

**Соглашения о предоставлении субсидии  
№14.574.21.0013 от 17 июня 2014 г.  
(с дополнительным соглашением от 07 мая 2015 г. № 2)**

**Тема:** Повышение энергетической эффективности котельных путем разработки и внедрения автоматизированной системы управления и новой термоэлектрической установки

**Исполнитель:** федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» (КазГАСУ)

**Индустриальный партнер:** ООО «Эталон МКС»



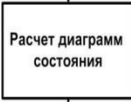
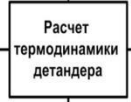
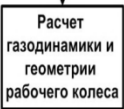
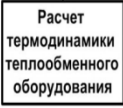
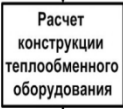
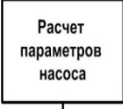
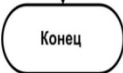
**Руководитель:**

д.т.н., проф., зав. каф. «Теплоэнергетика» Садыков Ренат Ахатович

## Полученные результаты за 2015г. согласно план-графику за этап №2

### Алгоритм расчета технологических параметров и основных конструктивных элементов термоэлектрической установки.

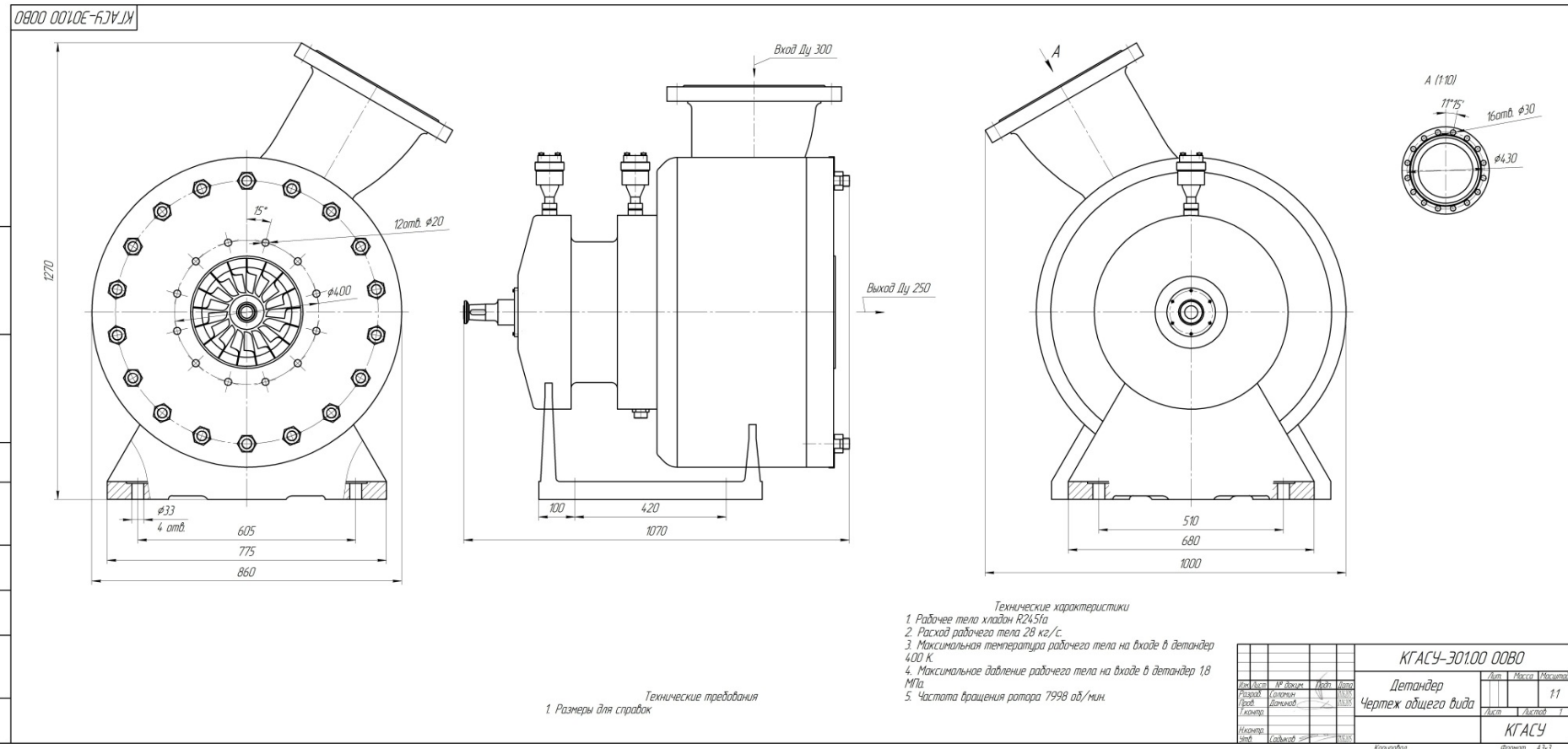
Разработан алгоритм расчета технологических параметров и основных конструктивных элементов термоэлектрической установки. Алгоритм позволяет с наименьшим количеством операций получить технологические и конструктивные параметры для дальнейшего применения при конструировании и изготовлении оборудования установки. Методики, включенные в алгоритм, опираются на базовые физические зависимости из отрасли турбо- и компрессоростроения, проектирования теплообменного оборудования. При соблюдении цепочки расчета входных и выходных данных алгоритм связывает исходные данные и результат для всех аппаратов ОРЦ-установки.

Этап проектирования	Процесс, действие	Результат
1. Определение исходных данных для проектирования, расчет технологической схемы котельной		Исходные данные для проектирования: - температура - расход - количество теплоты - электрическая мощность
2. Подбор рабочего тела для ОРЦ контура		Массовые доли компонентов, физические свойства рабочего тела: - в критической точке - в диапазоне применения - на линиях насыщения
3. Расчет диаграммы состояния рабочего тела в контуре ОРЦ для определения параметров точек, входных и выходных для аппаратов		Количество точек, термодинамические параметры в точках цикла: - температура - давление - энтальпия - плотность
4. Определение параметров газа в точках в рабочем объеме детандера, определение технологических параметров – исходных данных для конструктивных и геометрических параметров рабочего органа		Параметры газа в детандере, параметры условия безотрывности течения, исходные данные для расчета геометрии: - скорость - давление на выходе - степень реактивности Исходные данные для расчета теплообменного оборудования: - температуры - давления - массовые расходы
5. Расчет геометрических параметров рабочего органа		Геометрические параметры рабочего колеса для профилирования: - диаметр колеса - ширина колеса - диаметр выходной воронки - углы лопатки
6. Тепловой расчет теплообменного оборудования		Параметры рабочего тела на входе и выходе из теплообменного оборудования: - температура - давление
7. Конструктивный расчет теплообменного оборудования		Конструктивные параметры теплообменников: - площадь поверхности теплообмена - количество труб - диаметр кожуха - диаметры патрубков
8. Расчет рабочей точки насоса, подбор насоса по рабочей точке		Параметры насоса в рабочей точке
9. Увязка массового расхода и теплового баланса в контуре ОРЦ		Проверка массового баланса

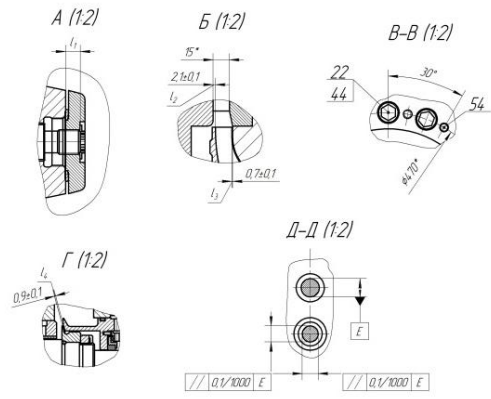
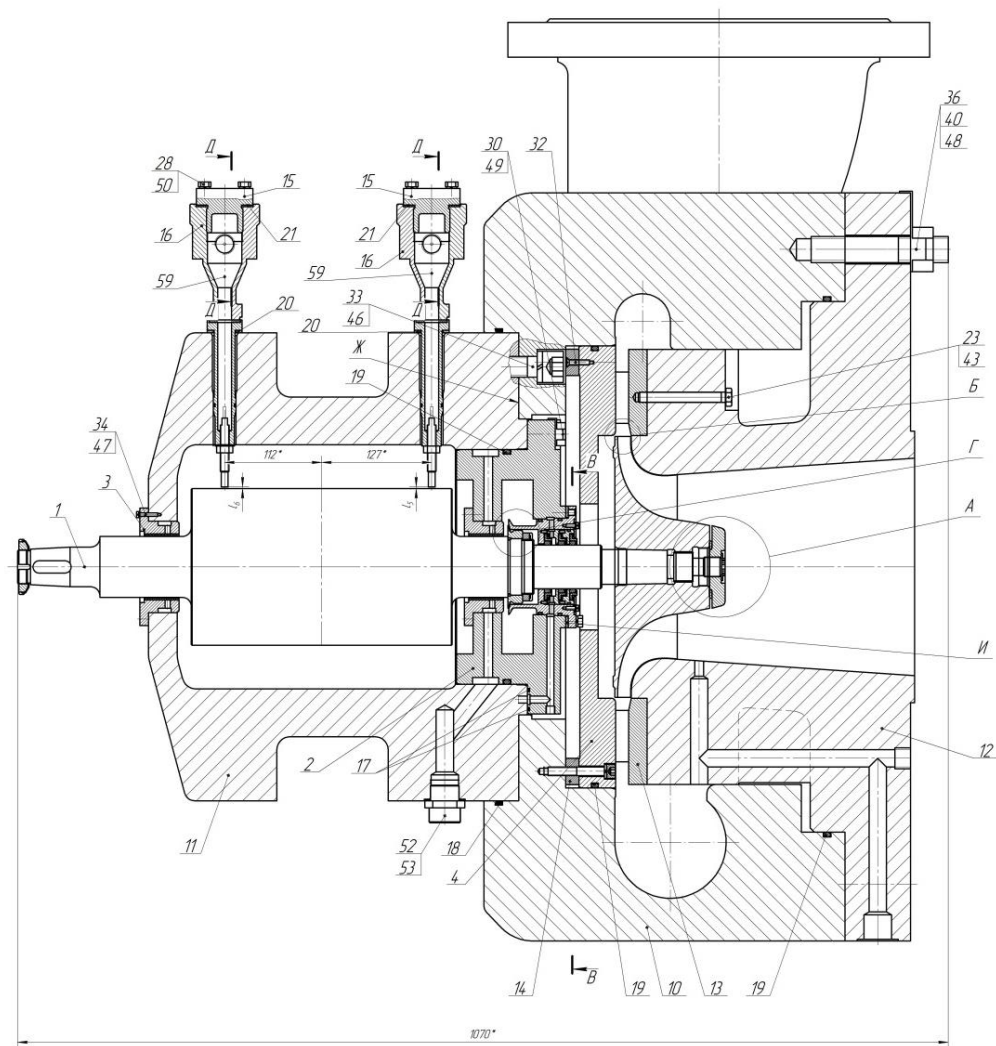


## Эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец термоэлектрической установки.

Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец детандера термоэлектрической установки. По проведенным исследованиям определены основные геометрические параметры рабочего колеса полуоткрытого осерадиального типа и детандера. Данный детандер наиболее эффективен для установки номинальной электрической мощностью 350 кВт, которой соответствует максимальное электропотребление котельной г.Казани ОАО «Казэнерго». При этом, детандер с рабочим колесом осерадиального типа, обладает достаточной эффективностью при работе на хладоне R245fa в условиях эксплуатации водогрейных котельных установок.



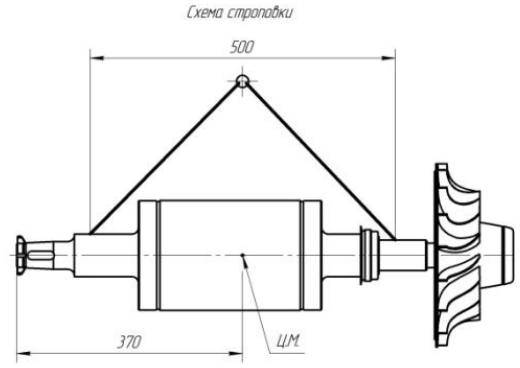
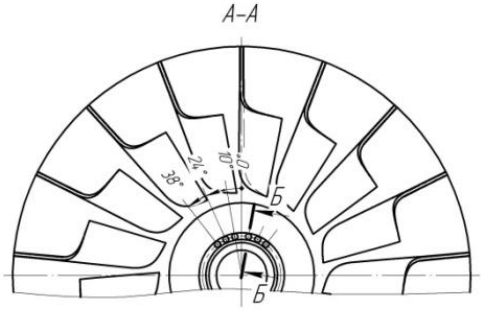
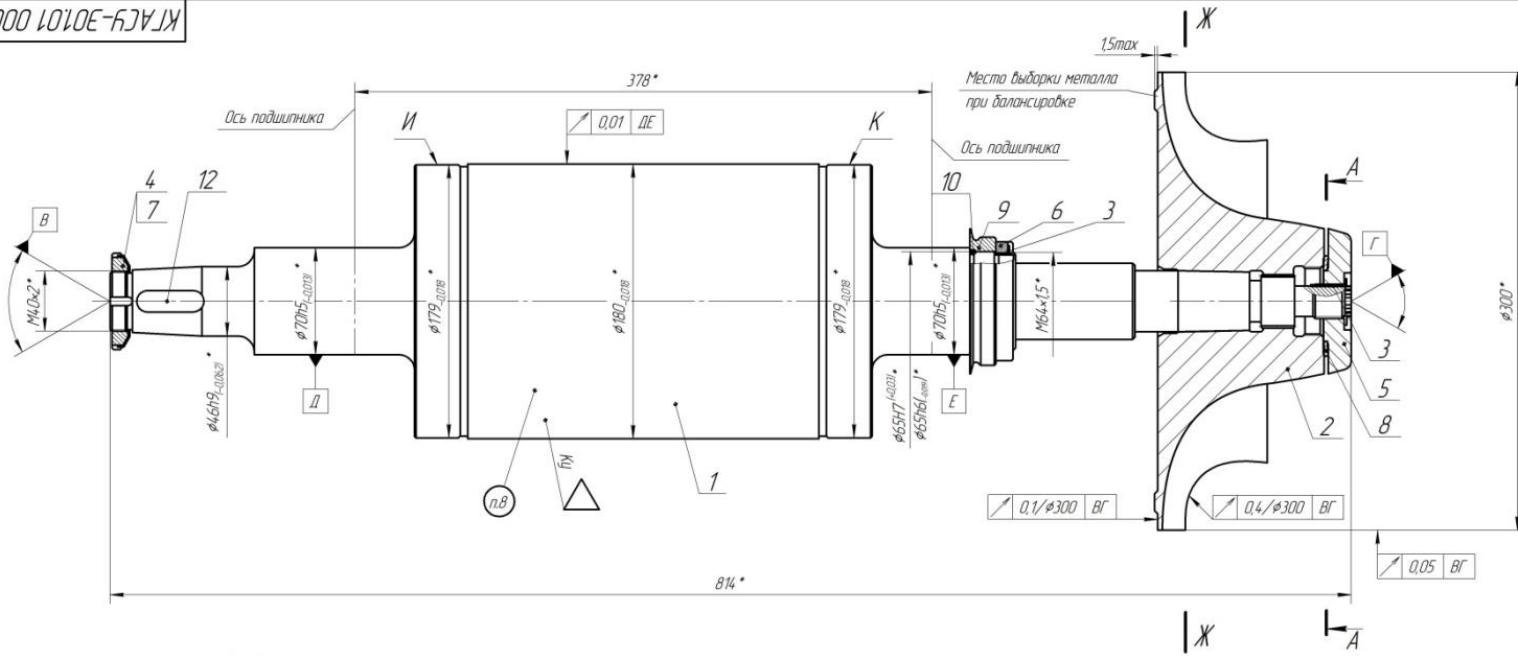
Детандер термоэлектрической установки. Чертеж общего вида



1. Размеры для справок.
2. Неуказанные предельные отклонения размеров - IT16/2.
3. Поверхности сопрягаемых деталей должны быть очищены от абразивных частиц и продуктов коррозии.
4. Поверхность Ж уплотнить герметиком поаз.64.
5. При сборке колец поверхность мест установки сопрягаемых деталей смазать маслом ИС-40 ТУ 38.101763-99.
6. При сборке не допускаются скручивание, механические повреждения и порезы колец.
7. Зазор  $l_1$  получить обработкой поверхностей втулок поз.13.
8. Зазор  $l_2$  получить обработкой поверхности шайб И.
9. Зазор  $l_3$  получить обработкой поверхности втулки поз.14.
10. Размеры  $l_5, l_6$  выставлять в соответствии с руководством по эксплуатации на датчики давления.
11. После насадки колеса по требованию чертежа ротора поз.1 занести в формуляр размеры  $l_1$ .
12. Корпус компрессора испытать на плотность избыточным давлением воздуха 2.0 МПа (20 кгс/см<sup>2</sup>) в течение 10 минут.
13. Пластирование наружных резьбовых поверхностей нанесением на один из валовых соединений непрерывной полосы шириной 2-6 мм эмалью ПЭ-115 красной ГОСТ 6465-76.

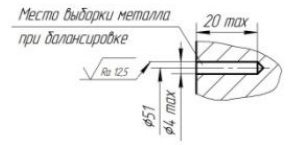
				<b>КТАСУ-Э0100 Д0СБ</b>			
				<b>Корпус в сборе</b>			
				<b>Сборочный чертеж</b>			
Изм.	Лист	№ Алюмин	Габр.	Дата	Исполн.	Масса	Контроль
1	1			03.03.19		12.5	
Дизайн	Конструктор	Проверка	Утверждение	03.03.19			
Лист	Листов						
1	1						
				КТАСУ			
				Формат А1			

Детандер термоэлектрической установки. Сборочный чертеж



- \* Размеры для справок.
- Неуказанные предельные отклонения размеров  $\pm IT16/2$ .
- Колеса поз. 2 насадить на вал поз. 1, предварительно повернув их в сторону, противоположную направлению вращения, до упора в шлицы вала поз. 1. Колеса насадить на вал с помощью приспособления, обеспечивающего осевое перемещение колеса относительно вала 12-168 мм.
- Гайку поз. 3 установить и снимать специальным приспособлением.
- Перед балансировкой ротора гайку поз. 5 затянуть до упора, исключив зазор между гайкой и пружинным кольцом поз. 8 шуп 0,05 мм проходить не должен, после чего гайку отвернуть до совпадения ближайшего паза со стороны пластины поз. 3. Положение гайки обозначить рисками.
- Ротор балансировать динамически. Допустимый дисбаланс в плоскостях коррекции Ж-Ж 2 г·см. Дисбаланс устранять снятием металла с рабочего колеса в местах указанных на чертеже. При снятии металла прижоги не допускаются.
- Поверхности И и К проверить на электрическую неоднородность и

Б-Б (1:1)



отклонение формы в соответствии с инструкцией для определения электрической неоднородности, суммарная погрешность не более 10 мкм. Допускается обработка поверхностей И и К на глубину не более 0,3 мм с шероховатостью  $\sqrt{Ra}16$ .

8. Маркировать электрографическим способом обозначение чертежа и заводской номер изделия.  
Шрифт Б-5 ГОСТ 2.304-81.

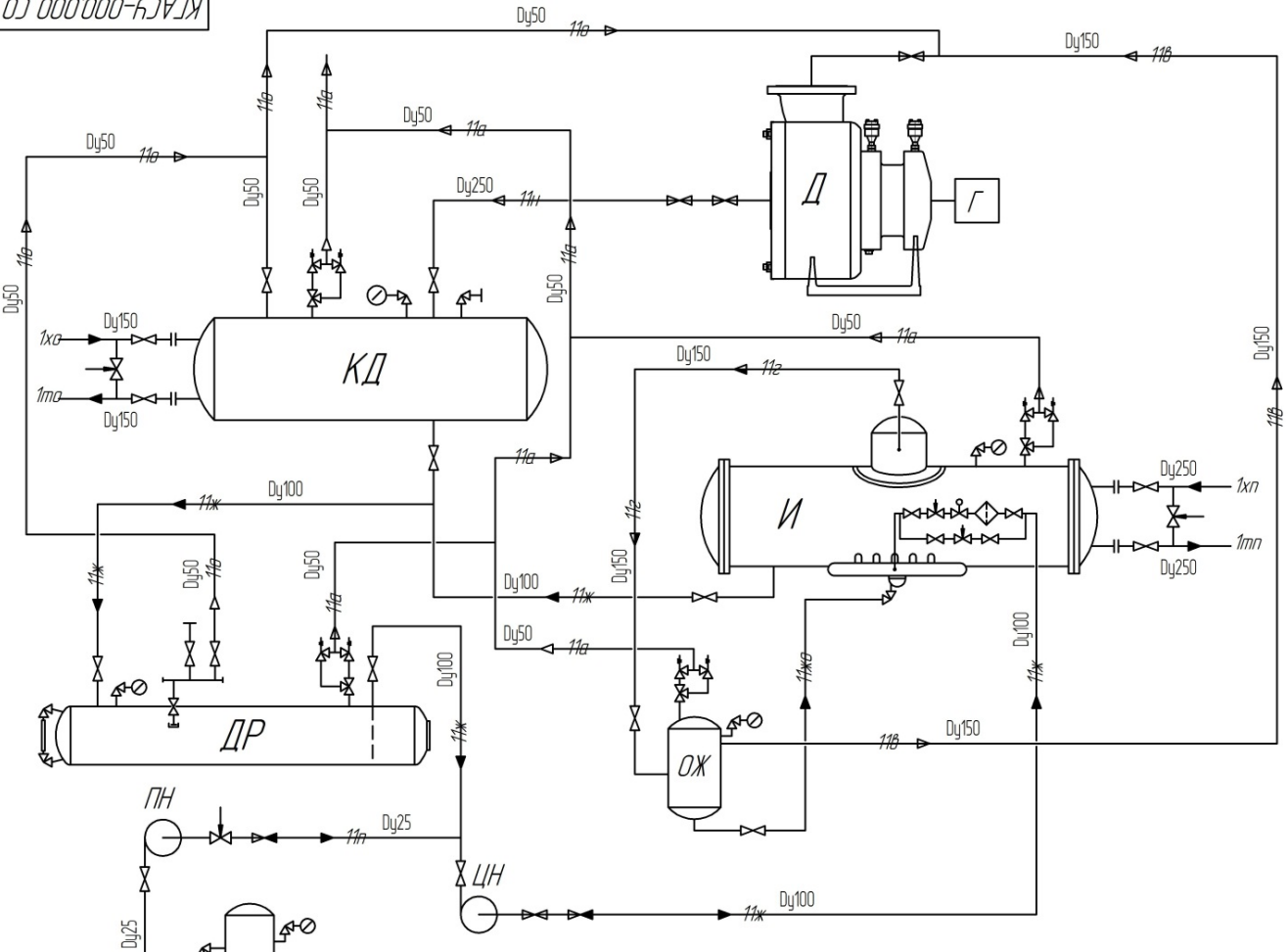
КГАСУ-301.01 ООСБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Дата
Разраб.	Соловьев	08.09.05	08.09.05
Проб.	Долженков	08.09.05	08.09.05
Т.контр.			
Н.контр.			
Чит.	Сидяков	08.09.05	08.09.05
Ротор Сборочный чертёж			
Лист	Масса	Масштаб	
	67	1:2	
Лист		Листов	
1		1	
КГАСУ			
Копировал			
Формат А2			







Лист № докум. 1/01  
 Дата 01.08.2015  
 Изм. № 1  
 Дата 01.08.2015  
 Лист 1 из 1



Экспликация оборудования

Условное изображение	Наименование
Б	Бак запаса хладона
Г	Генератор
Д	Детандер
ДР	Дренажный ресивер
И	Испаритель
КД	Конденсатор
ОЖ	Отделитель жидкости
ПН	Подпиточный насос
ЦН	Циркуляционный насос

Условные обозначения трубопроводов

Условное изображение	Наименование
11и	Трубопровод хладона нагнетательный
11ж	Трубопровод хладона жидкостной
11б	Трубопровод хладона всасывающий
11а	Трубопровод хладона аварийный
11г	Трубопровод газообразного хладона
11в	Трубопровод отсоса паров хладона
11к	Трубопровод обратного жидкого хладона
11п	Трубопровод подпитки хладона
11кв	Трубопровод холодной обратной воды, подающий
11тв	Трубопровод тепловой обратной воды, отдающий
11кп	Трубопровод холодной подающей воды, подающий
11тп	Трубопровод тепловой подающей воды, отдающий

Условные обозначения арматуры

Условное изображение	Наименование	Условное изображение	Наименование
— —	Соединение фланцевое	—◇—	Фильтр
— / —	Вентиль запорный углового цапкового	— / / —	Вентиль запорный с приводом
— / —	Вентиль запорный проходной	—▶—	Направление движения жидкости
— / / —	Вентиль регулирующий	—▷—	Направление движения газа
— / / / —	Клапан предохранительный	—○—	Манометр
— / / / / —	Клапан обратный		

КТАСУ-000.000 СО				Копировал		
Изм.	Лист	№ докум.	Лист	Дата	Масштаб	
Разраб.	Соловьев	Лист	1/01	01.08.2015	1:1	
Проб.	Соловьев	Лист	1/01	01.08.2015		
Т.контр.						
И.контр.						
Этп.	Соловьев			01.08.2015		
Схема гидравлическая совмещенная				Лист	Масса	Масштаб
				1	-	1:1
				Лист	Листов	1
				КТАСУ		
				Формат А2		

Совмещенная схема термоэлектрической установки. Схема гидравлического совмещения

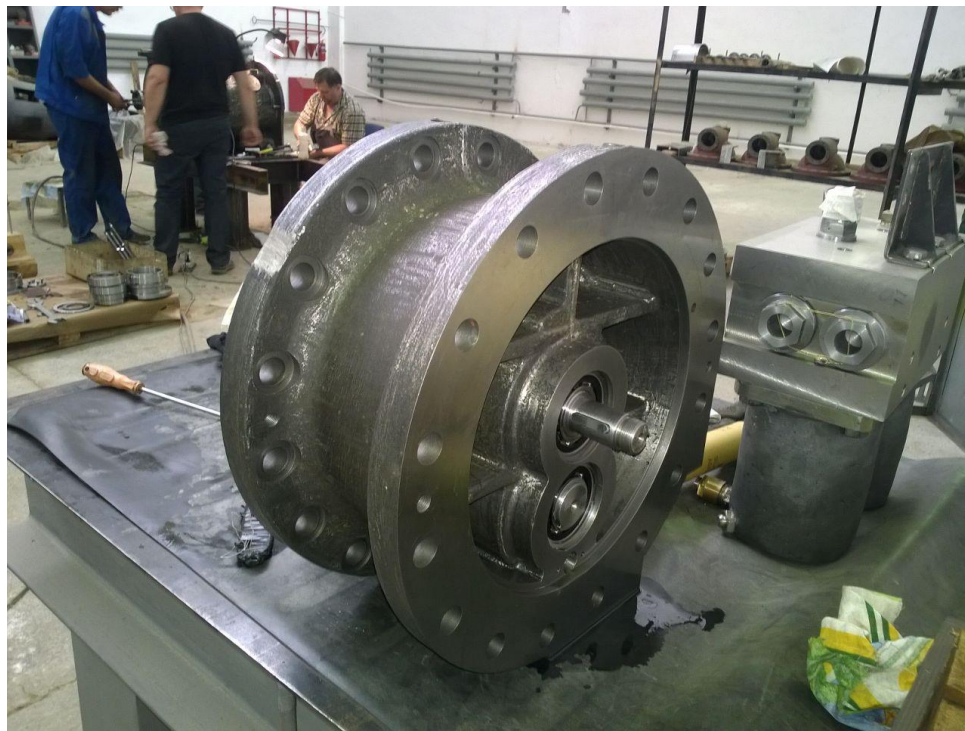
## Программа и методика проведения испытаний экспериментального образца термоэлектрической установки.

Разработаны программа и методика проведения испытаний экспериментального образца рабочего колеса детандера термоэлектрической установки. Определены условия проведения испытаний и параметры, определение которых является результатом испытаний. Приведены методы испытаний, а также указаны правила выполнения измерений и расчетные формулы для обработки результатов испытаний. Определена форма протокола с результатами испытаний.

Испытания проводятся с целью определения степени снижения давления с помощью рабочего колеса. Испытания проводятся на экспериментальном стенде (разгонной камере), позволяющем осуществлять регулирование расхода рабочего тела и выводить экспериментальный образец на режим, соответствующий рабочей области, при установленных параметрах рабочего тела. Допускается проводить экспериментальные исследования на воздухе для достижения давлений на входе и выходе из камеры и рабочей частоты вращения ротора (рабочего колеса). При этом стенд должен быть оборудован системой измерения температур, давлений и расходов рабочего тела.

Параметры, измеряемые при испытаниях.

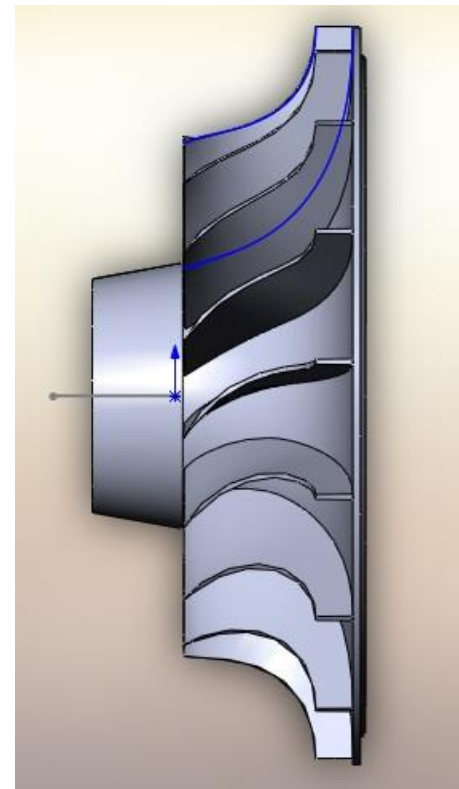
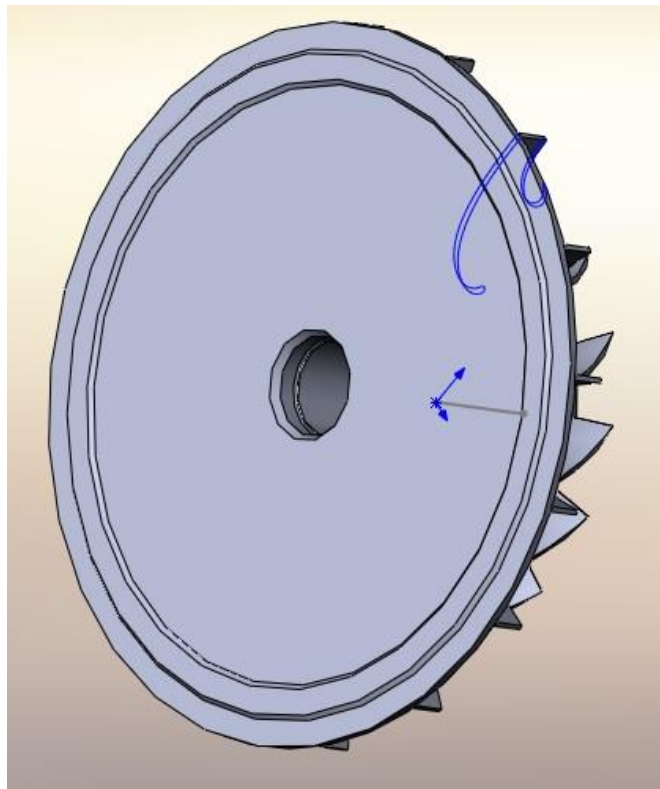
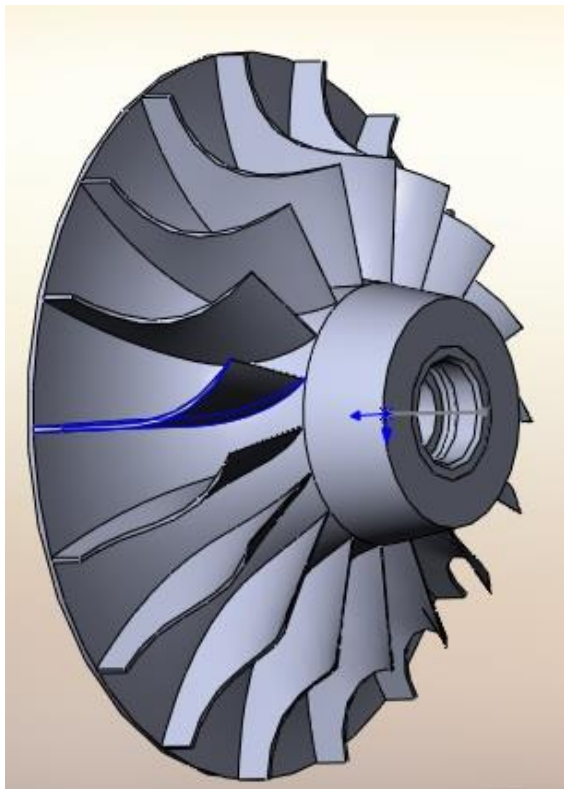
Наименование параметра		Предельная погрешность измерения
1.	Наружный диаметр колеса, мм	$\pm 0,1$
2.	Максимальное число оборотов ротора, об/мин	$\pm 1,0$
3.	Максимальная степень понижения давления при максимальной частоте вращения	$\pm 0,5$
4.	Максимальная допустимая температура рабочего тела перед детандером, °C	$\pm 0,5$



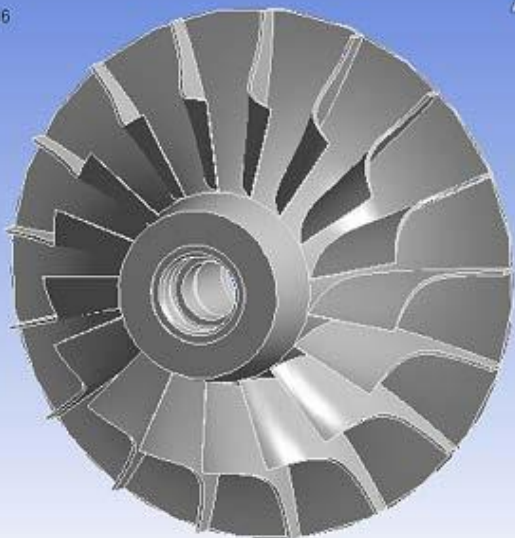
Разгонная камера для испытаний рабочего колеса детандера термоэлектрической установки

### Изготовление экспериментального образца рабочего органа детандера термоэлектрической установки.

Изготовлен экспериментальный образец рабочего органа детандера термоэлектрической установки. Составлен акт изготовления экспериментального образца. Рабочее колесо был изготовлен согласно чертежу КГАСУ-Э01.01 02. Рабочее колесо является основным рабочим органом детандера термоэлектрической установки.







0.000 0.100 (m)  
0.050



УТВЕРЖДАЮ

Ректор КазГАСУ

« 24 » 06 2015 г.

Р.К. Низамов



УТВЕРЖДАЮ

Директор  
ЗАО «НПП «Компрессор»

« 27 » 06 2015 г.

С.И. Сосков



АКТ № 1

изготовления объекта испытаний

Экспериментальный образец рабочего колеса детандера термоэлектрической установки

Соглашение с Минобрнауки России  
от «17» июня 2014 г. № 14.574.21.0013

« 27 » июня 2015 г.

Комиссия в составе:

Председатель	Зам. директора по развитию	Еранов Андрей Павлович
члены комиссии	Главный конструктор	Смагин Владимир Михайлович
	Ведущий инженер-конструктор	Соломин Илья Николаевич

назначенная приказом по ЗАО «Научно-Производственное предприятие «Компрессор» от 24 июня 2015 г. № 27, в период с «23» июня 2015 г. по «27» июня 2015 г. проверила факт изготовления объекта испытаний.

**1. Комиссии предъявлены:**

- 1.1. Оборудование для экспериментального стенда (колесо рабочее). Экспериментальный образец рабочего колеса детандера термоэлектрической установки (далее - Объект испытаний) в количестве 1 шт.
- 1.2. Техническое задание на изготовление рабочего колеса детандера термоэлектрической установки.
- 1.3. Чертеж КГАСУ-Э01.01.02

**2. В результате проверки установлено:**

2.1. Объект испытаний изготовлен ЗАО «Научно-Производственное предприятие «Компрессор» в период с «24» июня 2015 г. по «27» июня 2015 г. в соответствии с Техническим заданием и чертежом КГАСУ-Э01.01.02 в комплектности, установленной Техническими требованиями на их изготовление (договором на изготовление и поставку от «23» июня 2015 г. № К/ПА-012/2015)

**3. Вывод**

Объект испытаний пригоден для проведения испытаний на экспериментальном стенде или промышленном образце детандера.

Председатель комиссии

Члены комиссии

Еранов А.П.

Смагин В.М.

Соломин И.Н.



**Испытания экспериментального образца рабочего органа детандера термоэлектрической установки.**

Проведены испытания экспериментального образца рабочего органа детандера термоэлектрической установки. Результаты испытаний соответствуют техническим требованиям и характеристикам испытаний. На основании результатов испытаний сделано заключение о разрешении применения экспериментального образца в качестве рабочего органа детандера термоэлектрической установки. Составлен акт и протокол испытаний экспериментального образца.



Испытательный стенд детандера термоэлектрической установки

АКТ № 1  
испытаний экспериментального образца

«30» июня 2015 г.

Закрытое Акционерное Общество «Научно-Производственное предприятие «Компрессор», именуемое в дальнейшем «Подрядчик», в лице заместителя по развитию Еранова Андрея Павловича, действующего на основании Устава, с одной стороны, и федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», именуемое в дальнейшем «Заказчик», в лице ректора Низмова Рашита Курбангалиевича, действующего на основании Устава, составили настоящий Акт о том, что Подрядчиком на основании Договора № КА-02/2015 от «23» июня 2015 г. выполнены работы по испытанию следующего оборудования (экспериментального образца):

№. п/п	Наименование готовой продукции	Количество готовой продукции
1	Экспериментальный образец рабочего колеса детандера термоэлектрической установки	1
	Итого:	1

Указанные работы удовлетворяют требованиям Заказчика, установленным в Договоре подряда № КА-02/2015 от «23» июня 2015 г.

Замечания Заказчика: нет.

Настоящий Акт составлен в 2 (двух) экземплярах, один из которых находится у Подрядчика, второй - у Заказчика.

Приложение: Протокол испытаний оборудования

От Подрядчика

Заместитель по развитию ЗАО «НПП «Компрессор»



А.П. Еранов

От Заказчика

Ректор КазГАСУ



Р.К. Низмов

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель испытательного подразделения  
ЗАО «Научно-Производственное предприятие «Компрессор»



Андрей Павлович Еранов  
(Ф.И.О.)  
июня 2015 г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 1

1. Организация, предоставившая образец (образцы) **ФГБОУ ВПО КГАСУ**
2. Объект испытаний (обозначение изделия) **Экспериментальный образец рабочего колеса детандера термоэлектрической установки (чертеж КГАСУ-Э01.01.02)**
3. Дата поступления образцов на испытание 27 июня 2015 г.
4. Количество образцов 1
5. Результаты контроля внешнего вида **дефекты отсутствуют**
6. Результаты испытаний

Параметр изделия	Результат испытания
Наружный диаметр колеса, мм	<b>210,0</b>
Максимальное число оборотов ротора, об/мин	<b>7898,0</b>
Максимальная степень понижения давления при максимальной частоте вращения	<b>1,72</b>
Максимальная допустимая температура рабочего тела перед детандером, °С	<b>127,0</b>

Заключение: **Результаты испытаний соответствуют техническим требованиям и характеристикам испытаний. Разрешается применение экспериментального образца в качестве рабочего органа детандера термоэлектрической установки.**

Испытания провел Вад. Спеч.  
(должность)

Доблетин Р.Б.  
(подпись)

(Ф.И.О.)

Дата 30.06.2015

## Алгоритм управления режимами работы котельной установки и ее вспомогательного оборудования.

Разработан алгоритм управления режимами работы котельной установки и вспомогательного оборудования (регулирование температурного графика, разности давлений и т.д.). Алгоритм включает подробное изложение работы автоматизированного микропроцессорного комплекса для правильной оценки возможностей работы котла и правильного распознавания любой ситуации, и, следовательно, адекватного реагирования в любом не типовом или достаточно сложном для понимания случае, как во время пуско-наладочных работ, так и в процессе эксплуатации комплекса. Описание алгоритма работы автоматизированной системы управления посредством автоматизированного микропроцессорного комплекса проведено с позиции теории автоматов, т.е. с использованием понятия стадий (и автоматов) и переходов между ними. В качестве стадий выступают некоторые стабильные состояния котла (вентиляция, розжиг и т.д.). На каждой из этих стадий выполняются определенные действия по отслеживанию состояния котла и выдаче воздействий. Эти действия обеспечиваются соответствующими автоматами, т.е. функциями, контролирующими работу в пределах конкретной стадии. К основным функциям автоматизированного микропроцессорного комплекса относятся: управление процессами розжига (система управления состояниями котла), управление системой противоаварийной защиты, управление регуляторами (система управления регуляторами), информационное взаимодействие с пользователем (система индикации стадий работы котла, аварий и предупреждений). При этом каждая из этих систем выполняет специфичные для неё функции, но все они постоянно взаимодействуют друг с другом.

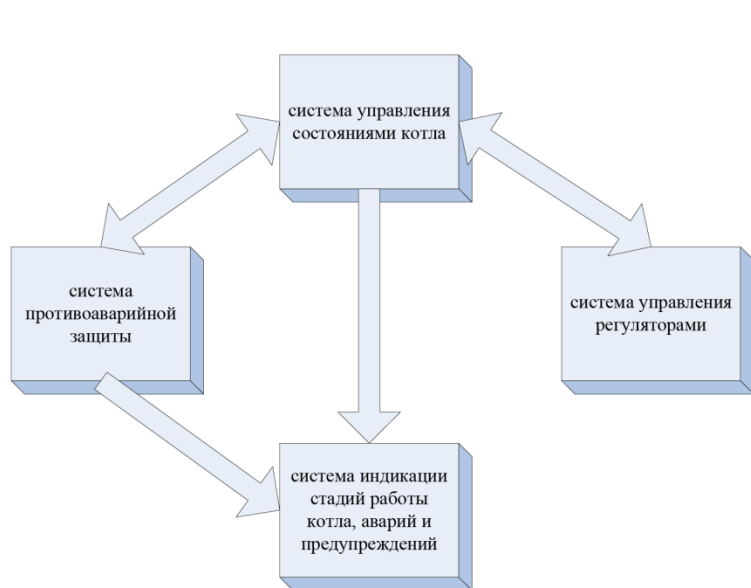


Схема взаимодействия систем

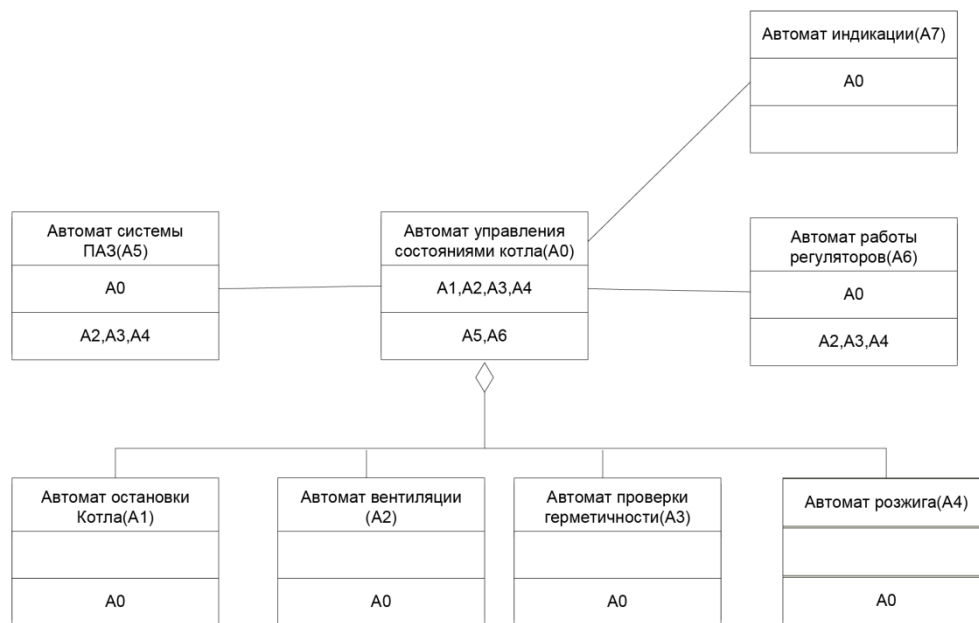
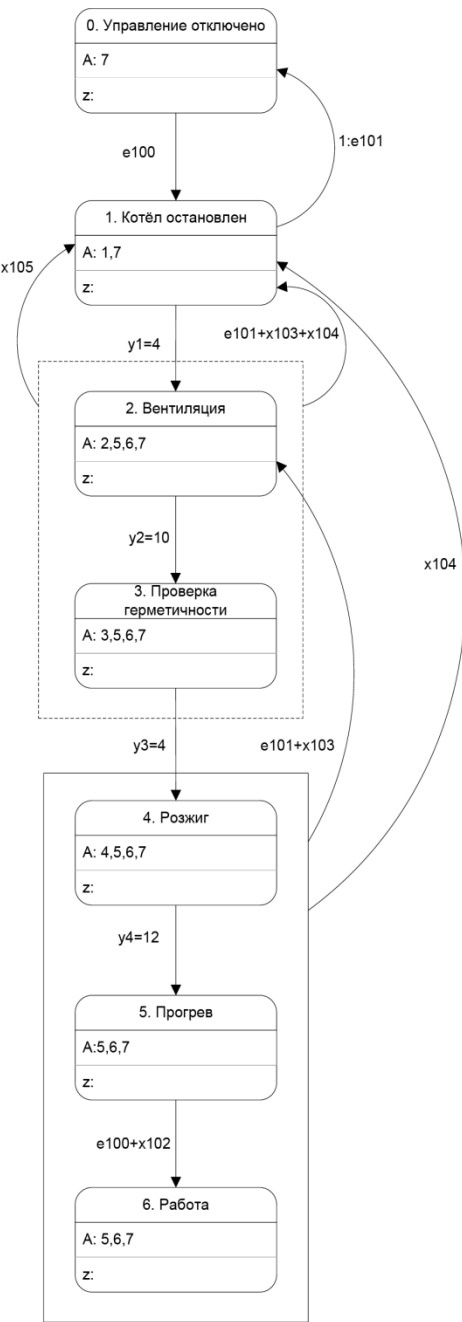


Схема взаимодействия автоматов



# Пример: Система управления состояниями котла



Граф переходов автомата управления состояниями котла

Автомат	
Имя:	0
Название:	Управление состояниями котла

e100	Нажали кнопку ПУСК
e101	Нажали кнопку СТОП

x100	Признак вентиляции после аварии или остановки или ошибки проверки герметичности
x101	Тип розжига
x102	Время прогрева истекло
x103	Пришёл сигнал аварии, кроме вент и дым
x104	Сигнал отказа вентилятора или дымососа
x105	Сигнал предупреждения

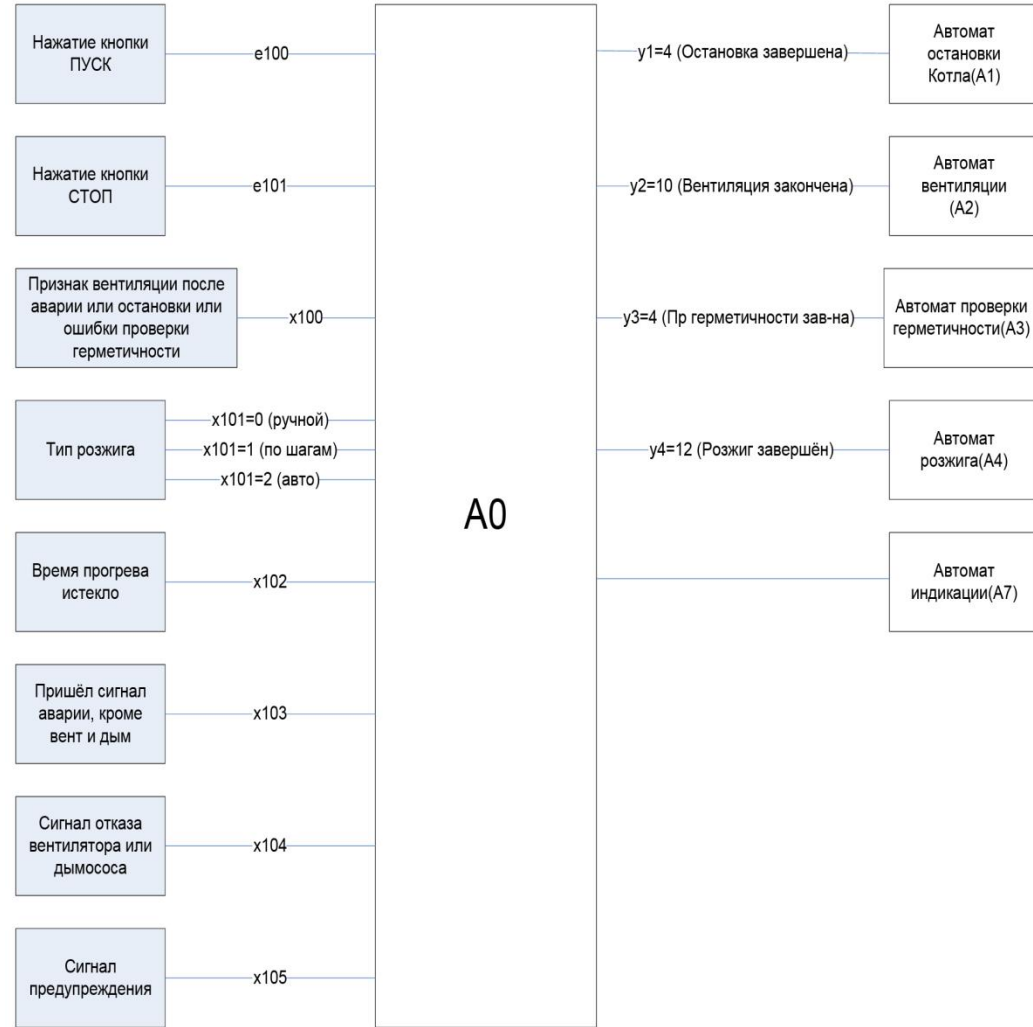
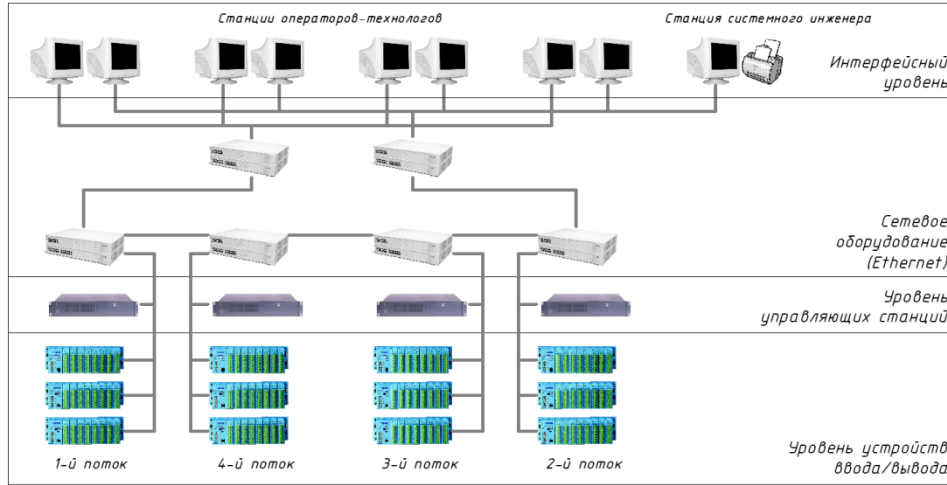


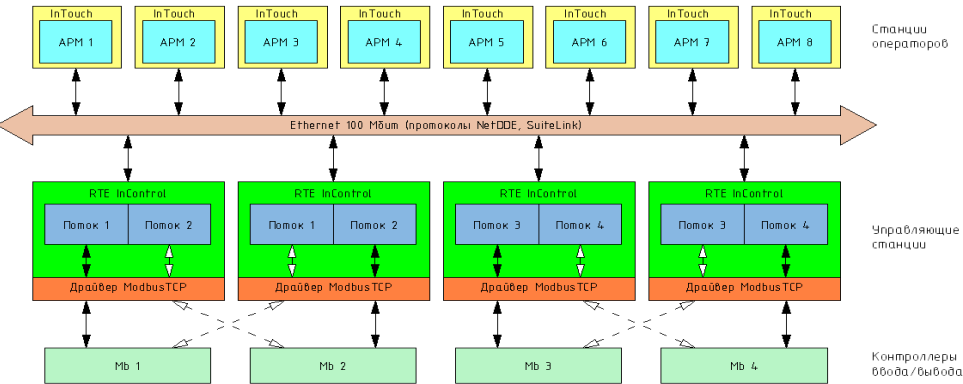
Схема связей автомата управления состояниями котла

## Алгоритм резервирования элементов микропроцессорного комплекса котельной установки.

Разработан алгоритм резервирования элементов микропроцессорного комплекса котельной установки. Алгоритм позволяет взаимно резервировать управляющие сигналы идентичных потоков попарно расположенных котлоагрегатов. Блок резервирования обеспечивает диагностирование отказа управляющей станции соседнего потока и в случае отказа соседней управляющей станции, он активизирует алгоритм управления соседним потоком, а после восстановления отказавшей станции возвращает ей управление процессом.

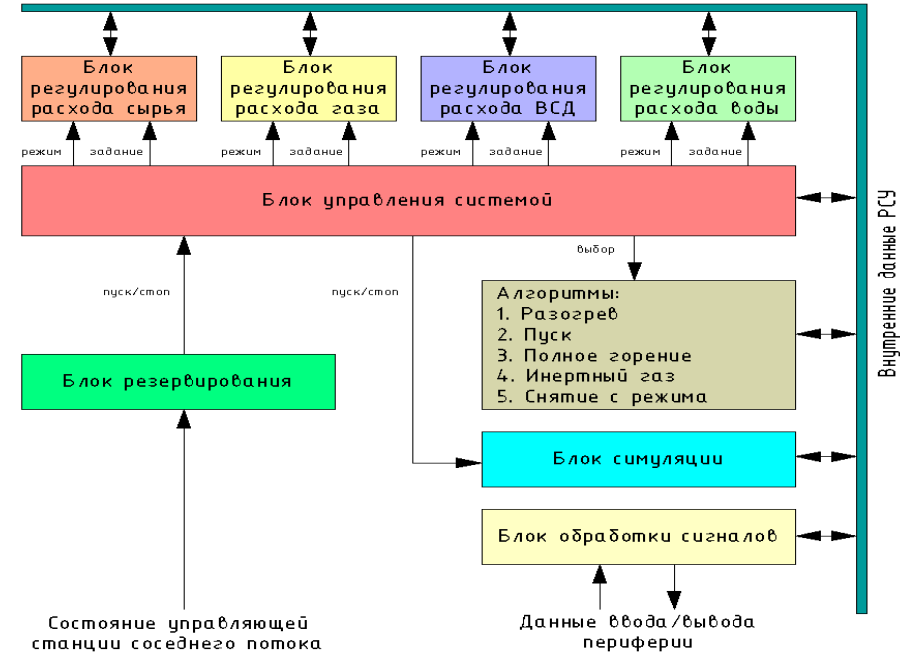


Структура микропроцессорного комплекса 1-4 потоков



— — — — — каналы передачи данных в нормальном режиме работы  
 - - - - - каналы передачи данных при резервировании управляющих станций

Схема взаимодействия программного обеспечения микропроцессорного комплекса



Функциональная схема алгоритма управления объектом автоматизации с блоком резервирования

# Значений показателей результативности предоставления субсидии

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Значение	
			Запланировано на текущий 2015 год	Выполнено за отчетный период
<b>Индикаторы</b>				
1	Число публикаций по результатам исследований и разработок в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science), не менее	единиц	3	0
2	Число патентных заявок, поданных по результатам исследований и разработок, не менее	единиц	2	0
3	Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей - участников проекта, не менее	процентов	53	60
4	Объем привлеченных внебюджетных средств (не менее 10% от общего объема финансирования работ),	млн. руб.	1,1	0,57
<b>Показатели</b>				
1	Средний возраст исследователей – участников проекта, не более	лет	42	39,73
2	Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, в которых приняла участие и представила результаты проекта организация - исполнитель проекта, не менее	единиц	3	2
3	Число диссертаций на соискание ученых степеней, защищенных по результатам исследований и разработок	единиц	1	0
4	Использование при выполнении ПНИ уникальных научных установок	единиц	0	0
5	Использование при выполнении ПНИ научного оборудования центров коллективного пользования научным оборудованием	единиц	0	0
6	Использование при выполнении ПНИ объекты зарубежной инфраструктуры сектора исследований и разработок	единиц	0	0

### **Публикации:**

1. Соломин И.Н., Садыков Р.А., Даминов А.З., Футин В.А. Разработка турбины термоэлектрической установки для водогрейной котельной // Вестник машиностроения, 2015 (в базе данных Scopus). Принята в печать.
2. Садыков Р.А., Антропов Д.Н., Даминов А.З., Соломин И.Н. Автоматизированный микропроцессорный комплекс для моделирования процессов в котельной установке // Вестник машиностроения, 2015 (в базе данных Scopus). Принята в печать.
3. Садыков Р.А., Даминов А.З., Соломин И.Н., Футин В.А. Применение детандера в термоэлектрических установках для утилизации тепловой энергии в системах теплоснабжения // Вестник машиностроения, 2015 (в базе данных Scopus). Принята в печать.

### **Патенты**

1. Программа для ЭВМ «Программа автоматизированного микропроцессорного комплекса для системы контроля и управления общекотельной автоматикой» (авторы – Садыков Р.А., Антропов Д.Н., Даминов А.З.). Отправлено 20.06.2015г.
2. Патент на полезную модель «Тепловая схема водогрейной котельной» (авторы – Садыков Р.А., Даминов А.З., Соломин И.Н.). Отправлено 20.08.2015г.

### **Мероприятий по демонстрации и популяризации результатов проекта:**

1. Соломин И.Н., Садыков Р.А., Даминов А.З., Футин В.А. Разработка турбины для ОЦР-установки, применяемой в районной котельной // Международная конференция «Эффективная энергетика - 2015», г. Санкт-Петербург, 21-22 мая 2015г. (очное участие).
2. Садыков Р.А., Антропов Д.Н., Даминов А.З., Соломин И.Н. Компьютерный симулятор реального времени теплогенерирующей установки // Международная конференция «Эффективная энергетика - 2015», г. Санкт-Петербург, 21-22 мая 2015г. (очное участие).

### **Диссертация:**

Соломиным И.Н. подготовлена кандидатской диссертации (технические науки) на тему «Повышение эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения» для представления в диссертационный совет №Д 212.082.02 при Казанском государственном энергетическом университете