1), установленного на ресивер стенда ВАТ-1, конфузора (2), соединительной трубы (3), корпуса клапана (4) и выходного трубопровода, соединяющего блок клапанов с выходным патрубком ЦНД (5). В корпусе (4) расположена стопорная (6) и регулирующая (7) поворотные заслонки. Вал регулирующей заслонки установлен в подшипниках качения, а стопорный жестко зафиксирован в полностью открытом состоянии. Для измерения крутящего момента на валу регулирующей заслонки и фиксации угла ее открытия на корпусе клапана установлен специально спроектированный координатник (8) с тензометрическим силомером.

Внешний вид и схема установки для исследования характеристик блока клапанов ВД турбины К-660-247 показаны на рис.2 и 3.

Установка крепится на ресиверном баке воздушного стенда ВАТ-1. Ресиверный бак (2, рис.3) с экспериментальной установкой (1) соединен с компрессором (3) линией подвода воздуха (4), которая снабжена стопорной задвижкой (5), регулирующим

вентилем (6) и мерным соплом Вентури (7). Подвод воздуха к блоку клапанов ВД от ресивера осуществляется по поворотному колену, на выходе из которого для выравнивания потока установлен конфузор, от которого воздух по переходному патрубку поступает в клапанную коробку стопорного клапана.

Все клапаны блока расположены в своих коробках вертикально. Для осевого перемещения исследуемых клапанов на верхних крышках коробок устанавливаются подъемники–координатники, на которых подвешиваются штоки с клапанами.

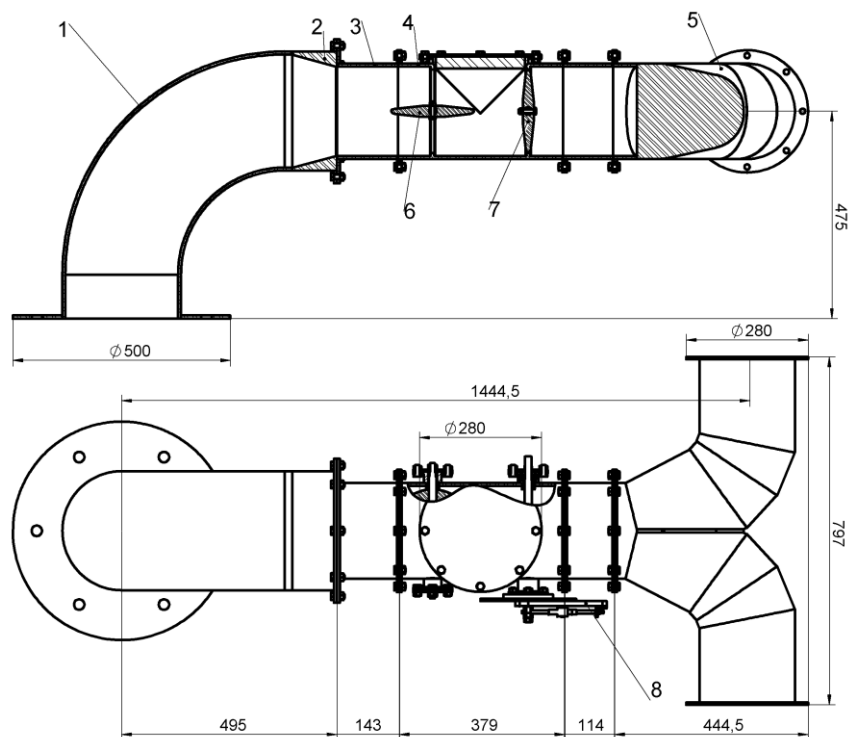


Рисунок 1. Схематический чертеж экспериментальной установки блока клапанов НД.

Выполненные экспериментальные установки являются многоцелевым инструментом позволяющим проводить исследования аэродинамических, силовых и вибрационных характеристик блоков клапанов ВД и блоков поворотных заслонок НД в широком диапазоне чисел  $M$  и  $Re$  и определять их гидравлические сопротивления. В случае исследования блока клапанов ВД, экспериментальная установка позволяла проводить исследования характеристик не только каждого из клапанов входящих в блок, но и их взаимовлияние на переходных режимах работы.

Помимо зондов полного и статического давлений установленных до и после исследуемых клапанов, в схеме измерений данных блоков была предусмотрена установка малоинерционных датчиков типа ХТЕЛ-140М-1.7 «BARA» (США), измеряющих как абсолютное давление, так и его переменную составляющую.



Измерение вибрации производилось вибродатчиками AP31, устанавливаемыми на корпусе блока клапанов. Для акустических исследований применялся поляризованный всенаправленный микрофон типа 4942-A-021 «Briel Kjaer» (Дания).

Для измерения моментов на валу поворотной заслонки блока клапанов НД, а также усилий на штоке регулирующего клапана блока клапанов ВД использовался измерительный прибор «Handyscope-2» (Нидерланды), работающий с S-образный датчиком типа ZF. Этот прибор позволяет измерять абсолютные составляющие силы и ее переменные значения.

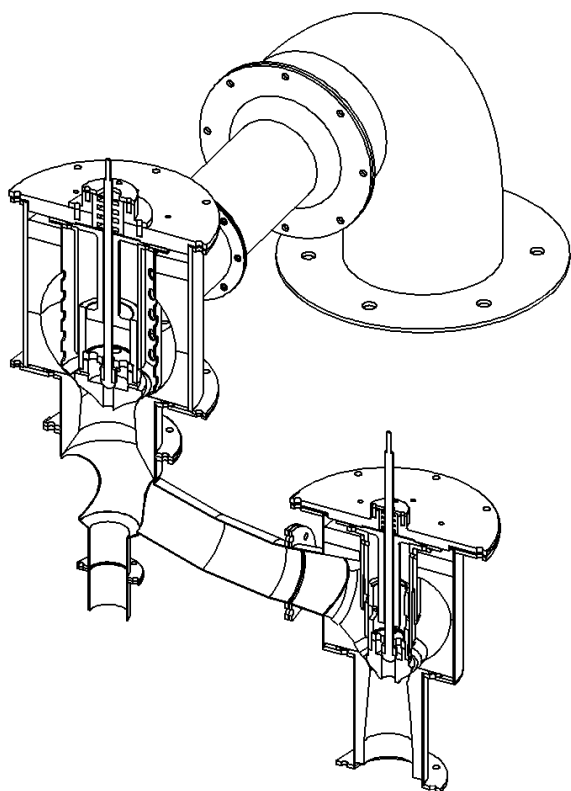


Рисунок 2. Внешний вид установки модели блока клапанов ВД.

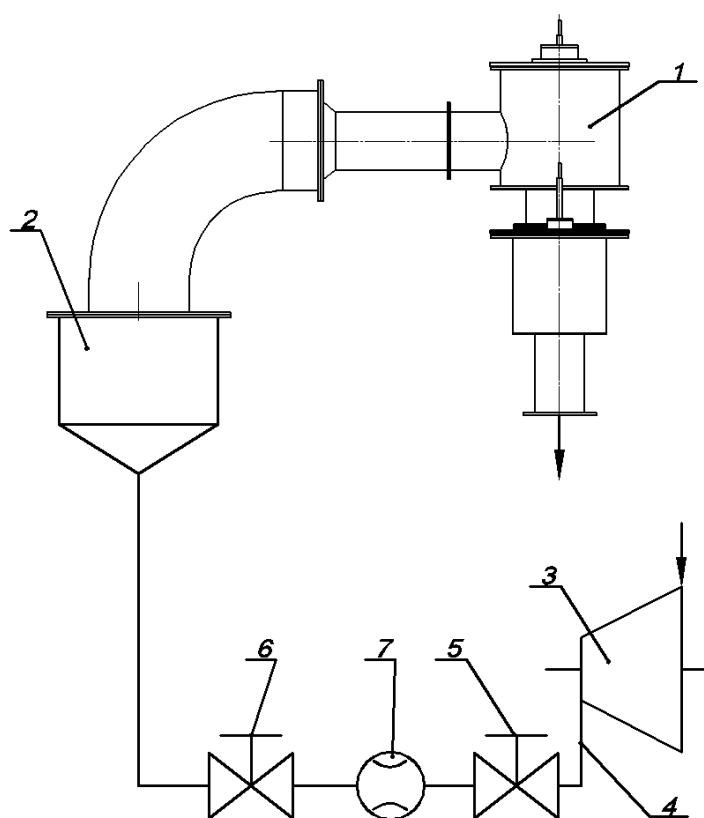


Рисунок 3. Схема установки блока клапанов ВД

В этой же главе приведено подробное описание методик проведения экспериментов, обработки их результатов и определения погрешности измерения.

**Третья глава** посвящена численным исследованиям течений рабочих сред в проточных частях блоков клапанов ВД и в перепускных паропроводах трактов ЦНД.

Для проведения численных экспериментов были созданы трехмерные модели исследуемых блоков, которые были импортированы в генератор сеток «ICEMCFD» и просчитаны в инженерном пакете Ansys CFX. Это позволило получить качественные

картины течения рабочей среды в проточной части блоков исходной конструкции и определить пути оптимизации для дальнейших экспериментальных исследований.

Чтобы определить характер взаимного влияния отдельных элементов блока на работу блока в целом расчетные исследования проводились для следующих вариантов:

- полное открытие регулирующих клапанов (стопорной и регулирующей поворотных заслонок);
- полное открытие одного РК (стопорной заслонки) одновременно с частичным открытием другого РК (регулирующей заслонки);
- полное открытие одного РК при полностью закрытом втором клапане.

Выполненные расчеты позволили определить углы открытия поворотной заслонки с наиболее резкой асимметрией потока до и после заслонки. При данных углах за заслонкой было выявлено сильное возвратное течение, обусловленное большим подсасывающим эффектом свободной границы высокоскоростной струи, что заметно усиливало вихревой характер течения в последующем за заслонкой тройнике и трубопроводах, отводящих пар к ЦНД.

Расчеты в блоке клапанов ВД вывели развитое вихревое течение в раздаточной камере после диффузора стопорного клапана перед пароподводящими патрубками РК. Данный вихрь, нарушая симметрию в распределении расходов к полностью открытым РК, может служить объяснением повышенной вибрации, отмеченной на аналогичных натуральных блоках клапанов. Также следствием данного вихря является снижение эффективных проходных площадей в трубопроводах, подводящих рабочую среду к РК, по сравнению с их геометрическими площадями.

По результатам расчетов были определены коэффициенты гидравлического сопротивления блока при полном и частичном открытии клапанов.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям проводимым на установке воздушного стенда с моделями блока поворотных заслонок НД.

По итогам исследований для исходной конструкции блока (блока клапанов НД п/т АЭС К-1200-6,8/50), были построены расходная и силовая характеристики блока (см.рис.5) на всех режимах его работы, определена зависимость коэффициентов гидравлического сопротивления  $\zeta$  от угла открытия  $\phi$  заслонки (см.рис.4). По которой видно, что с момента образования развитой зоне отрыва потока ( $\phi < 75^\circ$ ) сопротивление заслонки начинает резко возрастать.

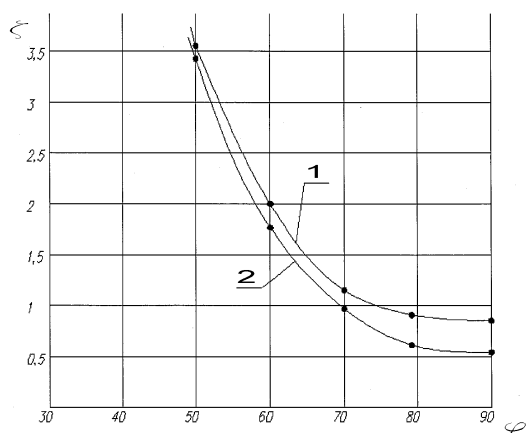


Рисунок 4. Зависимость коэффициентов гидравлического сопротивления  $\zeta$  от угла  $\phi$ .

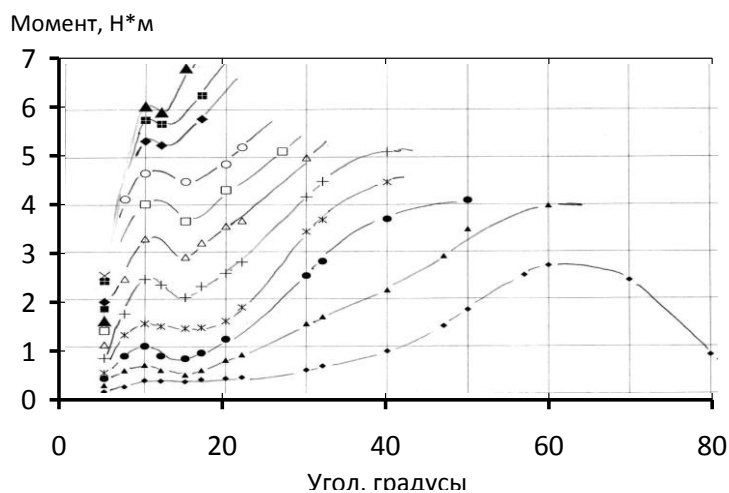


Рисунок 5. Силовая характеристика блока заслонок (зависимость моментов  $M$  на валу от его угла поворота  $\phi$ )

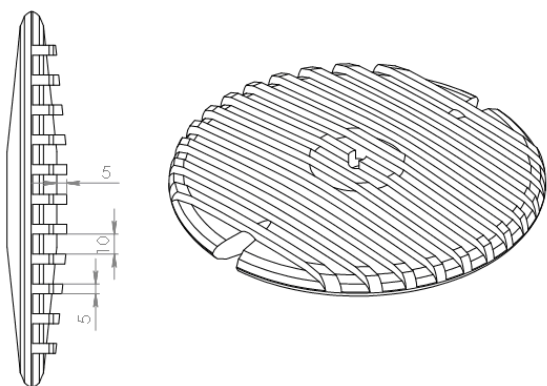


Рисунок 6. Модель диска с оребрением тыльной стороны

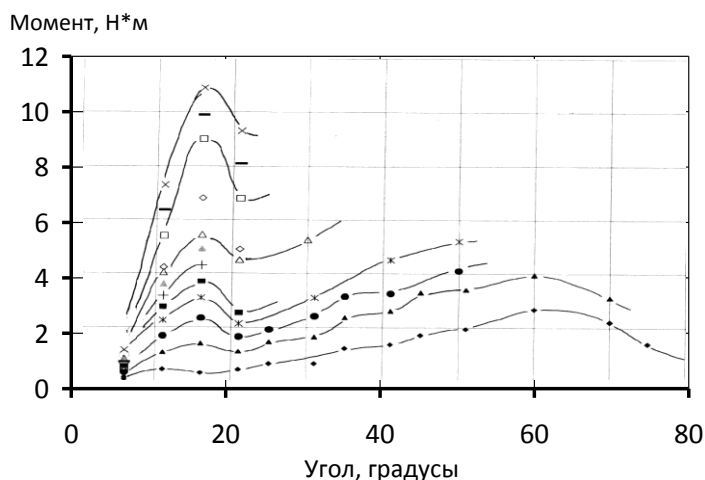


Рисунок 7. Силовая характеристика блока заслонок с оребренным диском (зависимость моментов  $M$  на валу от его угла поворота  $\phi$ )

Снятые при различных углах открытия заслонки осциллограммы усилий на рычаге координатного устройства вала, а также осциллограммы пульсаций давления в различных точках проходного тракта блока показали, что их максимальные амплитуды достигаются при углах открытия  $15-20^\circ$  (см. рис. 8а, в). Это подтвердило сложный характер течения, отмеченный расчетом в предыдущей главе.

Для стабилизации сложного вихревого течения за диском исследовалась модель заслонки с продольным оребрением тыльной стороны (см. рис. 6). Снятая для данного случая расходная характеристика не показала существенных отличий от варианта с гладким диском. На силовой характеристике (рис. 7) оребренного диска отмечено

увеличение на 40% максимального момента при малых углах открытия заслонки, что позволяет без потери надежности снизить массогабаритные показатели приводов блока заслонок (не требующих громоздких блоков пружин).

Введение оребрения также позволило снизить в 1,8 раза динамические составляющие момента на валу и в 2 раза амплитуду пульсаций давления на наиболее критических углах открытия 15-20° (см.рис.8б,г) при одинаковых отношениях давлений.

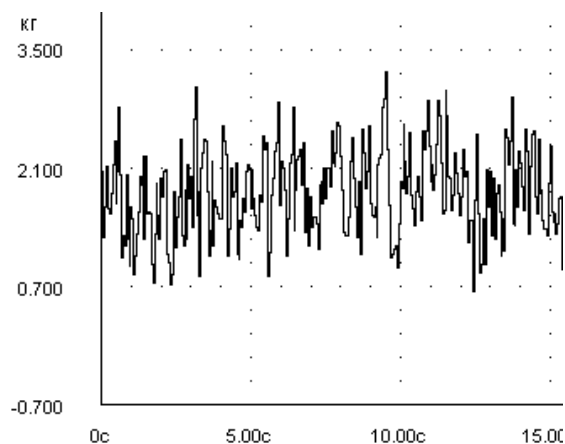


Рисунок 8а. Осциллограммы усилий на валу гладкого диска для φ=20°.

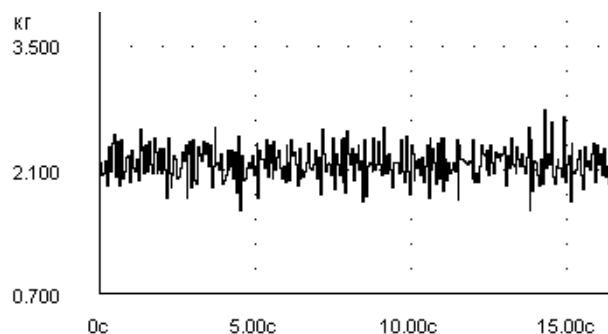


Рисунок 8б. Осциллограммы усилий на валу оребренного диска для угла φ=20°.

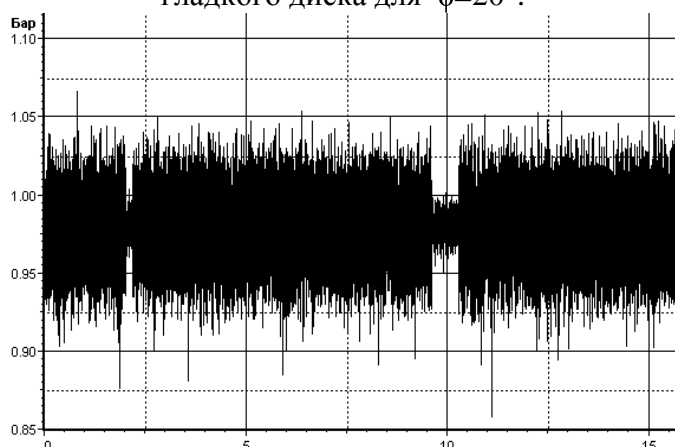


Рисунок 8в. Осциллограммы пульсаций давления в нижней части после гладкого диска для угла φ=15°.

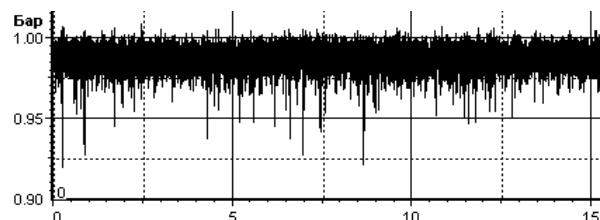


Рисунок 8г. Осциллограммы пульсаций давления в нижней части после оребренного диска для угла φ=15°.

**Пятая глава** посвящена экспериментальным исследованиям, проводимым на воздушном стенде с моделями блока стопорного и регулирующих клапанов ВД.

Исследования проводились для модели блока клапанов ВД, аналогичной блоку на п/т ТЭС К-660-280. Были получены расходные характеристики и определены гидравлические сопротивления как блока клапанов, так и для отдельных клапанов входящих в него. Это показало, что существующее профилирование клапанного канала обеспечивает достаточно низкое сопротивление всего блока. При полном открытии РК потери давления составили 3,5% от начального давления пара. Кроме силовой

характеристики построенной для исходного варианта (разгруженного типа с проточной паровой подгрузкой) конструкции регулирующих клапанов, были получены аналогичные характеристики для других типов РК (см. рис.9). Это позволило выбрать оптимальную по паровым усилиям конструкцию РК для дальнейших исследований.

Вибродинамические исследования модели проводились для различных положений РК. Отмечено, что при полностью закрытом одном клапане и полностью открытым вторым РК происходит интенсивное нарастание амплитуд пульсаций давления. Следствием этого явилось и наличие достаточно высоких динамических сил на штоке клапана. По снятым осциллограммам усилий (рис.11) видно, что уровень динамических сил по отношению к статическим составил 7-8%.

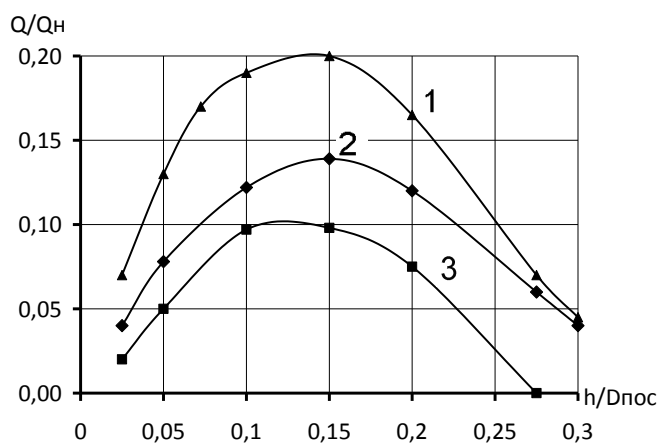


Рисунок 9. Сравнение силовых характеристик клапанов при  $P_2/P_1=0,8$  (кривая 1 - РК неразгруженного типа, кривая 2 – РК разгруженного типа с проточной подгрузкой, и кривая 3 – РК разгруженного типа без проточной подгрузки)

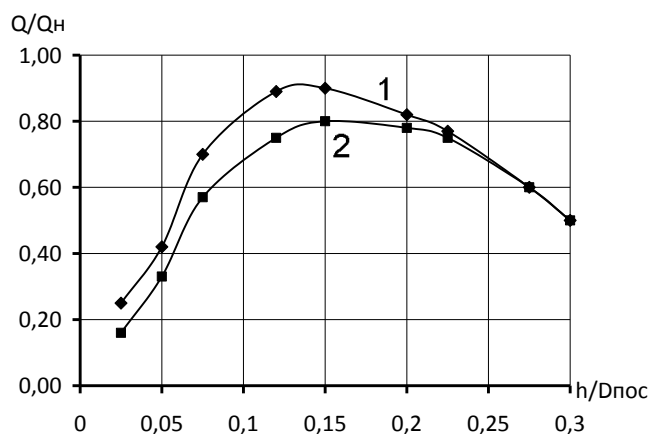


Рисунок 10. Сравнение силовых характеристик клапанов при  $P_2/P_1=0,8$  (1 –гладкой поверхностью чаши 2 – перфорированной поверхностью чаши)

Вибродинамические характеристики РК серьезно ухудшаются при открытии второго клапана, т.к. неуправляемое разделение основного потока на две части провоцирует возникновение автоколебаний потока в системе подвода рабочей среды к двум полностью открытым РК. Это наглядно видно на осциллограммах пульсаций давлений, где амплитуда пульсаций составляет до 80-90% от уровня избыточного давления полного торможения потока (рис.12). Такая же картина сохраняется при уменьшении открытия клапана до 60%.

Модернизированный вариант РК отличался от исходного наличием трех рядов сквозной перфорации обтекаемой чашки клапана (рис.13). Введение перфорации обтекаемой поверхности, замкнутой на общую камеру, обеспечивает пристеночную

турбулизацию потока, увеличивая тем самым устойчивость к отрыву, выравнивает окружную неравномерность и заметно снижает возмущающее действие вторичного потока, проходящего через систему разгрузки клапана от осевых усилий.

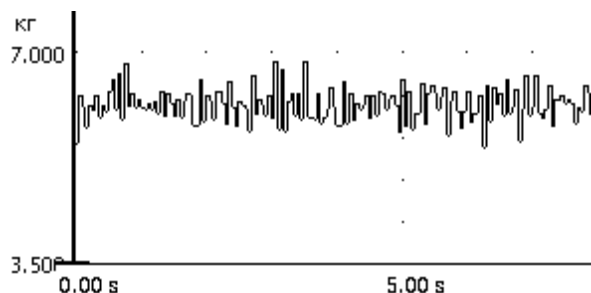


Рисунок 11. Осциллограмма сил на штоке полностью открытого РК блока клапанов ВД (второй РК закрыт,  $P2/P1=0,895$ )

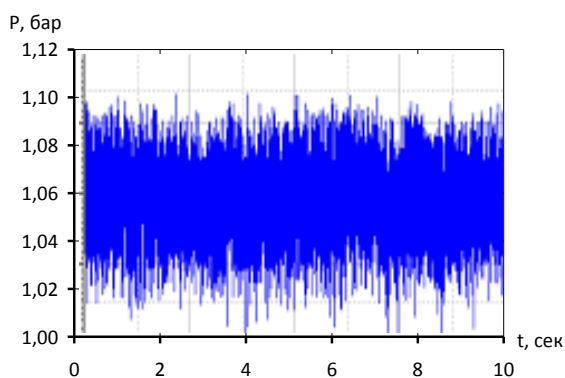


Рисунок 12. Осциллограмма пульсаций давления в проточной части блока клапанов ВД. Оба РК полностью открыты,  $P2/P1=0,923$

В результате совместного действия двух противоположно направленных факторов гидравлическое сопротивление каналов с неравномерным входным профилем скорости при введении перфорации практически не изменяется. Проведенные исследования показали совпадение расходных характеристик модернизированного и исходного вариантов клапана.

Силовая характеристика перфорированного клапана до половины его открытия на 15-20% оказалась ниже аналогичной характеристики для гладкой обтекаемой поверхности (см.рис.10), что позволяет повысить надежность работы РК и снизить требования к приводу.

Сопоставление осциллограмм усилий на штоке гладкого и перфорированного клапана показало, что при использовании перфорированной чашки уровень динамических нагрузок на шток клапана снижается в 1,5-2 раза.

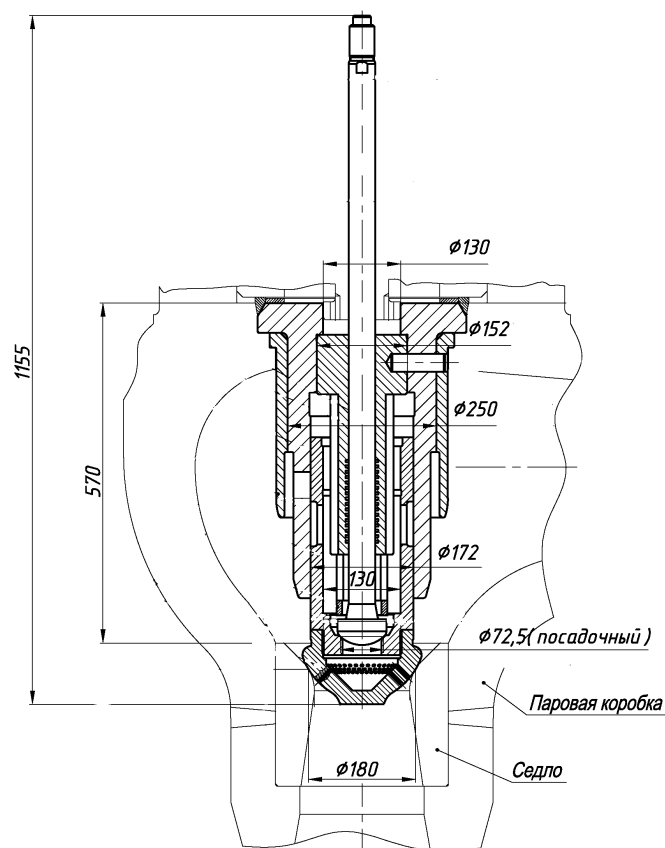


Рисунок 13. Модернизированная модель РК

## **Основные выводы и результаты работы**

1. В рамках настоящей работы выполнено расчетно-аналитическое и экспериментальное исследование течения рабочих сред в проточных частях блока клапанов ВД и блока поворотных заслонок перспективных турбин ЛМЗ.

2. Показано, что течение пара в проточной части исследуемого блока клапанов ВД, симметричной относительно вертикальной плоскости, при полном открытии левого и правого регулирующих клапанов носит ассиметричный вихревой характер с очень высоким уровнем пульсаций давления. Амплитуда которых, в пространстве между стопорным и регулируемыми клапанами, достигает 20-25% от начального давления рабочей среды. Указанная асимметрия течения непрерывно увеличивается по мере прикрытия одного из двух регулирующих клапанов.

3. Обнаружено достаточно сильное взаимное влияние положения регулирующих клапанов блока клапанов ВД на их расходные и силовые характеристики, что является общим свойством всех систем парораспределения, использующим подвод пара к регуливающим клапанам от одного стопорного клапана.

4. Полученные расходные характеристики показывают, что гидравлическое сопротивление всего блока клапанов ВД при полном открытии РК не превышает 2,3% от начального давления пара при отсутствии защитной сетки и 2,8% при ее установке.

5. При исследовании силовых характеристик РК на некоторых режимах были обнаружены повышенные динамические усилия на штоке клапана. Амплитуда этих усилий на таких режимах достигает 8-10% от величины статических усилий действующих на шток. Использование РК с перфорированной обтекаемой поверхностью чашки клапана позволило снизить уровень динамических нагрузок на их штока в 1,5-1,7 раза.

6. Исследования блока поворотных заслонок НД, как расчетные, так и экспериментальные исследования показали, что при полном открытии заслонок характер течения в области их расположения сохраняет осевую симметрию, при сравнительно низких значениях пульсаций давления. При переходе от режима полного открытия к режиму регулирования происходит резкое нарушение осевой симметрии течения и за блоком поворотных заслонок устанавливается сложное нестационарное ассиметричное течение с очень большими амплитудами пульсаций давления. При угле

открытия заслонки 15 градусов значения амплитуды пульсаций достигает 35-40% от местного давления полного торможения.

7. Для улучшения динамических нагрузок на приводной механизм и стабилизации течения за поворотным диском проведены исследования варианта с оребренной тыльной поверхностью диска. Такое решение позволило в 2 раза снизить амплитуду пульсаций давления в потоке за диском, в 1,8 раза уменьшить динамические составляющие момента на поворотном валу и в 1,5 раз увеличить величину момента действующего на закрытие заслонки в самой проблемной зоне ее закрытия - положениях близких к полному закрытию.

**Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:**

1. Зарянкин, А.Е. Результаты исследования блока поворотных заслонок низкого давления паровых турбин АЭС / А.Е. Зарянкин, А.Н. Парамонов, А.В. Кондрашев // Вестник МЭИ. – 2014. – №2. – С.5-10.
2. Зарянкин, А.Е. Результаты экспериментальных исследований поворотной заслонки со смещенной осью диска / А.Е. Зарянкин, А.Н. Парамонов, В.В. Носков, А.В. Кондрашев // Естественные и технические науки. – 2014. – №5. – С.217-223.
3. Зарянкин, А.Е. Результаты экспериментальных исследований модели блока клапанов паровой турбины ЛМЗ мощностью 300...800МВт / А.Е. Зарянкин, А.Н. Парамонов, А.С. Лисянский, А.В. Кондрашев // Тяжелое машиностроение. – 2014. – №7. – С.3-8.