

***СПРУТ-АЭД***  
***«Тепловентиляционный расчет***  
***закрытых обдуваемых***  
***асинхронных***  
***двигателей с КЗ ротором»***

***Руководство пользователя***

**Москва 2016г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	3
1. ФИРМА—РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА.....	4
2. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ.....	4
3. ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОРАЗМЕРОВ И ИСПОЛНЕНИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, РАСЧЕТ КОТОРЫХ ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ ПРОГРАММОЙ.....	4
4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА.....	5
5. УСЛОВИЯ РАСЧЕТА.....	6
6. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ.....	8
7. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ «АЭДЗ_ТВ 2.2».....	9
8. ВХОДНЫЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПРОГРАММЫ.....	12
9. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В БЗ "ТЕПЛОВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ РАСЧЕТ" .....	22
10. НАДЕЖНОСТЬ ПРОГРАММЫ.....	23
11. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРОГРАММЫ.....	23
12. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ И БАЗОВОМУ СИСТЕМНОМУ ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ .....	23
13. ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ .....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПОЛНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКЛАДОК ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ.....	25

## Аннотация

Описываются основные функциональные возможности программы тепловентиляционного расчета закрытых обдуваемых асинхронных электродвигателей, версия «АЭДЗ\_ТВ 2.2».

Программа является пользовательским интерфейсом базы знаний "Тепловентиляционный расчет закрытых обдуваемых асинхронных электродвигателей", содержащей методы расчета асинхронных двигателей младших габаритов и средних габаритов.

Программа также поддерживает тепловой расчет вентиляно-индукторных двигателей классической конструкции.

Названная база знаний, созданная в экспертной системе SprutExpro, является средой разработчика программы тепловентиляционного расчета, доступной для пополнения и корректировки. Пользовательский интерфейс, или, иначе, среда пользователя – позволяет выполнять расчеты, сохранять и выводить результаты, расчеты, но не позволяет менять код программы.

Все свойства модели асинхронного двигателя (АЭД), фигурирующей в программе, могут передаваться в другие программы расчетной подсистемы САПР, а также в другие подсистемы САПР, поскольку тепловентиляционная модель не локальна, а является составной частью единой интегрированной модели АЭД.

Программа может эксплуатироваться:

- как профессиональная версия на электротехнических предприятиях соответствующего профиля;
- как учебная версия, используемая при обучении студентов электротехнических специальностей на курсах "Проектирование электрических машин", "САПР электрических машин".

## **1. Фирма–разработчик программного продукта.**

Общество с ограниченной ответственностью «Центр СПРУТ–Т», г. Москва..

## **2. Назначение программы.**

Программа тепловентиляционного расчета предназначена для определения среднего превышения температуры обмотки статора АЭД, а также превышений температуры в 17 – 21 элементе электрической машины. Число элементов определяется условиями расчета, раздел 4. По результатам тепловентиляционного расчета делается заключение о соответствии спроектированного двигателя электромагнитным и, следовательно, тепловым нагрузкам.

Среднее превышение температуры обмотки статора может передаваться в программу поверочного электромагнитного расчета АЭД для уточняющего расчета греющих потерь.

Программа является составной частью расчетной подсистемы асинхронных двигателей. Расчетная подсистема АЭД является важнейшим звеном системы сквозного автоматизированного проектирования АЭД по единой взаимосвязанной цепочке: **расчеты АЭД ⇔ конструирование АЭД ⇔ технологическое проектирование АЭД ⇔ проектирование технологической оснастки ⇔ генерация управляющих программ для станков с ЧПУ.**

Интегрирование перечисленных подсистем обеспечивается использованием единых интегрированных средств разработки и отладки расчетно-конструкторских моделей АЭД, созданных в инструментарии компании «**СПРУТ–Технология**», а также поддержкой современных серверов баз данных.

Программа применяется в расчетном секторе отдела главного конструктора электротехнического предприятия.

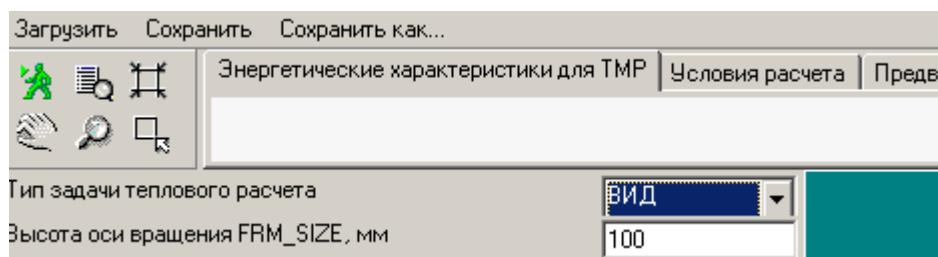
Программа может быть использована в учебном процессе для студентов электротехнических специальностей в курсе "Проектирование электрических машин" или "САПР электрических машин".

## **3. Перечень типоразмеров и исполнений электродвигателей, расчет которых поддерживается программой.**

Программа тепловентиляционного расчета версии «**АЭДЗ\_ТВ 2.2**» поддерживает расчет следующих типоразмеров и исполнений АЭД:

- а) Высота оси вращения: 50 – 355 мм.

- b) Установочные размеры, по длине сердечника статора: все, предусмотренные габаритами 50–80 мм.
- c) Установочные размеры, по длине станины: все, предусмотренные габаритами 90–355 мм.
- d) Защита и охлаждение: закрытое исполнение с внешним обдувом корпуса.
- e) Число полюсов: 2, 4, 6, 8, 10, 12.
- f) Частота питающего напряжения: 50 Гц, 60 Гц.
- g) Напряжение питающей сети: все сочетания напряжений, предусмотренные документацией на двигатели 50 –355 габарита.
- h) Способ монтажа: IM 108X, IM 208X, IM 218X, IM 308X, IM 368X по ГОСТ 2479-79.
- i) Электрическая модификация: трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с произвольными требованиями к энергетическим и пусковым характеристикам.
- j) Настоящая версия поддерживает тепловентиляционный расчет вентиляционно-индукторных двигателей (закрытое исполнение с внешним обдувом корпуса) в том числе при "рядной укладке" обмотки статора:



- k) Настоящая версия поддерживает тепловентиляционный расчет АЭД с КЗ ротором, с циркуляционными трубами, при этом внутренний вентилятор может устанавливаться как со стороны наружного вентилятора, так и со стороны, противоположной наружному вентилятору.

#### 4. Последовательность расчета.

1. Определение коэффициентов теплопроводности, либо коэффициентов теплоотдачи элементов эквивалентной тепловой схемы замещения (ЭТС). Базовая схема ЭТС показана на рис. п.1.9.
2. Определение тепловых проводимостей элементов ЭТС.
3. Решение системы алгебраических уравнений и определение расчетных превышений температуры элементов АЭД.

Вентиляционный расчет АЭД с КЗ ротором выполняется в объеме, необходимом для формирования полного перечня исходных данных теплового расчета. В отсутствие внутреннего вентилятора выполняется расчет только для внешнего вентилятора. При наличии внутреннего вентилятора (для АЭД с

циркуляционными трубами и вентиляционными каналами в роторе) выполняется также расчет внутреннего контура вентиляции.

Выполнение тепловентиляционного расчета АЭД целесообразно проводить непосредственно после выполнения электромагнитного расчета.

При работе в составе интегрированной САПР на вход данной программы поступают следующие свойства АЭД:

1. Из подсистемы автоматизированного анализа ТЗ – подмножество определяющих свойств, необходимое для выбора экземпляра АЭД, который подвергается тепловому расчету.

2. Из базы знаний "электромагнитный расчет АЭД":

– полные сведения о греющих потерях:  $P_{cuS}$ ,  $P_{cuR}$ ,  $P_{zs}$ ,  $P_{fedob}$ ,  $P_{mec0}$ ;

– геометрия активных частей АД и его обмоточные данные (около 40 свойств).

3. Из конструкторской подсистемы, от выбранного аналога, – требуемая геометрия для описания сердечников, станины, щитов, диффузора, вентилятора и кожуха вентилятора (около 100 свойств).

4. Собственные свойства БЗ "Тепловентиляционный расчет": теплофизические свойства применяемых материалов и ряд расчетных размеров.

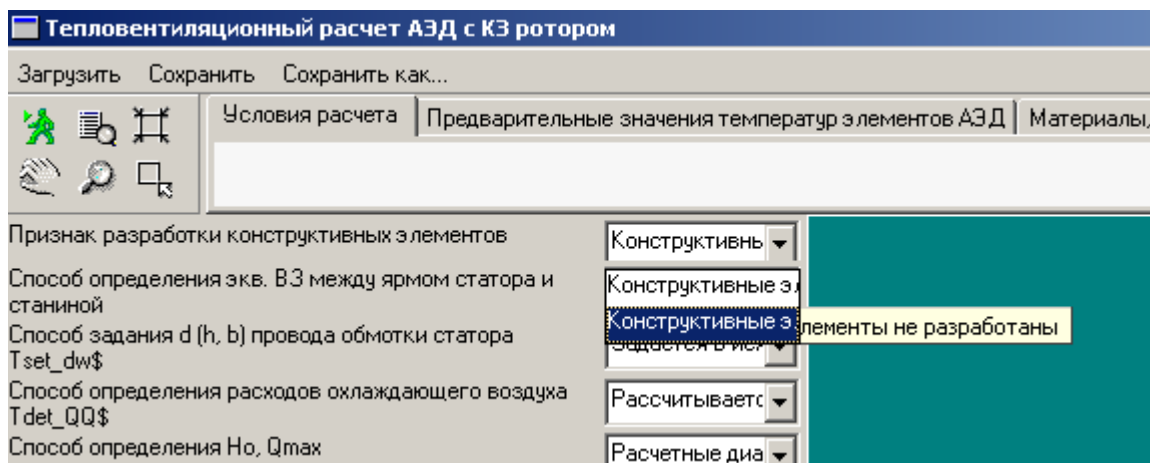
Свойства группы 3 можно корректировать непосредственно при тепловентиляционном расчете. Здесь же можно изменять марки изоляционных и конструкционных материалов. При необходимости измененные свойства можно автоматически передавать в конструкторскую подсистему.

При автономной эксплуатации программы свойства пп. 1–4 задаются вручную.

## 5. Условия расчета.

Расчет может быть выполнен при следующих условиях.

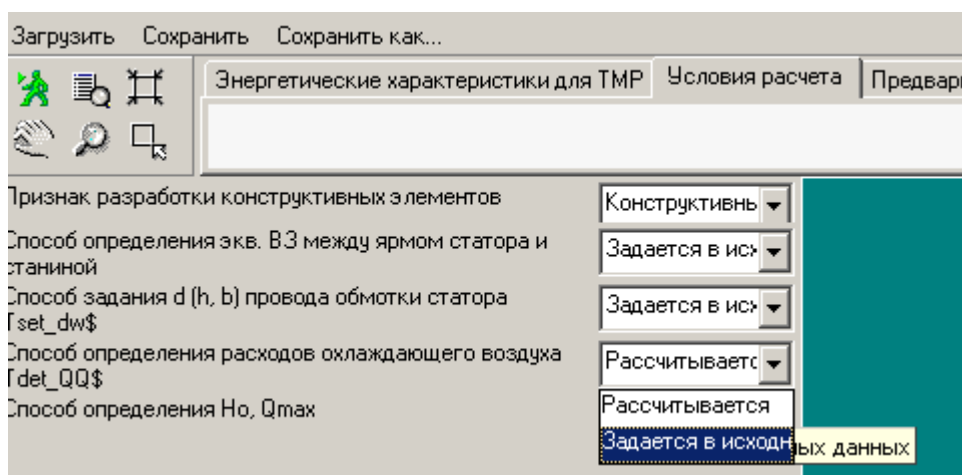
1. В рассчитываемой машине конструктивные элементы (щиты, станины) могут быть как разработаны, так и не разработаны. Таким образом, программа имеет функцию, открывающую возможность выполнения теплового расчета на стадии проектирования активных частей АЭД, до разработки конструктивных элементов. В данном случае геометрические размеры элементов, входящих в расчет, не задаются, а определяются по эмпирическим формулам, в функции геометрии активных частей. Названные формулы получены путем анализа большого ряда существующих конструкций АЭД. На рис. 1. показан фрагмент интерфейса системы с выбором условия расчета "Конструктивные элементы не разработаны".



**Рис. 1.**

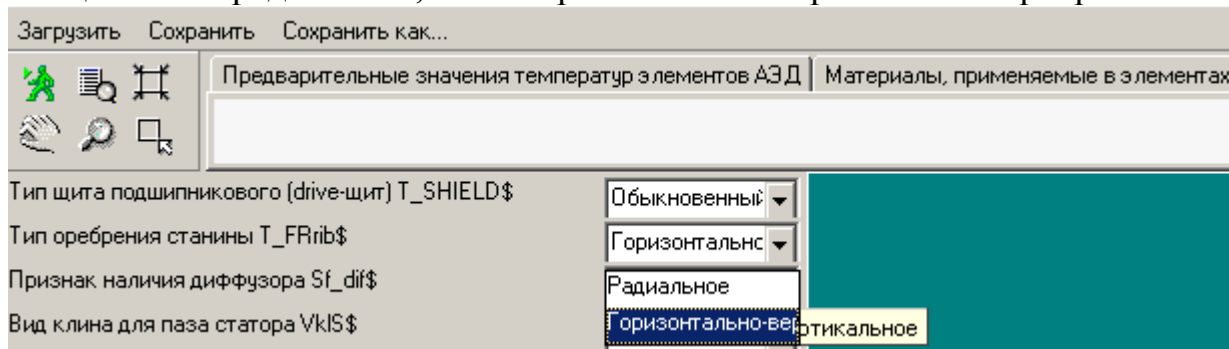
2.Зазор между ярмом статора и станиной может либо рассчитываться, либо задаваться в исходных данных.

3.Расход охлаждающего воздуха либо рассчитывается, либо задается в исходных данных. Последнее означает, что программа не выполняет ветвь вентиляционного расчета, а непосредственно переходит к расчету тепловому.



**Рис. 2.**

4.Расчет может быть выполнен для электродвигателей со станинами, имеющими как радиальное, так и горизонтально–вертикальное оребрение:



**Рис. 3.**

5.Расчет может быть произведен для случая, когда тип щита со стороны привода отличается от типа щита со стороны вентилятора.

В программу впервые в явном виде включены зависимости коэффициентов теплопроводности электротехнических материалов от температуры (электротехнической стали, проводниковых материалов, а также конструкционных материалов, у которых неприменимо допущение  $\lambda_i = \text{const}$  при  $t_i \neq \text{const}$ ). Указанный факт подразумевает задание предварительных значений температур, пп. 18–28 таблицы 2, которые затем уточняются по результатам методики теплового расчета. Уточнение производится за 1–2 ручные итерации. В одной из ближайших версий программы такое уточнение будет проводиться автоматически.

Рекомендуется задавать следующие предварительные значения температур элементов АЭД:

**Таблица 1.**

	Класс изоляции В	Класс изоляции F	Класс изоляции H
1.	$tp_{ain} = t_{aout} + 40$	$tp_{ain} = t_{aout} + 60$	$tp_{ain} = t_{aout} + 70$
2.	$tp_{AvAout} = t_{aout} + 10$	$tp_{AvAout} = t_{aout} + 20$	$tp_{AvAout} = t_{aout} + 30$
3.	$tpwS = t_{aout} + 60$	$tpwS = t_{aout} + 80$	$tpwS = t_{aout} + 100$
4.	$tp_{ZS} = t_{aout} + 55$	$tp_{ZS} = t_{aout} + 75$	$tp_{ZS} = t_{aout} + 80$
5.	$tp_{JS} = t_{aout} + 40$	$tp_{JS} = t_{aout} + 50$	$tp_{JS} = t_{aout} + 70$
6.	$tp_{FrDr} = t_{aout} + 20$	$tp_{FrDr} = t_{aout} + 30$	$tp_{FrDr} = t_{aout} + 40$
7.	$tp_{FrSt} = t_{aout} + 30$	$tp_{FrSt} = t_{aout} + 40$	$tp_{FrSt} = t_{aout} + 50$
8.	$tp_{FrFn} = t_{aout} + 10$	$tp_{FrFn} = t_{aout} + 20$	$tp_{FrFn} = t_{aout} + 30$
9.	$tp_{aFrDr} = t_{aout} + 10$	$tp_{aFrDr} = t_{aout} + 20$	$tp_{aFrDr} = t_{aout} + 30$
10.	$tp_{aFrS} = t_{aout} + 10$	$tp_{aFrS} = t_{aout} + 15$	$tp_{aFrS} = t_{aout} + 25$
11.	$tp_{afnFr} = t_{aout} + 5$	$tp_{afnFr} = t_{aout} + 10$	$tp_{afnFr} = t_{aout} + 15$

## 6. Используемые базы данных.

Программа «АЭДЗ\_ТВ 2.2» содержит БД материалов по следующим позициям:

- БД электротехнических сталей;
- БД эмаль–проводов;
- БД алюминиевых сплавов;
- БД электроизоляционных материалов.

В частности, БД алюминиевых сплавов содержит данные о плотности, удельной электропроводности, температурном коэффициенте сопротивления следующих сплавов: А5, А5Е, А6, А7, А7П, А8, А8П, АК3, АК10, АК12М3,



АК9Мц, АМГ7, АХЖ, АК10Мц2, АМГ9К, АМц2, АМц2Х, АК15Мц2, АМцХ\_12, АМц2Х\_15, АК11, АК12, АДО. На рис. 4 показан момент выбора материала колец ротора в интерфейсе программы.

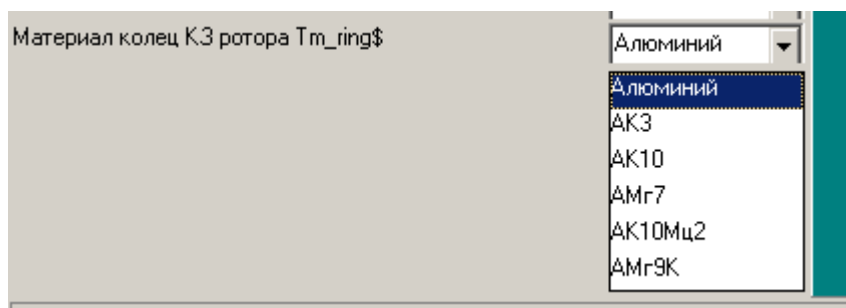


Рис. 4.

Являясь средой открытого доступа, база знаний "Тепловентиляционный расчет" позволяет пополнять названные и открывать новые базы данных, осуществлять навигацию свойств между БД конструкторской подсистемы и БД расчетных подсистем.

Собственно исходные данные на каждую рассчитываемую машину хранятся в виде записей в сервере БД **INTRBASE**. Используемый менеджер БД – **IB Expert**. На рис. 5. показан фрагмент таблицы БД с исходными данными для тепловентиляционного расчета ряда АЭД:

TYPE_AD	PROBLEM_CASE	FRAME_SIZE	POWER_P2N	P_f
1BAQ_280_2	АД с К3 ротором	280	110 000.0	100
5A100S4A3M3_тек_AIS05ит1	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
5A100S4A3M3_чуг1_AIS05	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
5A100S4A3M3_чуг1_AIS05ит1	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
5A100S4A3M3_чуг_AIS05ит1	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
5A100S4A3M3_чуг_AIS05ит2	АД с К3 ротором	100	3 500.0	100
5AM315S2_2013	АД с К3 ротором	315	160 001.0	100
5AM315S2_2212	АД с К3 ротором	315	160 001.0	100
5AM315S2A3_эт1	АД с К3 ротором	315	160 001.0	100
5AM315S2A3M3	АД с К3 ротором	315	160 001.0	100
5AM315S2A3M3_8459	АД с К3 ротором	315	160 001.0	100
5AM315M2A3_8623	АД с К3 ротором	315	200 000.0	100
5AM315M2A3_эт1	АД с К3 ротором	315	200 001.0	100
5AM315M4A3M3	АД с К3 ротором	315	200 001.0	100
New	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
АДМ100L4_04609	АД с К3 ротором	100	4 000.0	100
АДМ100S4_04607	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
АДМ100S4_04608	АД с К3 ротором	100	3 000.0	100
АДМ100S4_04609	АД с К3 ротором	100	4 000.0	100
АДМ100L4	АД с К3 ротором	100	4 001.0	100

Рис. 5

## 7. Краткое описание интерфейса программы «АЭДЗ\_ТВ 2.2»

Общий вид пользовательского интерфейса с открытой БД исходных данных показан на рис. 6.

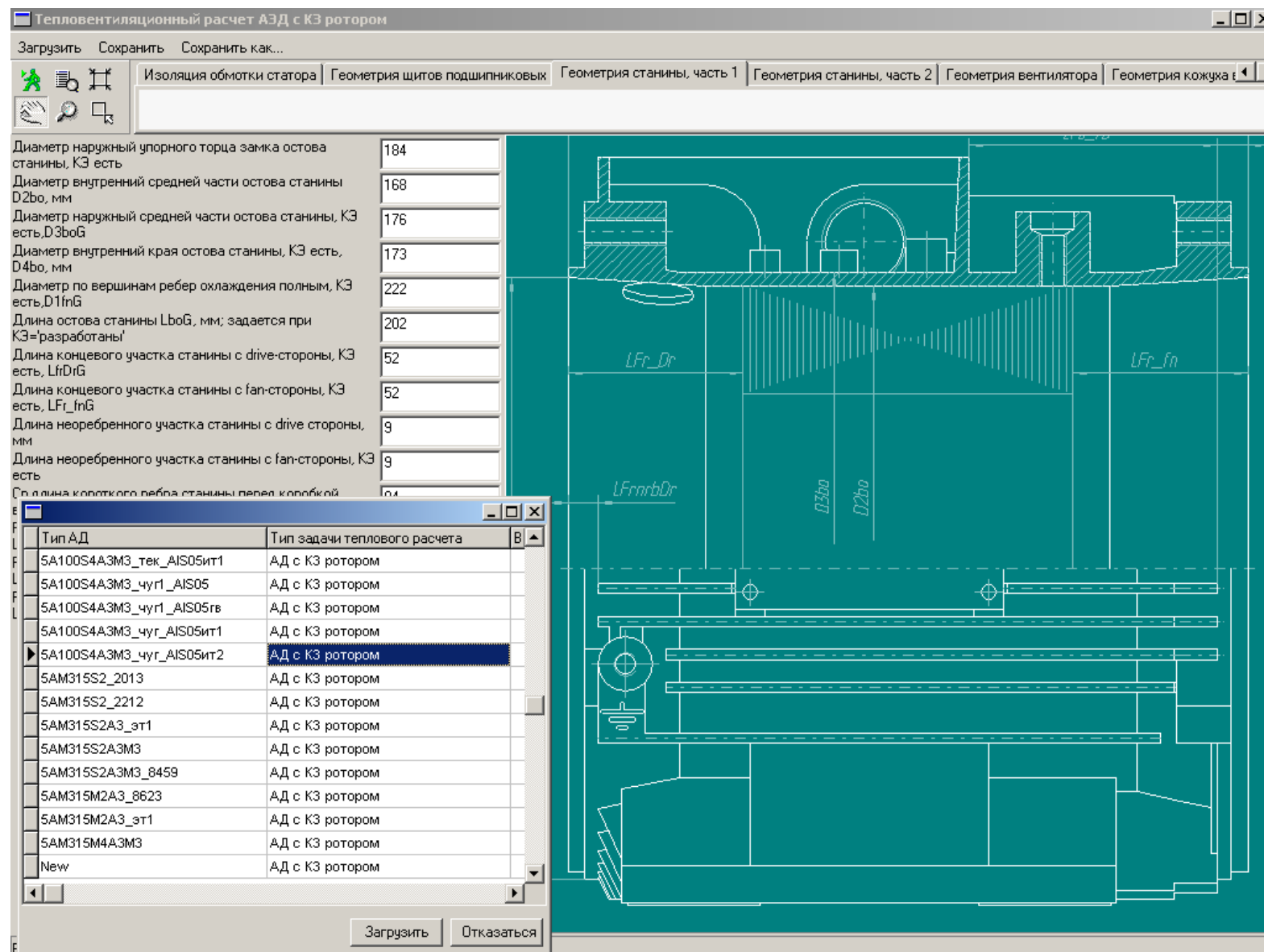


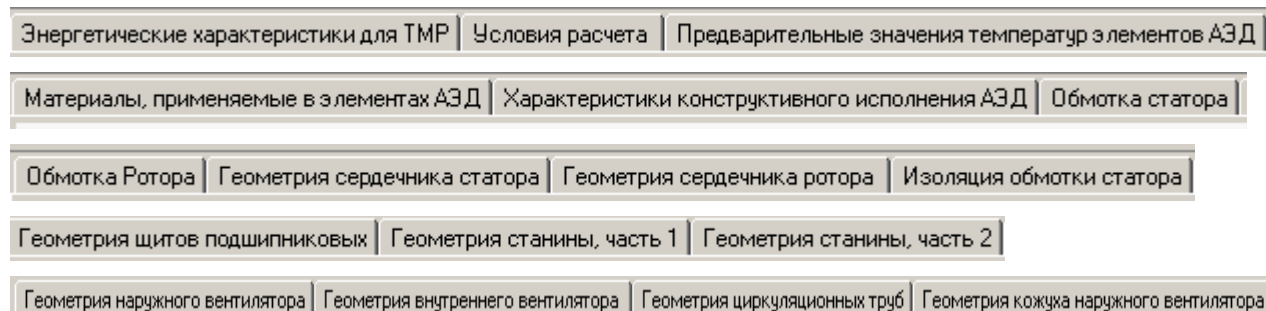
Рис. 6

Выполнение расчета производится в результате нажатия кнопки .

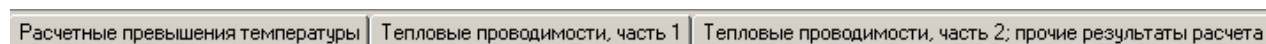
Визуализация эскизов узлов и деталей АЭД в интерфейсе пользователя проводится традиционными кнопками 2D–CAD:



Все исходные данные для удобства тематически разбиты на 17 закладок:

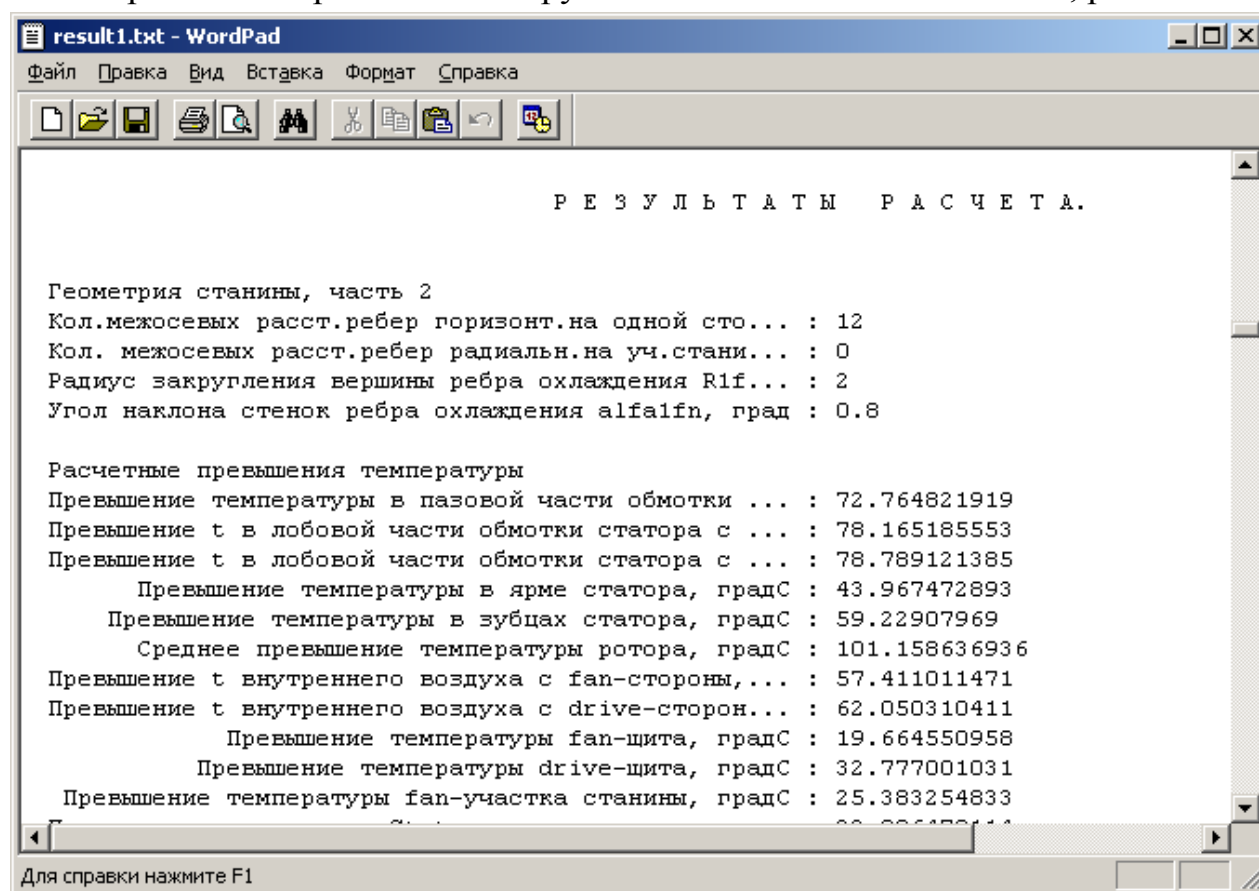


*Основные* выходные данные тематически разбиты на 3 закладки:



Просмотр *всех* выходных данных осуществляется после нажатия кнопки .

При этом открывается инструмент Microsoft Office WordPad, рис. 7:



**Рис. 7**

Кнопка "Загрузить" загружает Списки исходных данных.

Кнопка "Сохранить" сохраняет запись исходных данных после ее редактирования с тем же именем.

Кнопка "Сохранить как" сохраняет запись исходных данных после ее редактирования с новым именем.

Загрузить Сохранить Сохранить как...

Табличный перечень входных и основных выходных данных представлен в разделе 8.

Полное содержание основных закладок представлено в Приложении 1.

## 8. Входные и основные выходные данные программы.

### Входные данные

Таблица 2.

№ пп	Идентификатор	Ед. изм.	Русское наименование
			<i>Энергетические характеристики АЭД для ТМР: (1)</i>
1.	TypeAD\$	—	Тип АЭД
2.	PrblCase\$	—	Тип задачи теплового расчета
3.	FRM_SIZE	мм	Высота оси вращения
4.	P2n	Вт	Номинальная мощность АЭД
5.	p_pol	—	Число пар полюсов
6.	n_n	об/мин	Номинальная частота вращения
7.	PcuS_w	Вт	Потери в обмотке статора при нагрузке
8.	PcuR_w	Вт	Потери в обмотке ротора при нагрузке
9.	PzSmain	Вт	Основные магнитные потери в зубцах статора
10.	PjS	Вт	Магнитные потери в ярме статора
11.	Pfe0plus	Вт	Добавочные потери в стали на холостом ходу
	Pmec0	Вт	Механические потери АД на холостом ходу
12.	Pbear	Вт	Суммарные потери в подшипниках
13.	Pfana	Вт	Вентиляционные потери от внешнего вентилятора
14.	PfaniG	Вт	Вентиляционные потери от внутреннего вентилятора, задаваемые в ИД
15.	KPplw	—	Коэффициент добавочных потерь при нагрузке
			Условия расчета (2)
16.	ConstrEI\$	—	Признак разработки конструктивных элементов
17.	Kdl_FrSt\$	—	Способ определения эквивалентного ВЗ между ярмом статора и станиной
18.	Tset_dw\$	—	Способ задания d (b, h) провода обмотки статора
19.	Tdet_QQ\$	—	Способ определения расходов наружного охлаждающего воздуха
20.	TdetHQm\$	—	Способ определения Но, Qmax
21.	Tdet_QQi\$	—	Способ определения расхода воздуха внутренней циркуляции
22.	Tdet_PFi\$	—	Способ определения потерь от внутреннего вентилятора
			Предварительные значения

			<b>температур элементов АЭД: (3)</b>
23.	t_aout	°C	Температура окружающей среды
24.	tp_ain	°C	Предварительная средняя температура воздуха внутри двигателя
25.	tp_aRcan	°C	Предварительное значение температуры в каналах ротора
26.	tpAvAout	°C	Предварительная средняя температура охлаждающего воздуха
27.	tpwS	°C	Предварительная средняя температура обмотки статора
28.	tp_ZS	°C	Предварительное значение температуры зубцов статора
29.	tp_JS	°C	Предварительное значение температуры ярма статора
30.	tp_JR	°C	Предварительное значение температуры ярма ротора
31.	tp_FrDr	°C	Предварительное значение температуры участка станины со стороны привода
32.	tp_FrSt	°C	Предварительное значение температуры участка станины над пакетом статора
33.	tp_FrFn	°C	Предварительное значение температуры участка станины со стороны наружного вентилятора
34.	tp_aFrDr	°C	Предварительное значение температуры наружного воздуха на Drive–участке станины
35.	tp_aFrSt	°C	Предварительное значение температуры наружного воздуха на Stator–участке станины
36.	tp_afnFr	°C	Предварительное значение температуры наружного воздуха на участке: вход в вентилятор – вход в станину
			Материалы, применяемые (4) <b>в элементах АЭД:</b>
37.	Tsteel\$	–	Марка электротехнической стали
38.	Tm_bed\$	–	Материал станины
39.	TmSlinS\$	–	Материал пазовой изоляции (паз статора)
40.	TmslinSp\$	–	Материал дополнительной пазовой изоляции (паз статора)
41.	TmTcJS\$	–	Материал изоляционной прокладки на дне паза статора
42.	TmdlinS\$	–	Материал изоляционной прокладки между катушками паза статора
43.	TmSinse\$		Материал изоляции лобовой части катушек обмотки статора
44.	Vimp_lc\$		Вид пропиточного лака
45.	TmtwS\$	–	Материал проволоки обмотки статора
46.	Tm_bar\$	–	Материал стержней КЗ ротора
47.	Tm_ring\$	–	Материал колец КЗ ротора
			<b>Характеристики конструктивного исполнения АД: (5)</b>
48.	T_SHIELD\$		Тип щита подшипников (drive–щит)
49.	T_FRrib\$		Тип оребрения станины
50.	Sf_dif\$		Признак наличия диффузора
51.	VklS\$	–	Вид клина для паза статора
52.	SetInFan\$	–	Расположение внутреннего вентилятора
			<b>Обмотка статора: (6)</b>
53.	Twl_rndS\$	–	Тип круглого провода обмотки статора

54.	Twi_Rcts\$		Тип прямоугольного провода обмотки статора
55.	WnS_Ord\$	—	Признак упорядоченности укладки обмотки статора
56.	COS\$	—	Вид обмоточного провода статора
57.	KslS	—	Коэффициент заполнения паза статора
58.	dcuSi	мм	Диаметр голого провода обмотки статора из ИД
59.	dcu_iSi	мм	Диаметр изолированного провода обмотки статора из ИД
60.	hcuSi	мм	Высота голого прямоугольного провода обмотки статора из ИД
61.	hcu_iSi	мм	Высота изолированного прямоугольного провода обмотки статора из ИД
62.	bcuSi	мм	Ширина голого прямоугольного провода обмотки статора из ИД
63.	bcu_iSi	мм	Ширина изолированного прямоугольного провода обмотки статора из ИД
64.	NpS	шт.	Число эффективных проводников в пазу статора
65.	NaS	шт.	Число элементарных проводников в одном эффективном
66.	Kimp	—	Коэффициент пропитки обмотки статора
67.	LewS	мм	Длина лобовой части обмотки статора
68.	LewSfr	мм	Длина вылета лобовой части обмотки статора
			<b>Обмотка ротора (7)</b>
69.	QRsm	мм <sup>2</sup>	Площадь сечения стержня КЗ обмотки ротора
70.	Lring	мм	Длина кольца КЗ клетки ротора
71.	hring	мм	Радиальный размер кольца ротора
72.	N_Rblade	шт.	Число лопаток КЗ клетки ротора
73.	LRblade	мм	<b>Длина лопатки КЗ клетки ротора</b>
74.	h_Rblade	мм	Высота лопатки КЗ клетки ротора
			<b>Геометрия сердечника статора(8)</b>
75.	DaS	мм	Внешний диаметр сердечника статора
76.	DiS	мм	Внутренний диаметр сердечника статора
77.	LS	мм	Конструктивная длина сердечника статора
78.	ZS	—	Число зубцов статора
79.	hzS	мм	Высота зубца статора
80.	hcS	мм	Высота шлица паза статора
81.	hklS	мм	Высота клиновой части паза статора
82.	hjS	мм	Высота ярма статора
83.	BzS	мм	Средняя ширина зубца статора
84.	BslS	мм	Средняя ширина паза статора
85.	BgS	мм	Ширина или диаметр дна паза статора
86.	BfS	мм	Ширина канавки в ярме статора
87.	NfS	—	Число канавок для крепления пакета статора
88.	KstSt	—	Коэф–т заполнения сталью пакета статора
			<b>Геометрия и сердечника ротора:(9)</b>
89.	DelW	мм	Рабочий воздушный зазор
90.	LR	мм	Конструктивная длина сердечника ротора
91.	ZR	—	Число зубцов ротора
92.	BzR	мм	Средняя ширина зубца ротора
93.	KstRt	—	Коэффициент заполнения сталью пакета ротора

94.	DccRax	мм	Диаметр центров вент. аксиальных каналов ротора
95.	NRax	—	Число аксиальных вент. каналов ротора
96.	DcRax	мм	Диаметр аксиального вент. канала ротора
			Пазовая изоляция (10)
97.	Ta_iS	мм	Воздушный зазор между пазовой изоляцией и пакетом статора
98.	TinsS	мм	Односторонняя толщина пазовой изоляции обмотки статора
99.	TklS	мм	Толщина клина паза статора
100.	TtklS	мм	Отрезок от шлица статора до верхней кромки меди (при клин–крышке)
101.	TinspS	мм	Толщина дополнительной пазовой изоляции
102.	TtcS	мм	Толщина изоляционной прокладки для дна паза статора
103.	TgS	мм	Суммарная толщина изоляции у дна паза статора
104.	Ttcsms	мм	Суммарная толщина технологических прокладок у клина паза статора
105.	dlinsS	мм	Суммарная толщина изоляции между слоями обмотки статора
106.	Tinses	мм	Односторонняя толщина изоляции лобовой части катушек статора
107.	Tlcws	мм	Толщина пропиточного лака между проводами
			Геометрия щитов подшипниковых (11)
108.	KSldrbod	—	Коэффициент оребрения наружной поверхности щита со стороны привода
109.	KSldrbof	—	Коэффициент оребрения наружной поверхности щита со стороны вентилятора
110.	Keslribd	—	Коэффициент оребрения внутренней поверхности щита со стороны привода
111.	Keslribf	—	Коэффициент оребрения внутренней поверхности щита со стороны вентилятора
112.	D1ff	мм	Наружный диаметр фланца большого
113.	D1rmd	мм	Диаметр обода drive–щита наружный
114.	D1rmf	мм	Диаметр обода fan–щита наружный
115.	Drmd	мм	Внутренний диаметр замка обода в щите со стороны привода
116.	Drmf	мм	Внутренний диаметр замка обода в щите со стороны вентилятора
117.	L1wbd	мм	Расстояние от края замка обода до стенки щита со стороны привода
118.	L1wbf	мм	Расстояние от края замка обода до стенки щита со стороны вентилятора
119.	L2ff	мм	Толщина фланца большого
120.	L6rm	мм	Расстояние от края обода до торцевой части замка фланца большого
121.	B1wbd	мм	Толщина стенки drive–щита минимальная
122.	B1wbf	мм	Толщина стенки fan–щита минимальная
123.	Lsld_df	мм	Расстояние между щитом и диффузором в месте их соединения
			<b>Геометрия станины, часть 1:(12)</b>

124.	D1boG	мм	Диаметр наружный упорного торца замка остова станины, конструктивные элементы разработаны
125.	D2bo	мм	Диаметр внутренний средней части остова станины
126.	D3boG	мм	Диаметр наружный средней части остова станины, конструктивные элементы разработаны
127.	D4boG	мм	Диаметр внутренний края остова станины конструктивные элементы разработаны
128.	D1fnG	мм	Диаметр по вершинам ребер охлаждения полным, конструктивные элементы разработаны
129.	Lbo	мм	Длина остова станины
130.	LFr_DrG	мм	Длина концевой участка станины со стороны привода, конструктивные элементы разработаны
131.	LFr_fnG	мм	Длина концевой участка станины со стороны наружного вентилятора, конструктивные элементы разработаны
132.	LFnrDr	мм	Длина неоребреного участка станины со стороны привода
133.	LFnrbfG	мм	Длина неоребреного участка станины со стороны наружного вентилятора
134.	Lrb_fb	мм	Средняя длина короткого ребра станины перед коробкой выводов
135.	L2fn_h	мм	Расстояние между осями 2х ближайших ребер горизонтальных
136.	L2fn_v	мм	Расстояние между осями 2х ближайших ребер охлаждения вертикальных полных
137.	L2fn_vc	мм	Расстояние между осями 2х ближайших ребер охлаждения вертикальных подрезанных
			<b>Геометрия станины, часть 2: (13)</b>
138.	N1fn_h	шт.	Количество межосевых расстояний ребер горизонтальных на одной стороне станины
139.	N1fn_r	шт.	Количество (одностороннее) межосевых расстояний ребер радиальных на участке станины с равномерным оребрением
140.	N1fn_v	шт.	Количество межосевых расстояний ребер на половину верха станины
141.	N1fn_vc	шт.	Количество межосевых расстояний ребер на половину низа станины
142.	R1fnG	мм	Радиус закругления вершины ребра охлаждения, конструктивные элементы разработаны
143.	S_FrFt	мм <sup>2</sup>	Площадь поперечного сечения лап станины, загromaющего кожух
144.	S_FrLug	мм <sup>2</sup>	Площадь поперечного сечения приливов станины, загromaющего кожух
145.	aFrRbev	град.	Угол между осями 2х ближайших радиальных ребер, участок равномерного оребрения
146.	aFrRbfb	град.	Угол между осями 2х ближайших радиальных ребер, участок у коробки выводов
147.	alfa1fn	град.	Угол наклона стенок ребра охлаждения
148.	hFRrbevG	мм	Задаваемая высота ребра станины на участке с равномерным оребрением
149.	hFRrbfbG	мм	Задаваемая высота ребра станины на участке перед ко-



			робкой выводов
150.	hFRrbftG	мм	Задаваемая высота на участке станины между лапами
151.	dl_FrStG	мм	Величина задаваемого условного ВЗ между станиной и пакетом статора
			<b>Геометрия наружного вентилятора (14)</b>
152.	D1fa	мм	Диаметр наружный лопаток вентилятора
153.	D1fan_in	мм	Минимальный входной диаметр вентилятора
154.	D2fa	мм	Диаметр промежуточный лопаток вентилятора (максимальный входной диаметр)
155.	Dfan_ef2	мм	Расчетный диаметр наружного вентилятора
156.	H1fa	мм	Ширина лопатки вентилятора
157.	Lfan_edg	мм	Длина входной кромки вентилятора
158.	N1fa	шт.	Количество лопаток наружного вентилятора
159.	QQ_FrfnG	м <sup>3</sup> /с	Задаваемый расход наружного охлаждающего воздуха на fan-участке станины (вент. расчет не выполняется)
160.	K_HH0	–	Коэффициент реализации напора
			<b>Геометрия внутреннего вентилятора (15)</b>
161.	Da_InFan	мм	Диаметр наружный лопаток внутреннего вентилятора
162.	N1Fin	–	Количество лопаток внутреннего вентилятора
163.	QQvwG	м <sup>3</sup> /с	Расход воздуха внутренней циркуляции, задаваемый в ИД
			<b>Геометрия циркуляционных труб (16)</b>
164.	D_CpipeO	мм	Наружный диаметр циркуляционной трубы
165.	D_CpipeI	мм	Внутренний диаметр циркуляционной трубы
166.	L_CPin	мм	Длина входного участка циркуляционной трубы
167.	L_CPSt	мм	Длина центральной части циркуляционной трубы
168.	L_CPout	мм	Длина входного участка циркуляционной трубы
169.	N_Cpipe	–	Количество циркуляционных труб
170.	L_CPtv1	мм	Длина части циркуляционной трубы «начало–точка 1»
171.	L_CPt12	мм	Длина части циркуляционной трубы «точка 1–точка 2»
172.	L_CPt23	мм	Длина части циркуляционной трубы «точка 2–точка 3»
173.	L_CPtv3	мм	Длина части циркуляционной трубы «точка 3–конец»
			<b>Геометрия кожуха наружного вентилятора (17)</b>
174.	D1co	мм	Диаметр наружный вентиляционных отверстий в решетке кожуха
175.	Dco	мм	Диаметр внутренний обечайки кожуха
176.	B1co	мм	Ширина (полная) отверстия в решетке кожуха
177.	B1pco	мм	Ширина уменьшенная отверстия в решетке кожуха
178.	B2co	мм	Высота (полная) отверстия в решетке кожуха
179.	B2pco	мм	Высота уменьшенная отверстия в решетке кожуха
180.	N1co	шт.	Количество полных отверстий в решетке кожуха
181.	N2co	шт.	Количество отверстий в решетке кожуха, уменьшенных по высоте
182.	N4co	шт.	Количество отверстий в решетке кожуха, уменьшенных по длине

## Примечания к табл. 2.

1. Если ось ребра у коробки выводов или ребра внизу станины совпадает с глобальной осью симметрии, величину  $N1fn\_v$  ( $N1fn\_vc$ ) нужно уменьшать на 0.5. Если межосевое расстояние совпадает с глобальной осью симметрии, оно не учитывается. Т.е. если всего два ребра  $N1fn\_v=0$  ( $N1fn\_vc=0$ ). Если всего одно ребро  $N1fn\_v= - 0.5$  ( $N1fn\_vc= - 0.5$ ). Если нет ребер  $N1fn\_v= - 1$  ( $N1fn\_vc= - 1$ ).

2. Если у коробки выводов имеется только одно ребро, "среднее расстояние между ребрами станины на участке перед коробкой выводов" задается как расстояние между двумя ребрами равномерного оребрения около коробки выводов минус двойное расстояние между ребрами равномерного оребрения.

3. Если между лапами ребер нет, то, "Расстояние между осями 2х ближайших ребер вертикальных подрезанных  $L2fn\_vc$  (низ станины) задается как расстояние по дуге внешней поверхности станины между лапами.

4. Если расчет ведется с проводом обмотки статора прямоугольного сечения, коэффициент заполнения паза статора **не задается** (т.е. задается любая величина от 0.1 до 0.9).

5. Для контроля в первую закладку выводятся рассчитываемые потери внутреннего вентилятора  $PfaniC$  (когда эти потери рассчитываются, а не задаются в исходных данных, как  $PfaniG$ ).

6. Для контроля в первую закладку выводятся рассчитываемые потери на трение лопаток ротора  $Pbld$ . Это делается по следующей причине.

Данная, уточненная версия методики требует задания в качестве исходных данных:

- потерь в подшипниках  $Pbear$  (берется из электромагнитного или механического расчета);
- потерь от внешнего вентилятора  $Pfana$ ;
- и, если конструкция АЭД содержит внутренний вентилятор, – потерь от внутреннего вентилятора (которые, как сказано в п. 4, могут либо задаваться, либо рассчитываться).

Из опыта мы получаем общую величину механических потерь  $Pmex$ . Тогда, чтобы выделить потери  $Pfana$ :  $Pfana = Pmex - Pbear - Pbld (-Pfani)$ .

## Основные результаты расчета.

Таблица 3.

№ пп	Идентифи- катор	Ед. изм.	Наименование
			<b><i>Расчетные превышения температуры</i></b>
1.	TTcuS_Sl	°C	Превышение температуры в пазовой части обмотки статора
2.	TTcuS_Ef	°C	Превышение температуры в лобовой части обмотки статора с fan-стороны
3.	TTcuS_Ed	°C	Превышение температуры в лобовой части обмотки статора с drive-стороны
4.	TTjS	°C	Превышение температуры в ярме статора
5.	TTzS	°C	Превышение температуры в зубцах статора
6.	TTRavr	°C	Среднее превышение температуры ротора
7.	TTAiRc	°C	Превышение температуры внутреннего воздуха в каналах ротора
8.	TTAiSldF	°C	Превышение температуры внутреннего воздуха со стороны наружного вентилятора

9.	TTAiSldD	°C	Превышение температуры внутреннего воздуха со стороны привода
10.	TTSldFn	°C	Превышение температуры щита, расположенного со стороны наружного вентилятора
11.	TTSldFn	°C	Превышение температуры щита, расположенного со стороны привода
12.	TTFrmFn	°C	Превышение температуры концевой части станины со стороны наружного вентилятора
13.	TTFrStAo	°C	Превышение температуры участка станины, расположенной над пакетом статора
14.	TTFrDrAo	°C	Превышение температуры концевой части станины со стороны привода
15.	TTAoSlFn	°C	Превышение температуры наружного охлаждающего воздуха у fan-щита
16.	TTAoFrDr	°C	Превышение температуры наружного охлаждающего воздуха концевой части станины с fan-стороны
17.	TTAoFrSt	°C	Превышение температуры наружного охлаждающего воздуха над пакетом статора
18.	TTAoFrDr	°C	Превышение температуры наружного охлаждающего воздуха концевой части станины с drive-стороны
19.	TTpipIn	°C	Превышение температуры входного участка циркуляционной трубы
20.	TTpipSt	°C	Превышение температуры центрального участка циркуляционной трубы
21.	TTpipOu	°C	Превышение температуры выходного участка циркуляционной трубы
22.	TTStcuAv	°C	Среднее превышение температуры обмотки статора.
			<b>Тепловые проводимости, часть 1</b>
23.	LLmt_zsr	Вт/°C	Тепловая проводимость между ротором и зубцами статора
24.	LLtReai1	Вт/°C	Тепловая проводимость от торцов ротора к внутреннему воздуху (л)
25.	LLtReai2	Вт/°C	Тепловая проводимость от торцов ротора к внутреннему воздуху (п)
26.	LLt_RAR	Вт/°C	Тепловая проводимость от ротора к воздуху в каналах ротора
27.	LtRcAln	Вт/°C	Тепловая проводимость между воздухом в канале ротора и внутренним воздухом со стороны внутреннего вентилятора
28.	LtRcAoIn	Вт/°C	Тепловая проводимость между воздухом в канале ротора и внутренним воздухом со стороны, противоположной внутреннему вентилятору
29.	LLt_WnZS	Вт/°C	Тепловая проводимость между обмоткой и зубцами статора
30.	<b>LLtWnSJS</b>	Вт/°C	Тепловая проводимость между обмоткой и ярмом статора
31.	LLtWSse1	Вт/°C	Тепловая проводимость между пазовой и лобовой частями обмотки статора (левая)
32.	LLtWSse2	Вт/°C	Тепловая проводимость между пазовой и лобовой частями обмотки статора (правая)
33.	LLtSeai1	Вт/°C	Тепловая проводимость от лобовых частей обмотки статора к внутреннему воздуху (левая)
34.	LLtSeai2	Вт/°C	Тепловая проводимость от лобовых частей обмотки статора к внутреннему воздуху (правая)

35.	LLtAiEsd	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к подшипниковому щиту со стороны привода
36.	LLtAiEsf	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к подшипниковому щиту со стороны вентилятора
37.	LtSlddAo	Вт/°С	Тепловая проводимость от подшипникового щита со стороны привода к наружному воздуху
38.	LtSlfdAo	Вт/°С	Тепловая проводимость от подшипникового щита со стороны вентилятора к наружному воздуху
39.	LLtZS_JS	Вт/°С	Тепловая проводимость между зубцами и ярмом статора
40.	LLtJS_Fr	Вт/°С	Тепловая проводимость между ярмом статора и станиной
41.	LLtAiFed	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к участку станины <b>без циркуляционных труб</b> со стороны привода
42.	LLtAiFeN	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к концевому участку станины <b>с циркуляционными трубами</b> со стороны, противоположной внутреннему вентилятору
43.	LLtAiFef	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к участку станины со стороны наружного вентилятора
44.	LLtAiFeI	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к концевому участку станины <b>с трубами</b> со стороны внутреннего вентилятора
			<b>Тепловые проводимости, часть 2;</b> <b>Прочие результаты расчета</b>
45.	LLt_FRp1	Вт/°С	Тепловая проводимость между элементами литых орбренных станин (л)
46.	LLt_FRp2	Вт/°С	Тепловая проводимость между элементами литых орбренных станин (п)
47.	LtFrDrAo	Вт/°С	Тепловая проводимость от станины к наружному воздуху, со стороны привода
48.	LtFrStAo	Вт/°С	Тепловая проводимость от станины над пакетом статора к наружному воздуху
49.	LtFrFnAo	Вт/°С	Тепловая проводимость от концевой части станины к наружному воздуху со fan-стороны
50.	LLtfnAFr	Вт/°С	Тепловая проводимость между воздухом на входе в вентилятор и воздухом на входе в станину.
51.	LLtFrAfn	Вт/°С	Тепловая проводимость между воздухом на входе в станину и воздухом на fan-участке станины.
52.	LLtFrASt	Вт/°С	Тепловая проводимость между воздухом на fan-участке и воздухом на Stator-участке станины.
53.	LLtFrADr	Вт/°С	Тепловая проводимость между воздухом на Stator-участке и воздухом на Drive-участке станины.
54.	LtPtv1Ai	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к участку трубы 0–1
55.	LtPt12Ai	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к участку трубы 1–2
56.	LtPt23Ai	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к участку трубы 2–3
57.	LtPtv3Ai	Вт/°С	Тепловая проводимость от внутреннего воздуха к участку трубы 3–end
58.	LLtPinAo	Вт/°С	Тепловая проводимость входного участка циркуляционной

			трубы к наружному воздуху
59.	LLtPStAo	Вт/°С	Тепловая проводимость центрального участка циркуляционной трубы к наружному воздуху
60.	LLtPouAo	Вт/°С	Тепловая проводимость выходного участка циркуляционной трубы к наружному воздуху
61.	QQ_FrFn	м <sup>3</sup> /с	Расход наружного охлаждающего воздуха на концевом участке станины со стороны наружного вентилятора
62.	QQ_FrSt	м <sup>3</sup> /с	Расход наружного охлаждающего воздуха на участке станины над пакетом статора
63.	QQ_FrDr	м <sup>3</sup> /с	Расход наружного охлаждающего воздуха на концевом участке станины со стороны привода
64.	QQmax	м <sup>3</sup> /с	Максимальный расход воздуха при нулевом давлении наружного вентилятора
65.	HH0	Н/м <sup>2</sup>	Давление наружного вентилятора при нулевом расходе воздуха
66.	ZZsum	кг/м <sup>7</sup>	Суммарное сопротивление вентиляционной сети АЭД

## 9. Представление знаний в БЗ "Теплоventилиационный расчет"

Методы расчета разработаны в среде экспертного программирования SprutExpro, технология работы в которой позволяет приблизить представление программ к обычным справочным пособиям по проектированию. Пользователь методов должен обладать электротехническими знаниями. Наличие знаний инженера-программиста необязательно.

Методы расчета являются методами открытого доступа с возможностью внесения в них дополнений и изменений.

Экранная форма SprutExpro с фрагментом БЗ "Теплоventилиационный расчет АЭД" представлена на рис. 5.

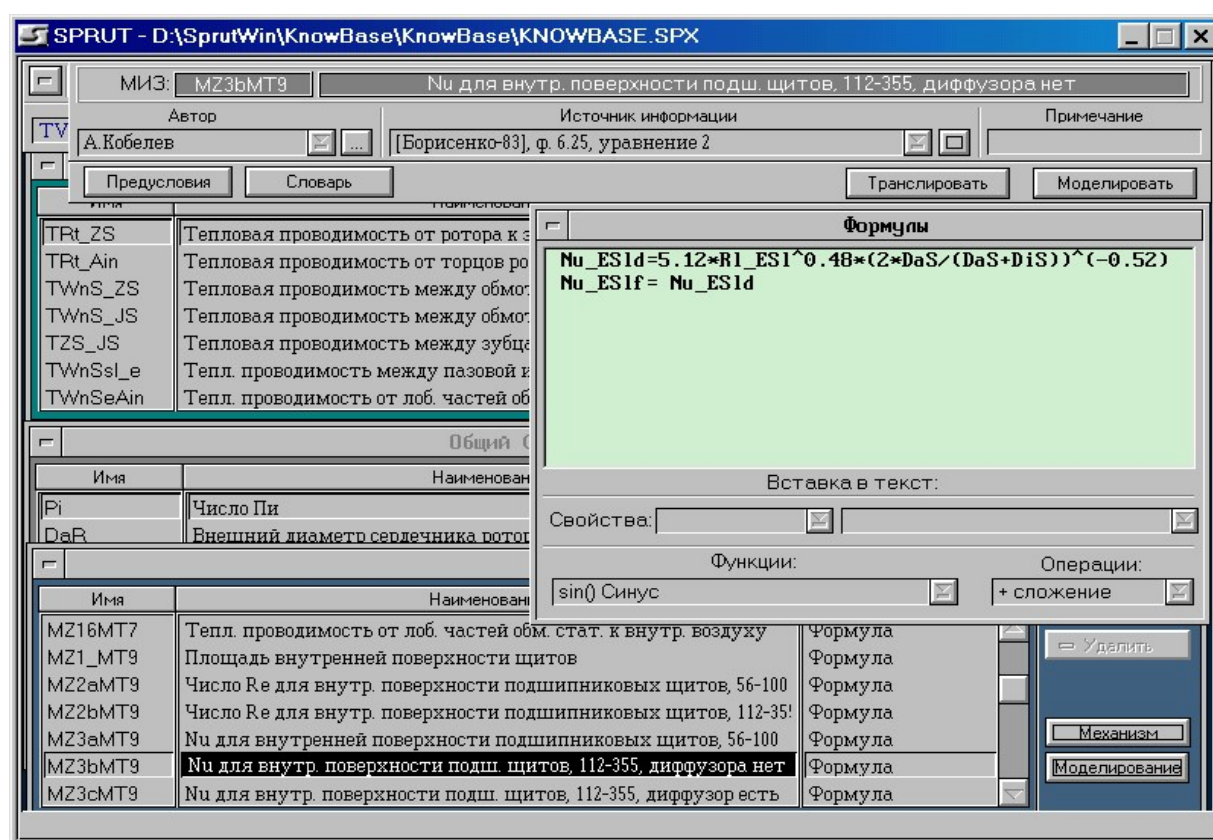


Рис. 8.

## 10. Надежность программы

Надежность программы «АЭДЗ ТВ 2.2» обеспечивается программным комплексом, поставляемым ООО «Центр СПРУТ-Т», ОАО НИПТИЭМ. При отказе, не связанном с неисправностью аппаратной части, время восстановления будет определяться временем перезагрузки системы.

Любое отключение компьютера от электрической сети (в том числе внезапное отключение электроэнергии) не должно приводить к потере информации, имевшейся на момент последней выполненной операции "Сохранить", "Сохранить как".

## 11. Требования к квалификации пользователей программы.

Уровень квалификации конечного пользователя профессиональной версии программы определяется рамками профессиональной компетенции в области тепловентиляционных и электромагнитных расчетов трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Студент–пользователь учебной версии программы должен обладать, как минимум, знаниями и навыками, полученными в результате изучения курса "Электротехника" для технических Вузов. В этом случае учебная версия может эксплуатироваться на первом уровне – как инструмент пользователя. Студенты электротехнических специальностей, изучающие курс "Электрические машины", "Проектирование электрических машин" могут эксплуатировать программу и на втором уровне – уровне разработчика, внося в нее, с помощью CASE-средств **Sprut**, новые электротехнические знания, связанные с тепловентиляционным расчетом.

## 12. Требования к техническому и базовому системному программному обеспечению

Система должна функционировать под операционной системой Windows в следующей минимальной комплектации:

- процессор класса Intel Core i3 и выше;
- 120 мегабайт на жестком диске для установки клиентской части;
- операционная система Microsoft /2000/XP/W7/W8/W10 (рекомендуемая система W7);

Установка системы программы «АЭДЗ ТВ 2.2» на Windows 2000/XP/W7/W8/W10 должна производиться пользователем, имеющим права администратора.

### 13. Документирование программы

При автономной эксплуатации программы поставляется следующий перечень комплектов документов:

- Собственно описание и инструкция по эксплуатации программы тепловентиляционного расчета АЭД версии «*АЭДЗ ТВ 2.2*»;
- Описание и руководство пользователя экспертной средой *SprutExpro*. (При условии, если пользователь подразумевает доработку программы самостоятельно, что оговаривается при заключении договора).

При эксплуатации программы совместно с другими расчетными подсистемами дополнительно прилагаются:

- Описание и руководство пользователя программой «*Электромагнитный расчет трехфазных АЭД к КЗ ротором*»;
- Описание и руководство пользователя подсистемой документирования «*АЭД DOX 1.0*»;
- Описание и руководство пользователя программой «*Электромагнитный расчет асинхронных конденсаторных двигателей*».

При эксплуатации программы совместно с конструкторской подсистемой "*АЭД Конструкция*" поставляется "*Описание и руководство пользователя*" названной подсистемой.



## Приложение 1. Полное содержание основных закладок интерфейса программы.

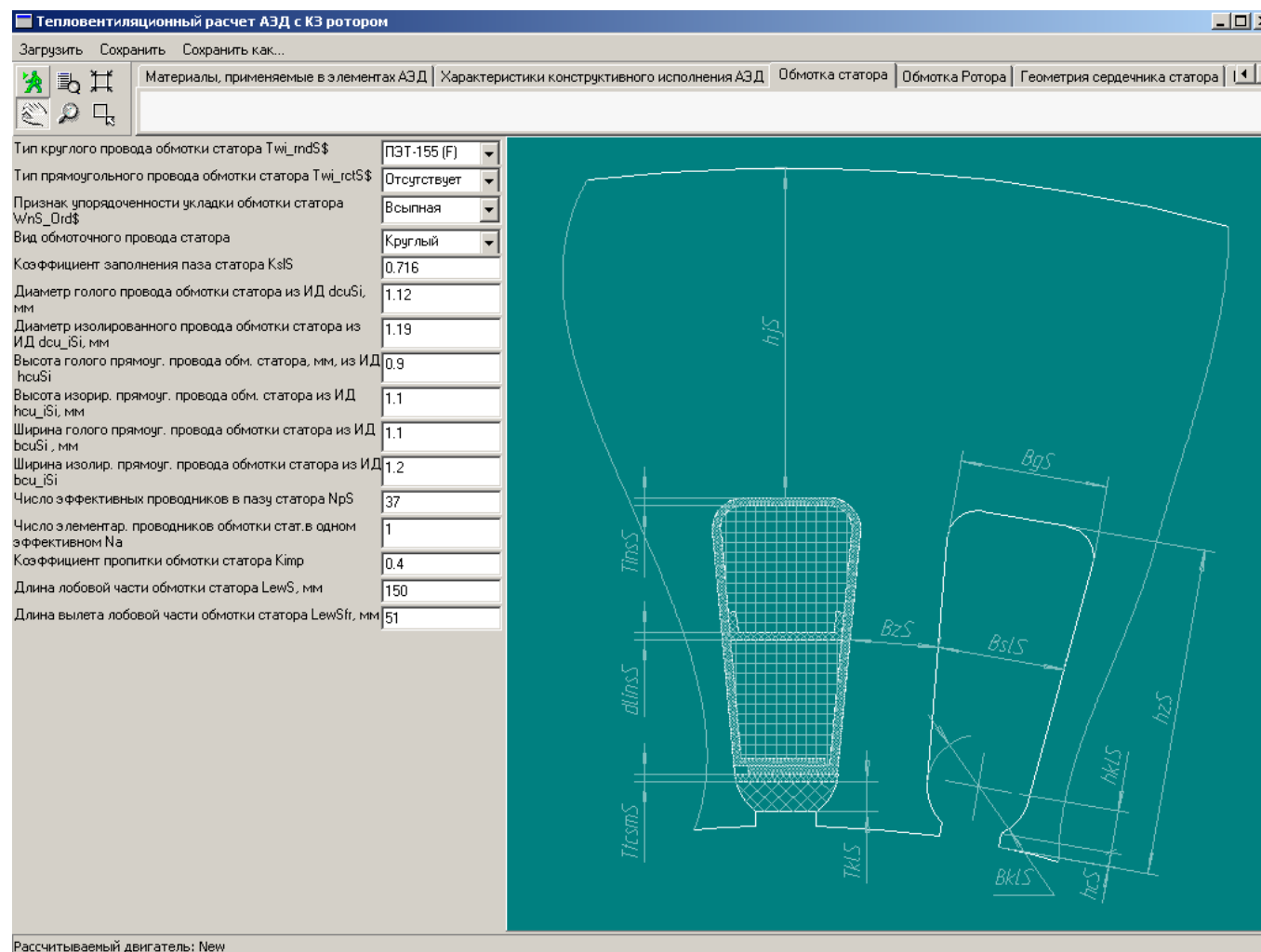


Рис. п. 1–а. Размеры паза статора и изоляции для всыпной обмотки.

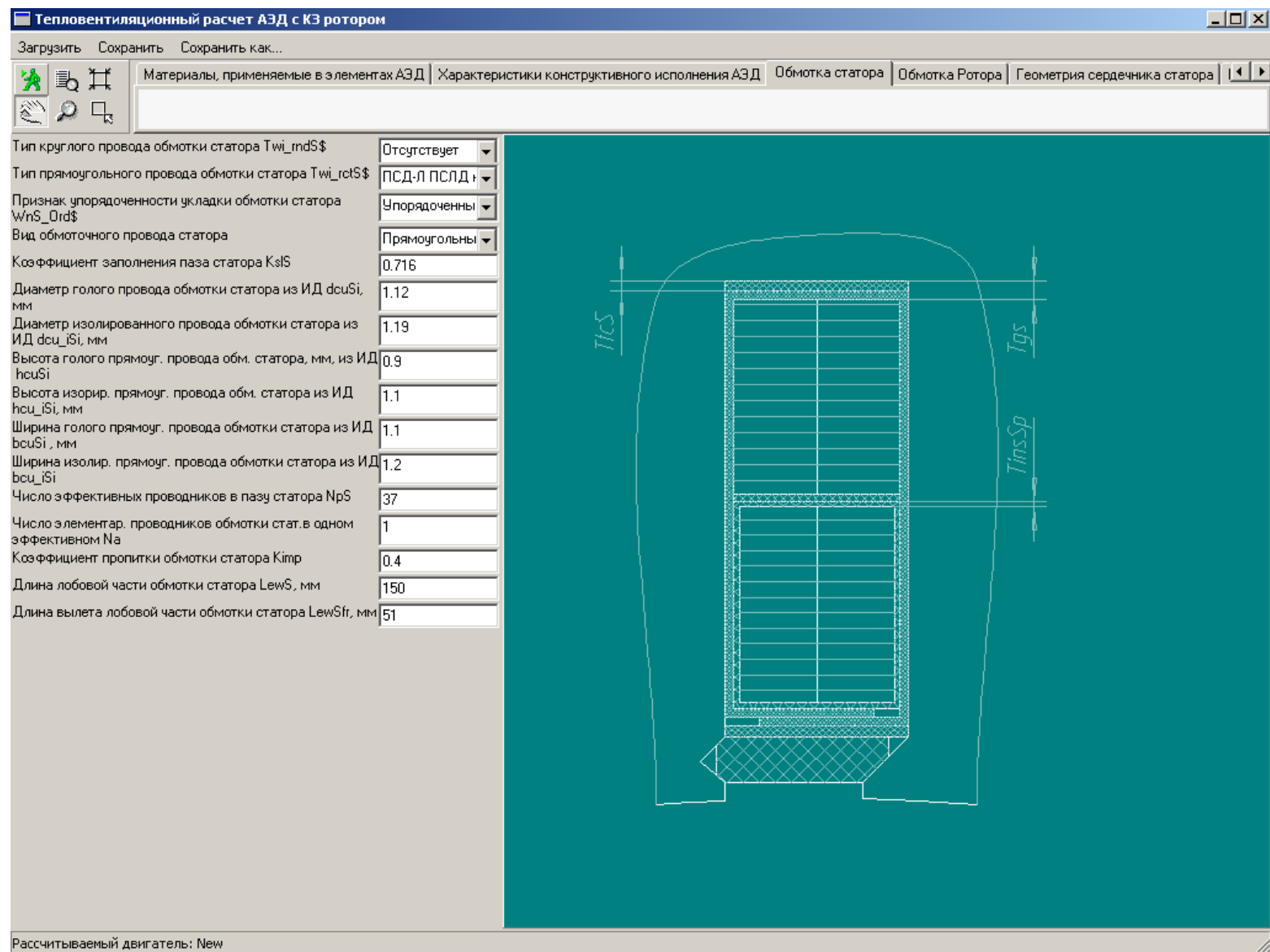


Рис. п. 1.1–б. Размеры паза статора и изоляции для стержневой обмотки.

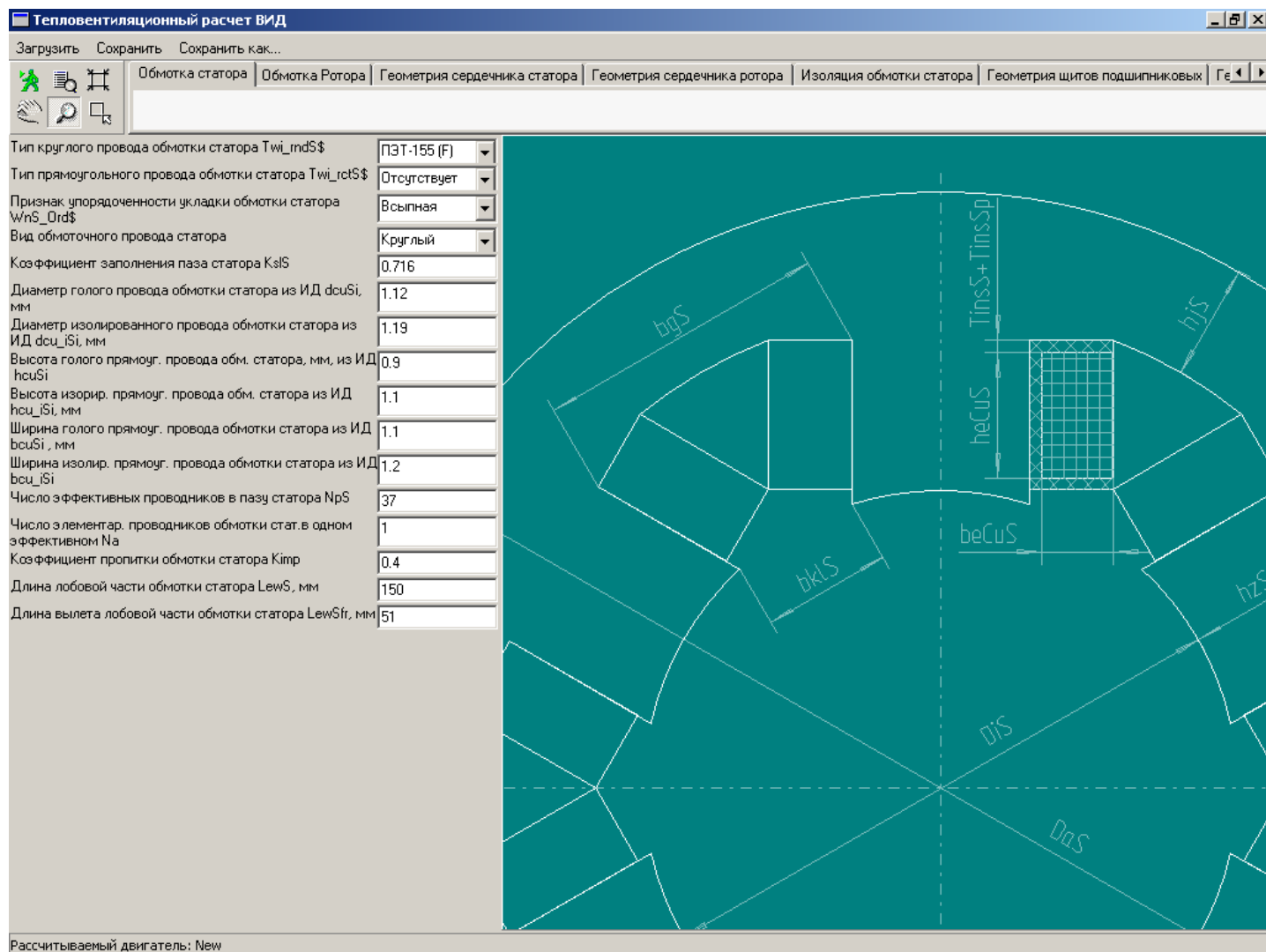


Рис. п. 1.1 –с. Размеры паза статора и изоляции при расчете ВИД

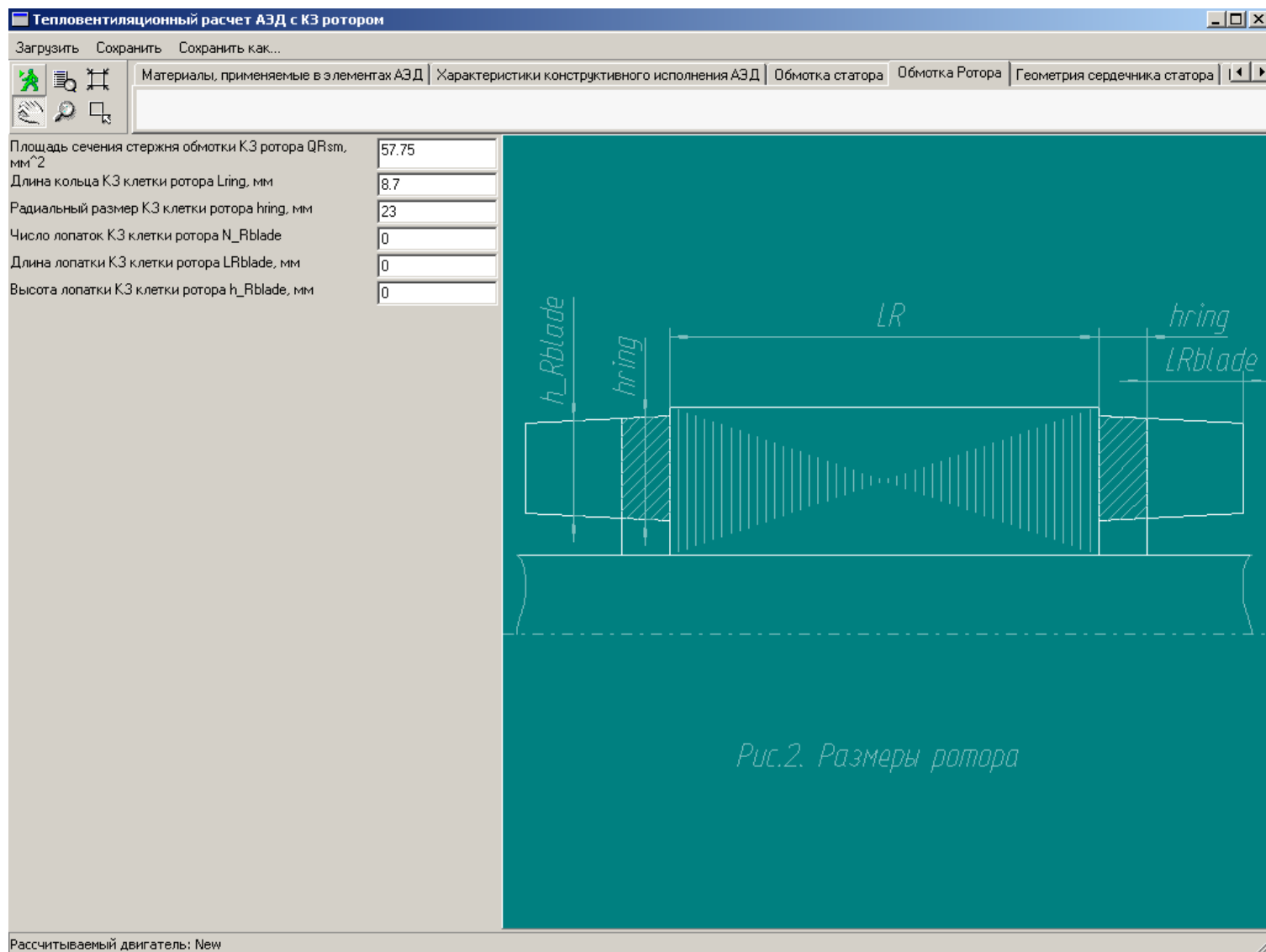


Рис. п.1.2–а. Размеры ротора, АЭД с КЗ ротором

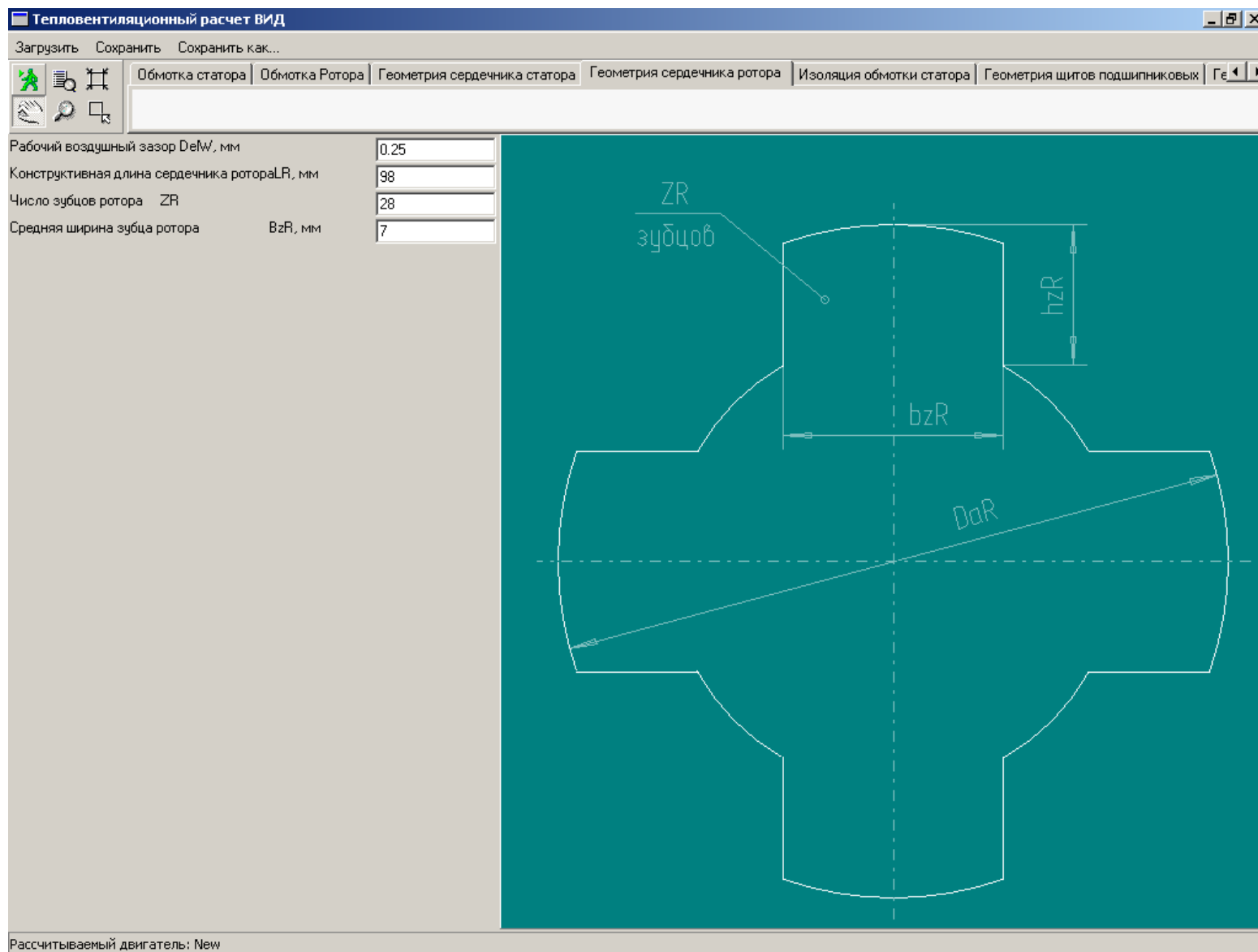


Рис. п.1.2–б. Размеры ротора, ВИД

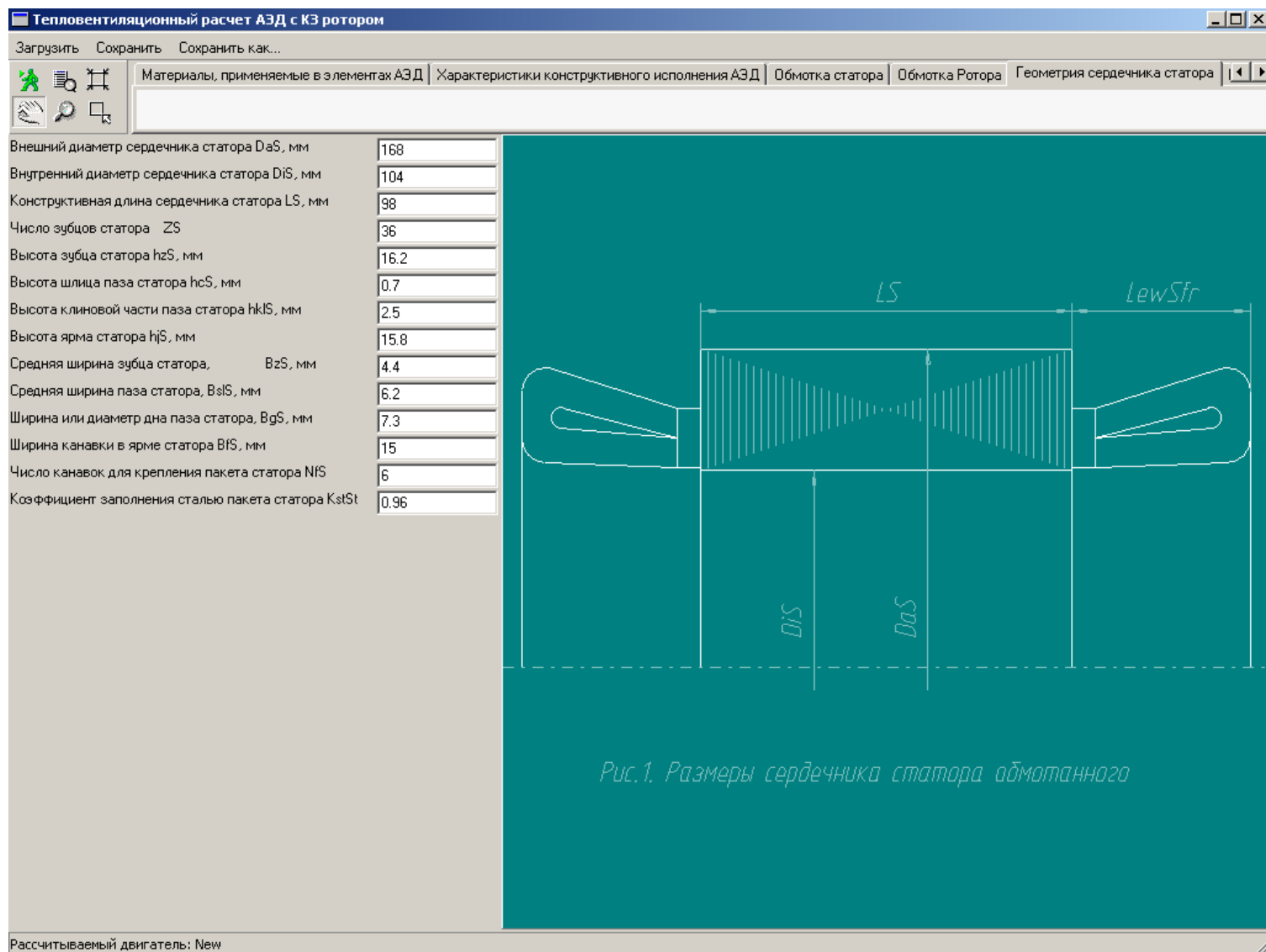


Рис. п.1.3. Размеры сердечника статора обмотанного.

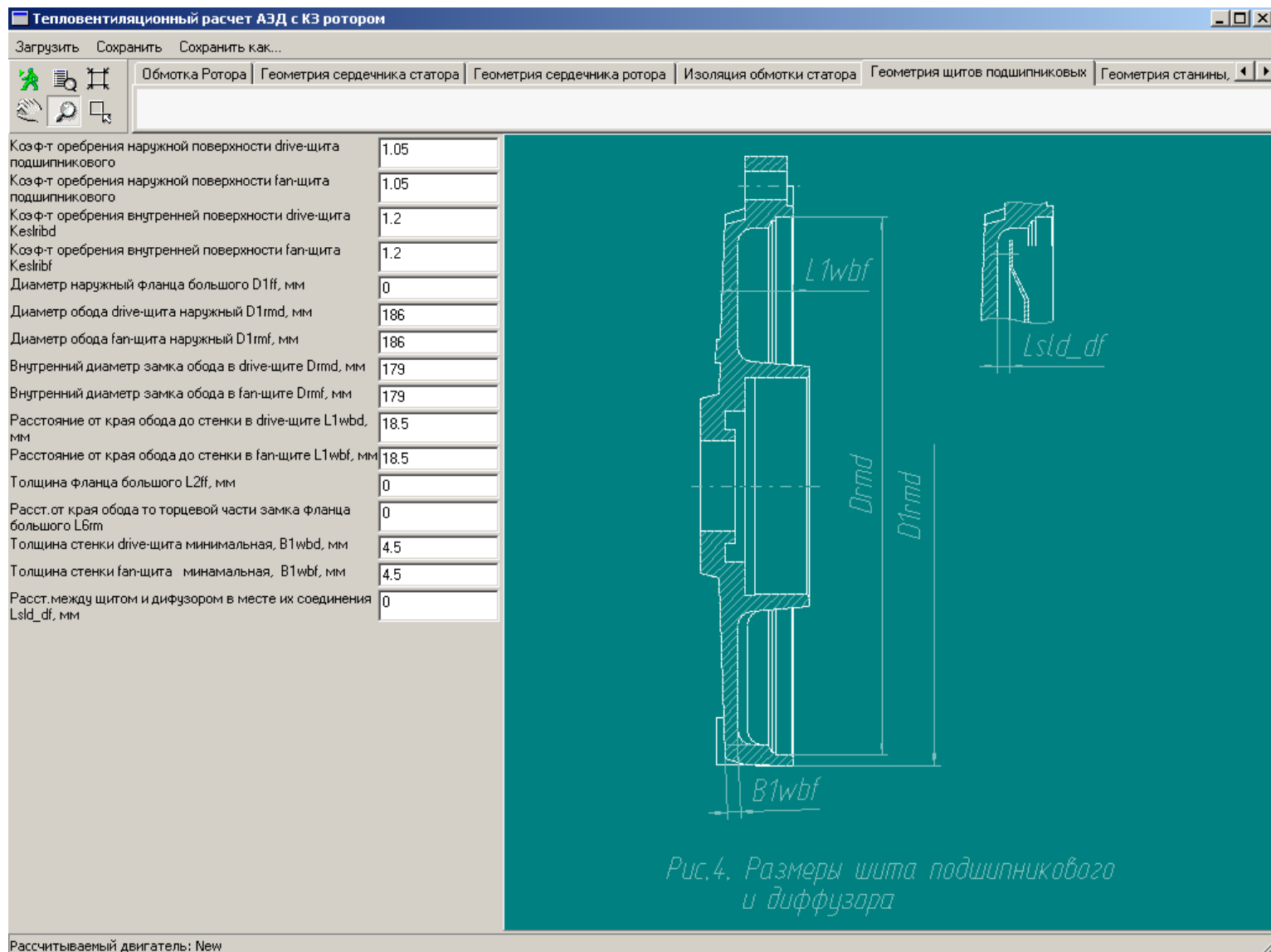


Рис. п. 1.4–а. Размеры щита подшипникового (обычного) и диффузора.

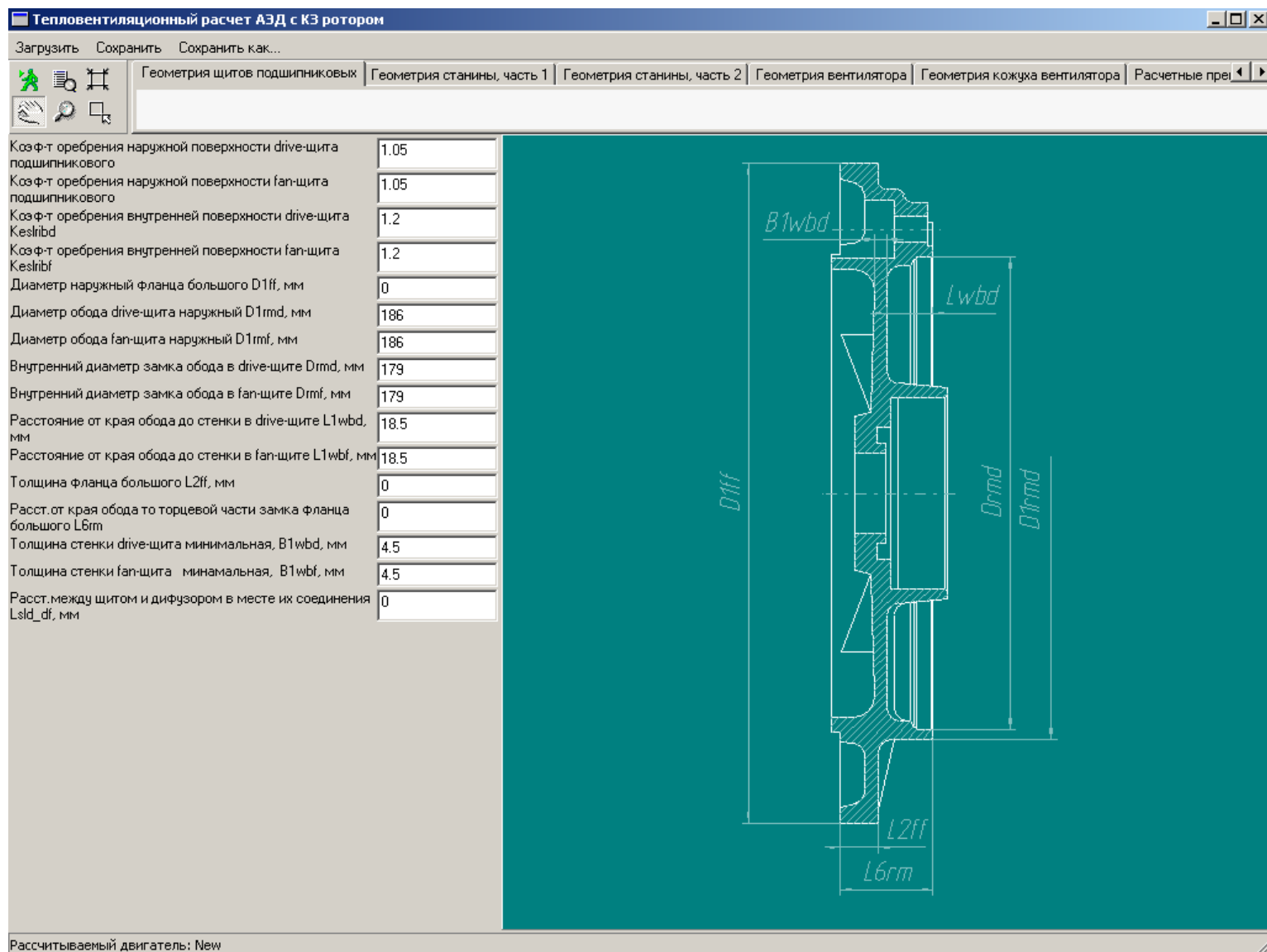


Рис. п.1.4–б. Размеры щита подшипникового фланцевого.



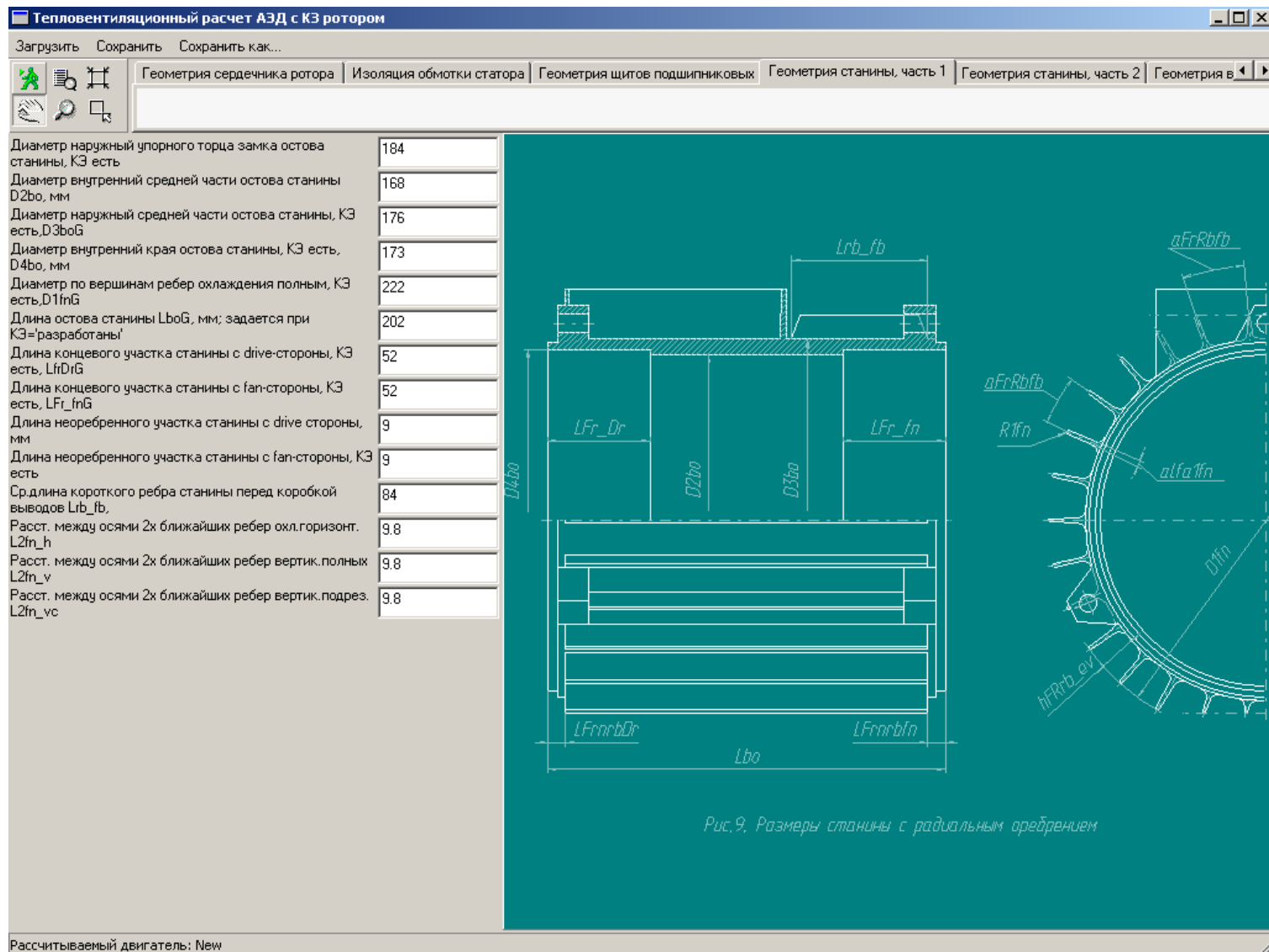


Рис. п. 1. 5—а. Размеры станины с радиальным оребрением.

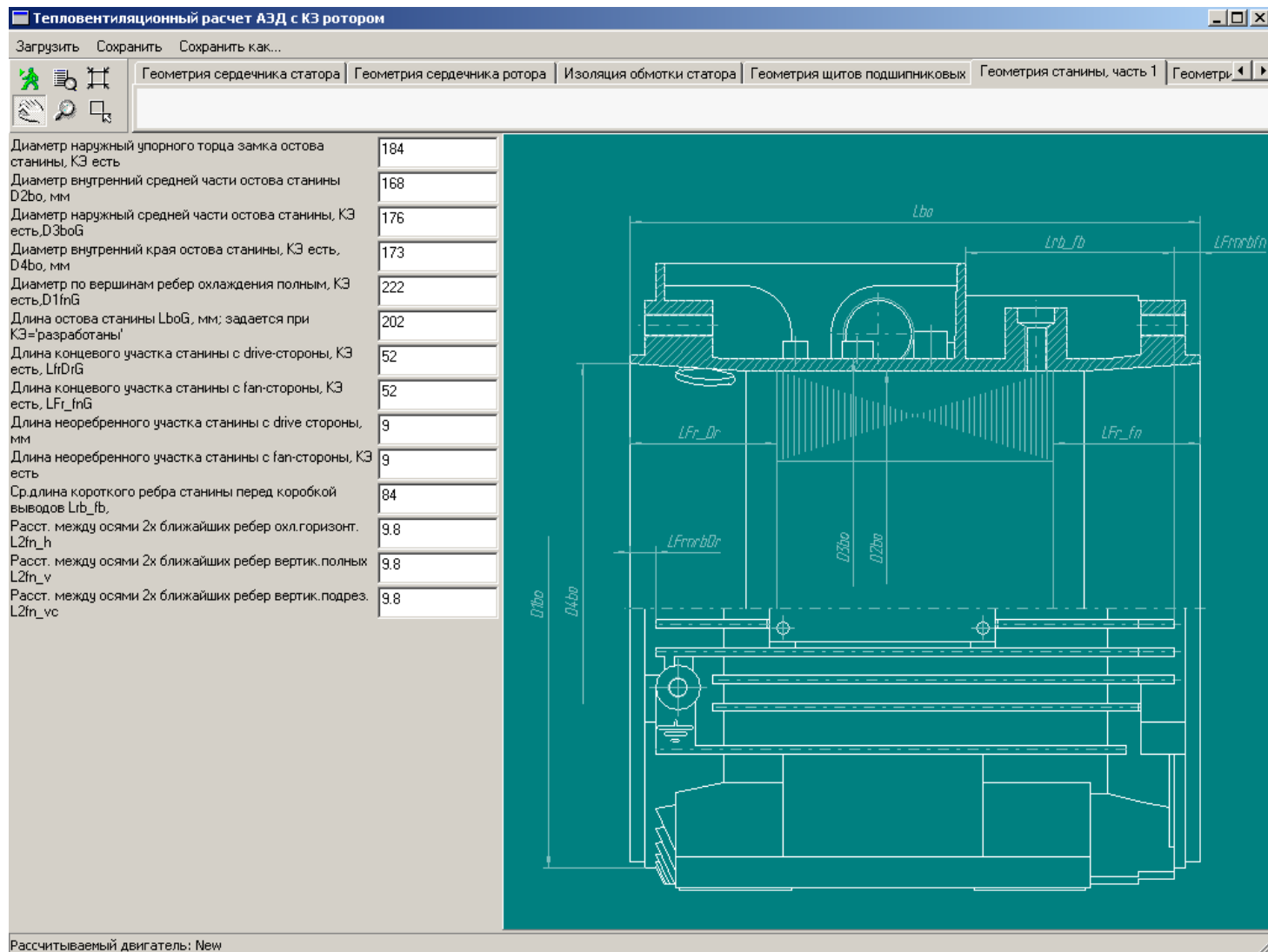


Рис. п. 1.5–б. Размеры станины с горизонтально–вертикальным оребрением, главный вид.

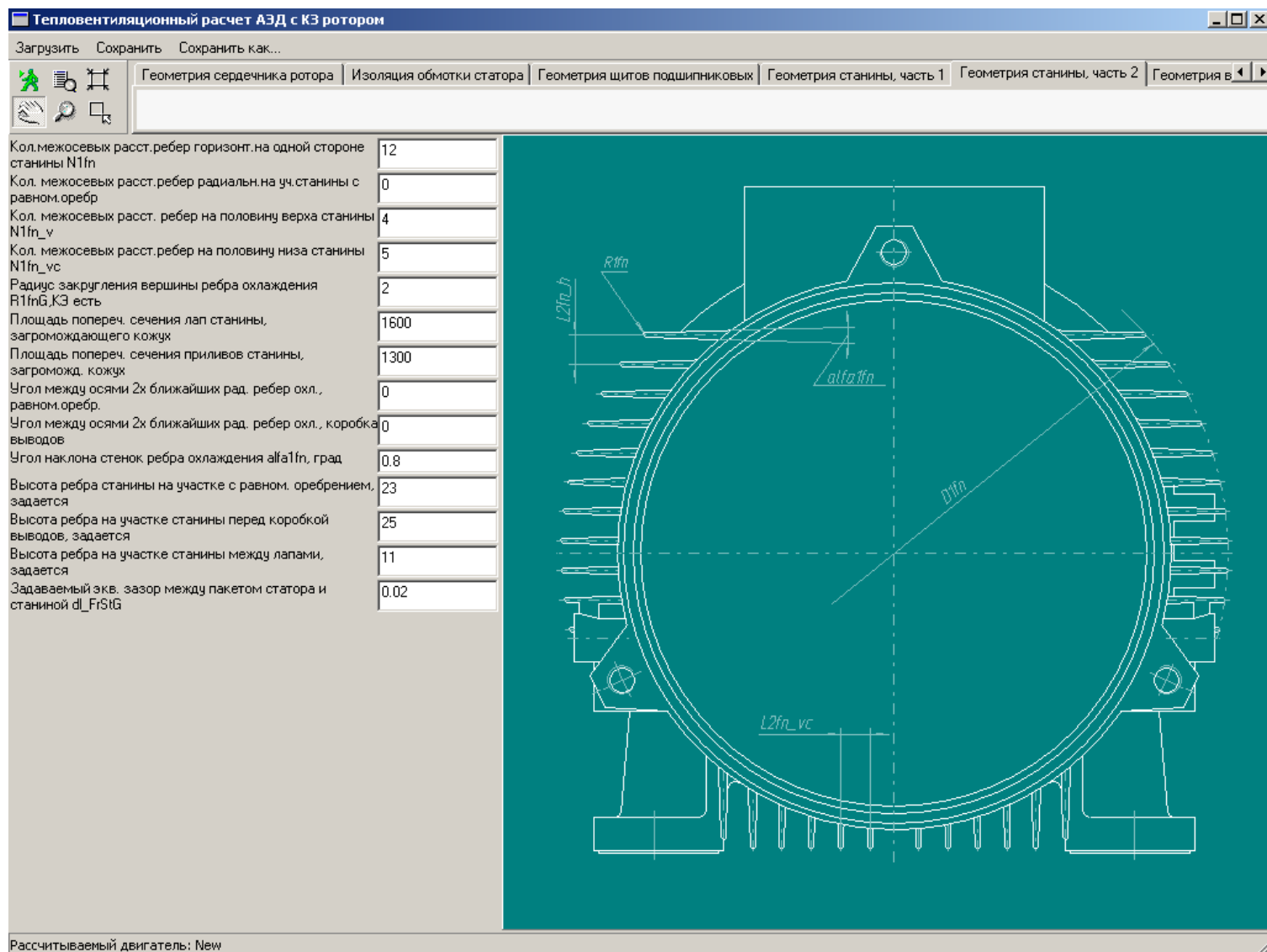


Рис. п.1.5–в. Размеры станины с горизонтально–вертикальным оребрением, вид слева.

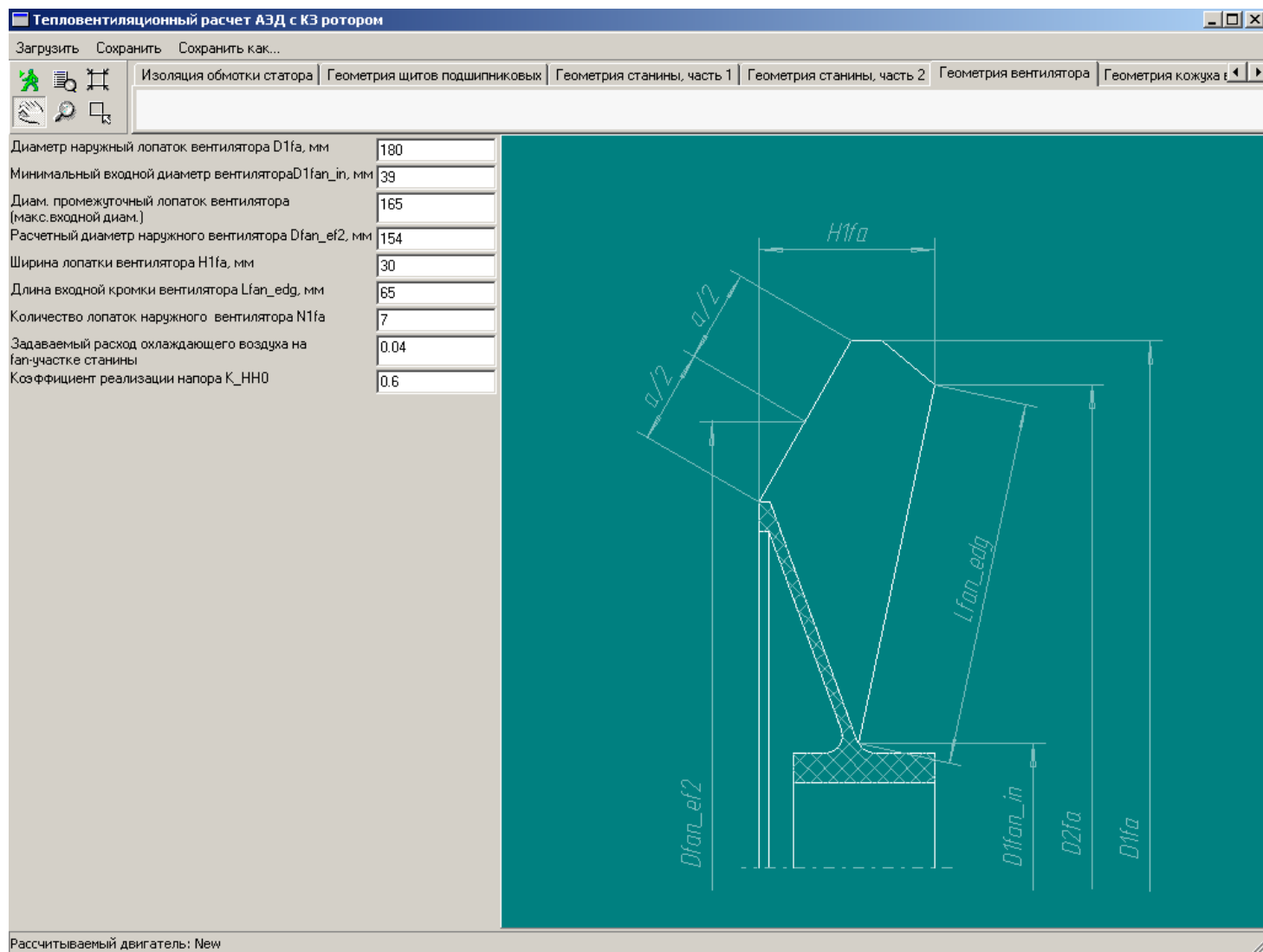


Рис. п.1.6. Геометрия вентилятора.

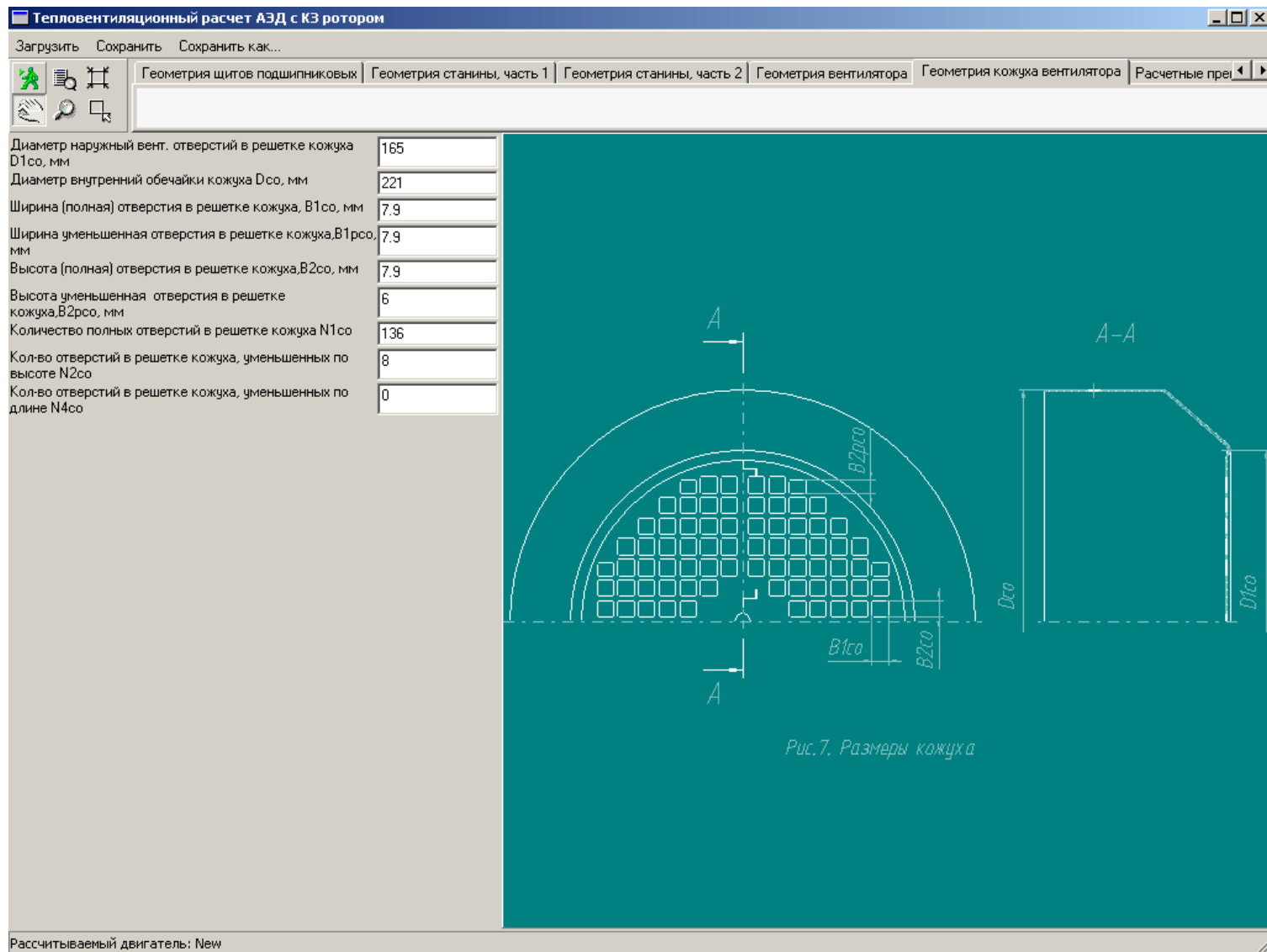


Рис. п.1.7. Размеры кожуха вентилятора.

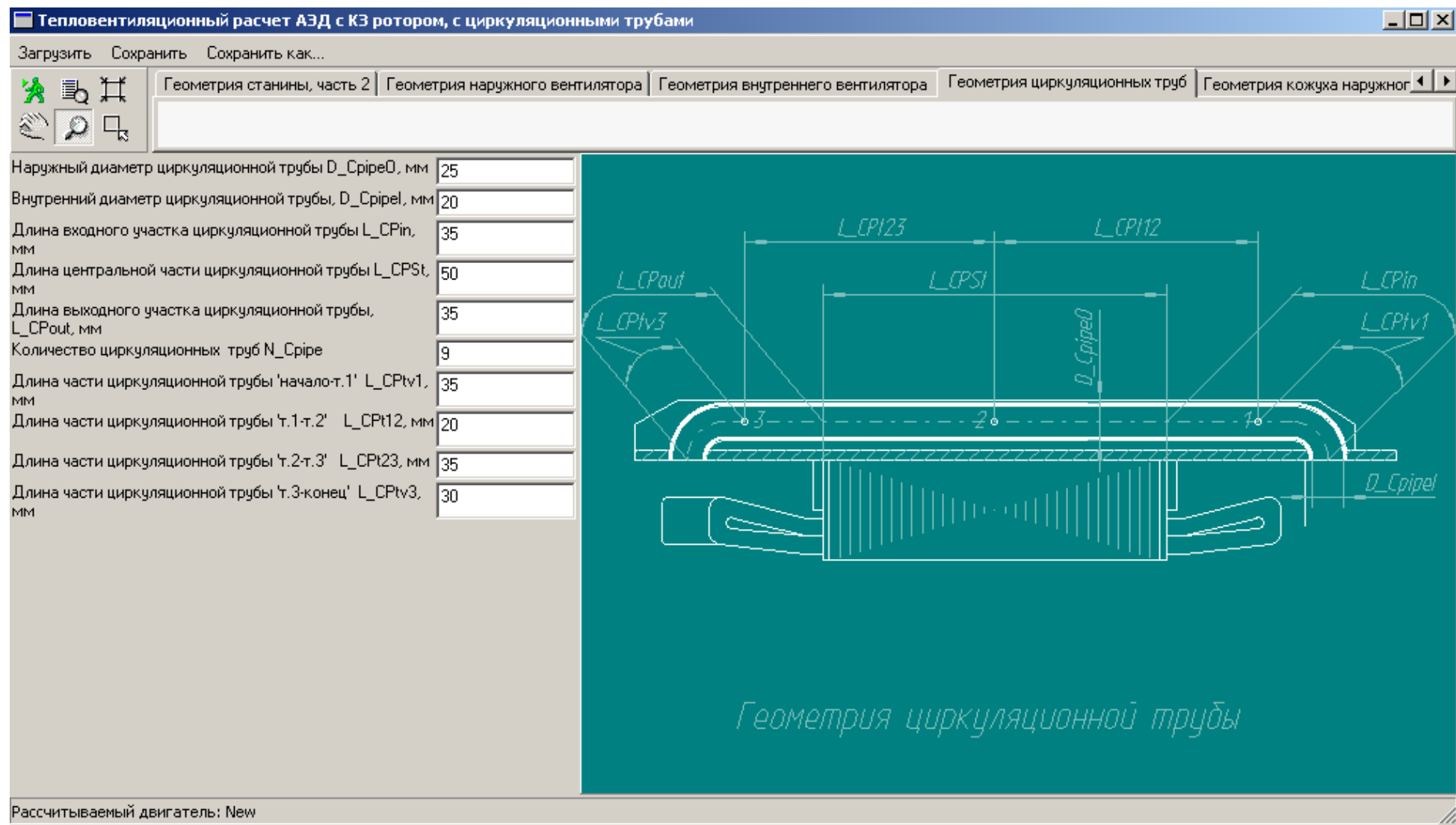


Рис. п.1.8. Описание геометрии циркуляционных труб.

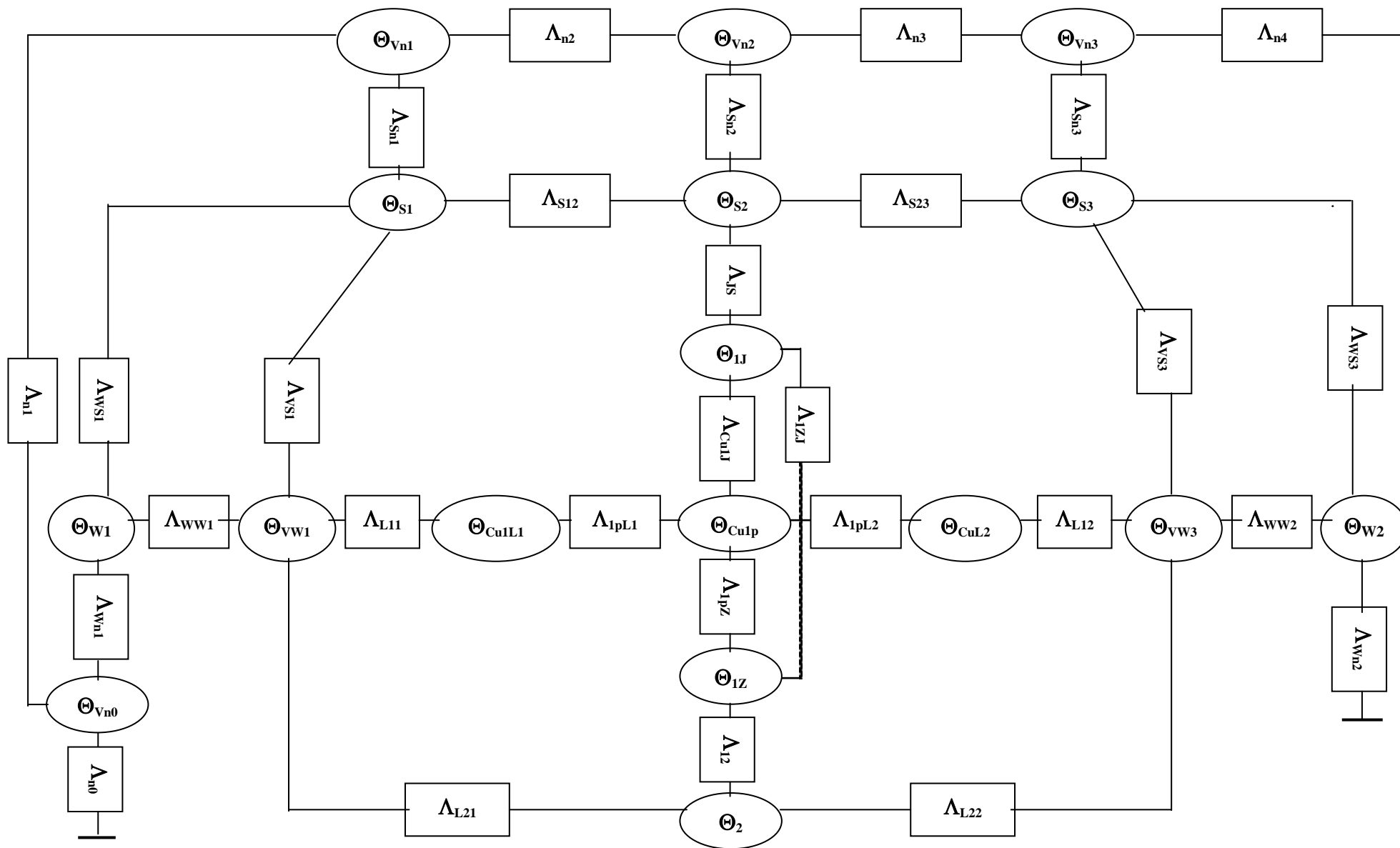


Рис. п.1.9. Базовая ЭТС АЭД.