

СПРУТ-АЭД
«Электромагнитный расчет
трехфазных асинхронных дви-
гателей с короткозамкнутым ро-
тором габарита 45–560 мм»

Руководство пользователя

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММЕ..... | 3 |
| 1. ФИРМА—РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА..... | 5 |
| 2. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ. | 5 |
| 3. ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОРАЗМЕРОВ И ИСПОЛНЕНИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, РАСЧЕТ КОТОРЫХ ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ ПРОГРАММОЙ. | 7 |
| 4. УСЛОВИЯ РАСЧЕТА. | 9 |
| 5. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ. | 15 |
| 6. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ «АЭДЗ_ЭМ 2016»..... | 17 |
| 7. ОСНОВНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ПАЗОВ, ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ ПРОГРАММОЙ «АЭДЗ_ЭМ 2016» | 21 |
| 8. ДИАЛОГ С СИСТЕМОЙ. | 34 |
| 9. ОСНОВНЫЕ ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСЧЕТА ТРЕХФАЗНЫХ АЭД С КЗ РОТОРОМ ГАБАРИТОВ 45–560 ММ..... | 35 |
| ЛИТЕРАТУРА | 45 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ ЗНАЧЕНИЙ НЕКОТОРЫХ СТРОКОВЫХ СВОЙСТВ, ПОДДЕРЖИВАЕМЫХ НАСТОЯЩЕЙ ВЕРСИЕЙ ПРОГРАММЫ..... | 46 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2. КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СИСТЕМЕ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ «АЭД_DOX_2016» | 48 |

Общие сведения о программе.

Описываются основные функциональные возможности программы электромагнитного расчета трехфазных асинхронных электродвигателей, версия «АЭДЗ_ЭМ 2016».

Программа состоит из базы знаний "Электромагнитный расчет трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором", содержащей методы расчета асинхронных двигателей младших, средних и старших габаритов и пользовательского интерфейса.

Названная база знаний, созданная в экспертной системе SprutExpro, является средой разработчика программы электромагнитного 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.

Могут рассчитываться двигатели, выполненные как в защищенном, так и в закрытом обдуваемом исполнении.

Поддерживается расчет двигателей как с литой, так и со сварной клеткой ротора. Двойная сварная клетка ротора может выполняться из разных материалов, например, верхняя клетка из латуни, нижняя клетка из меди.

В настоящей версии появилась опция, позволяющая поддерживать расчет АЭД с обращенной конструкцией ротора (с внешним ротором).

В настоящей версии появилась опция, позволяющая выполнять полный экономический расчет АЭД.

Программа позволяет выполнять экспресс–расчет превышения температуры обмотки статора для систем охлаждения IC411, IC416, а также при реализации охлаждения в виде жидкостной рубашки, охватывающей сердечник статора. Для более полного анализа теплового состояния разработана специальная программа тепловентиляционного расчета АЭДЗ_ТВ.

Важной функцией программы является возможность совместной работы с подсистемой автоматизированной генерации обмоточных записок, формуларов расчета и других расчетных документов «АЭД_DOC_2016».

Все свойства модели асинхронного электродвигателя (АЭД), фигурирующей в программе, могут передаваться в другие программы расчетной подсистемы САПР, а также в другие подсистемы САПР, поскольку электромагнитная 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 предназначена для расчета энергетических и пусковых характеристик, потерь и параметров схемы замещения при заданной геометрии, обмоточных данных, напряжении и частоте сети АЭД. Таким образом, программа выполняет поверочный расчет. Вместе с тем, программа, вступая в диалог с пользователем, может выдать рекомендации по желательным коэффициентам заполнения паза, плотности тока и др., т.е. несет в себе элементы «интерактивного оптимизационного расчета».

В основу методики положена математическая модель, представленная в [1], и опирающаяся на схему замещения рис. 1, предложенную Т.Г. Сорокером [2].

Укрупненная структура программы представлена на рис. 2.

Уточнения модели произведены в части расчета механических потерь, потерь в стали, добавочных потерь, коэффициентов проводимости пазового рассеяния, магнитной цепи, устранения ряда неточностей в [1], см. например, [3,6].

Методика позволяет напрямую, в исходные данные, подставлять значения магнитной проводимости ротора, коэффициентов воздушного зазора статора и ротора, коэффициента увеличения активного сопротивления стержня ротора от эффекта вытеснения тока, коэффициенты, учитывающие технологию заливки.

Величины потерь в обмотках статора, ротора, в стали, механических потерь могут передаваться в программу тепловентиляционного расчета АЭД.

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 управляемых программ для станков с ЧПУ.**

Развитие методики продолжается в части:

- повышения ее функциональности (новые конфигурации пазов, пополнение баз новых материалами);
- повышения точности механических потерь и потерь в стали;
- повышения точности расчета максимального момента;
- повышения точности расчета пусковых характеристик;
- улучшения интерфейса (динамическое появление и исчезновение за-кладок, активизация и деактивизация входных свойств и др.);

- введения пользователем новых материалов через интерфейс;
- подключения к интерфейсу блока интеллектуальных подсказок, содержащих рекомендации по проектированию АЭД при нетривиальных исходных данных, например при повышенной частоте питающей сети.

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".

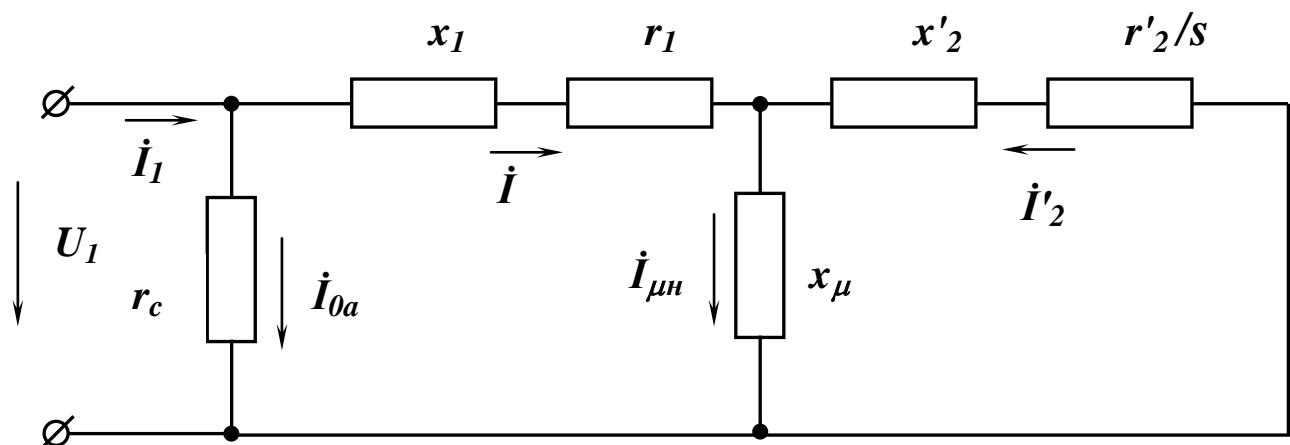


Рис. 1.а Т-образная схема замещения АЭД, положенная в основу программы электромагнитного расчета АЭД; активное сопротивление r_c , эквивалентирующее потери в стали, вынесено на зажимы

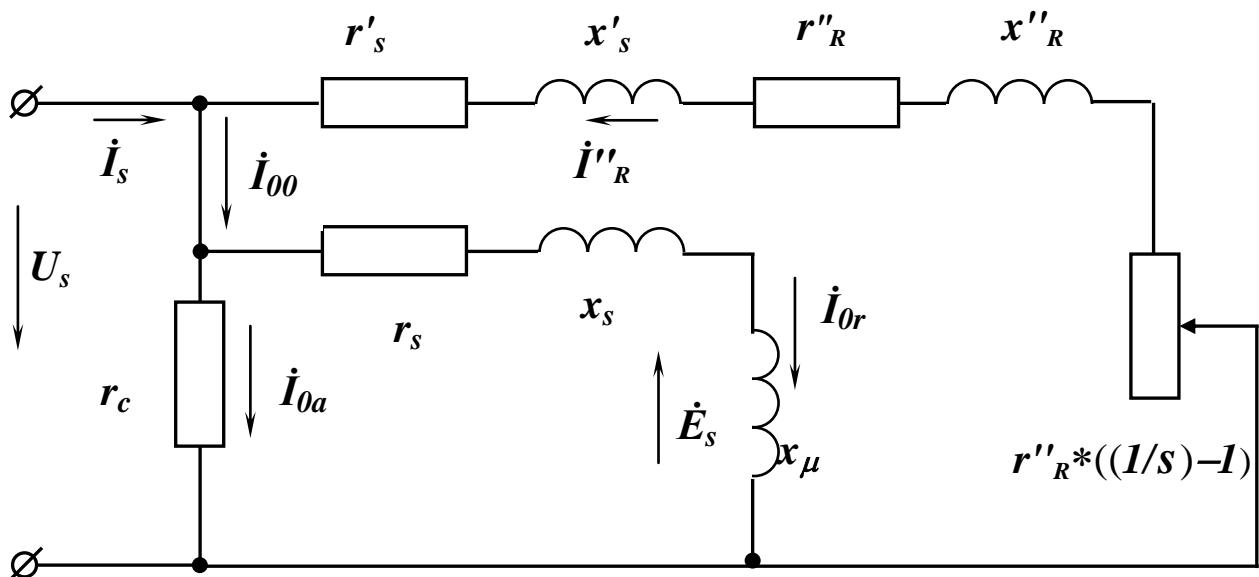


Рис. 1-б. Г-образная схема замещения трехфазного АЭД.

Схема электромагнитного расчета Зф АЭД с указанием возможных точек входа МКЭ

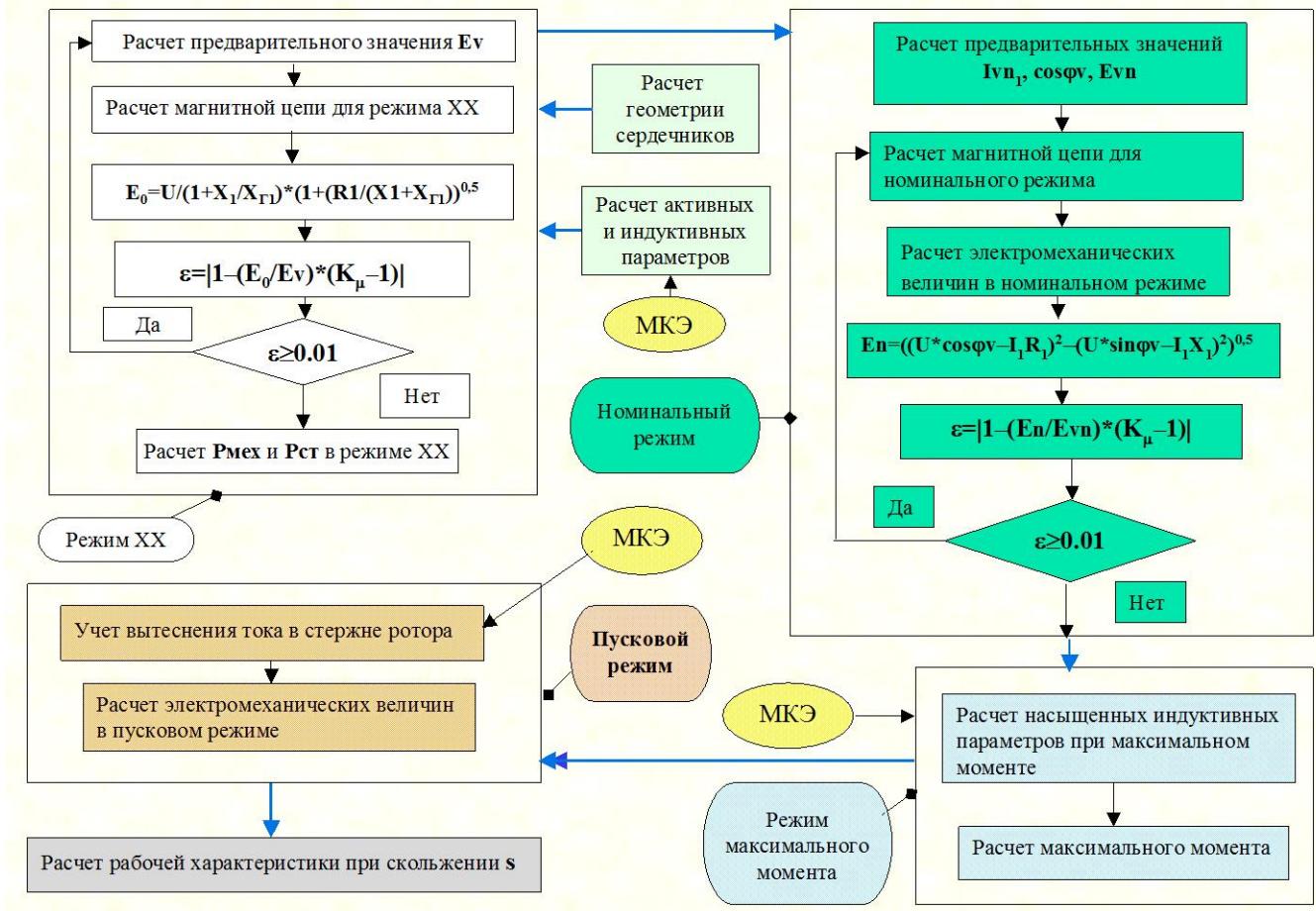


Рис. 2.

Собственно методика разработана в экспертной среде **SprutExpo** на подмножестве обычной технической лексики [4]. В терминах **SprutExpo** база знаний "Электромагнитный расчет трехфазных АЭД с КЗ ротором" содержит 52 метода, 738 модулей инженерных знаний (МИЗов), 1442 переменных, в т.ч. 71 строковых. Общее число значений строковых переменных – 288.

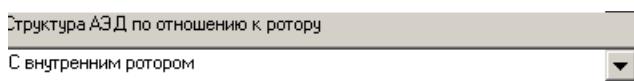
3. Перечень типоразмеров и исполнений электродвигателей, расчет которых поддерживается программой.

Программа электромагнитного расчета версии «**АЭДЗ_ЭМ 2016**» поддерживает расчет следующих типоразмеров и исполнений АЭД:

- Высота оси вращения: 45 – 560 мм.
- Установочные размеры, по длине сердечника статора: все, предусмотренные габаритами 45–80 мм.

- c) Установочные размеры, по длине станины: все, предусмотренные габаритами 90–560 мм.
- d) Защита и охлаждение: закрытое исполнение с внешним обдувом корпуса.
- e) Число полюсов: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16.
- f) Частота питающего напряжения: 50 Гц, 60 Гц. Устойчивая работа методики при расчете частотно-регулируемых АЭД обеспечивается до частоты не менее 8 Гц;
- g) Напряжение питающей сети: все сочетания напряжений, предусмотренные документацией на двигатели 45 –560 габарита;
- h) обмотка ротора: короткозамкнутая клетка;
- i) исполнение клетки ротора: литая; сварная.
- j) степени защиты IP22, IP23, IP44, IP54, IP55;
- k) Номинальный режим S1, S2.

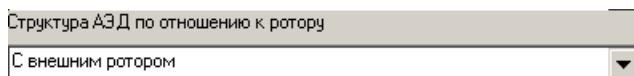
Настоящая версия поддерживает расчет АЭД при конфигурации пазов:
для АЭД с внутренним ротором



пазов статора по рис_паз. 1.1–1.6;

- A. *пазов ротора с простой литой клеткой* по рис_паз. 2.1 – 2.8, причем представленные пазы могут быть как полузакрытыми, так и закрытыми;
- B. *пазов ротора с литой двойной клеткой* по рис_паз. 3.1 – 3.4, причем верхние пазы двойной клетки могут быть как полузакрытыми, так и закрытыми;
- C. *пазов ротора с простой сварной клеткой* по рис_паз. 4.1 – 4.4;
- D. *пазов ротора с двойной сварной клеткой* по рис_паз. 4.5;

для АЭД с внешним ротором



- E. *пазов статора* по рис_паз. 1.5о;
- F. *пазов ротора с простой литой клеткой* рис_паз. 2.6о;
- G. *пазов ротора с простой сварной клеткой* по рис_паз. 4.1о

В названных рисунках указаны значения строковых свойств, описывающих конкретные пазы.

Обозначения видов изоляции паза статора, поддерживаемые настоящей версией, представлены на рис. 9.

Настоящая версия не поддерживает расчет характеристики $M=f(s)$.

Перечень значений наиболее важных строковых свойств, поддерживаемый настоящей версией программы, представлен в табл. 3.

4. Условия расчета.

Расчет может быть выполнен при следующих условиях:

1. Некоторые параметры: коэффициенты проводимости пазового рассеяния стержня ротора $LmsIR$, коэффициент увеличения активного сопротивления стержня от эффекта вытеснения Kr могут предварительно рассчитываться с применением численного метода. Далее их значения могут быть напрямую внесены в соответствующую закладку исходных данных, рис. 3 (*Параметры для стыковки с численным моделированием*).

При этом в закладке "Условия расчета" в свойствах "Признак использования численного метода..." должно быть выбрано значение "Численный расчет используется". Если расчетчик не использует численный расчет, должно быть выбрано значение "Численный расчет не используется", рис. 4.

Несколько иначе организуется ввод численных значений коэффициентов воздушного зазора статора $K\delta_S$ и ротора $K\delta_R$. Если названные коэффициенты не рассчитывались численно, то соответствующие поправочные коэффициенты принимаются равными "1", рис. 3. Если $K\delta_S$ и $K\delta_R$ рассчитывались численно, то значения поправочных коэффициентов равны

$$K\delta_{S_числ} / K\delta_{S_Аналит}, K\delta_{R_числ} / K\delta_{R_Аналит} .$$

Практика показывает, что для незакрытых пазов статора можно принимать $(K\delta_{S_числ} / K\delta_{S_Аналит})=1,3-1,1$; для незакрытых пазов ротора можно принимать $(K\delta_{R_числ} / K\delta_{R_Аналит})=1,01-1,05$. Большие значения соответствуют пазам с большим открытием, и с большими индукциями в зубцах.

| | |
|--|---|
| Поправочный коэф-т для коэф-та ВЗ статора из численного расч. | 1 |
| Поправочный коэф-т для коэф-та ВЗ ротора из численного расч. | 1 |
| Проводимость мостика ротора, из численного расчета | 0 |
| Проводимость паз.рассеяния ротора,без мостика,из числ.расчата | 0 |
| Коэф-т вытеснения тока для стержня простой клетки или ВК (числ.) | 1 |
| Коэф-т вытеснения тока для стержня НК (численный расчет) | 1 |

Рис. 3

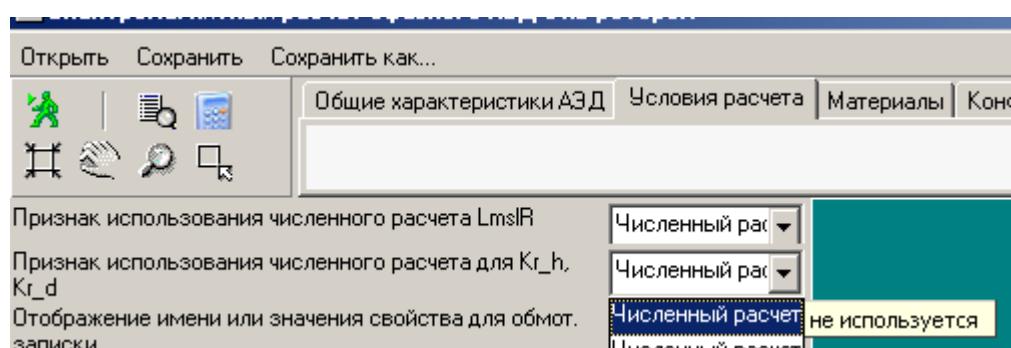


Рис. 4

В интерфейсе программы широко используется технология активных–неактивных свойств. Так, в вышеприведенном примере при условии "Численный расчет не используется", соответствующие значения зависимых свойств становятся недоступными (неактивными), см. рис. 3. В некоторых случаях, после загрузки исходных данных из БД, Условие может не соответствовать загруженной "активности" зависимого свойства. В этом случае следует еще раз выбрать желаемое условие, после чего нужное состояние "активности" зависимого свойства будет обеспечено.

В интерфейсе также используется технология исчезающей закладки: Если выбран "Вид клетки ротора" "Простая", исчезает закладка "**Геометрия нижней клетки ротора (часть вторая)**". Исключением является конфигурация простой клетки с формой паза "С высечкой у дна паза", Рис_паз. 4.3, поскольку некоторые размеры этого паза описываются параметрами двойной клетки.

2. При расчете отображается конфигурация пазов статора и ротора. При выборе условия "Показать имя" отображается эскиз паза с размерами, представленными в виде идентификаторов, рис. 5. При выборе условия "Показать значение" отображается эскиз паза с фактическими размерами.

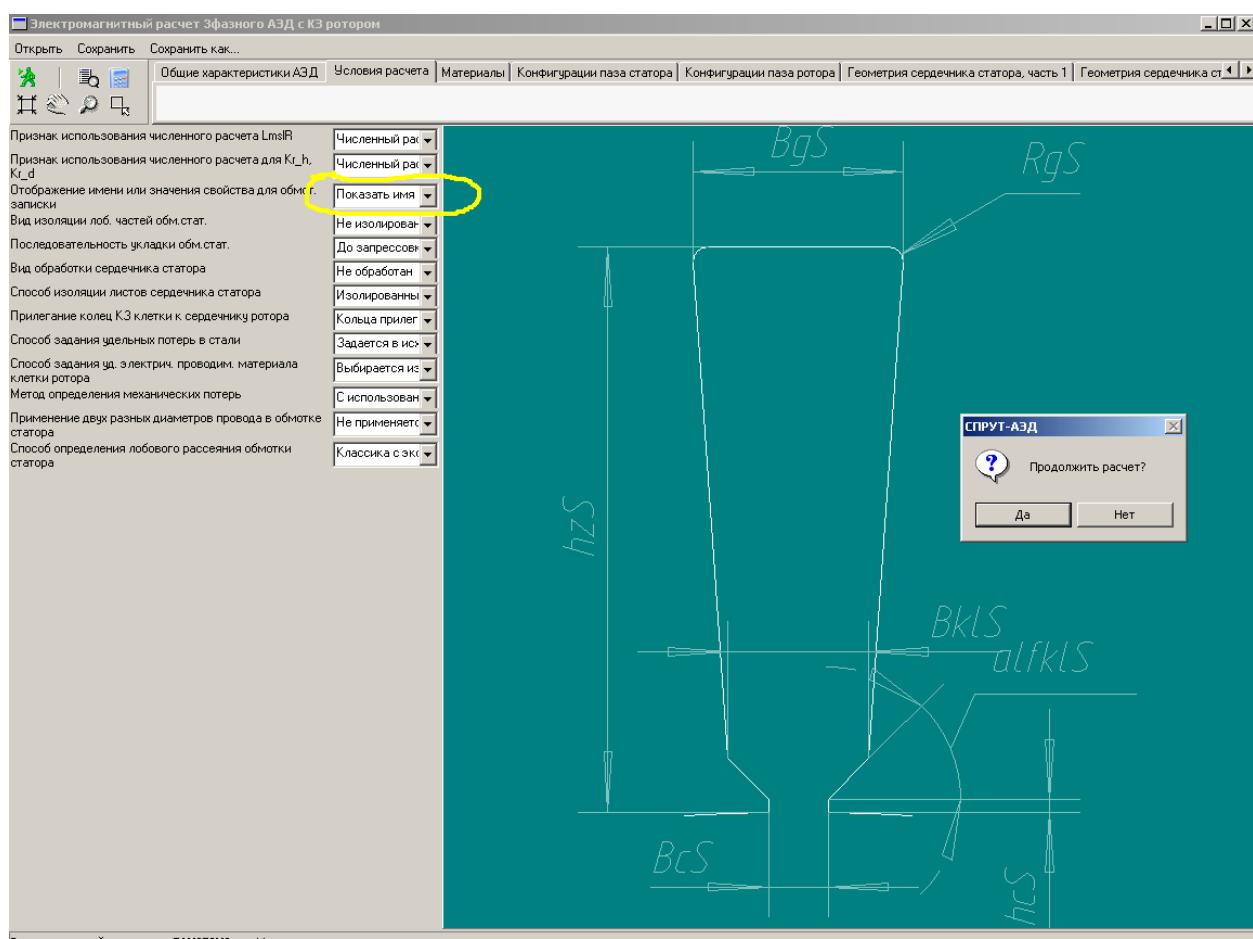


Рис. 5.

3. Потери в стали, удельная электрическая проводимость материала, диаметр (высота и ширина) обмоточного провода могут либо задаваться в исходных данных, либо выбираться из базы данных, рис. 6:

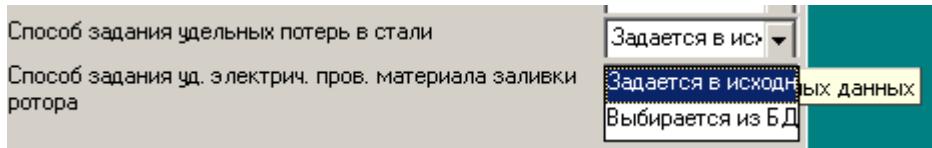


Рис. 6

4. В программе заложен упрощенный (инженерный) метод расчета механических потерь. Практика расчетов показывает, что любой из известных упрощенных методов расчета потерь дает приемлемую погрешность лишь для некоторого сочетания типов вентиляторов, высот осей вращения и полюсностей. Технология программирования в экспертной системе позволяет оперативно вносить поправочные многопараметрические коэффициенты, уточняющие расчет. Такая работа нами проведена для асинхронных двигателей серий АИР, 5А габаритов 80 – 315 мм. Для названных АЭД рекомендуется пользоваться условием "Метод определения потерь" – "С использованием экспертных коэффициентов". Для других типов машин следует выбирать "Без использования экспертных коэффициентов", рис. 7. Впрочем, возможен случай, когда экспертные коэффициенты подойдут и для другого типоразмера. Последнее определяется сопоставлением рассчитанных и экспериментальных потерь.

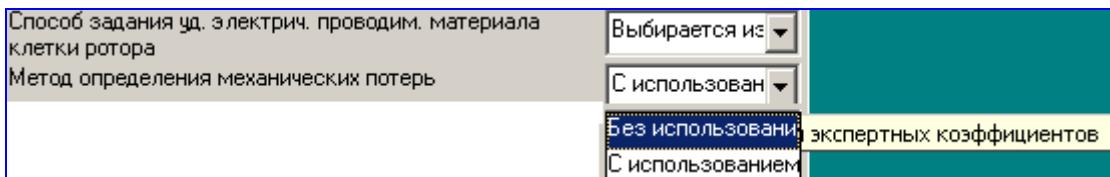


Рис. 7а

Для АЭД с эксклюзивной системой охлаждения, при использовании оригинальных конструкций вентилятора и т.п. невозможно корректно рассчитать механические потери. Для этих целей предусмотрена опция задания механических потерь в исходных данных, рис. 7б, когда предполагается, что потери вносятся в расчет из экспериментальных данных, либо по результатам численного моделирования в задачно-ориентированных программах.

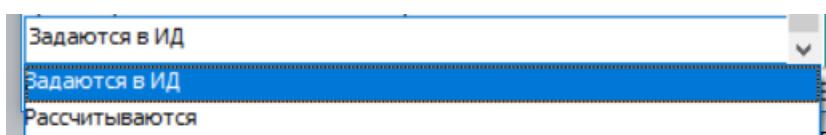


Рис. 7б

5. При использовании всыпной обмотки, в случае, если эффективный проводник формируется несколькими элементарными проводниками, для более полного заполнения паза могут использоваться провода разного диаметра. Данная версия программы позволяет напрямую (без эквивалентирования сечения) вводить два различных диаметра обмоточного провода и два числа элементарных проводников. Второй провод называется "дополнительным". Если используется провод только одного сечения, в условии "Применение двух разных диаметров провода в обмотке статора" выбирается значение "Не применяется", рис 8.

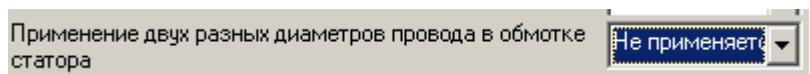


Рис. 8

6. В программе основной способ определения магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора λ_{SL} основан на модели В. Нутова, объединяющей в единой формуле расчет λ_{SL} для разных типов обмоток [5]. В программе реализован и традиционный подход к расчету λ_{SL} состоящий в том, что каждому типу обмотки поставлена в соответствие своя полуэмпирическая формула. При расчете по модели Нутова в свойстве "Способ определения лобового рассеяния обмотки статора" выбирается значение "Модель В.Нутова, ВНИИЭМ", рис. 9. При традиционном подходе – значение "Классика с экспериментальным уточнением". По нашим данным, для машин габаритов 80–250 мм более точным является традиционный подход.

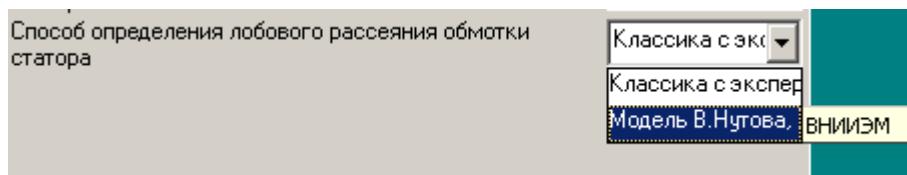


Рис. 9

7. Программа поддерживает расчет АЭД, станины и вал которых может быть выполнены как из магнитного, так и не из магнитного материала:

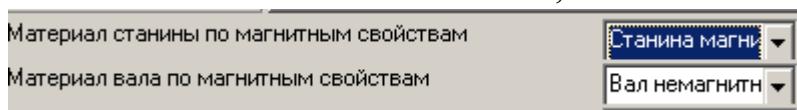


Рис. 10

8. Клетка ротора может быть выполнена как сварной, так и литой:

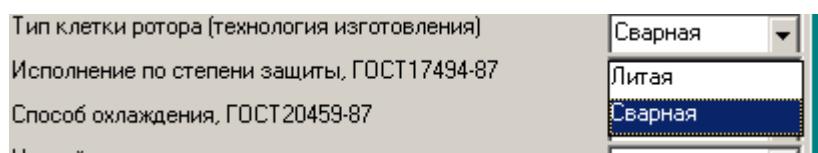


Рис. 11

9. Материалы обоих стержней и колец клетки задаются раздельно:

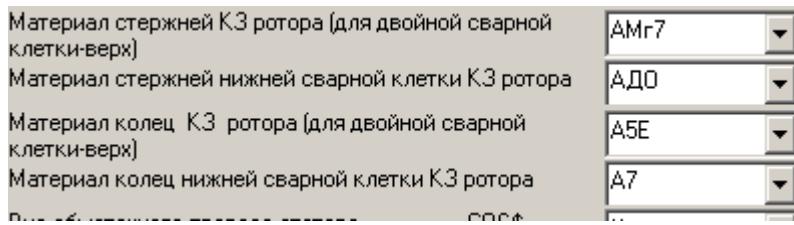


Рис. 12

10. При расчете АЭД с литой клеткой следует иметь в виду, что при некачественной технологии заливки реальная проводимость материала стержней γ_{Br} и колец γ_{Rng} ротора будет ниже проводимости, декларируемой в нормативных документах. Ухудшение качества заливки может быть выявлено сопоставлением потерь P_{Al} рассчитанных при идеальной проводимости и экспериментальных потерь, полученных на реальной машине. В программе снижение проводимости учитывается коэффициентами <1, рис. 13:

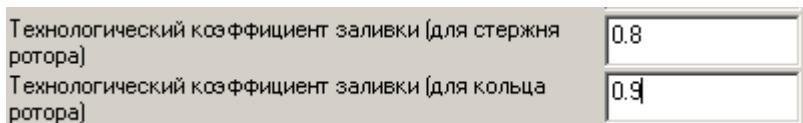


Рис. 13

11. При расчете КПД по нормам СЕМЕР (устаревшие требования)



потери в стали вычисляются для режима холостого хода, а добавочные потери при нагрузке P_{ll} вменяются как $P_{ll}=0,5*P_1$.

При расчете КПД по IEC 60034–30–1



потери в стали определяются для рабочего режима. Берется фактическое значение P_{ll} . Данные факты учитываются в программе расчета.

12. Для расчета добавочных потерь холостого хода рассеяния может быть использована либо упрощенная модель научной школы ВНИИЭМ, рис. 14а, либо полная классическая модель, рис. 14б. Для расчета добавочных потерь холостого хода машин с открытыми и полуоткрытыми пазами статора рекомендуется использовать полную модель.

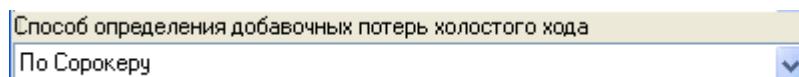


Рис. 14 а

Рис. 14 6

13. Программа поддерживает тепловой расчет для случая, если известны греющие потери аналога.

14. Программа поддерживает экономический расчет активного ядра и полный экономический расчет (см. соответствующие входные и выходные данные в таблицах 1, 2).

15. Программа поддерживает расчет технического уровня исследуемой машины, если известны соответствующие показатели аналога, см. вкладку «**Технический уровень, входные данные**» (таблица 1). Данная опция находится в тестовом режиме.

16. Программа поддерживает расчет АЭД для случая, если магнитопроводы статора и ротора выполнены из разных сталей.

5. Используемые базы данных.

Программа «АЭДЗ_ЭМ 2016» 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, Медь. На рис. 15 показан момент выбора материала колец ротора в интерфейсе программы.

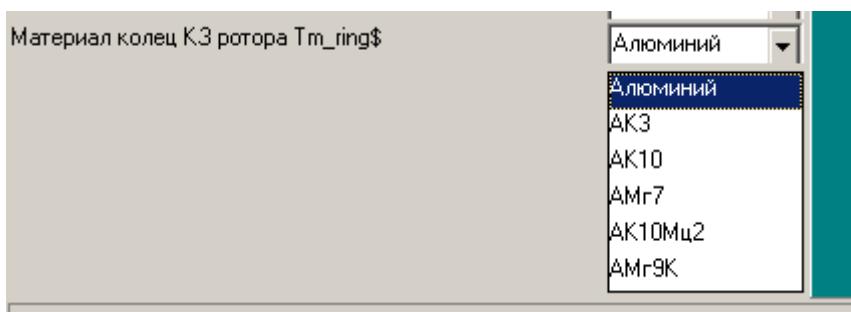


Рис. 15.

Являясь средой открытого доступа, база знаний "Электромагнитный расчет трехфазных АЭД с КЗ ротором" 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 **INTRABASE (FIREBIRD 2.0)**. Используемый менеджер БД – **IB Expert**. На рис. 16 показан фрагмент таблицы БД с исходными данными для электромагнитного расчета ряда АЭД:

IBExpert - [Таблица : [INPUT] : D:\SprutWin\KnowBase\Project\DB_AD_integr\AED.GDB (D:\SprutWin\KnowBase\Project\DB_AD_integr\AED.GDB)]

База данных Редактор Сетка Вид Настройки Инструменты Службы Внешние модули Окна Помощь

Таблица Поля Ограничения Индексы Зависимости Триггеры Данные Описание Скрипт Драва Протокол INPUT

Базы | Проекты | Окна | Недавние | Введите строку фильтра | Объект | 30 records fetched

TYPE_AD POWER_... VOLTAGE_UN FREQUENCY_FREQ_S P_POLE PHASE_MS TEMPERATURE_TPWS TEMPERA...

| TYPE_AD | POWER_... | VOLTAGE_UN | FREQUENCY_FREQ_S | P_POLE | PHASE_MS | TEMPERATURE_TPWS | TEMPE... |
|---------------------|-----------|------------|------------------|--------|----------|------------------|----------|
| 4AB_52_3 | 75 000 | 380.6 | 50.0 | 3 | 3 | 110.0 | |
| 5A50MA2 | 90 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 75.0 | |
| 5A50MA4 | 60 | 220.7 | 50.0 | 2 | 3 | 58.0 | |
| 5A50MB2 | 121 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 55.0 | |
| 5A50MB4 | 90 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 63.0 | |
| 5A80MA2 | 1 500 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 92.0 | |
| 5A80MA4 | 1 100 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 95.0 | |
| 5A80MA4_v1 | 1 100 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 95.0 | |
| 5A80MB2 | 2 200 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 95.0 | |
| 5A80MB4 | 1 500 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 93.0 | |
| 5A100S4A3M3_чур1 | 3 000 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 100.0 | |
| 5A100S4A3M3_чур_иг1 | 3 500 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 100.0 | |
| 5A100S4A3M3_чур_иг2 | 3 500 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 100.0 | |
| 5A71A2 | 750 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 75.0 | |
| 5AM315M2A3M3 | 200 000 | 380.0 | 50.0 | 1 | 3 | 110.0 | |
| 5AM315S2A3M3 | 160 000 | 370.0 | 50.0 | 1 | 3 | 110.0 | |
| 5AM315M4A3M3 | 200 000 | 380.0 | 50.0 | 2 | 3 | 110.0 | |
| 5Г71A2_v1 | 550 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 75.0 | |
| A100L2 | 5 502 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 80.0 | |
| New | 251 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 75.0 | |
| AIT160S6/18_18 | 1 170 | 220.0 | 50.0 | 9 | 3 | 75.0 | |
| AIT160S6/18_18_v2 | 1 170 | 220.0 | 50.0 | 9 | 3 | 75.0 | |
| AIT160S6/18_6 | 3 500 | 220.0 | 50.0 | 3 | 3 | 115.0 | |
| AIT160S6_18_6v2 | 3 500 | 220.0 | 50.0 | 3 | 3 | 80.0 | |
| АГ71A2_v1 | 750 | 220.0 | 50.0 | 1 | 3 | 75.0 | |
| АГ71B4_v1 | 750 | 220.0 | 50.0 | 2 | 3 | 75.0 | |
| АД3_1280L6_v1 | 132 000 | 380.0 | 50.0 | 3 | 3 | 125.0 | |
| АД3_1280S6_nv2 | 75 000 | 380.0 | 50.0 | 3 | 3 | 95.0 | |
| АД3_1280S6_cv2 | 75 000 | 380.0 | 50.0 | 3 | 3 | 95.0 | |
| АД3_280L4_v1 | 200 000 | 380.0 | 50.0 | 2 | 3 | 125.0 | |

SQL Ассистент | Быстрая помощь | D:\SprutWin\KnowBase\Project\DB_AD_integr\AED.GDB

| # | FK | Поля | Тип |
|-----|----|------------------------|---------|
| 1 | 1 | TYPE_AD | VARCHAR |
| 99 | | ROTOR_CORE_SIZE_LR | NUMERIC |
| 98 | | FILLING_FECSR_FACTO... | NUMERIC |
| 101 | | WINDINGS_LAYERS... | INTEGER |
| 100 | | ROTOR_CORE_SIZE... | NUMERIC |
| 97 | | VC_RADIAL_WIDTH_B... | NUMERIC |
| 94 | | VENTC_AXIAL_NO_NR... | INTEGER |
| 93 | | VC_AXIAL_ROWNO_M... | INTEGER |
| 96 | | VFNTC_RADIAL_NO_N... | INTEGER |

1. Сетка | 2. Форма | 3. Печать | AED_BUFF_OBM1 | INPUT_OBM | AED3_BUFF_OBM | INPUT_ADT | INPUT | D:\SprutWin\KnowBase\Project\DB_AD_integr\AED.GDB (Dialect 3) | Осталось 74 изменений таблицы [INPUT_ADT]

Рис. 16.

6. Краткое описание интерфейса программы «АЭДЗ_ЭМ 2016»

Общий вид пользовательского интерфейса в момент диалога программы с пользователем показан на рис. 17.

Выполнение расчета производится в результате нажатия кнопки . Визуализация эскизов пазов АЭД в интерфейсе пользователя проводится

традиционными кнопками 2D-CAD:

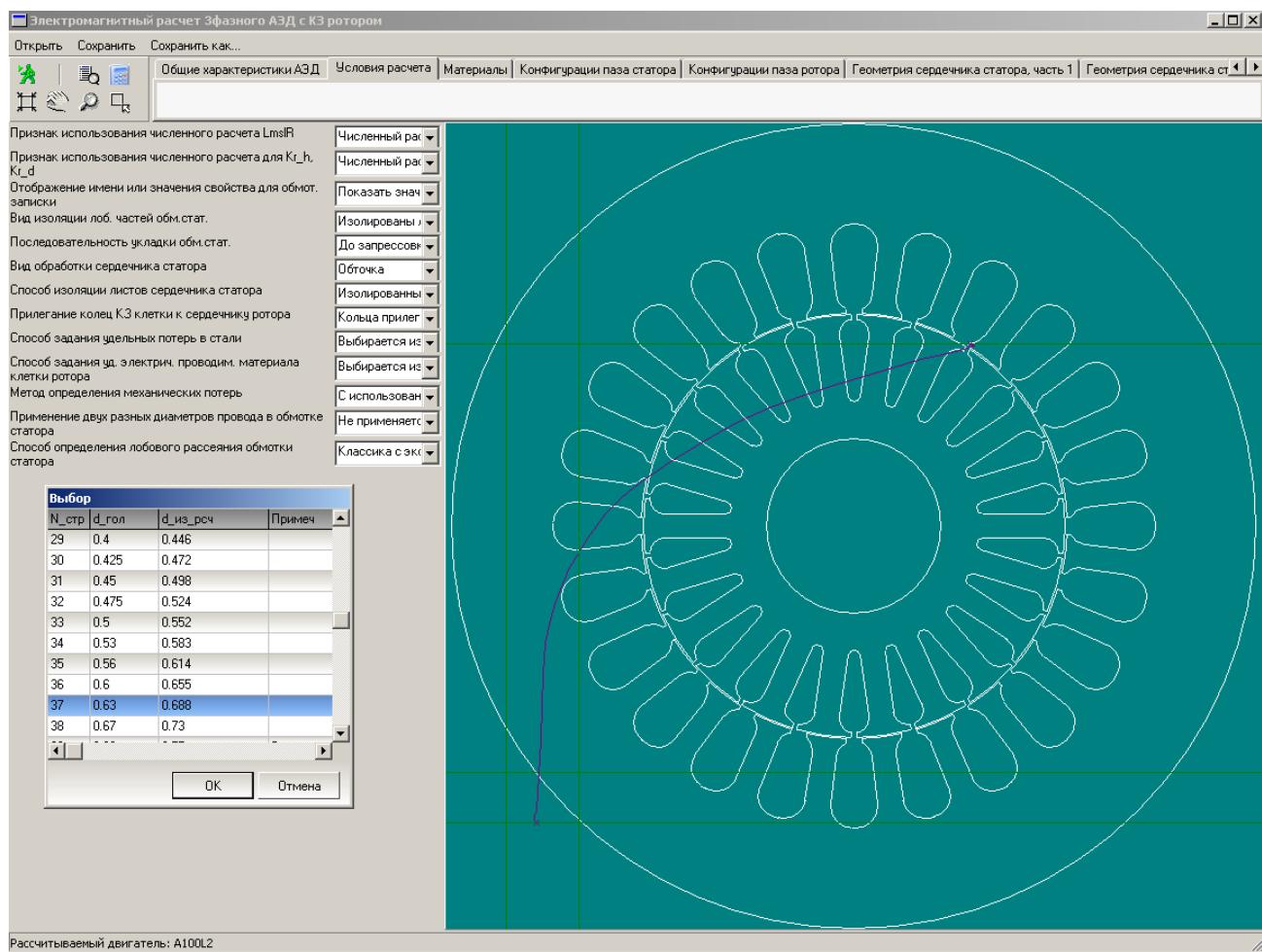


Рис. 17. Интерфейс пользователя методики электромагнитного расчета

Все исходные данные для удобства тематически разбиты на 18 закладок:

The screenshot shows a software interface with a top navigation bar containing tabs: Общие характеристики АЭД | Условия расчета | Материалы | Конфигурации паза статора. Below this are several horizontal tabs: Конфигурации паза ротора | Геометрия сердечника статора, часть 1 | Геометрия сердечника статора, часть 2; Геометрия сердечника ротора (часть 1) | Геометрия нижней клетки ротора (часть 2) | Обмотка статора | Пазовая изоляция; Кольцо и лопатки КЗ ротора | Разные расчетные параметры | Параметры для стыковки с численным моделированием; Тепловой расчет по аналогу | Входные экономические показатели, часть 1 | Входные экономические показатели, часть 2; and Технический уровень, входные данные.

Все выходные данные для удобства тематически разбиты на 8 закладок:

The screenshot shows a software interface with a top navigation bar containing tabs: Основные электромеханические характеристики | Расчетные индукции | Потери и сопротивления | Геометрия штампов, обмоточные данные, массы. Below this are three horizontal tabs: Выходные экономические параметры, часть1 | Выходные экономические параметры, часть 2 | Технический уровень, выходные данные.

Восьмая вкладка появилась в версии *АЭДЗ ЭМ 2016*:

The screenshot shows the 'Технический уровень, выходные данные' tab. It features a toolbar with icons for opening, saving, and saving as, followed by the 'Optimization Control' button. Below is a table of calculated parameters:

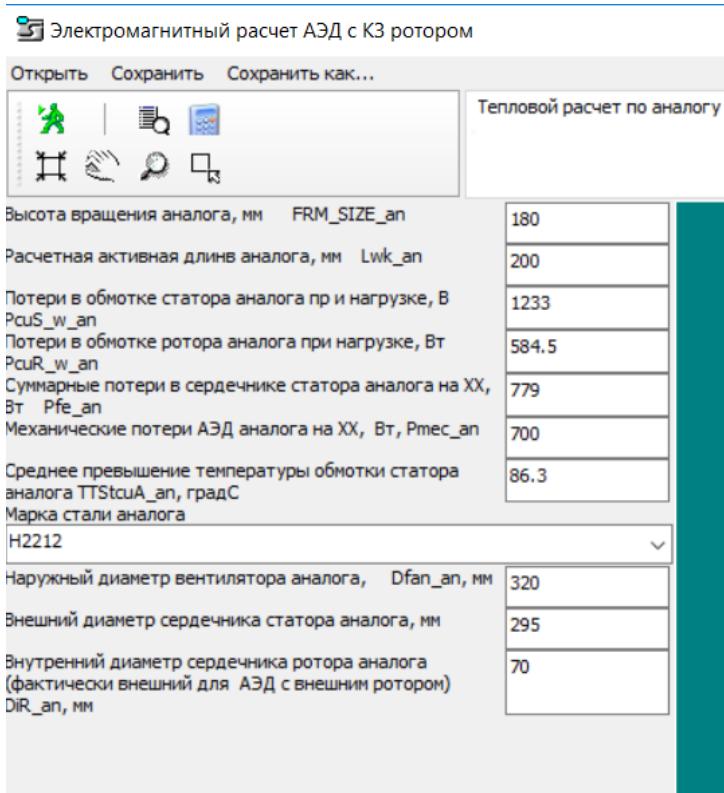
| | |
|---|---------|
| Произведение линейной нагрузки (ном) на индукцию в В3 (хх) | 251.85 |
| Произведение линейной нагрузки на плотность тока (ном) | 1452.43 |
| Отношение индукции в В3 (хх) к линейной нагрузке (ном) | 31.66 |
| Относительный (к FRM_SIZE) внешний диаметр сердечника статора | 1.639 |
| Относительный (к DaS) внутренний диаметр сердечника статора | 0.643 |
| Отношение LS к TauS | 1.45 |
| Отношение Bs/S к TzS | 0.548 |
| Отношение Bz/S к TzS | 0.565 |

Оценка качества расчетов с позиции фундаментальных электромашинных постоянных представлена в нижней части первой вкладки выходных данных:

| | |
|---|---------|
| Постоянная Арнольда, (м ³ *об/мин)/кВА | 0.3758 |
| Постоянная Эссона кВА/(м ³ *об/мин) | 2.661 |
| Машинная постоянная статора, Тл*А/мм ² | 0.98 |
| Окружное усилие кВА/(м ³ *об/мин) | 16.1769 |
| Отношение расчетной активной мощности к объему В3, Вт/мм ³ | 0.242 |

Когда выбрано условие "Вид клетки ротора" "Простая" закладка "*Геометрия нижней клетки ротора (часть 2)*" не отображается, см. выше.

Когда выбрано условие «Признак выполнения теплового расчета по аналогу» "Не выполняется" закладка "*Тепловой расчет по аналогу*" не отображается. Если выбрано условие «Выполняется», отображается следующая вкладка



Когда выбрано условие «Признак выполнения экономического расчета» "Не выполняется" две входные и две выходные вкладки экономического расчета не отображаются.

Перечень входных данных представлен в таблице 1, перечень результатов расчета – в таблице 2.

Методика также имеет интерфейс разработчика, рис. 18, в котором можно вносить изменения в методику расчета, например, вносить свойства новых материалов в базы данных, уточнять расчетные формулы, добавлять новые формулы, таблицы и графики. Поскольку методика написана на подмножестве технической лексики и не требует строгой алгоритмизации про-

граммы (уникальное свойство **SprutExpo**), внесение изменений в методику доступно непрограммирующим специалистам.

Вне **SprutExpo** организуются глобальные циклы уточнения значений ЭДС E_1 на холостом ходу и нагрузке. Затем соответствующие программные модули подсоединяются в **SprutExpo**. С технологией организации циклов вне **SprutExpo** и их последующим подключением к БЗ пользователи знакомятся при обучении работе с инструментарием **SprutExpo**.

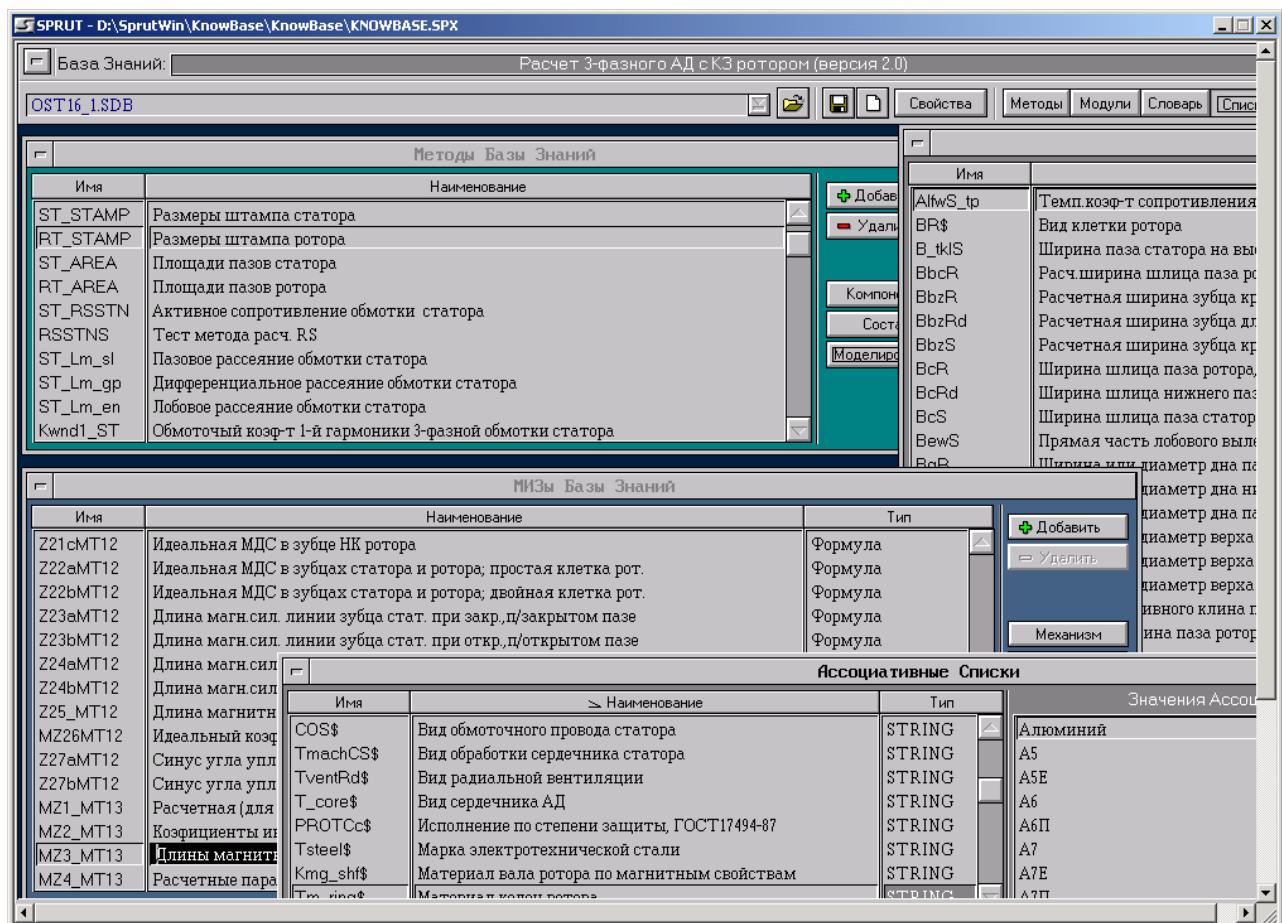
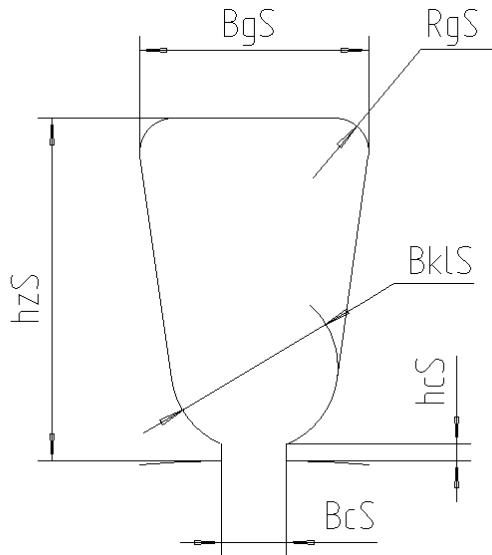


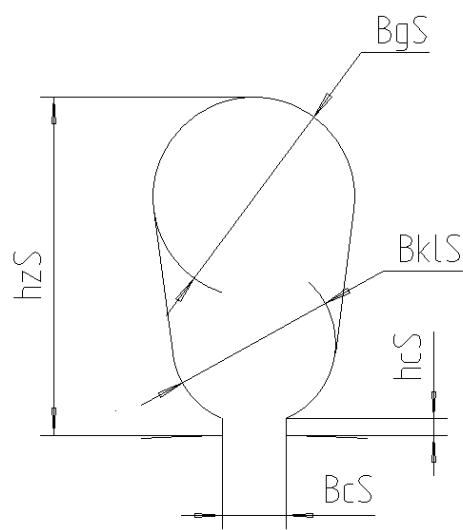
Рис. 18. Интерфейс разработчика методики электромагнитного расчета

7. Основные конфигурации пазов, поддерживаемые программой «АЭД3_ЭМ 2016»



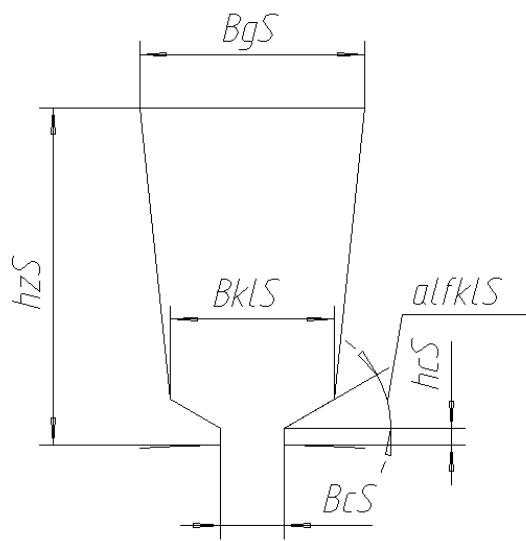
Рис_паз. 1.1.

KOS\$ – "Скругленный"
TOSS – "Прямой или трапецевидный – со скругленным дном"
TOSp\$ – "Стенки непараллельны"
alfpS\$ – "Полузакрытый"



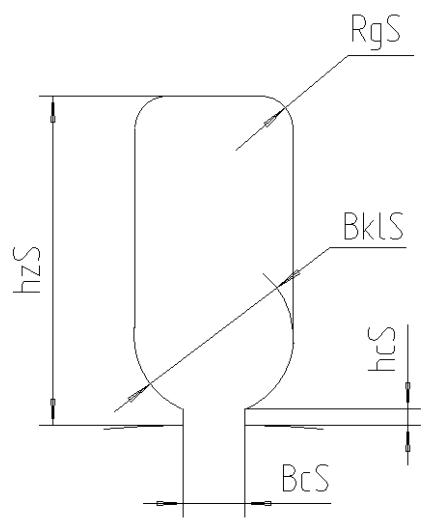
Рис_паз. 1.2.

KOS\$ – "Скругленный"
TOSS – "Прямой или трапецевидный – с круглым дном"
TOSp\$ – "Стенки непараллельны"
alfpS\$ – "Полузакрытый"



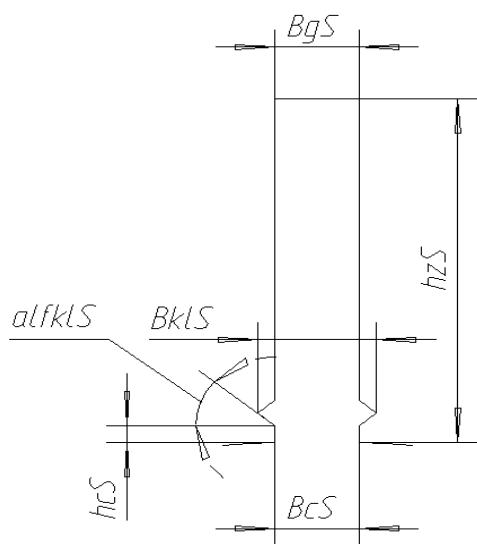
Рис_паз. 1.3.

KOS\$ – "Трапециевидный"
 TOS\$ – "Прямой или трапецевидный – с прямым дном"
 TOSp\$ – "Стенки непараллельны"
 alfpS\$ – "Полузакрытый"



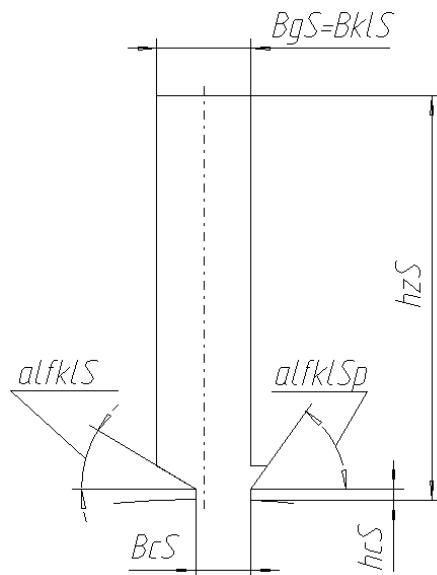
Рис_паз. 1.4.

KOS\$ – "Скругленный"
 TOS\$ – "Прямой или трапецевидный – со скругленным дном"
 TOSp\$ – "Стенки параллельны"
 alfpS\$ – "Полузакрытый"



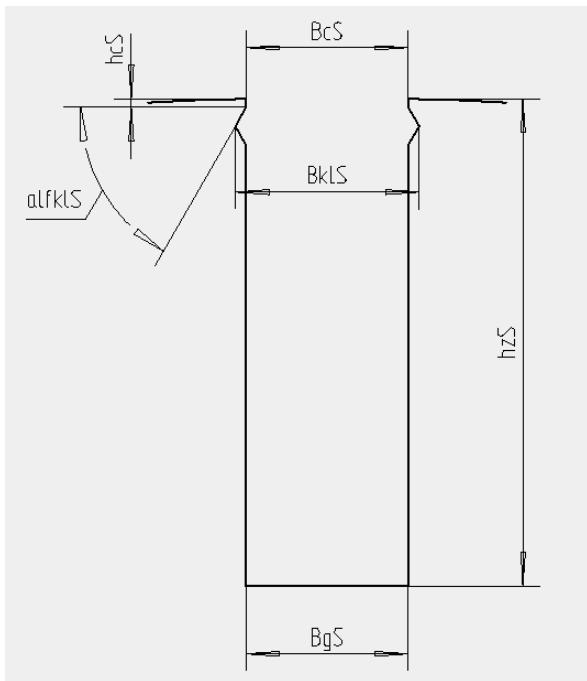
Рис_паз. 1.5.

KOS\$ – "Трапециевидный"
 TOS\$ – "Прямой или трапецевидный – с прямым дном"
 TOSp\$ – "Стенки параллельны"
 alfpS\$ – "Открытый"



Рис_паз. 1.6.

KOS\$ – "Трапециевидный"
 TOS\$ – "Прямой или трапецевидный – с прямым дном"
 TOSp\$ – "Стенки параллельны"
 alfpS\$ – "Открытый"



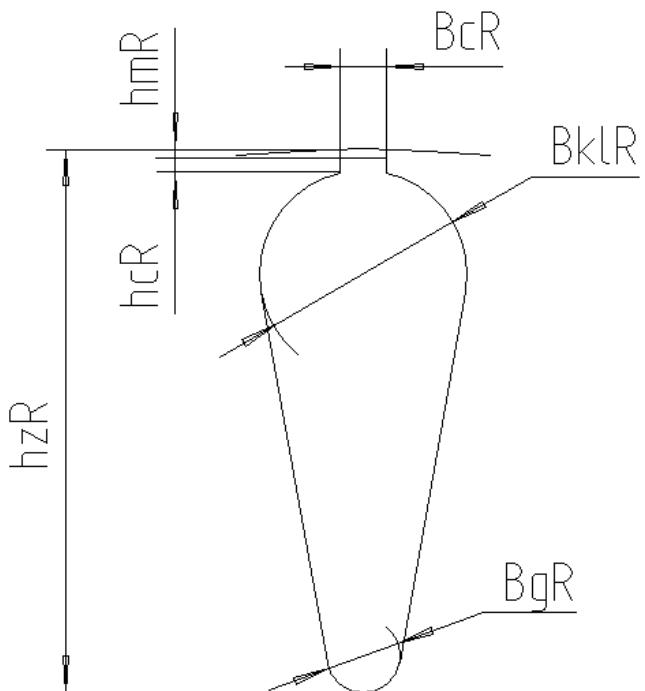
Рис_паз. 1.5о.

KOS\$ – "Трапециевидный"

TOSS – "Прямой или трапециевидный
– с прямым дном"

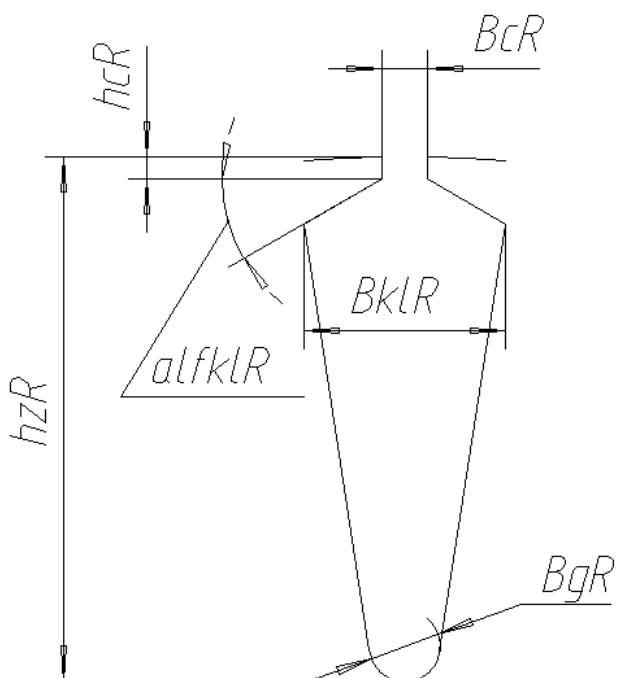
TOSp\$ – "Стенки параллельны"

alfpS\$ – "Открытый"



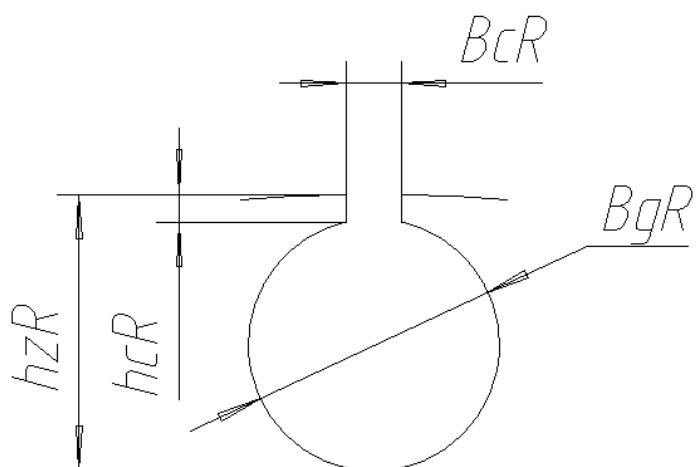
Рис_паз. 2.1.

BR\$ – "Простая"
KOR\$ – "Скругленный"
TOR\$ – "Прям. или трапец. с круглым дном"



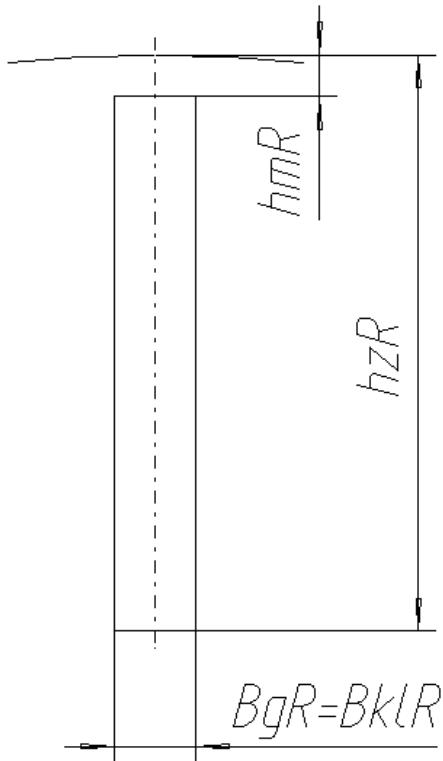
Рис_паз. 2.2.

BR\$ – "Простая"
KOR\$ – "Трапецевидный"
TOR\$ – "Прям. или трапец. с круглым дном"

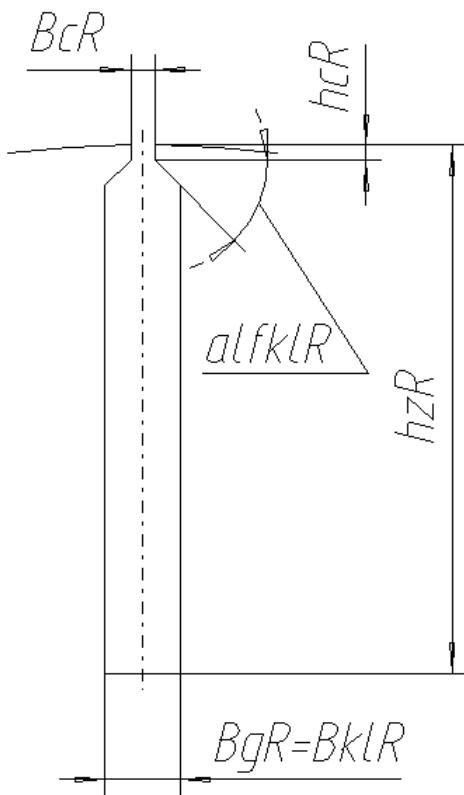


Рис_паз. 2.3.

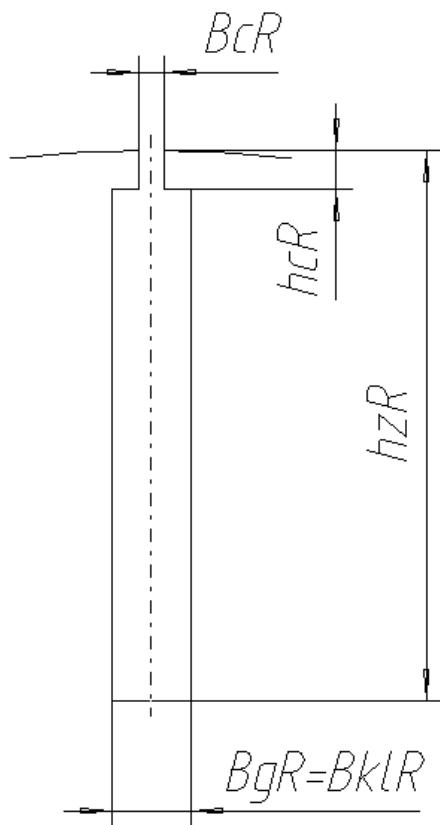
BR\$ – "Простая"
KOR\$ – "Скругленный"
TOR\$ – "Паз круглый"



Рис_паз. 2.4.

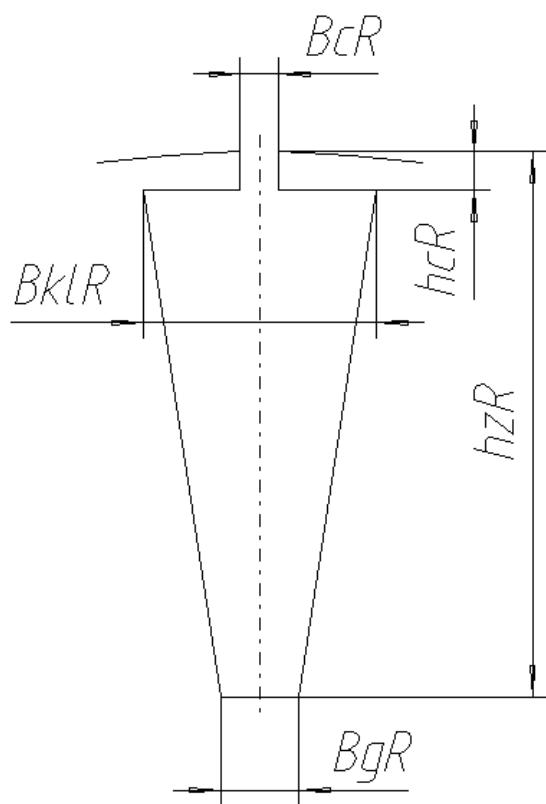


Рис_паз. 2.5.

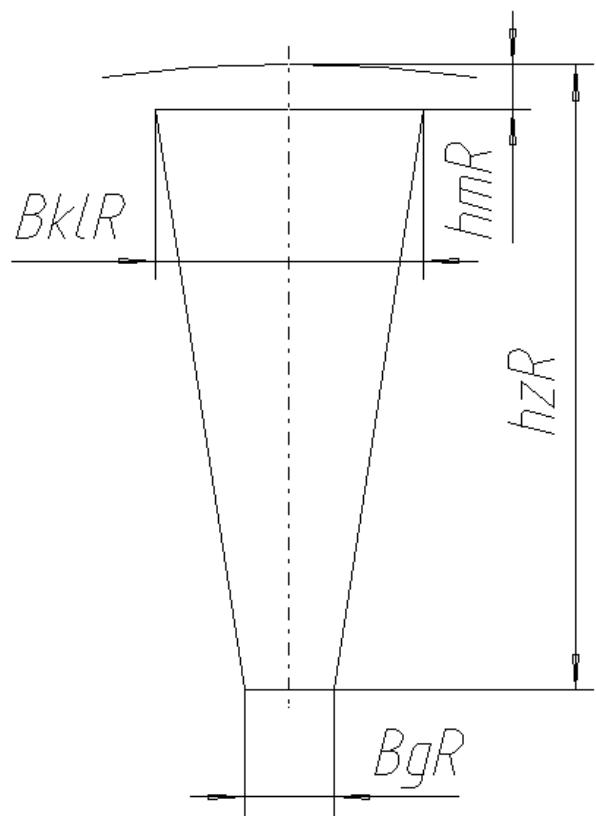


Рис_паз. 2.6.

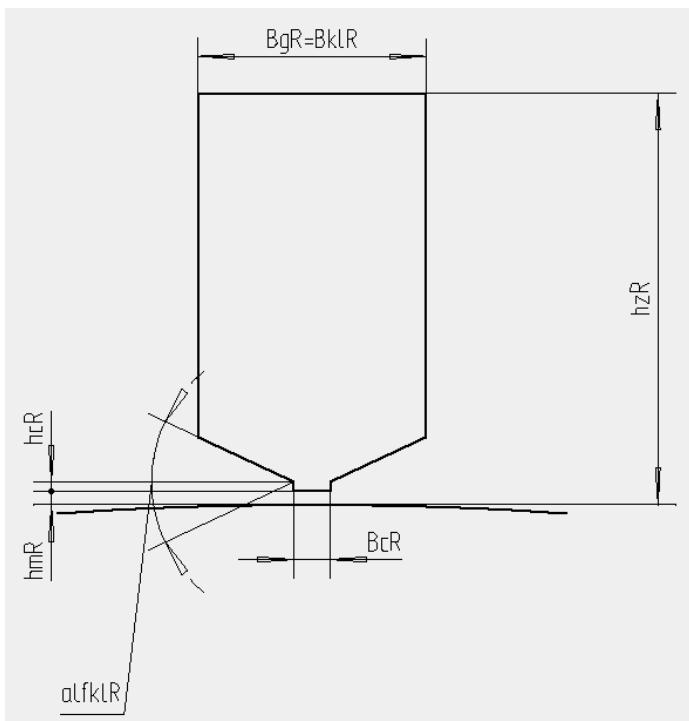
Пазы по рис. 2.4 – 2.8
описываются следующими стринговыми
переменными:
 $BR\$$ – "Простая"
 $KOR\$$ – "Трапецевидный"
 $TOR\$$ – "Прям. или трапец. с прямым
дном"



Рис_паз. 2.7



Рис_паз. 2.8

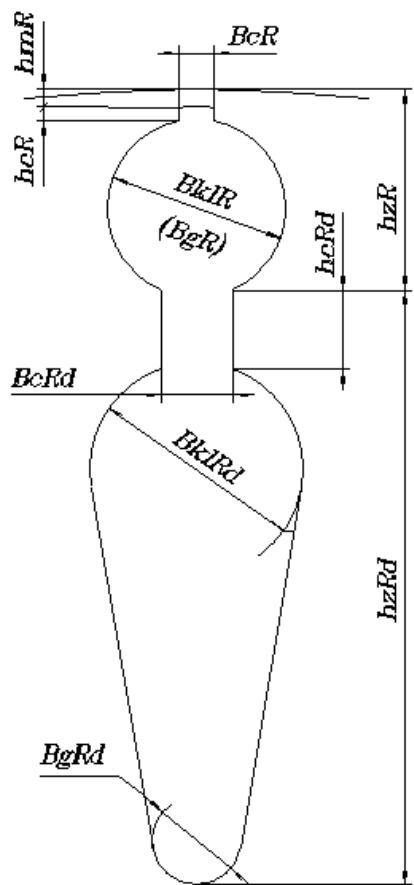


Рис_паз. 2.60.

BR\$ – "Простая"

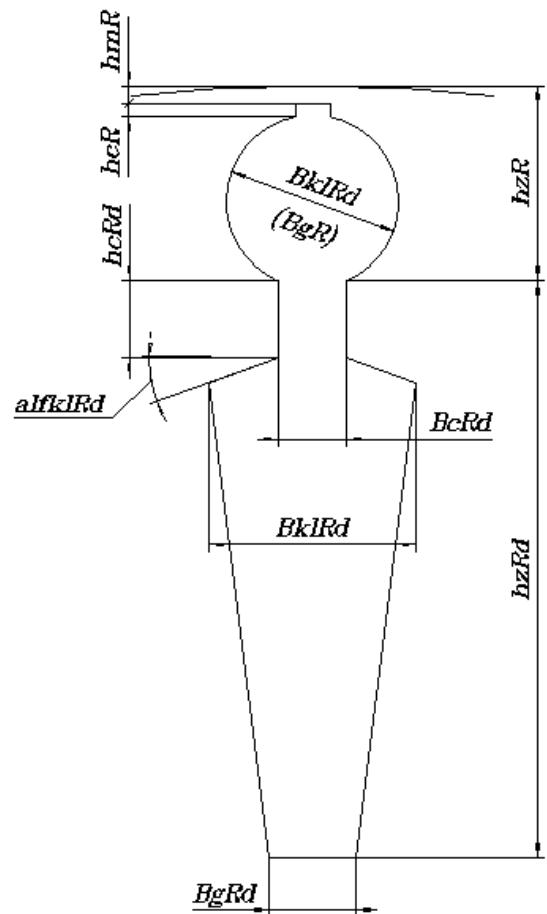
KOR\$ – "Трапецевидный"

TOR\$ – "Прям. или трапец. с
прямым дном"



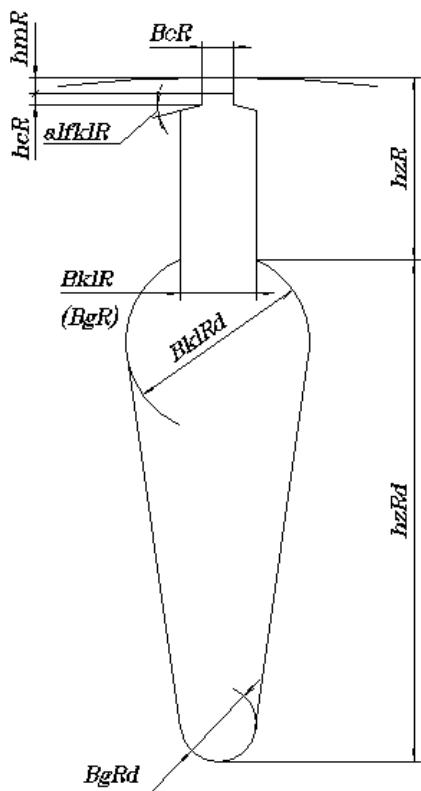
Рис_паз. 3.4.

BR\$ – "Двойная"
 KOR\$ – "Скругленный"
 TOR\$ – "Паз круглый"
 KORd\$ – "Скругленный"
 TORd\$ – "Прям. или трапец. с
 круглым дном"



Рис_паз. 3.5.

BR\$ – "Двойная"
 KOR\$ – "Скругленный"
 TOR\$ – "Паз круглый"
 KORd\$ – "Трапецевидный"
 TORd\$ – "Прям. или трапец. с
 прямым дном"



Рис_разрез. 3.6.

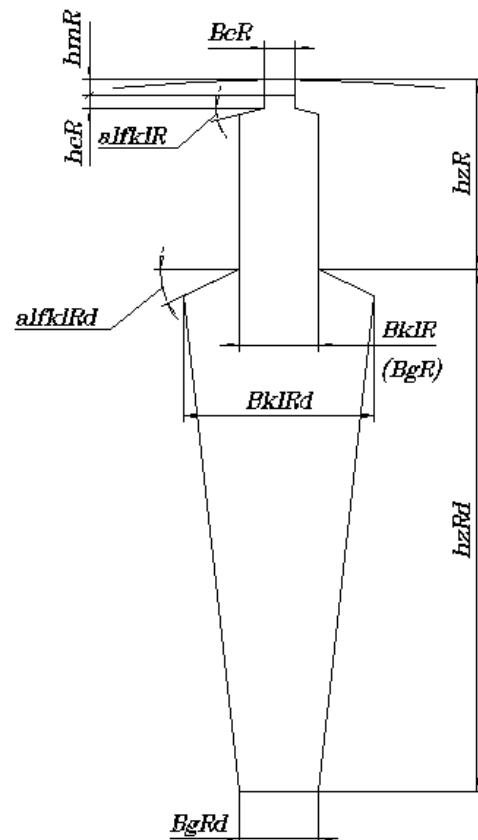
BR\$ – "Двойная"

KOR\$ – "Трапецевидный"

TOR\$ – "Прям. или трапец. с прямым дном"

KORd\$ – "Круглый с полкой"

TORd\$ – "Прям. или трапец. с круглым дном"



Рис_разрез. 3.7.

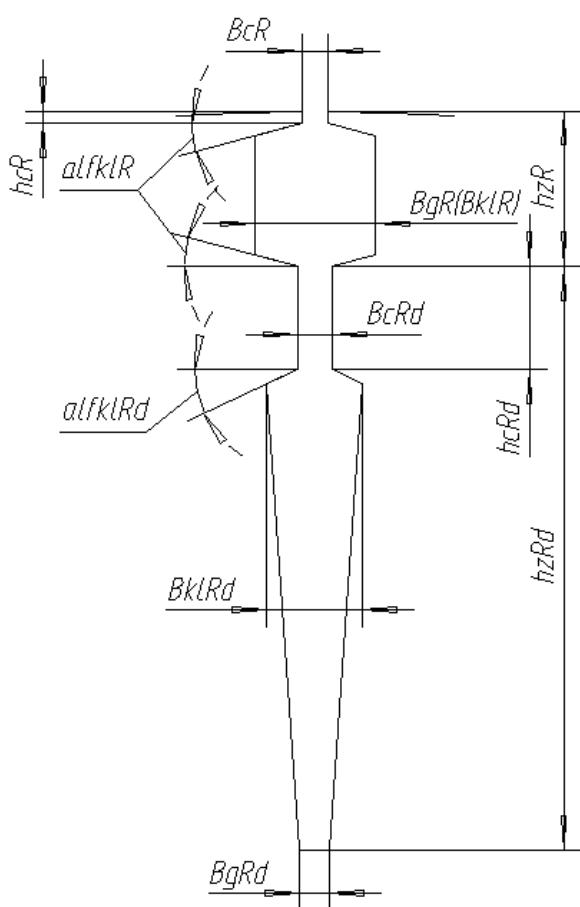
BR\$ – "Двойная"

KOR\$ – "Трапецевидный"

TOR\$ – "Прям. или трапец. с прямым дном"

KORd\$ – "Трапецевидный с полкой"

TORd\$ – "Прям. или трапец. с прямым дном"



Рис_разрез. 3.7.

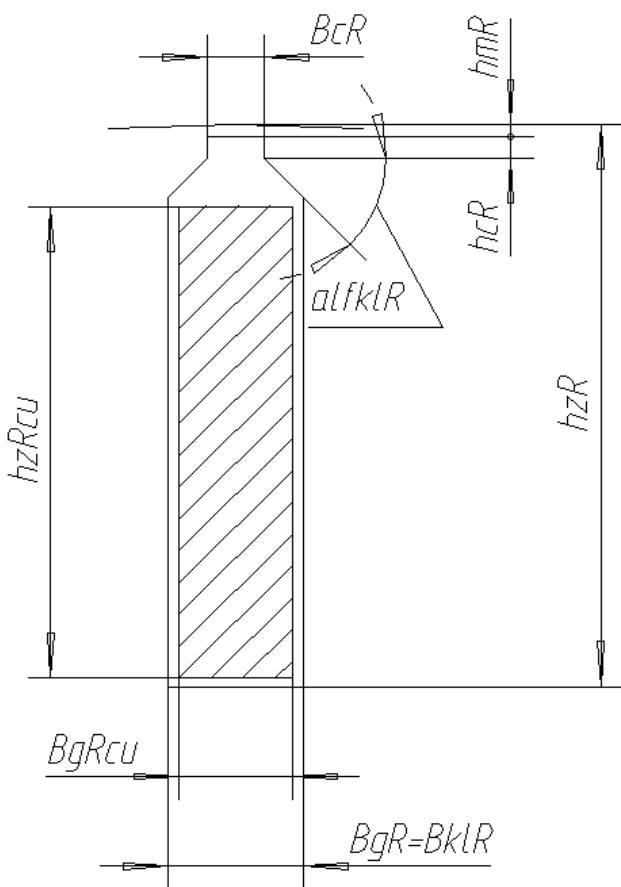
BR\$ – "Двойная"

KOR\$ – "Трапецевидный"

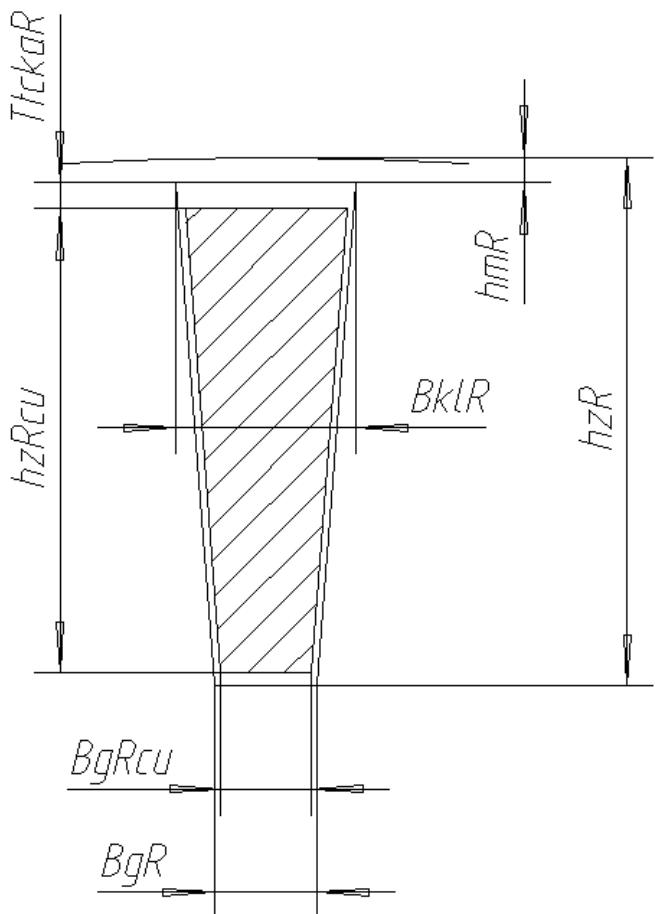
TOR\$ – "Прям. или трапец. с трапец. дном"

KORd\$ – "Трапецевидный"

TORd\$ – "Прям. или трапец. с прямым дном"



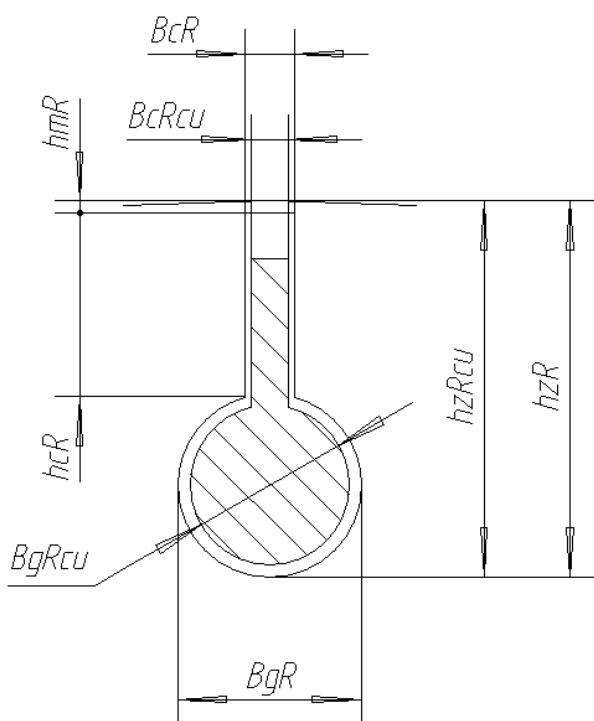
Рис_паз. 4.1



Рис_паз_4.1а

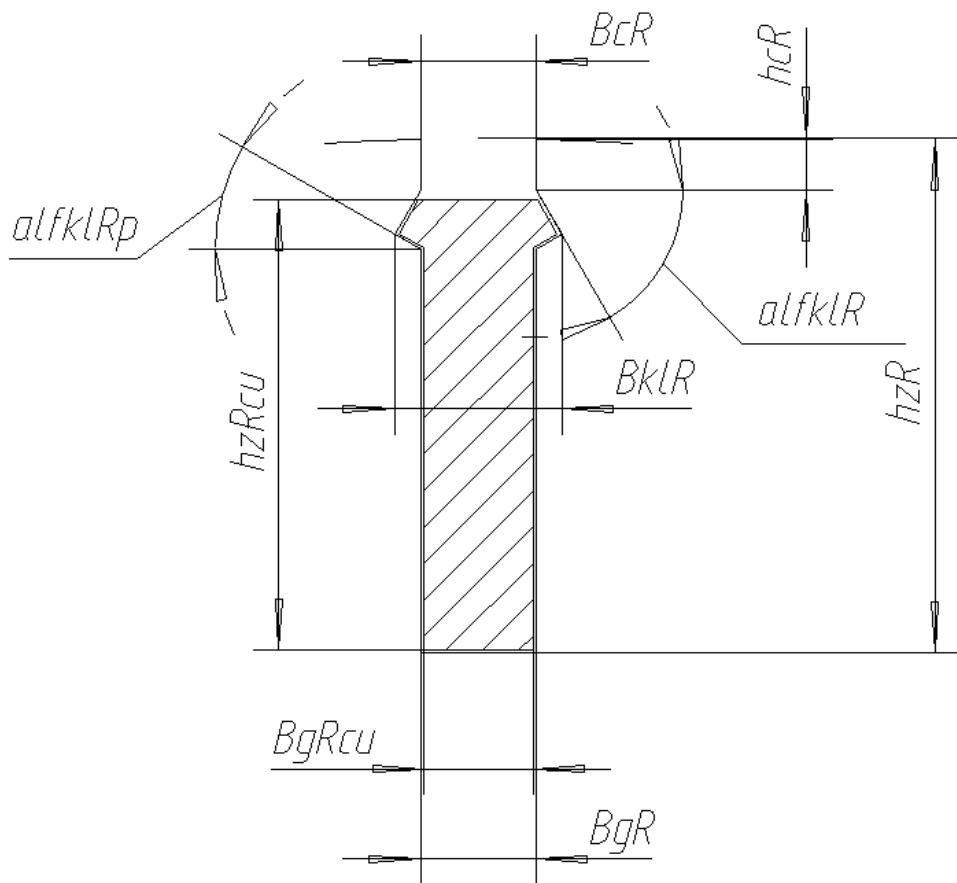
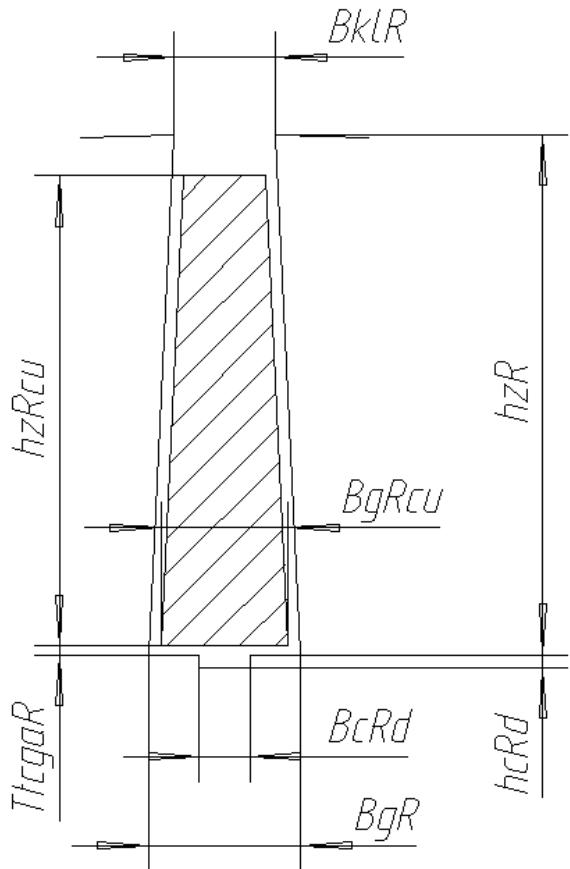
Рис_паз. 4.1, 4.1а

BR\$ – "Простая"
KOR\$ – "Трапециевидный"
TOR\$ – "Прям. или трапец.
с прямым дном"

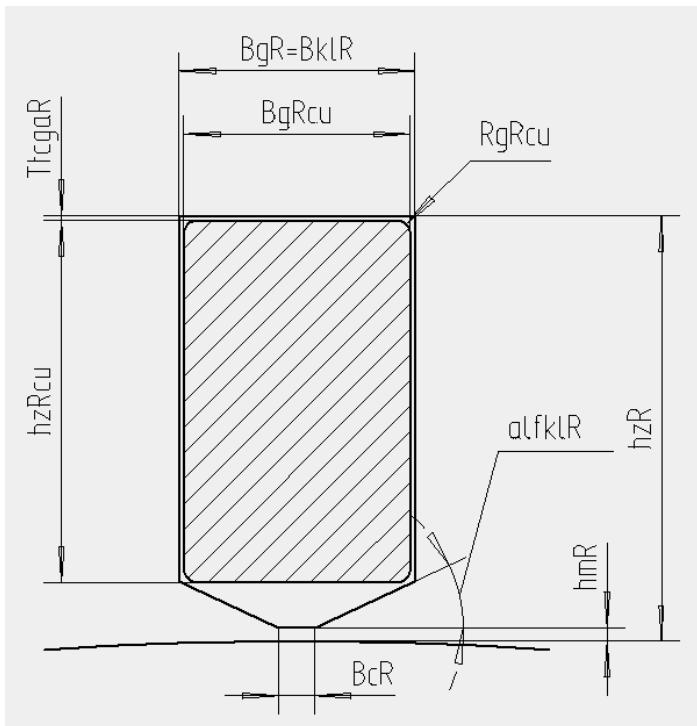


Рис_паз. 4.2.
BR\$ – "Простая"
TOR\$ – "Паз круглый"

Рис_паз. 4.3. BR\$ – "Простая"; TOR\$="С высечкой у дна паза":



Рис_паз. 4.4
BR\$ – "Простая"
TOR\$="Прямой под клин
или расчеканку"



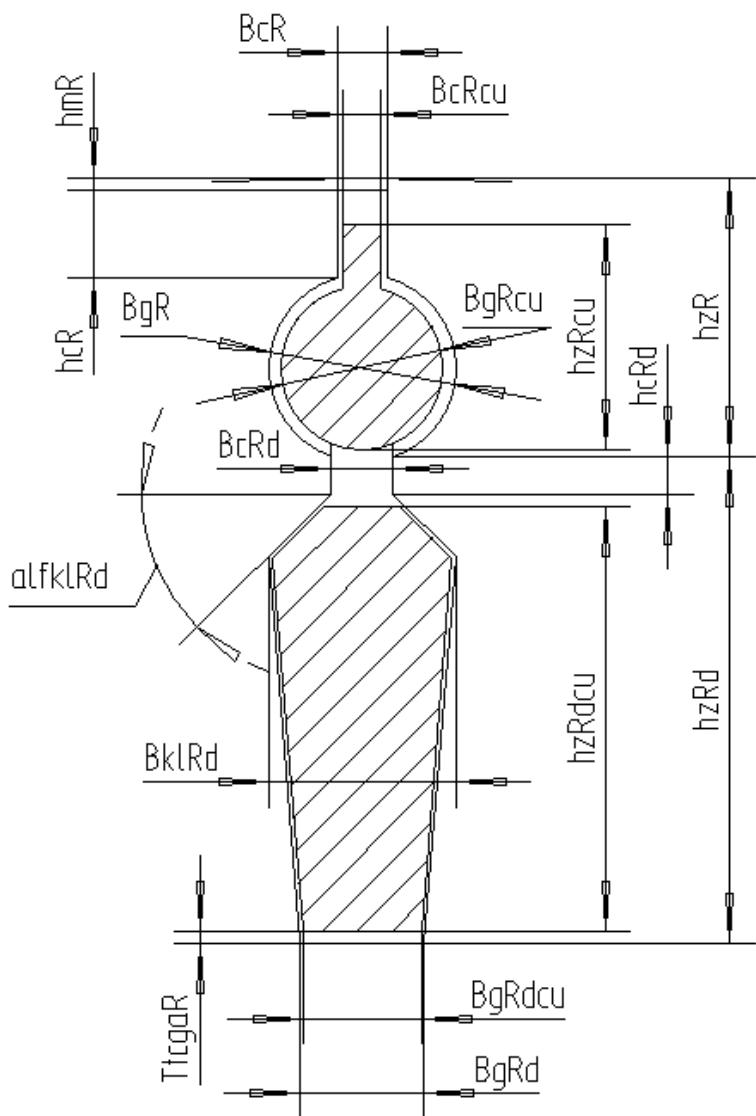
Рис_паз. 4.1о

BR\$ – "Простая"

KOR\$ – "Трапециевидный"

TOR\$ – "Прям. или трапец.

с прямым дном"

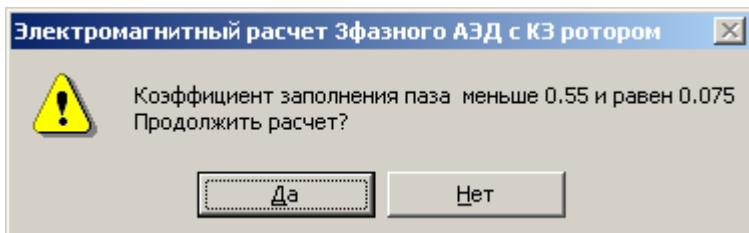


Рис_паз. 4.5

BR\$ – "Двойная"
 KOR\$ – "Скругленный"
 TOR\$ – "Паз круглый"
 KORd\$ – "Трапецевидный"
 TORd\$ – "Прям. или трапец.
 с прямым дном"

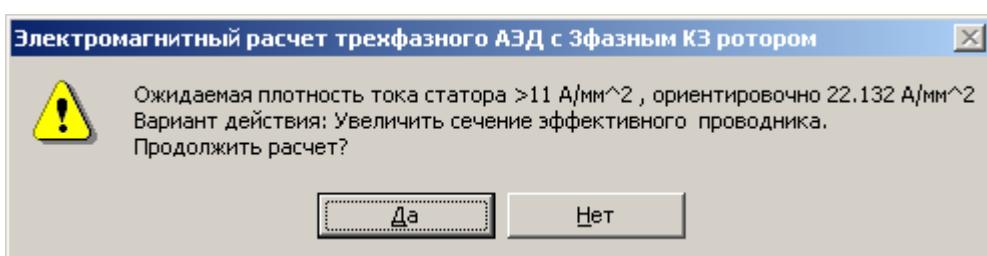
8. Диалог с системой.

Программа «**АЭДЗ_ЭМ**» является одной из компонент расчетной подсистемы, которая в свою очередь является подсистемой интегрированной интеллектуальной САПР. В связи с этим, в программу вносятся элементы диалога с пользователем, примеры которых показаны рис. 19.



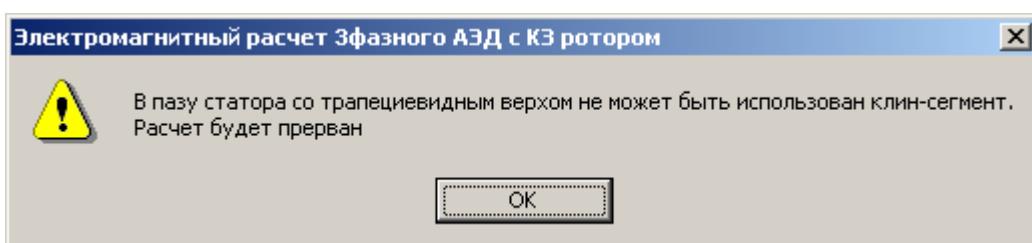
← Рис 19 а.

Заниженное сечение провода обмотки



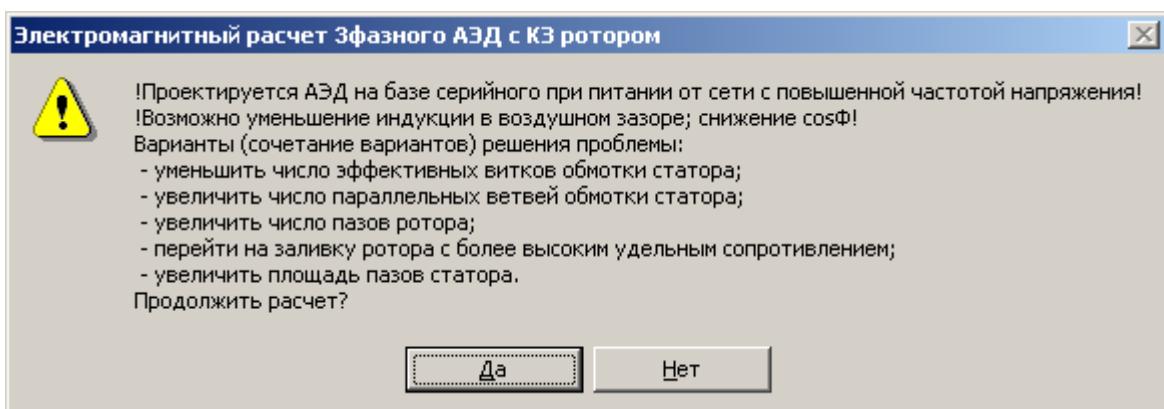
← Рис 19 б.

Последствие занизения сечения провода



↑ Рис 19 с.

Предупреждение при одном из противоречий в задании конструкционных признаков



↑ Рис 19 д.

Пример подсказки, когда один из основных параметров проектируемого АЭД отличен от общепромышленного.

9. Основные входные и выходные данные для методики электромагнитного расчета трехфазных АЭД с КЗ ротором габаритов 45–560 мм.

Входные данные

Таблица 1

| № пп | Идентифи- катор | Ед. изм. | Русское наименование |
|--|--------------------|----------|--|
| <i>Общие характеристики АЭД</i> | | | |
| 1. | FRM_SIZE | мм | Высота оси вращения (увязка по СЭВ) |
| 2. | P2n | Вт | Номинальная мощность АЭД |
| 3. | Un | В | Номинальное фазное напряжение |
| 4. | Freq_S | Гц | Номинальная частота сети |
| 5. | p_pol | — | Число пар полюсов |
| 6. | mS | — | Число фаз обмотки статора |
| 7. | ClassIE\$ | — | Класс энергоэффективности АЭД по IEC 60034-30-1 |
| 8. | Mt_KPD\$ | — | Метод расчета КПД (СЕМЕР или IEC) |
| 9. | tpwS | °C | Рабочая температура обмотки статора |
| 10. | tpwR | °C | Рабочая температура обмотки ротора |
| 11. | KPD_vn | о.е. | Предварительное значение номинального коэффициента полезного действия |
| 12. | cosF_vn | — | Предварительное значение номинального коэффициента мощности |
| 13. | Obr\$ | — | Структура АЭД по отношению к ротору |
| 14. | T_CageR\$ | — | Тип клетки ротора (технология изготовления) |
| 15. | BR\$ | — | Вид клетки ротора |
| 16. | PROTCc\$ | — | Исполнение по степени защиты, ГОСТ17494–87 |
| 17. | COOLING\$ | — | Способ охлаждения, ГОСТ20459–87 |
| 18. | Tvent\$ | — | Устройство вентиляции |
| 19. | TventRd\$ | — | Вид радиальной вентиляции |
| 20. | T_Bear\$ | — | Тип подшипника |
| 21. | ClPrBr\$ | | Класс точности подшипников |
| <i>Условия расчета</i> | | | |
| 22. | KnLmslR\$ | — | Признак использования численного расчета LmslR |
| 23. | Kn_Kr\$ | — | Признак использования численного расчета Kr_h, Kr_d |
| 24. | Typ_Siz\$ | — | Отображение имени или значения свойства для обмоточной записи |
| 25. | Vins_ewS\$ | — | Вид изоляции лобовых частей обмотки статора |
| 26. | Vew_mkS\$ | — | Последовательность укладки обмотки статора |
| 27. | TmahCS\$ | — | Вид обработки сердечника статора |
| 28. | Tin_shS\$ | — | Способ изоляции листов сердечника статора |
| 29. | RingCR\$ | — | Прилегание колец КЗ клетки к сердечнику ротора |
| 30. | Tset_Pfe\$ | — | Способ задания удельных потерь в стали |
| 31. | Tset_GmR\$ | — | Способ задания удельной электрической проводимости материала клетки ротора |
| 32. | T_Pmec\$ | — | Метод определения механических потерь |
| 33. | UsdS2\$ | — | Применение двух разных диаметров провода в обмотке статора |
| 34. | Tdt_LmeS\$ | — | Способ определения лобового рассеяния обмотки статора |

| | | | |
|-----|-------------|-------|--|
| 35. | T_ECalc\$ | — | Признак выполнения экономического расчета |
| 36. | T_HeqCalc\$ | — | Признак выполнения теплового расчета 'по аналогу' |
| 37. | T_PplNol\$ | — | Способ определения добавочных потерь холостого хода |
| 38. | T_DfSteel\$ | — | Признак выполнения магнитопровода АЭД из разных сталей |
| 39. | T_TcLv\$ | — | Признак выполнения расчета технического уровня <i>Материалы</i> |
| 40. | Kmg_bed\$ | — | Материал станины по магнитным свойствам |
| 41. | Kmg_shf\$ | — | Материал вала по магнитным свойствам |
| 42. | Tsteel\$ | — | Марка электротехнической стали |
| 43. | TsteelR\$ | — | Марка стали магнитопровода ротора при выполнении магнитопровода АЭД из разных сталей |
| 44. | Pfe1_50i | Вт/кг | Удельные потери в стали при B=1Тл, f=50 Гц, ИД |
| 45. | GmBartpi | См/м | Удельная электрическая проводимость (верхнего) стержня КЗ ротора при рабочей температуре, ИД |
| 46. | GmBWdtpi | См/м | Удельная электрическая проводимость стержня сварной НК КЗ ротора при рабочей температуре, ИД |
| 47. | GmRngtpi | См/м | Удельная электрическая проводимость (верхнего) кольца КЗ ротора при рабочей температуре, ИД |
| 48. | GmRWdtpi | См/м | Удельная электрическая проводимость кольца сварной НК ротора при рабочей температуре, ИД |
| 49. | TmtwS\$ | — | Материал проволоки обмотки статора |
| 50. | Tm_bar\$ | — | Материал стержней КЗ ротора (для двойной сварной клетки – верх) |
| 51. | Tm_barWd\$ | — | Материал стержней нижней сварной клетки КЗ ротора |
| 52. | Tm_ring\$ | — | Материал колец КЗ ротора (для двойной сварной клетки – верх) |
| 53. | Tm_rngWd\$ | — | Материал колец нижней сварной клетки КЗ ротора |
| 54. | COS\$ | — | Вид обмоточного провода статора |
| 55. | Twi_rndS\$ | — | Тип круглого провода обмотки статора |
| 56. | Twi_rctS\$ | — | Тип прямоугольного провода обмотки статора |
| 57. | ToilBr\$ | — | Тип смазки подшипников |
| | | | <i>Конфигурации паза статора</i> |
| 58. | KOS\$ | — | Вид верха паза статора (клиновая часть) |
| 59. | TO\$ | — | Форма паза статора |
| 60. | TOSp\$ | — | Признак параллельности стенок паза статора |
| 61. | alfpS\$ | — | Степень открытия паза статора |
| 62. | VklS\$ | — | Вид клина для паза статора |
| | | | <i>Конфигурации паза ротора:</i> |
| 63. | KOR\$ | — | Вид верха паза ротора, клетка простая или верх двойной клетки |
| 64. | KORd\$ | — | Вид верха (клиновой части) нижнего паза двойной клетки ротора |
| 65. | TOR\$ | — | Форма паза ротора, клетка простая или верх двойной клетки |
| 66. | alfpR\$ | — | Степень открытия паза ротора |
| 67. | TORd\$ | — | Форма нижнего паза двойной клетки ротора |
| | | | <i>Геометрия сердечника статора, часть 1</i> |
| 68. | DaS | мм | Внешний диаметр сердечника статора (внутренний диаметр для АЭД с внешним ротором) |
| 69. | Lwk | мм | Расчетная активная длина АЭД |

| | | | |
|------|----------|------|---|
| 70. | LS | мм | Конструктивная длина сердечника статора |
| 71. | LS_stl | мм | Суммарная длина пакетов электротехнической стали статора |
| 72. | DiS | мм | Внутренний диаметр сердечника статора (внешний для АЭД с внешним ротором) |
| 73. | ZS | — | Число зубцов статора |
| 74. | hzS | мм | Высота паза статора |
| 75. | hcS | мм | Высота шлица паза статора |
| 76. | BcS | мм | Ширина шлица паза статора |
| 77. | alfklS | град | Угол наклона клиновой части паза статора |
| 78. | alfklSp | град | '2-й' угол наклона клиновой части паза статора |
| 79. | BklS | мм | Ширина или диаметр верха паза статора |
| 80. | BgS | мм | Ширина или диаметр дна паза статора |
| 81. | RgS | мм | Радиус закругления (углов) дна паза статора |
| 82. | hmS | мм | Высота мостики паза статора |
| 83. | Rpkls | мм | Радиус скругления верха паза статора (вид прямой-скругленный) |
| | | | Геометрия сердечника статора, часть 2 |
| 84. | NfS | шт. | Число канавок для крепления пакета статора |
| 85. | hfS | мм | Глубина канавки в ярме статора |
| 86. | BfS | мм | Ширина канавки в ярме статора |
| 87. | KstSt | — | Коэффициент заполнения сталью пакета статора |
| 88. | TrgS | мм | Уменьшение ширины паза статора в свету |
| 89. | McSax | — | Число рядов осевых вентиляционных каналов статора |
| 90. | NSax | — | Число осевых вентиляционных каналов статора в одном ряду |
| 91. | DcSax | мм | Диаметр круглого осевого канала статора |
| 92. | NcSrad | — | Число радиальных вентиляционных каналов сердечника статора |
| 93. | BcSrad | мм | Ширина радиальных вентиляционных каналов сердечника статора |
| 94. | DelW | мм | Рабочий воздушный зазор |
| | | | Геометрия сердечника ротора |
| 95. | DiR | мм | Внутренний диаметр сердечника ротора (внешний для АЭД с внешним ротором) |
| 96. | ZR | — | Число зубцов ротора |
| 97. | Bt_skewS | — | Скос пазов ротора волях зубцового деления статора |
| 98. | hzR | мм | Высота паза ротора (верхней части двойной клетки) |
| 99. | hzRcu | мм | Высота (верхнего) стержня клетки ротора |
| 100. | hzRcuFi | мм | Высота (верхнего) стержня сварной клетки до расчеканки, ИД |
| 101. | hmR | мм | Высота мостики паза ротора |
| 102. | hcR | мм | Высота шлица паза ротора |
| 103. | BcR | мм | Ширина шлица паза ротора |
| 104. | BcRcu | мм | Ширина шлицевой части стержня ротора |
| 105. | alfklR | град | Угол наклона клиновой части паза ротора |
| 106. | alfklRp | град | '2-й' угол наклона клиновой части паза ротора |
| 107. | BklR | мм | Ширина или диаметр верха паза ротора |
| 108. | BgR | мм | Ширина или диаметр дна паза ротора |
| 109. | BgRcu | мм | Ширина низа (верхнего) стержня клетки ротора |
| 110. | RgR | мм | Радиус закругления (углов) дна паза ротора |
| 111. | RgRCu | мм | Радиус закругления углов прямоугольного стержня простой |

| | | | |
|------|-----------|------------|---|
| | | | сварной клетки ротора |
| 112. | McRax | — | Число рядов осевых вентиляционных каналов ротора |
| 113. | NRax | — | Число осевых вентиляционных каналов ротора в одном ряду |
| 114. | DcRax | мм | Диаметр круглого осевого канала ротора |
| 115. | NcRrad | — | Число радиальных вентиляционных каналов сердечника ротора |
| 116. | BcRrad | мм | Ширина радиальных вентиляционных каналов сердечника ротора |
| 117. | KstRt | — | Коэффициент заполнения сталью пакета ротора |
| 118. | LR | мм | Конструктивная длина сердечника ротора |
| 119. | LR_stl | мм | Суммарная длина пакетов электротехнической стали ротора |
| 120. | TtcgaR | мм | Технологический зазор у дна паза ротора, клетка сварная |
| 121. | TtckaR | мм | Технологический зазор у верха паза ротора, клетка сварная |
| | | | Геометрия нижней клетки ротора |
| 122. | hzRd | мм | Высота нижнего паза двойной клетки ротора |
| 123. | hzRdcu | мм | Высота нижнего стержня двойной клетки ротора |
| 124. | hcRd | мм | Высота шлица нижнего паза двойной клетки ротора |
| 125. | BcRd | мм | Ширина шлица нижнего паза двойной клетки ротора |
| 126. | alfklRd | град | Угол наклона клиновой части нижнего паза двойной клетки ротора |
| 127. | BklRd | мм | Ширина или диаметр верха НК КЗ ротора |
| 128. | BgRd | мм | Ширина или диаметр дна нижнего паза двойной клетки ротора |
| 129. | BgRdcu | мм | Ширина низа нижнего стержня двойной клетки ротора |
| 130. | RgRd | мм | Радиус закругления (углов) дна нижнего паза двойной клетки ротора |
| | | | Обмотка статора |
| 131. | TwndS3\$ | — | Тип трехфазной обмотки статора |
| 132. | NqS | — | Число фазных зон обмотки статора на пару полюсов |
| 133. | YS | зубц. дел. | Средний геометрический шаг обмотки статора |
| 134. | YeS | зубц. дел. | Средний электрический шаг обмотки статора |
| 135. | aSt | — | Число параллельных ветвей обмотки статора |
| 136. | dcuSi | мм | Диаметр голого провода, ИД |
| 137. | dcu_iSi | мм | Диаметр изолированного провода, ИД |
| 138. | dcuSip | мм | Диаметр дополнительного голого провода, ИД |
| 139. | dcu_iSip | мм | Диаметр дополнительного изолированного провода, ИД |
| 140. | hcuSi | мм | Высота голого прямоугольного провода обмотки статора, ИД |
| 141. | hcu_iSi | мм | Высота изолированного прямоугольного провода обмотки статора, ИД |
| 142. | bcuSi | мм | Ширина голого прямоугольного провода обмотки статора, ИД |
| 143. | bcu_iSi | мм | Ширина изолированного прямоугольного провода обмотки статора, ИД |
| 144. | Tset_dw\$ | — | Способ задания d (h, b) провода обмотки статора |
| 145. | NpS | шт | Число эффективных проводников в пазу статора |
| 146. | NaS | шт | Число элементарных проводников обмотки статора в одном эффективном |
| 147. | NaSp | шт | Число дополнительных элементарных проводников обмотки статора в одном эффективном |

| | | | |
|------|----------|-------------------------------|---|
| 148. | Lew_exS | мм | Заданная длина лобовой части обмотки статора |
| 149. | Kew_vS\$ | — | Признак расчета длины лобовой части обмотки статора |
| | | | <i>Пазовая изоляция</i> |
| 150. | TinsS | мм | Односторонняя толщина основной пазовой изоляции статора |
| 151. | TtckS | мм | Толщина прокладки под клин паза статора |
| 152. | TtcmS | мм | Толщина прокладки между слоями обмотки паза статора |
| 153. | TtcgS | мм | Толщина прокладки у дна паза статора |
| 154. | TinspS | мм | Односторонняя толщина дополнительной пазовой изоляции статора |
| 155. | TklS | мм | Толщина клина паза статора |
| 156. | TtklS | мм | Отрезок от шлица статора до верхней кромки изолированной меди |
| | | | <i>Кольцо и лопатки К3 ротора</i> |
| 157. | Qring | мм ² | Сечение (верхнего) кольца К3 ротора |
| 158. | QWdring | мм ² | Сечение кольца нижней сварной клетки ротора |
| 159. | hring | мм | Расчетный радиальный размер (верхнего) кольца ротора |
| 160. | DWhring | мм | Средний диаметр кольца сварной ВК ротора |
| 161. | hWdring | мм | Расчетный радиальный размер кольца сварной НК ротора |
| 162. | DWdring | мм | Средний диаметр кольца сварной НК ротора |
| 163. | Lring | мм | Длина кольца (верхней) клетки ротора |
| 164. | LDring | мм | Расстояние между кольцами ВК и сердечником ротора |
| 165. | LDWdring | мм | Расстояние между кольцами НК и сердечником ротора |
| 166. | N_Rblade | — | Число лопаток К3 клетки ротора |
| 167. | L_Rblade | мм | Общая длина кольца и лопатки К3 клетки ротора |
| 168. | B_Rblade | мм | Толщина конца лопатки К3 клетки ротора |
| | | | <i>Разные расчетные параметры</i> |
| 169. | KPplw | — | Коэффициент добавочных потерь при нагрузке |
| 170. | Kadb | A*c/(мм ² *°K) | Коэффициент адиабаты |
| 171. | Dfan | мм | Наружный диаметр вентилятора |
| 172. | N1fa | шт | Количество лопаток наружного вентилятора |
| 173. | Kv_Rd_n | — | Технологический коэффициент при радиальной вентиляции; радиальные каналы есть |
| 174. | S_C | — | Расчетное скольжение (для пускового режима) |
| 175. | Do_bear | мм | Средний диаметр подшипника |
| 176. | KtcGbr | — | Технологический коэффициент заливки (для стержня ротора) |
| 177. | KtcGrng | — | Технологический коэффициент заливки (для кольца ротора) |
| 178. | KPDn_an | % | Коэффициент полезного действия аналога |
| 179. | cosFn_an | — | Номинальный коэффициент мощности аналога |
| | | | <i>Параметры длястыковки с численным моделированием</i> |
| 180. | Knum_gpS | — | Поправочный коэффициент для коэффициента В3 статора из численного расчета |
| 181. | Knum_gpR | — | Поправочный коэффициент для коэффициента В3 ротора из численного расчета |
| 182. | LmsRb_n | — | Проводимость мостика ротора из численного расчета |
| 183. | LmsRnb_n | — | Проводимость пазового рассеяния ротора без мостика из численного расчета |
| 184. | Knum_gpS | — | Поправочный коэффициент для коэффициента В3 статора из численного расчета |
| 185. | Kr_hn | — | Коэффициент вытеснения тока для простой клетки или ВК |

| | | | | | | |
|------|-------------|----------|--|--|--|--|
| | | | из численного расчета | | | |
| | | | <i>Тепловой расчет по аналогу</i> | | | |
| 186. | FRM_SIZE_an | мм | Высота вращения аналога | | | |
| 187. | Lwk_an | мм | Расчетная активная длина аналога | | | |
| 188. | PcuS_w_an | Вт | Потери в обмотке статора аналога при нагрузке | | | |
| 189. | PcuR_w_an | Вт | Потери в обмотке ротора аналога при нагрузке | | | |
| 190. | Pfe_an | Вт | Суммарные потери в сердечнике статора аналога на холостом ходу | | | |
| 191. | TTStcuA_an | град | Среднее превышение температуры обмотки статора аналога | | | |
| 192. | Tsteel_an\$ | — | Марка стали аналога | | | |
| 193. | Dfan_an | мм | Наружный диаметр вентилятора аналога | | | |
| 194. | DaS_an | мм | Внешний диаметр сердечника статора аналога | | | |
| 195. | DiS_an | мм | Внутренний (для обращенного АЭД внешний) диаметр статора аналога | | | |
| | | | <i>Входные экономические показатели, часть 2</i> | | | |
| 196. | Costs_Cu | нац. ед. | Стоимость 1 кг обмоточного провода статора без НДС | | | |
| 197. | Costs_Al | нац. ед. | Стоимость 1 кг алюминия обмотки ротора, без НДС | | | |
| 198. | Costs_Fe | нац. ед. | Стоимость 1 кг электротехнической стали бес НДС | | | |
| 199. | Kach_Cu | — | Коэффициент, учитывающий реальный расход меди для обмотки статора | | | |
| 200. | Kach_Al | — | Коэффициент, учитывающий реальный расход алюминия обмотки ротора | | | |
| 201. | Kach_Fe | — | Коэффициент, учитывающий реальный расход электротехнической стали | | | |
| 202. | Kat_Cu | — | Коэффициент, учитывающий стоимость пропитки, изоляции и др. | | | |
| 203. | BsOCost | нац. ед. | Себестоимость выпускаемого аналога | | | |
| 204. | Cost_ELR | нац. ед. | Стоимость установленной мощности 1 квар компенсирующих устройств | | | |
| 205. | CostR_DSC | — | Относительные затраты на обслуживание компенсирующих устройств, включая амортизацию | | | |
| 206. | Cost_plT | нац. ед. | Средняя стоимость 1 нормо-часа | | | |
| 207. | Costs_El | нац. ед. | Стоимость 1 кВт часа электроэнергии | | | |
| 208. | CsIDTfan | нац. ед. | Затраты на прессформу для изготовления нового вентилятора | | | |
| 209. | CsIDTfrm | нац. ед. | Затраты на оснастку для изготовления новой станины | | | |
| 210. | CsIDTnfc | нац. ед. | Затраты на изготовление новой оснастки для заливки ротора | | | |
| 211. | CsIDTsh | нац. ед. | Затраты на оснастку для изготовления новых щитов | | | |
| 212. | CsIDTstmp | нац. ед. | Затраты на изготовление нового штампа | | | |
| 213. | CsIDTwnd | нац. ед. | Затраты на новую оснастку для обмотки и пазоизолировки | | | |
| 214. | CsIDTToth | нац. ед. | Затраты на прочую оснастку | | | |
| 215. | Cs_RscDT | нац. ед. | Затраты на научные исследования при внедрении нового типоразмера (взгляд разработчика) | | | |
| 216. | EKnicc | — | Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений 1/Tspp | | | |
| 217. | K_eldCst | — | Относительная стоимость затрат эл. энергии на производство АЭД волях от стоимости материалов | | | |
| | | | <i>Технический уровень, входные данные</i> | | | |
| 218. | KMmax_an | — | Отношение максимального врачающего момента к номинальному у аналога | | | |
| 219. | KMstart_an | — | Отношение начального пускового момента к номинально- | | | |

| | | | |
|------|------------|-----------------|--|
| | | | му у аналога |
| 220. | Kisk_an | – | Отношение начального пускового тока статора к номинальному у аналога |
| 221. | V_act_an | дм ³ | Объем активного ядра ЭМ аналога |
| 222. | P2toMa_an | кВт/кг | Отношение активной мощности к массе активных частей у аналога |
| 223. | CostR_A_an | – | Относительная (к 1 кг меди) стоимость активных материалов аналога |
| 224. | HPF | – | Коэффициент допустимого повышения мощности |
| 225. | HPF_an | – | Коэффициент допустимого повышения мощности аналога |
| 226. | LpA | дБ(А) | Средний уровень звукового давления (А) |
| 227. | LpA_an | дБ(А) | Средний уровень звукового давления (А) у аналога |
| 228. | VibrE | мм/с | Среднеквадратичная виброскорость |
| 229. | VibrE_an | мм/с | Среднеквадратичная виброскорость аналога |
| 230. | V_tWnSk_an | | Скорость нарастания температуры обмотки статора аналога при заторможенном роторе |
| 231. | KS2k_an | – | Кратность начальной пусковой мощности аналога |
| 232. | K_kpd | – | Коэффициент значимости КПД в техническом уровне |
| 233. | K_cosF | – | Коэффициент значимости cosF в техническом уровне |
| 234. | K_KMmax | – | Коэффициент значимости KMmax в техническом уровне |
| 235. | K_KMstart | – | Коэффициент значимости KMstart в техническом уровне |
| 236. | K_Kisk | – | Коэффициент значимости Kisk в техническом уровне |
| 237. | K_Vact | – | Коэффициент значимости V_act в техническом уровне |
| 238. | K_PtoM_a | – | Коэффициент значимости P2toMact в техническом уровне |
| 239. | K_CRAct | – | Коэффициент значимости CostR_Act для технического уровня |
| 240. | K_HPF | – | Коэффициент значимости HPF для технического уровня |
| 241. | K_LpA | – | Коэффициент значимости LpA в техническом уровне |
| 242. | K_VibrE | – | Коэффициент значимости VibrE для технического уровня |
| 243. | K_Vkt | – | Коэффициент значимости Vkt в техническом уровне |

Примечания к табл. 1, 2.

1. Средний электрический шаг **YeS** – тот шаг, который фигурирует в формуле расчета относительного шага обмотки статора **betS**, т.е. **betS = YeS/(mS*qSt)**, где **qSt** – число пазов статора на полюс и фазу.

2. Средний геометрический шаг **YS** фигурирует в формулах определения длины лобовой части обмотки статора. Для двухслойных обмоток эти шаги равны, при однослойных обмотках электрический шаг равен диаметральному.

Если однослойная обмотка выполняется обмотка в "развалку", то средний геометрический шаг при четном числе **qSt** равен: **YS=2.5* qSt**.

При нечетном **qSt**: **YS=2.5* qSt + 0.5*(1/ qSt)**.

3. В настоящей версии программы принимается, что для конструктивного исполнения "сварная клетка":

➤ лопатки могут быть только в простой летке либо в верхней клетке двойной клетки.

5. При задании параметра: "Толщина прокладки между слоями обмотки паза статора $TtcmS$ " задается собственно толщина прокладки $TtcmS$ без учета дополнительной изоляции $TinspS$, которая может изолировать полукатушку.

6. Для ряда свойств сделана оговорка "Из ЭМ расчета" (из электромагнитного расчета). Это означает, что в конструкторской документации данный параметр, например, высота паза статора hzS измеряется иначе. В контексте интегрированной САПР мы оперируем двумя свойствами. В расчетной подсистеме высотой паза из ЭМ расчета hzS , в конструкторской подсистеме – высотой раза конструкторской $hpS \neq hzS$.

7. Если оговорка "Из ЭМ расчета" сделана для ряда основных входных свойств, это означает, что в САПР существуют близкие, но не тождественные свойства. Например: КПД, получаемый из электромагнитного расчета и КПД, задаваемый в технических условиях.

8. Программа упрощенно [1] рассчитывает важный эксплуатационный параметр "Скорость нарастания температуры обмотки статора при заторможенном роторе" (V_tWnSk). Для расчета названного параметра требуется задавать коэффициент адиабаты $Kadb$. Многолетняя практика расчетов ОАО НИПТИЭМ показывает, что принимая $Kadb=200$ ($A^2 \cdot с/мм^4 \cdot ^\circ C$) мы получаем скорость нарастания температуры V_tWnSk , близкую к экспериментальной (несколько завышенную). Если сравнение результатов расчета и эксперимента по конкретному АЭД дает заниженное расчетное значение параметра V_tWnSk , величину $Kadb$ следует уменьшить, и наоборот.

Основные результаты расчета.

Таблица 2.

| № пп | Идентифи- катор | Ед. изм. | Наименование |
|--|--------------------|-------------------|--|
| Основные электромеханические показатели | | | |
| 1. | KPDn | о.е. | Номинальный КПД по СЕМЕР |
| 2. | KPDnIEC | о.е. | КПД по IEC |
| 3. | cosFn | – | Номинальный коэффициент мощности |
| 4. | ISn | А | Номинальный фазный ток статора |
| 5. | Jisn | А/мм ² | Плотность номинального тока статора |
| 6. | IRn | А | Номинальный (приведенный) ток обмотки ротора |
| 7. | Jbrn | А/мм ² | Плотность номинального тока в стержне ротора |
| 8. | Jringn | А/мм ² | Плотность номинального тока в кольце КЗ клетки ротора |
| 9. | Sn | – | Номинальное скольжение |
| 10. | n_n | об/мин | Номинальная частота вращения |
| 11. | Mn | Н*м | Номинальный момент |
| 12. | KMstart | – | Отношение начального пускового врачающего момента к номинальному |
| 13. | KMmax | – | Отношение максимального врачающего момента к номинальному |
| 14. | Sm | – | Критическое (максимальное) скольжение |
| 15. | Kisk | – | Отношение начального пускового тока статора к номиналь- |

| | | | |
|-----|-------------|--------|--|
| | | | ному |
| 16. | Enol | В | ЭДС холостого хода |
| 17. | EnS | В | ЭДС обмотки статора в номинальном режиме |
| 18. | KP2k | – | Кратность начальной пусковой мощности |
| 19. | V_tWnSk | Град/с | Скорость нарастания температуры обмотки статора при заторможенном роторе |
| 20. | Kr_h | – | Коэффициент вытеснения тока для стержня простой клетки или ВК |
| 21. | Kr_d | – | Коэффициент вытеснения тока для стержня НК |
| | | | <i>Расчетные индукции</i> |
| 22. | Inol | А | Ток холостого хода |
| 23. | Ksat | – | Коэффициент насыщения магнитной цепи |
| 24. | Ksat0 | – | Коэффициент насыщения магнитной цепи для режима холостого хода |
| 25. | Ksat_Z | – | Коэффициент насыщения зубцовой зоны |
| 26. | Ksat_jS | – | Коэффициент насыщения ярма статора |
| 27. | Bin_gp | Тл | Индукция в воздушном зазоре (амплитуда основной волны) |
| 28. | Bin_zkS | Тл | Фактическая индукция у верха зубца статора |
| 29. | Bin_zgS | Тл | Фактическая индукция у корня зубца статора |
| 30. | Bin_zS | Тл | Фактическая индукция для средней ширины зубца статора |
| 31. | Bin_zkR | Тл | Фактическая индукция у верха зубца ротора |
| 32. | Bin_zgR | Тл | Фактическая индукция у корня зубца ротора |
| 33. | Bin_zR | Тл | Фактическая индукция для средней ширины зубца ротора |
| 34. | Bin_bzR | Тл | Фактическая индукция расчетной ширины зубца ротора (круглый паз) |
| 35. | Bin_zkRd | Тл | Фактическая индукция верха зубца НК ротора |
| 36. | Bin_zgRd | Тл | Фактическая индукция у корня зубца НК ротора |
| 37. | Bin_zRd | Тл | Фактическая индукция для средней ширины зубца НК ротора |
| 38. | Bin_bzRd | Тл | Фактическая индукция расчетной ширины зубца НК ротора (круглый паз) |
| 39. | Bin_jS1 | Тл | Фактическая индукция 1-го участка ярма статора |
| 40. | Bin_jfS | Тл | Фактическая индукция в ярме статора под канавкой |
| 41. | Bin_jR | Тл | Фактическая индукция в ярме ротора |
| | | | <i>Потери и сопротивления</i> |
| 42. | PcuS_w | Вт | Потери в обмотке статора при нагрузке |
| 43. | PcuR_w | Вт | Потери в обмотке ротора при нагрузке |
| 44. | Pfe0 | Вт | Суммарные потери в сердечнике статора на холостом ходу |
| 45. | Pfe_w | Вт | Суммарные потери в сердечнике статора в номинальном режиме |
| 46. | PzSmaint | Вт | Основные магнитные потери в зубцах статора |
| 47. | Pfe0plus | Вт | Добавочные потери в стали статора на холостом ходу |
| 48. | Pmec0 | Вт | Механические потери АЭД на холостом ходу |
| 49. | Pfan | Вт | Вентиляционные потери |
| 50. | Pbear | Вт | Потери в подшипниках |
| 51. | Pnol | Вт | Мощность холостого хода |
| 52. | Pheat_an | Вт | Общие греющие потери аналога |
| 53. | Pheat | Вт | Общие греющие потери |
| 54. | TTStcuAv_eq | град | Среднее превышение температуры обмотки статора из теплового расчета по аналогу |
| 55. | K_TTsteel | – | Коэффициент, учитывающий влияние марки стали на перегрев обмотки |

| | | | |
|-----|-----------|-----------------|---|
| 56. | K_TDfan | — | Коэффициент, учитывающий влияние Dfan аналога на перегрев обмотки |
| 57. | K_TDaS | — | Коэффициент, учитывающий влияние DaS аналога на перегрев обмотки |
| 58. | RS_20 | Ом | Активное сопротивление фазы обмотки статора при 20°C |
| 59. | RS_tp | Ом | Активное сопротивление фазы обмотки статора при рабочей температуре |
| 60. | RRp_tp | Ом | Приведенное активное сопротивление обмотки ротора при рабочей температуре |
| 61. | XS | Ом | Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора |
| 62. | XR_p | Ом | Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора |
| 63. | RRpv_tp | Ом | Приведенное активное сопротивление ротора при пуске |
| 64. | Rvk_tp | Ом | Активное сопротивление КЗ, режим КЗ |
| 65. | Xvk | Ом | Индуктивное сопротивление КЗ, режим КЗ |
| | | | Геометрия штампов, обмоточные данные, массы |
| 66. | BzkS | мм | Ширина верха зубца статора |
| 67. | BzgS | мм | Ширина корня зубца статора |
| 68. | BzklR | мм | Ширина верха зубца ротора |
| 69. | BzgR | мм | Ширина корня зубца ротора |
| 70. | BzklRd | мм | Ширина верха зубца нижней части двойной клетки ротора |
| 71. | BzgRd | мм | Ширина корня зубца нижней части двойной клетки ротора |
| 72. | hjS | мм | Высота ярма статора |
| 73. | hjR | мм | Высота ярма ротора |
| 74. | QS | мм ² | Площадь паза статора |
| 75. | QinsS | мм ² | Площадь паза статора в свету |
| 76. | QR | мм ² | Площадь паза ротора (клетка простая) или верха паза двойной клетки |
| 77. | QRbar | мм ² | Площадь (верхнего) стержня клетки ротора |
| 78. | QRd | мм ² | Площадь нижнего паза двойной клетки ротора |
| 79. | QRbard | мм ² | Площадь нижнего стержня двойной клетки ротора |
| 80. | Lw1S | мм | Средняя длина витка обмотки статора |
| 81. | WS | шт. | Число последовательных витков фазы обмотки статора |
| 82. | KslS | — | Коэффициент заполнения паза статора |
| 83. | Kwnd1S | — | Обмоточный коэффициент первой гармоники обмотки статора |
| 84. | MwS | кг | Масса меди обмотки статора |
| 85. | Mcage | кг | Масса КЗ клетки (обмотки) ротора |
| 86. | MfeR | кг | Масса магнитопровода ротора |
| 87. | MfeS | кг | Масса магнитопровода статора |
| 88. | Mfe_pr | кг | Чистая заготовительная масса электротехнической стали для сердечников АЭД |
| 89. | Mact | кг | Масса активных частей АЭД |
| | | | Выходные экономические параметры, часть 1 |
| 90. | V_act | дм ³ | Объем активного ядра ЭМ: 'Lwk*DaS^2' |
| 91. | CostRs_Cu | о.е. | Относительная стоимость 1 кг обмоточного провода статора |
| 92. | CostRs_Al | о.е. | Относительная стоимость 1 кг алюминиевой обмотки ротора |
| 93. | CostRs_Fe | о.е. | Относительная стоимость 1 кг электротехнической стали |
| 94. | CostR_Cu | о.е. | Относительная стоимость обмоточного провода статора |
| 95. | CostR_Al | о.е. | Относительная стоимость алюминиевой обмотки ротора |
| 96. | CostR_Fe | о.е. | Относительная стоимость заготовительной электротехнической стали |

| | | | |
|------|------------|----------|---|
| 97. | CostR_Act | о.е. | Относительная (к Cu) стоимость активных материалов АЭД |
| 98. | Cost_Cu | руб | Стоимость обмоточного провода статора без НДС |
| 99. | Cost_Al | руб | Стоимость алюминия обмотки ротора без НДС |
| 100. | Cost_Fe | руб | Стоимость заготовительной электротехнической стали без НДС |
| 101. | Cost_Act | руб | Стоимость активных материалов АЭД без НДС |
| 102. | P2toMa | кВт/кг | Отношение активной мощности к массе активных частей |
| 103. | BsCost | нац. ед. | Себестоимость нового АЭД |
| 104. | BsCostR | о.е. | Себестоимость нового АЭД |
| 105. | Cost_PM | нац. ед. | Стоимость нового АЭД с учетом монтажа без НДС |
| 106. | Cost_PMan | нац. ед. | Стоимость аналога с учетом монтажа без НДС |
| 107. | CostR_PM | о.е. | Стоимость нового АЭД, учитывающая затраты на монтаж |
| 108. | CostR_PMan | о.е. | Относительная (к Cu) стоимость аналога с учетом монтажа |
| 109. | Cost_Mat | нац. ед. | Полная стоимость материалов проектируемого АЭД |
| 110. | CostR_Mat | о.е. | Относительная (к Cu) стоимость материалов проектируемого АЭД |
| 111. | Cost_Lb | нац. ед. | Полные трудозатраты на производство нового АЭД |
| 112. | CostR_Lb | о.е. | Полные трудозатраты, отнесенные к стоимости 1 кг обмоточной меди |
| 113. | CsLCAC_st | нац. ед. | Затраты на компенсацию реактивной энергии у потребителя за ЖЦ АЭД |
| 114. | CsLCAC_An | нац. ед. | Затраты на компенсацию реактивной энергии за ЖЦ аналога |
| 115. | CsLCAE_An | нац. ед. | Стоимость эл. энергии потребляемой аналогом за ЖЦ |
| | | | Технический уровень, выходные данные |
| 116. | TcLv1 | – | Технический уровень проектируемого АЭД, вариант 1 |
| 117. | Ksm_TcL | – | Сумма коэффициентов значимости технического уровня |
| 118. | Ksmn_TcL | – | Нормализованная сумма коэффициентов технического уровня |

Литература

1. Унифицированная серия асинхронных двигателей Итерэлектро /В.И.Радин, Й Лондин, В.Д.Розенкоп и др./ Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990, 416 с.
2. Сорокер Т.Г. Многофазный асинхронный двигатель. Многофазный асинхронный преобразователь частоты. Поверочный расчет. //Труды НИИЭМ, 1959, т.3, Вып. 1. с.112.
3. А.С. Кобелев Развитие расчетной подсистемы интеллектуальной САПР АЭД //Труды XI Международной конференции "Электромеханика, электротехнологии и электротехнические материалы и компоненты" (ICEEE-2006). Часть 1. Крым, Алушта, 2006. С. 251 – 253.
4. Кобелев А.С. Организация расчетной подсистемы САПР АД на базе системы экспертного программирования SprutExpro // Известия вузов. Электромеханика. 2002. № 5. С. 16–21.
5. Нутов В.Х. Исследование индуктивности рассеяния лобовых частей обмотки асинхронного двигателя. Труды ВНИИЭМ, т. 45, 1976.
6. А.В. Захаров, А.С. Кобелев. Развитие программного обеспечения для моделирования статических и динамических режимов работы асинхронных электродвигателей в интеллектуальной САПР АЭД // Электричество. 2007. № 7. С. 46-53.

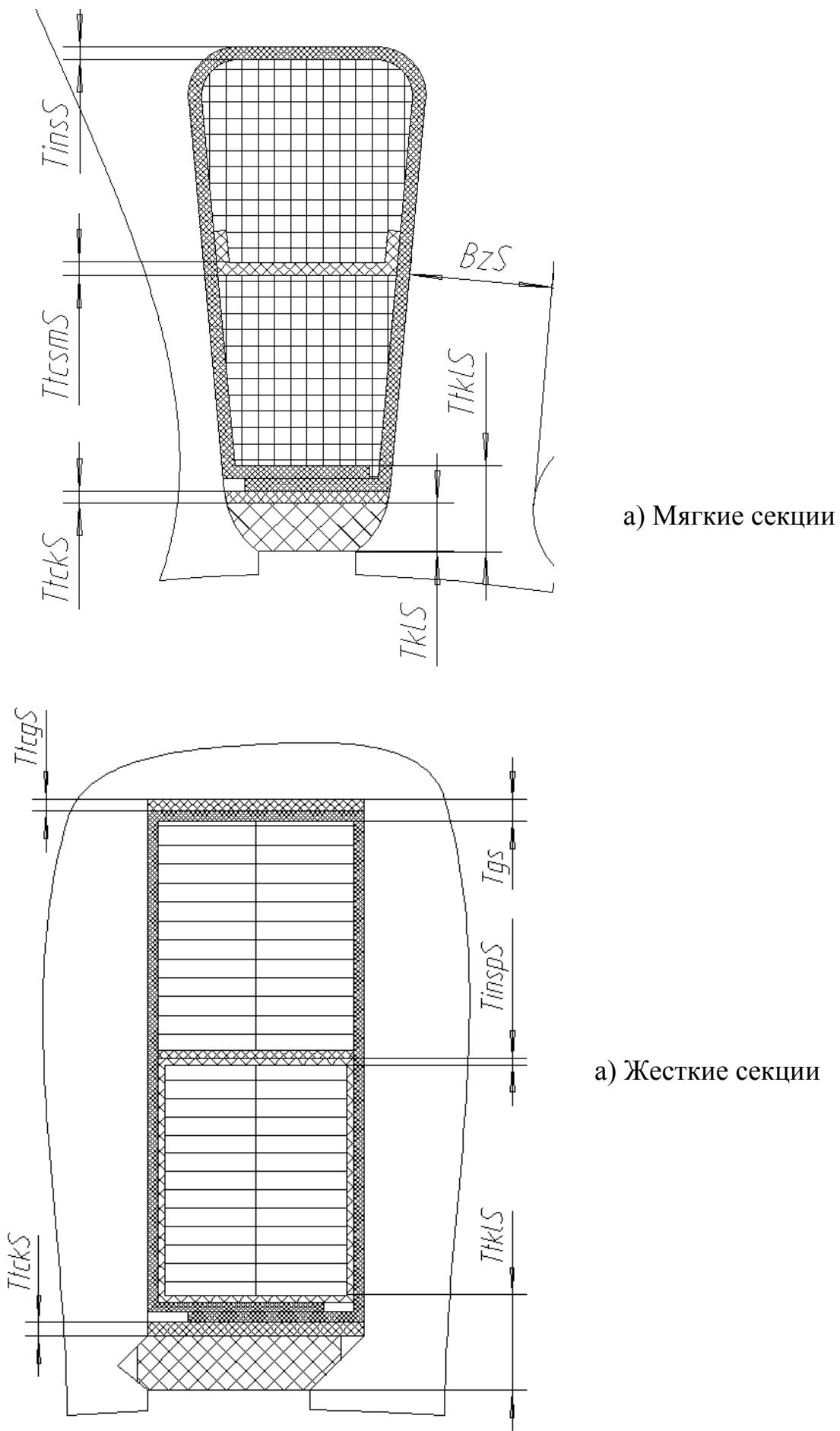
Приложение 1. Перечень значений некоторых строковых свойств, поддерживаемых настоящей версией программы.

Таблица 3.

| № свойства | Имя свойства | Значение свойства |
|------------|--------------------------------------|---|
| 1. | Марка электротехнической стали | 2214; 2212 2013; 2012 2412; 2413 2013a h2215 h2312 h2112 |
| 2. | Материал стержней и колец КЗ ротора | Алюминий A5; A5E A6; A6П A7; A7Е; A7П A8; A8П AK3; AK10 AK12M3 AK9Mц AMг7 AXЖ AK10Mц2 AMг9K AMц2; AMц2Х; AK15Mц2 AMцХ_12; AMцХ_15 AK11; AK12 ADO Медь |
| 3. | Тип прямоуг. провода обмотки статора | ПСД-Л ПСЛД кл. F ПСДК-Л ПСЛДК кл. 200 |
| 4. | Тип круглого провода обмотки статора | ПЭТ-155 (F) ПЭТВ-1 (B) ПЭТВ-2 (B) ПЭТД-180 ПЭТСД ПЭТВСД ПЭТП-200 кл. 200 ПЭТВСД кл. F ПЭТСД кл. H ПСД-Л ПСЛД кл. F ПСДК-Л ПСЛДК кл. 200 |
| 5. | Тип трехфазной обмотки статора | Двухслойная шестизонная Двухслойная трехзонная Односл. концентрич. двухплоскосная Односл. концентр. трехплоск., в т.ч. вразвалку Однослойная шаблонная простая Однослойная шаблонная вразвалку Однослойная шаблонная цепная |

Примечание. В таблице сохранена орфография имен и значений свойств, фигурирующая в программе. Это же замечание относится к значениям свойств при описании пазов по рис_паз. 1 – 4.

Рис. 20. Размеры изоляции паза статора.



Приложение 2. Краткая информация о системе документирования «АЭД_DOX_2016»

К программе электромагнитного расчета подключена подсистема автоматизированной генерации обмоточных записок и формуляров расчетов (рис. 21); сводного документа, удобного для анализа расчетов типоразмеров серии (рис. 22), сводного оптимизационного расчета на 5 бланках рис.23).



Запуск подсистемы осуществляется кнопкой

Подсистема позволяет:

- создавать любые новые и редактировать имеющиеся формы бланков обмоточных записок и формуляров;
- включать в состав одного бланка текст и графические изображения;
- управлять оформлением и выводом на печать документов;
- передавать из расчетной программы в общую таблицу неограниченное число результатов расчета, оформляемых в виде отдельных записей с возможностью их редактирования;
- закреплять за каждой записью основных результатов подробный формуляр полных результатов, оформляемых в виде отдельного банка;
- хранить в общей БД не только числовые результаты расчетов, но и неограниченное количество уникальных эскизов активных частей электрических машин;
- формировать порядок прохождения документа по отделам;
- копировать бланки в формат Excel.

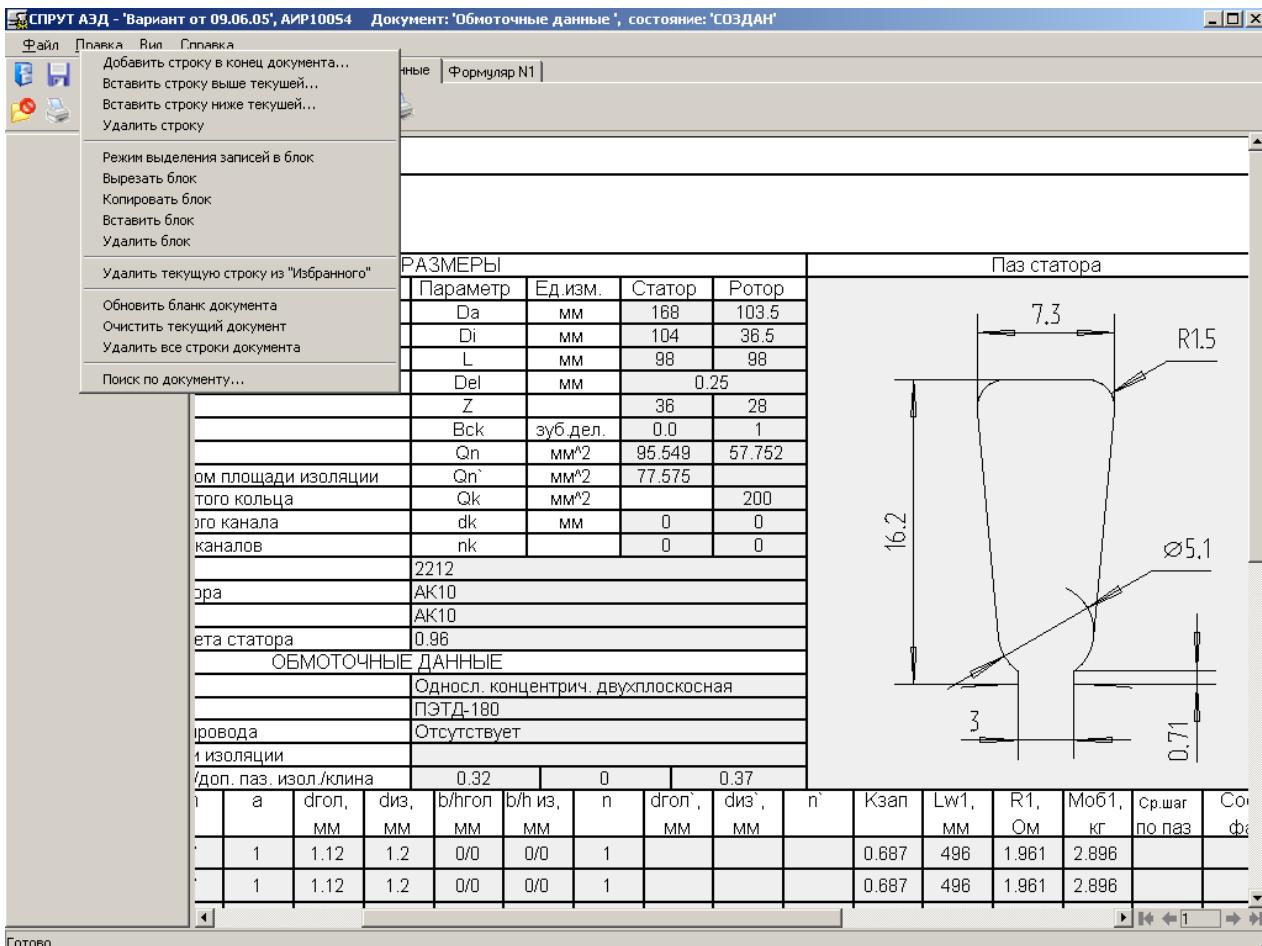


Рис. 21. Пример экранной формы подсистемы «АЭД_DOX_2016» Документ «Обмоточная записка»

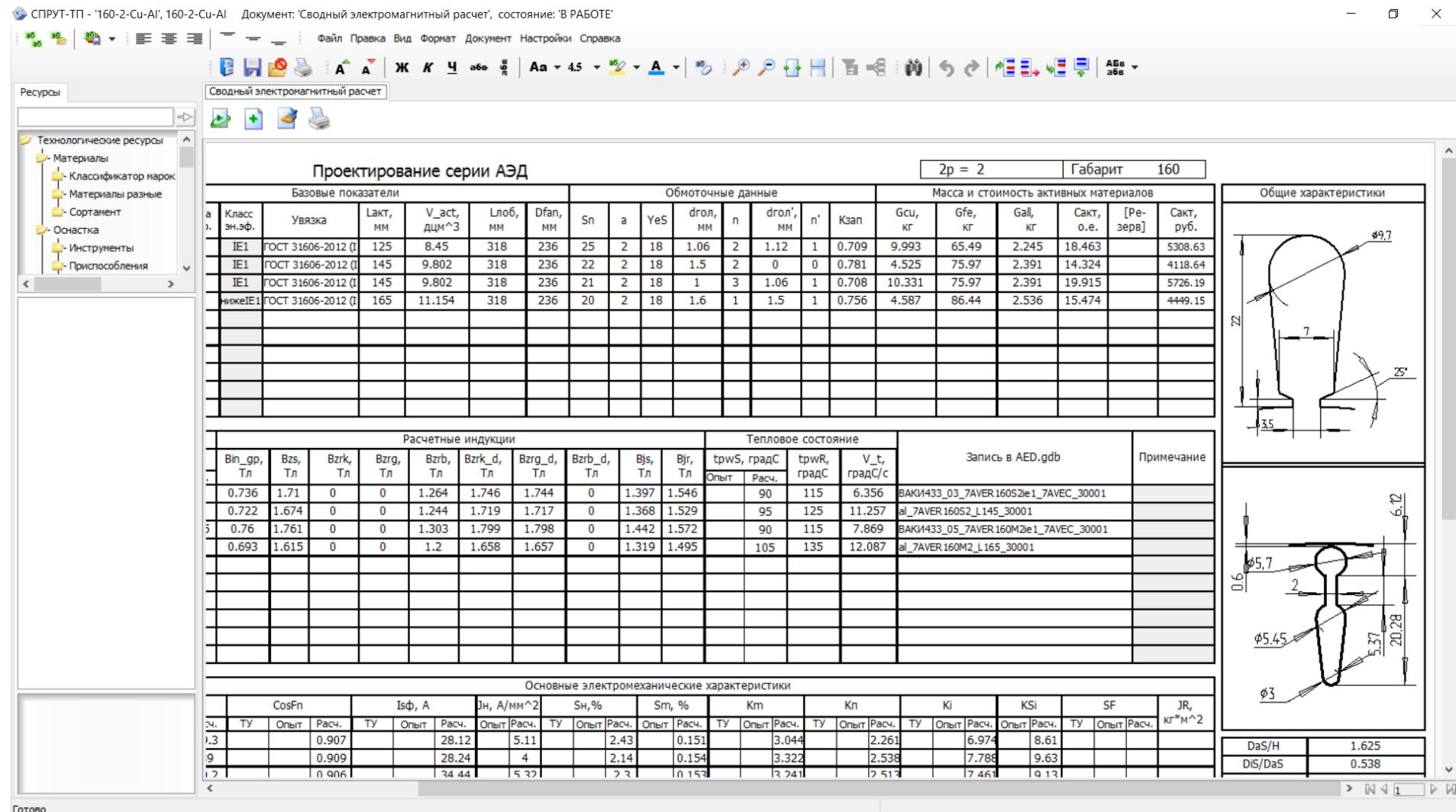


Рис. 22. Пример экранной формы подсистемы «АЭД_DOX_2016» Документ «Проектирование серии АЭД»

СПРУТ-ТП - 'Размер паза_fact', 7AVER180M4ie1_48-40s_opt Документ: 'Таблица базовой оптимизации, часть 4', состояние: 'В РАБОТЕ'

Файл Правка Вид Формат Документ Настройки Справка

Ре Таблица базовой оптимизации Таблица базовой оптимизации часть 2 Таблица базовой оптимизации, часть 3 Таблица базовой оптимизации, часть 4 Эскизы пазов для базовой оптимизации

БАЗОВАЯ ТАБЛИЦА ОПТИМИЗАЦИИ ПОДКЛАССА "СИЛОВОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМЫКАЮЩИМИСЯ ПОЛЮСАМИ"

| № | Типоразмер АЭД | Дополнительн. информация | MwS | Mcage | MfeS | MfeR | Mfe_pr | Mact | JR | Abase | Mn/Ga | P2/Ga | V_act | Carn | Cesn | CarnSt | Cbrkb | Cbrg | Cshn | Crnd | ABd | AJs | Bd/A | Pf/Vd | Ckob | P1/LS | Cshkb | Mn/dPh | DaS_r | DiS_r |
|----|-----------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------------------------------|-------|-------|--------|-----------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | | кг | кг | кг | кг | кг | кг | кг ² н ² | А/см | Нм/кг | кВт/кг | дм ³ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 01 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003 | | 14.85 | 4.71 | 37.5 | 21.71 | 106.3 | 78.77 | 0.156 | 326.9 | 1.814 | 0.279 | 13.72 | 0.306 | 3.272 | 0.94 | 1.079 | 1.317 | 0.77 | 19.89 | 305 | 1523.4 | 28.54 | 0.258 | 6.603 | 204 | 0.935 | 0.096 | 1.739 | 0.63 |
| 02 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_2 | | 14.85 | 4.63 | 37.65 | 21.93 | 106.3 | 79.07 | 0.157 | 325.2 | 1.809 | 0.278 | 13.72 | 0.307 | 3.256 | 0.96 | 1.079 | 1.317 | 0.774 | 19.8 | 303.4 | 1509 | 28.69 | 0.256 | 6.603 | 203 | 0.935 | 0.096 | 1.739 | 0.63 |
| 03 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_3 | | 14.16 | 4.56 | 38.96 | 22.71 | 108.6 | 80.39 | 0.162 | 316.5 | 1.779 | 0.274 | 14.01 | 0.314 | 3.188 | 0.99 | 1.063 | 1.297 | 0.79 | 19.38 | 296.9 | 1509.7 | 29.64 | 0.251 | 6.457 | 198.5 | 0.955 | 0.096 | 1.739 | 0.63 |
| 04 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_4 | | 16.51 | 4.85 | 36.26 | 21.33 | 106.3 | 78.94 | 0.155 | 341.6 | 1.812 | 0.279 | 13.72 | 0.308 | 3.244 | 0.83 | 1.076 | 1.316 | 0.777 | 19.72 | 303.3 | 1496.1 | 26 | 0.255 | 6.603 | 202.8 | 0.935 | 0.097 | 1.739 | 0.63 |
| 05 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_5 | | 16.51 | 4.77 | 36.47 | 21.54 | 106.3 | 79.29 | 0.156 | 339.7 | 1.806 | 0.277 | 13.72 | 0.31 | 3.228 | 0.85 | 1.074 | 1.314 | 0.781 | 19.62 | 301.7 | 1481.1 | 26.14 | 0.254 | 6.603 | 201.7 | 0.935 | 0.097 | 1.739 | 0.63 |
| 06 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_6 | | 16.51 | 4.68 | 36.73 | 21.81 | 106.3 | 79.73 | 0.157 | 339.3 | 1.797 | 0.276 | 13.72 | 0.31 | 3.224 | 0.87 | 1.081 | 1.322 | 0.782 | 19.6 | 301.3 | 1476.1 | 26.17 | 0.254 | 6.596 | 201.4 | 0.935 | 0.096 | 1.739 | 0.63 |
| 07 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_7 | | 19.72 | 5.2 | 38.05 | 22.86 | 116.2 | 85.83 | 0.166 | 330.7 | 1.664 | 0.256 | 14.99 | 0.338 | 2.96 | 0.67 | 0.864 | 1.104 | 0.851 | 17.99 | 275.4 | 1213.5 | 25.19 | 0.233 | 6.088 | 184.1 | 1.022 | 0.11 | 1.739 | 0.63 |
| 08 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_8 | | 19.47 | 5.12 | 38.34 | 23.1 | 116.2 | 86.02 | 0.167 | 328.8 | 1.661 | 0.256 | 14.99 | 0.34 | 2.944 | 0.68 | 0.866 | 1.106 | 0.856 | 17.9 | 273.9 | 1216.4 | 25.34 | 0.232 | 6.082 | 183 | 1.022 | 0.11 | 1.739 | 0.63 |
| 09 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_9 | | 19.02 | 5.04 | 38.57 | 23.31 | 116.2 | 85.93 | 0.168 | 328.7 | 1.664 | 0.256 | 14.99 | 0.34 | 2.941 | 0.7 | 0.882 | 1.12 | 0.857 | 17.88 | 273.8 | 1245.9 | 25.34 | 0.232 | 6.075 | 183 | 1.022 | 0.108 | 1.739 | 0.63 |
| 10 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_10 | | 15.7 | 4.71 | 36.74 | 21.71 | 106.3 | 78.86 | 0.156 | 331.3 | 1.812 | 0.279 | 13.72 | 0.302 | 3.312 | 0.92 | 1.093 | 1.344 | 0.761 | 20.14 | 308.4 | 1480.7 | 28.1 | 0.261 | 6.596 | 206.7 | 0.935 | 0.095 | 1.739 | 0.63 |
| 11 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_11 | | 15.7 | 4.63 | 37.02 | 21.93 | 106.3 | 79.29 | 0.157 | 328.8 | 1.804 | 0.277 | 13.72 | 0.304 | 3.291 | 0.92 | 1.086 | 1.338 | 0.766 | 20 | 306.8 | 1456.6 | 28.38 | 0.259 | 6.596 | 205.2 | 0.935 | 0.096 | 1.739 | 0.63 |
| 12 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_12 | | 15 | 4.56 | 38.32 | 22.71 | 108.6 | 80.59 | 0.162 | 319.8 | 1.775 | 0.273 | 14.01 | 0.311 | 3.22 | 0.95 | 1.067 | 1.314 | 0.782 | 19.57 | 300 | 1455.1 | 29.33 | 0.253 | 6.457 | 200.5 | 0.955 | 0.095 | 1.739 | 0.63 |
| 13 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_13 | | 17.81 | 4.84 | 35.66 | 21.35 | 106.3 | 79.65 | 0.155 | 344.5 | 1.796 | 0.276 | 13.72 | 0.306 | 3.271 | 0.79 | 1.065 | 1.32 | 0.77 | 19.89 | 305.2 | 1412.3 | 25.72 | 0.257 | 6.61 | 204.5 | 0.935 | 0.098 | 1.739 | 0.63 |
| 14 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_14 | | 17.15 | 4.77 | 35.85 | 21.54 | 106.3 | 79.32 | 0.156 | 343.1 | 1.805 | 0.277 | 13.72 | 0.307 | 3.256 | 0.84 | 1.088 | 1.339 | 0.774 | 19.8 | 304.7 | 1454.8 | 25.88 | 0.256 | 6.596 | 203.7 | 0.935 | 0.096 | 1.739 | 0.63 |
| 15 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_15 | | 17.15 | 4.68 | 36.13 | 21.81 | 106.3 | 79.77 | 0.157 | 342.6 | 1.796 | 0.276 | 13.72 | 0.308 | 3.251 | 0.87 | 1.093 | 1.345 | 0.775 | 19.76 | 304.2 | 1449.2 | 25.92 | 0.256 | 6.588 | 203.4 | 0.935 | 0.095 | 1.739 | 0.63 |
| 16 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_16 | | 20.43 | 5.2 | 37.38 | 22.86 | 116.2 | 85.87 | 0.166 | 333.9 | 1.663 | 0.256 | 14.99 | 0.335 | 2.985 | 0.65 | 0.879 | 1.128 | 0.844 | 18.15 | 278.1 | 1195.3 | 24.95 | 0.235 | 6.082 | 185.9 | 1.022 | 0.108 | 1.739 | 0.63 |
| 17 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_17 | | 20.38 | 5.12 | 37.57 | 23.1 | 116.2 | 86.16 | 0.167 | 332.4 | 1.659 | 0.255 | 14.99 | 0.336 | 2.973 | 0.66 | 0.88 | 1.13 | 0.847 | 18.07 | 276.9 | 1186.7 | 25.06 | 0.234 | 6.075 | 185.1 | 1.022 | 0.108 | 1.739 | 0.63 |
| 18 | 8AVER180S4ie1_48-40s_140_50003_18 | | 20.38 | 5.03 | 37.72 | 23.33 | 116.2 | 86.46 | 0.168 | 332 | 1.654 | 0.254 | 14.99 | 0.337 | 2.969 | 0.66 | 0.884 | 1.134 | 0.848 | 18.05 | 276.6 | 1185.3 | 25.09 | 0.234 | 6.069 | 184.8 | 1.022 | 0.108 | 1.739 | 0.63 |

Рис. 23а. Пример экранной формы подсистемы «**АЭД_DOX_2016**» Документ «**Оптимизационный расчет, лист 4**»

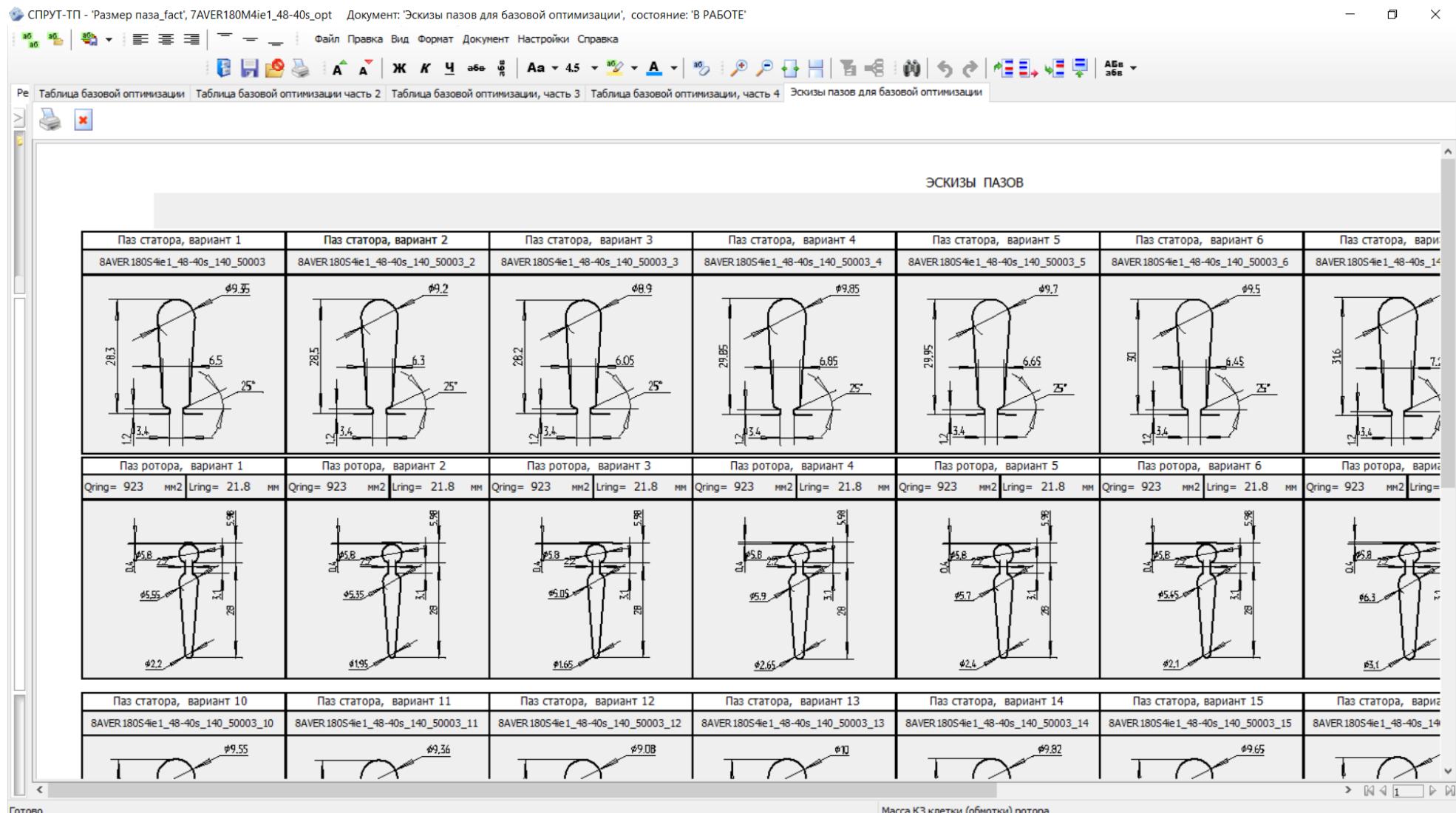


Рис. 23б. Пример экранной формы подсистемы «АЭД_DOX_2016» Документ «Оптимизационный расчет, лист 5»