

**КГЭУ**

# Автоматизированная система газодинамических расчетов энергетических турбомашин (АС ГРЭТ)

Осипов Борис Михалович





КГЭУ

АС ГРЭТ - программный комплекс #90421

Проект: Формирование ММ Задачи Сервисные задачи Настройка Инструменты Справка

Дерево проекта Обновить X

- ГТЭ-65(Каниль)
  - Математическая модель
    - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
    - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК\_)
    - [2111] Компрессор 2-го уровня сложности (К2у\_)
    - [1210] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
    - [2211] Компрессор высокого давления (КВД)
    - [4110] Камера сгорания (КС\_)
    - [1310] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
    - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Тур\_)
    - [10002] Агрегаты (Агр\_)
    - [5212] Турбина силовая (ТС)
    - [1410] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
    - [1000] Режим работы двигателя (РРД)
    - [12000] Константы математической модели (ММ)
    - [8000] Предельно допустимые параметры (ПД)
    - AR - Адреса результатов
    - BMP - Программы управления
    - ВМН - Законы управления
    - Управляющие насосы
      - L - Константы настраивающие ММ на работу
      - H - Условия и режимы работы модели двигателя
      - KP - Признаки условной печати
      - GR - Расчетные режимы ММ двигателя
      - KPA - Значения ПЭР для используемых законов
      - KOR - Константы управляющие обработкой
  - Входные/выходные данные
    - in - Файл входных данных
    - result - Файл результатов

Приветствие [63725000] - (ВМН) - ГТЭ-65(каниль)

Первый параметр образующий невязку (НЕВ1)

№	Наименование	Обоз...	Един...	Адре...
1	Давление торможения на выходе из переходного ка...	P*_2	МПа	141203

Второй параметр образующий невязку (НЕВ2)

№	Наименование	Обоз...	Един...	Адре...
1	Статическое давление в невозмущенном потоке на ...	P_H	МПа	5004

Варируемые параметры (ВАР)

№	Наименование	Обоз...	Един...	Адре...	Козф.	Min	Max
1	Суммарный расход воздуха на входе в двигатель	G	кг/с	1005		0.1	3

АдресForm

Лист параметров - программных адресов

- Группы информационные
- Математическая модель
  - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
  - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК5)
  - [2111] Компрессор 2-го уровня сложности (К2у\_)
  - [1210] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
  - [2211] Компрессор высокого давления (КВД)
  - [4110] Камера сгорания (КС\_)
  - [1310] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
  - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Тур\_)
  - [10002] Агрегаты (Агр\_)
  - [5212] Турбина силовая (ТС)
  - [1410] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
- Параметр по умолчанию

Журнал событий

- 10:53:12> - [Сообщение] Инициализация... ..OK
- 10:53:41> - [Сообщение] Проект "ГТЭ-160"
- 10:58:40> - [Сообщение] Закрыт проект "ГТЭ-160"
- 10:58:41> - [Сообщение] Проект "ГТЭ-65(Каниль)"

0.1.0.26

Пуск АС ГРЭТ ГРЭТ Adobe Photoshop EN 10:59



АС ГРЭТ - программный комплекс #90421

Проект: Формирование ММ, Задачи, Сервисные задачи, Настройка, Инструменты, Справка

Дерево проекта: Обновить X

- ГТЭ-65(Камиль)
  - Математическая модель
    - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
    - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК\_)
    - [2111] Компрессор 2-го уровня сложности (К2у\_)
    - [1210] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
    - [2211] Компрессор высокого давления (КВД)
    - [4110] Камера сгорания (КС\_)
    - [1310] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
    - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Тур\_)
    - [10002] Агрегаты (Агр\_)
    - [5212] Турбина силовая (ТС)
    - [1410] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
    - [1000] Режим работы двигателя (РРД)
    - [12000] Константы математической модели
    - [3000] Предельно допустимые параметры
    - AR - Адреса результатов
    - BMP - Программы управления
    - ВМН - Законы управления
    - Управляющие массивы
      - L - Константы настраивающие ММ на ра...
      - H - Условия и режимы работы модели де...
      - KP - Признаки условной печати
      - GR - Расчетные режимы ММ двигателя
      - KPA - Значения ПЭР для используемых эл...
      - KOR - Константы управляющие обработ...
    - Входные/выходные данные
      - in - Файл входных данных
      - result - Файл результатов

Приветствие: [63725000] - (ВМН) - ГТЭ-65(Камиль)

Первый параметр образующий невязку (НЕВ1)

№	Наименование	Обоз...	Един...	Адре...
1	Давление торможения на выходе из переходного ка...	P*_2	МПа	141203

Второй параметр образующий невязку (НЕВ2)

№	Наименование	Обоз...	Един...	Адре...
1	Статическое давление в невозмущенном потоке на ...	P_H	МПа	5004

Виртуемые параметры (ВАР)

№	Наименование	Обоз...	Един...	Адре...	Козф.	Min	Max
1	Суммарный расход воздуха на входе в двигатель	G	кг/с	1005		0.1	3

АдресForm

Лист параметров - программных адресов

- Группы информационные
- Математическая модель
  - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
  - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК5)
  - [2111] Компрессор 2-го уровня сложности (К2у\_)
  - [1210] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
  - [2211] Компрессор высокого давления (КВД)
  - [4110] Камера сгорания (КС\_)
  - [1310] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)
  - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Тур\_)
  - [10002] Агрегаты (Агр\_)
  - [5212] Турбина силовая (ТС)
  - [1410] Переходной канал или выходное устройство (ПК\_)

Параметры задающие режим (ПЭР)

№	Наименование
1	Температура газа в камере сгорания, используемая для

Журнал событий

- 10:53:12> - [Сообщение] Инициализация.....OK
- 10:53:41> - [Сообщение] Проект "ГТЭ-160"
- 10:58:40> - [Сообщение] Закрыт проект "ГТЭ-160"
- 10:58:41> - [Сообщение] Проект "ГТЭ-65(Камиль)"

0.1.0.26

Пуск | АС ГРЭТ | ГРЭТ | Adobe Photoshop | EN | 10:59



КГЭУ

АС ГРЭТ – программный комплекс #90421

Проект: Формирование ММ    Задачи: Сервисные задачи    Настройка: Инструменты    Справка

Дерево проекта

- ГТЭ-65(Камиль)
  - Математическая
    - [1000] Входные
    - [1510] Переключатель
    - [2111] Компримирование
    - [1210] Переключатель
    - [2211] Компримирование
    - [4110] Камеры
    - [1310] Переключатель
    - [5111] Турбины
    - [10002] Агрегат
    - [5212] Турбины
    - [1410] Переключатель
    - [1000] Режимы
    - [12000] Константы
    - [8000] Предельно допустимые параметры
  - AR – Адреса результатов
  - BMP – Программы управления
  - BMN – Законы управления
  - Управляющие массивы
    - L – Константы настраивающие ММ на работу
    - H – Условия и режимы работы модели двигателя
    - KP – Признаки условной печати
    - GR – Расчетные режимы ММ двигателя
    - KPA – Значения ПЭР для используемых режимов
    - KOR – Константы управляющие обработкой
  - Входные/выходные данные
    - in – Файл входных данных
    - result – Файл результатов

Условная характеристика (AR) - ГТЭ-65(Камиль) | [TPL] Состав топлива

	Обозна...	Един...	Адрес п...
Температура сгорания, используемая для расчета расхода топлива	T*_г	К	411102
Состав топлива	C_уд	кг/ч...	4004
Скорость схода топлива	C_ТСум	кг/ч	4005
Плотность жидкости или вдуваемого газа	G_ж	кг/с	100113
Скорость воздуха на входе в двигатель	G	кг/с	1005

Справка

0.1.0.26

Пуск    АС ГРЭТ    ГРЭТ    Adobe Photoshop    EN    11:03

Вверх  
Вниз  
Добавить...  
Привести...  
Вставить...  
Удалить  
Очистить

OK    Отмена    Применить



КГЭУ

АС ГРЭТ – программный комплекс #90421

Проект: Формирование ММ    Задачи:    Сервисные задачи    Настройка    Инструменты    Справка

Дерево проекта: ГТЭ-65(Каниль)

- Математическая модель
  - [1000] Входное устройство
  - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК)
  - [2111] Компрессор 2-го уровня сложност
  - [1210] Переходной канал или выходное
  - [2211] Компрессор высокого давления (К
  - [4110] Камера сгорания (КС\_)
  - [1310] Переходной канал или выходное
  - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Т
  - [10002] Агрегаты (Агр\_)
  - [5212] Турбина силовая (ТС)
  - [1410] Переходной канал или выходное
  - [1000] Режим работы двигателя (РРД)
  - [12000] Константы математической моде
  - [8000] Предельно допустимые параметр
  - AR - Адреса результатов
  - BMP - Программы управления
  - BMH - Законы управления
- Управляющие массивы
  - L - Константы настраивающие ММ на ра
  - H - Условия и режимы работы модели де
  - KP - Признаки условной печати
  - GR - Расчетные режимы ММ двигателя
  - KPA - Значения ПЭР для используемых зс
  - KOR - Константы управляющие обработ
- Входные/выходные данные
  - in - Файл входных данных
  - result - Файл результатов

Подготовка топлива

[24] Аппроксимация характеристик

Просмотр результатов расчета

Термодинамические свойства

Температуры: min - max, K

200 - 3000

Давление, Па

100000

Печать

Добавить в список

Заменить

Исключить из списка

Очистить список

Окислитель

Набор индивидуальных веществ

Энтальпия    Условная формула компонента

Сформировать

Нейтральный компонент

Набор индивидуальных веществ

Энтальпия    Условная формула компонента

Сформировать

Горючее

Набор индивидуальных веществ

Энтальпия    Условная формула компонента

Сформировать

0.1.0.26

Пуск    АС ГРЭТ    ГРЭТ    Adobe Photoshop    EN    11:05



Дерево проекта

- ГТЭ-65(Каниль)
- Математическая модель
  - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
  - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК)
  - [2111] Компрессор 2-го уровня сложности
  - [1210] Переходной канал или выходное
  - [2211] Компрессор высокого давления (КВ)
  - [4110] Камера сгорания (КС\_)
  - [1310] Переходной канал или выходное
  - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Т2)
  - [10002] Агрегаты (Агр\_)
  - [5212] Турбина силовая (ТС)
  - [1410] Переходной канал или выходное
  - [1000] Режим работы двигателя (РРД)
  - [12000] Константы математической модели
  - [3000] Предельно допустимые параметры
- AR - Адреса результатов
- BMP - Программы управления
- BMH - Законы управления
- Управляющие массивы
  - L - Константы настраивающие ММ на ра
  - H - Условия и режимы работы модели де
  - KP - Признаки условной печати
  - GR - Расчетные режимы ММ двигателя
  - KPA - Значения ПЭР для используемых за
  - KOR - Константы управляющие обработ
- Входные/выходные данные
  - in - Файл входных данных
  - result - Файл результатов

Приветствие Зад.: [3] Дроссельная характеристика [TPL] Состав топлива

Файл Вид Выполнить Смотреть результаты Справка

Использовать в расчетах:

Программа управления [BMP]

[40017000] ГТЭ-65(каниль) (BMP)

Адреса результатов [AR]

ГТЭ-65(каниль) (AR)

Кол-во режимов

1

Временные изменения [ADRNEW]

Синтезируемая формула [KFFORM]

Внешние условия и значения ПЭР для используемых законов невязок

Наименование/№ режима	Режим №1
Число маха $M_1$ , -	0
Высота полета $H$ , м	0
Температура невозмущенного потока $T_1$ , К	288.15
Давление невозмущенного потока $P_1$ , МПа	0.101325
[411102] $T^*_g(K)$ - Температура газа в камере сгорания, используемая	1500

Выполнение...

Прогресс выполнения:

Выполнено успешно

Файлы расчета

- Файл входной (in)
- Файл выходной (out)
- Файл результ. (result)
- Файл характеристик. (argx)
- Файл топлив (34000)
- Файл BA (ba)



КГЭУ

- ГТЭ-65(Каниль)
  - Математическая модель
    - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
    - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК)
    - [2111] Компрессор 2-го уровня сложност
    - [1210] Переходной канал или выходное
    - [2211] Компрессор высокого давления (Н
    - [4110] Камера сгорания (КС\_)
    - [1310] Переходной канал или выходное
    - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Т
    - [10002] Агрегаты (Агр\_)
    - [5212] Турбина силовая (ТС)
    - [1410] Переходной канал или выходное
      - [1000] Режим работы двигателя (РРД)
      - [12000] Константы математической моде
      - [8000] Предельно допустимые параметр
    - AR - Адреса результатов
    - BMP - Программы управления
    - ВМН - Законы управления
    - Управляющие наборы
      - L - Константы настраивающие ММ на ра
      - H - Условия и режимы работы модели дв
      - KP - Признаки условной печати
      - GR - Расчетные режимы ММ двигателя
      - KPA - Значения ПЭР для используемых з
      - KOR - Константы управляющие обработ
    - Входные/выходные данные
      - in - Файл входных данных
      - out - Файл выходных данных

C:\Gradient\data\bin\out

SK	0.218897	SL	0.002771	XL	1.000000							
HEB	0.00009											
YT	0.66832											
SK	0.002771	SL	0.000090	XL	1.000000							
-----												
ВХОДНОЕ УСТРОЙСТВО - 1000												
T2*	P2*	G2	QT	G01	SIGMA	TH	PH	M	I*	S*	G0T	
288.15	0.1013	120.90	0.0000	120.90	1.0000	288.15	0.1013	0.0000	288.31	6.6635	0.000	
F	D	L	QL									
4.0000	2.2568	0.0797	0.1253									
-----												
ПЕРЕХОДНЫЙ КАНАЛ - 1510												
T1*	P1*	G1	GPR	T1	P1	F1	M1	L1	QL1	C1	S*	
288.15	0.1013	120.90	20254.3	287.84	0.1010	4.0000	0.0728	0.0797	0.1253	24.75	6.5992	
T2*	P2*	G2	SIGMA	T2	P2	DG	M2	L2	QT	C2	I*	
270.25	0.1013	121.90	1.0000	269.98	0.1010	0.0000	0.0710	0.0777	0.0000	23.39	270.36	
-----												
КОМПРЕССОР - 2111												
T2*	P2*	G2	N	NE	PI*	KPD*	KY	KPI	T2	P2	I*	
387.30	0.3040	121.90	5441.000	-14357.50	3.0000	0.8500	1.1500	0.3000	0.00	0.0000	388.14	
F1	F2	G0T	NPR	GPR	GPRX	G1	GLX	DI*	L1	L2	S*	
0.0000	0.0000	0.000	5618.261	118.05	0.00	121.90	121.90	117.78	0.0000	0.0000	6.9612	
-----												
ПЕРЕХОДНЫЙ КАНАЛ - 1210												
T1*	P1*	G1	GPR	T1	P1	F1	M1	L1	QL1	C1	S*	
387.30	0.3040	121.90	7892.0	387.30	0.1606	0.0100	0.9143	1.0000	0.0000	360.19	6.9612	
T2*	P2*	G2	SIGMA	T2	P2	DG	M2	L2	QT	C2	I*	
387.30	0.2979	121.90	0.9800	387.30	0.1574	0.0000	0.9143	1.0000	0.0000	360.19	388.14	
-----												
КОМПРЕССОР - 2211												
T2*	P2*	G2	N	NE	PI*	KPD*	KY	KPI	T2	P2	I*	
644.68	1.4895	121.90	5441.000	-32437.40	5.0000	0.8500	1.1500	0.3000	0.00	0.0000	654.24	
F1	F2	G0T	NPR	GPR	GPRX	G1	GLX	DI*	L1	L2	S*	
0.0000	0.0000	0.000	4693.147	48.07	0.00	121.90	121.90	266.10	0.0000	0.0000	7.4870	
-----												
КАМЕРА СГОРАНИЯ - 4110												
T2*	P2*	G2	QT	GT	ALFA	SIGMA	ETA	T1*	P1*	T1	P1	
1700.00	1.4299	125.28	0.0278	12177.8	2.0941	0.9600	0.9900	644.68	1.4895	0.00	0.0000	
T02*	P02*	G02	G0T	I*	S*	M1	L1	QL1	F1	DG	T*	
1700.00	1.4299	125.28	12173.6	1958.75	6.6899	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1700.00	
-----												
ПЕРЕХОДНЫЙ КАНАЛ - 1310												
T1*	P1*	G1	GPR	T1	P1	F1	M1	L1	QL1	C1	S*	
1700.00	1.4299	125.28	3612.5	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	8.6899	
T2*	P2*	G2	SIGMA	T2	P2	DG	M2	L2	QT	C2	I*	
1700.00	1.4299	125.28	1.0000	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0278	0.00	1958.75	
-----												
ТУРБИНА - 5111												
T2*	P2*	G2	N	NE	PI*	KPD*	T2	P2	G1	G1X	L1	
1409.14	0.5865	125.28	5441.000	46794.90	0.4102	0.9450	0.00	0.0000	125.28	125.28	0.0000	
T02*	P02*	GPR	NPR	LT	I*	F1	F2	S*	L2	L2		
1409.14	0.5865	3612.5	131.96	373.52	0.0000	373.52	0.0000	0.0000	1585.2	8.4490	0.0000	

Выполнения:

но успешно

асчета

дной (in)

одной (out)

ульт. (result)

актерис. (argx)

лив (34000)

(ba)



КГЭУ

АС ГРЭТ - программный комплекс #90421

Проект: Формирование ММ Задачи Сервисные задачи Настройка Инструменты Справка

Дерево проекта Обновить X Приветствие Зад.: [3] Теплово

- ГТЗ-65(Камиль)
  - Математическая модель
    - [1000] Входное устройство (ВхУ\_)
    - [1510] Переходной канал перед КНД (ПК)
    - [2111] Компрессор 2-го уровня сложности
    - [1210] Переходной канал или выходное устройство
    - [2211] Компрессор высокого давления (КВД)
    - [4110] Камера сгорания (КС\_)
    - [1310] Переходной канал или выходное устройство
    - [5111] Турбина 2-го уровня сложности (Т2\_)
    - [10002] Агрегаты (Агр\_)
    - [5212] Турбина силовая (ТС)
    - [1410] Переходной канал или выходное устройство
    - [1000] Режим работы двигателя (РРД)
    - [12000] Константы математической модели
    - [8000] Предельно допустимые параметры
    - AR - Адреса результатов
    - BMP - Программы управления
    - ВМН - Законы управления
    - Управляющие массивы
      - L - Константы настраивающие ММ на расчет
      - H - Условия и режимы работы модели двигателя
      - KP - Признаки условной печати
      - GR - Расчетные режимы ММ двигателя
      - KPA - Значения ПЭР для используемых агрегатов
      - KOR - Константы управляющие обработкой
    - Входные/выходные данные
      - in - Файл входных данных
      - out - Файл выходных данных

Выполнения: [Progress bar]

Успешно

счета

дной (in)

одной (out)

ульт. (result)

актерис. (argx)

лив (34000)

ба)

0.1.0.26

Microsoft Excel - Лист1

А	В	С	Д	Е	Ф	Г
Результаты расчета по задаче [3] Дроссельная характеристика						
1	Адрес	Наименование параметра	Обозначени	Единица изм	Режим №1	
2						
3	411102	Температура газа в камере сгорания, используемая для р	T*_г	К	1700.00	
4	4004	Удельный расход топлива	C_уд	кг/ч-кН(кг/ч-к	0.19	
5	4005	Суммарный часовой расход топлива	C_Сум	кг/ч	12177.80	
6	100113	Расход впрыскиваемой жидкости или вдуваемого газа	G_ж	кг/с	1.00	
7	1005	Суммарный расход воздуха на входе в двигатель	G_ж	кг/с	120.90	
8						
9						
10	: ВХОДНОЕ УСТРОЙСТВО					
11	T2*	P2*				
12	288.15	0.1013				
13	F	D				
14	4.0000	2.2568				
15	: ПЕРЕХОДНЫЙ КАНАЛ					
16	T1*	P1*				
17	288.15	0.1013				
18	T2*	P2*				
19	270.25	0.1013				
20	: КОМПРЕССОР - 2111					
21	T2*	P2*				
22	387.30	0.3040				
23	F1	F2				
24	0.0000	0.0000				
25	: ПЕРЕХОДНЫЙ КАНАЛ					
26	T1*	P1*				
27	387.30	0.3040				
28	T2*	P2*				
29	387.30	0.2979				
30	: КОМПРЕССОР - 2211					
31	T2*	P2*				
32	644.68	1.4895				
33	F1	F2				
34	0.0000	0.0000				
35	: КАМЕРА СГОРАНИЯ					
36	T2*	P2*				
37	1700.00	1.4299				
38	T02*	P02*				
39	1700.00	1.4299				
40	: ПЕРЕХОДНЫЙ КАНАЛ					
41	T1*	P1*				
42	1700.00	1.4299				
43	T2*	P2*				
44	1700.00	1.4299				
45	: ТУРБИНА - 5111					
46	T2*	P2*				
47	1409.14	0.5865				
48	T02*	P02*				
49	1409.14	0.5865				

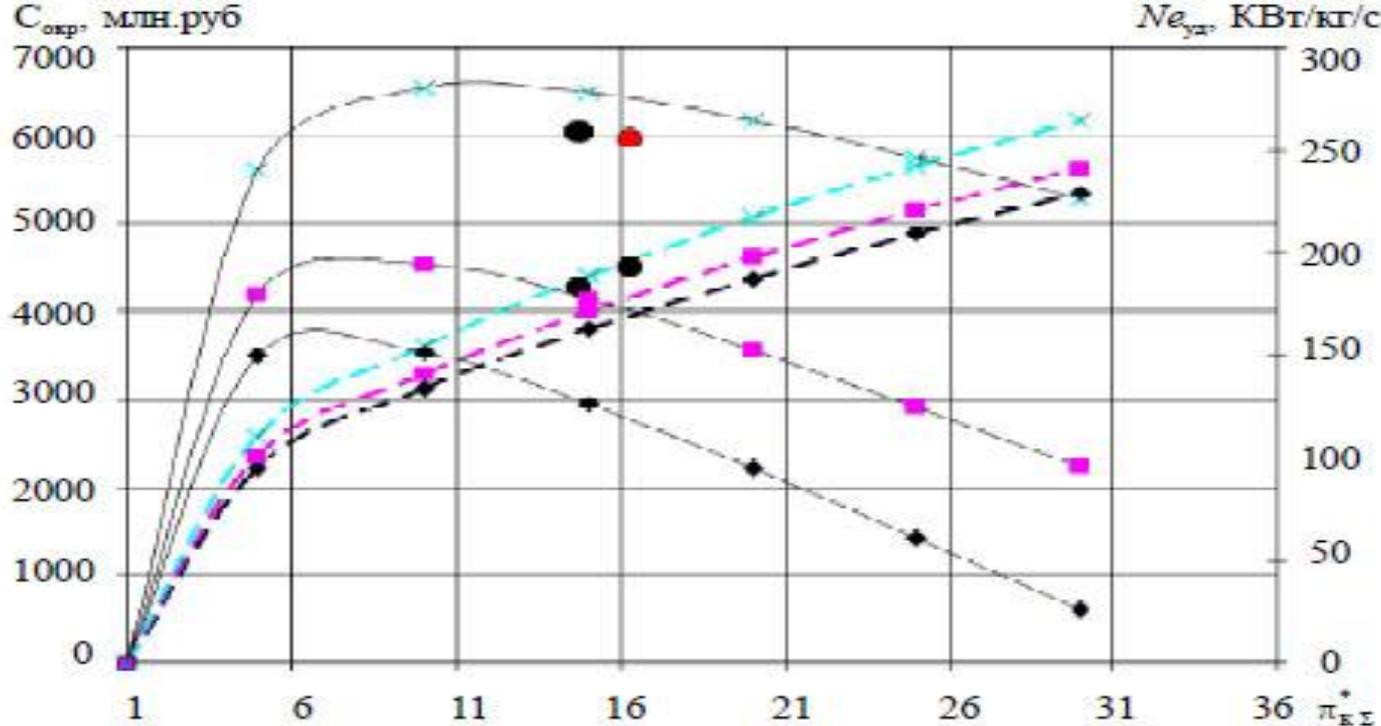


Рис. 8.2. Зависимость целевых затрат проектирования и создания опытного образца от суммарной степени повышения давления  $\pi_{к\Sigma}$

и температуры газа перед турбиной  $T_r^*$ :

- ▲- - целевые затраты при ( $T_r = 1300$  К);
- - целевые затраты после оптимизации;
- - расчетная точка без учета себестоимости;
- ◆- - удельная мощность ( $T_r = 1300$  К) в кВт/кг/с;
- ◇- - удельная мощность ( $T_r = 1600$  К);
- - удельная мощность ( $T_r = 1400$  К);
- - целевые затраты в расчетной точке;
- ◆- - целевые затраты при ( $T_r = 1400$  К);
- ◇- - целевые затраты при ( $T_r = 1600$  К);
- - рабочая точка после оптимизации



КГЭУ

## ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!

:

Осипов Борис Михайлович  
Профессор, к.т.н.,

Тел.8-917-284-51-07

E-mail: [obm0099@yandex.ru](mailto:obm0099@yandex.ru)

[www.kgeu.ru](http://www.kgeu.ru)

