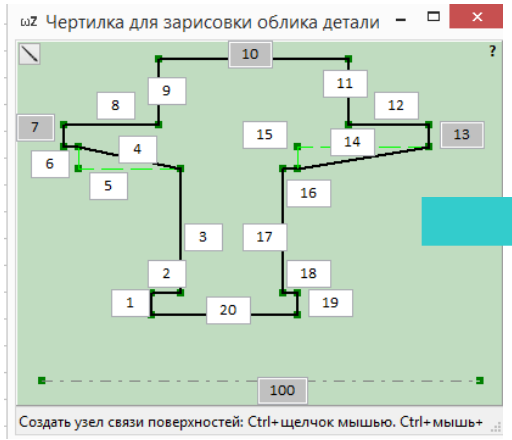
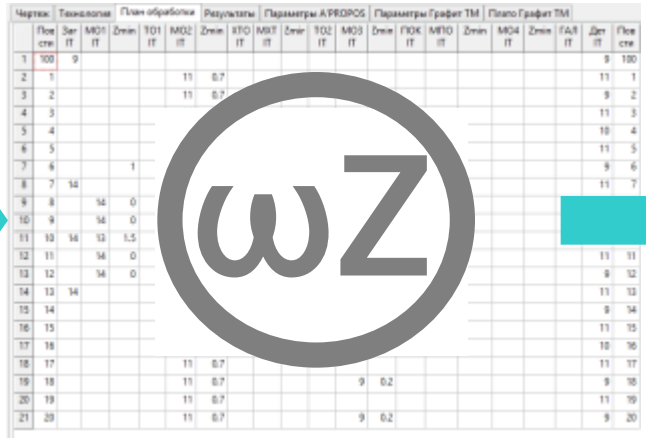
Система «A’PROPOS – Графит ТМ»

Визуальное проектирование технологии механообработки высокоточных деталей типа роторов и дисков компрессора/турбины ГТД





Задачи проектирования процессов механообработки точных деталей

Технологическое проектирование предусматривает гарантированное обеспечение требований чертежа (надежность ТП) с одновременным снижением затрат (экономика) как на ТПП, так и на изготовление деталей.

Для быстровращающихся роторных узлов и деталей ГТД характерны высокие требования по точности в части размеров и отклонений расположения поверхностей. Особо ярко эти требования проявляются для кольцевых размеров и на поверхностях с ХТО или покрытиями, требующих учета влияния операционных технологических биений.

Решением является автоматизация проектирования надежного и экономичного ТП на основе синтеза и анализа размерной структуры с подготовкой операционных эскизов.

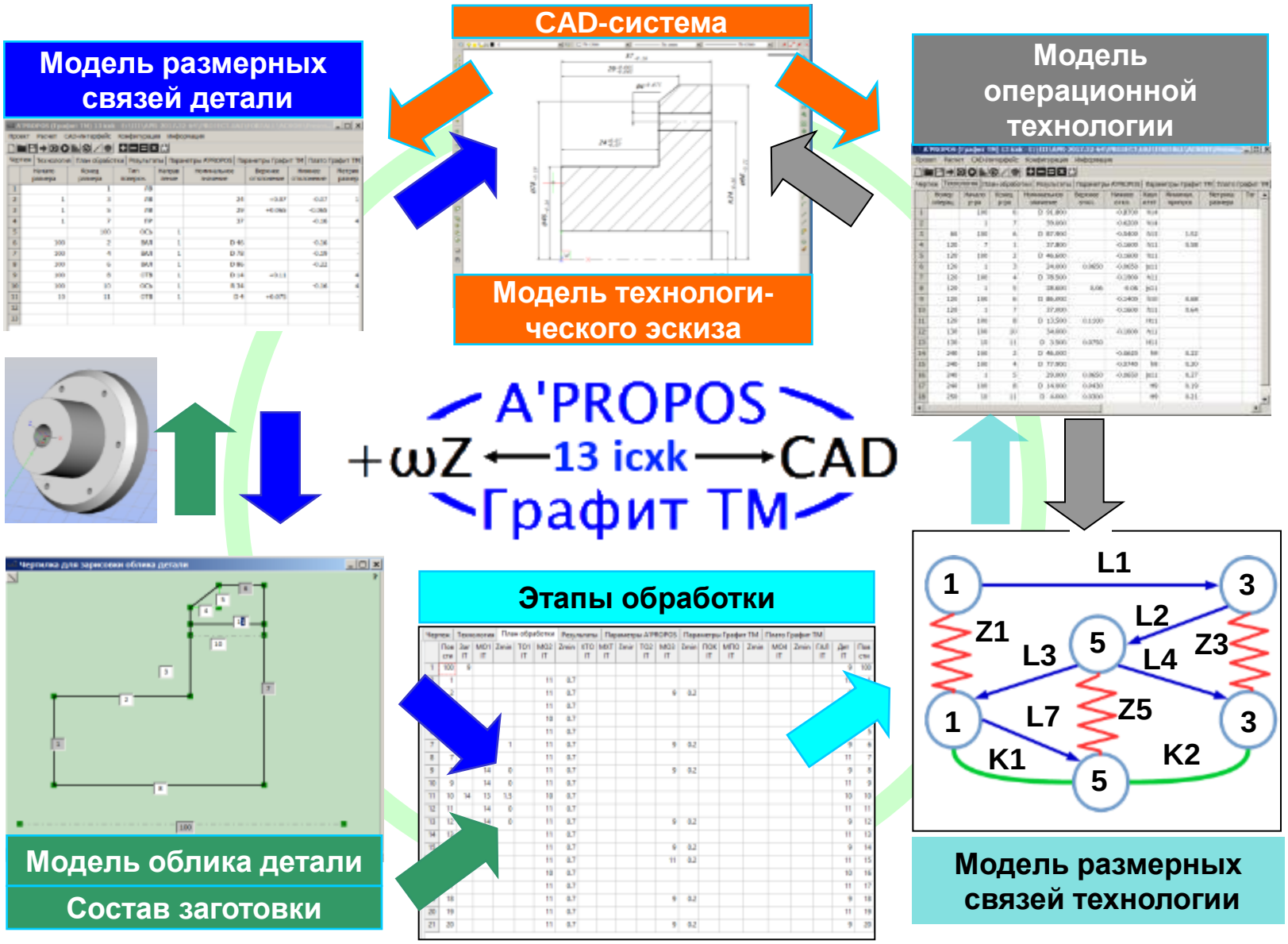
Назначение A’PROPOS - Графит ТМ

Система «A’PROPOS-Графит ТМ» предназначена для проектирования технологии механообработки и формирования карт эскизов технологического процесса

Цели:

- получение оптимальной размерной структуры технологического процесса, гарантированно обеспечивающего выдерживание всех требований чертежа и, одновременно, максимальное расширение полей допусков технологических размеров и отклонений расположения для снижения затрат на изготовление;
- генерация параметрического комплекта графической технологической документации с обеспечением двунаправленного интерфейса с **CAD-системами**.

Архитектура A’PROPOS - Графит ТМ



Система A'PROPOS - Графит ТМ

Методология проектирования

1. Формирование модели **облика Детали**.
2. Генерация и верификация модели **размерной структуры Детали**.
3. Задание **состава Заготовки**.
4. Синтез и верификация модели **Этапов обработки.**
5. Генерация и верификация вариантов размерных связей технологического процесса – модель **Технологии.**
6. Технологические размерные расчеты, оптимизация размерной структуры и формирование **эскизной параметрической модели Технологии**.

Методология проектирования

7. Технологические расчеты с учетом отклонений расположения (опционально) и уточнение **параметрической модели Технологии**.

8. Формирование **операционных графических моделей** для передачи/экспорта в **CAD-систему** и подготовки **Технологических эскизов**.

9. Доводка **Технологических эскизов** в **CAD-системе** и, при необходимости, реэкспорт **параметрической модели Технологии** в проект «A’PROPOS-Графит ТМ».

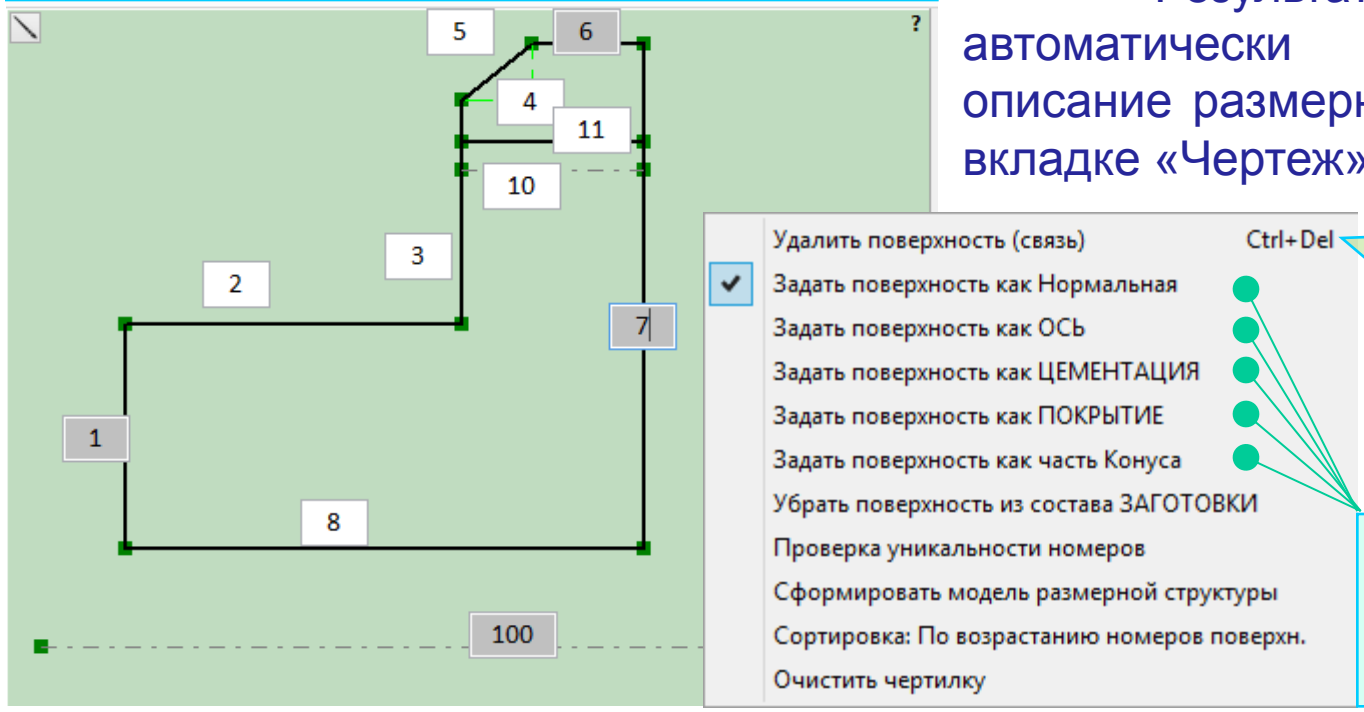
10. Итерационная прогонка с пункта 2 (уточнение чертежа) или 7 (уточнение технологии) до достижения требуемого результата.

Цифровой поток проектирования технологии механообработки

① Формирование модели облика детали. Вариант «Чертилка»

Системный инструмент «Чертилка» обеспечивает быстрое формирование контура детали, с автоматической нумерацией поверхностей и определением их топологических характеристик (Вал, Отверстие, Левый/Правый торец). Сформированный контур переносится на модель описания размерной структуры Детали командой «Сформировать модель размерной структуры».

Модель облика детали



Результатом является автоматически сформированное описание размерной структуры на вкладке «Чертеж» A'PROPOS.

Контекстное меню инструмента «Чертилка»

Конструкционные атрибуты поверхностей Детали

① Формирование модели облика детали. Верификация 2D/3D

Полученную размерную структуру на вкладке «Чертеж» можно верифицировать командой «Генерация эскиза детали» с последующей визуализацией **2D**-модели на вкладке Плато Графит ТМ или **3D**-модели в системе OpenSCAD.

Вкладка «Чертеж» системы A'PROPOS-Графит ТМ

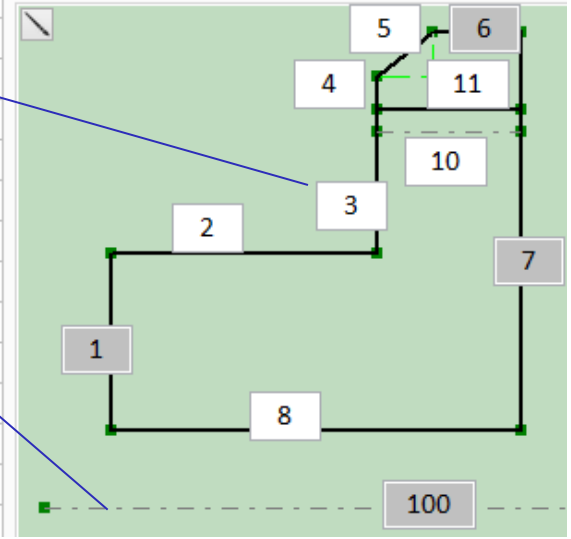
Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Граф

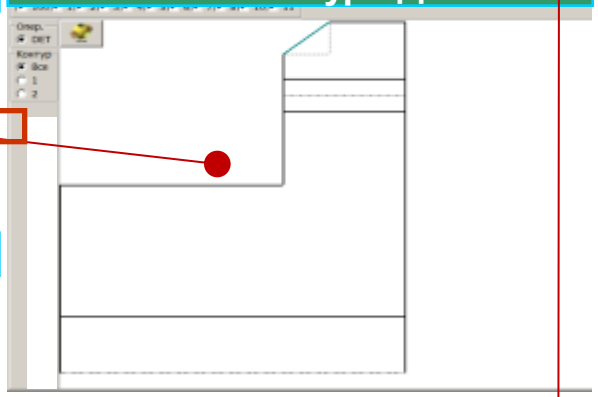
	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн.	Направ ление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера	Тэг
1		1	ЛВ						
2	1	3	ЛВ		24				
3	1	5	ЛВ		29				
4	1	7	ПР		37				
5		100	ОСЬ	1					
6	100	2	ВАЛ	1	D 46				
7	100	4	ВАЛ	1	D 78				
8	100	6	ВАЛ	1	D 86				
9	100	8	ОТВ	1	D 14				
10	100	10	ОСЬ	1	R 34				
11	10	11	ОТВ	1	D 4				
12									
13									
14									

Топологические атрибуты поверхностей Детали

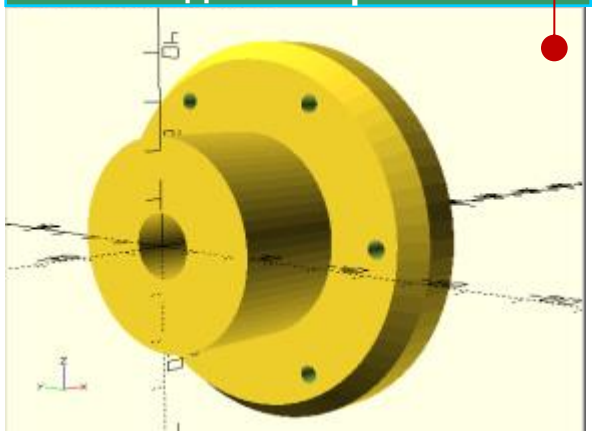
Модель облика детали



2D-эскиз контура Детали



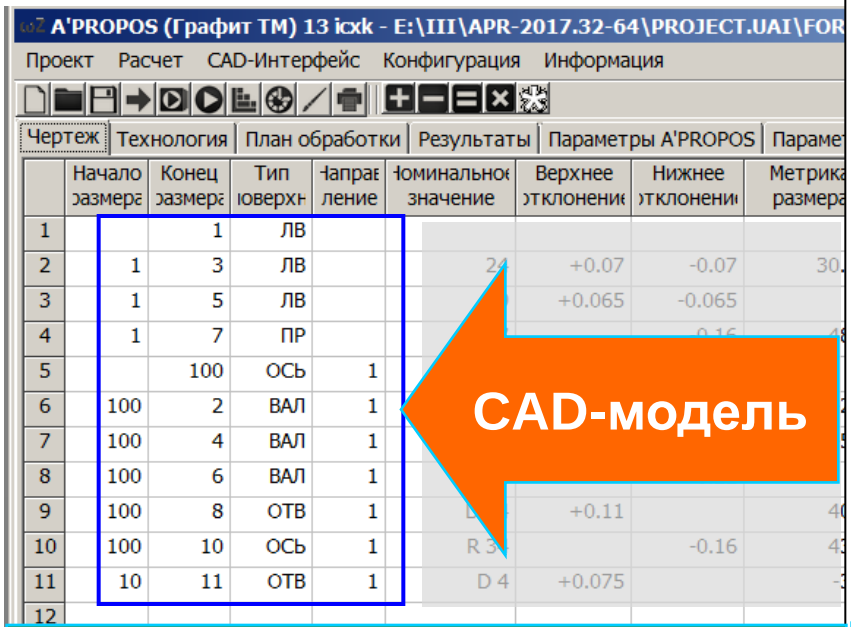
3D-модель в OpenSCAD



1 Формирование модели облика детали. Вариант «Импорт из CAD»

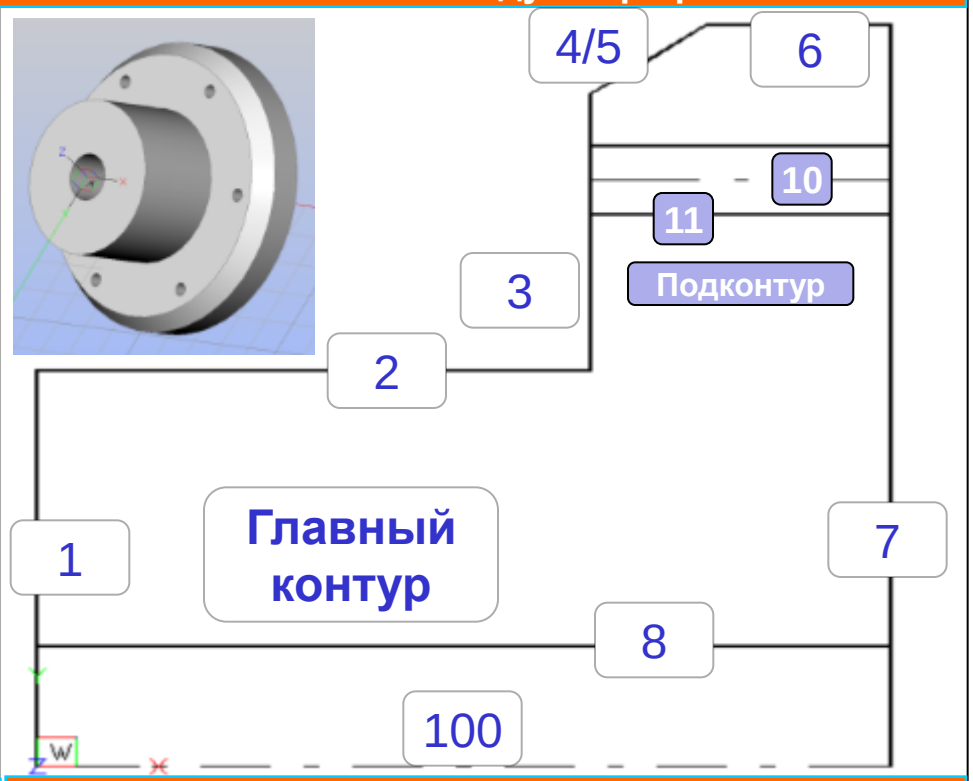
Модуль «Графит ТМ» в среде **CAD-системы** обеспечивает автоматическую генерацию контура с простановку/идентификацию номеров поверхностей. Номера и топологические характеристики формируются непосредственно в **CAD-системе** с последующей передачей в файл A'PROPOS (импорт).

Результатом является таблица «Чертеж» в составе APRx-файла проекта.



APRx-файл (модель облика детали)

CAD-система + модуль Графит ТМ



CAD-файл Чертежа проекта

② Генерация модели размерной структуры детали

Сформированная размерная структура может быть уточнена в части значений номиналов, допусков и простановки конструкторских размеров. Для верификации модели выполняется команда «Генерация эскиза детали»

Модель размерных связей детали

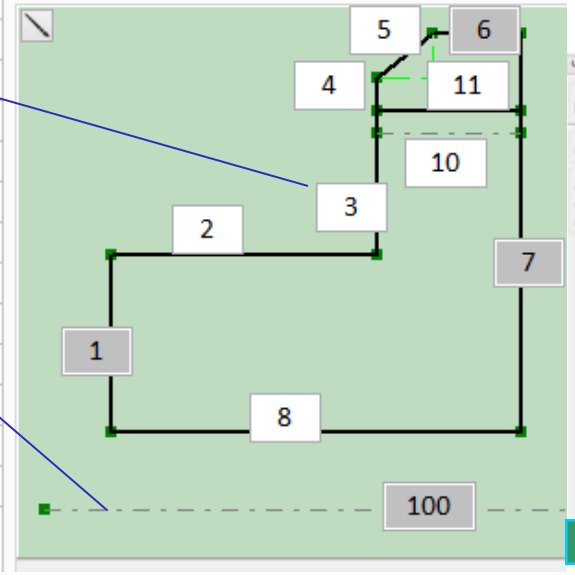
Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Граф

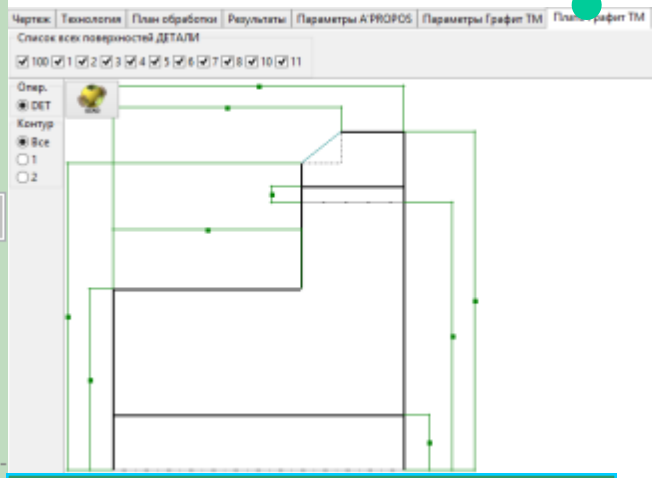
	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн.	Направ ление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера	Тэг
1		1	ЛВ						
2	1	3	ЛВ		24				
3	1	5	ЛВ		29				
4	1	7	ПР		37				
5		100	ОСЬ	1					
6	100	2	ВАЛ	1	D 46				
7	100	4	ВАЛ	1	D 78				
8	100	6	ВАЛ	1	D 86				
9	100	8	ОТВ	1	D 14				
10	100	10	ОСЬ	1	R 34				
11	10	11	ОТВ	1	D 4				
12									
13									
14									

Топологические атрибуты поверхностей Детали

Модель облика детали



Результатом является графический облик размерной структуры в виде эскиза на вкладке Плато Графит ТМ системы.



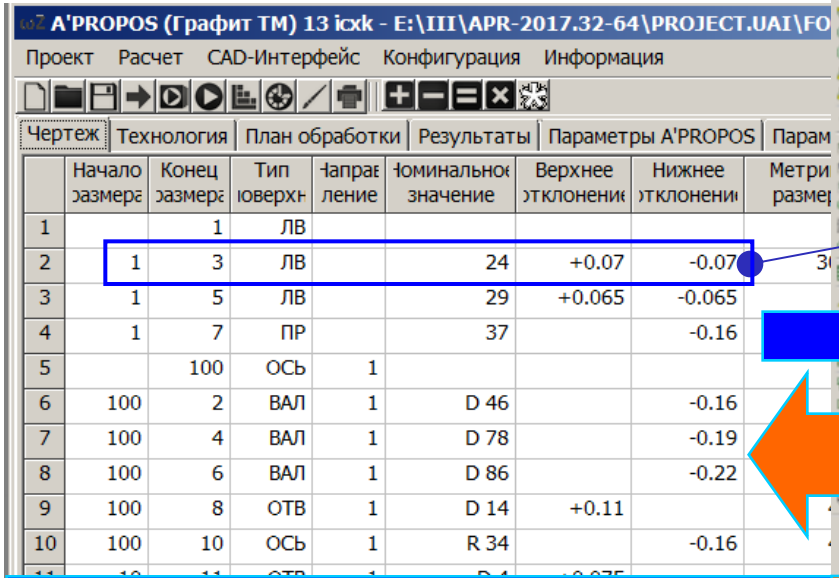
Эскиз размерной структуры

2 Генерация модели размерной структуры детали. Импорт из CAD

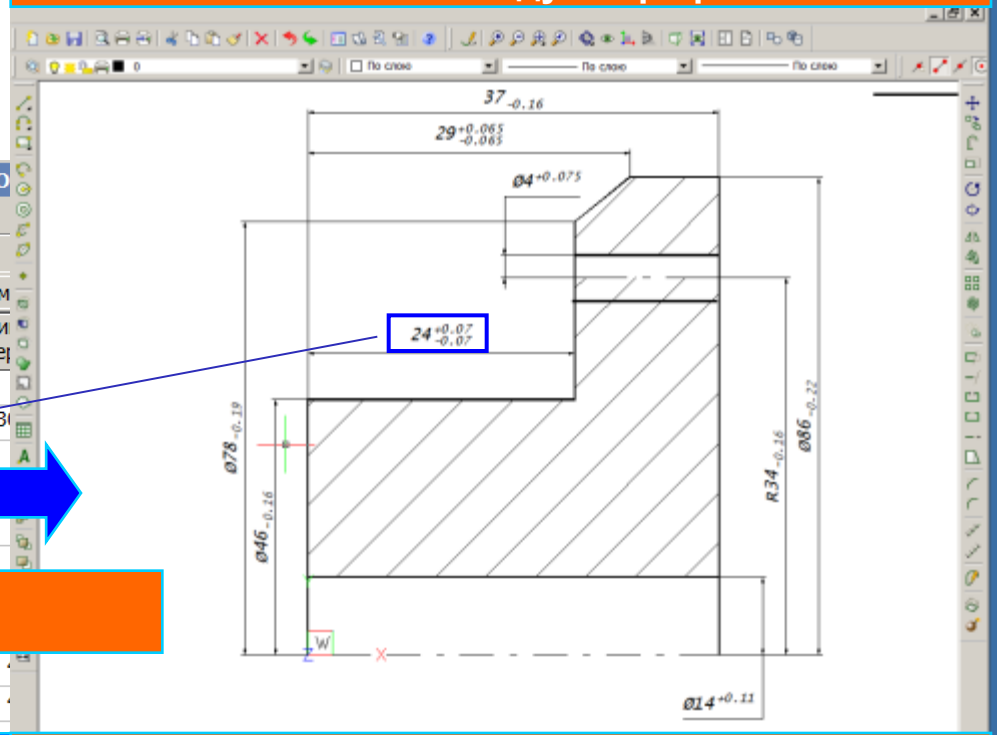
Модуль «Графит ТМ» в среде **CAD** обеспечивает автоматическую генерацию контура и/или распознавание размерной структуры существующего чертежа. Это обеспечивает формирование моделей непосредственно в **CAD-системе**. A'PROPOS автоматически импортирует/загружает модели в проект.

Результатом является APRx-файл. Модуль Графит ТМ обеспечивает сквозной экспорт/импорт модели.

CAD-система + модуль Графит ТМ



	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн	Направление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метри размер
1		1	ЛВ					
2	1	3	ЛВ		24	+0.07	-0.07	3
3	1	5	ЛВ		29	+0.065	-0.065	
4	1	7	ПР		37		-0.16	
5		100	ОСЬ	1				
6	100	2	ВАЛ	1	D 46		-0.16	
7	100	4	ВАЛ	1	D 78		-0.19	
8	100	6	ВАЛ	1	D 86		-0.22	
9	100	8	ОТВ	1	D 14	+0.11		
10	100	10	ОСЬ	1	R 34		-0.16	



APRx-файл (модель размерных связей)

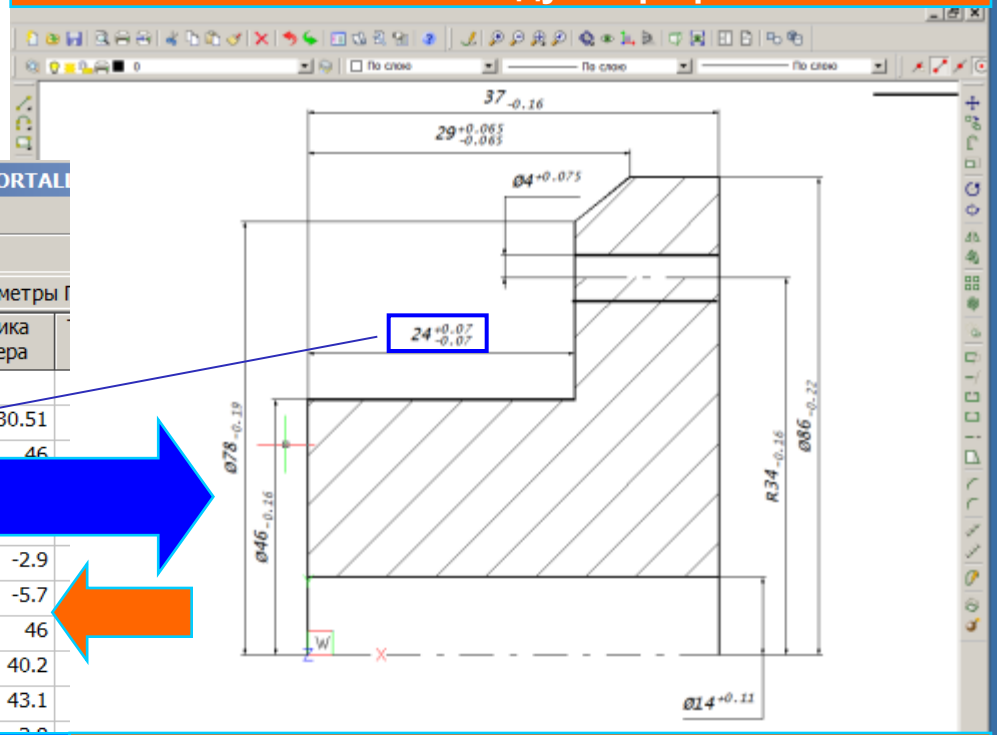
CAD-файл проекта

② Генерация модели размерной структуры детали. Экспорт в CAD

Система обеспечивает автоматическую генерацию и размещение размеров. Моделирование расположения размерных линий управляется параметром «Метрика размера». Модель экспортируется в **CAD-систему** (Auto/BricsCAD, КОМПАС). Изменения сделанные в **CAD** автоматом переносятся в A'PROPOS.

Результатом является CAD-файл. Модуль Графит ТМ обеспечивает сквозной экспорт/импорт модели.

CAD-система + модуль Графит ТМ



CAD-файл проекта

A'PROPOS (Графит ТМ) 13 icxk - E:\III\APR-2017.32-64\PROJECT.UAI\FORTALI

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры

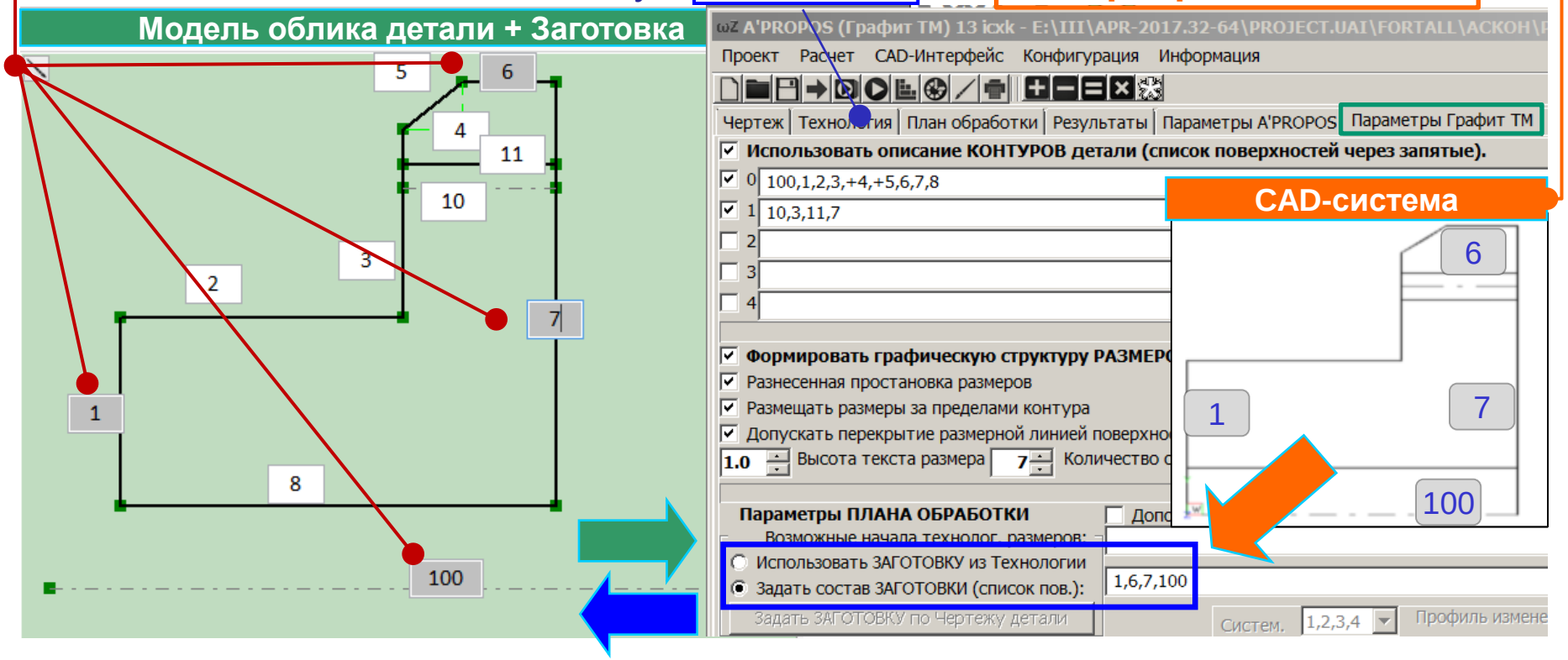
	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн	Направление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера
1		1	ЛВ					
2	1	3	ЛВ		24	+0.07	-0.07	30.51
3	1	5	ЛВ		29	+0.065	-0.065	46
4	1	7	ПР		37		-0.16	
5		100	ОСЬ	1				
6	100	2	ВАЛ	1	D 46		-0.16	-2.9
7	100	4	ВАЛ	1	D 78		-0.19	-5.7
8	100	6	ВАЛ	1	D 86		-0.22	46
9	100	8	ОТВ	1	D 14	+0.11		40.2
10	100	10	ОСЬ	1	R 34		-0.16	43.1

APRx-файл (модель размерных связей)

3 Задание состава Заготовки

Система позволяет задавать состав Заготовки как на основе модели облика детали (пометкой поверхностей) так и с помощью прямой установки списка поверхностей Заготовки на вкладке Параметры Графит ТМ или в **CAD-системе**.

Результатом является состав Заготовки, включенный в модель ТП. Так же технолог может задать Заготовку в Технологии или **импортировать из CAD**.



4 Синтез и верификация модели Плана обработки

Система обеспечивает автоматизированный синтез Плана обработки. Синтез Плана производится на основе модели «Чертежа» Детали, состава Заготовки и набора параметров точности поверхностей.

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

	Пов сти	Заг IT	МО1 IT	Zmin	ТО1 IT	МО2 IT	Zmin	ХТО IT	МХТ IT	Zmir	ТО2 IT	МО3 IT	Zmin	ПОК IT	МПО IT	Zmin	МО4 IT	Zmin	ГАЛ IT	Дет IT	Пов сти
1	100	9																		9	100
2	1					11	0.7													11	1
3	2					11	0.7					9	0.2							9	2
4	3					11	0.7													11	3
5	4					10	0.7													10	4
6	5					11	0.7													11	5
7	6					11	0.7					9	0.2							9	6
8	7	14				11	0.7													11	7
9	8		14	0		11	0.7					9	0.2							9	8
10	9		14	0		11	0.7													11	9
11	10	14	13	1.5		10	0.7													10	10
12	11		14	0		11	0.7													11	11
13	12		14	0		11	0.7					9	0.2							9	12
14	13	14				11	0.7													11	13
15	14					11	0.7					9	0.2							9	14
16	15					11	0.7					11	0.2							11	15
17	16					10	0.7													10	16
18	17					11	0.7													11	17
19	18					11	0.7					9	0.2							9	18
20	19					11	0.7													11	19
21	20					11	0.7					9	0.2							9	20

Состав этапа

Этапы

Zmin припуск

IT квалитет

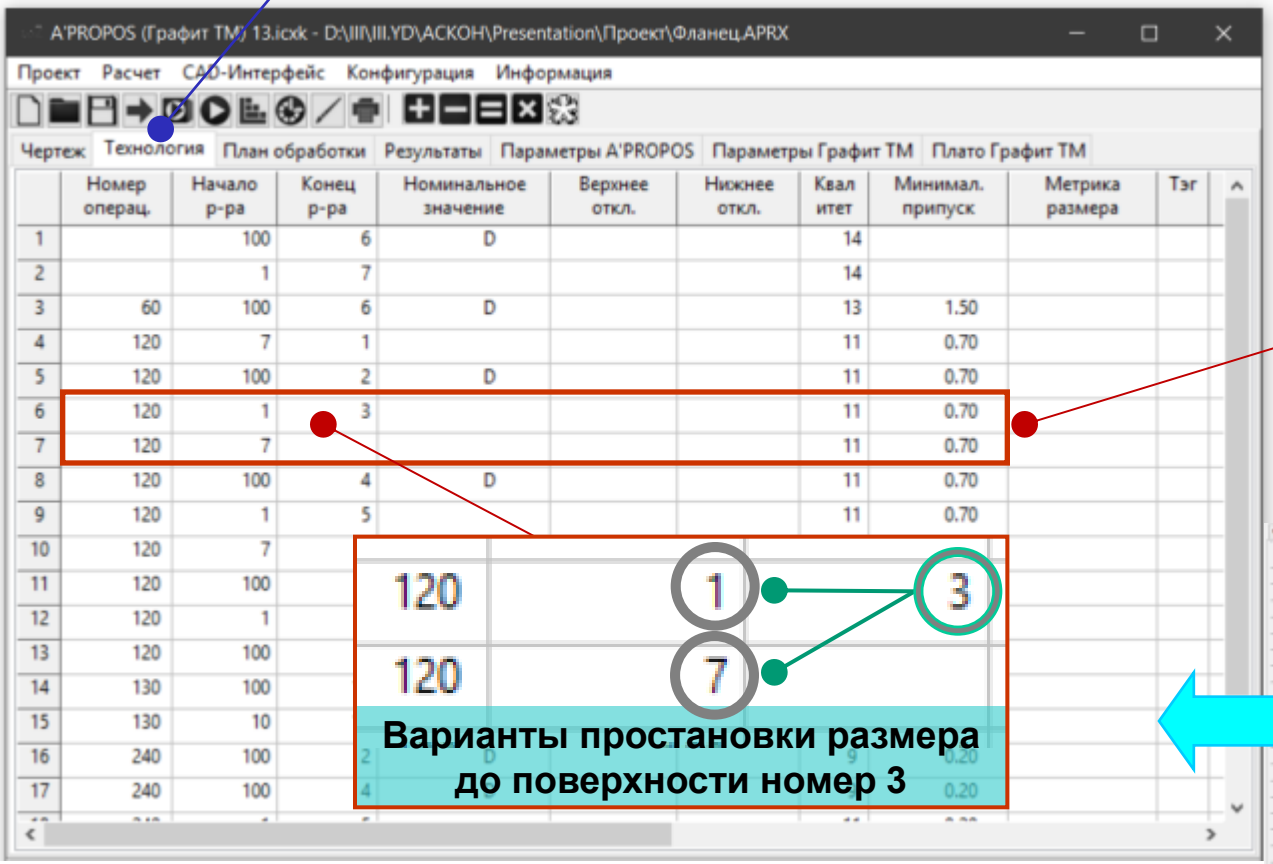
Поверх ности

План обработки

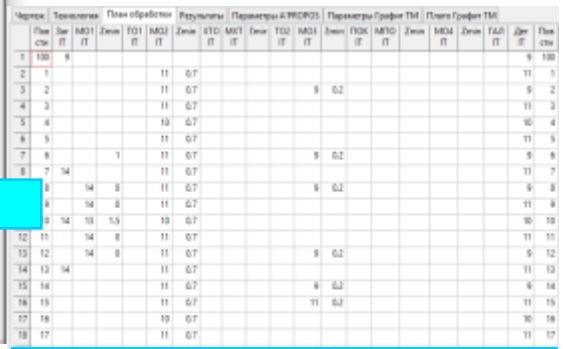
Результатом является таблица, содержащая этапы обработки, составы и точность (IT) обрабатываемых на этапах поверхностей и минимальный припуск (Zmin). Особо выделяются этапы ТО/ХТО и Покрытие. План может уточняться технологом в любой его части и является прототипом операционной технологии.

5 Генерация и верификация вариантов размерных связей ТП

На основе Плана обработки выполняется синтез модели размерных связей (таблица Технология) с **вариантами простановки** технологических размеров, параметрами точности и минимальными припусками.



Результатом является таблица, содержащая разбитый на операции ТП , с указанием вариантов простановки размеров, их квалитетов/классов точности и припусков.



Модель вариантов размерных связей операционной технологии

План обработки

6 Технологические размерные расчеты и оптимизация размеров

На основе модели с вариантами размерных связей выполняется оптимизация размерной структуры с целью расширения полей допусков технологических размеров с гарантированным выдерживанием требований Чертежа.

A'PROPOS (Графит ТМ) 13 icxk - E:\III\APR-2017.32-64\PROJECT.UAI\FORTALL\ACKOH\Presen...

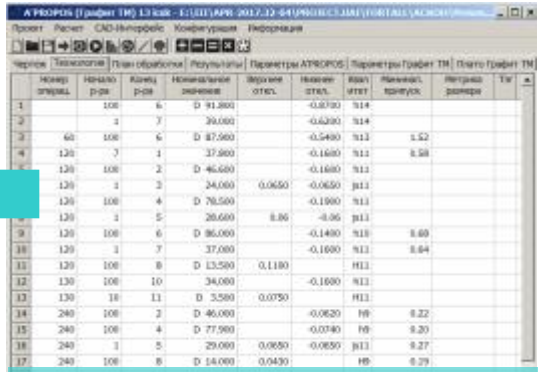
Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

	Номер операц.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск	Метрика размера	Тэг
1		100	6	D 91.800		-0.8700	h14			
2		1	7	39.000		-0.6200	h14			
3	60	100	6	D 87.900		-0.5400	h13	1.52		
4	120	7	1	37.800		-0.1600	h11	0.58		
5	120	100	2	D 46.600		-0.1600	h11			
6	120	1	3	24.000	0.0650	-0.0650	js11			
7	120	100	4	D 78.500		-0.1900	h11			
8	120	1	5	28.600	0.06	-0.06	js11			
9	120	100	6	D 86.000		-0.1400	h10	0.68		
10	120	1	7	37.000		-0.1600	h11	0.64		
11	120	100	8	D 13.500	0.1100		H11			
12	130	100	10	34.000		-0.1600	h11			
13	130	10	11	D 3.500	0.0750		H11			
14	240	100	2	D 46.000		-0.0620	h9	0.22		
15	240	100	4	D 77.900		-0.0740	h9	0.20		
16	240	1	5	29.000	0.0650	-0.0650	js11	0.27		
17	240	100	8	D 14.000	0.0430		H9	0.19		
18	250	10	11	D 4.000	0.0300		H9	0.21		

Модель операционной технологии

Результатом является таблица, содержащая пооперационный ТП, с указанием начал и концов размеров, их номинальных значений и отклонений, квалитетов/классов точности и припусков.



Модель размерных связей

7 Размерный анализ ТП с учетом биений (опционально)

После формирования оптимальной размерной структуры операционной технологии и при наличии кольцевых размеров, характерных для химико-термической обработки и покрытий, можно выполнить расчет с учетом биений.

Размерные цепи биений

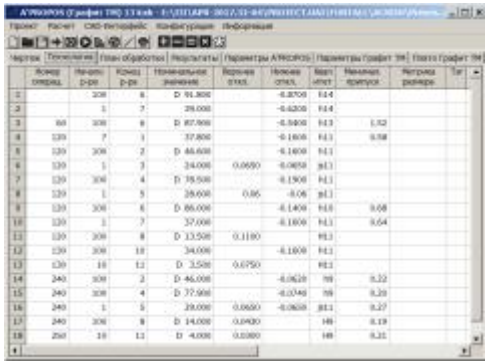
```
 B(  4 -   1)=+b7  +b8  +b10 +b18
 B(  4 -   2)=+b16 +b18
 B(  4 -   3)=+b17 +b18
 B(  4 -   5)=+b18 +b19
 B(  4 -   6)=+b18
 B(  4 -   7)=+b10 +b11 +b18
 B(  4 -   8)= 0
 B(  4 -  11)=+b16 +b18 +b21
wZ(  4 / 240)=+b6  +b8  +b10 +b18
wZ(  1 / 120)=+b1  +b3  +b6  +b7
 B(  2 - 202)=+b10 +b14 +b16
wZ(  2 / 180)=+b10 +b16
 B(  3 - 203)=+b8  +b9  +b10 +b15 +b17
wZ(  3 / 180)=+b8  +b9  +b10 +b17
wZ(  5 / 240)=+b3  +b5  +b6  +b8  +b10
wZ(  6 / 120)=+b8  +b10
wZ(  7 / 120)=+b2  +b3  +b6  +b8  +b11
wZ(  8 / 240)=+b20
wZ( 11 / 250)=+b10 +b13 +b16 +b21
```

ХТО

```
K(100 -   8)=+D13
K(100 -   2)=+D11
K(100 -  10)=+L8
K(100 -   4)=+D12
K(100 -   6)=+D6
Z(  8 / 240)=-D7  +D13
K(  2 - 202)=-D5  +C10 +D11
                  +b14 +b10 +b16
Z(  2 / 180)=+D5  -D11
Z(  2 / 120)=+D2  -D5
K( 10 -  11)=+D14
Z( 11 / 250)=-D9  +D14
Z(  4 / 240)=+D3  -D12
Z(  6 / 120)=+D4  -D6
Z(  6 /  60)=+D1  -D4
```

Уравнений размерных цепей технологических размеров

Результатом является уточненные значения номиналов и отклонений кольцевых размеров в составе которых учтены погрешности, вызванные технологическими биениями.



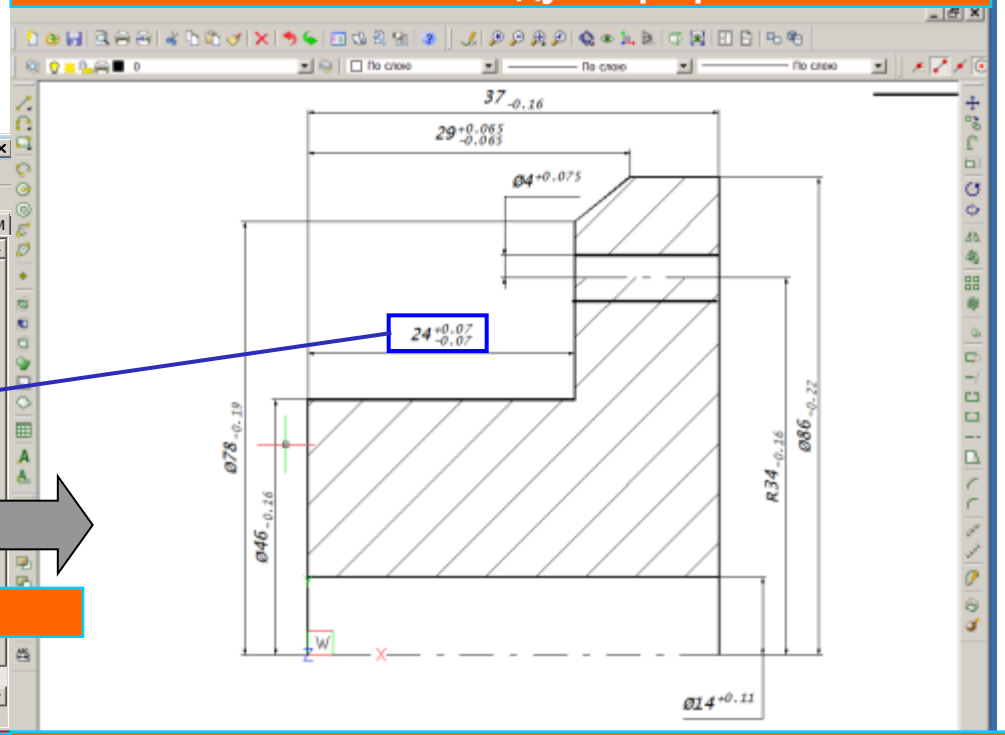
Уточненные значения переносятся в параметрическую модель операционной технологии – таблицу «Технология»

8 Формирование Технологических эскизов в среде CAD

Система обеспечивает автоматическое формирование операционных эскизов, содержащих разрез детали и размеры. Построение эскиза производится в среде **CAD** на основе экспортируемой в нее моделей контуров и размеров. Изменения выполненные пользователем **CAD** автоматом переносятся в A'PROPOS.

Результатом является CAD-файл операции. Система обеспечивает сквозной экспорт/импорт модели.

CAD-система + модуль Графит ТМ



CAD-файл операционного эскиза

A'PROPOS (Графит ТМ) 13 icxk - E:\III\APR-2017.32-64\PROJECT.UAI\FORTALL\ACKOH\Presen...

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

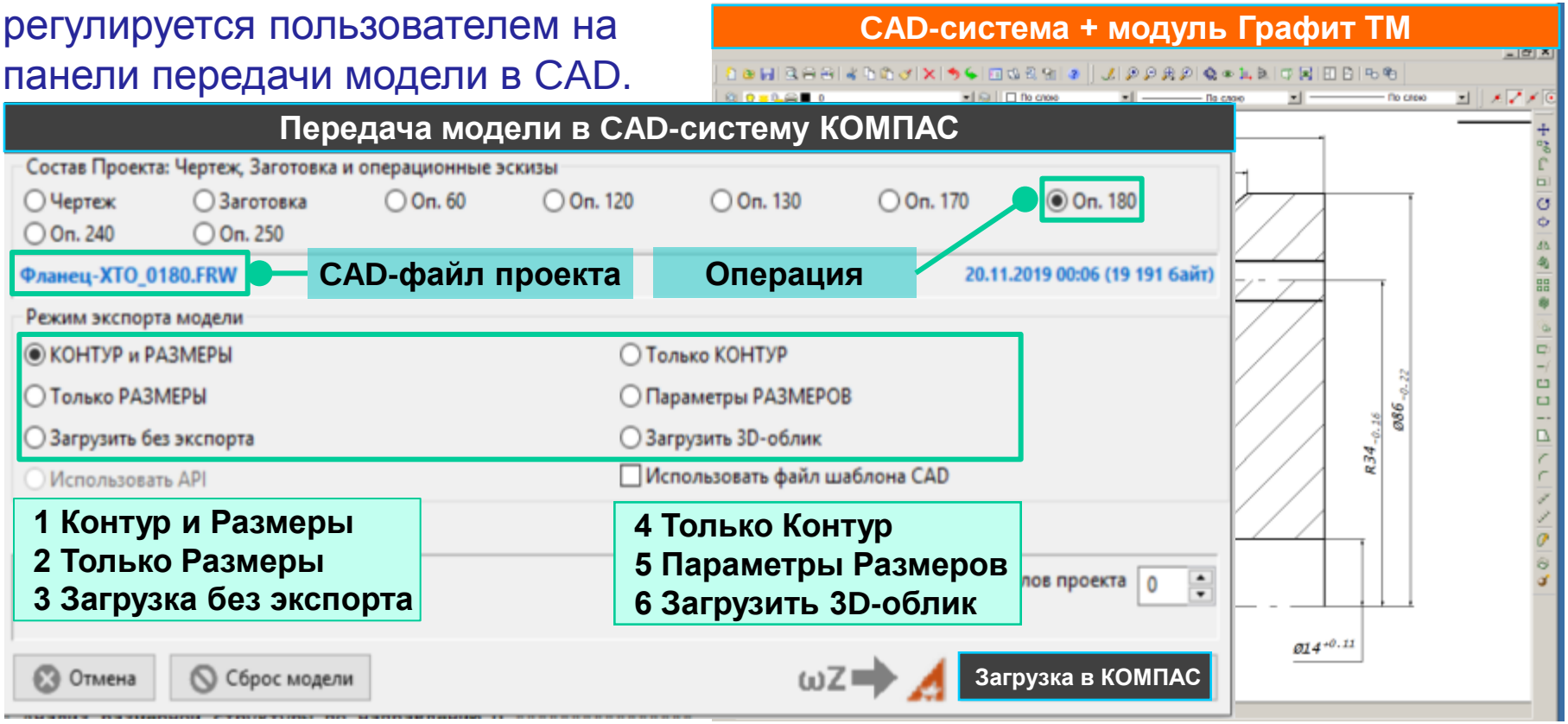
	Номер операц.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск	Метрика размера	Тэг
1		100	6	D 91.800		-0.8700	h14			
2		1	7	39.000		-0.6200	h14			
3	60	100	6	D 87.900		-0.5400	h13	1.52		
4	120	7	1	37.800		-0.1600	h11	0.58		
5	120	100	2	D 46.600		-0.1600	h11			
6	120	1	3	24.000	0.0650	-0.0650	js11			
7	120	100	4	D 78.500		-0.1900	h11			
8	120	1	5	28.600	0.06	-0.06	js11			
9	120	100	6	D 86.000		-0.1400	h10	0.68		
10	120	1	7	37.000		-0.1600	h11	0.64		
11	120	100	8	D 13.500	0.1100		H11			
12	130	100	10	34.000		-0.1600	h11			
13	130	10	11	D 3.500	0.0750		H11			
14	240	100	2	D 46.000		-0.0620	h9	0.22		
15	240	100	4	D 77.900		-0.0740	h9	0.20		
16	240	1	5	29.000	0.0650	-0.0650	js11	0.27		
17	240	100	8	D 14.000	0.0430		H9	0.19		
18	250	10	11	D 4.000	0.0300		H9	0.21		

APRx-файл операционной технологии

9 Доводка технологических эскизов и моделей ТП

Система A'PROPOS – Графит ТМ обеспечивает ассоциативность наборов собственных моделей детали и операционной технологии с графическими моделями в **CAD-системе**. Операции экспорта/импорта реализованы в виде библиотеки **CAD**, автоматически загружаемой при открытии CAD-файла.

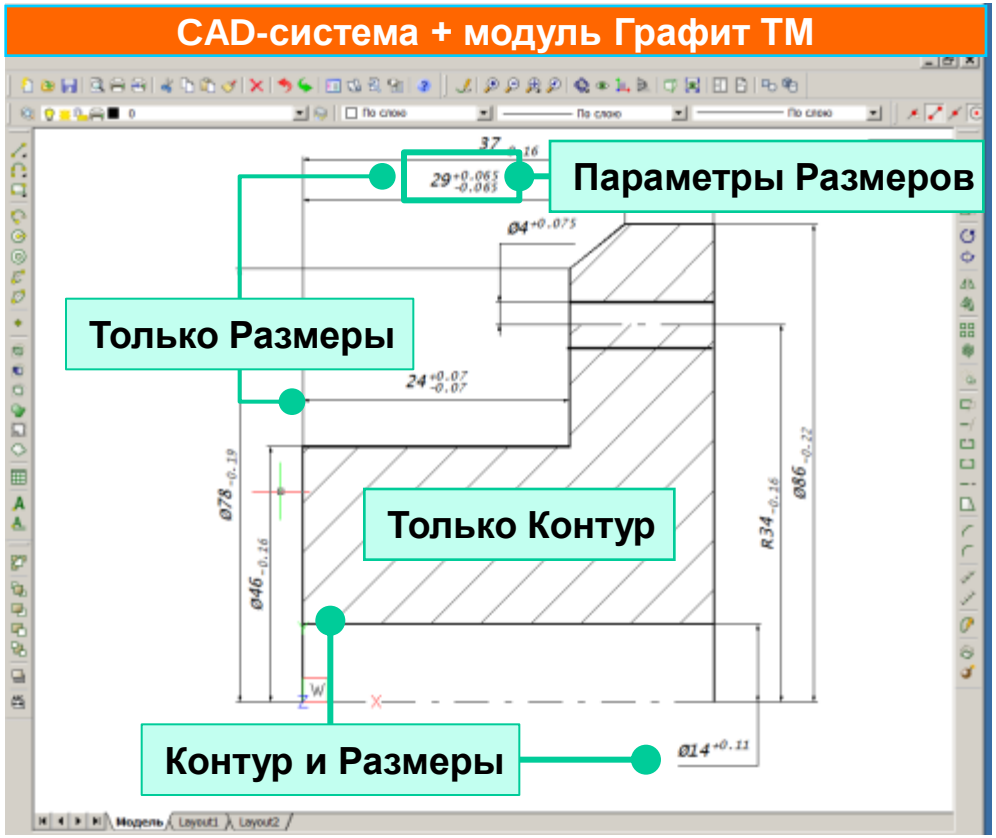
Состав и структура экспорта/импорта регулируется пользователем на панели передачи модели в CAD.



9 Доводка технологических эскизов и моделей ТП

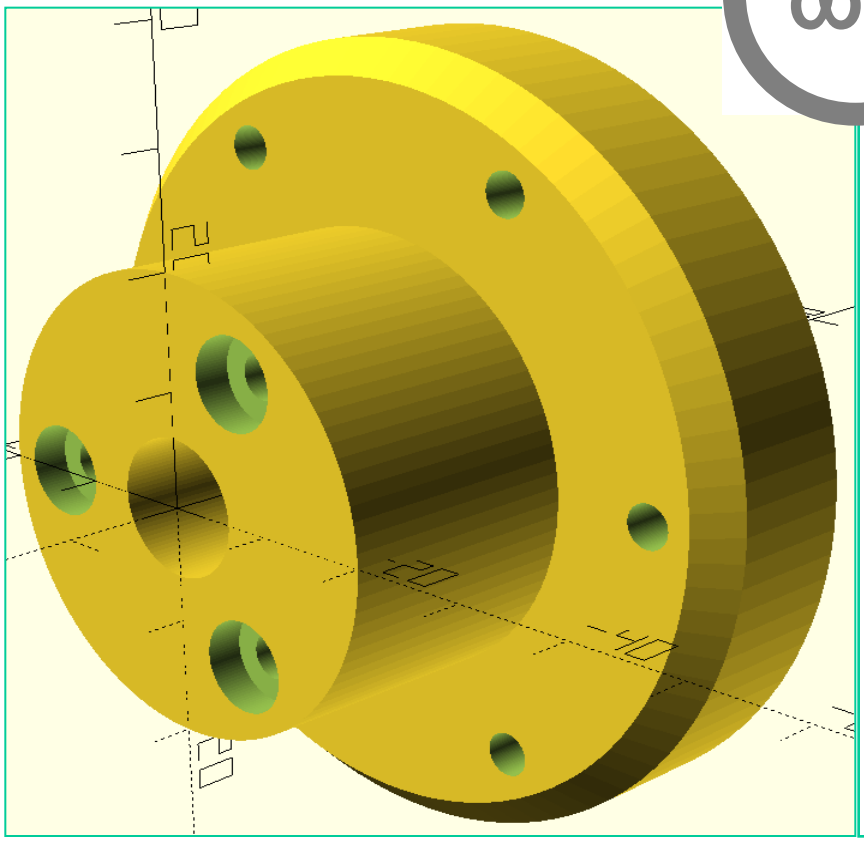
Регулирование состава экспорта/импорта моделей и поддержка ассоциативности с **CAD** обеспечивает гибкость работы с проектом. Технолог может неоднократно выполнять технологические расчеты, а ассоциативность обеспечивает двунаправленный поток изменений, переносимый между **CAD** и A'PROPOS.

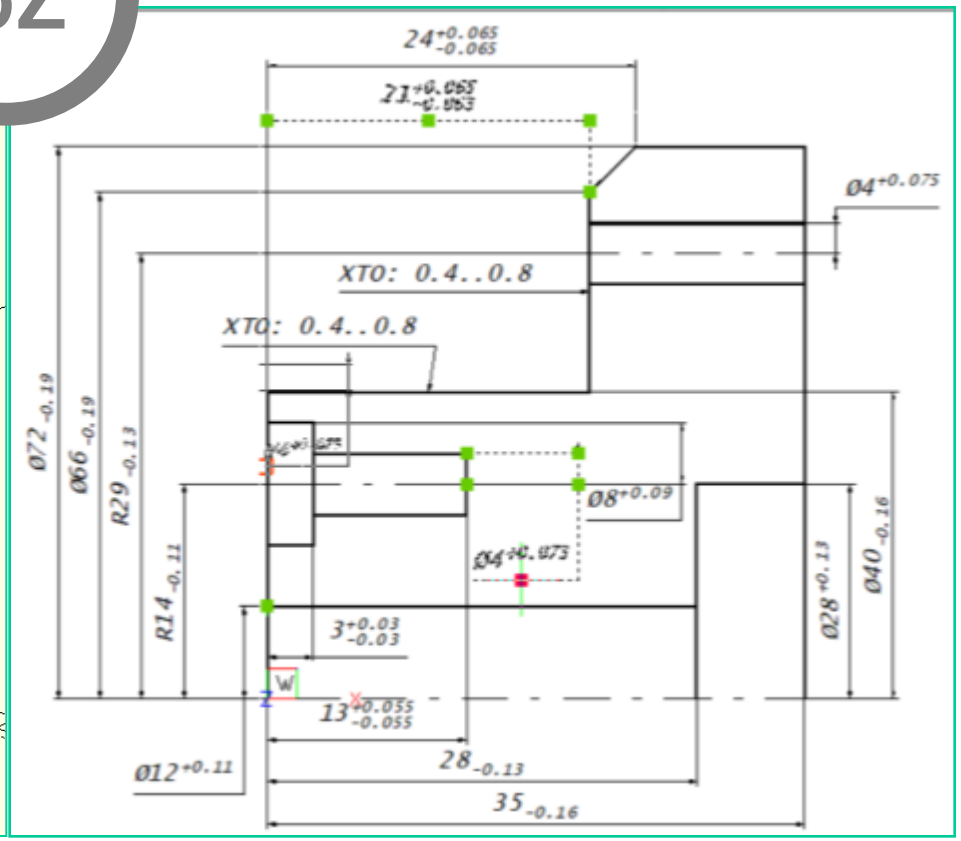
Поскольку поток регулируется, технологом, это позволяет проводить дополнения в CAD-файле, не связанные с моделями A'PROPOS с обеспечением их сохранности при последующих процедурах импорта. Более того, этот механизм позволяет технологу модифицировать геометрический облик детали/заготовки сохраняя при этом ассоциативность размерной структуры с измененным в CAD-файле изображением.



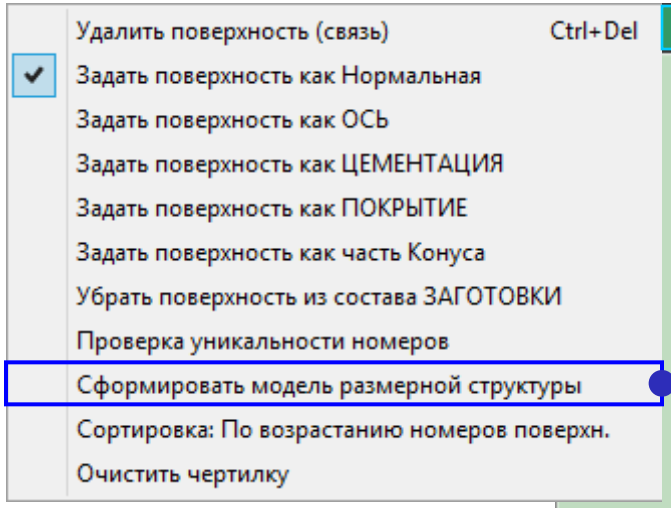
Система A’PROPOS – Графит ТМ

Пример совместной работы A’PROPOS – Графит ТМ и CAD-системы



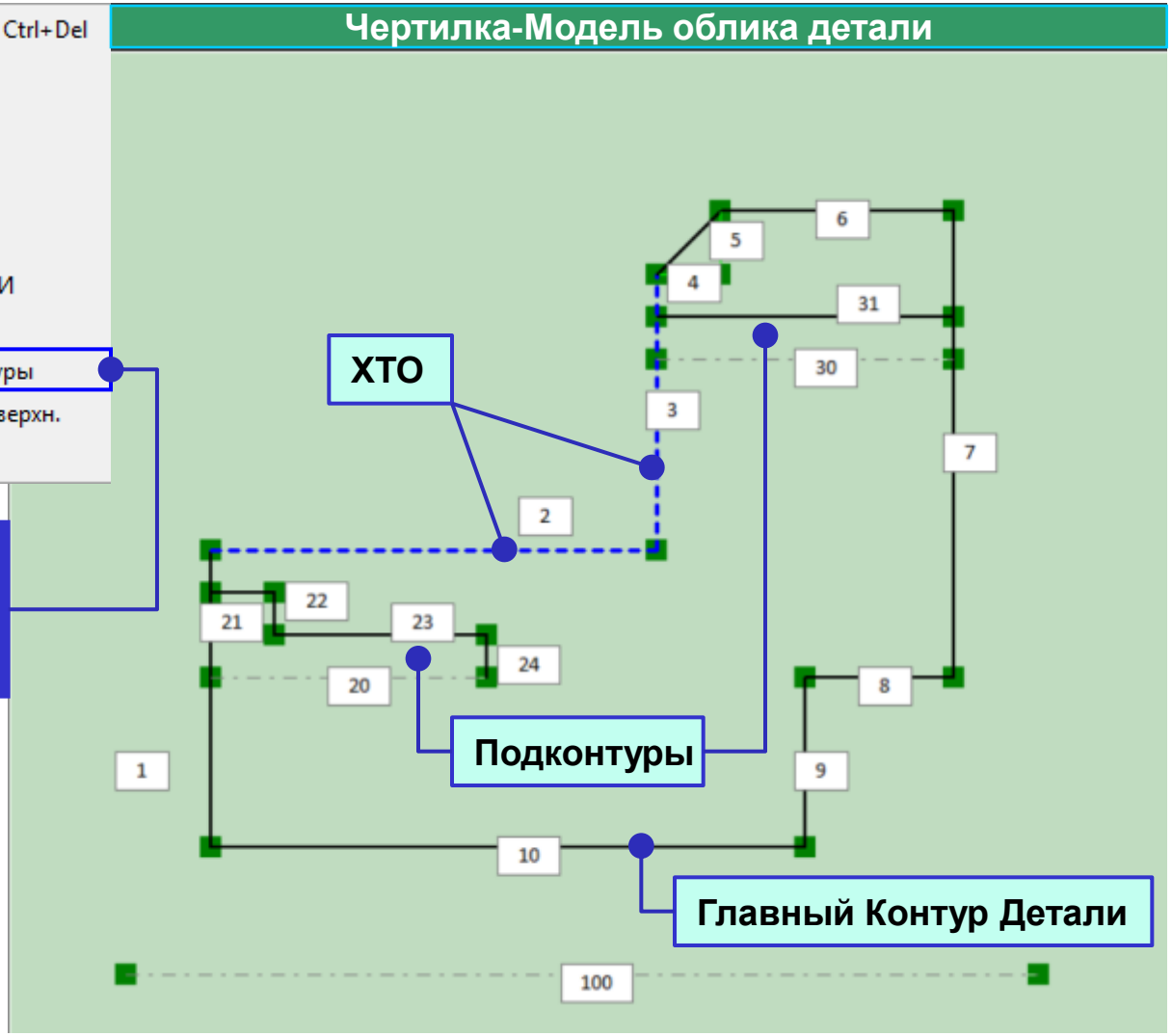


Пример проектирования: Подготовка модели облика Детали



Формирование и перенос модели в таблицу «Чертеж»

Тело вращения. Поверхности 2 и 3 подвергаются ХТО. Содержит 2 подконтура с осями 20 и 30.



Пример проектирования: Модель размерной структуры

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

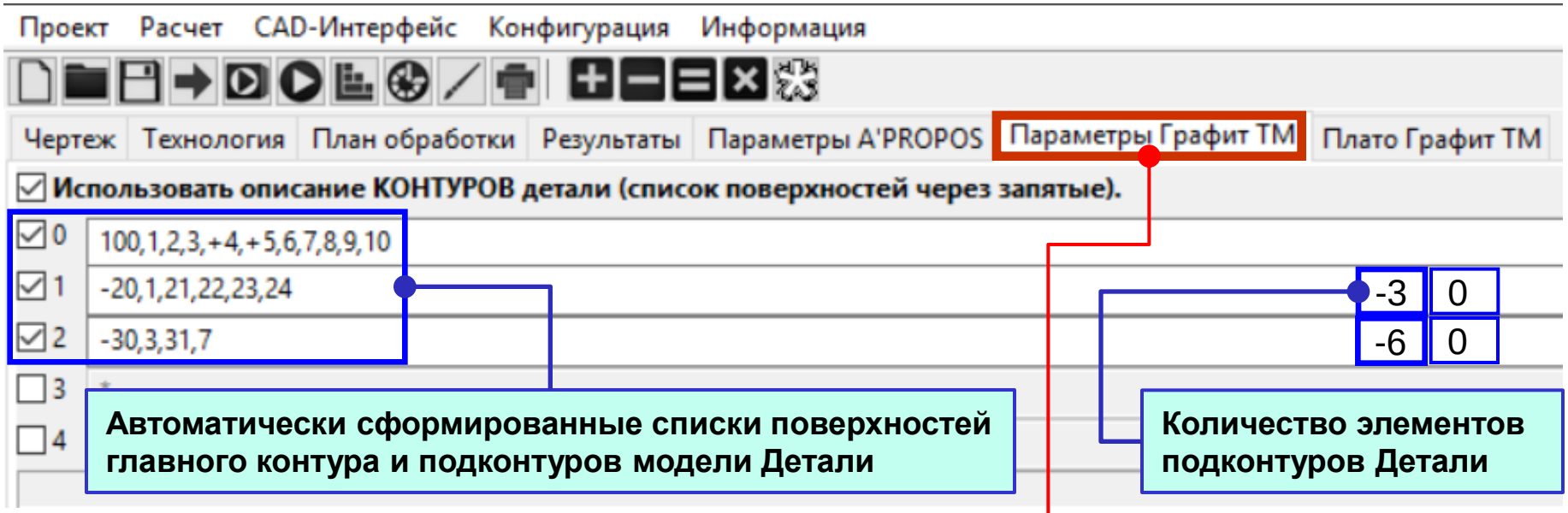
	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн.	Направ ление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера
1		1	ЛВ					
2		100	ОСЬ	1				
3	100	2	ВАЛ	1	d40			
4	2	202	ВАЛ	1	-0.4	0.4		
5	1	3	ЛВ		21			
6	3	203	ЛВ		0.4	0.4		
7	100	4	ВАЛ	1	d66			
8	1	5	ЛВ		24			
9	100	6	ВАЛ	1	d72			
10	1	7	ПР		35			
11	100	8	ОТВ	1	D28			
12	1	9	ПР		28			
13	100	10	ОТВ	1	D12			
14	100	20	ОСЬ	1	R14			
15	20	21	ОТВ	1	D8			
16	1	22	ЛВ		3			
17	20	23	ОТВ	1	D4			
18	1	24	ЛВ		13			
19	100	30	ОСЬ	1	R29			
20	30	31	ОТВ	1	D4			
21								

ХТО

Подконтуры

Сформированную модель можно уточнять в части простановки, номиналов и отклонений размеров. Если допуски не заданы, то система использует значения квалитета, указанного в параметрах A'PROPOS.

Пример проектирования: Уточнение облика Детали

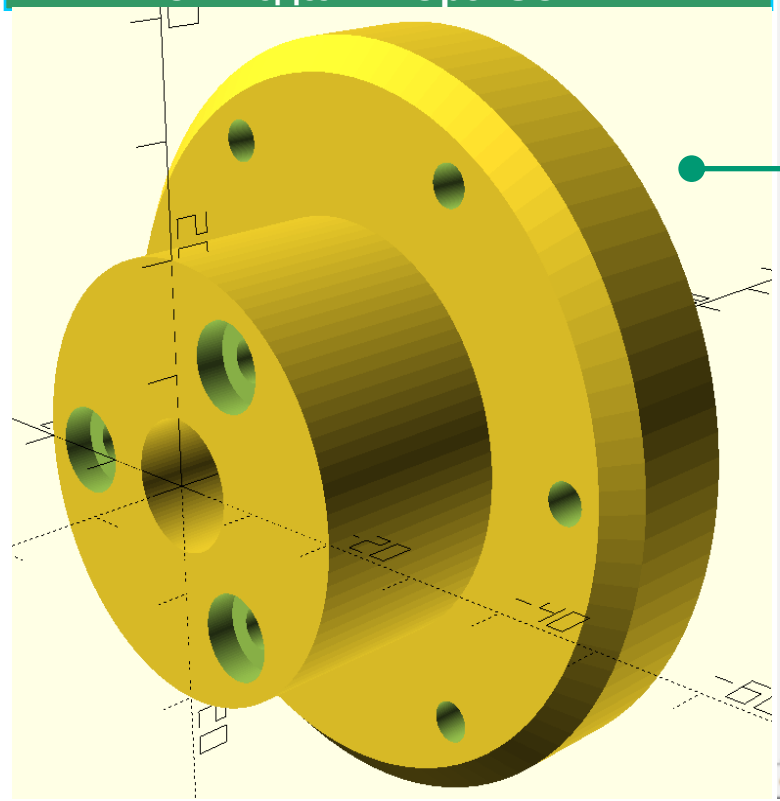


Полученная модель уточняется на вкладке Параметры Графит ТМ в части задания количества элементов подконтуров и их стартового угла относительно главной оси Детали. Количество экземпляров подконтура указывается со знаком минус, если они вычитаются из главного тела детали. Использование знака минус перед осью в списке поверхностей главного контура и подконтуров (должна указываться первой) означает, что графическая модель данного контура, выводимая на Плато Графит ТМ или экспортируемая в **CAD-систему**, будет отрисована полностью, симметрично относительно оси.

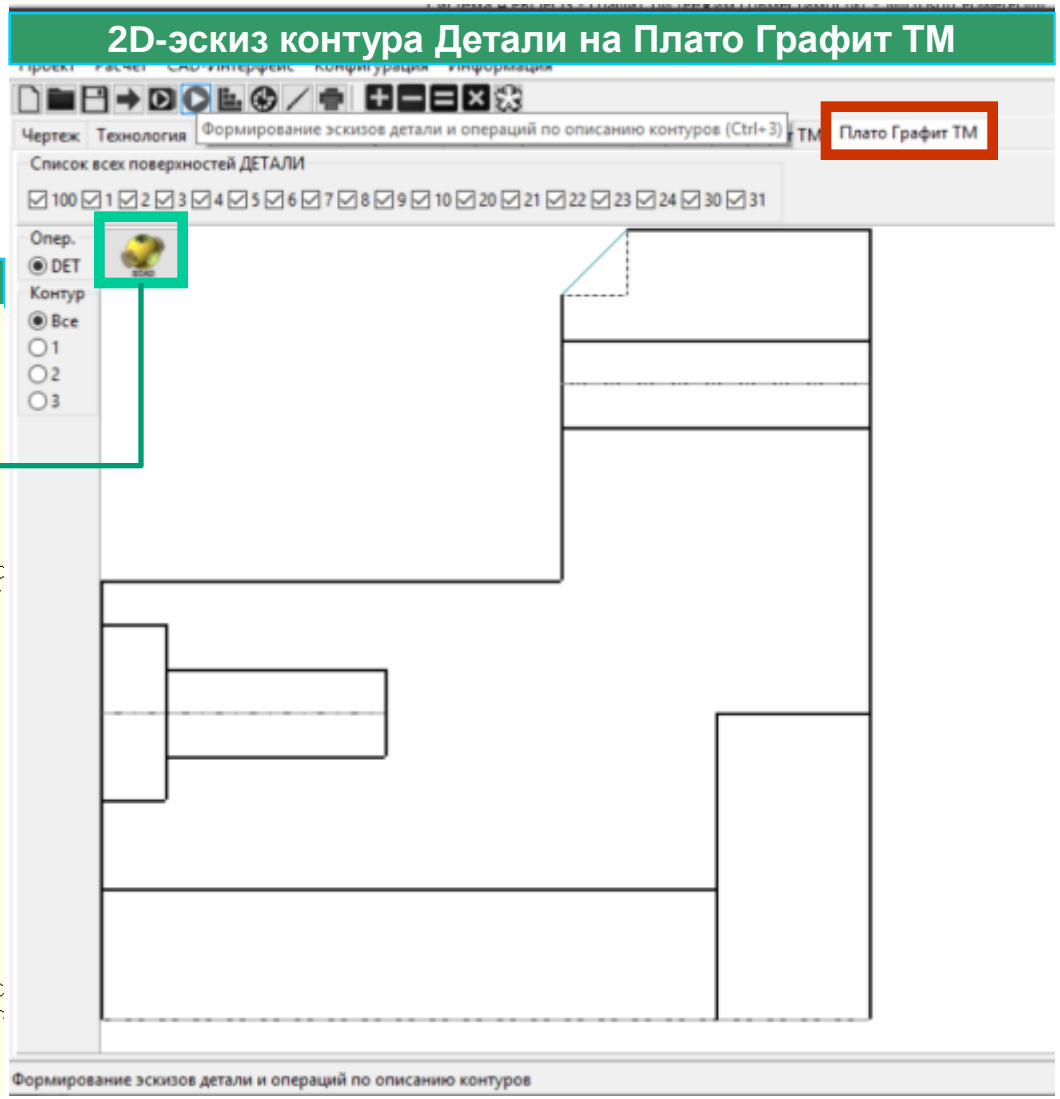
Пример проектирования: Верификация модели Детали

Модель проверяется на вкладке Плато Графит ТМ или вызовом легкой открытой 3D-системы openSCAD.

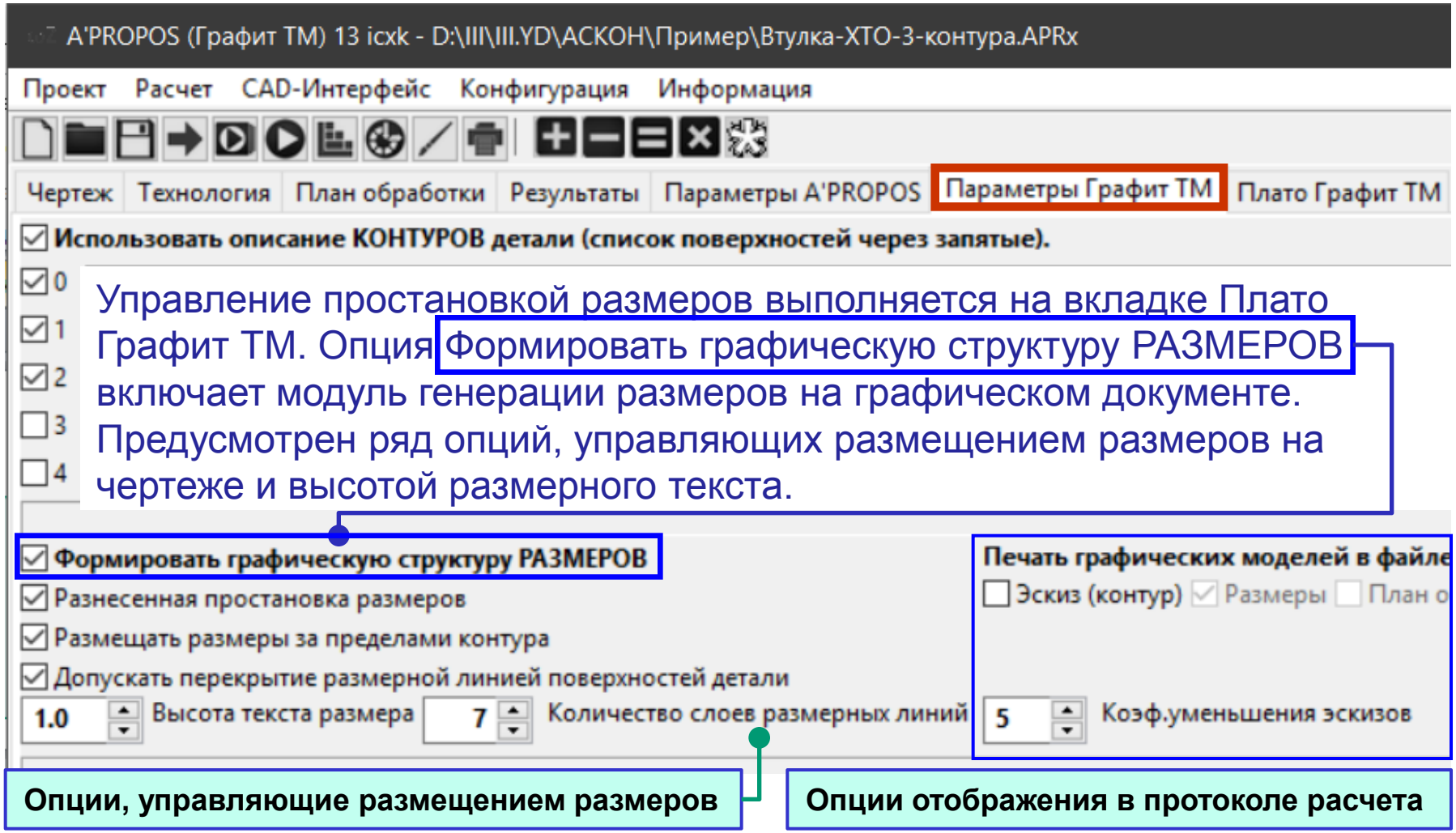
3D-модель в OpenSCAD



2D-эскиз контура Детали на Плато Графит ТМ



Пример проектирования: Простановка размеров на чертеже.



Управление простановкой размеров выполняется на вкладке Плато Графит ТМ. Опция Формировать графическую структуру РАЗМЕРОВ включает модуль генерации размеров на графическом документе. Предусмотрен ряд опций, управляющих размещением размеров на чертеже и высотой размерного текста.

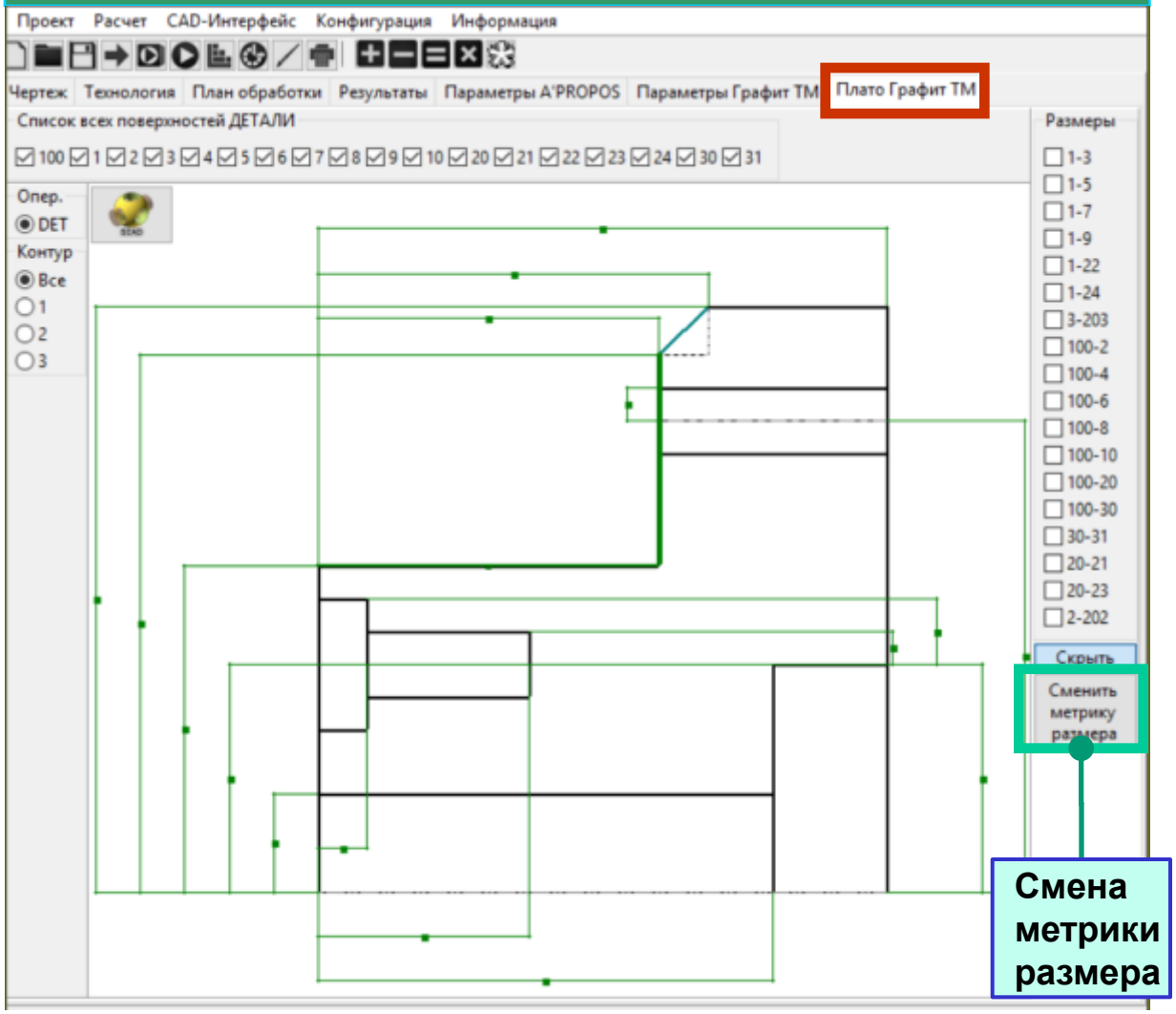
Опции, управляющие размещением размеров

Опции отображения в протоколе расчета

Пример проектирования: Простановка размеров на чертеже.

Схема размещения размеров проверяется на Плато Графит ТМ или вызовом **CAD-системы**, связанной с проектом. Для управления размещением индивидуального размера предусмотрен параметр «Метрика размера», позволяющая пользователю фиксировать положение размера. Изменение метрики размера выполняется на Плато Графит ТМ или прямо в таблицах «Чертеж» и «Технология».

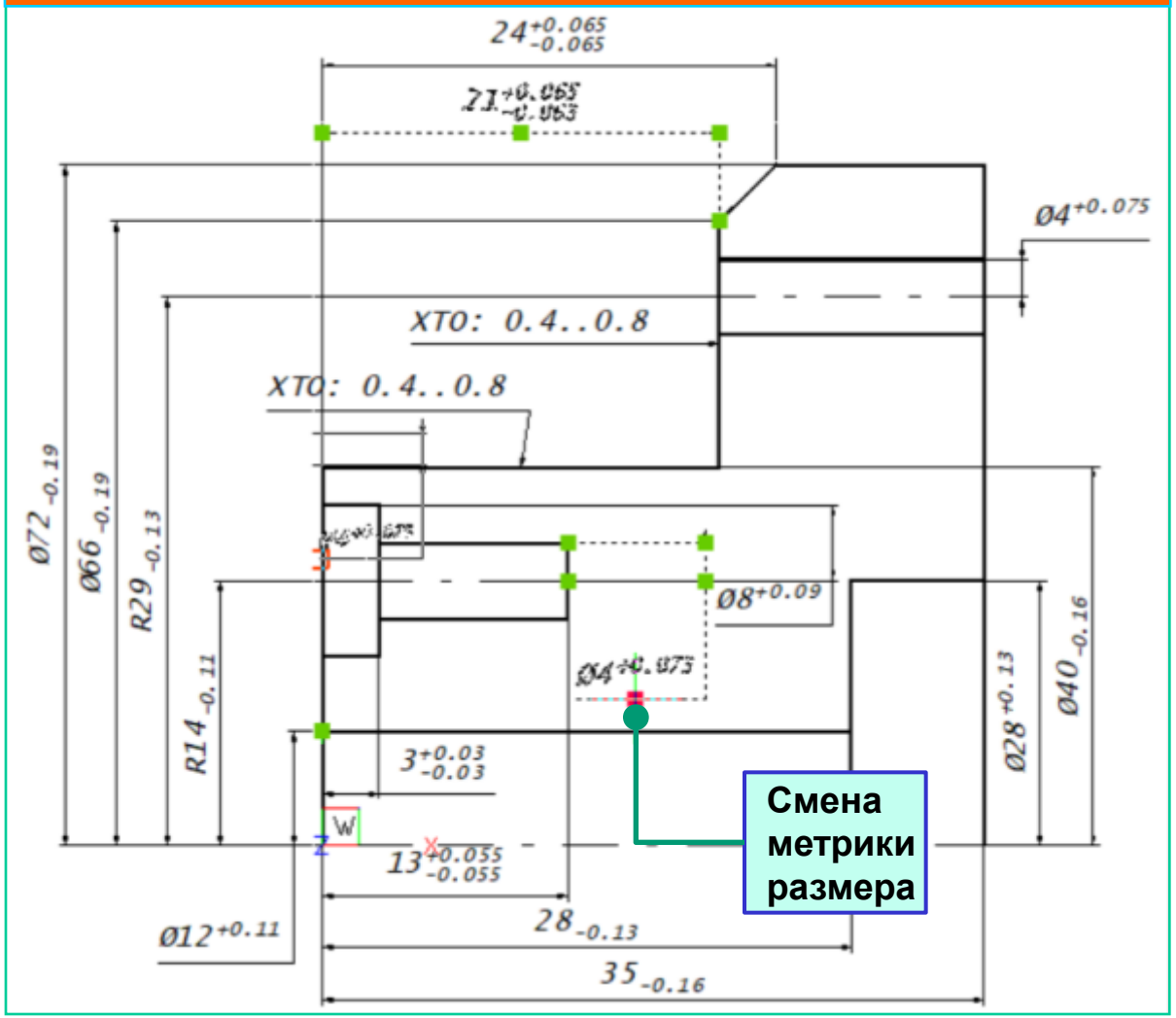
Эскиз контура Детали и Размерной схемы на плато Графит ТМ



Пример проектирования: CAD - простановка размеров на чертеже.

При вызове **CAD-системы**, связанной с проектом, происходит построение размеров на основе команд самой **CAD-системы**. Управление размещением индивидуального размера производится средствами самой **CAD**. При последующем реэкспорте модели в систему A'PROPOS его измененная метрика сохраняется в таблицах «Чертеж» и «Технология».

CAD-система



Пример проектирования: Формирование состава Заготовки

Задать поверхность как ПОКРЫТИЕ
Задать поверхность как часть Конуса
Убрать поверхность из состава ЗАГОТОВКИ
Проверка уникальности номеров

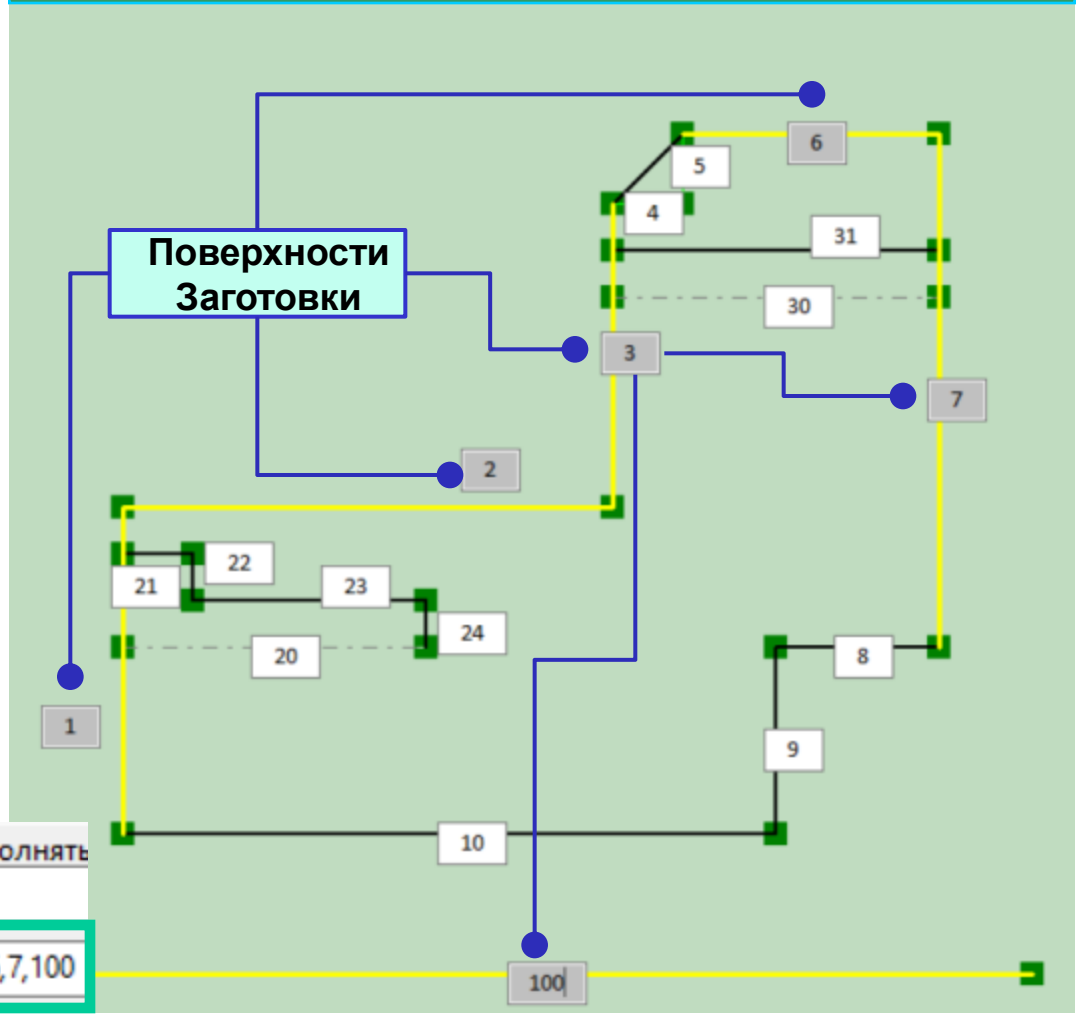
Включить / убрать из состава Заготовки

При включении поверхности в состав Заготовки ее индикатор закрашивается серым цветом, а на вкладке Параметры Графит ТМ, формируется список Заготовки. Модель и Список ассоциативны.

Параметры Графит ТМ

Параметры ПЛАНА ОБРАБОТКИ
Возможные начала технолог. размеров:
Использовать ЗАГОТОВКУ из Технологии
Задать состав ЗАГОТОВКИ (список пов.):
Дополнять
1,2,3,6,7,100

Чертилка-Модель облика детали + состав Заготовки



Пример проектирования: Синтез Плана обработки

Состав Заготовки

Полный состав поверхностей Детали

На основе параметров точности поверхностей детали, состава и точности заготовки формируются этапы обработки, их точность и min снимаемые припуски.

План обработки

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

	Пов сти	Заг IT	МО1 IT	Zmin	ТО1 IT	МО2 IT	Zmin	ХТО IT	МХТ IT	Zmin	ТО2 IT	МО3 IT	Zmin	ПОК IT	МПС IT	Zmin	МО4 IT	Zmin	ГАЛ IT	Дет IT	Пов сти
1	100	9																		9	100
2	1	14				11	0.7													11	1
3	2	14	11	1.5		9	0.7		8	0.3										9	2
4	3	14				11	0.7		10	0.3										11	3
5	4					11	0.7					9	0.2							9	4
6	5					11	0.7					11	0.2							11	5
7	6	14				11	0.7					9	0.2							9	6
8	7	14				11	0.7													11	7
9	8					11	0.7					9	0.2							9	8
10	9					11	0.7													11	9
11	10		13	1.5		10	0.7													10	10
12	20					11	0													11	20
13	21					11	0.7					9	0.2							9	21
14	22					11	0.7													11	22
15	23					11	0.7					9	0.2							9	23
16	24					11	0.7													11	24
17	30					11	0													11	30
18	31					11	0.7					9	0.2							9	31
19	203							14												15	203
20	202							14												15	202

Этап1

Квалитет

Z min

ХТО

Полный состав поверхностей Детали и их точность (квалитет)

Этап финальной обработки

Пример проектирования: Синтез вариантов размерных связей ТП

Протокол синтеза вариантов операционных размерных связей

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ

ДАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Номер опер.	Начало разм.	Конец. разм.	Минимальный припуск	Квалит. (класс)	Номинал размера	Верхнее отклон.	Нижнее отклон.	Идент. размера	
0	1	3		14				L1	
0	1	7		14				L2	
120	3	1	0.700	14				L3	
120	7	1		14				L3	*
120	1	3	0.700	14				L4	
120	7	3		14				L4	*
120	1	5	0.700	14				L5	
120	3	5		14				L5	*
120	7	5		14				L5	*
120	1	7	0.700	14				L6	
120	3	7		14				L6	*
120	1	9	0.700	14				L7	
120	3	9		14				L7	*
120	7	9		14				L7	*
127	1	22	0.700	14				L8	
127	3	22		14				L8	*
127	7	22		14				L8	*
127	1	24	0.700	14				L9	
127	3	24		14				L9	*
127	7	24		14				L9	*
171	3	203		14				C10	
180	1	3	0.300	14				L11	
180	7	3		14				L11	*
240	1	5	0.200	14				L12	
240	3	5		14				L12	*
240	7	5		14				L12	*

Констр. размеров - 7
Технол. размеров - 12

W012 Расчет с оптимизацией технологических размеров в направлении 0.
Имена размеров, имеющих варианты простановки, помечены символом "*"
L3 L4 L5 L6 L7 L8 L9 L11 L12

Варианты простановки размеров L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L11, L12

Система на основе плана обработки синтезирует варианты простановки операционных размеров и проводит оптимизацию по критерию достижения максимальных полей допусков размеров. На основе выбранной схемы размерной связи производится расчет технологических размерных цепей. Сформированные варианты могут быть записаны в таблицу «Технология».

Пример проектирования: Синтез вариантов размерных связей ТП

Протокол синтеза вариантов операционных размерных связей

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Граф

```
СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ
 Z(  1 / 120)=+L1  -L3
 K(  1 -  22)=+L8
 K(  1 -  24)=+L9
 K(  1 -   3)=+L11
 K(  1 -   5)=+L12
 K(  1 -   9)=+L7
 K(  1 -   7)=+L6
 Z(  3 / 120)=-L3  +L4
 Z(  3 / 180)=-L4  +L11
 K(  3 - 203)=+L4  +C10 -L11
 Z(  5 / 240)=-L5  +L12
 Z(  7 / 120)=-L1  +L2  +L3  -L6

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ И ПРИПУСКОВ
```

Номер опер.	Начало р-ра	Конец р-ра	Идент. р-ра	Номинал размера	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалит. (заданный)	Снимаемый припуск
0	1	3	L1	20.600	+0.260	-0.260	14(14)	
0	1	7	L2	38.000		-0.620	14(14)	
120	3	1	L3	19.500	+0.260	-0.260	14(14)	0.580 +1.040
120	1	3	L4	20.570	+0.065	-0.065	11(14)	0.745 +0.650
120	1	5	L5	23.500	+0.260	-0.260	14(14)	
120	1	7	L6	35.000		-0.160	11(14)	0.760 +1.820
120	1	9	L7	28.000		-0.130	11(14)	
127	1	22	L8	3.000	+0.030	-0.030	11(14)	
127	1	24	L9	13.000	+0.055	-0.055	11(14)	
171	3	203	C10	0.960	+0.140		13(14)	
180	1	3	L11	21.000	+0.065	-0.065	11(14)	0.300 +0.260
240	1	5	L12	24.000	+0.065	-0.065	11(14)	0.175 +0.650

На основе оптимизированных технологических размерных цепей производится расчет номинальных значений технологических размеров, их допусков и снимаемых припусков Сформированные данные переносятся в таблицу «Технология». Следующим шагом, после определения размерной схемы, является расчет технологических отклонений расположения.

Пример проектирования: Перенос вариантов размерных связей ТП

Фрагмент вариантов размерной структуры Технологии

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато

A'PROPOS (план обработки)

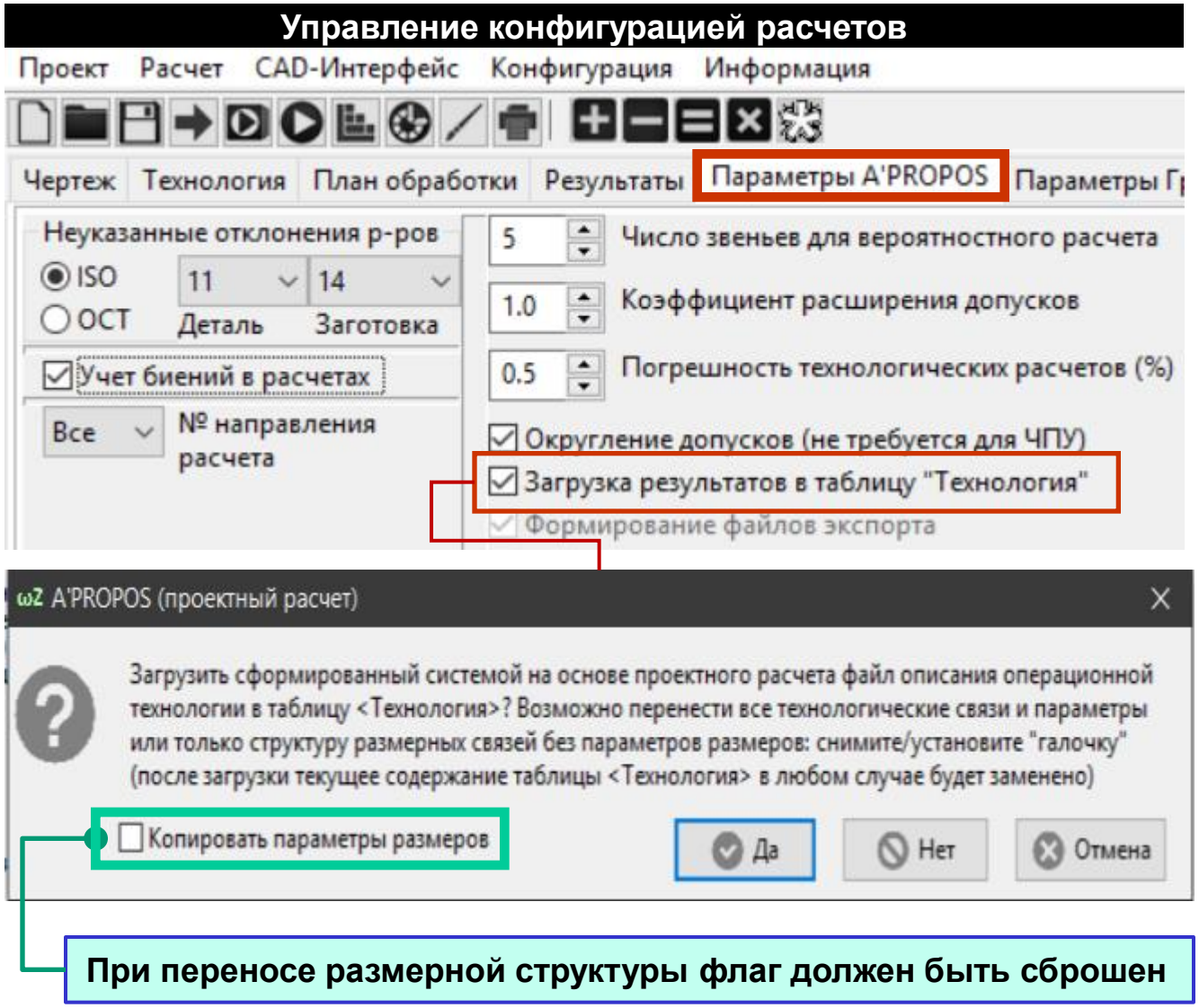
Загрузить сформированный системой на основе плана обработки файл описания операционной технологии в таблицу <Технология>? (содержание таблицы <Технология> при этом будет заменено)

Да | Нет | Отмена

	Номер операц	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл	Нижнее откл	Квалитет	Минимал. припуск
1								
2								
3								
4								
5								1.50
6								1.50
7	120	3	1				11	0.70
8	120	7					11	0.70
9	120	100	2	D			9	0.70
10	120	1	3				11	0.70
11	120	7					11	0.70
12	120	100	4	D			11	0.70
13	120	1	5				11	0.70

Вариант простановки размеров до поверхности номер 3

Пример проектирования: Перенос вариантов размерных связей ТП



При переносе размерной структуры флаг должен быть сброшен

Перед расчетом биений необходимо перенести сформированную размерную структуру в таблицу «Технология». Для переноса нужно включить флаг Загрузка на вкладке Параметры A'PROPOS. Рекомендуется не копировать параметры размеров, поскольку позже они будут уточнены по результатам расчета с учетом технологических биений. Номиналы и допуски переноситься не будут.

Пример проектирования: Задание конструкторских биений

Фрагмент таблицы «Чертеж» с указанием отклонений расположения

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

	Начало размера	Конец размера	Тип поверхн.	Направ ление	Номинальное значение	Верхнее отклонение	Нижнее отклонение	Метрика размера
8	1	3	ПР		57			
9	8	4	ОТВ		D64			
10	1	2	ПР		34			
11	8	9	ОТВ		D16			
12	1	102	ОСЬ		46			
13	102	21	ОТВ		D8			
14	4	22	ПР		7			
15	102	23	ВАЛ		d12			
16	8	103	ОСЬ	1	R18			
17	103	33	ОТВ	1	D12			
18	9	7	РБ		0.1			
19	9	6	ТБ		0.1			
20	1	30	ЛВ		20			
21	9	7	РБ		0.1			
22	9	6	ТБ		0.1			
23								

Величины неуказанных чертежных биений. Структура формируется системой автоматически.

Параметры A'PROPOS

Неуказанные отклонения р-ров

ISO 11 14

ОСТ Деталь Заготовка

☑ Учет биений в расчетах

Все № направления расчета

Явно указанные данные Чертежа, связанные с учетом биений

Пример проектирования: Расчет технологических биений

Фрагмент выбранной размерной структуры табл. «Технология» по результатам оптимизации

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

	Номер операц.	Технол. база	Допуск располож.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалитет	Минимал. припуск
1				100	2	D			h14	
2				1	3				js14	
3				100	6	D			h14	
4				1	7				h14	
5	60	1		100	2	D			h11	1.49
6	60	1		100	10	D			H13	
7	120	2		3	1				js11	0.67
8	120	1		100	2				h9	0.72
9	120	2		1	3				js10	0.69
10	120	1		100	4				h11	
11	120	2		1	5				js11	
12	120	1		100	6				h11	0.68
13	120	2		1	7				h11	0.85
14	120	1		100	8				H11	
15	120	2		1	9				h11	
16	120	1		100	10	D			H10	0.71

Колонки, связанные с учетом биений

Параметры A'PROPOS

Неуказанные отклонения р-ров

ISO 11 14

ОСТ Деталь Заготовка

☑ Учет биений в расчетах

Все № направления расчета

Пример проектирования: Протокол расчета технологических биений

Фрагмент протокола расчета операционных отклонений расположения

Чертеж | Технология | План обработки | **Результаты** | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

```
 B(  4 -   1)=+b26
 B(  4 -   2)=+b24 +b26
 B(  4 -   3)=+b24 +b25 +b26
 B(  4 -   5)=+b24 +b26 +b27
 B(  4 -   6)= 0
 B(  4 -   7)=+b8  +b13 +b26
 B(  4 -   8)= 0
 B(  4 -   9)=+b8  +b15 +b26
 B(  4 -  10)=+b16 +b26
 B(  4 -  21)=+b26 +b30
 B(  4 -  22)=+b8  +b18 +b26
 B(  4 -  23)=+b26 +b31
 B(  4 -  24)=+b8  +b20 +b26
 B(  4 -  31)=+b26 +b32
wZ(  4 / 240)=+b10 +b26
wZ(  1 / 120)=+b5  +b7
 B(  2 - 202)=+b22 +b24
wZ(  2 / 180)=+b8  +b24
 B(  3 - 203)=+b23 +b24 +b25
wZ(  3 / 180)=+b8  +b9  +b24 +b25
wZ(  5 / 240)=+b8  +b11 +b24 +b27
wZ(  6 / 240)=+b12 +b28
wZ(  7 / 120)=+b1  +b4  +b5  +b7
wZ(  8 / 240)=+b14 +b29
wZ( 10 / 120)=+b7  +b16
wZ( 21 / 247)=+b17 +b30
wZ( 23 / 247)=+b19 +b31
wZ( 31 / 254)=+b21 +b32
wZ(  6 / 120)=+b1  +b3  +b5  +b7
wZ(  3 / 120)=+b1  +b2  +b5  +b7
wZ(  2 / 120)=+b7  +b8
wZ(  2 /  60)=+b1  +b5
```

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ

Номер операции	Базовая поверх.	Коорд. поверх.	Идентиф. откл.расп.	Значение откл.расп.	Биение припуска
0	1	2	b1	0.430	
0	2	3	b2	0.430	
0	2	6	b3	0.208	
0	2	7	b4	0.210	
60	1	2	b5	0.160	+0.494
60	1	10	b6	0.160	
120	2	1	b7	0.100	+0.204
120	1	2	b8	0.040	+0.116
120	2	3	b9	0.100	+0.711
120	1	4	b10	0.040	
120	2	5	b11	0.100	
		6	b12	0.040	+0.566
		7	b13	0.100	+0.579
		8	b14	0.040	
		9	b15	0.100	
		10	b16	0.060	+0.126
		21	b17	0.160	
		22	b18	0.100	
		23	b19	0.160	
		24	b20	0.100	
134	1	31	b21	0.160	
171	1	202	b22	0.160	
171	1	203	b23	0.160	
180	1	2	b24	0.080	
180	2	3	b25	0.080	
240	1	4	b26	0.080	+0.097
240	2	5	b27	0.080	+0.171
240	1	6	b28	0.080	+0.097
240	1	8	b29	0.080	+0.097
247	1	21	b30	0.080	+0.193
247	1	23	b31	0.080	+0.193
254	1	31	b32	0.100	+0.204

Величина биения

Уравнения размерных цепей отклонений расположения

Колебание припуска от биения wZ

Пример проектирования: Влияние биений на допуски и припуски

Фрагмент протокола расчета операционных отклонений расположения

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | **Результаты** | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

```
СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ РАЗМЕРНЫХ ЦЕ
 K(100 -  10)=+D9
 K(100 -   8)=+D19
 K(100 -  20)=+L10
 K(100 -   2)=+D16
 K(100 -  30)=+L13
 K(100 -   4)=+D17
 K(100 -   6)=+D18
 Z( 10 / 120)=-D4   +D9
 Z(  8 / 240)=-D8   +D19
 K( 20 -  23)=+D21
 K( 20 -  21)=+D20
 Z( 23 / 247)=-D12  +D21
 Z( 21 / 247)=-D11  +D20
 K(  2 - 202)=-D5   +C15  +D16
                    +b22  +b24
 Z(  2 / 180)=+D5   -D16
 Z(  2 / 120)=+D3   -D5
 Z(  2 /  60)=+D1   -D3
 K( 30 -  31)=+D22
 Z( 31 / 254)=-D14  +D22
 Z(  4 / 240)=+D6   -D17
 Z(  6 / 240)=+D7   -D18
 Z(  6 / 120)=+D2   -D7
```

ХТО, типичный кольцевой размер

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ И ПРИПУСКОВ

Номер опер.	Начало р-ра	Конец р-ра	Идент. р-ра	Номинал размера	Верхнее откл.	Нижнее откл.	Квалит. (заданный)	Снимаемый припуск		
0	100	2	D1	46.600		-0.620	14(14)			
0	100	6	D2	75.200		-0.740	14(14)			
60	100	2	D3	42.500		-0.160	11(11)	1.493	+0.637	wZ
60	100	10	D4	10.200	+0.270		13(13)			
120	100	2	D5	40.800		-0.039	8 (9)	0.712	+0.158	wZ
120	100	4	D6	66.600		-0.190	11(11)			
120	100	6	D7	72.600		-0.190	11(11)	0.647	+0.748	wZ
120	100	8	D8	27.400	+0.130		11(11)			
120	100	10	D9	12.000	+0.070		10(10)	0.702	+0.233	wZ
127	100	20	L10	14.000		-0.110	11(11)			
127	20				090		11(11)			
127	20				075		11(11)			
134	100					-0.130	11(11)			
134	30				075		11(11)			
171	2				140		13(14)			
180	100					-0.039	8 (8)	0.382	+0.087	wZ
240	100					-0.074	9 (9)	0.207	+0.180	wZ
240	100					-0.074	9 (9)	0.207	+0.180	wZ
240	100	8	D19	28.000	+0.052		9 (9)	0.187	+0.139	wZ
247	20	21	D20	8.000	+0.036		9 (9)	0.208	+0.160	wZ
247	20	23	D21	4.000	+0.030		9 (9)	0.216	+0.149	wZ
254	30	31	D22	4.000	+0.030		9 (9)	0.210	+0.155	wZ

Зоны влияния учета отклонений расположения поверхностей

Пример проектирования: Перенос уточненной размерной структуры

Фрагмент уточненной размерной структуры «Технология» по результатам расчета биений

Проект Расчет CAD-Интерфейс Конфигурация Информация

Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры Графит ТМ | Плато Графит ТМ

	Номер операц.	Технол.	Допуск	Начало	Конец	Номинальное	Верхнее	Нижнее	Квал	Минимал.
1										
2										
3										
4										
5	60									
6	60									
7	120									
8	120									
9	120									
10	120									
11	120									
12	120	1	0.040	100	6	D 72.600		-0.1900	h11	0.65
13	120	2	0.100	1	7	35.000		-0.1600	h11	0.85
14	120	1	0.040	100	8	D 27.400	0.1300		H11	
15	120	2	0.100	1	9	28.000		-0.1300	h11	
16	120	1	0.060	100	10	D 12.000	0.0700		H10	0.70

ωZ A'PROPOS (проектный расчет)

Загрузить сформированный системой на основе проектного расчета файл описания операционной технологии в таблицу <Технология>? Возможно перенести все технологические связи и параметры или только структуру размерных связей без параметров размеров: снимите/установите "галочку" (после загрузки текущее содержание таблицы <Технология> в любом случае будет заменено)

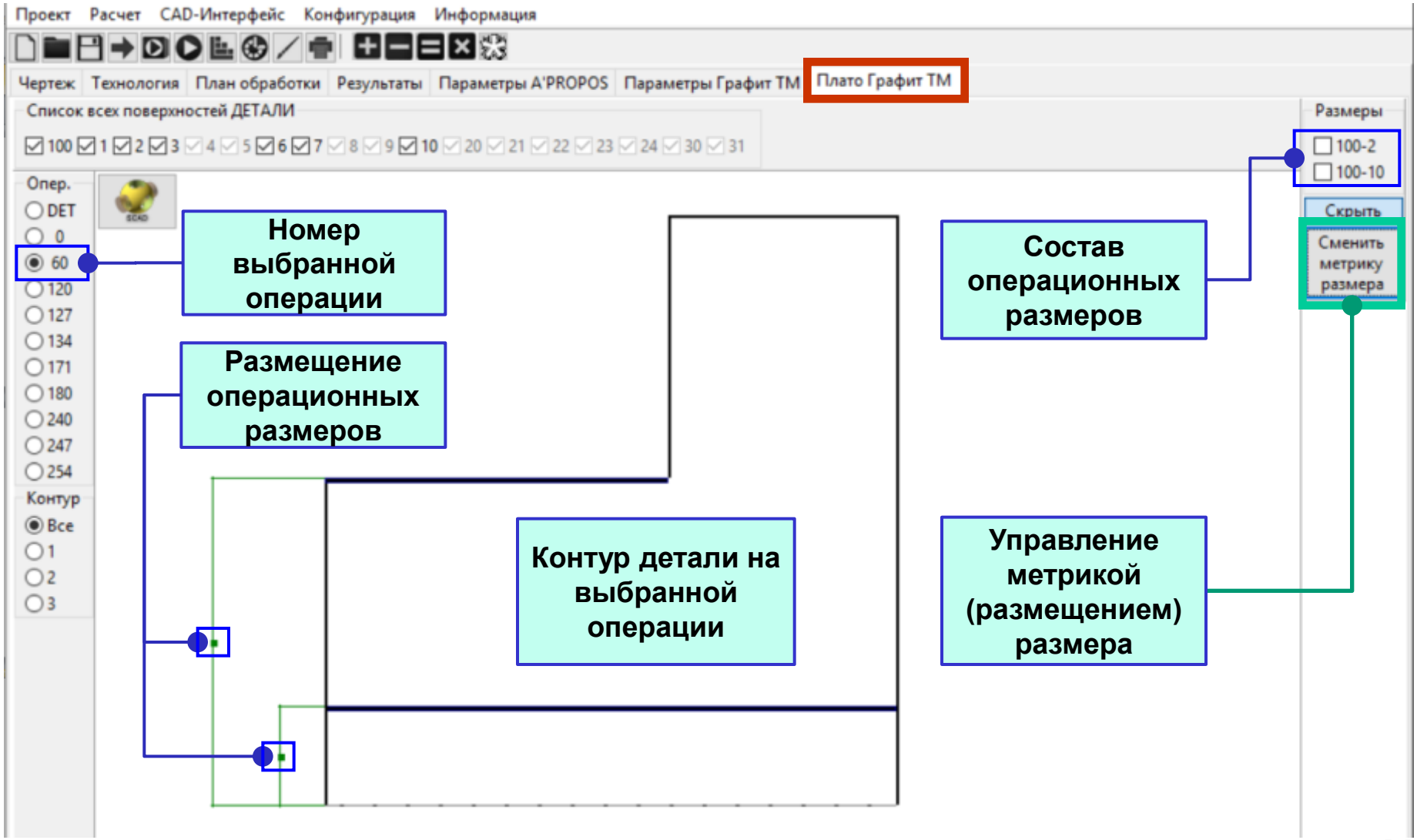
☑ Копировать параметры размеров

Да | Нет | Отмена

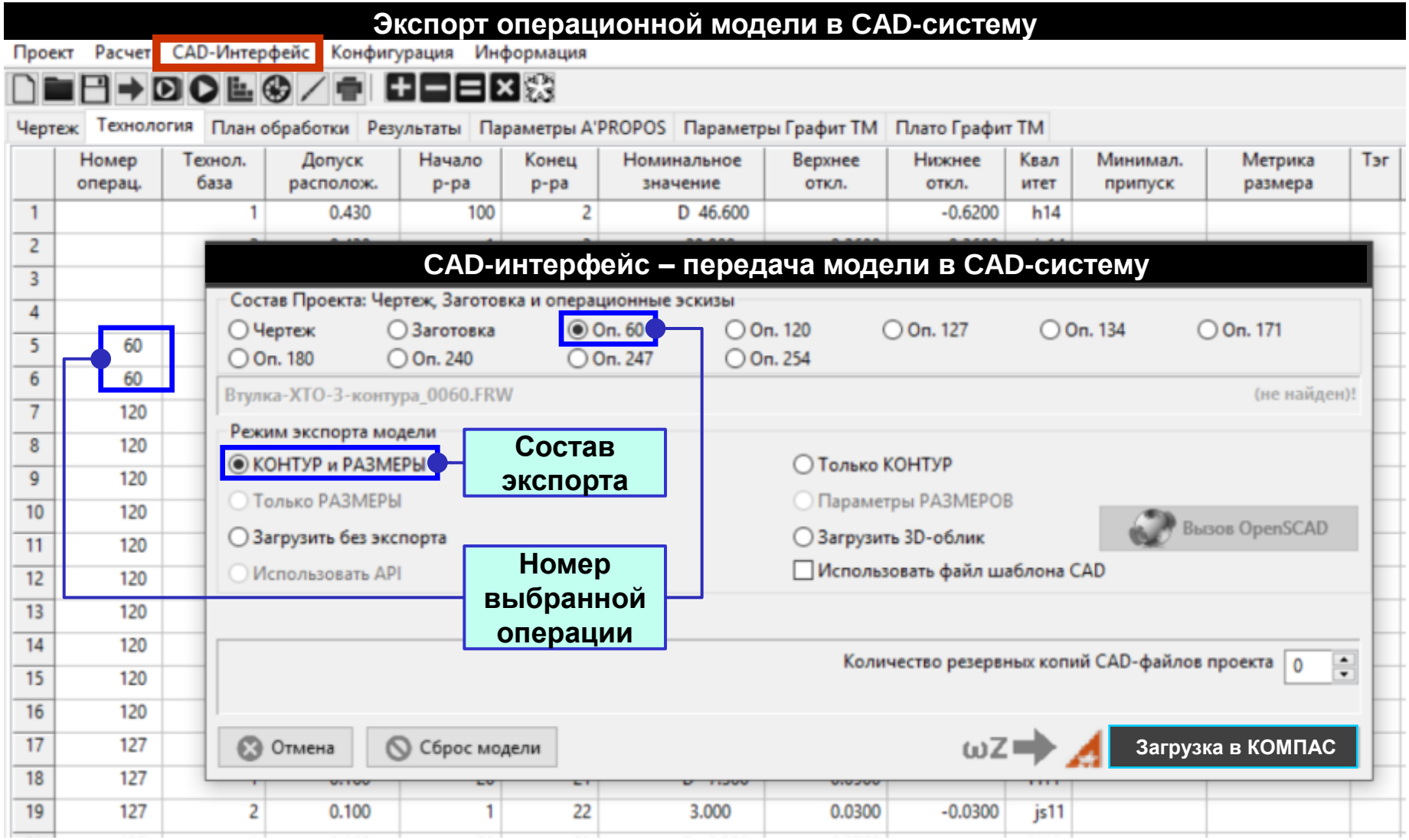
При переносе размерной структуры флаг должен быть установлен

Пример проектирования: Синтез операционных графических моделей

Сформированная операционная графическая модель на вкладке «Плато Графит ТМ»



Пример проектирования: Передача операционной модели в CAD-систему



Пример проектирования: CAD - загрузка операционной модели

CAD-система: Пример-ХТО-3-контура_0060.FRW

Команды Графит ТМ

Контур, размеры, ХТО/ПОКРЫТИЯ

GNUM	Нумерация поверхностей контура детали
GDIM	Простановка размера
GXTO	Нанесение ХТО и ПОКРЫТИЙ

Редактирование объектов Графит ТМ

GE	Редактирование любого объекта системы
GEM	Редактирование номера поверхности
GED	Редактирование размера
GEXTO	Редактирование ХТО и ПОКРЫТИЙ
GK	Изменение списка контуров детали

Запросы к объектам Графит ТМ

GM	Индикация поверхности по ее номеру
GMAR	Режим отрисовки номеров поверхностей
GSHOW	Показ номера и типа поверхности
GSHOWALL	Показ номеров всех поверхностей

Графит ТМ --> A'PROPOS экспорт

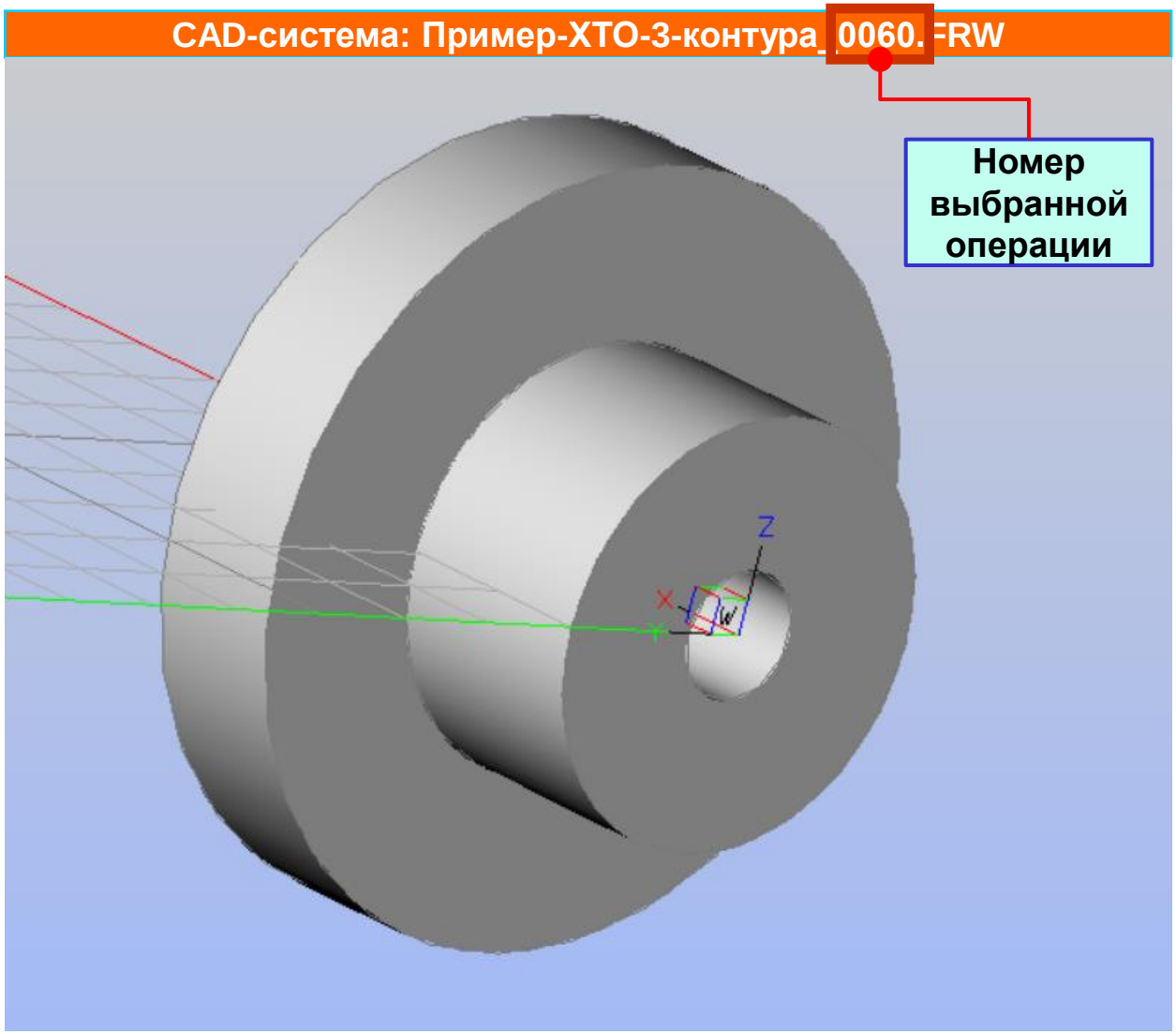
GAPR	Формирование и экспорт модели ДЕТАЛИ
GAPRZ	Формирование и экспорт модели ЗАГОТОВКИ
GAPRT	Формирование и экспорт модели ОПЕРАЦИИ

Графит ТМ <-- A'PROPOS импорт

GLK	Загрузка и формирование контура ДЕТАЛИ
GLD	Загрузка и формирование размеров
GLDS	Загрузка и обновление значений размеров

Модуль Графит ТМ обеспечивает редактирование, импорт/экспорт а так же функционал, идентичный A'PROPOS для формирования семейства моделей контура и размерных связей в среде **CAD**.

Пример проектирования: CAD – загрузка операционной 3D-модели

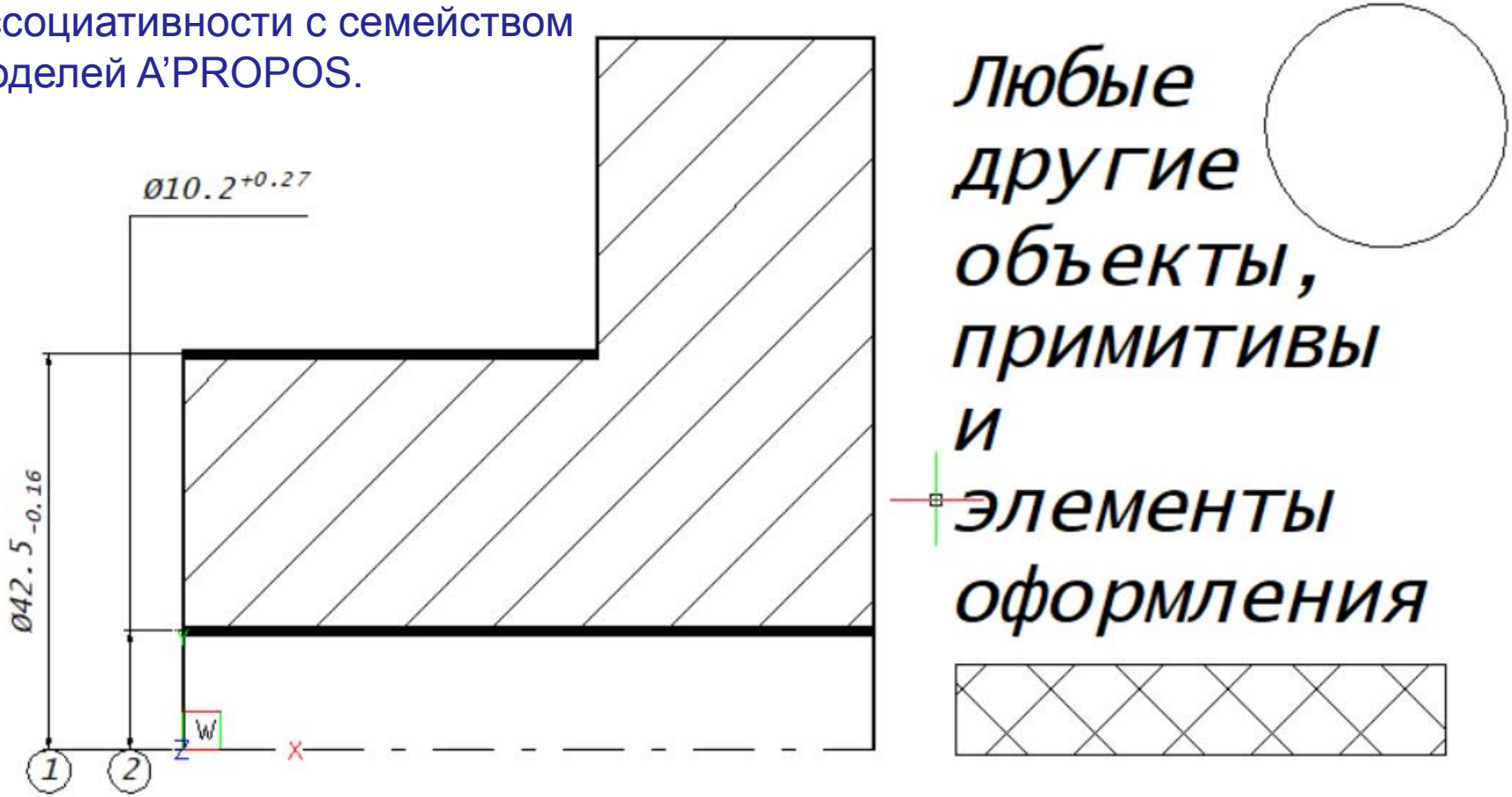


Модуль Графит ТМ обеспечивает экспорт 3D-модели операционного облика детали из A'PROPOS в **CAD**. Модель сдержит состав поверхностей, существующих и/или получаемых на данной технологической операции. Ассоциативность 3D-облика и 2D-эскиза зависит от возможностей самой **CAD-системы**.

Пример проектирования: Доводка технологических эскизов в CAD

CAD-система: Пример-ХТО-3-контура_0060.FRW

Графит ТМ распознает свои объекты и игнорирует любую другую информацию, внесенную в **CAD**. Это обеспечивает свободную доводку документа без потери ассоциативности с семейством моделей A'PROPOS.



Пример проектирования: Реэкспорт моделей из CAD в A’PROPOS

CAD-система: Пример-ХТО-3-контура_0060.FRW

При необходимости (изменении моделей в **CAD**) модуль Графит ТМ обеспечивает реэкспорт в A’PROPOS. Реэкспорт выполняется по сегментам APRx-проекта «Деталь», «Заготовка», «Операция» из отдельных CAD-файлов.

Если APRx-файл существует, он будет обновлен, иначе – создан. Если файл уже открыт в A’PROPOS система отловит изменения и автоматом обновит его.

A’PROPOS: Таблица Технология

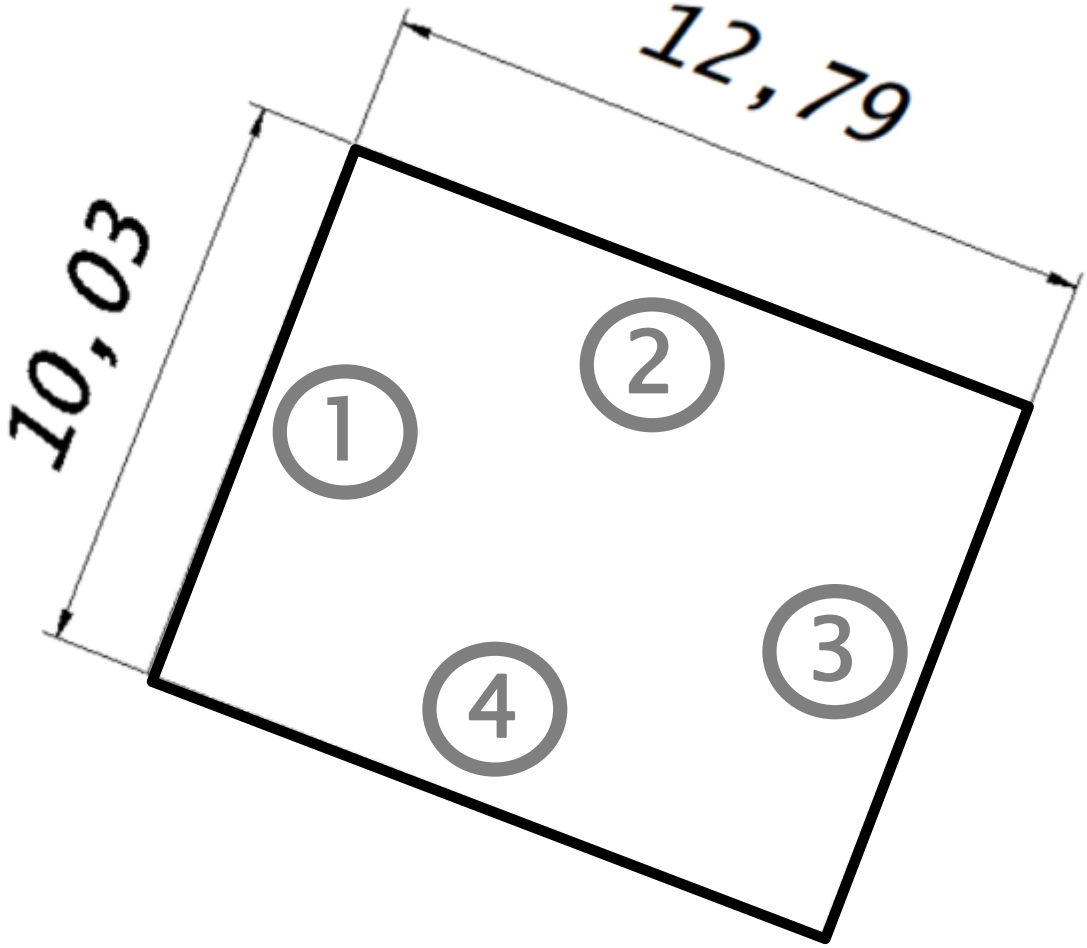
Чертеж | Технология | План обработки | Результаты | Параметры A'PROPOS | Параметры | Графит

0060 Номер выбранной операции

	Номер операц.	Технол. база	Допуск располож.	Начало р-ра	Конец р-ра	Номинальное значение	откл.	нее откл.
1		1	0.430	100	2	D 46.600		-0.6200
2		2	0.430	1	3	20.800	0.2600	-0.2600
3		2	0.208	100	6	D 75.200		-0.7400
4		2	0.210	1	7	37.800		-0.6200
5	60	1	0.160	100	2	D 42.500		-0.1600
6	60	1	0.160	100	10	D 10.200	0.2700	

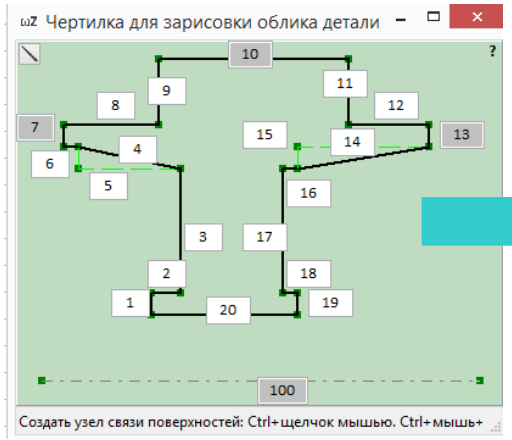
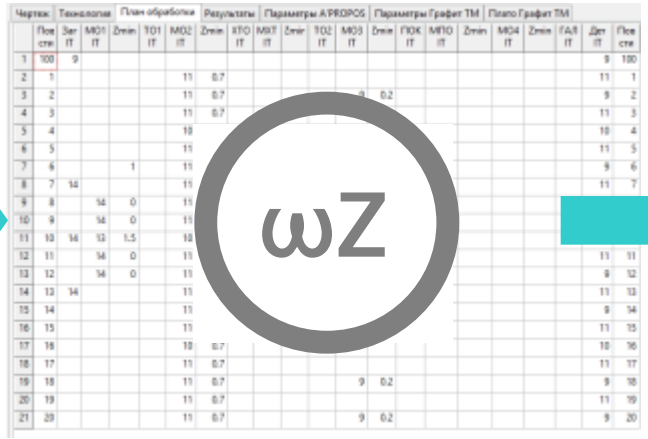
Пример проектирования: Работа с деталями «не телами вращения»

CAD-система: Не тело вращения



Если деталь не является телом вращения или ортогональной плоской фигурой, то система A'PROPOS не сможет сгенерировать контур. Тем не менее, модуль Графит ТМ обеспечивает возможность нумерации поверхностей в **CAD** и связывание их с размерной структурой в A'PROPOS. Это позволяет выполнить расчеты размеров и их последующее размещение на технологическом эскизе в **CAD-системе**.

Система A’PROPOS – Графит ТМ

Контакты для связи

Иванов Владимир Юрьевич, к.т.н.
TezisSoft@mail.ru