

Методическое пособие
по работе в программе ASTRA

ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие предназначено для студентов, которые приступают к знакомству с программой ASTRA. Владение этой программой дает много возможностей на начальном этапе проектирования двигателя.

Рассмотрен интерфейс программы, пример упрощенного и проектного расчета на базе ТРДД АИ-25, а также разобрала дополнительная функция – оптимизация.

Оглавление

1 Интерфейс	4
2 Упрощенный расчет	7
3 Проектный расчет	12
3 Оптимизация	22

1 Интерфейс

Программа запускается двойным щелчком. Открывается окно программы (рисунок 1). Пользователь может выбрать: создать модель или загрузить уже существующую.



Рисунок 1 – Запуск программы

Обратите внимание, что при наведении на любые значки/символы в программе высвечивается их название и логическое применение.

После этого будет активен режим создания (редактирования) модели (рисунок 2). Слева представлены кнопки сохранения и перехода к режиму расчета. Они интуитивно понятны. Далее представлены различные модули: стандартные модули, элементы упрощенного проектного анализа ГТД...

При создании модели для корректной работы программы нужно использовать компоненты одного из них. Компоненты можно увидеть, нажав один раз на название модуля (рисунок 3). Если нажать на компоненту модуля, то она будет продублирована в рабочей области окна (справа).

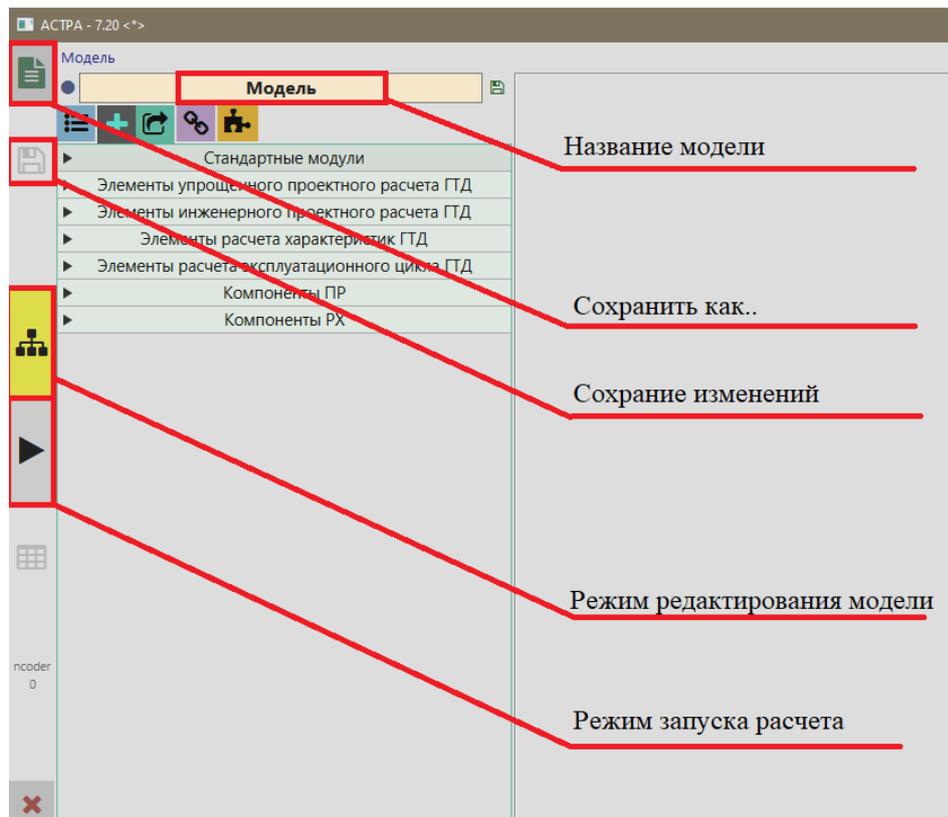


Рисунок 2 – Интерфейс редактирования модели

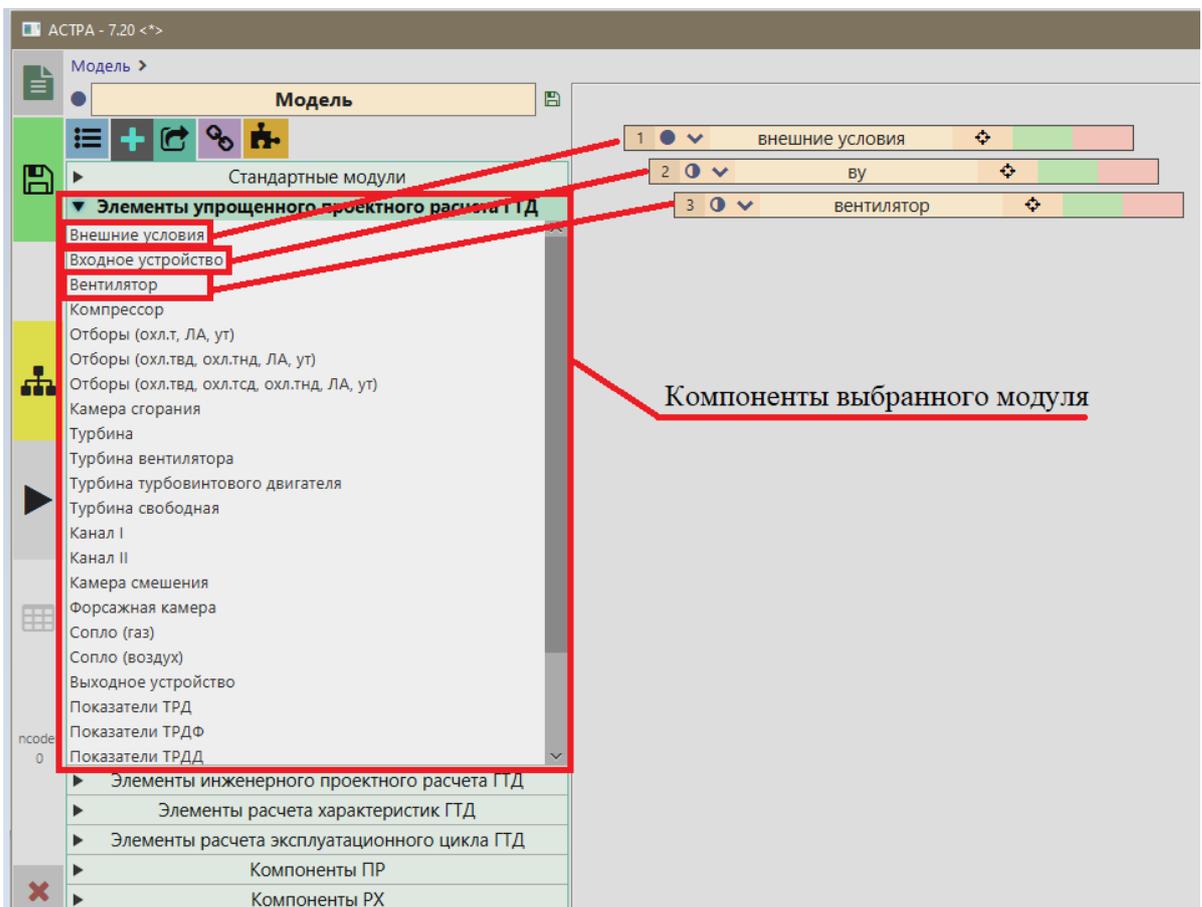
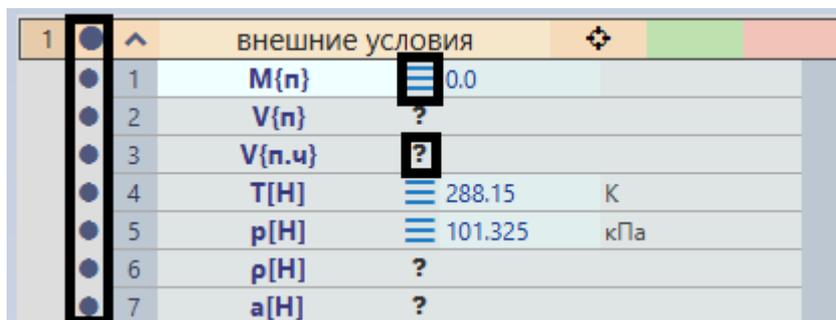


Рисунок 3 – Компоненты модуля упрощенного расчета

В компонентах можно найти все элементы, необходимые для моделирования термодинамического процесса двигателей разных типов. Рассмотрим один из них (рисунок 4).

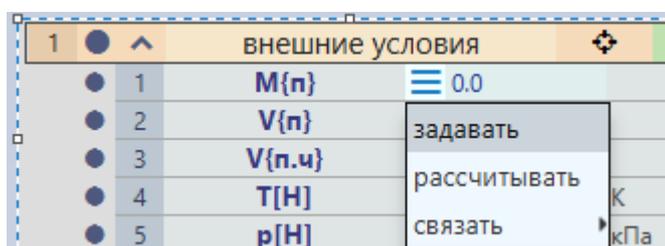


1	^	внешние условия					
1	●	M{n}	≡	0.0			
2	●	V{n}	?				
3	●	V{n.ч}	?				
4	●	T{H}	≡	288.15	К		
5	●	p{H}	≡	101.325	кПа		
6	●	ρ{H}	?				
7	●	a{H}	?				

Рисунок 4

Закрашенные синим круги (слева) значат, что данный параметр будет отражен при выводе результатов (после выполненного расчета). Если нажать на круг, то он перестанет быть закрашенным, что означает, что параметр не будет выведен на экран.

Три горизонтальные линии означают, что параметр должен быть введен пользователем, вопросительный знак – что этот параметр рассчитает программа. При необходимости можно изменить это, нажав на символ (рисунок 5).



1	●	^	внешние условия				
1	●	M{n}	≡	0.0			
2	●	V{n}	?				
3	●	V{n.ч}	?				
4	●	T{H}	≡	288.15	К		
5	●	p{H}	≡	101.325	кПа		

задавать

рассчитывать

связать

Рисунок 5

Нужно помнить, что если какой-то рассчитываемый ранее программой параметр «задавать» самостоятельно, то какой-то другой параметр, задаваемый ранее пользователем, теперь должен будет рассчитываться программой.

Компоненты можно удалять и перемещать.

2 Упрощенный расчет

На данном этапе студенту предстоит выполнить упрощенный и проектный расчеты. Чем они отличаются? Механизм расчета параметров в проектном расчете сложнее, и освоение этой методики студентами не подразумевается, в отличие от упрощенного расчета. Кроме того, в упрощенном расчете значения теплоемкости потока принимаются постоянными. В проектной модели теплоемкость пересчитывается «внутри» программы и не усложняет процесс формирования модели.

Рассмотрим порядок действий в программе ASTRA на примере создания модели на базе ТРДД АИ-25. Двигатель является двухвальным и двухконтурным. АИ-25 состоит из двухкаскадного 11-ступенчатого (3 ступени низкого и 8 ступеней высокого давления) осевого компрессора, разделительного корпуса, кольцевой камеры сгорания с 12 форсунками, одноступенчатой охлаждаемой турбины высокого давления, двухступенчатой турбины низкого давления, корпуса задней опоры с двухконтурным реактивным соплом и агрегатов, обеспечивающих работу двигателя и его систем.

Для начала добавим в рабочее поле нужные компоненты двигателя (рисунок 6) из модуля упрощенного расчета.

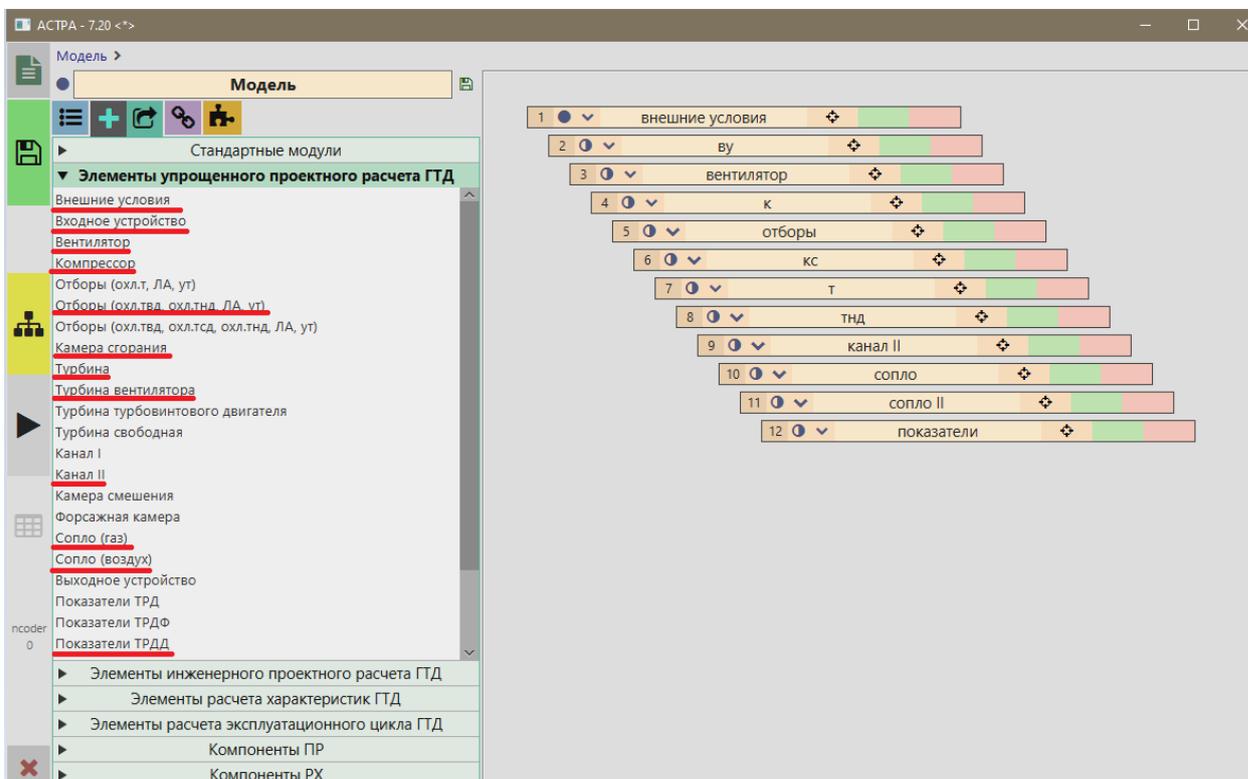


Рисунок 6 – Добавление необходимых компонентов модели двигателя

Название некоторых компонентов следует переименовать, чтобы они отражали узлы проектируемого двигателя. Это можно сделать, нажав на актуальное название компоненты в рабочем поле и отредактировав его.

Далее нужно раскрывать каждый компонент и задавать исходные данные для расчета (рисунок 7). Исходные данные для иностранных двигателей можно найти, используя выпуски ЦИАМ. Данные по отечественным двигателям – справочник «Авиадвигатель».

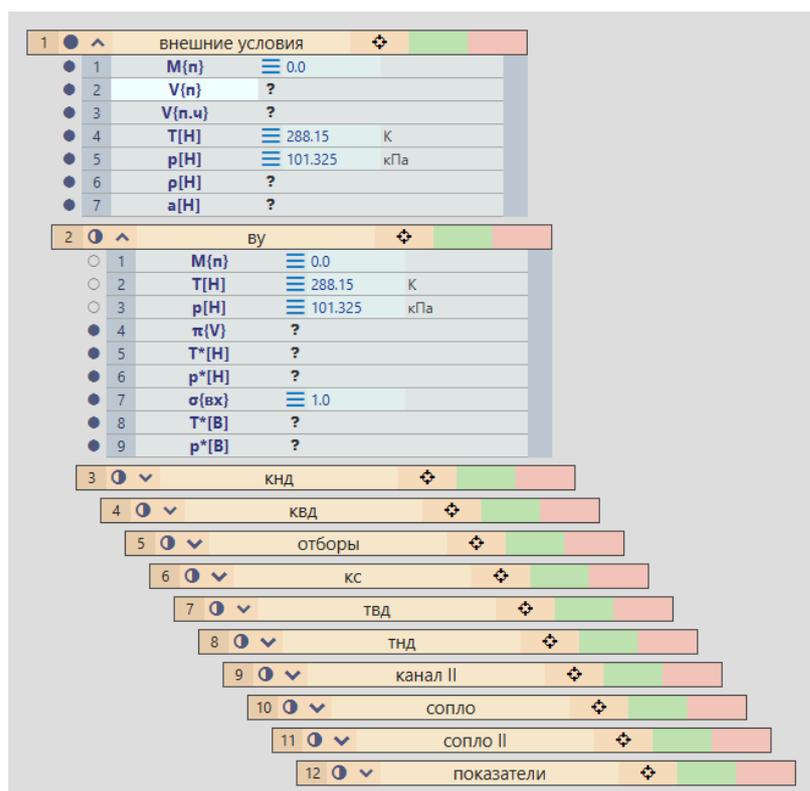


Рисунок 7 – Корректно названные компоненты модели

Каждый компонент связывается с предыдущим равными параметрами, (например, давление за компрессором равно давлению перед камерой сгорания). Для этого нажимается уже ранее упомянутый маркер и выбирается строка «связать» (рисунок 5). В предложенном списке нужно выбрать, с чем будет связан параметр (к чему приравнен) (рисунок 8).

1 ^ внешние условия			
1	M(n)	0.8	
2	V(n)	?	
3	V(n.ч)	?	
4	T[H]	249.19	К
5	p[H]	47.2	кПа
6	p[H]	?	
7	a[H]	?	

2 ^ ву			
1	M(n)	0.0	
2	T[H]		К
3	p[H]		кПа
4	π(V)		
5	T*[H]		внешние условия M(n)
6	p*[H]	?	
7	σ{вх}	1.0	
8	T*[B]	?	
9	p*[B]	?	

Рисунок 8 – Задание параметра

Получим следующие связи между компонентами:

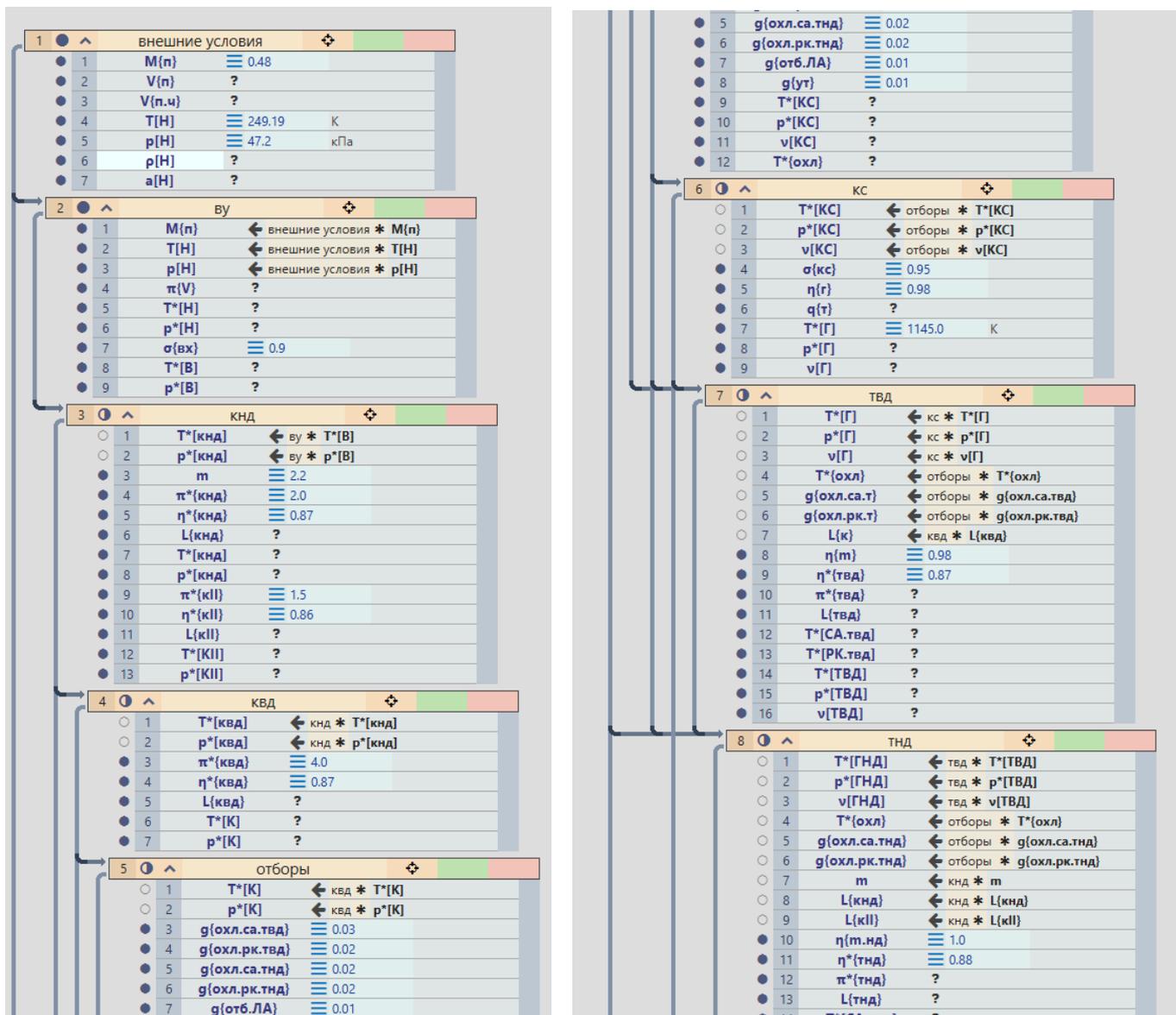


Рисунок 9 – Полученная модель

Идентификатор	Название компонента	Переменная	Значение / Зависимость
9	канал II	1 $T^*[KII]$	кнд * $T^*[KII]$
		2 $p^*[KII]$	кнд * $p^*[KII]$
		3 $\sigma\{II\}$	0.959
		4 $T^*\{II\}$?
		5 $p^*\{II\}$?
10	сопло	1 $T^*\{T\}$	тнд * $T^*\{T\}$
		2 $p^*\{T\}$	тнд * $p^*\{T\}$
		3 $v\{T\}$	тнд * $v\{T\}$
		4 $p\{H\}$	внешние условия * $p\{H\}$
		5 $\varphi\{c\}$	0.975
		6 $\pi\{cp\}$?
		7 $c\{C\}$?
		8 $T\{C\}$?
		9 $v\{C\}$?
11	сопло II	1 $T^*\{II\}$	канал II * $T^*\{II\}$
		2 $p^*\{II\}$	канал II * $p^*\{II\}$
		3 $p\{H\}$	внешние условия * $p\{H\}$
		4 $\varphi\{cII\}$	0.9
		5 $\pi\{cpII\}$?
		6 $c\{CII\}$?
		7 $T\{CII\}$?
12	показатели	1 $V\{n\}$	внешние условия * $V\{n\}$
		2 $c\{C\}$	сопло * $c\{C\}$
		3 $v\{C\}$	сопло * $v\{C\}$
		4 $c\{CII\}$	сопло II * $c\{CII\}$
		5 m	кнд * m
		6 $q\{т\}$	кс * $q\{т\}$
		7 $v\{KC\}$	кс * $v\{KC\}$
		8 P	4.344 кН
		9 $P\{I\}$?
		10 $P\{II\}$?
		11 $P\{yд\}$?
		12 $P\{Iyд\}$?
		13 $P\{IIyд\}$?
		14 $G\{B\}$?
		15 $G\{BI\}$?
		16 $G\{BII\}$?
		17 $G\{т.ч\}$?
		18 $C\{yд\}$?

Рисунок 10 – Полученная модель

Важно помнить, что в «показателях» задается либо тяга двигателя (чаще именно тяга), либо расход воздуха.

Расчет созданной модели производится нажатием вышеупомянутой кнопки слева. Если модель построена верна, то расчет займет доли секунды. В противном случае, это может служить сигналом для проверки модели (рисунок 11).

АСТРА - 7.20 <C:\Users\tanya\OneDrive\Desktop\ТиРАД\модели АСТРА\ai-25 простой.model>

Модель

внешние условия				
M{п}	-		0,48	Число Маха скорости полета
V{п}	м/с		151,88	Скорость полета
V{п.ч}	км/ч		546,78	Скорость полета [км/ч]
T{H}	K		249,19	Температура атмосферного воздуха
p{H}	кПа		47,2	Давление атмосферного воздуха
ρ{H}	кг/м ³		0,66	Плотность атмосферного воздуха
a{H}	м/с		316,42	Скорость распространения звука в атм
ву				
M{п}	-		0,48	Число Маха скорости полета
T{H}	K		249,19	Температура атмосферного воздуха
p{H}	кПа		47,2	Давление атмосферного воздуха
p{V}	-		1,1708	Степень повышения давления от скорос
T*{H}	K		260,67	Полная температура набегающего поток
p*{H}	кПа		55,261	Полное давление набегающего потока в
σ{вкд}	-		0,9	Коэффициент восстановления полного д
T*{B}	K		260,67	Полная температура воздуха в сечении
p*{B}	кПа		49,735	Полное давление воздуха в сечении на
кнд				
ш	-		2,2	Степень двухконтурности
п*{кнд}	-		2,0	Степень повышения давления во внутре
η*{кнд}	-		0,87	КПД внутреннего контура вентилятора
L{кнд}	кДж/кг		65,95	Удельная работа внутреннего контура
T*{кнд}	K		326,29	Полная температура воздуха в сечении
p*{кнд}	кПа		99,47	Полное давление воздуха в сечении на
п*{кII}	-		1,5	Степень повышения давления во наружн
η*{кII}	-		0,86	КПД наружного контура вентилятора

ncoder 0

Время расчёта : 0 h 0 min 0 s 177 ms

Рисунок 11 – Результаты расчетной модели

Программа выдаст результаты расчета. Напоминание: можно изменять выводимые параметры.

В полученных результатах можно сравнить рассчитанные параметры, (например, расход воздуха или топлива), с данными из литературы при их наличии и оценить адекватность модели.

Чтобы вернуться в режим редактирования, нужно нажать на соответствующую кнопку и внести изменения.

После окончания работы в программе модель нужно сохранить и закрыть программу.

3 Проектный расчет

Как уже было отмечено ранее, этот расчет отличается от упрощенного тем, что внутри запрограммированы формулы на порядок сложнее. Подразумевается, что на выходе получаются показатели более верные, приближенные к реальности. Кроме того, будут получены некоторые площади проточных частей, которые могут использоваться на этапе начального проектирования двигателя.

Перед студентом стоит задача найти достоверные исходные данные и грамотно составить модель, методика освоения проектного расчета не подразумевается.

После запуска программы, откроем модуль проектного расчета (рисунок 12). Можно заметить, что детализация и вариативность компонентов здесь повышена в сравнении с модулем упрощенного расчета.

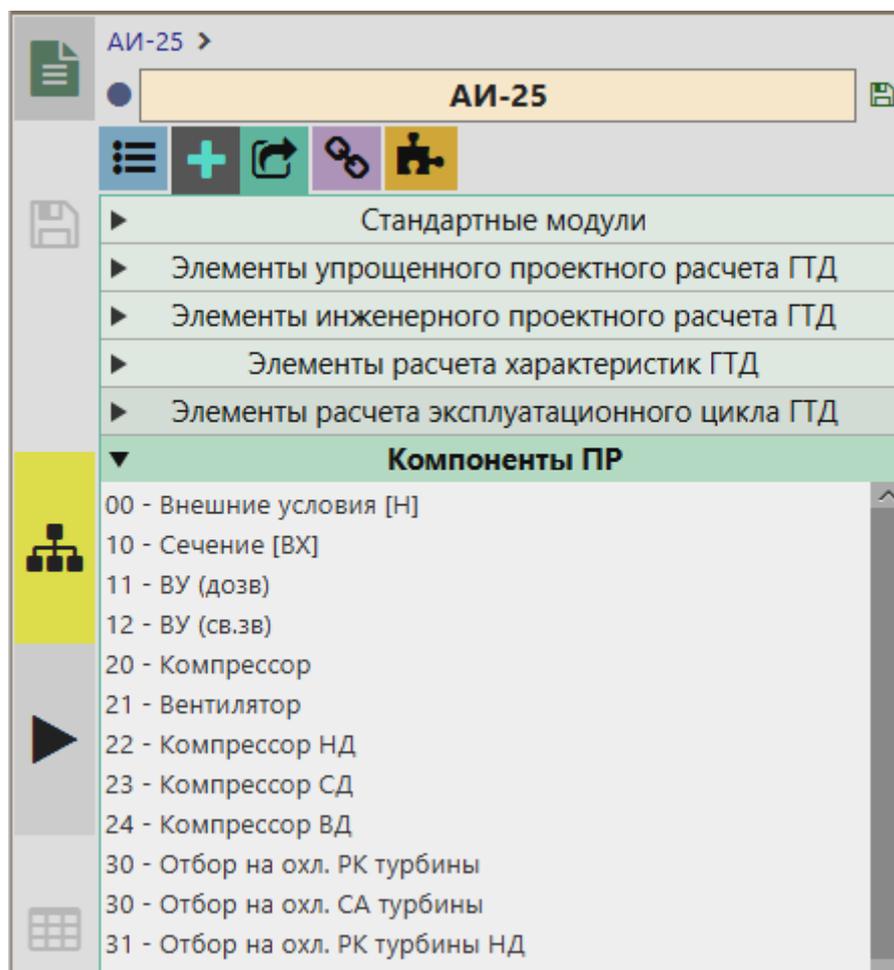


Рисунок 12 – Модель проектного расчета

Формирование инженерного расчета начинается с компонента «внешние условия» (рисунок 13). В нем задается число Маха полета, т.е. скорость

набегающего потока, и высота полета. В данном расчета давление и температура рассчитаются автоматически по встроенным таблицам.

№	Параметр	Значение	Единица
1	M	0.48	
2	H	6.0	км
3	$p(H)$	$H \Rightarrow p$	
4	$T(H)$	$H \Rightarrow T$	
5	Δp	0.0	кПа
6	ΔT	0.0	К
7	p	?	
8	T	?	
9	ρ	?	
10	a	?	
11	V	?	
12	$V\{u\}$?	
13	$q\{V\}$?	
14	$\Pi\{V\}$?	
15	φ	0.0	%
16	d	?	
17	p^*	?	
18	T^*	?	
19	Γ	?	

Рисунок 13 – Внешние условия

Поскольку двигатель работает при разных условиях окружающей среды, в данном блоке возможно учесть это в работе двигателя с помощью отклонения от стандартных значений – Δp , ΔT , а также задать относительную влажность воздуха φ . В данной модели учитывать не будем.

Следующие компоненты: «сечение ВХ» и «ВУ» дозвуковое (рисунок 14). Создаем связи с предыдущим блоком. Расход воздуха делаем рассчитываемым параметром, поскольку при создании последнего блока «показатели», будем задавать значение тяги самостоятельно, опираясь на исходные данные.

№	Параметр	Значение / Формула
2 [BX]		
1	Γ	$[H] * \Gamma$
2	p^*	$[H] * p^*$
3	T^*	$[H] * T^*$
4	$G\{v\}$?
5	$G\{v, pr\}$?
6	$G\{v, pr\}_0$?
7	Ξ	?
3 ВУ		
1	$\Xi\{BX\}$	$[BX] * \Xi$
2	$\sigma\{vx\}$	0.9
3	$\Xi\{B\}$?

Рисунок 14 – Модули ВХ и ВУ (дозв)

Следующий узел – вентилятор (рисунок 15). Частота вращения n нужна для того, чтобы более точно описать механическую связь вентилятора и турбины. Относительная плотность тока $q(\lambda_B)$ нужна, чтобы рассчитать площадь проточной части; ее можно оставить по умолчанию. Базовое значение политропического КПД рекомендуется задавать максимально возможным для данного поколения двигателя (до 0,91), но т.к. рассматриваемый двигатель 3 поколения, зададим 0,87 и 0,88 для КПД компрессора основного и второго контуров соответственно.

№	Символ	Значение	Единица
1	$\Xi[V]$	← вы * $\Xi[V]$	
2	m	2.2	
3	$n\{нд\}$	100.0	%
4	$n\{нд.пр.В\}$?	
5	$q(\lambda[V])$	0.65	
6	$N\{в\}$?	
7	$\Pi^*\{кнд\}$	2.0	
8	$\eta^*\{п.кнд.баз\}$	0.87	
9	$\eta^*\{п.кнд\}$?	
10	$\eta^*\{кнд\}$?	
11	$L\{кнд\}$?	
12	$\Pi^*\{кII\}$	1.5	
13	$\eta^*\{п.кII.баз\}$	0.88	
14	$\eta^*\{п.кII\}$?	
15	$\eta^*\{кII\}$?	
16	$L\{кII\}$?	
17	$F[V]$?	
18	m_0	?	
19	хар.в	?	
20	$n\{нд.пр.В\}_0$?	
21	$q(\lambda[V])_0$?	
22	$\Pi^*\{кнд\}_0$?	
23	$\eta^*\{кнд\}_0$?	
24	$\Pi^*\{кII\}_0$?	
25	$\eta^*\{кII\}_0$?	
26	$\Xi[КНД]$?	
27	$\Xi[КII]$?	

Рисунок 15 – Вентилятор

Отдельно узел КНД добавлять не нужно, т.к. он уже учтен в узле вентилятора.

Следующий узел – компрессор высокого давления (переименуем в КВД) (рисунок 16).

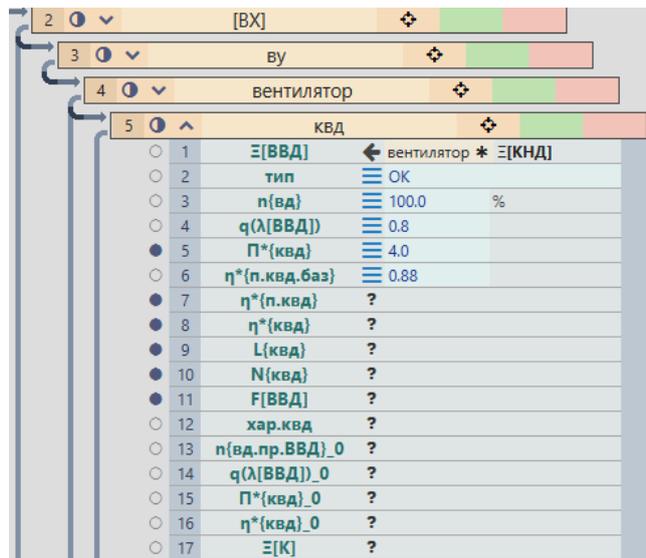


Рисунок 16 – КВД

Связываем с прошлым узлом, устанавливаем тип компрессора, это влияет поправки гидравлического КПД.

Далее задаем отборы на охлаждения РК и СА турбин НД и ВД именно в такой последовательности (рисунок 17) и создаем в них связи. Обратим внимание, что можно «рассчитывать» величины расходов, поскольку далее будет создано условие равенства действительной и потребной величин расходов.

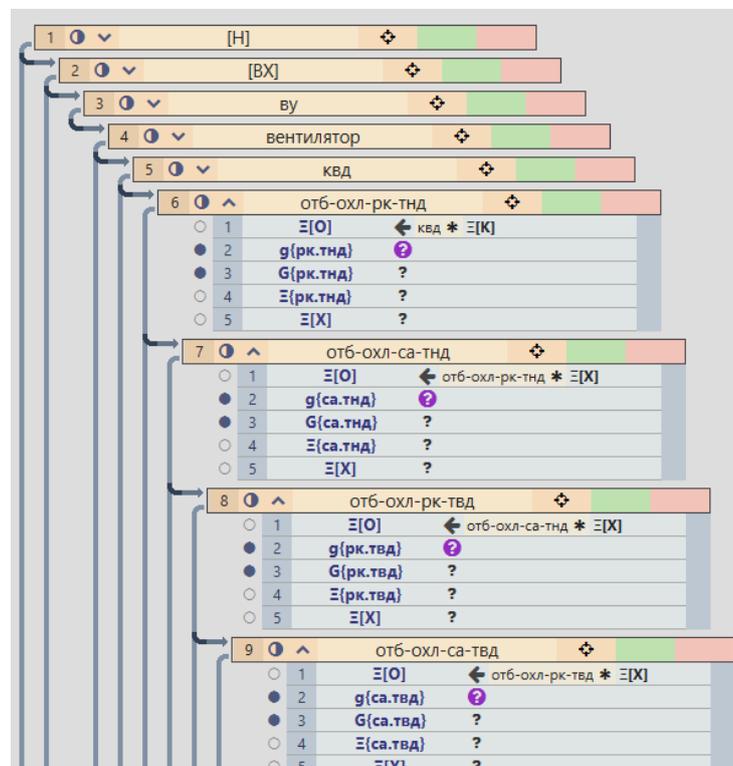


Рисунок 17 – Отборы

Следующий узел – камера сгорания (рисунок 18). Задается связь с последним узлом отбора, исходные данные, тип топлива.

№	Параметр	Значение	Единица
1	$\Xi\{КС\}$	← отб-охл-са-твд * $\Xi\{X\}$	
2	$T^*\{r\}$	1145.0	К
3	$\eta\{r\}$	0.98	
4	$\sigma\{кс\}$	0.95	
5	топливо	Керосин Т-1	
6	$t\{топл\}$	20.0	°C
7	$H\{u\}$?	
8	$H\{p\}$?	
9	$L\{0\}$?	
10	$q\{т\}$?	
11	α	?	
12	$G\{т\}$?	
13	$G\{т.ч\}$?	
14	$G\{т.ч.пр\}$?	
15	$G\{т.ч.пр\}_0$?	
16	$\Xi\{\Gamma\}$?	

Рисунок 18 – Камера сгорания

Далее добавляем узел турбины высокого давления и переименовываем в ТДВ (рисунок 19). Задаем связи.

№	Параметр	Значение	Единица
1	$\Xi\{\Gamma\}$	← кс * $\Xi\{\Gamma\}$	
2	$\Xi\{са.твд\}$	← отб-охл-са-твд * $\Xi\{са.твд\}$	
3	$g'\{са.твд\}$	← твд * $g'\{са.твд\}_потр$	
4	$g'\{са.твд\}_потр$?	
5	$\Xi\{рк.твд\}$	← отб-охл-рк-твд * $\Xi\{рк.твд\}$	
6	$g'\{рк.твд\}$	← твд * $g'\{рк.твд\}_потр$	
7	$g'\{рк.твд\}_потр$?	
8	тип	ОТ	
9	$n\{вд\}$	← квд * $n\{вд\}$	
10	$P^*\{твд\}$?	
11	$\eta^*\{твд.баз\}$	0.89	
12	$\eta^*\{твд\}$?	
13	$\mu\{са.твд\}$	0.97	
14	$a\{твд\}$?	
15	$A\{твд\}$?	
16	$L\{твд\}$?	
17	$N\{твд\}$?	
18	$N\{квд\}$	← квд * $N\{квд\}$	
19	$\eta\{т.вд\}$	0.99	
20	ΔN	0.0	кВт
21	$F\{СА.твд\}$?	
22	хар.твд	?	
23	$n\{вд.пр.\Gamma\}_0$?	
24	$P^*\{твд\}_0$?	
25	$\eta^*\{твд\}_0$?	
26	$\Xi\{ТВД\}$?	

Рисунок 19 – ТВД

Обратите внимание, что появляется связь внутри самого компонента: фактическая величина расхода рабочего тела на охлаждение задается равной потребной величине.

Если величины расходов в результате расчета получаются неадекватными, то рекомендуется залезть в структуру компонента (рисунок 20) и задать коэффициенты эффективности системы охлаждения лопаток СА и РК равным 2, что соответствует пленочному охлаждению (рисунок 21).

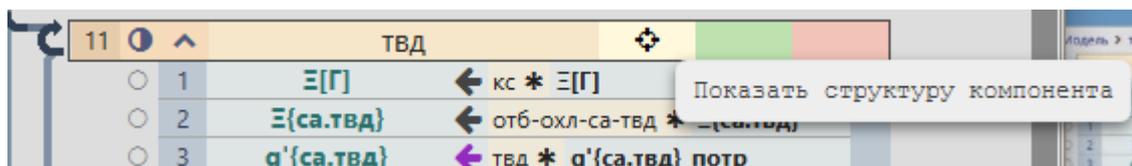


Рисунок 20 – Переход в структуру компонента

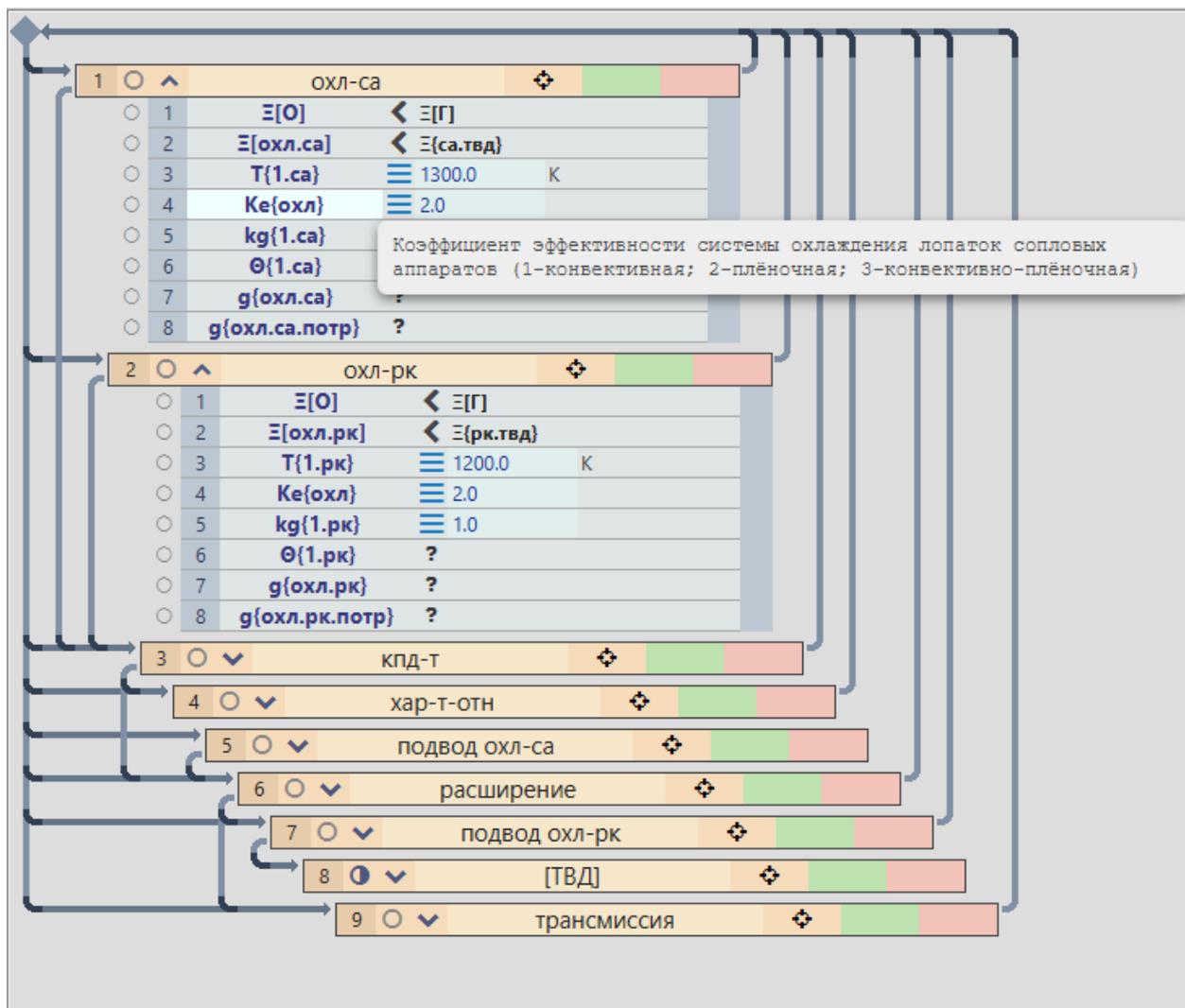


Рисунок 21 – Структура ТВД

Чем выше величина K_e , тем ниже потребная величина расхода рабочего тела.

Поскольку степень понижения давления в турбине неизвестна, ее нужно «рассчитывать». Чтобы программа смогла это сделать, то нужно задать какой-то параметр, (который ранее рассчитывала сама программа). В данном случае можно «включить» уравнение баланса мощности и задать $\Delta N = 0$.

Следующий узел – турбина вентилятора, она же турбина низкого давления (рисунок 22). Параметры задаются аналогично параметрам ТВД.

№	Параметр	Формула/Значение
1	$\Xi(\Gamma_{\text{нд}})$	$\leftarrow \text{твд} * \Xi(\text{ТВД})$
2	$\Xi(\text{са.тнд})$	$\leftarrow \text{отб-охл-са-тнд} * \Xi(\text{са.тнд})$
3	$g'(\text{са.тнд})$	$\leftarrow \text{тнд} * g'(\text{са.тнд})_{\text{потр}}$
4	$g'(\text{са.тнд})_{\text{потр}}$?
5	$\Xi(\text{рк.тнд})$	$\leftarrow \text{отб-охл-рк-тнд} * \Xi(\text{рк.тнд})$
6	$g'(\text{рк.тнд})$	$\leftarrow \text{тнд} * g'(\text{рк.тнд})_{\text{потр}}$
7	$g'(\text{рк.тнд})_{\text{потр}}$?
8	тип	Ξ ОТ
9	$n(\text{нд})$	$\leftarrow \text{вентилятор} * n(\text{нд})$
10	$P^*(\text{тнд})$?
11	$\eta^*(\text{тнд.баз})$	Ξ 0.9
12	$\eta^*(\text{тнд})$?
13	$\mu(\text{са.тнд})$	Ξ 0.97
14	$a(\text{тнд})$?
15	$A(\text{тнд})$?
16	$L(\text{тнд})$?
17	$N(\text{тнд})$?
18	$N(\text{в})$	$\leftarrow \text{вентилятор} * N(\text{в})$
19	$\eta(\text{т.нд})$	Ξ 1.0
20	ΔN	Ξ 0.0 кВт
21	$F(\text{са.тнд})$?
22	хар.тнд	?
23	$n(\text{нд.пр.ГНД})_0$?
24	$P^*(\text{тнд})_0$?
25	$\eta^*(\text{тнд})_0$?
26	$\Xi(T)$?

Рисунок 22 – ТНД

Далее нужно добавить каналы внутреннего и наружного контуров (рисунок 23). Канал I соединяем с ТНД, канал 2 с вентилятором.

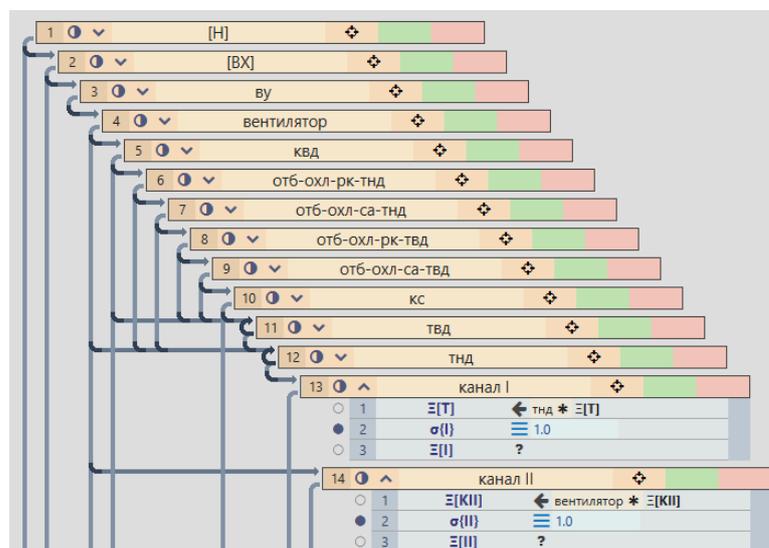


Рисунок 23 – Канал I и канал II

Камеры смешения в данном двигателе нет, поэтому переходим к соплам контуров (рисунок 24). Задаем связи с предыдущими компонентами.

15 сопло I		
1	$\Xi[O]$	← канал I * $\Xi[I]$
2	$p[H]$	← $[H] * p$
3	$P\{c,p\}$?
4	$P\{c\}$?
5	$\varphi\{c\}$	≡ 0.975
6	$\sigma\{c\}$?
7	$\mu\{c\}$	≡ 1.0
8	$P\{c\}$?
9	$\Xi[C]$?
10	$\lambda[C]$?
11	$c[C]$?
12	$T[C]$?
13	$p[C]$?
14	$F[C]$?
15	$P\{c,p\}_0$?

16 сопло II		
1	$\Xi[O]$	← канал II * $\Xi[II]$
2	$p[H]$	← $[H] * p$
3	$P\{c,p\}$?
4	$P\{c\}$?
5	$\varphi\{c\}$	≡ 0.975
6	$\sigma\{c\}$?
7	$\mu\{c\}$	≡ 1.0
8	$P\{c\}$?
9	$\Xi[C]$?
10	$\lambda[C]$?
11	$c[C]$?
12	$T[C]$?
13	$p[C]$?
14	$F[C]$?
15	$P\{c,p\}_0$?

Рисунок 24 – Сопло I и сопло II

Наконец, добавляем компонент показатели ТРДД (рисунок 25), создаем связи, задаем тягу из исходных значений.

17			показатели	
○	1	$p[H]$	←	$[H] * p$
○	2	$\Xi[BX]$	←	$[BX] * \Xi$
○	3	$\Xi[B]$	←	вентилятор * $\Xi[B]$
○	4	$\Xi[K]$	←	квд * $\Xi[K]$
●	5	$P\{\Sigma\}$?	
●	6	$P^*\{к\Sigma\}$?	
○	7	$\eta^*\{к\Sigma\}$?	
●	8	$G\{в\}$?	
○	9	$J\{вх\}$?	
○	10	$P\{с\}$	←	сопло I * $P\{с\}$
○	11	$P\{сII\}$	←	сопло II * $P\{с\}$
●	12	P	≡	4.344 кН
●	13	$P\{уд\}$?	
●	14	$G\{т.ч\}$	←	кс * $G\{т.ч\}$
●	15	$C\{уд\}$?	

Рисунок 25 – Показатели ТРДД

Модель проектного расчета готова. Можно запускать расчет. Если при этом появляется ошибка, связанные с избыточным числом уравнений, есть возможность перейти в меню, где они отображены (рисунок 26) и попытаться найти лишнее уравнение.

AI-25 >	
AI-25	
☰ + ↻ ⚙ 🔗	
Максимальное количество итераций $i\{max\}$	1000
Допустимая величина относительной погрешности ϵ	1.0E-7
Относительный шаг численного дифференцирования δ	0.00333
Начальные значения варьируемых параметров (8)	
отб-охл-рк-тнд * $g\{рк.тнд\}$	[0.0]
отб-охл-са-тнд * $g\{са.тнд\}$	[0.0]
отб-охл-рк-твд * $g\{рк.твд\}$	[0.0]
отб-охл-са-твд * $g\{са.твд\}$	[0.0]
твд * $P^*\{твд\}$	[5.1657]
тнд * $P^*\{тнд\}$	[5.1657]
сопло I * $P\{с.р\}$	[2.0]
сопло II * $P\{с.р\}$	[2.0]
Уравнения (9)	
твд * $g'\{са.твд\}$	← твд * $g'\{са.твд\}_{потр}$
твд * $g'\{рк.твд\}$	← твд * $g'\{рк.твд\}_{потр}$
твд * ΔN	≡ 0.0 кВт
тнд * $g'\{са.тнд\}$	← тнд * $g'\{са.тнд\}_{потр}$
тнд * $g'\{рк.тнд\}$	← тнд * $g'\{рк.тнд\}_{потр}$
тнд * ΔN	≡ 0.0 кВт
сопло I * $p[H]$	← $[H] * p$
сопло II * $p[H]$	← $[H] * p$
показатели * P	≡ 4.344 кН

Рисунок 26 – Уравнения, используемые в расчете (кнопка скрепка)

Результаты расчета будут представлены в табличном виде, аналогично представлению результатов упрощенного расчета (рисунок 27).

AM-25				
[H]				
M	-		0,48	Число Маха скорости потока
H	км		6,0	Высота
p	кПа		47,218	Давление атмосферного воздуха
T	K		249,19	Температура атмосферного воздуха
ρ	кг/м ³		0,6601	Плотность атмосферного воздуха
V	м/с		151,91	Скорость набегающего потока воздуха
V{ч}	км/ч		546,87	Скорость набегающего потока воздуха [км/ч]
$\Pi(V)$	-		1,1708	Степень повышения давления от скорости
p*	кПа		55,285	Полное давление потока воздуха
T*	K		260,69	Полная температура потока воздуха
[BX]				
p*	кПа		55,285	Полное давление потока воздуха
T*	K		260,69	Полная температура потока воздуха
G{в}	кг/с		20,498	Расход воздуха
ву				
$\sigma\{вх\}$	-		0,9	Коэффициент восстановления полного давл
[B]				
G	кг/с		20,498	Расход рабочего тела
p*	кПа		49,756	Полное давление
T*	K		260,69	Полная температура

Время расчёта : 0 h 0 min 0 s 363 ms

Рисунок 27 – Результаты расчета

3 Оптимизация

В процессе выполнения курсовой работы потребуется найти комбинацию исходных данных, обеспечивающих повышение эффективности исходной модели двигателя. В ASTRA для этого предусмотрена специальная одноименная функция (рисунок 28).

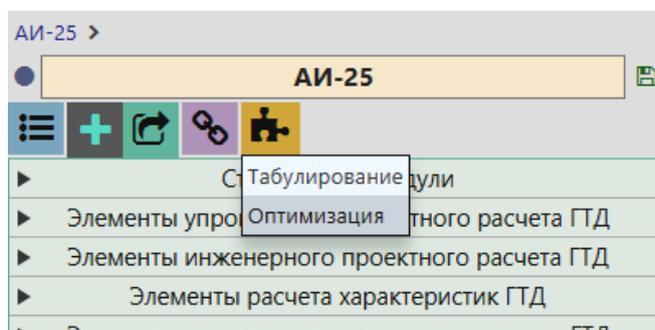


Рисунок 28 – Выбор дополнительной процедуры

В качестве целевой функции следует выбрать тот параметр, значение которого нужно минимизировать! Например, удельный расход топлива (рисунок 29).

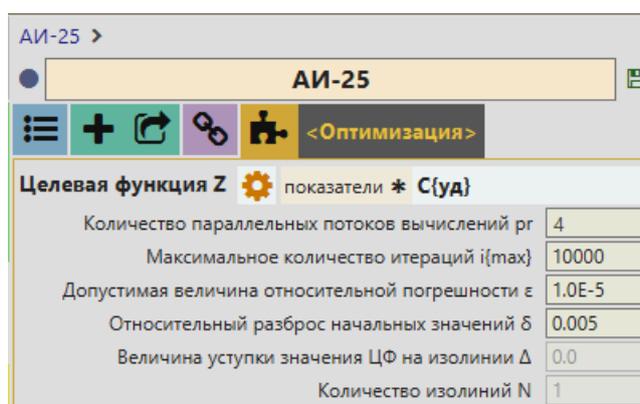


Рисунок 29 – Выбор целевой функции

Далее следует выбрать параметр, по которой программа будет проводить оптимизацию. Например, выберем параметр температуры газа перед турбиной T_r^* (рисунок 30). Для этого нажимаем на параметре и выбираем «оптимизировать».



Рисунок 30 – Оптимизация T_r^*

Далее расчет запускается вновь. Не стоит пугаться, этот расчет займет ощутимо большее количество времени, поскольку программа ищет оптимальное значение данного параметра.

В полученных результатах (рисунок 31) находим T_r^* и видим, что для $T_r^* = 985,11$ К получим наименьший удельный расход топлива. Напомним, что изначально $T_r^* = 1125$ К.

КС			
$T^*\{r\}$	К	985,11	Полная температура рабочего тела в
$\eta\{r\}$	-	0,98	Коэффициент полноты сгорания топли
$\sigma\{КС\}$	-	0,95	Коэффициент восстановления полного
топливо		Керосин Т-1	Состав и свойства топлива
$H\{u\}$	кДж/кг	42915,0	Теплота сгорания топлива
$L\{0\}$	-	14,627	Стехиометрический коэффициент
$q\{T\}$	-	0,01291	Относительный расход топлива
$G\{T,ч\}$	кг/ч	391,8	Часовой расход топлива

Рисунок 31 – Результаты оптимизации

Аналогично можно попробовать оптимальное значение суммарной степени повышений давления в компрессоре.