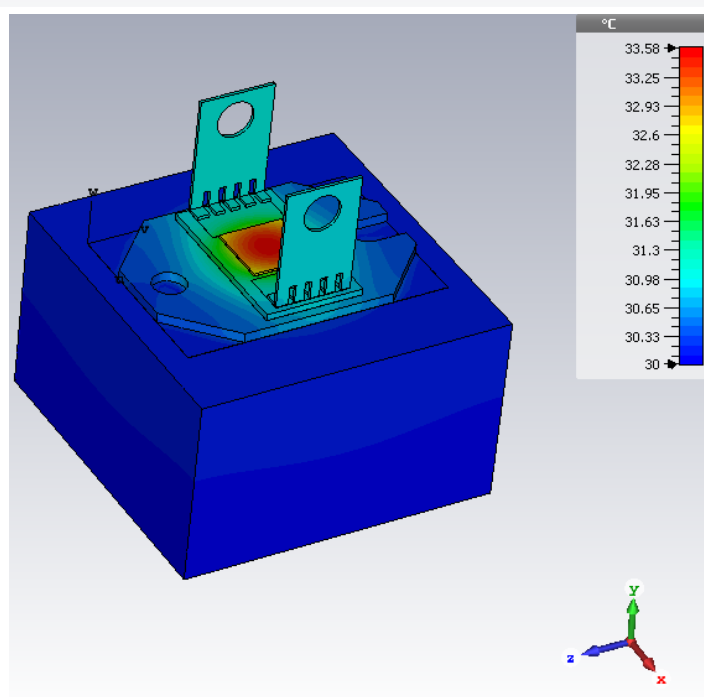
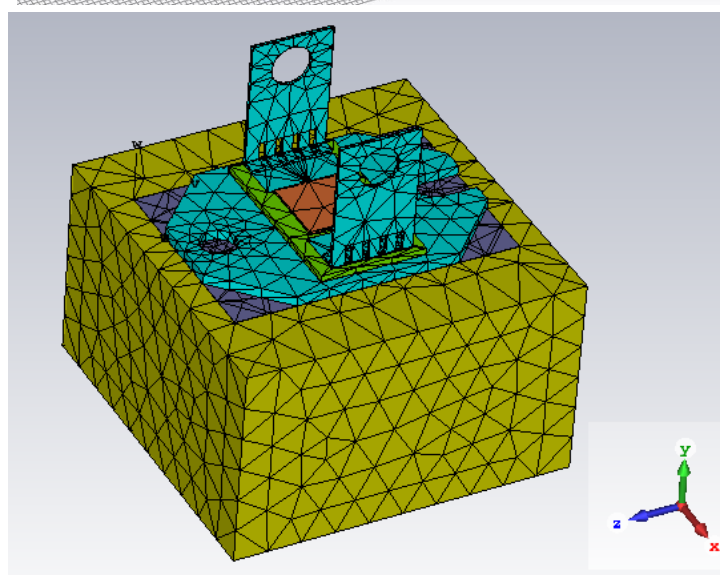
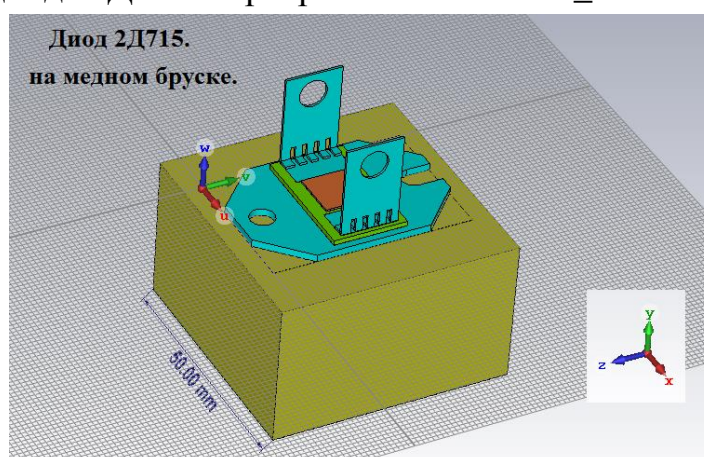


Данное краткое руководство расскажет как рассчитать тепловое сопротивление диода 2Д715 в программе Alice Flow_v0.48.



Рисунки той-же задачи из CST STUDIO SUITE для сравнения с Alice Flow.

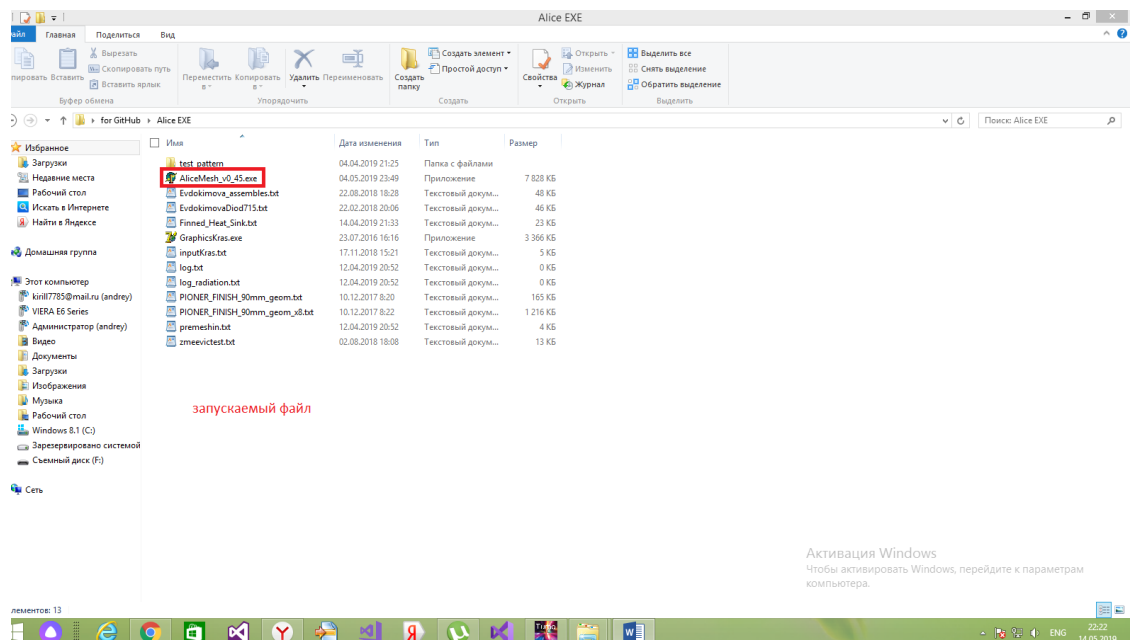
1. Запустите программу AliceMesh_v0_45.exe.

Скачайте себе на рабочий стол из интернета <https://github.com/kirill7785/algebraic-multigrid-method/tree/master/Alice%20EXE>

Папку Alice EXE содержащую программу интерфейс для черчения пользовательской модели AliceMesh_v0_45.exe. Решатель, написанный на языке Си, в папке test_pattern/solver/x64 AliceFlow_v0_48.exe.

В этом кратком руководстве будет рассказано как создать модель диода 2Д715 для расчёта теплового сопротивления с нуля в программе интерфейсе AliceMesh_v0_45.exe и произвести расчёт неявно вызывая решатель AliceFlow_v0_48.exe.

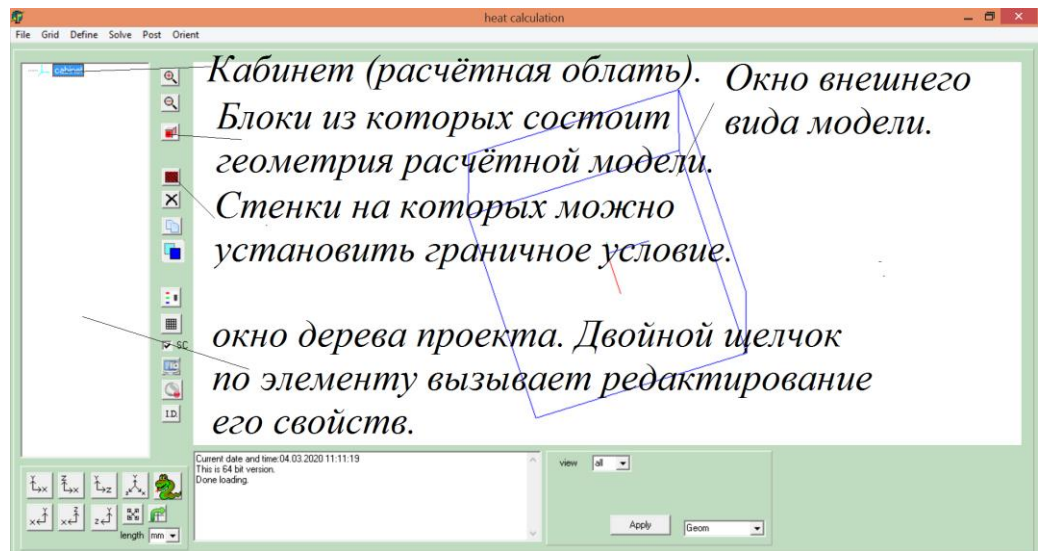
Всё черчение по созданию модели выполняется в программе интерфейсе AliceMesh_v0_45.exe. Профиль вычислительного эксперимента задаётся полностью через интерфейс программы AliceMesh_v0_45.exe и в текстовые файлы вручную ничего вводить не надо.



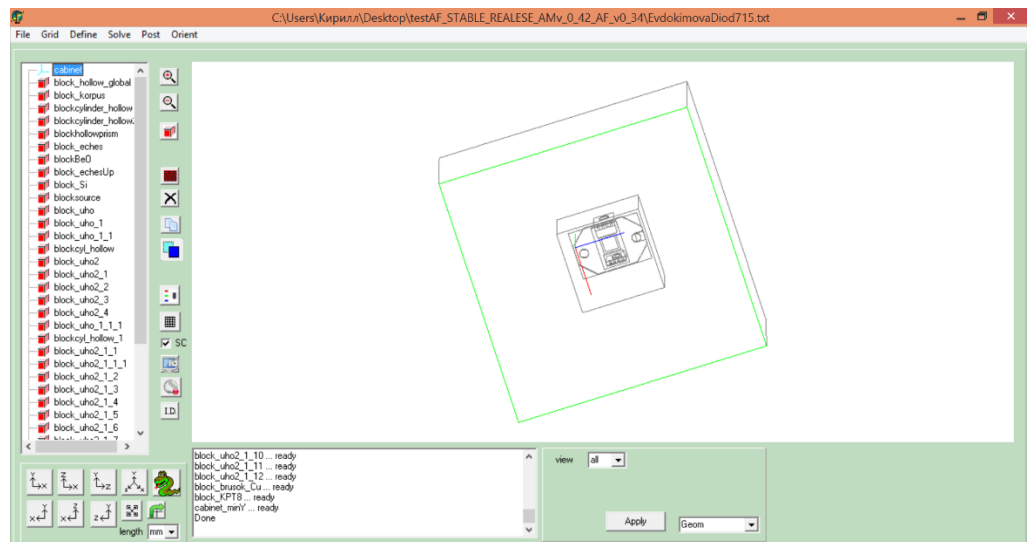
В случае многомониторной конфигурации папка с программой AliceMesh_v0_45.exe должна быть открыта на мониторе с дискриптором 0 (первый, главный монитор содержащий меню пуск).

Двойным щелчком запустите программу AliceMesh_v0_45.exe.

2. Перед вами откроется рабочее пространство системы трехмерного теплового моделирования AliceMesh_v0_45.exe.



Конечное состояние внешнего вида рабочей среды AliceMesh_v0_45.exe имеет вид.



И состоит из 44 объектов. Опишем поэтапно создание тепловой модели – приведение от начального состояния к конечному.

3. Общие соображения.

Блоки из которых состоит тепловая модель бывают трёх различных геометрических форм – прямая прямоугольная призма, цилиндр и полигон. Этого достаточно для большинства геометрических конфигураций встречающихся на практике.

The 'Add Block' dialog box is shown with the 'Geometry' tab selected. The 'geometry type' dropdown is set to 'Prism'. The 'size block' section contains the following values:

Parameter	Value	Unit
xS	1.5	mm
xE	27.5	mm
yS	1.5	mm
yE	1.525	mm
zS	13.25	mm
zE	28.75	mm

The 'Cylinder2Prism' checkbox is checked. An 'Apply' button is located at the bottom right.

Прямая прямоугольная призма (прямоугольный параллелепипед).

The 'Add Block' dialog box is shown with the 'Geometry' tab selected. The 'geometry type' dropdown is set to 'Cylinder'. The 'Plane' dropdown is set to 'YZ'. The 'size block' section contains the following values:

Parameter	Value	Unit
xC	1.6	mm
Height	0.5	mm
yC	17.05	mm
Radius	2.95	mm
zC	21.2	mm
Int radius	0.000	mm

The 'Cylinder2Prism' checkbox is checked, and the 'Fixed Cylinder' checkbox is unchecked. An 'Apply' button is located at the bottom right.

Цилиндр.

size and properties block

☐ Info ☒ Geometry ☐ Properties

geometry type: Polygon

Plane: XZ

Location

Height: 1.5 mm

x1: 0 mm

y1: 0 mm

z1: 9 mm

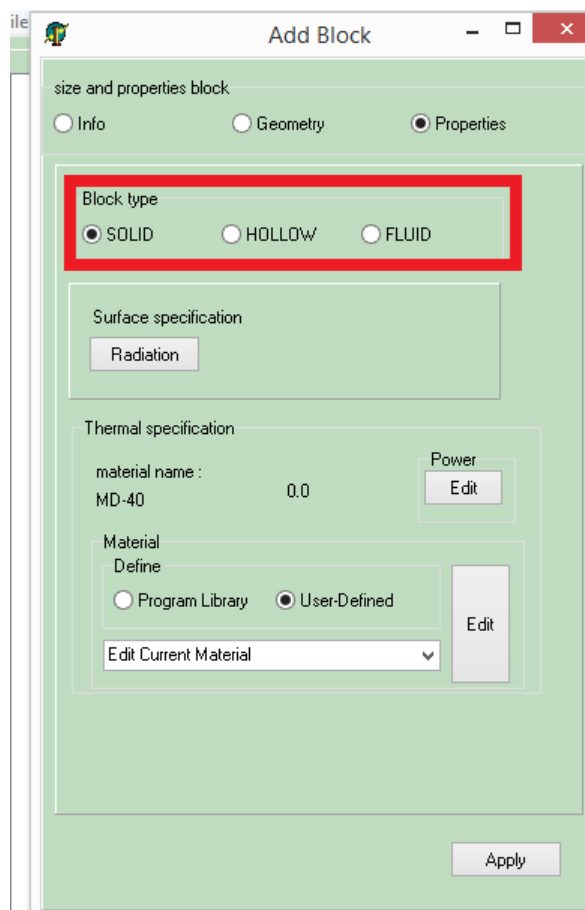
vert 1
vert 2
vert 3
vert 4
vert 5
vert 6
vert 7
vert 8

Add Remove

Apply

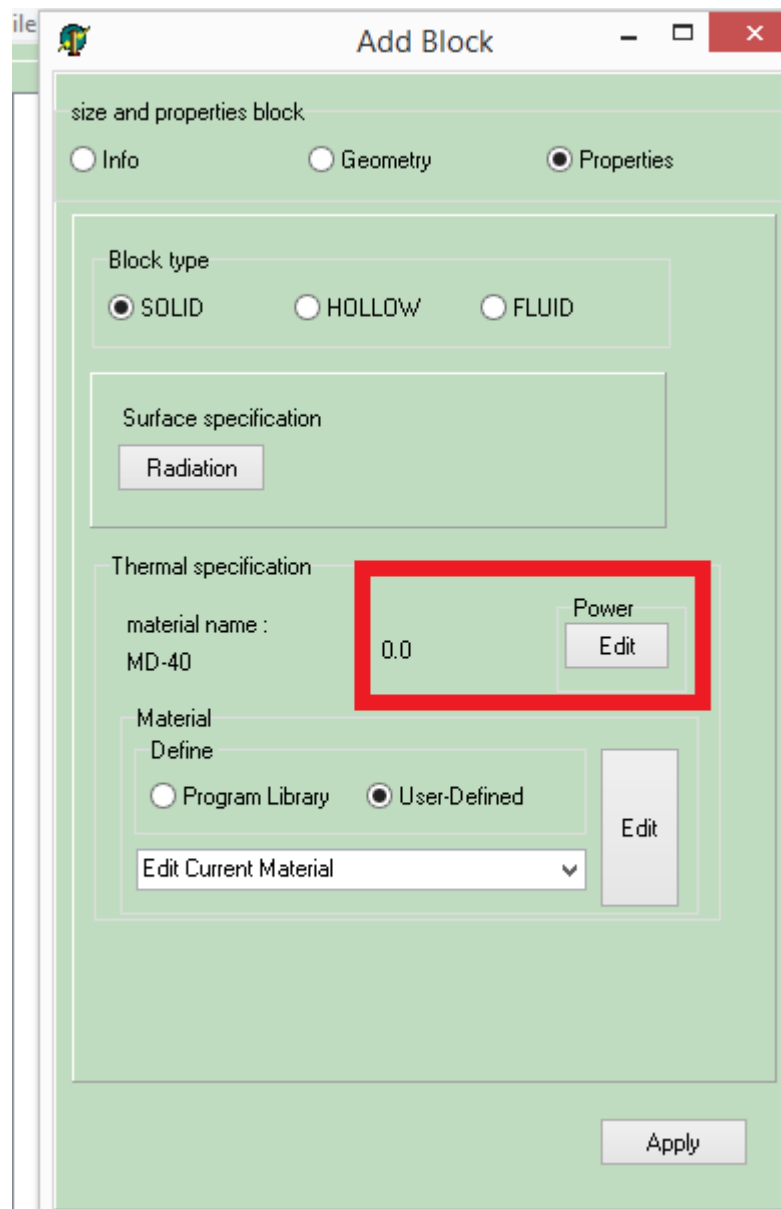
Полигон заданный в одной из трёх плоскостей.

Также блоки бывают трёх типов – **solid** – расчёт теплопередачи в твердом теле; **fluid** – расчёт гидродинамических и тепловых характеристик в данном блоке; **hollow**- блок, исключенный из расчётной области (не покрывается сеткой). *Hollow* блок нужен для формирования геометрии сложной формы – различных вырезов.

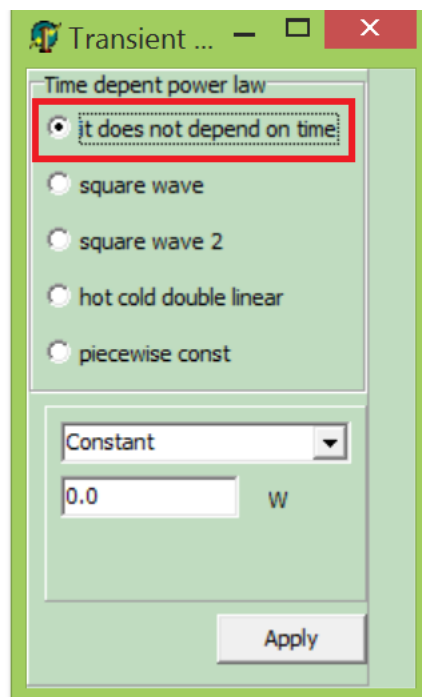


Блоки создаются последовательно. Блоки созданные позднее имеют более высокий приоритет. Если некоторая область пространства принадлежит сразу нескольким блокам, то область перекрытия считается принадлежащей блоку с наивысшим приоритетом. Приоритеты блоков можно редактировать вручную. Рекомендуется рисовать блоки последовательно и менять приоритеты только в случае крайней необходимости.

В объёме блока может происходить тепловыделение P_{diss} , Вт.



Ограничением является то, что нельзя задать тепловыделение в полигоне. Для мощности не зависящей от времени надо нажать кнопку Edit и выбрать первый пункт.



Второй пункт square wave подходит для расчёта термоциклирования во времени и задает чередование участков нагрева и остывания (импульсный режим).

Третий пункт это для спец задачи сделано и здесь рассматриваться не будет.

Четвертый пункт это нагрев до заданного времени, а потом остывание тоже до заданного времени.

Конкретные числовые значения задаются позже при запуске решателя. О них будет рассказано позже.

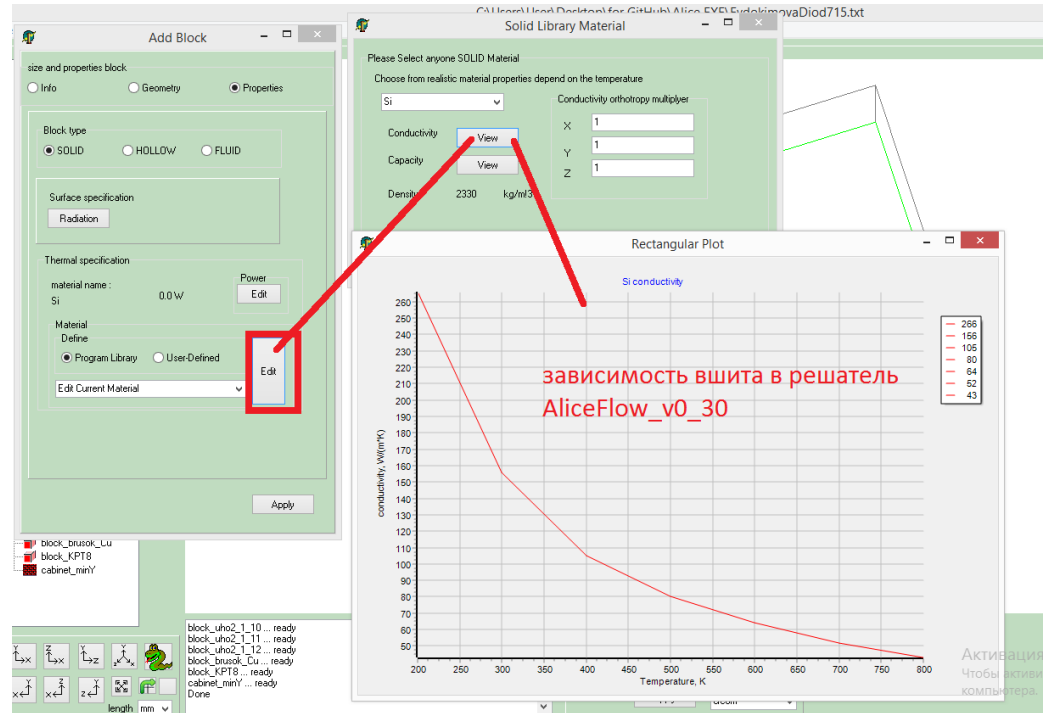
Пятым пунктом меню (piecewise const) можно задать любую пользовательскую зависимость изменения мощности от времени.

Solid блокам должен быть присвоен материал. По умолчанию это алюминий. Твёрдотельный материал описывает свойства среды для расчёта теплопередачи в твёрдом теле. Такие как плотность (кг/м^3), удельная теплоёмкость при постоянном давлении (Дж/(\кг*К)), теплопроводность (Вт/(\м*К)). При этом для стационарных расчётов (установившийся, режим не зависящий от времени) достаточно задать только теплопроводность. Для нестационарных расчётов нужно задать также плотность и теплоёмкость при постоянном давлении. Теплопроводность материала можно задать как константой, так и функцией зависящей от температуры. В программе поддерживается табличное задание функции теплопроводности от температуры. Таблично можно задать любую функциональную зависимость. Обычно

теплопроводность полупроводников падает с ростом температуры по закону

$$K_{300} \left(\frac{T}{300} \right)^{-\alpha}.$$

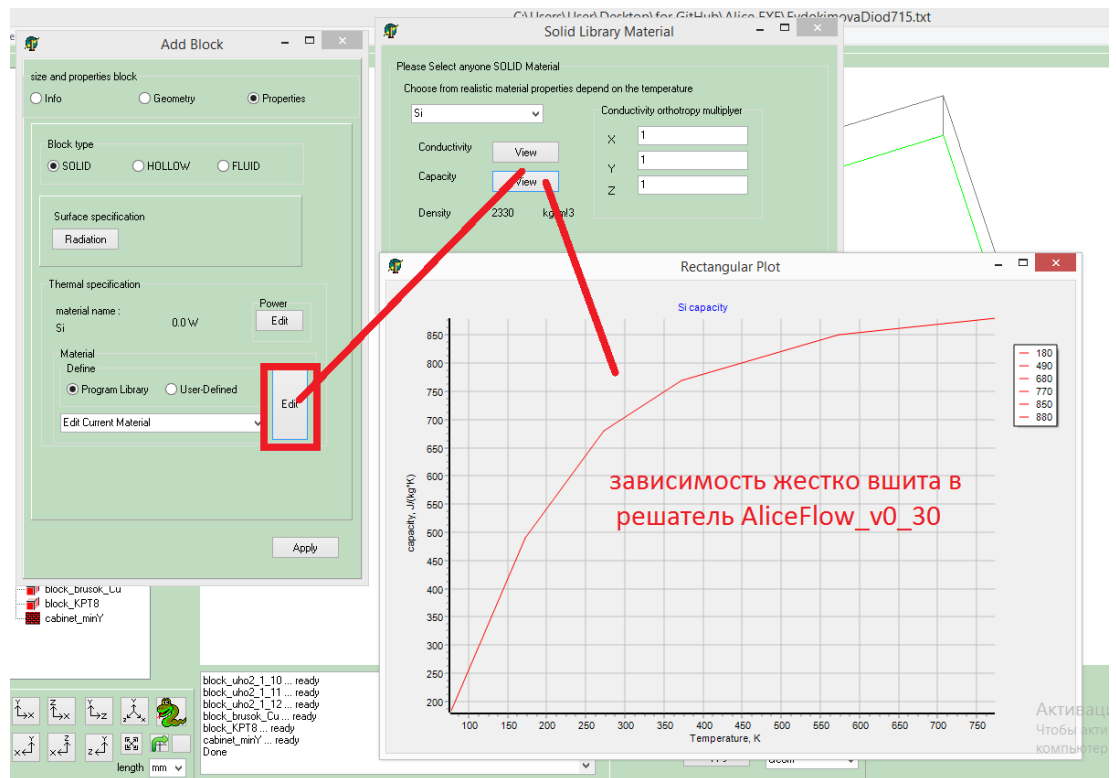
Здесь K_{300} – теплопроводность при 300К, $\alpha > 0$ – показатель степени.



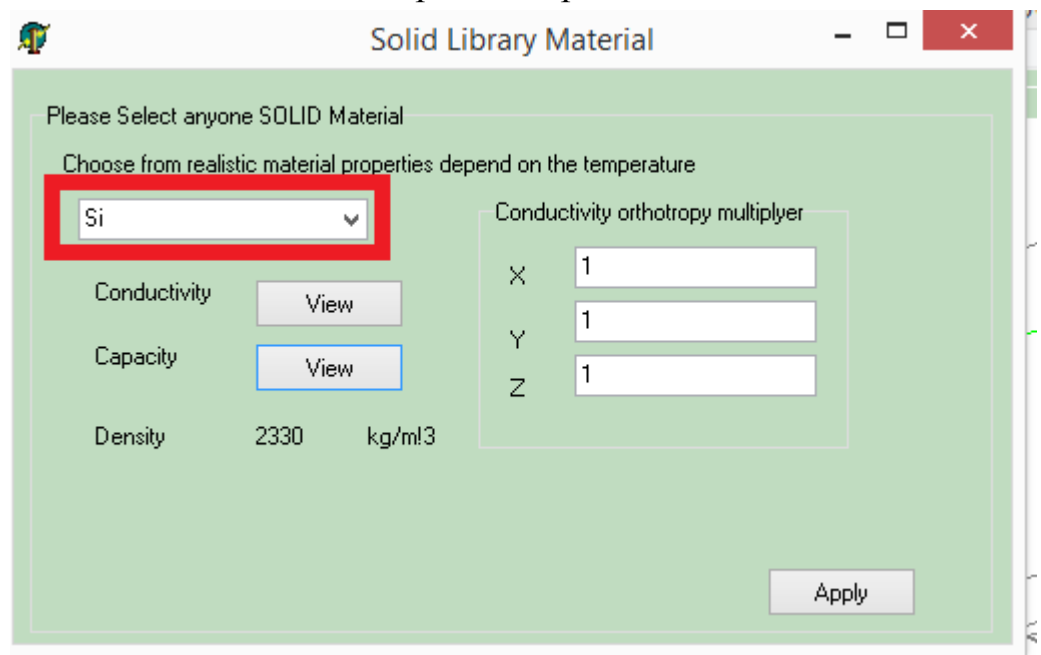
Задание теплопроводности, зависящей от температуры.

Можно задать табличную UserDefined теплопроводность.

Теплоёмкость также можно задать таблично. Она обычно возрастает.

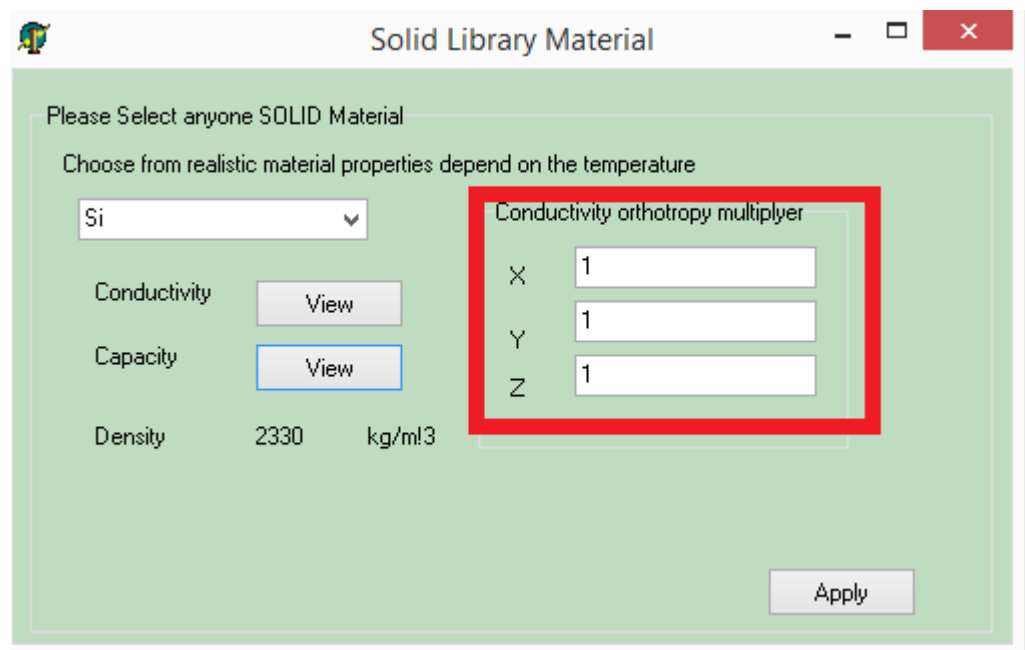


Удельная теплоёмкость кремния при постоянном давлении.



Здесь можно выбрать один из predetermined материалов.

Также поддерживается ортотропное задание коэффициента теплопроводности – различного в различных координатных направлениях.



Изотропная теплопроводность (одинаковая в различных координатных направлениях, не зависит от пространственной ориентации).

Ортотропная теплопроводность (зависит от пространственной ориентации).

Числа X, Y, Z умножают базовое значение коэффициента теплопроводности, в том числе и зависящее от температуры, чтобы получить коэффициент теплопроводности вдоль заданной оси.

При работе с материалом есть выбор:

1. Редактирование существующего материала **Edit Current Matherial**. При этом его свойства изменятся сразу у всех блоков которые ссылаются на этот материал.
2. Создание нового материала **Create new matherial**. После выбора Create New Matherial и нажатия на кнопку Edit вы попадете в меню задания имени и свойств нового материала. Во вкладке **tip pattern** можно выбрать один из predetermined библиотечных материалов, при этом пытаться печатать что-то в самом поле tip pattern не надо. Библиотечный материал нельзя задать новый они жестко predetermined заранее. Но можно задать имя и свойства пользовательского материала который сохранится под вашим именем с вашими свойствами в пользовательской базе, но не в библиотечных материалах. Доступ к вновь созданному пользовательскому материалу станет доступен через **select project matherial**.

3. **Select project matherial** - выбор для активного блока ранее созданного материала, который уже использовался ранее в проекте.

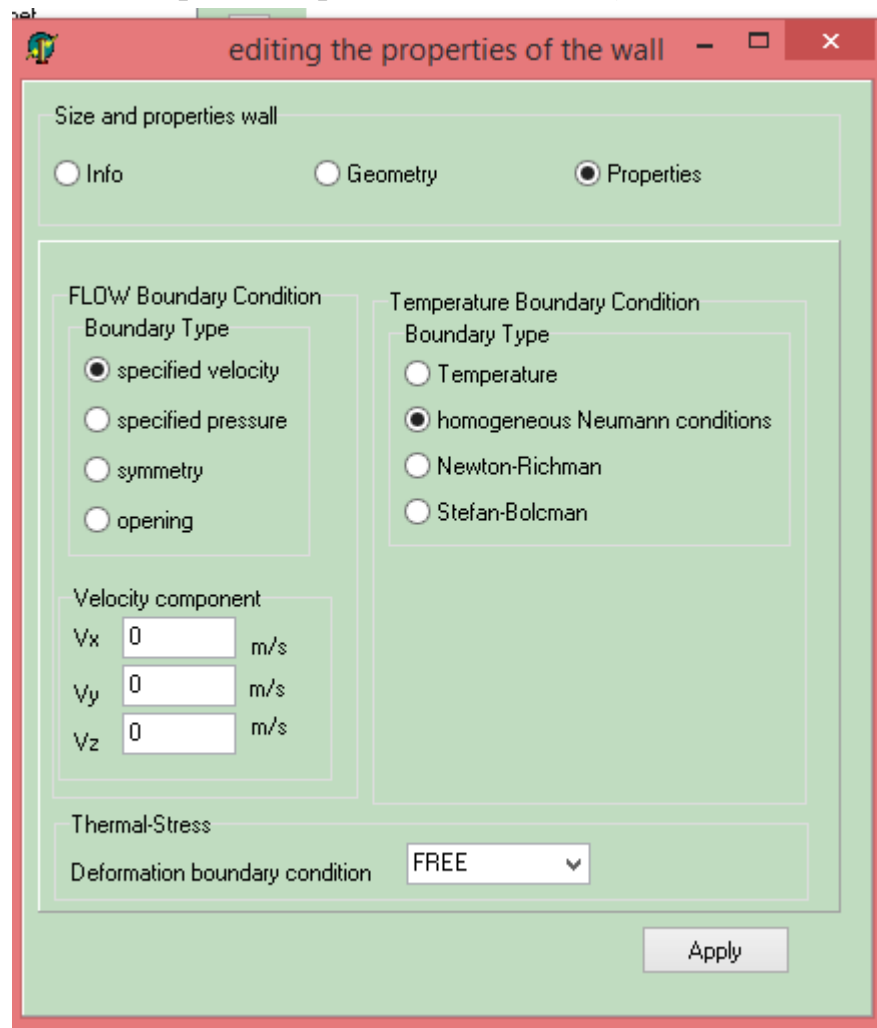
У hollow блока материал присваивать не нужно.

На границах SOLID блоков автоматически выполняется условие непрерывности температуры и теплового потока.

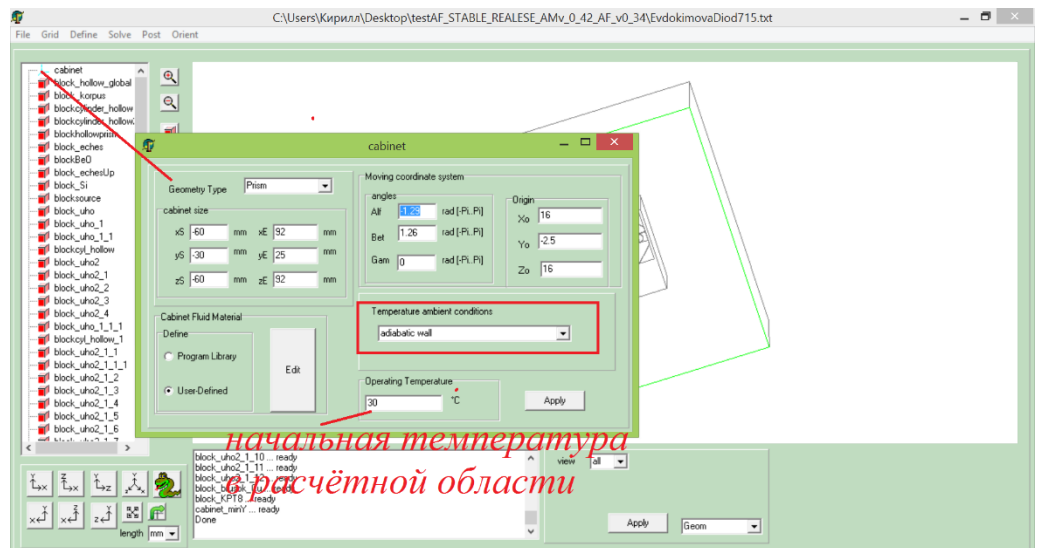
Объект wall – стенка. Служит для задания граничных условий. Внимание на одной из сторон стенки должна заканчиваться расчётная область - либо заканчиваться Cabinet либо выставлен hollow block. Главный принцип не должно быть ячеек сетки с двух сторон от плоской стенки. Должны быть только с одной из сторон стенки.

Граничные условия для температуры могут быть четырёх типов:

3.1 Теплоизоляция (по умолчанию выставлено сразу на всех внешних границах расчётной области).

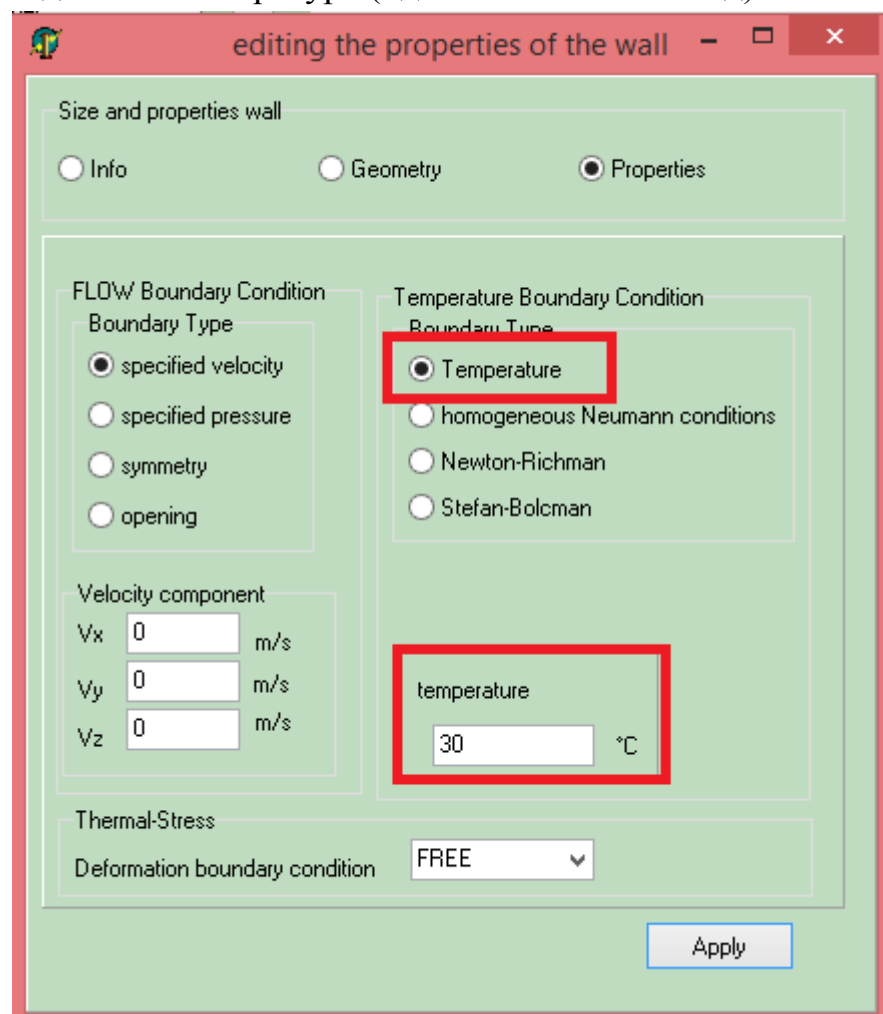


Теплоизоляция на стенке.



Теплоизоляция на всех границах расчётной области.

3.2 Заданная температура (идеальный теплоотвод).



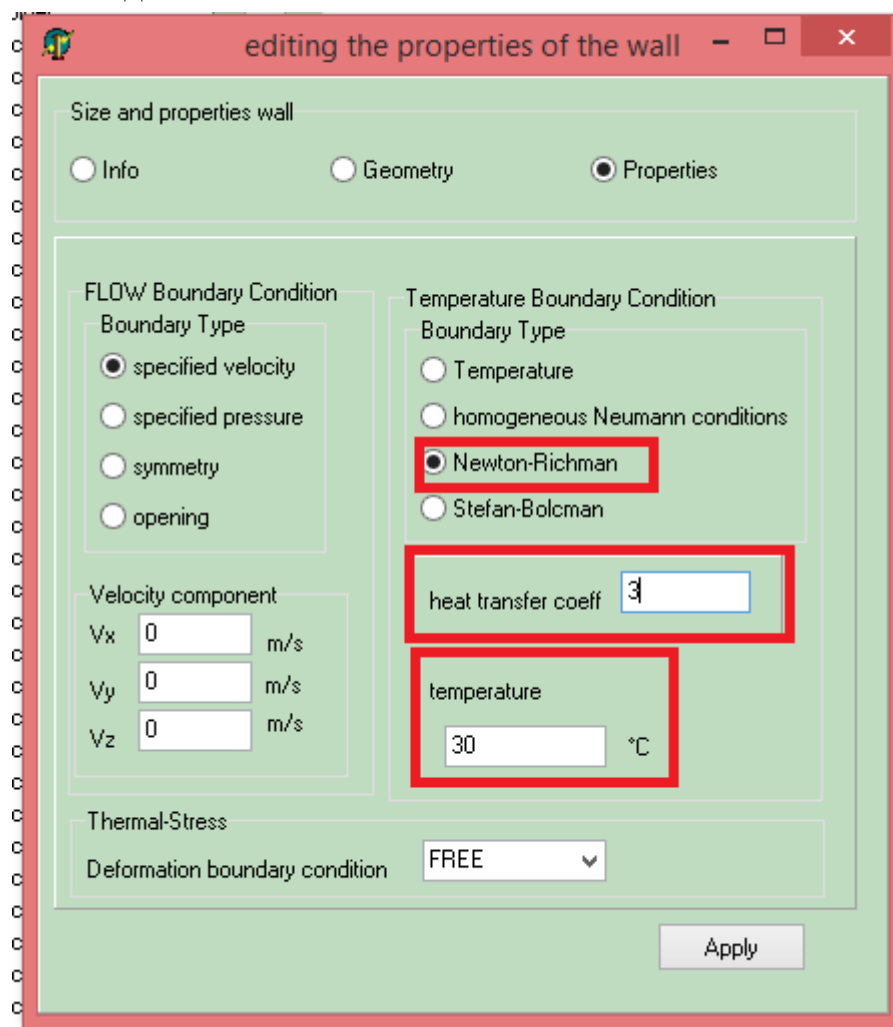
Заданная температура в свойствах объекта wall.

3.3. Условие (Ньютона - Рихмана) конвективной теплоотдачи во внешнюю среду

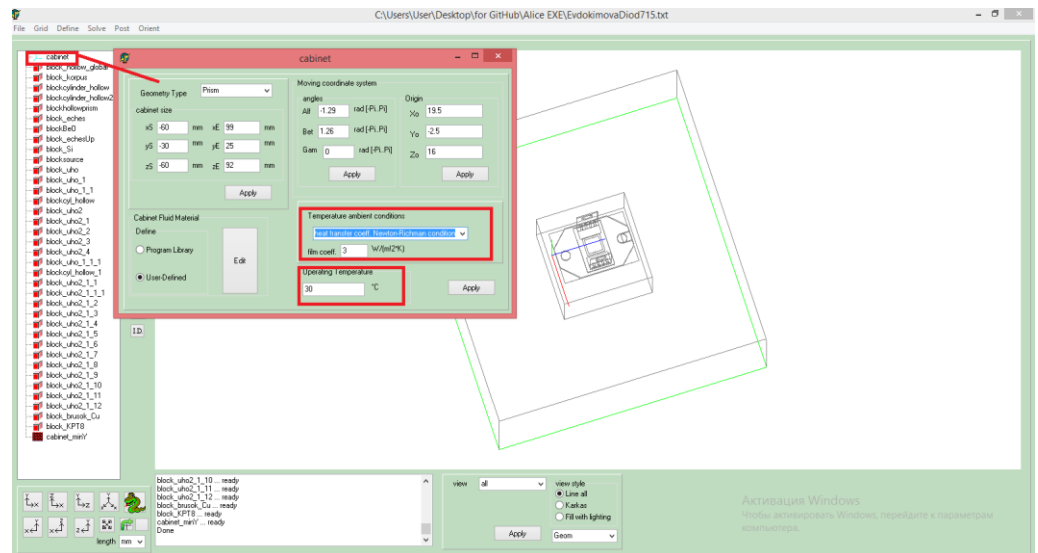
$Q = \alpha(T - T_{amb})$, где α - коэффициент теплоотдачи (для естественной конвекции примерно 3 Вт/(м²*К)), T_{amb} -

температура среды. Этим условием лучше не пользоваться, т.к. коэффициент теплоотдачи сильно зависит от скорости обдува и пр. и лучше производить моделирование на основе решения трехмерных уравнений Навье-Стокса. Они более точны.

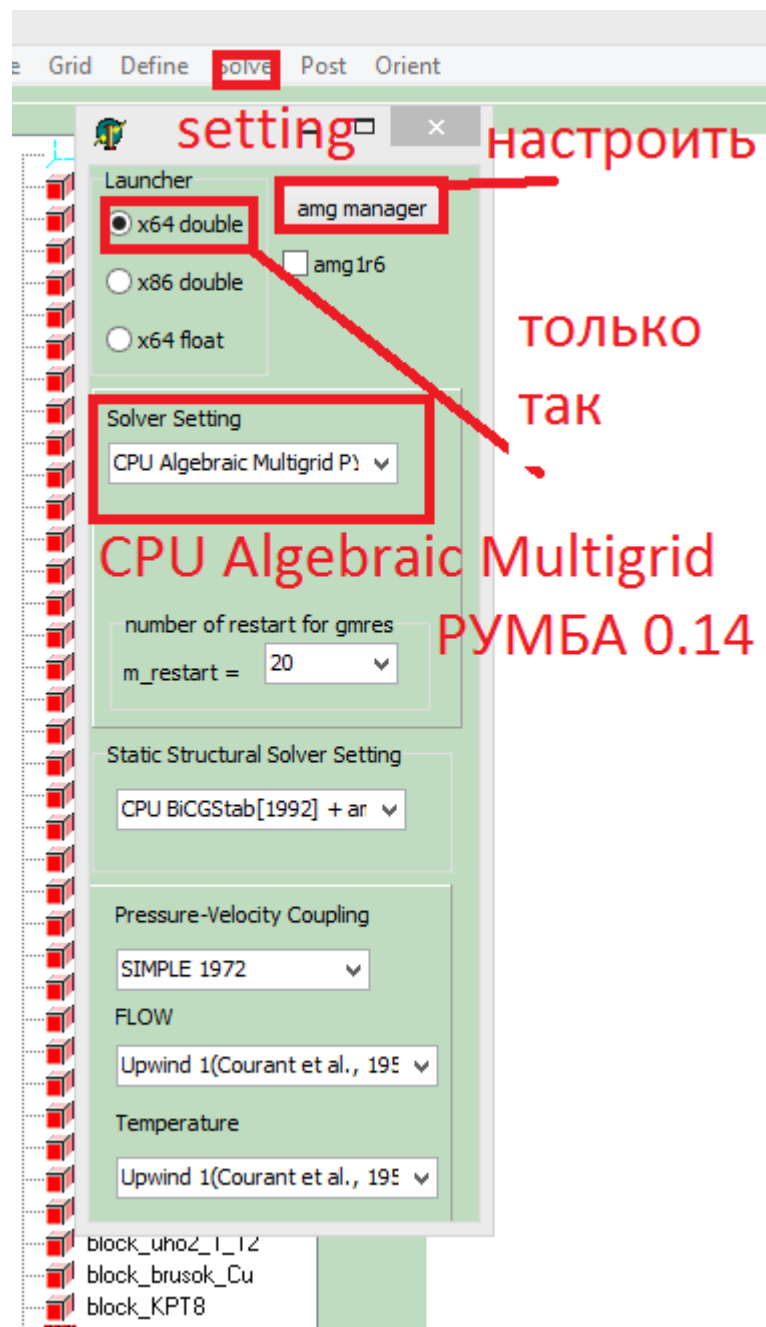
Для задания условия Ньютона –Рихмана на стенке необходимо выставить



Для задания условия Ньютона –Рихмана на всех границах расчётной области если они не переопределены стенками необходимо выставить в кабинете



Внимание ! Только один единственный решатель из имеющихся в наличии способен рассчитать задачу с нелинейным граничным условием Ньютона-Рихмана. Это Solve -> Setting



С настройками

amg manager (launcher)

Settings only for home (original) code RUMBA v0.14

variables	Temperature	Speed	Pressure	Stress
1. strong connection threshold (0.23 .. 0.9)	0.24	0.24	0.24	0.24
2. maximum reduced levels	0	0	0	0
3. nFinest	2	2	2	2
4. number presmothers	1	1	1	1
5. number postsmothers	2	2	2	2
6. memory size	13	9	9	22
7. interpolation (4 .. 6)	4. for a l	4. for a lc	4. for a l	4. for a
	<input checked="" type="checkbox"/> diagonal dominance		COUNTING SORT	
8. truncation of interpolation	<input type="checkbox"/> off	<input checked="" type="checkbox"/> off	<input checked="" type="checkbox"/> off	<input checked="" type="checkbox"/> off
	0.2			
9. F-to-F threshold (0.35 .. 0.4)	0.4	0.4	0.4	0.4
10. Relaxation (Smoother)	damped Jac	Gauss-Seidel	Gauss-Seid	Gauss-S
11. amg splitting (coarsening)	classical ST a	classical ST a	classical ST	classical ST
12. stabilization	for_NonLine	none	none	none
13. selector	<input checked="" type="checkbox"/> Strong Transpose			
14. print log	<input checked="" type="checkbox"/> print	<input checked="" type="checkbox"/> print	<input checked="" type="checkbox"/> print	<input checked="" type="checkbox"/> print
15. C-F decomposition Algorithms and Data Structure				
	Binary Heap	Binary Heap	Binary Hea	Binary Heap
16. Matrix portrait	<input type="checkbox"/> print	<input type="checkbox"/> print	<input type="checkbox"/> print	<input type="checkbox"/> print

return default parameters

Если нелинейных граничных условий в задаче нет, то подойдут и другие более эффективные солверы из списка. Например BicgStab+amg1r5; FGMres + amg1r5. Во вкладке Vienna CL bicgstab+ilu0 содежится совсем другой солвер. Это bicgstab + amgcl солвер Дениса Демидова <https://github.com/ddemidov/amgcl>. Одно из последних нововведений. Работает стабильно и экономит оперативную память.

3.4. Условие излучения в среду. Условие Стефана – Больцмана. (Об этом лучше рассказать отдельно, позднее).

Объект wall должен всегда находится на границе расчетной области – с одной стороны должен быть объект block типа solid(fluid) а с другой

либо оканчиваться расчетная область Cabinet либо находится Hollow block.

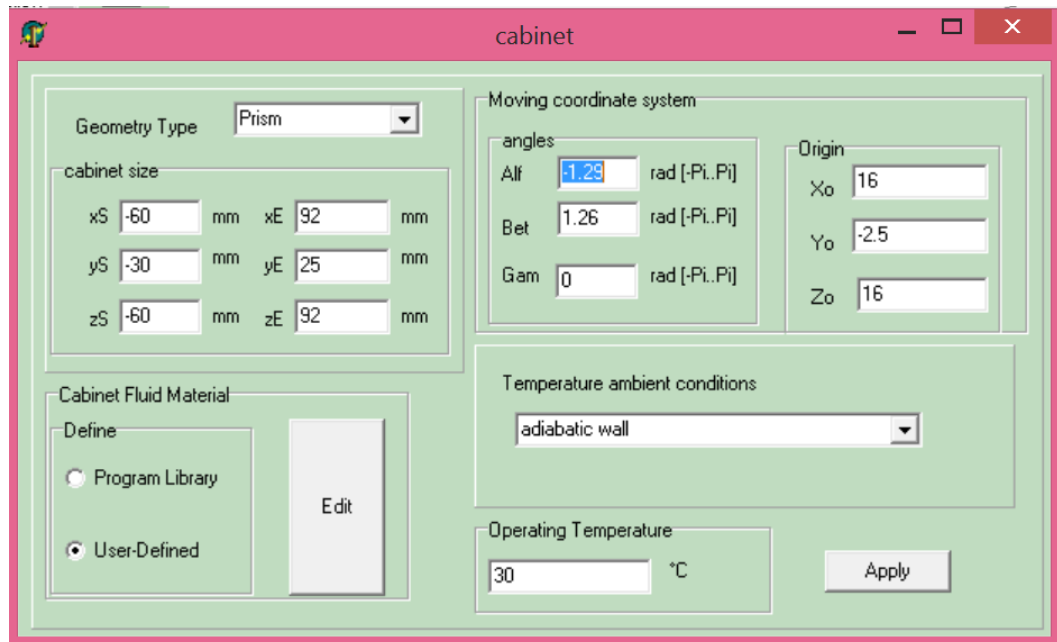
Все блоки создаваемые пользователем должны находится внутри кабинета Cabinet. Для формирования геометрии сложной формы область кабинета должна перезаписываться hollow блоком.

Объект **source** - плоский бесконечно тонкий источник тепла устарел и им не рекомендуется пользоваться. Рекомендуется задавать тепловую мощность только внутри блоков block - в виде параллелепипеда или цилиндра. В полигоне задание тепловой мощности не поддерживается.

Вернёмся к модели диода 2D715.

4.

4.1 Задать размеры расчетной области – кабинета.



4.2. Так как модель диода имеет сложную пространственную форму, то перезапишем пространство кабинета hollow блоком.

Имя блока hollow block_global.

size and properties block

☐ Info ☒ Geometry ☐ Properties

geometry type Prism

size block

xS	-60	mm	xE	99	mm
yS	-30	mm	yE	25	mm
zS	-60	mm	zE	92	mm

☒ Cylinder2Prism

Apply

Тип hollow

size and properties block

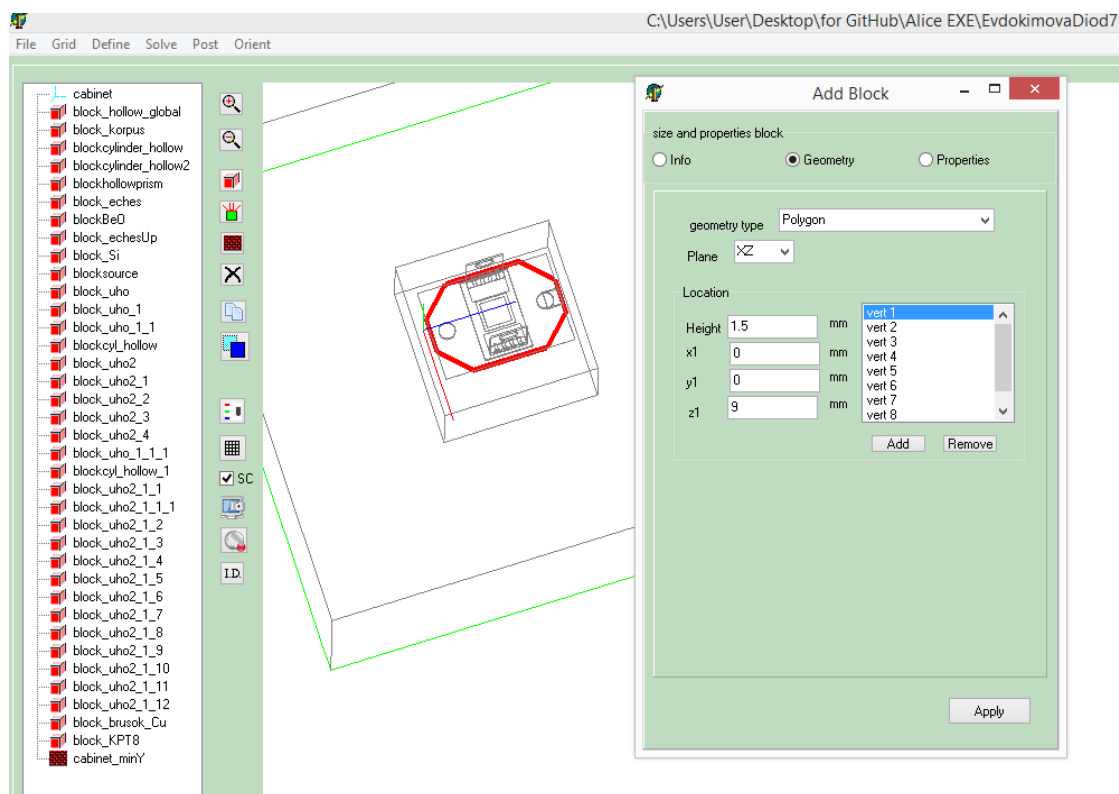
☐ Info ☐ Geometry ☒ Properties

Block type

☐ SOLID ☒ HOLLOW ☐ FLUID

Surface specification

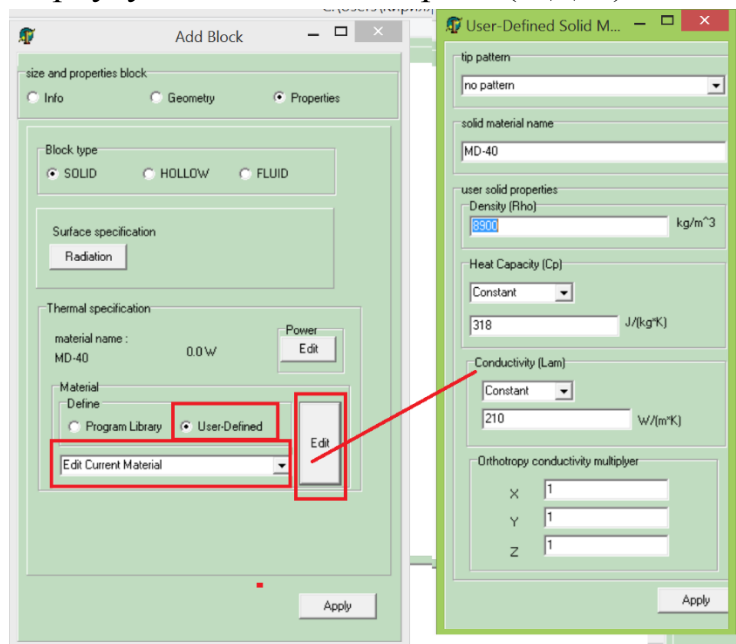
4.3. Создадим блок корпус Имя block.korpus.



Ориентация плоскости полигона X-Z.

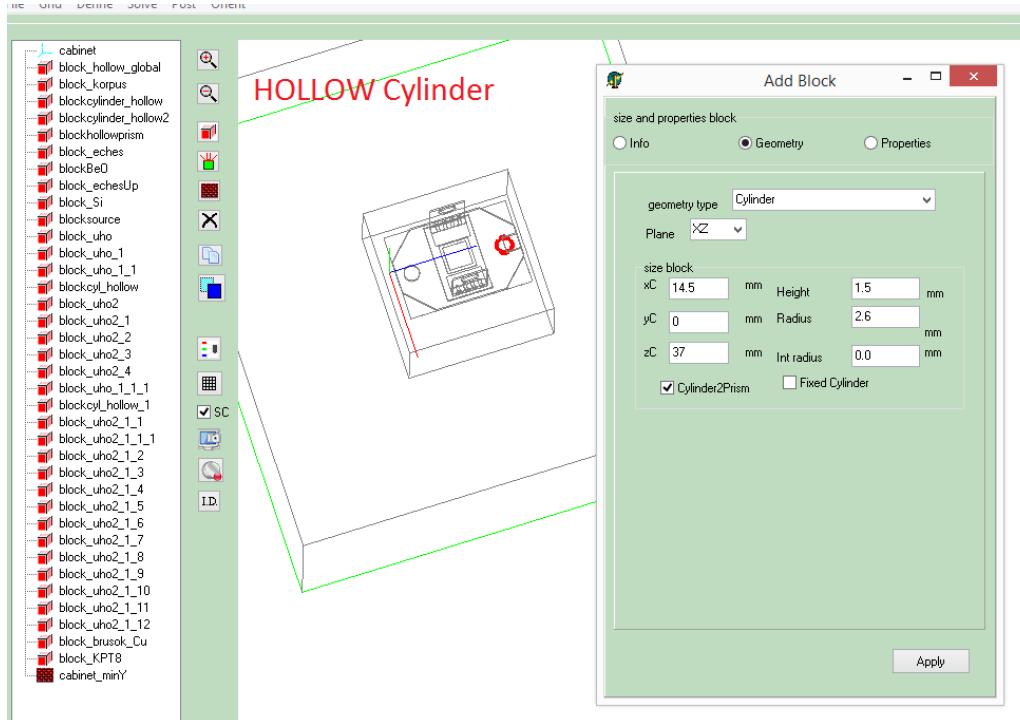
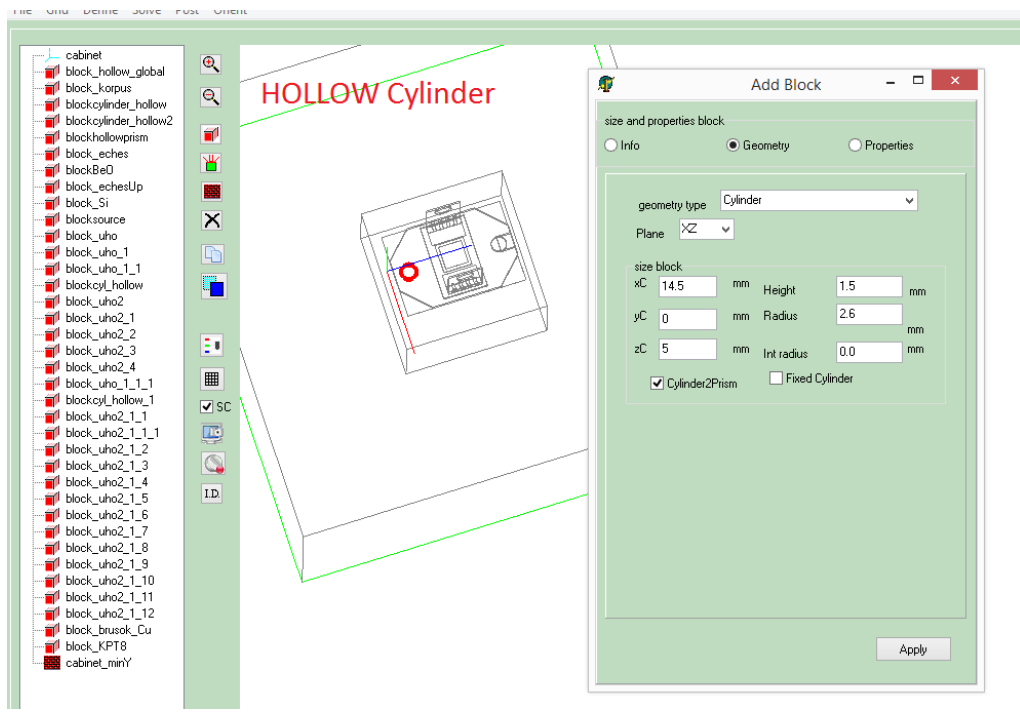
Height	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
X1	0	9	20	29	29	20	9	0
Y1	0	0	0	0	0	0	0	0
Z1	9	0	0	9	33	42	42	33

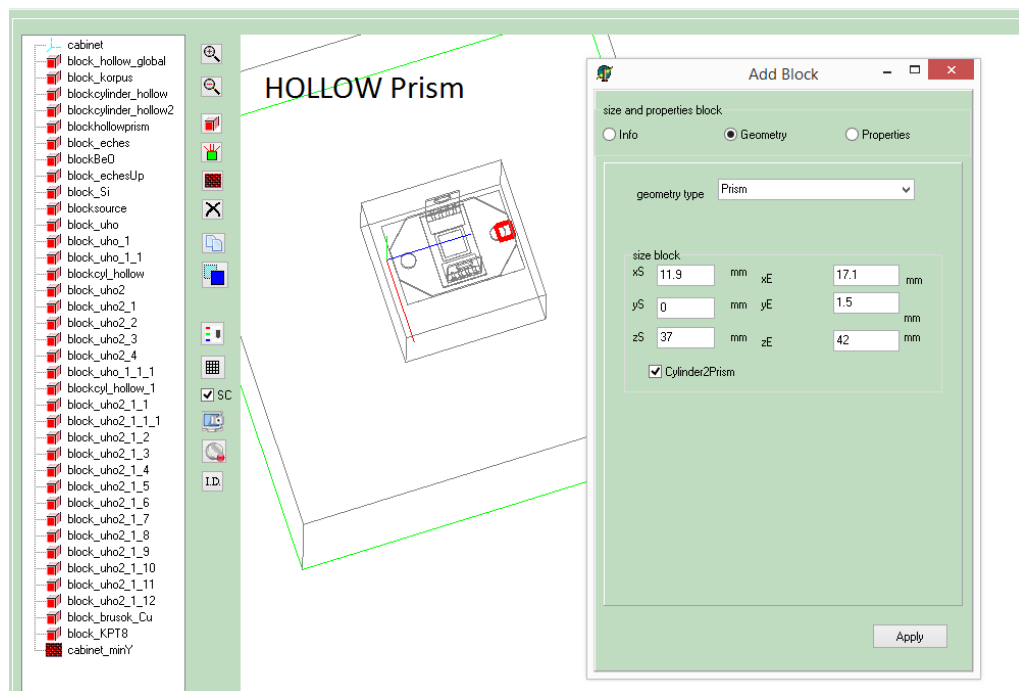
Корпусу надо задать материал (МД40)



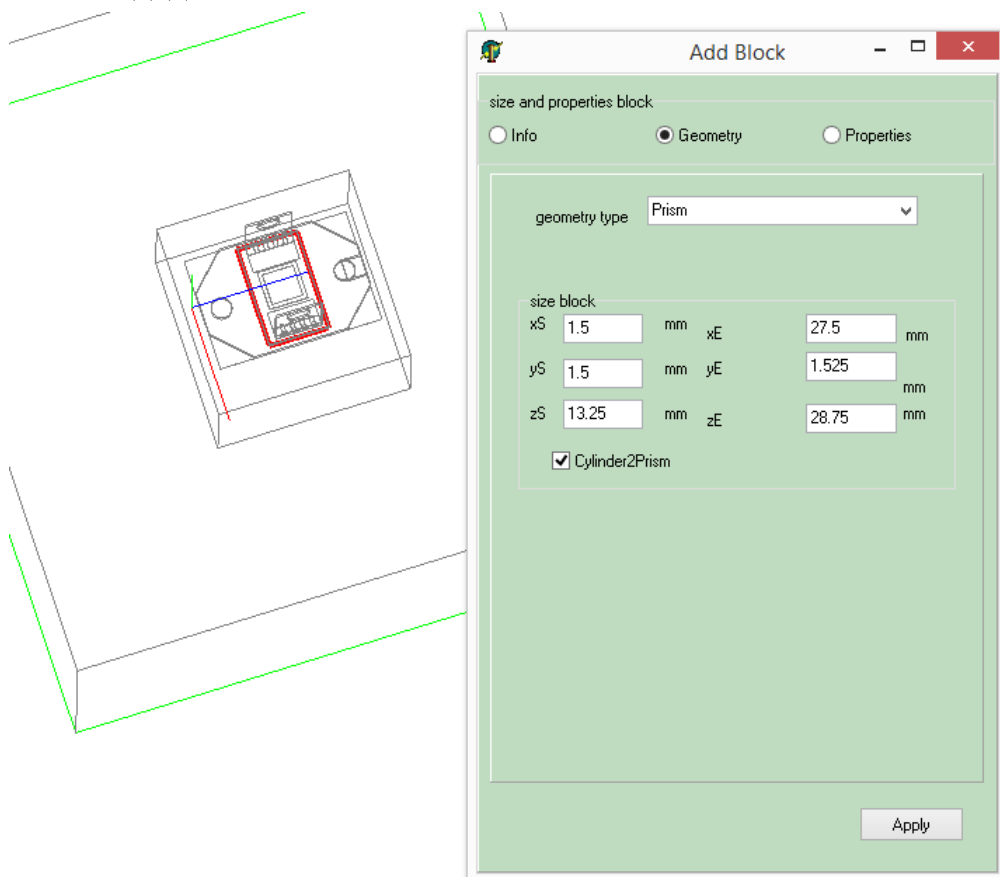
Теплофизические свойства материала МД40.

4.4. Создадим в корпусе вырезы под винты.





4.5. Создадим слой клея ЭЧЭС.



User-Defined

tip pattern
no pattern

solid material name
Glue_ECHES

user solid properties

Density (Rho)
1000 kg/m³

Heat Capacity (Cp)
Constant
100 J/(kg*K)

Conductivity (Lam)
Constant
4 W/(m*K)

Orthotropy conductivity multiplier

X 1

Y 1

Z 1

Apply

4.6. Зададим оксид бериллия.

Add Block

size and properties block

☐ Info ☒ Geometry ☐ Properties

geometry type Prism

size block

xS	1.5	mm	xE	27.5	mm
yS	1.525	mm	yE	2.525	mm
zS	13.25	mm	zE	28.75	mm

☒ Cylinder2Prism

User-Defined Solid

tip pattern
no pattern

solid material name
BeO

user solid properties
Density (Rho)
1050 kg/m³

Heat Capacity (Cp)
Constant
3010 J/(kg*K)

Conductivity (Lam)
Constant
250 W/(m*K)

Orthotropy conductivity multiplier
X 1
Y 1
Z 1

Apply

4.7 Клей ЭЧЭС для монтажа кремниевого кристалла.

Add Block

size and properties block
☐ Info ☒ Geometry ☐ Properties

geometry type Prism

size block
xS 8.9 mm xE 18.9 mm
yS 2.525 mm yE 2.55 mm
zS 16.05 mm zE 26.05 mm
☒ Cylinder2Prism

4.8. Кристалл кремния.

Add Block

size and properties block

☐ Info ☒ Geometry ☐ Properties

geometry type Prism

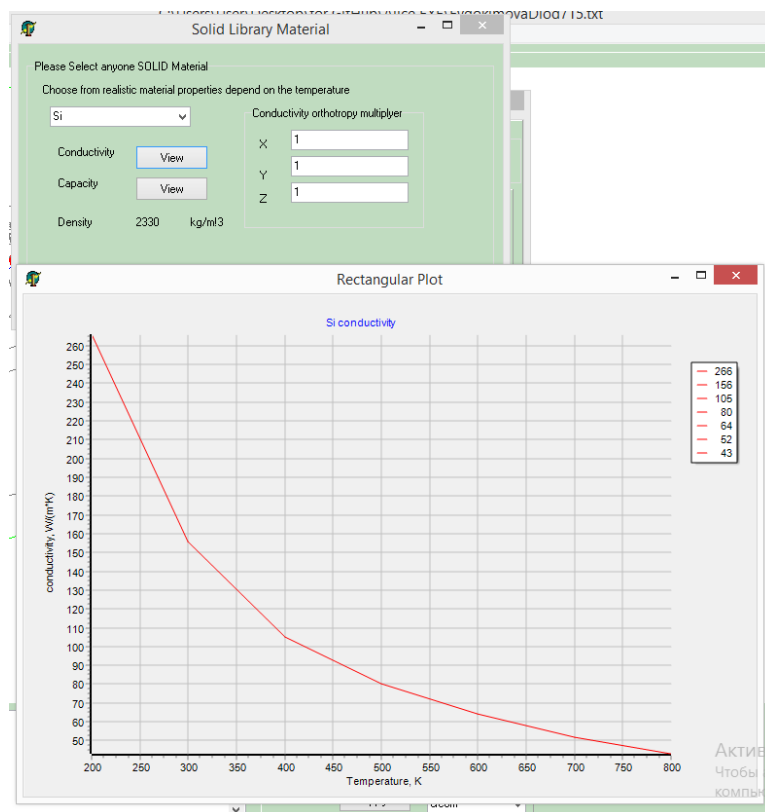
size block

xS	<input type="text" value="8.9"/>	mm	xE	<input type="text" value="18.9"/>	mm
yS	<input type="text" value="2.55"/>	mm	yE	<input type="text" value="2.93"/>	mm
zS	<input type="text" value="16.05"/>	mm	zE	<input type="text" value="26.05"/>	mm

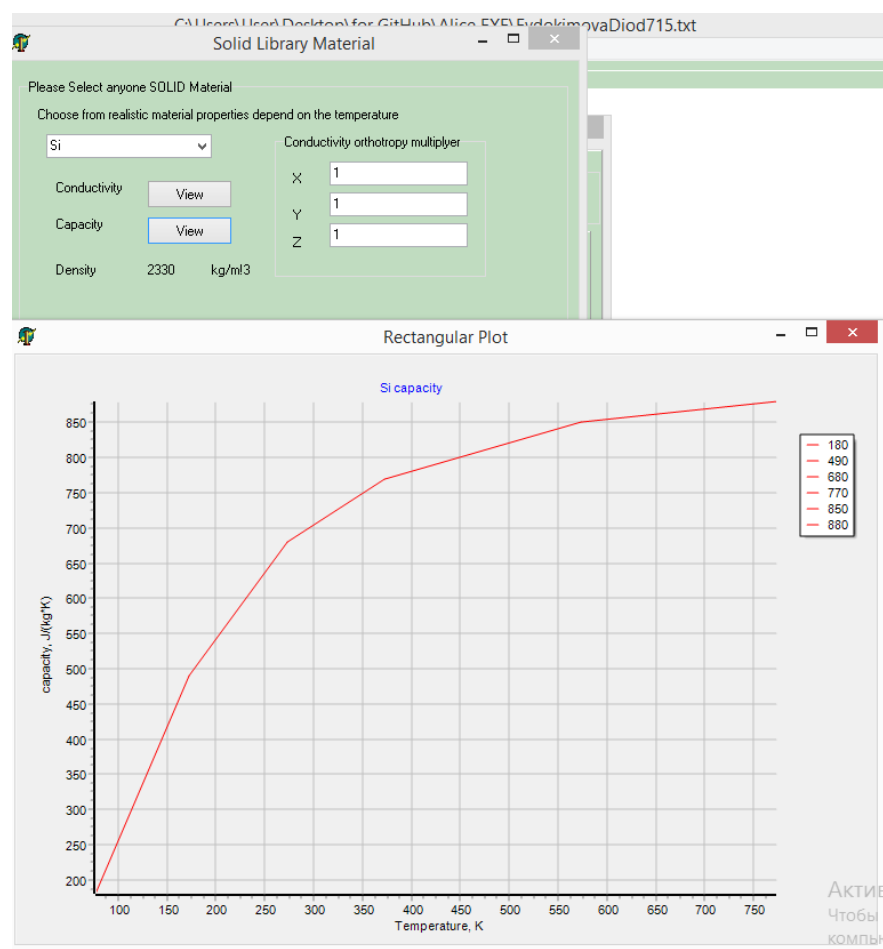
☒ Cylinder2Prism

Материал Кремний.

Плотность 2330 кг/м^3 .



Теплопроводность кремния.



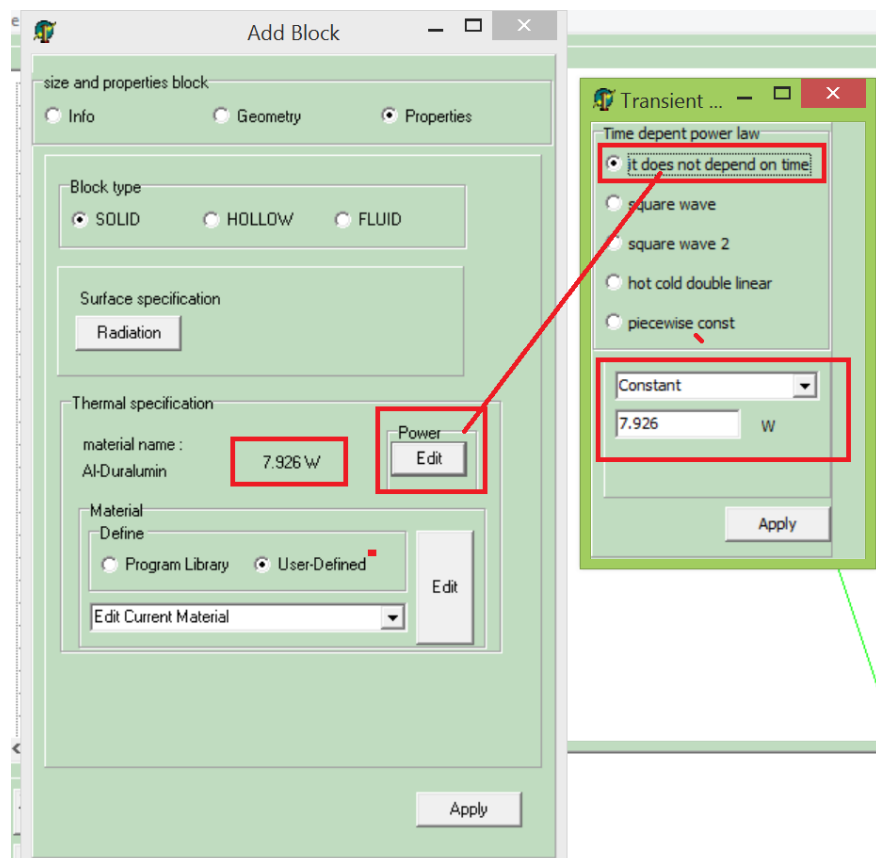
Удельная теплоёмкость кремния при постоянном давлении.

Мощность тепловыделения на поверхности кристалла кремния задается специальным элементом-тепловыделяющим блоком .

The image shows the "Add Block" dialog box. Under "size and properties block", the "Geometry" tab is selected. The "geometry type" is set to "Prism". Below this, the "size block" section contains dimensions in mm: xS (9.9), xE (17.9), yS (2.8), yE (2.93), zS (17.05), and zE (25.05). The "Cylinder2Prism" checkbox is checked.

Parameter	Value (mm)
geometry type	Prism
xS	9.9
xE	17.9
yS	2.8
yE	2.93
zS	17.05
zE	25.05

Геометрические размеры источника тепла.



Мощность тепловыделения.

4.9. Остальные создаваемые блоки из которых состоит модель перечислим кратко в виде таблицы.

xS	1.6	19.6	1.6	2.1	26	24
yS	2.525	2.525	2.55	2.55	2.55	2.55
zS	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
xE	8.6	26.6	2.1	4.1	26.5	26
yE	2.55	2.55	21.55	3.05	21.55	3.05
zE	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
«материал»	МД40	МД40	МД40	МД40	МД40	МД40

Следующие блоки имеют форму прямой прямоугольной призмы и имеют тип Hollow и формируют вырезы в геометрической модели.

xS	1.6	1.6	1.6	1.6	26	26	26
yS	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
zS	17.2	19.7	22.2	24.7	17.2	19.7	22.2
xE	2.1	2.1	2.1	2.1	26.5	26.5	26.5
yE	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55
zE	18.2	20.7	23.2	25.7	18.2	20.7	23.2

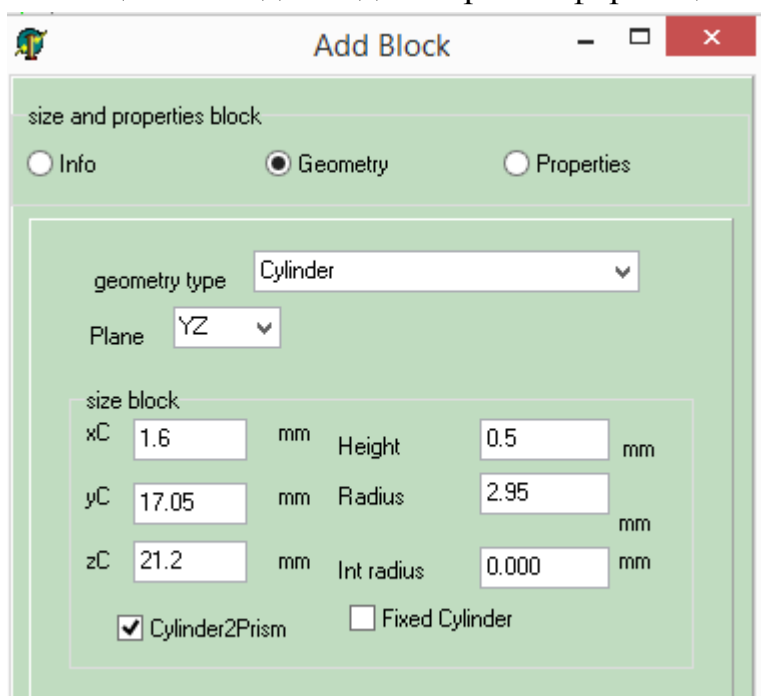
Продолжение таблицы.

xS	26	1.6	1.6	1.6	1.6	23.6	23.6
yS	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
zS	24.7	17.2	19.7	22.2	24.7	22.2	24.7
xE	26.5	4.1	4.1	4.1	4.1	26.1	26.1
yE	5.55	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
zE	25.7	18.2	20.7	23.2	25.7	23.2	25.7

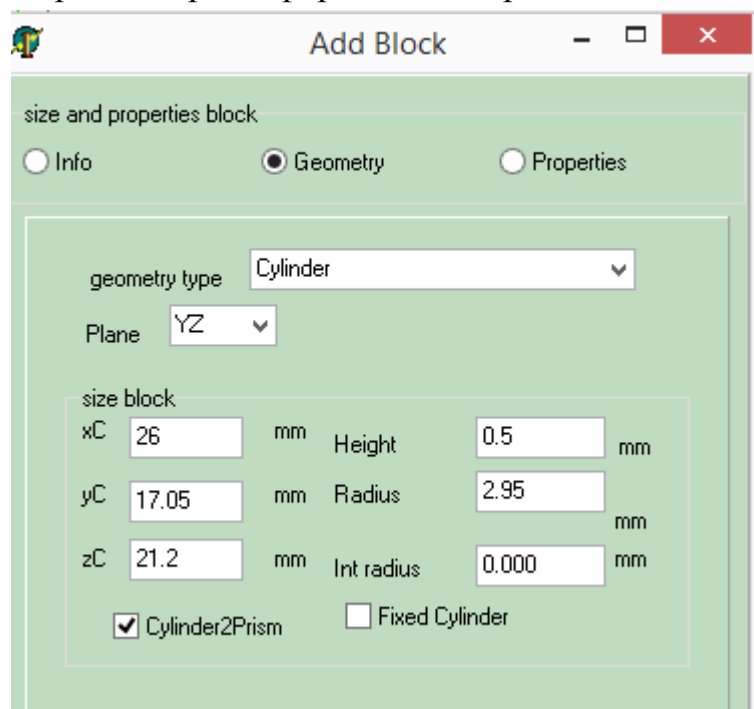
Продолжение таблицы

xS	23,6	23,6					
yS	2,55	2,55					
zS	19,7	17,2					
xE	26,1	26,1					
yE	3,05	3,05					
zE	20,7	18,2					

4.10Еще необходимы два выреза в форме цилиндров.

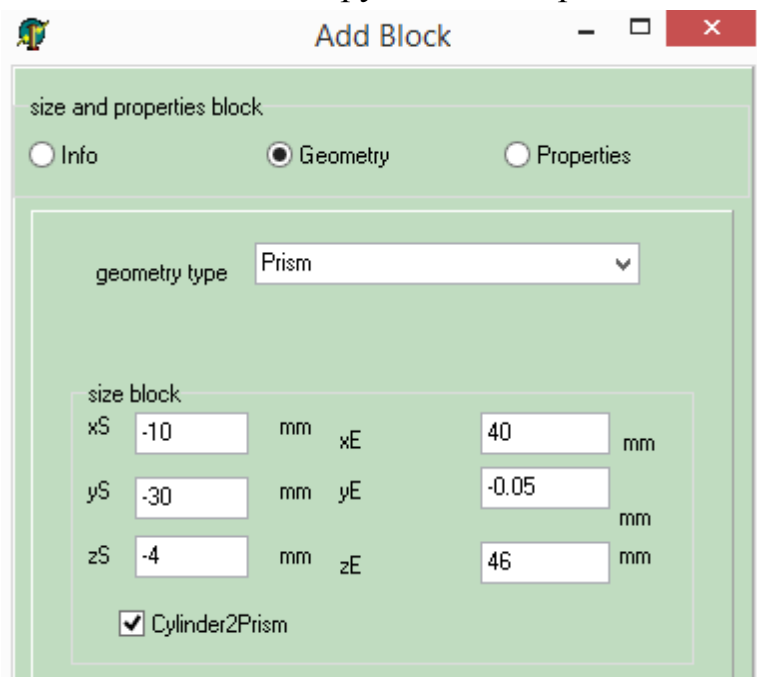


Первый вырез в форме цилиндра.



Второй вырез в форме цилиндра.

4.11 Зададим также брусок на котором лежит диод.



Материал медь из библиотеки материалов программы.

User-Defined

tip pattern
no pattern

solid material name
Cu

user solid properties

Density (Rho)
8930 kg/m³

Heat Capacity (Cp)
Constant
390 J/(kg*K)

Conductivity (Lam)
Constant
390 W/(m*K)

Orthotropy conductivity multiplier

X 1

Y 1

Z 1

Apply

4.12 Брусек примыкает к корпусу диода через слой терморасты.

Add Block

size and properties block

☐ Info ☒ Geometry ☐ Properties

geometry type Prism

size block

xS	0	mm	xE	29	mm
yS	-0.05	mm	yE	0	mm
zS	0	mm	zE	42	mm

☒ Cylinder2Prism

С теплофизическими свойствами

User-Defined

tip pattern
no pattern ▼

solid material name
KPT8

user solid properties

Density (Rho)
2800 kg/m³

Heat Capacity (Cp)
Constant ▼
1000 J/(kg*K)

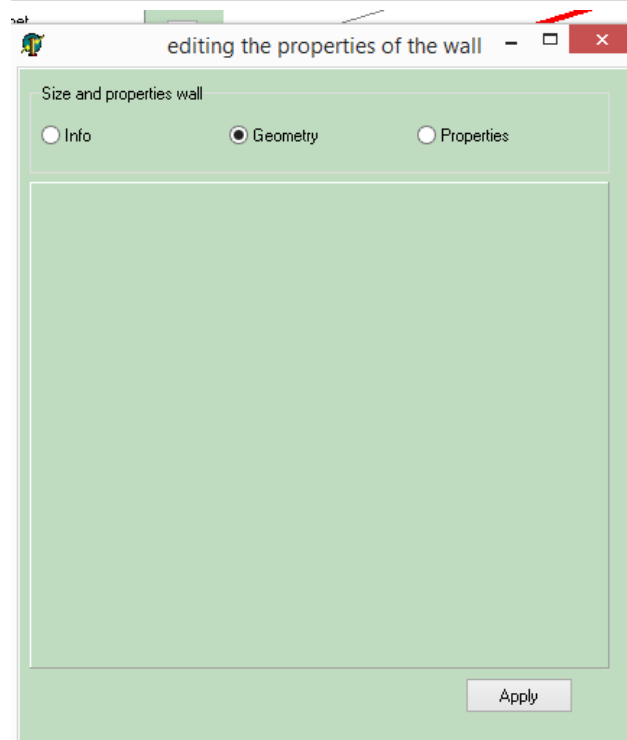
Conductivity (Lam)
Constant ▼
0.7 W/(m*K)

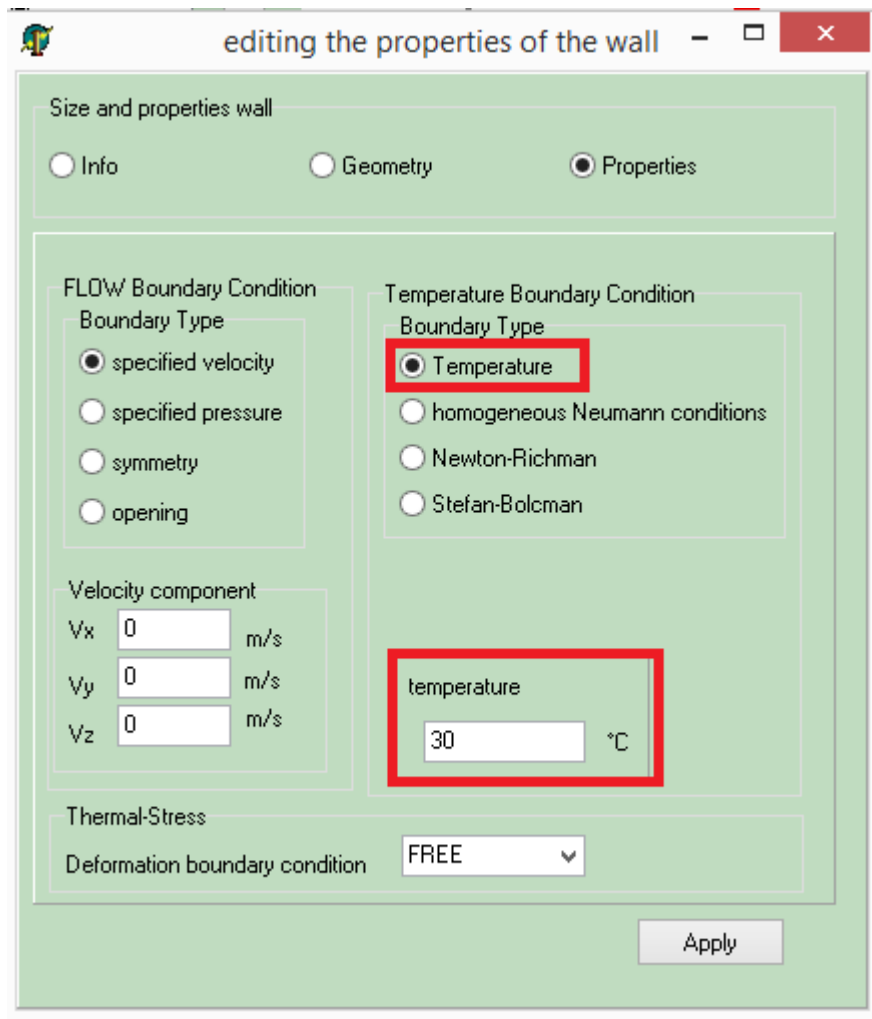
Orthotropy conductivity multiplier

X	1
Y	1
Z	1

Apply

4.13 На нижней границе расчётной области зададим стенку с заданной температурой – теплоотвод.

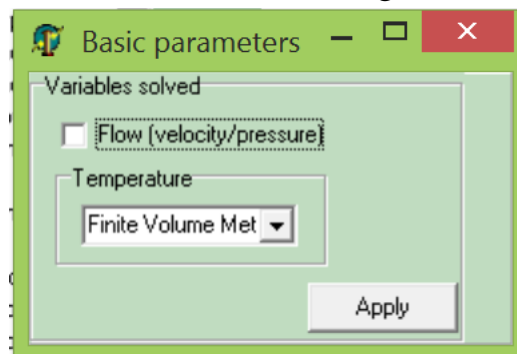




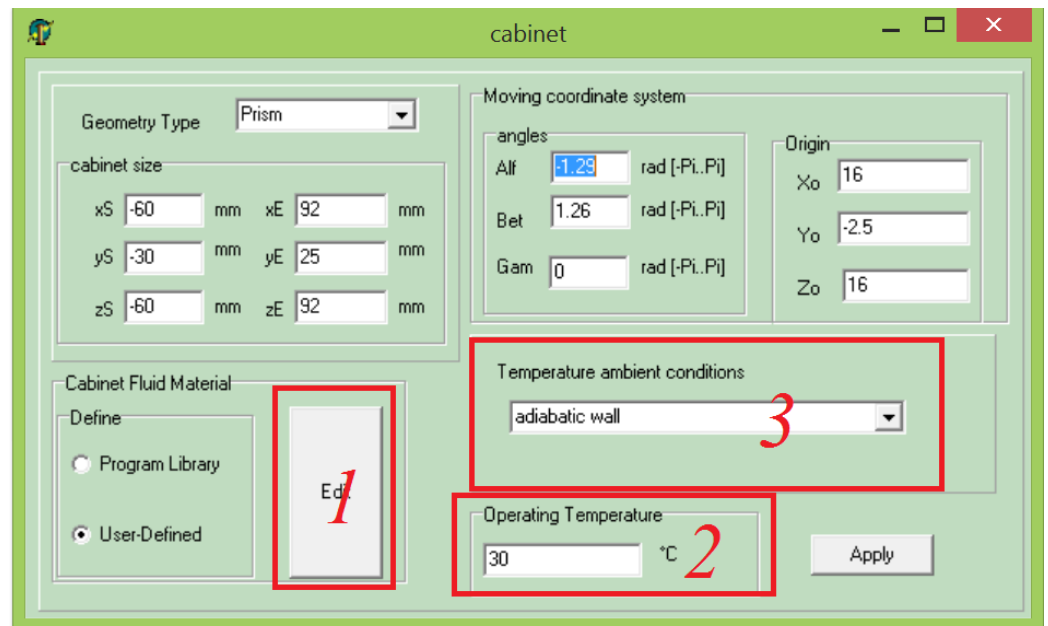
5. Настройки алгоритма решения задачи.

Перечислим просто картинки с настройками.

Define->Models->Setting

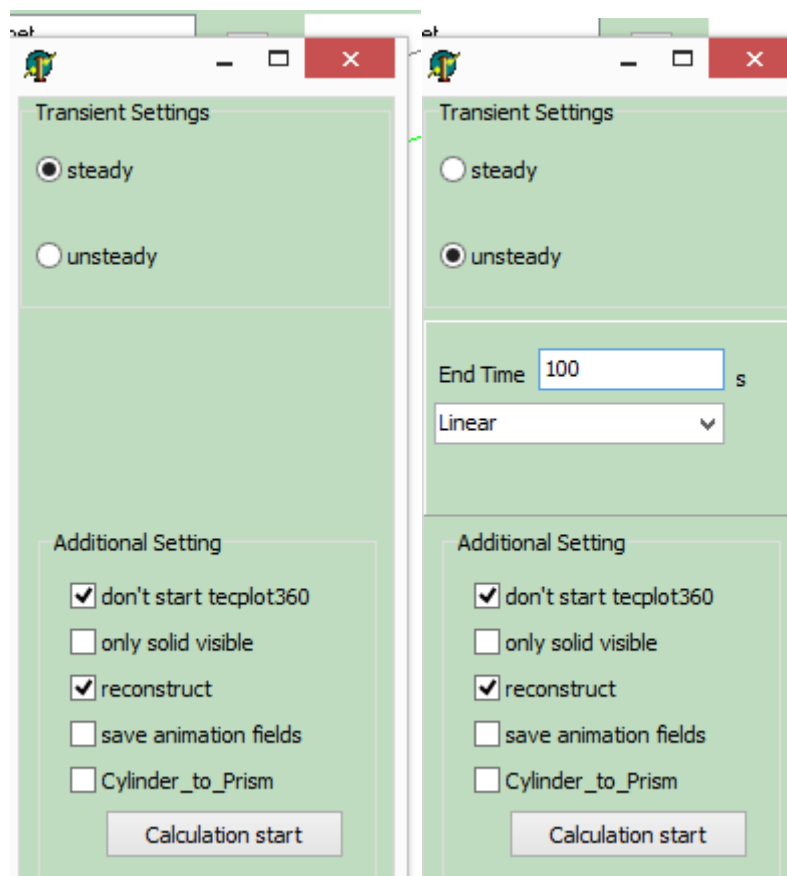


Набор решаемых уравнений.



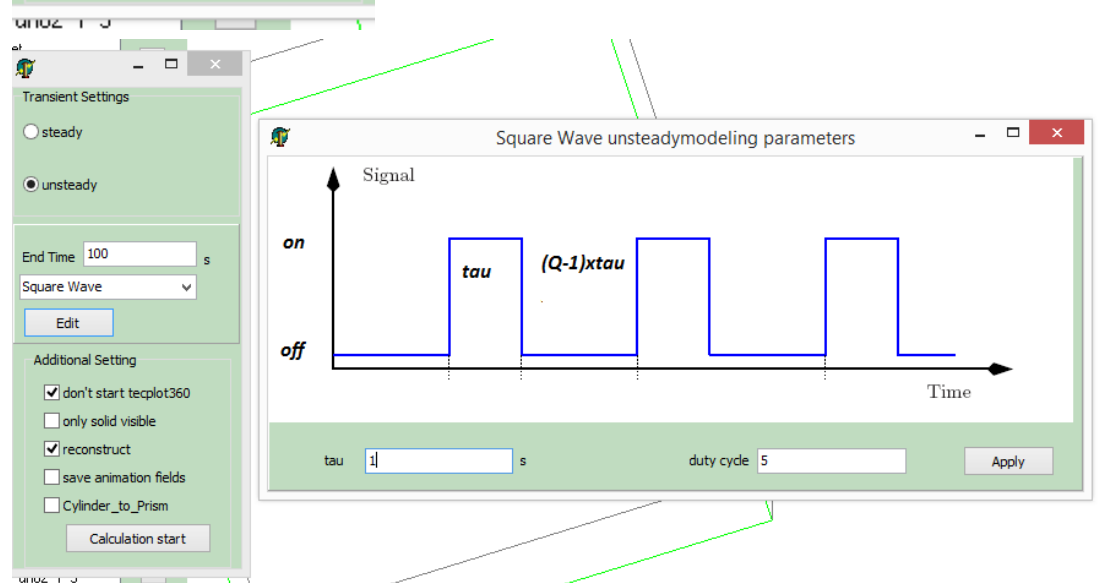
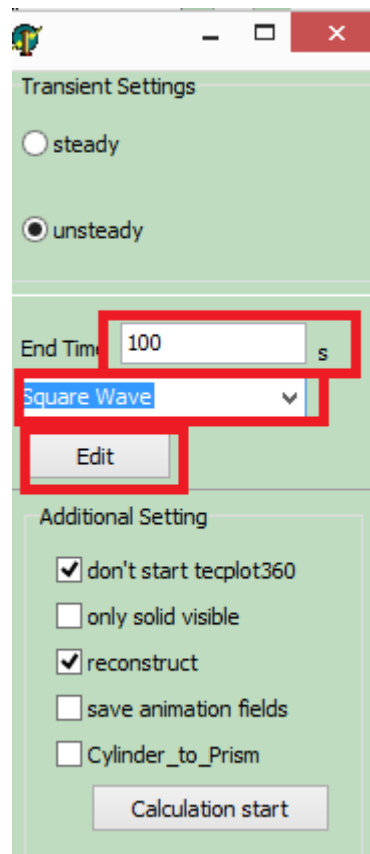
1 - параметры среды по умолчанию (параметры кабинета). По умолчанию задан воздух. 2- Начальная температура по умолчанию. 3 – свободные границы (не переписанные объектами типа wall) расчётной области по умолчанию имеют граничное условие – однородное условие Неймана (это можно изменить, например, для учета конвекции).

Solve->Run Solution

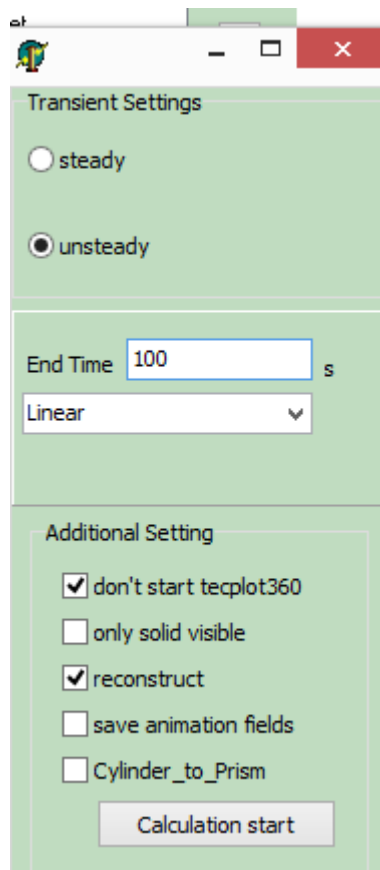


Стационарный или нестационарный

Стационарный или нестационарный расчёт. Параметры закона шагов по времени задаются по нажатию кнопки Edit.



Об этих настройках надо рассказать отдельно позже.
Например, для снятия переходной характеристики может быть выставлено следующее значение.



Все остальные параметры вшиты в солвер AliceFlow_v0_30.exe их редактирование пользователем не требуется.

Запуск на расчёт осуществляется по команде **Solve->Run Solution. Calculation Start**

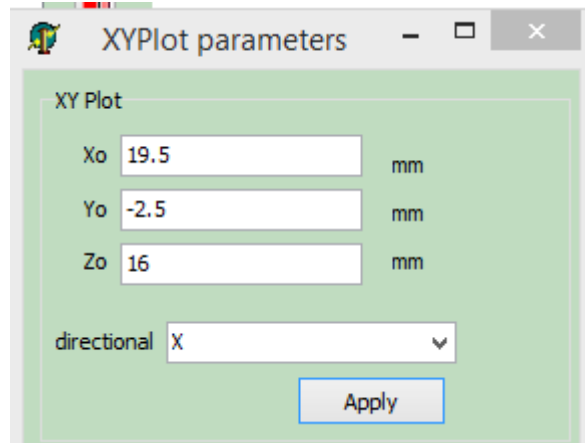
Картинки строятся при открытии в программе tecplot 360 2015 x64 файла с расширением .PLT который создается в результате расчета. Если нет tecplot подойдет opensource paraview 5.5 доступный в интернет.

После завершения расчета и загрузки .PLT файла Post->Load Solution, при открытии результатов в программе tecplot, в ней отображается только геометрия самой модели без распределения температуры. Там слева в техплоте должно быть управление показом. Настраивать надо. Можно на поверхности температуру показать, можно в сечении плоскостью. Стрелочками можно тепловой поток отобразить. Там много настроек. Обратите также внимание что программой пишется сразу несколько .PLT файлов. В некоторых только сетка без результатов.

Но должны быть и полноценные с температурой. Это можно по размеру файла посмотреть.

Построение XY кривой (температура на заданной линии-отрезке) доступно в Excel путем считывания текстового файла с разделителем пробел. Файл подготавливается с помощью команды меню

Post->XYPlot

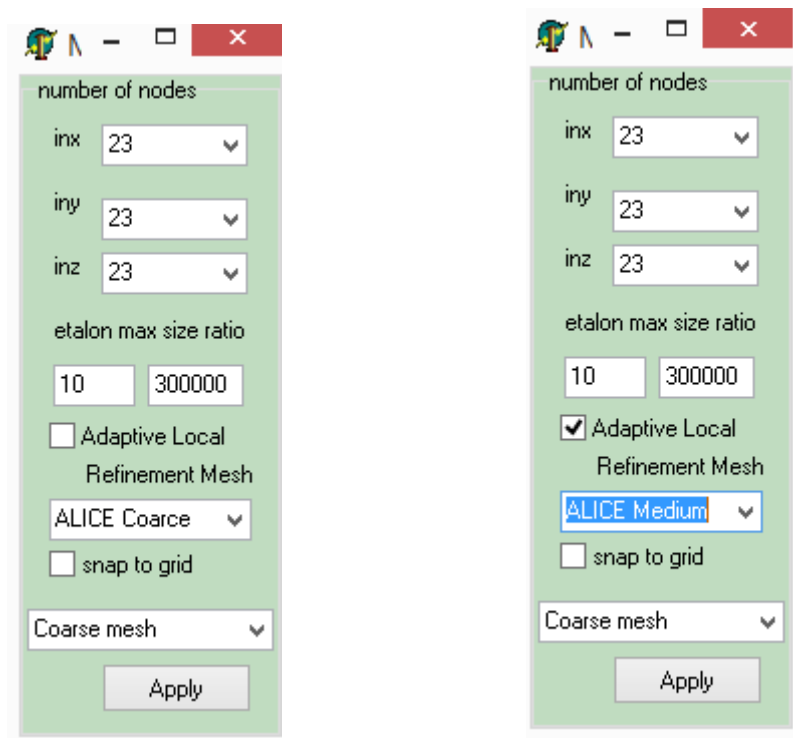


После расчёта на диск пишется соответствующий текстовый файл **xyplot.txt**, график в котором строится средствами Excel. Принцип – один расчет, один график. В эксель графики можно накапливать и сравнивать между собой. Данный механизм создания графика работает только на обычных структурированных расчетных сетках, но не на АЛИС сетках.

Post->History plot – отображение зависимости максимальной температуры от времени. Построение текстового файла с числами также доступно для обработки в MS Excel.

Прежде чем произвести расчеты необходимо построить расчётную сетку. Программа AliceFlow_v0_30.exe имеет собственный встроенный в нее сеточный генератор. Сторонними строителями сетки не надо пользоваться, да и возможности такой нет. Вот настройки сетки крупной модели подходящие по умолчанию

Grid->Mesh



Структурированная сетка или АЛИС сетка.

Если требуется увеличивать качество сетки то параметр 10 надо плавно уменьшать до значения 2 со стартового значения 10. Если нужно и далее улучшать качество сетки, то параметр 300000 надо плавно уменьшать до 30 при этом можно также менять и параметр 10, но он не должен быть менее 2.

Галочку Adaptive Local Refinement Mesh (далее АЛИС) рекомендуется ставить в случае если максимальная характерная длина в расчётной области (держатель) по отношению к минимальной характерной длине (затвор транзистора) отличаются на пять и более порядков.

В случае очень простых моделей, например 7-10 объектов типа block, требуется использовать meshgenerator1 и задавать количество ячеек сетки в каждом из координатных направлений вручную, контролируя качество разбиения самостоятельно. Тип сетки CoarseMesh годится для очень больших моделей содержащих сотни блоков.

Про АЛИС можно почитать в сети интернет <http://anes.ch12655.tmweb.ru/index.php/features>
<http://anes.ch12655.tmweb.ru/images/download/aneNumerical21.pdf>

В программе AliceFlow_v0_48.exe могут быть различные проблемы неработоспособности, многие из которых исправляемы в кратчайшие сроки. По всем вопросам и проблемам писать на kirill7785@mail.ru

Кроме того, существует великолепная программа ANSYS Iсерак и если что то не удалось рассчитать в AliceFlow_v0_48, то это должно рассчитываться в ANSYS Iсерак и других богатых программных комплексах.