



Министерство науки и высшего образования РФ
«Брянский государственный технический университет»
Кафедра «Турбиностроение»

Выпускная квалификационная работа
на тему: «Спроектировать усовершенствованную
газотурбинную установку мощностью 12 МВт для привода
нагнетателя природного газа»

Студент группы 3-19-ЭМ-гагс-М

Малёмин А.Ю.

Руководитель работы:

к.т.н., доц. Осипов А.В.

Брянск 2022

Введение

В энергетическом балансе России большая роль отводится природному газу. Значительные запасы природного газа в различных районах страны, невысокая себестоимость по сравнению с другими видами энергоресурсов делают его промышленное использование очень перспективным.

Однако невозобновляемость запасов, трудность замены другими видами топлива обязывают изыскивать более рациональные и экономичные пути добычи и использования газа. Очевидно, что развитие газовой промышленности находится в зависимости от совершенствования газопроводов и от энерговооруженности компрессорных станций.

Широкое использование газотурбинных установок при транспорте газа требует постоянного внимания к совершенствованию их конструкции с целью повышения эффективности и надежности работы ГПА.

В проекте разработана ГТУ мощностью 12 МВт для привода нагнетателя природного газа. В ходе проектирования были произведены необходимые тепловые и газодинамические расчеты. В исследовательской части проекта разработаны мероприятия по совершенствованию теплового процесса газогенератора установки и оценке влияния предложенных технических решений на эксплуатационные характеристики ГТУ.

Обоснование выбора конструкции и частоты вращения нагнетателя и турбины

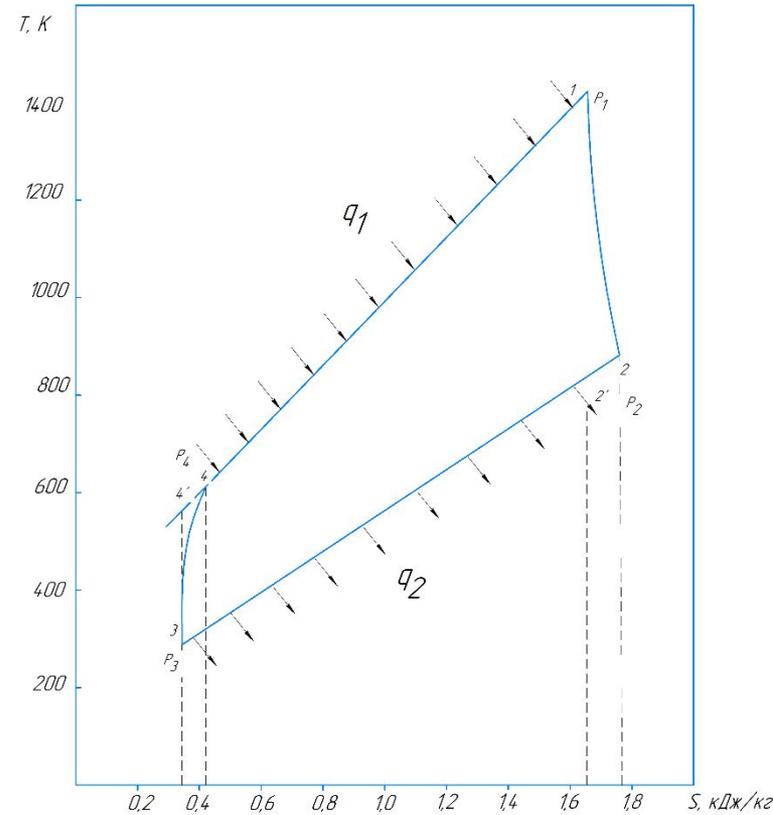
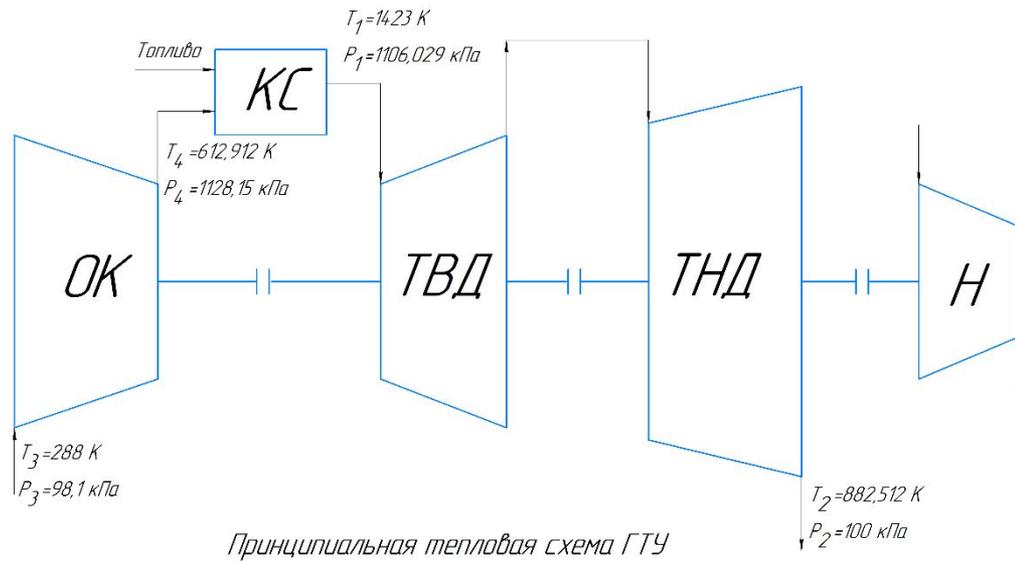
В качестве основы будущего агрегата было решено взять хорошо зарекомендовавший себя и широко используемый осевой компрессор ГТ-6-750, прибавив к нему впереди дополнительно четыре ступени. Они требуются для обеспечения пропуски необходимого расхода воздуха при сохранении размеров облопачивания. При этом частота вращения компрессора составляет 6850 об/мин, а степень сжатия в нем – 11,5.

Для нагнетателя при степени сжатия $\pi_n = 1,45$; также как и для $\pi_n = 1,25$ было решено принять одноступенчатое исполнение, что должно обеспечить производство и сборку на заводе, а также ремонт на станции.

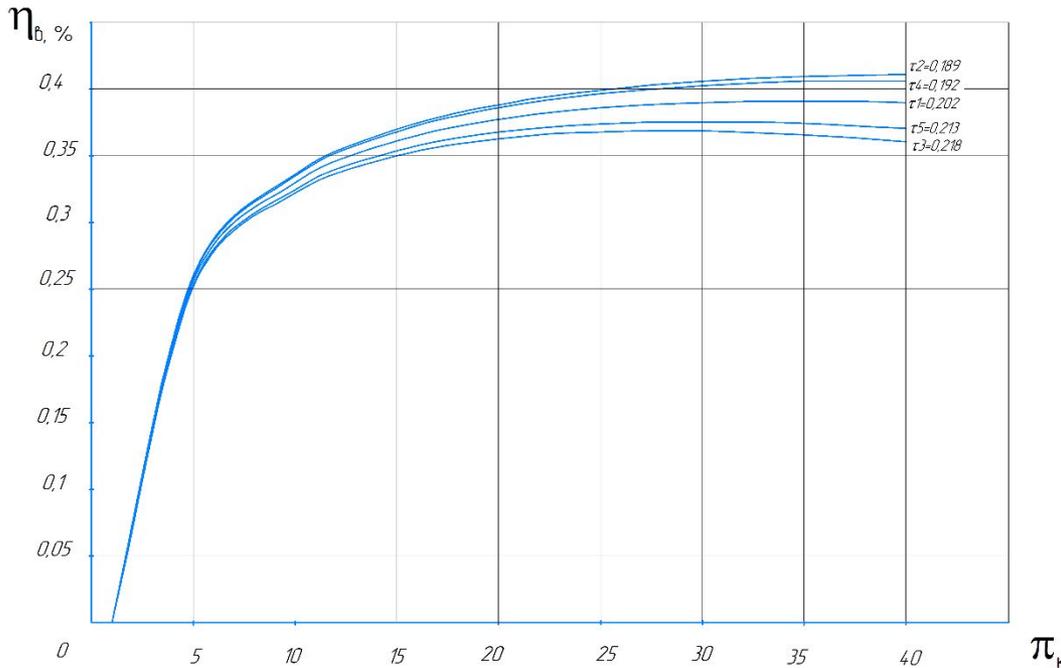
Существенное повышение быстроходности и начальной температуры газа позволило выполнить агрегат на общей раме в виде единого транспортабельного блока.

Эффективный К.П.Д. на муфте силовой турбины составляет 31,1%. Расчетная мощность при температуре газа 1423 К и параметрах атмосферного воздуха 288 К и давлении 103,3 кПа составляет 11758 кВт.

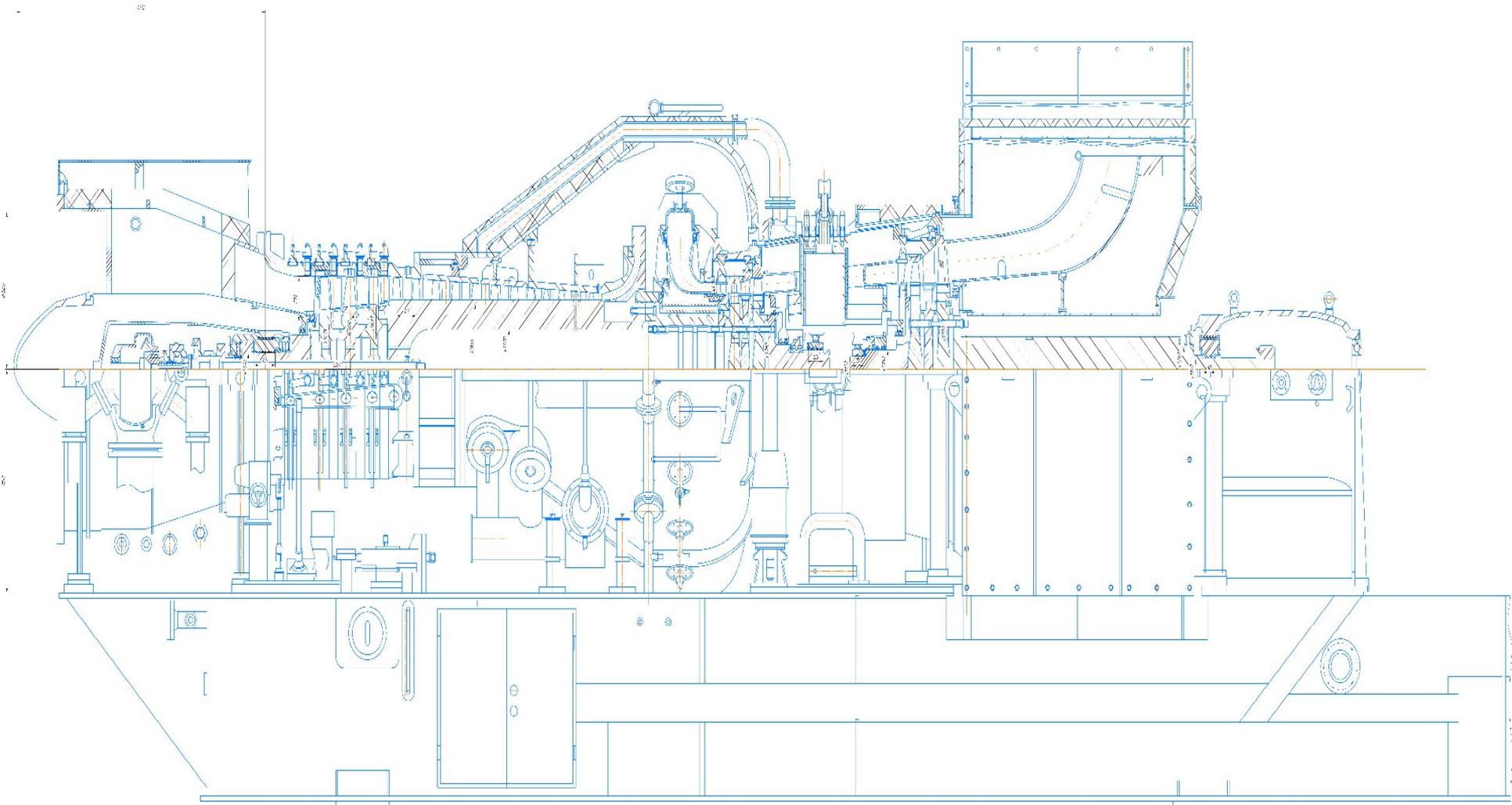
На слайде представлена тепловая схема, процесс в T-S диаграмме для установки простейшего цикла разработанной в проекте, а так же характеристики выбора оптимальной степени повышения давления в соответствии с начальной температурой газов перед турбиной



Цикл ГТУ в T-S диаграмме
 условные обозначения
 ОК – осевой компрессор;
 КС – камера сгорания;
 ТВД – турбина высокого давления;
 ТНД – турбина низкого давления;
 Н – нагнетатель;
 воздух;
 продукты сгорания;
 природный газ (топливо)

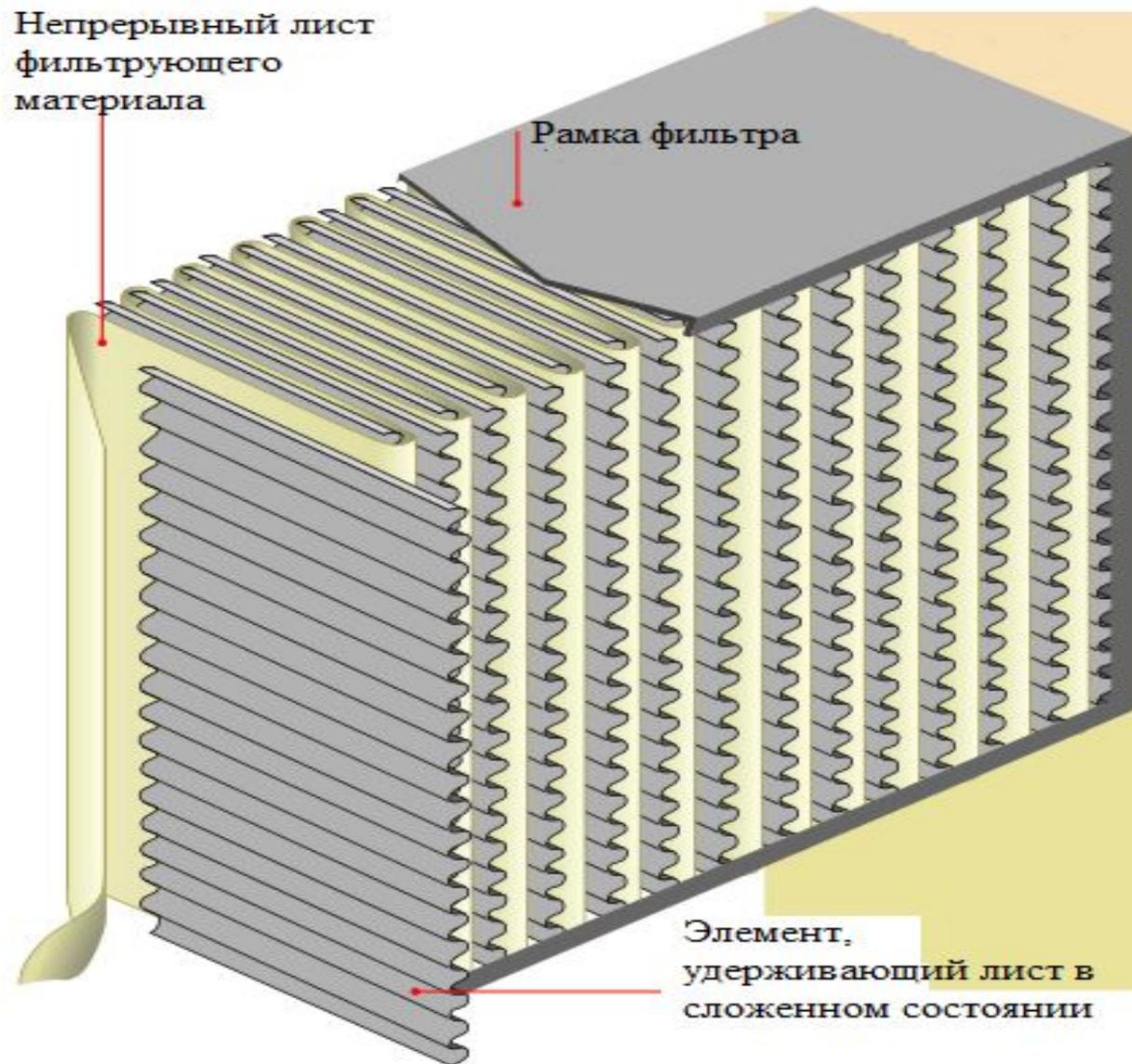


Зависимость относительного КПД ГТУ η_b от степени повышения давления π_k при различных значениях температур воздуха T_3 и газа T_1



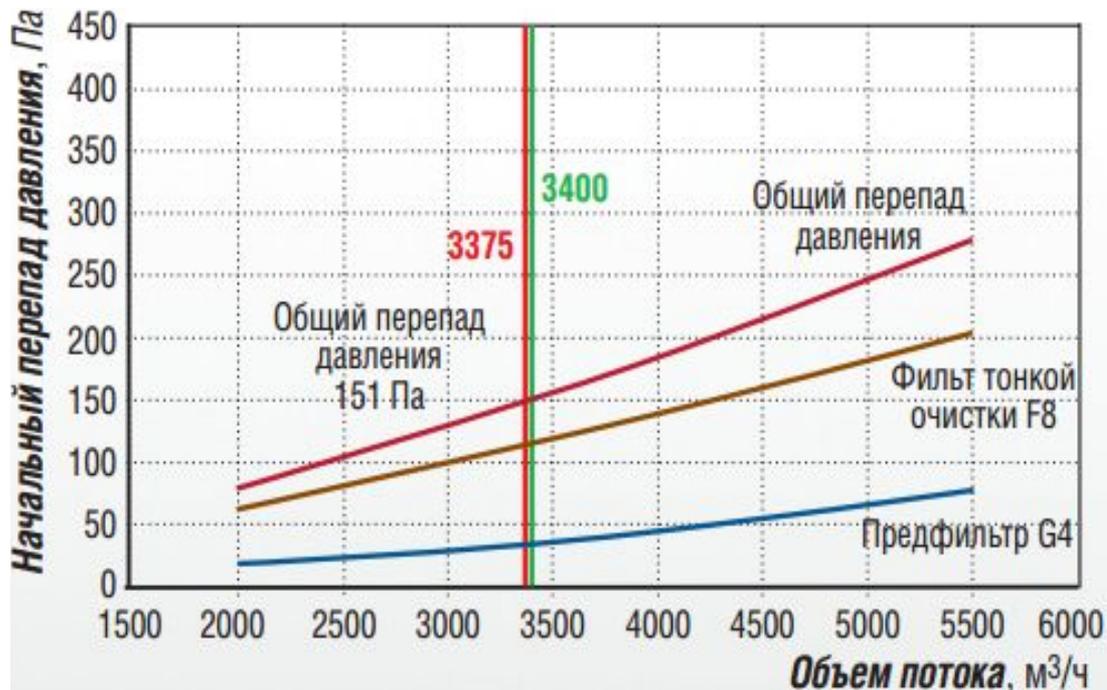
- Газотурбинная установка типа ГТН-16 выполнена по простому открытому циклу, состоит из воздушного компрессора, камеры сгорания, турбин высокого и низкого давления, пускового привода, системы регулирования и рамы-маслобака с вмонтированными узлами системы маслоснабжения и агрегатной частью КИП.
- Воздушный компрессор осевого типа включает в себя 15 ступеней
- Входной направляющий аппарат (ВНА) и направляющие лопатки ступеней «А», «Б», «В» выполнены поворотными для обеспечения запуска ГТУ и устойчивой работы на переменных режимах
- Кольцевая камера сгорания размещена между радиальным диффузором компрессора и обоймой турбины высокого давления (ТВД) в общем корпусе турбоагрегата и крепится к обойме ТВД, образуя с ней единый узел.
- Все элементы ГТУ (компрессор, камера сгорания, ТВД, ТНД и другие узлы) смонтированы в одном корпусе. Он состоит из следующих частей:
 - Корпус входного патрубка.
 - Обойма ПНА.
 - Корпус ТВД.
 - Корпус среднего подшипника.
 - Выхлопная часть.

- В исследовательской части работы рассмотрен ряд важных направлений, связанных с повышением эффективности работы газогенератора.
- На экономичность, надежность, долговечность и экологическую безопасность ГТУ большое влияние оказывает качество воздуха, поступающего в компрессор, а также эффективность работы систем снижения шума и противообледенения
- Одно из направлений исследования посвящено анализу влияния на эксплуатационные характеристики и повышение эффективности работы ГТУ применения фильтров сверхтонкой очистки КВОУ.
- Фильтр изготовлен из длинного листа, образованного системой волокон сложной формы выполненных из стеклопластика (диаметр волокон 0,65-6,5 микрон, расстояние между ними 10-40 микрон), сложенного гармошкой, а также корпуса с элементами, удерживающими лист в сложенном состоянии (чертеж).
- Фильтры рассчитаны на фильтрацию малых частиц до 0,1 мкм. Эти частицы улавливаются волокнами при помощи следующих механизмов: эффект зацепления, эффект инерции, эффект диффузии

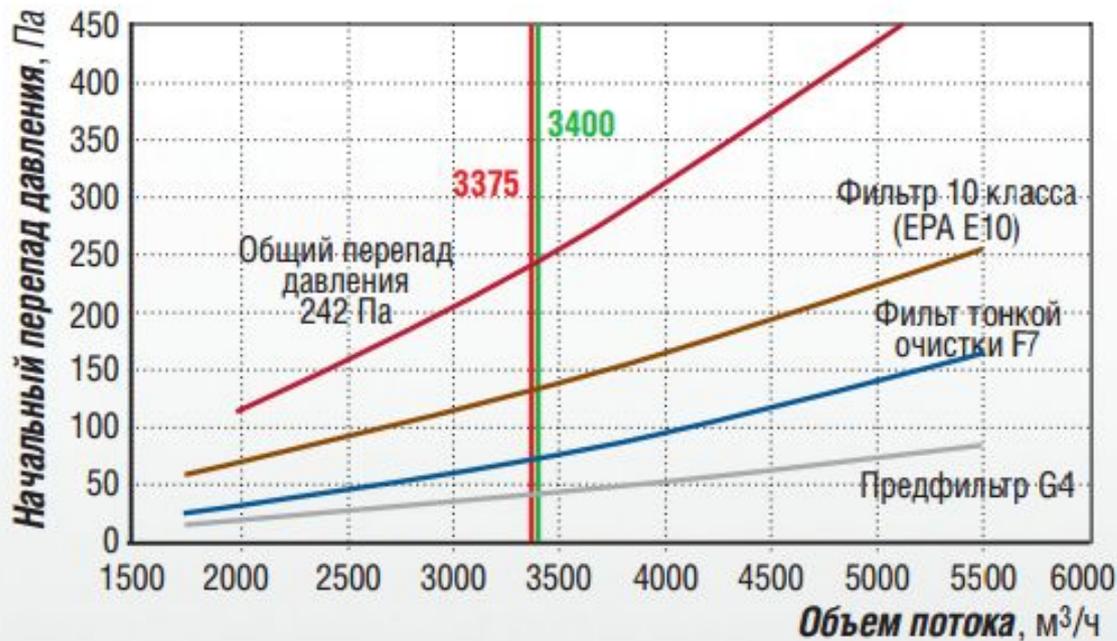


Фильтр сверхтонкой очистки

- Усовершенствованное КВОУ, включающее три ступени (фильтры класса G4/F8/E11), обеспечивает эффективность до 96,94 % и соответственно улавливаемое количество пыли больше почти вдвое 1115,59 кг. При этом для расчетов принимались следующие условия: „
- - поток в ГТУ – 450 м³ /с; „
- - наработка/год – 8200 ч; „
- - ожидаемая степень загрязнения для частиц размером менее 10 мкм (PM10) – 85 мкг/м³ .
- Эксплуатационные характеристики также зависят от потери давления в системе воздухозабора, из графиков видно, что установка фильтров сверхтонкой очистки незначительно влияет на перепад давления ГТУ.
- В результате был сделан вывод, что фильтры сверхтонкой очистки КВОУ ГТУ значительно влияют на изменение технических характеристик в процессе эксплуатации газотурбинного двигателя. Внедрение комплексного подхода при эксплуатации КВОУ ГТУ позволяет минимизировать эксплуатационные и ремонтные затраты.

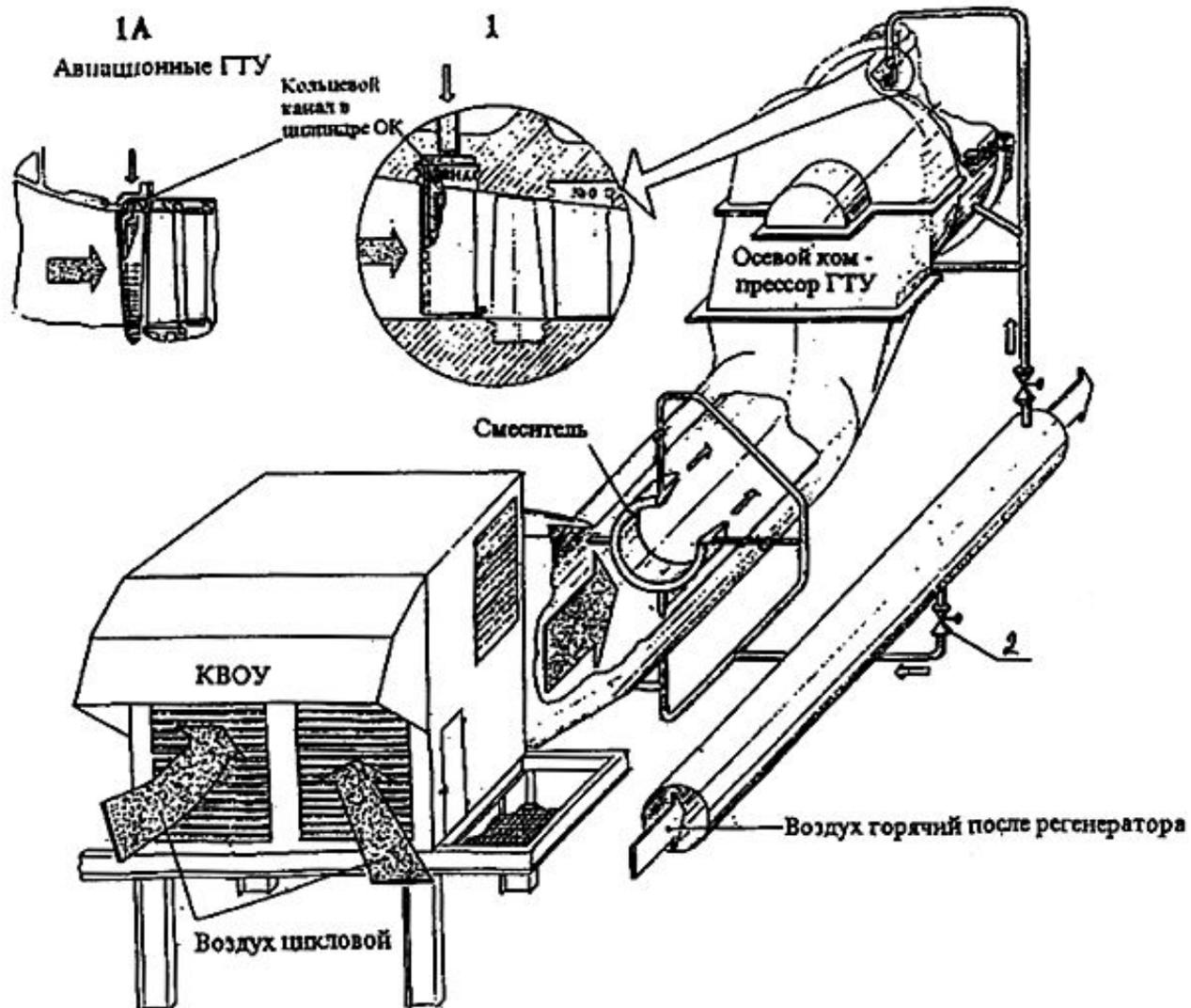


Графики изменения перепада давления на предварительном фильтре класса G4/ фильтре тонкой очистки класса F8



Графики изменения перепада давления на предварительном фильтре класса G4/ фильтре грубой очистки класса F7 и фильтре сверхтонкой очистки класса E10

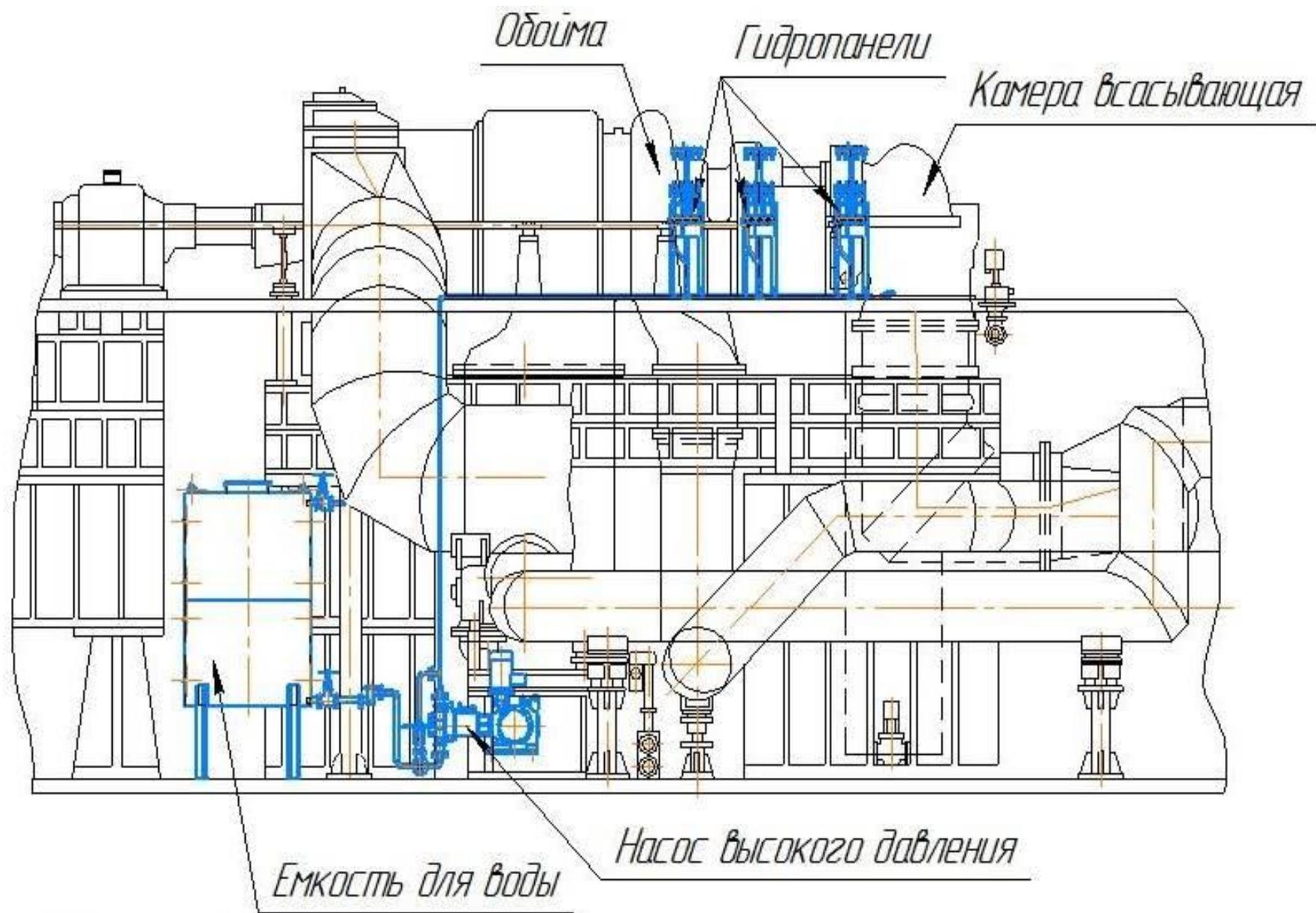
- Кроме основного своего назначения – очистки поступающего наружного воздуха, комплексное воздухоочистительное устройство обеспечивает снижение уровня шума в районе воздухозаборной камеры, возникающего при работе осевого компрессора. Блок шумоглушения должен обеспечить согласно нормам СН1004-74 снижение уровня шума до величины порядка 75-80 дБ на частоте 1 кГц.



Система подогрева циклового воздуха

- Подогрев горячим воздухом, отбор которого осуществляется из воздухопровода за осевым компрессором или регенератором ГТУ. Эта схема обычно используется при эксплуатации стационарных и импортных ГТУ;
- При использовании первой схемы для смешивания горячего и циклового воздуха используют специальные устройства - смесители. Место расположения смесителей и их конструкция зависят от типа агрегата. Так на агрегатах ГТК-10, ГТ-750-6 используют смесители кольцевого типа, устанавливаемые на всасывающем трубопроводе осевого компрессора
- Горячий воздух подается на смеситель по четырем подводам с дроссельными шайбами, регулирующими расход. Схема обвязки обеспечивает отбор горячего воздуха после регенераторов в равной степени из левого и правого трубопроводов. Электроприводная задвижка 2, регулирующая расход горячего воздуха, управляется с ГЩУ. Конструкция смесителя обеспечивает качественное перемешивание горячего воздуха из кольцевого канала коллектора смесителя и всасываемого холодного воздуха, что снижает неравномерность температурного поля воздушного потока перед осевым компрессором.

- Исследования по впрыску воды перед компрессором и в его проточную часть получили широкое распространение в мировой энергетике как один из весьма эффективных способов улучшения параметров работы газотурбинных установок (ГТУ).
- с помощью усовершенствования разработанного авторами ранее комплекса программ для расчета термодинамических и экологических характеристик газотурбинной установки показать возможности улучшения показателей установок при организации оптимального впрыска воды на входе в компрессор и в его проточную часть.
- Установка впрыска воды в осевой компрессор предназначена для:
 - промывки проточной части осевого компрессора,
 - повышения мощности ГТУ (планируемое увеличение мощности ГТУ на 20...25%),
 - увеличения КПД, (планируемое увеличение КПД на 3...5%),
 - снижения количества окислов азота (планируемое снижение количества окислов азота на 30...40%).



Общий вид установки

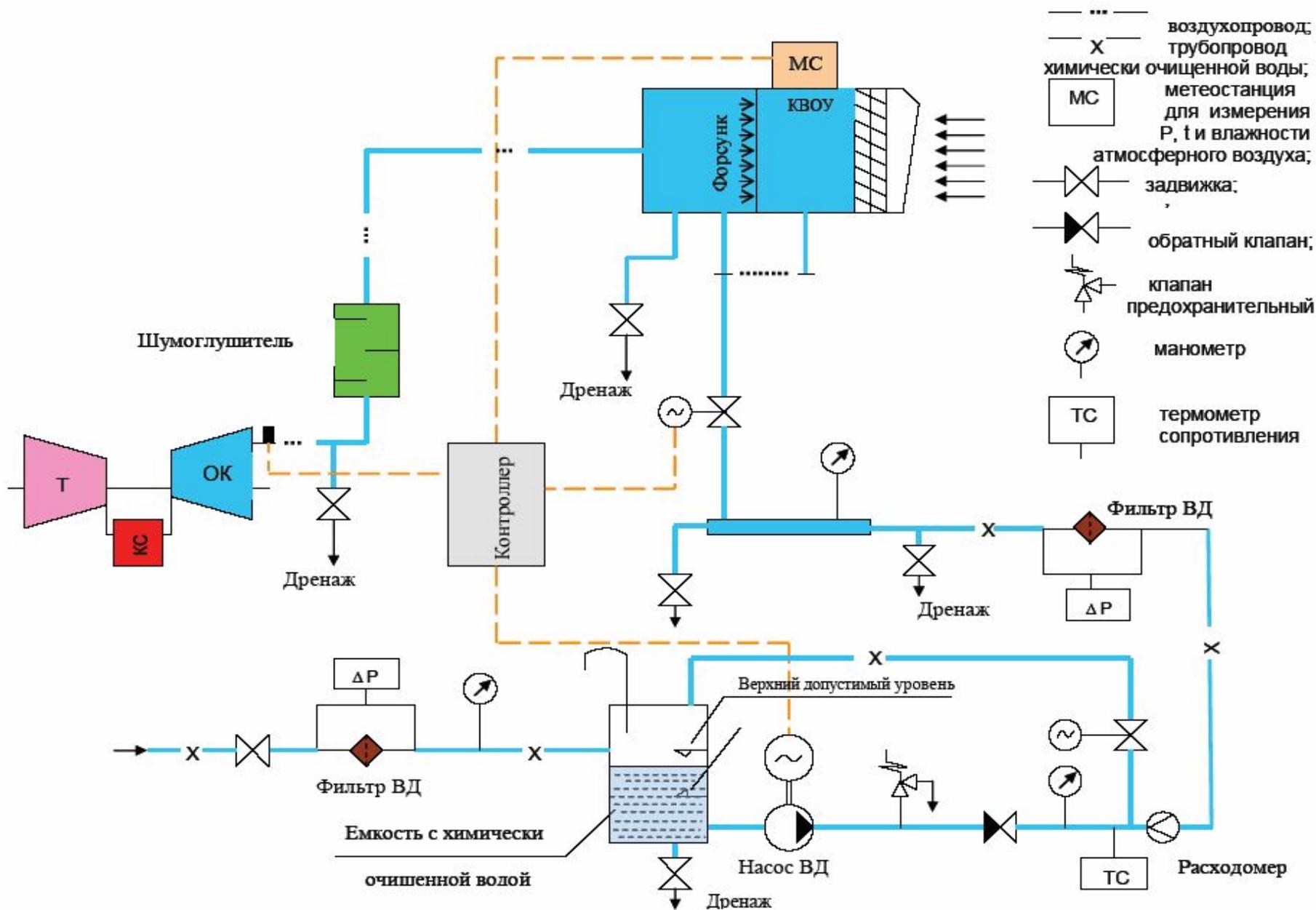
- **Установка состоит из следующих узлов и агрегатов:**

- емкость для воды,
- насос высокого давления,
- клапан предохранительный,
- три гидропанели,
- трубопроводы всасывающий и нагнетающий,
- фильтр сетчатый,
- рукава высокого давления, клиновые задвижки, манометры и шаровые краны.

-

- Впрыск воды осуществляется при температуре окружающего воздуха выше 5°C через сопла в проточную часть на статорные лопатки ВНА, 3^ю и 7^ю ступень компрессора. Общее количество сопел 12 штук, по 3 сопла на каждую ступень. На лопатки ВНА и 3^й ступени впрыск производится через сопла с разными углами впрыска. На лопатки 7^й ступени впрыск производится через сопла с углом впрыска 90°

- Применение предлагаемой системы позволяет реализовать комплексно проблемы борьбы с обледенением и впрыска влаги на вход осевого компрессора.
- На основе анализа литературных источников, посвященных вопросам влияния процессов обледенения элементов ВЗТ на работу энергоустановок, а также методы предотвращения обледенения, реализованные в технических решениях других авторов позволили разработать конструкцию ВЗК для охлаждения циклового воздуха, поступающего в компрессор ГТУ, обеспечивающая равномерный обогрев каналов ВЗТ по всей площади размещения фильтрующих элементов и, как следствие, создающую равномерную структуру потока на входе в лопаточный аппарат осевого компрессора.



Технологическая схема системы «Туман»

- «Туман» для испарительного охлаждения воздуха является более эффективной по сравнению с обычными испарительными системами и находят все большее применение в ГТУ.
- Основные преимущества системы «Туман»:
- обеспечивают ~ 0,7 % прирост мощности на каждый 1,0 °С снижения температуры воздуха перед ОК;
- малое место для размещения в КВОУ и незначительные потери давления воздуха;
- минимальное время на установку;
- легкость модернизации - отсутствие структурных изменений в КВОУ.
- Недостатки системы «Туман»:
- большое количество форсунок с мелким распылом (расход одной форсунки 0,15 - 0,17л /мин);
- затруднения в обеспечении точного регулирования подачи воды для 95 % насыщения воздуха перед ОК.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе разработана газотурбинная установка мощностью $N=12$ МВт. Произведен тепловой расчет данной установки, подсчитан технико-экономический эффект. Предложен путь усовершенствования установки путем внедрения высокоэффективных фильтров сверхтонкой очистки в КВОУ. Внедрение комплексного подхода при эксплуатации КВОУ ГТУ позволяет минимизировать эффект «упущенной выгоды» и снизить эксплуатационные и ремонтные затраты. Нельзя забывать, что это внедрение требует тщательного проектирования, испытания и расчетов.

Также рассмотрено форсирование стационарных газотурбинных установок оптимальным впрыском воды в компрессор. Исследования по впрыску воды перед компрессором и в его проточную часть получили широкое распространение в мировой энергетике как один из весьма эффективных способов улучшения параметров работы ГТУ. Положительное воздействие впрыска обусловлено увеличением мощности и коэффициента полезного действия ГТУ вследствие испарительного охлаждения воздуха в процессе его сжатия в компрессоре, промывки лопаток компрессора от отложений и уменьшения выбросов окислов азота NO_x с уходящими газами.

**Спасибо за
внимание!**