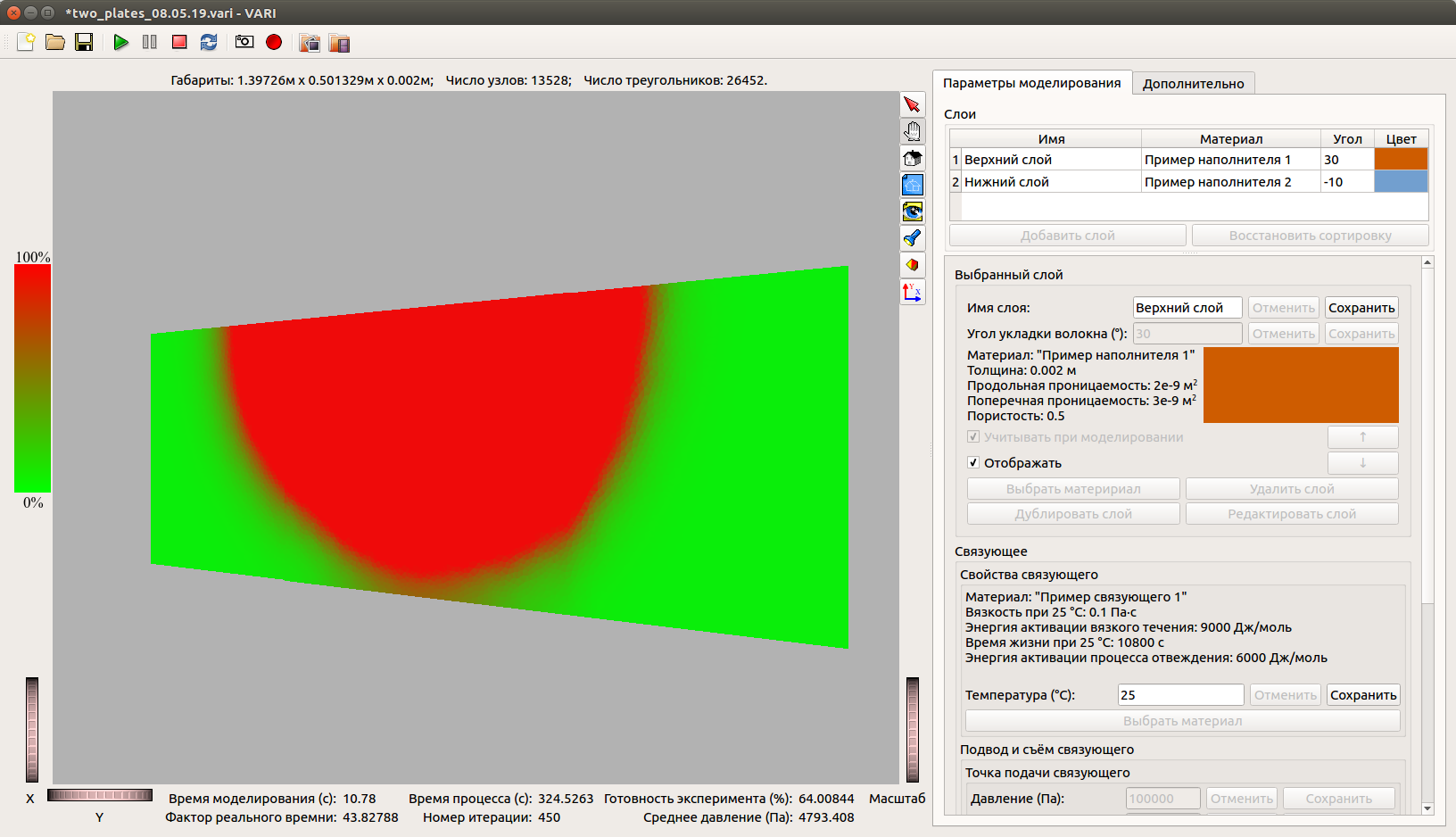
**Инструкция по использованию программного обеспечения для моделирования процесса вакуумной инфузии «VARI»**



Содержание

[1. Формирование преформы 4](#_Toc8998559)

[1.1. Добавление слоя 4](#_Toc8998560)

[1.1.1. Выбор материала слоя 4](#_Toc8998561)

[1.1.2. Задание формы слоя 5](#_Toc8998562)

[1.1.3. Загрузка формы из файла 8](#_Toc8998563)

[1.1.4. Выбор цвета непропитанного слоя 8](#_Toc8998564)

[1.1.5. Задание имени слоя и угла укладки 8](#_Toc8998565)

[1.1.6. Окончание создания слоя 8](#_Toc8998566)

[1.2. Взаимодействие с добавленными слоями 9](#_Toc8998567)

[1.3. Включение и отключение слоя для расчётов 10](#_Toc8998568)

[1.4. Включение и отключение визуализации слоя 10](#_Toc8998569)

[1.5. Изменение материала слоя 10](#_Toc8998570)

[1.6. Удаление слоя 10](#_Toc8998571)

[1.7. Дублирование слоя 11](#_Toc8998572)

[1.8. Редактирование слоя 11](#_Toc8998573)

[1.9. Сортировка положения слоёв по вертикальной оси 11](#_Toc8998574)

[2. Задание параметров пропитки 11](#_Toc8998575)

[2.1. Задание параметров связующего 12](#_Toc8998576)

[2.1.1. Выбор материала связующего 12](#_Toc8998577)

[2.1.2. Задание температуры связующего 13](#_Toc8998578)

[2.2. Задание параметров точки входа связующего 13](#_Toc8998579)

[2.2.1. Задание атмосферного давления 13](#_Toc8998580)

[2.2.2. Задание диаметра и координат точки ввода связующего 13](#_Toc8998581)

[2.3. Задание параметров точки выхода связующего 13](#_Toc8998582)

[2.4. Положения источников по умолчанию 14](#_Toc8998583)

[2.5. Редактирование параметров рабочего поля стенда 14](#_Toc8998584)

[3. Взаимодействие с интерфейсом визуализации 15](#_Toc8998585)

[3.1. Вращение, перемещение и приближение трёхмерной модели 17](#_Toc8998586)

[3.2. Переключение видов 17](#_Toc8998587)

[3.3. Отображение параметров трёхмерной модели 17](#_Toc8998588)

[3.4. Отображение информации о процессе моделирования 17](#_Toc8998589)

[3.5. Дополнительные возможности 18](#_Toc8998590)

[3.5.1. Обрезка слоя 18](#_Toc8998591)

[3.5.2. Перемещение слоя 20](#_Toc8998592)

[3.5.3. Регулирование размеров кубиков в узлах 23](#_Toc8998593)

[4. Управление процессом моделирования 24](#_Toc8998594)

[4.1. Запуск 24](#_Toc8998595)

[4.2. Пауза 24](#_Toc8998596)

[4.3. Остановка 24](#_Toc8998597)

[4.4. Сброс параметров модели 24](#_Toc8998598)

[4.5. Параметры окончания расчёта 24](#_Toc8998599)

[4.5.1. Ограничение расчёта временем жизни связующего 25](#_Toc8998600)

[4.5.2. Окончание расчёта при заполнении порта вакуума 25](#_Toc8998601)

[4.5.3. Автоматическая пауза по истечении времени 25](#_Toc8998602)

[5. Сохранение и загрузка модели пропитанного материала 25](#_Toc8998603)

[5.1. Создание новой модели 25](#_Toc8998604)

[5.2. Сохранение модели 25](#_Toc8998605)

[5.3. Загрузка модели 25](#_Toc8998606)

[6. Автоматическое сохранение картинок и видео процесса 26](#_Toc8998607)

[6.1. Сохранение серии картинок 26](#_Toc8998608)

[6.2. Сохранение видео 27](#_Toc8998609)

[7. Взаимодействие с базой данных материалов 28](#_Toc8998610)

[7.1. База данных наполнителей 28](#_Toc8998611)

[7.2. База данных связующих 29](#_Toc8998612)

[7.3. Выбор материала для использования 30](#_Toc8998613)

[7.4. Добавление материала 30](#_Toc8998614)

[7.5. Изменение материала 30](#_Toc8998615)

[7.6. Удаление материала 30](#_Toc8998616)

[7.7. Экспорт базы материалов 30](#_Toc8998617)

[7.8. Импорт базы материалов 30](#_Toc8998618)

# 1. Формирование преформы

Главное окно программы разбито на две части: элементы визуализации процесса пропитки (слева) и элементы задания параметров (справа). Размеры этих частей могут быть изменены путём перемещения мышью разделителя между ними. Когда указатель мыши находится над разделителем, он имеет форму двойной стрелки ().

Может возникнуть ситуация, когда отображается только одна из частей (визуализация модели, либо параметры). Это означает, что вторая часть уменьшена до нулевого размера. Для исправления этой проблемы следует подвести курсор к краю окна, у которого должна располагаться недостающая часть. Когда указатель мыши примет форму двойной стрелки, следует зажать левую кнопку мыши и передвинуть мышь в сторону противоположного края окна.

## 1.1. Добавление слоя

Для добавления слоя необходимо нажать на кнопку **«Добавить слой»** в разделе **«Слои»** во вкладке **«Параметры моделирования»** в правой части окна.

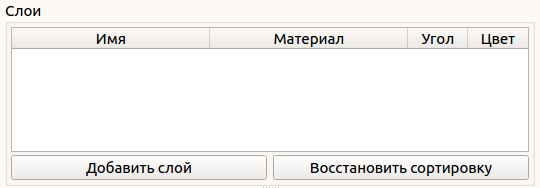


Рис. 1.1. Пустой раздел «Слои»

В результате откроется окно «Создание слоя».

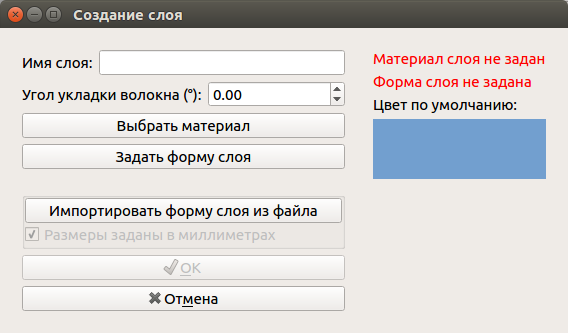


Рис. 1.2. Исходный вид окна создания слоя

В открывшемся окне необходимо выбрать материал слоя и задать его форму.

### 1.1.1. Выбор материала слоя

Для выбора материала слоя необходимо нажать на кнопку **«Выбрать материал»**. В результате откроется окно интерфейса взаимодействия с базой данных наполнителей.

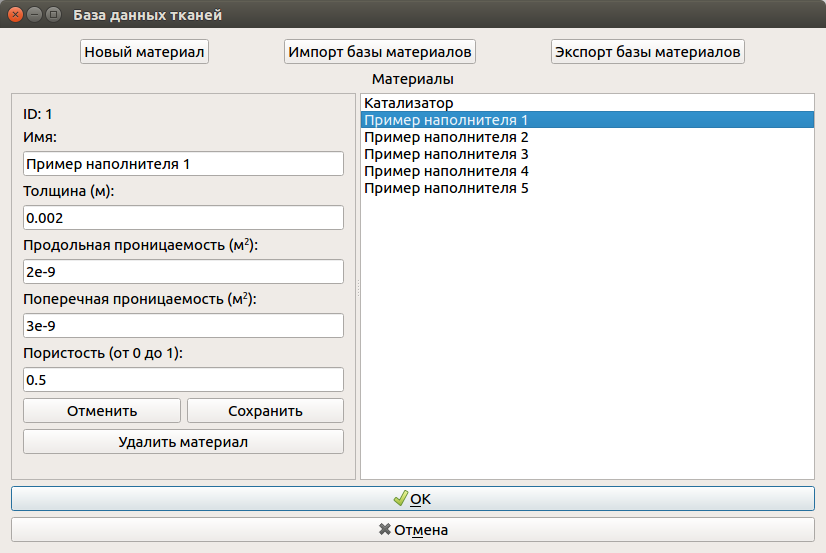


Рис. 1.3. Интерфейс взаимодействия с базой данных наполнителей

В открывшемся окне нужно выделить в списке требующийся материал, после этого нажать кнопку **«ОК»**. Также возможно выбрать материал двойным щелчком мыши по его названию в списке.

Также возможно выбрать материал, отсутствующий в списке, без сохранения его в базу данных. Для этого необходимо ввести в поля «Имя», «Толщина», «Продольная проницаемость», «Поперечная проницаемость», «Пористость» требуемые параметры, а затем нажать кнопку **«ОК»**.

После выбора материала надпись «Материал слоя не задан» заменится на перечень свойств выбранного материала.

### 1.1.2. Задание формы слоя

В программе присутствует встроенная возможность создания плоских слоёв, ограниченных контуром. Контур представляет собой замкнутый полигон из прямых линий. Для использования слоёв, имеющих более сложную форму, необходимо воспользоваться сторонним генератором трёхмерных сеток, например Gmsh.

Для создания плоского слоя необходимо нажать на кнопку **«Задать форму слоя»**. В результате откроется окно задания полигона (рис. 1.4).

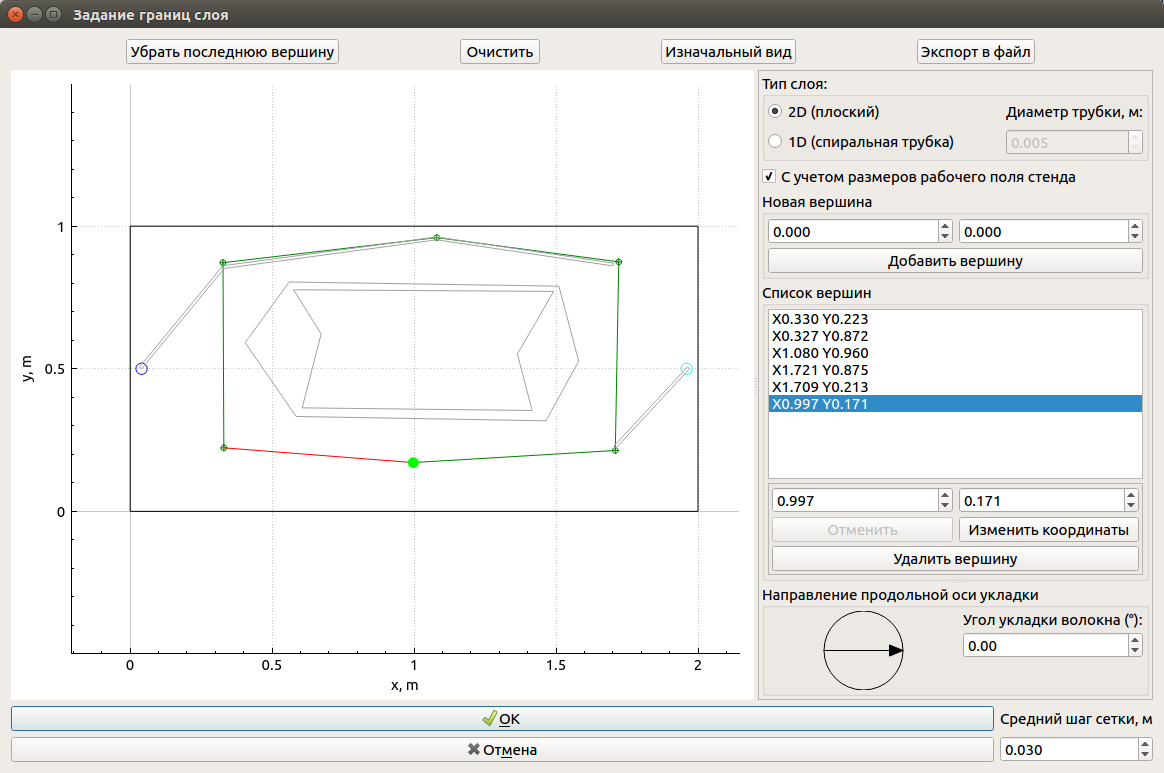


Рис. 1.4. Окно создания слоя

В окне задания границ слоя находится холст. На холсте чёрным цветом изображён прямоугольник, обозначающий границы стола. Синим цветом изображена окружность, обозначающая стандартное положение на столе трубки подачи связующего. Голубым цветом – трубки откачки воздуха. Для того чтобы запретить ввод точек контура слоя вне рабочего стола, необходимо установить галочку **«С учётом размеров рабочего поля стенда»**. *Процесс изменения габаритов стола и положения на нём источников подвода и съёма связующего описан в пункте 2.5.*

Серым цветом на холсте изображены контуры уже добавленных ранее слоёв.

Существует два режима задания слоя: **«2D (плоский)»** и **«1D (спиральная трубка)»**. Переключение режима осуществляется пользователем в правой верхней части окна задания слоя. В режиме создания 2D слоя пользователь по очереди задаёт последовательность вершин контура слоя. Каждая вершина соединяется с предыдущей линией зелёного цвета, а последняя вершина соединяется с первой линией красного цвета. В режиме создания 1D слоя пользователь вводит вершины, составляющие незамкнутую ломаную линию, описывающую ось трубки. Ширина трубки формируется автоматически, исходя из значения, введённого в поле **«Диаметр трубки, м»**.

Добавлять новые вершины можно при помощи однократного щелчка мышью по холсту. При этом добавляться будут только те вершины, добавление которых не образует пересечений с линиями, образованными уже добавленными вершинами, а также, если отмечена галочка «С учётом размеров рабочего поля стенда**»**, лежащие внутри контура рабочего стола.

Также новые вершины можно добавлять путём ручного ввода координат в поля ввода, обозначенные надписью **«Новая вершина»**. В первое поле вводится координата *x*, во второе – *y*. Далее следует нажать кнопку **«Добавить вершину»**.

Все добавленные вершины перечислены в разделе **«Список вершин»**. Для редактирования какой-либо вершины необходимо её выбрать в списке вершин, либо кликнуть по ней на холсте. В результате выбранная вершина станет подсвечиваться синим в списке вершин, а на холсте вокруг неё образуется светло-зелёный круг. Чтобы изменить координаты выбранной вершины необходимо ввести новые желаемые значения в поля ввода под списком вершин, а затем нажать на кнопку **«Изменить координаты»**. Если в результате изменения координат получится так, что контур начнёт содержать пересечения, либо учитываются размеры рабочего поля стенда, а новые координаты находятся за его пределами, будет выведено сообщение об ошибке, а координаты останутся прежними. Кнопка **«Отменить»** служит для того, чтобы вернуть в поля ввода текущие координаты точки, если они были отредактированы, но ещё не были применены.

Выбирать вершину и менять её положение можно также при помощи мыши. Для этого необходимо нажать и удерживать левую кнопку мыши на выбранной вершине. Вершина будет перемещаться вслед за указателем мыши, но только в те области, где не создаётся пересечений и не выходящих за пределы рабочей зоны (если это запрещено).

Выбранную вершину также можно удалить при помощи нажатия на кнопку **«Удалить вершину»**. В случае, если удаление вершины приведёт к появлению пересечений в контуре, будет выведено сообщение об ошибке, а вершина не будет удалена.

Последнюю добавленную вершину можно удалить путём нажатия на кнопку **«Убрать последнюю точку»**. Для удаления всех вершин служит кнопка **«Очистить»**.

Холст можно масштабировать путём вращения колёсика мыши. Также холст можно перемещать, зажав на нём правую кнопку или нажав на колёсико мыши. Координаты холста в метрах показаны снизу и слева. Вернуть холст в исходный вид можно путём нажатия на кнопку **«Изначальный вид»**.

Создаваемый слой разбивается на сетку из треугольников. Чем меньше средний шаг сетки, тем на большее число треугольников разбивается деталь. С увеличением количества треугольников увеличивается точность моделирования, а также время генерации сетки, время её загрузки, объём потребляемой памяти и время моделирования. Средняя величина шага сетки (в метрах) задаётся в правом нижнем углу. В случае задания слишком малой величины шага сетки (при которой деталь будет разбита на слишком большое число треугольников и производительность может опуститься ниже критического минимума) при попытке принятия слоя возникнет ошибка с указанием, во сколько раз шаг необходимо уменьшить (рис. 1.5).

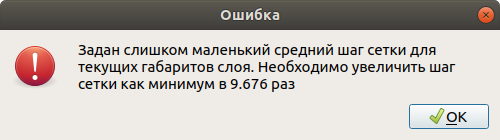


Рис. 1.5. Ошибка, возникающая при задании слишком малой величины среднего шага сетки

**Для корректного моделирования требуется, чтобы все слои имели одинаковый средний шаг сетки.**

Также в окне задания границ слоя присутствует возможность задания направления продольной оси волокон для данного слоя. Соответствующие элементы находятся в разделе **«Направление продольной оси укладки»**. В левой части раздела находится стрелка, указывающая направление. Стрелка является интерактивной, при помощи щелчка мыши внутри круга со стрелкой можно задать её направление. В поле ввода справа от стрелки находится величина угла в градусах. Угол может изменяться в пределах от -90 до 90°. При изменении значения в этом поле ввода автоматически меняется направление стрелки.

Когда контур слоя задан, для его принятия и добавления в модель необходимо нажать на кнопку **«ОК»** в нижней части окна **«Задание границ слоя»**. В случае нажатия кнопки **«Отмена»** форма слоя принята не будет.

Также присутствует возможность сгенерировать сетку внутри контура и сохранить её в файл в формате Gmsh 2.2. Для этого нужно нажать на кнопку **«Экспорт в файл»**.

### 1.1.3. Загрузка формы из файла

В программе также имеется возможность не задавать контур слоя каждый раз вручную, а импортировать сгенерированную сетку из файла.

Для загрузки формы слоя из файла необходимо нажать кнопку **«Импортировать форму слоя из файла».** В открывшемся диалоге открытия файла необходимо открыть файл формата трёхмерной модели Gmsh (версия формата не выше 2.2).

После успешного выбора файла надпись «Форма слоя не задана» заменится путём к выбранному файлу.

Предполагается, что у импортируемой модели размеры заданы в метрах. Но также поддерживается импорт трёхмерных моделей, размеры которых заданы в миллиметрах. Перед импортом модели пользователю необходимо заранее выяснить, какие единицы измерения в ней используются. В случае, если для трёхмерной модели размеры заданы в миллиметрах, после выбора файла модели, необходимо отметить галочку «Размеры заданы в миллиметрах».

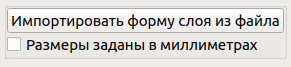


Рис. 1.6. Выбор единиц, в которых заданы размеры импортируемой модели

### 1.1.4. Выбор цвета непропитанного слоя

До начала процесса пропитки, для того чтобы было возможно различать различные слои, их следует окрасить в различные цвета. Цвет слоя до начала пропитки выбирается в диалоге выбора цвета после нажатия на цветной прямоугольник под надписью «Цвет по умолчанию». Цвет прямоугольника соответствует выбранному цвету слоя.

### 1.1.5. Задание имени слоя и угла укладки

Для того чтобы было легче различать слои, им можно присваивать имена. Для создания слоя с определённым именем, его следует ввести в верхней части окна в поле **«Имя слоя»**. Именем слоя может быть любая последовательность символов, в том числе и пустая. Различные слои могут иметь одинаковые имена.

Задать и отредактировать угол направления продольной оси укладки волокна для данного слоя можно в поле **«Угол укладки волокна»**. Также этот угол можно задавать и редактировать в окне **«Задание границ слоя»**.

### 1.1.6. Окончание создания слоя

После того как все необходимые параметры выбраны, в окне создания слоя становится активной кнопка **«ОК»**. Её необходимо нажать для добавления слоя в модель.

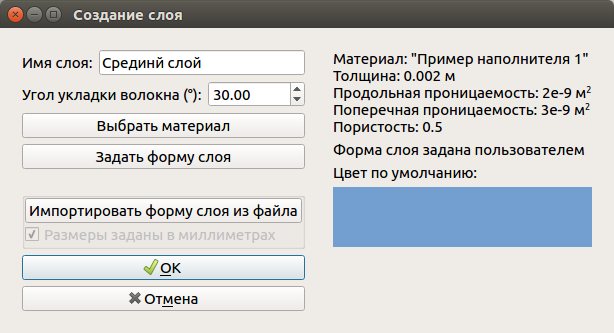


Рис. 1.7. Вид окна создания слоя после выбора параметров

## 1.2. Взаимодействие с добавленными слоями

Все добавленные в проект слои отображаются в таблице в разделе «Слои» в правой части окна. Каждая строка таблицы соответствует одному слою. Верхние слои располагаются в таблице сверху, а нижние снизу. Для каждого слоя указано его имя, заданное пользователем, а также название материала, из которого он состоит и цвет по умолчанию. Отображаемые на экране слои записаны в таблице чёрным цветом. Серым цветом записаны слои, учитываемые при моделировании, но не отображаемые на экране. Красным цветом записаны слои, не учитываемые при моделировании.

Слой выбирается путём одинарного щелчка мышью по его строке в таблице. При двойном щелчке происходит открытие окна редактирования контура слоя.

После выбора слоя в разделе «Выбранный слой» отображается информация о его имени, материале и цвете по умолчанию. Также присутствуют элементы управления слоем: элемент переключения учёта слоя при расчётах **«Учитывать при моделировании»**, элемент переключения визуализации слоя **«Отображать»**, кнопка изменения материала слоя **«Выбрать материал»**, кнопка удаления слоя **«Удалить слой»**, кнопка создания копии слоя **«Дублировать слой»**, кнопка редактирования контура слоя **«Редактировать слой»**, кнопки перемещения слоя вверх и вниз. **Цветной прямоугольник**, отображающий цвет слоя также является элементом управления. После нажатия на него открывается диалог выбора нового цвета слоя. *Также, в случае включения дополнительных возможностей (см. пункт 3.5), появляется кнопка включения режима обрезки «Обрезать слой»*.

Изменить имя слоя можно, поменяв название в поле ввода **«Имя слоя»** и нажав на кнопку **«Сохранить»** справа от него на той же строке. Изменить угол укладки волокна можно, поменяв значение в поле ввода **«Угол укладки волокна»** и нажав на кнопку **«Сохранить»** справа от него на той же строке.

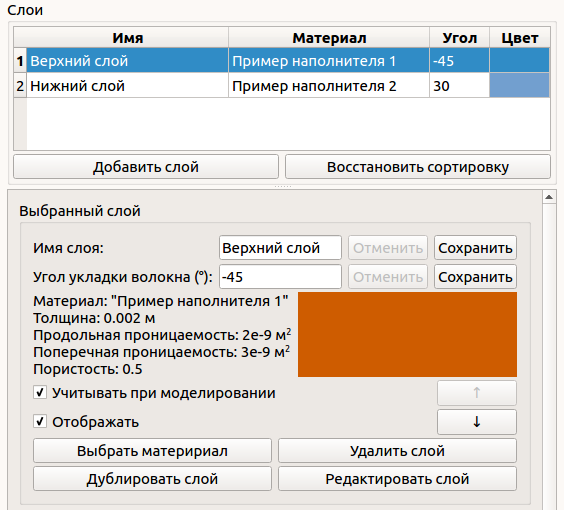


Рис. 1.8. Раздел «Слои» с выбранным слоем

## 1.3. Включение и отключение слоя для расчётов

Для выключения слоя из расчёта необходимо его выбрать в списке слоёв (рис. 1.8), и затем снять галочку **«Учитывать при моделировании».**

Слои, не учитываемые при моделировании, в списки слоёв помечены красным цветом.

Для возвращения слоя в расчёт необходимо вновь установить галочку **«Учитывать при моделировании».**

Отключать и включать слои для учёта в расчётах можно только при полностью остановленном процессе моделирования.

## 1.4. Включение и отключение визуализации слоя

Для того чтобы не визуализировать процесс пропитки слоя, при этом не исключая его из расчёта, нужно выбрать этот слой в списке и снять галочку **«Отображать»**. Не отображаемые слои помечены серым цветом. Включать и отключать визуализацию слоёв можно непосредственно во время моделирования.

## 1.5. Изменение материала слоя

Для каждого из слоёв возможно изменить материал наполнителя. Для этого необходимо нажать кнопку **«Выбрать материал»**. В результате откроется окно интерфейса взаимодействия с базой данных наполнителей (см. пункт 1.1.1). В нём необходимо выбрать материал и нажать кнопку **«ОК»**. Менять материалы слоёв можно только при полностью остановленном процессе моделирования.

Изменить угол укладки волокна для выбранного слоя можно, поменяв значение в поле ввода **«Угол укладки волокна»** и нажав на кнопку **«Сохранить»** справа от него на той же строке. Менять углы укладки также можно только при полностью остановленном процессе моделирования.

## 1.6. Удаление слоя

Для полного удаления слоя необходимо выбрать слой в списке, а затем нажать на кнопку **«Удалить слой»**. В открывшемся окне подтверждения удаления нужно нажать **«Да»**:

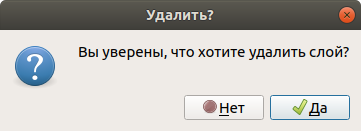


Рис. 1.9. Окно подтверждения удаления слоя

Удалять слои можно только при полностью остановленном процессе моделирования.

***После изменения конфигурации преформы может потребоваться заново указать точки входа и выхода связующего (см. пункты 2.2 и 2.3).***

## 1.7. Дублирование слоя

Для создания копии выбранного слоя нужно нажать на кнопку **«Дублировать слой»**. Вновь созданный слой будет иметь тот же материал, имя и цвет по умолчанию, что и исходный. После создания слой будет помещён на самую верхнюю позицию.

## 1.8. Редактирование слоя

Для редактирования контура выбранного слоя нужно на кнопку **«Редактировать слой»**. Также приступить к выполнению данной операции можно выполнив двойной щелчок на строке с интересуемым слоем.

Для редактирования контура слоя будет открыто окно задания полигона «Задание границ слоя» (рис. 1.4). В этом окне будет отображён полигон выбранного слоя. Процесс редактирования полигона слоя описан в пункте 1.1.2.

В случае, когда осуществляется редактирование импортированного трёхмерного слоя, в окне задания границ слоя будет изображён полигон, описывающий проекцию слоя на горизонтальную плоскость. После завершения редактирования, слой станет плоским. Если редактируемый слой содержит отверстия, при редактировании они не будут учитываться и в результате сохранения исчезнут. Если редактируемый слой состоит из нескольких не связанных друг с другом частей, редактироваться будет только та часть, которая располагается выше по оси *y*. Остальные части в результате сохранения исчезнут.

Для создания слоя по отредактированному полигону в окне задания границ следует нажать на кнопку «ОК», для отказа от редактирования – «Отмена».

## 1.9. Сортировка положения слоёв по вертикальной оси

Для перемещения выбранный слой можно переместить вверх или вниз по вертикальной оси при помощи нажатия на клавиши со стрелками, указывающими направление вверх или вниз (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Кнопки перемещения слоёв выше/ниже

В случае если пользователем было осуществлено перемещение слоя по вертикальной оси вручную (см. пункт 3.1), может потребоваться восстановить требуемый порядок слоёв. Для этой цели служит кнопка **«Восстановить сортировку»**.

# 2. Задание параметров пропитки

Параметры пропитки задаются в панели справа во вкладке **«Параметры моделирования»**.

## 2.1. Задание параметров связующего

### 2.1.1. Выбор материала связующего

Для выбора материала связующего в правой части окна в разделе **«Свойства связующего»** необходимо нажать на кнопку **«Выбрать материал»**.

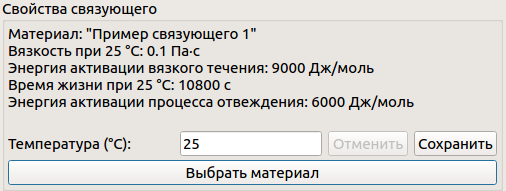


Рис. 2.1. Раздел «Свойства связующего»

В результате откроется окно интерфейса взаимодействия с базой данных наполнителей.

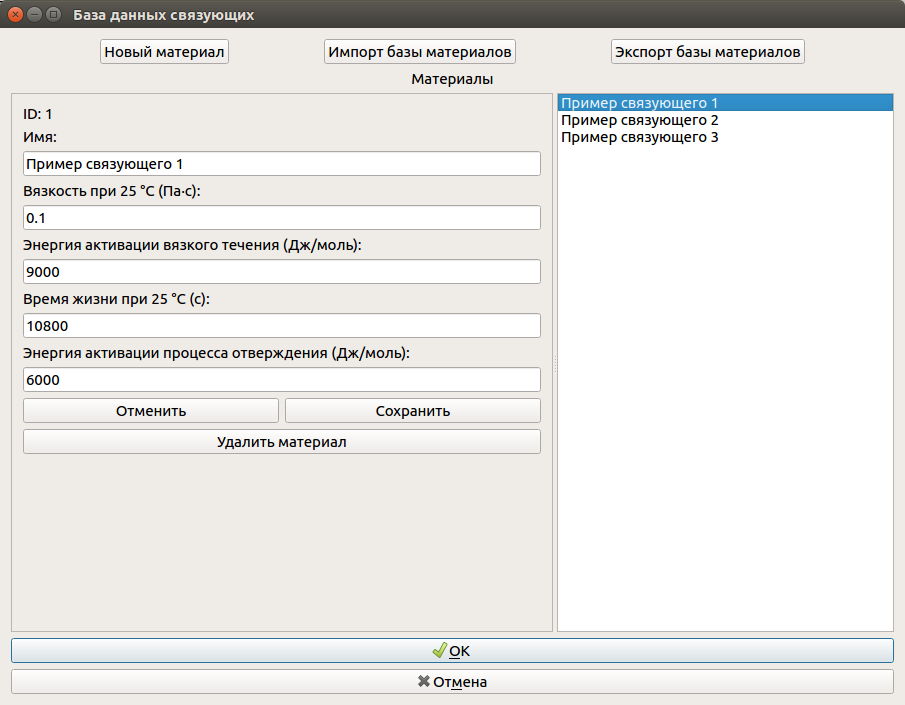


Рис. 2.2. Интерфейс взаимодействия с базой данных связующих

В открывшемся окне нужно выделить в списке требующийся материал, после этого нажать кнопку **«ОК»**. Также возможно выбрать материал двойным щелчком мыши по его названию в списке.

Также возможно выбрать материал, отсутствующий в списке, без сохранения его в базу данных. Для этого необходимо ввести в поля «Имя», «Вязкость при температуре 25°C», «Энергия активации вязкого течения (Дж/моль)», «Время жизни при 25°C», «Энергия активации процесса отверждения (Дж/моль)» требуемые параметры, а затем нажать кнопку **«ОК»**.

Менять материал связующего можно только при полностью остановленном процессе моделирования.

### 2.1.2. Задание температуры связующего



Рис. 2.3. Поле ввода значения температуры связующего

От температуры зависит вязкость и время жизни связующего.

Для задания температуры связующего необходимо ввести в поле «Температура» (рис. 2.3) величину температуры связующего в градусах Цельсия. Для подтверждения ввода требуется нажать кнопку **«Сохранить»** либо нажать на клавишу «Enter».

Для отображения значения температуры, заданной в текущей момент в модели, нужно нажать на кнопку **«Отменить»**. Если кнопка **«Отменить»** не активна, это означает, что в поле «Температура» уже отображается температура, используемая моделью.

## 2.2. Задание параметров точки входа связующего

В разделе **«Точка подачи связующего»** вводятся величина атмосферного давления в паскалях и диаметр источника в метрах.

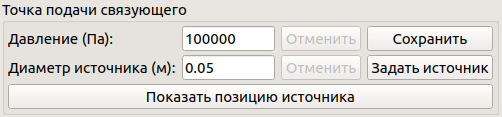


Рис. 2.4. Раздел ввода параметров подачи связующего

### 2.2.1. Задание атмосферного давления

В поле **«Давление»** вводится величина атмосферного давления в паскалях. Для подтверждения ввода требуется нажать кнопку **«Сохранить»** либо нажать на клавишу «Enter».

Для отображения значения давления, заданного в текущей момент в модели, нужно нажать на кнопку **«Отменить»**. Если кнопка **«Отменить»** не активна, это означает, что в поле «Давление» уже отображается давление, используемое моделью.

### 2.2.2. Задание диаметра и координат точки ввода связующего

В поле **«Диаметр источника»** вводится в метрах диаметр источника подачи связующего.

После ввода значения, требуется нажать на кнопку «Задать источник». В результате нажатия, кнопка становится утопленной (), а визуализация модели переключится в режим вида сверху.

Далее необходимо на визуализации модели при помощи мыши кликнуть в месте требуемого расположения источника. При этом у визуализации должен быть включён режим выбора ().

На визуализации модели конечные элементы, относящиеся к точке ввода связующего, отображаются синим цветом. Для отображения позиции источника на модели в любой момент можно воспользоваться кнопкой **«Показать позицию источника»**.

## 2.3. Задание параметров точки выхода связующего

В разделе **«Точка вакуумирования»** вводятся величина давления вакуума в паскалях и диаметр источника съёма связующего в метрах.

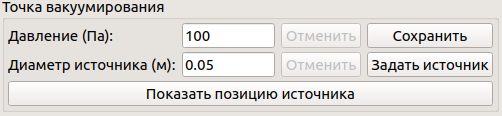


Рис. 2.5. Раздел ввода параметров выхода связующего

Задание величины давления, диаметра и координат точки вывода связующего осуществляется аналогично заданию соответствующих параметров точки для точки подачи связующего (см. пункт 2.2).

На визуализации модели конечные элементы, относящиеся к точке выхода связующего, отображаются голубым цветом.

При заполнении связующем всех элементов, относящихся к точке вакуумирования, процесс моделирования автоматически останавливается.

## 2.4. Положения источников по умолчанию

Порты подачи связующего и вакуума можно не задавать вручную, а использовать для них параметры, заданные в качестве характеристик рабочего поля стенда. Для этого необходимо отметить галочку **«Положения источников по умолчанию»**, расположенную ниже инструментов ручного задания характеристик подачи и съёма связующего. Когда данная галочка активирована, инструменты задания диаметров и позиций источников подачи и съёма связующего (пункты 2.2, 2.3) становятся неактивными.

В случае, когда положение источника по умолчанию находится вне контуров добавленных слоёв, за источник принимается точка контура, находящаяся наиболее близко к позиции источника по умолчанию.

## 2.5. Редактирование параметров рабочего поля стенда

Параметры рабочего поля стенда возможно изменить. Для этого необходимо открыть вкладку **«Дополнительно»**. На ней в разделе **«Параметры стола»** (рис. 2.6) располагаются инструменты задания размеров стола, координат центра порта подачи (точки подачи), координат центра порта вакуума (точки съёма), их диаметров. Все параметры задаются в метрах. Для сохранения введённого значения необходимо нажать кнопку «Сохранить» справа от поля ввода. Для того, чтобы вернуть в поле ввода значение, установленное в системе в данный момент, нужно нажать кнопку «Отменить».

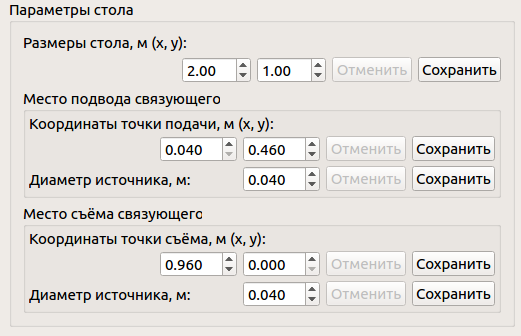


Рис. 2.6. Инструменты задания параметров рабочего поля стенда

# 3. Взаимодействие с интерфейсом визуализации

Визуализация трёхмерной модели пропитываемой преформы находится в левой части окна.

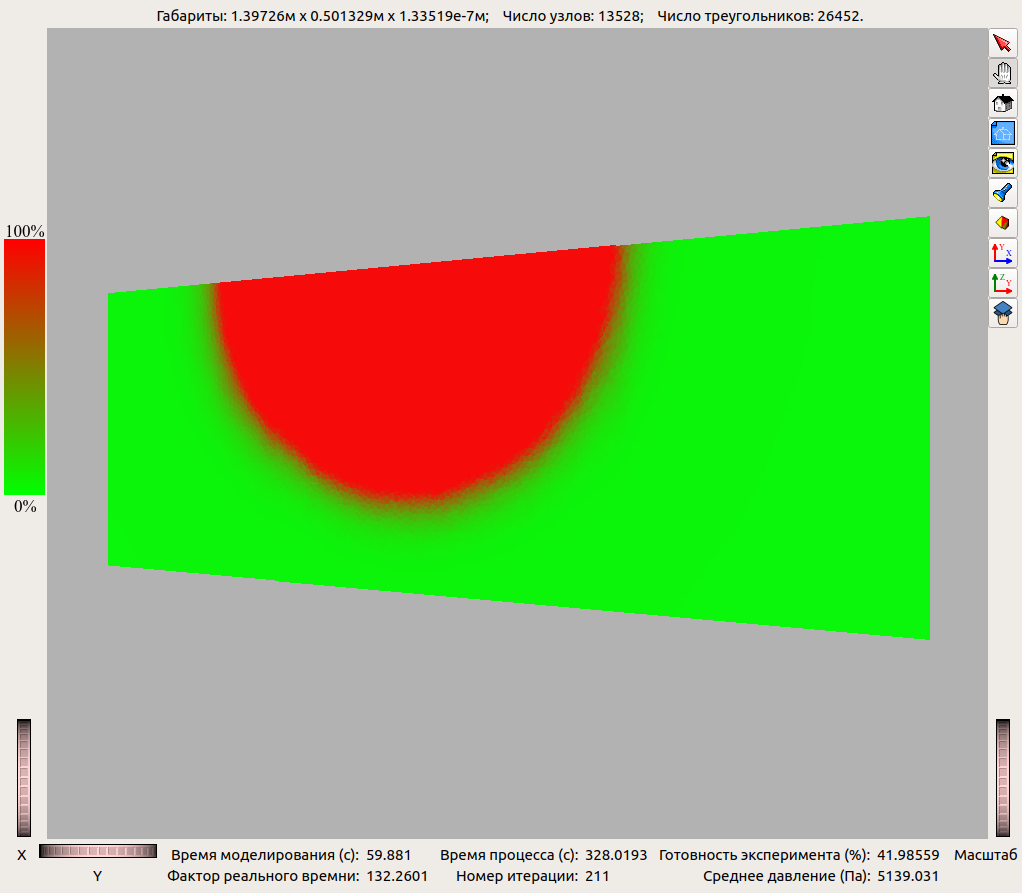


Рис. 3.1. Элементы визуализации модели

Визуальное представление модели имеет ряд элементов управления.

Кнопки:

- режим взаимодействия с моделью;

 - режим перемещения и вращения вида на модель;

 - переход к заранее сохранённой точке обзора;

 - сохранение текущей точки обзора;

 - полностью уместить модель на экране;

 - режим приближения;

- переключение типа проекции ( – перспективная,  – ортографическая);

 - вид сверху;

 - *вид справа (дополнительные возможности)*;

 - *режим перемещения слоёв* *(дополнительные возможности)*;

 - *режим задания контура обрезки* *(дополнительные возможности)*.

Вращательные элементы:



Рис. 3.2. Вращение модели вокруг горизонтальной оси



Рис. 3.3. Вращение модели вокруг вертикальной оси

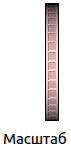


Рис. 3.4. Приближение и отдаление модели

## 3.1. Вращение, перемещение и приближение трёхмерной модели

При включённом режиме перемещения и вращения модели () модель можно вращать, перемещать, приближать и отдалять при помощи мыши:

- **вращение** осуществляется путём перемещения мыши с зажатой **левой** кнопкой;

- **перемещение** осуществляется путём перемещения мыши с зажатой **средней** кнопкой (нажатым колёсиком);

- **приближение** осуществляется путём вращения колёсика мыши на себя;

- **отдаление** осуществляется путём вращения колёсика мыши от себя.

При помощи элементов управления, изображённых на рис. 3.2-3.4, также можно вращать, перемещать, приближать и отдалять модель.

## 3.2. Переключение видов

Переход к виду сверху осуществляется путём нажатия на кнопку .

Переход к виду справа осуществляется путём нажатия на кнопку . Данная кнопка становится активной только в случае включения дополнительных возможностей (см. пункт 3.5).

## 3.3. Отображение параметров трёхмерной модели

Вверху отображается информация о габаритах трёхмерной модели преформы, число узлов, число треугольников, составляющих модель.



Рис. 3.5. Строка параметров модели

## 3.4. Отображение информации о процессе моделирования

В процессе моделирования ячейки детали раскрашиваются в соответствии с их уровнем заполнения связующим. Зелёному цвету соответствует отсутствие заполнения, а красному – полное заполнение.



Рис. 3.6. Шкала цветовых обозначений степени пропитки

Под отображением модели выводится информация о текущем состоянии процесса моделирования:

- расчётное время моделирования, в секундах;

- время моделирования, в секундах;

- отношение расчётного времени за итерацию к измеренному времени итерации – фактор реального времени;

- номер итерации;

- средняя степень заполнения всех узлов в процентах – готовность эксперимента;

- среднее давление во всех узлах в паскалях.



Рис. 3.7. Информация о текущем состоянии моделирования

## 3.5. Дополнительные возможности

Внизу вкладки **«Дополнительно»** находится флажок **«Дополнительные возможности (обрезка, перемещение слоёв)»**. В случае если он установлен, в окне появляются элементы управления, позволяющие выполнять перемещение и обрезку слоёв непосредственно при помощи интерфейса визуализации. Возможности, описанные далее в пунктах 3.5.1 и 3.5.2, становятся доступными только в случае установки данного флажка.

### 3.5.1. Обрезка слоя

Для возможности выполнения обрезки слоя при помощи интерфейса визуализации во вкладке «Дополнительно» должен быть отмечен флажок «Дополнительные возможности (обрезка, перемещение слоёв)».

Для обрезки слоя необходимо выбрать его в списке, а затем нажать кнопку **«Обрезать слой»** (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Кнопка обрезки слоя

При нажатии на эту кнопку, все слои, кроме выбранного, перестают отображаться. Когда кнопка «Обрезать слой» утоплена, в панели инструментов визуализации модели появляется кнопка переключения выделения ().

Когда кнопка переключения выделения  утоплена, на экране можно задать контур, по которому будет выполнена обрезка. Для этого на экране отображения модели щелчками мыши задаются точки контура. При этом у визуализации должен быть включён режим выбора (). Задаваемый контур отображается пунктирной линией (рис. 3.9).

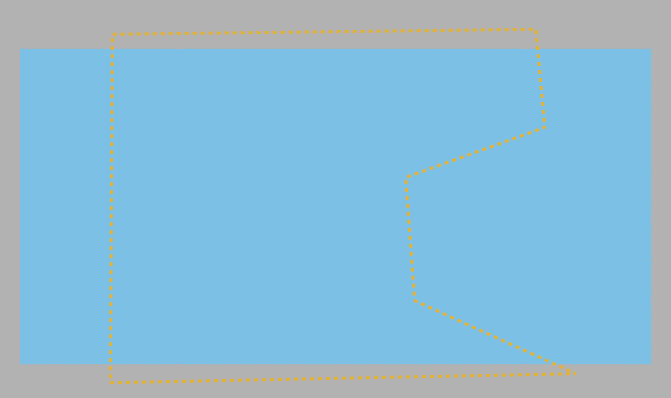


Рис. 3.9. Процесс задания контура для обрезки

Отжатие кнопки выделения  или кнопки «Обрезать слой» приводит к отмене нанесённого контура.

Для окончания выбора контура обрезки необходимо осуществить **двойной щелчок** мышью в последней точке контура. Далее программа начнёт выбирать все элементы, попавшие в данный контур. Этот процесс является длительным и может занять до нескольких минут, в зависимости от числа узлов модели и размеров созданного контура. После окончания данного процесса все элементы, попавшие внутрь контура, будут подсвечены фиолетовым цветом, и появится диалог подтверждения обрезки (рис. 3.10).

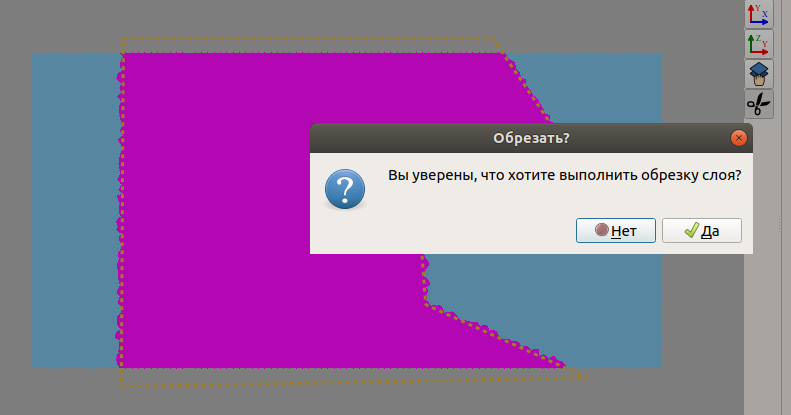


Рис. 3.10.Диалог подтверждения обрезки

В случае нажатия в диалоге подтверждения кнопки «Да», от слоя останется только та часть, которая выделена фиолетовым (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Обрезанный слой

В случае нажатия кнопки «Нет», слой обрезан не будет, но его часть останется выделенной фиолетовым (рис. 3.12). Впоследствии вдоль фиолетовой части можно будет вновь провести контур и выполнить обрезку.



Рис. 3.12. Слой, для которого обрезка была отменена.

### 3.5.2. Перемещение слоя

Для возможности выполнения перемещения слоя при помощи интерфейса визуализации во вкладке «Дополнительно» должен быть отмечен флажок «Дополнительные возможности (обрезка, перемещение слоёв)».

Для включения режима перемещения слоёв служит кнопка  в панели инструментов визуализации модели.

Когда включён данный режим и у визуализации включён режим выбора (), можно кликнуть мышью по изображению любого слоя. В результате вокруг него появится сфера управления перемещением (рис. 3.13).

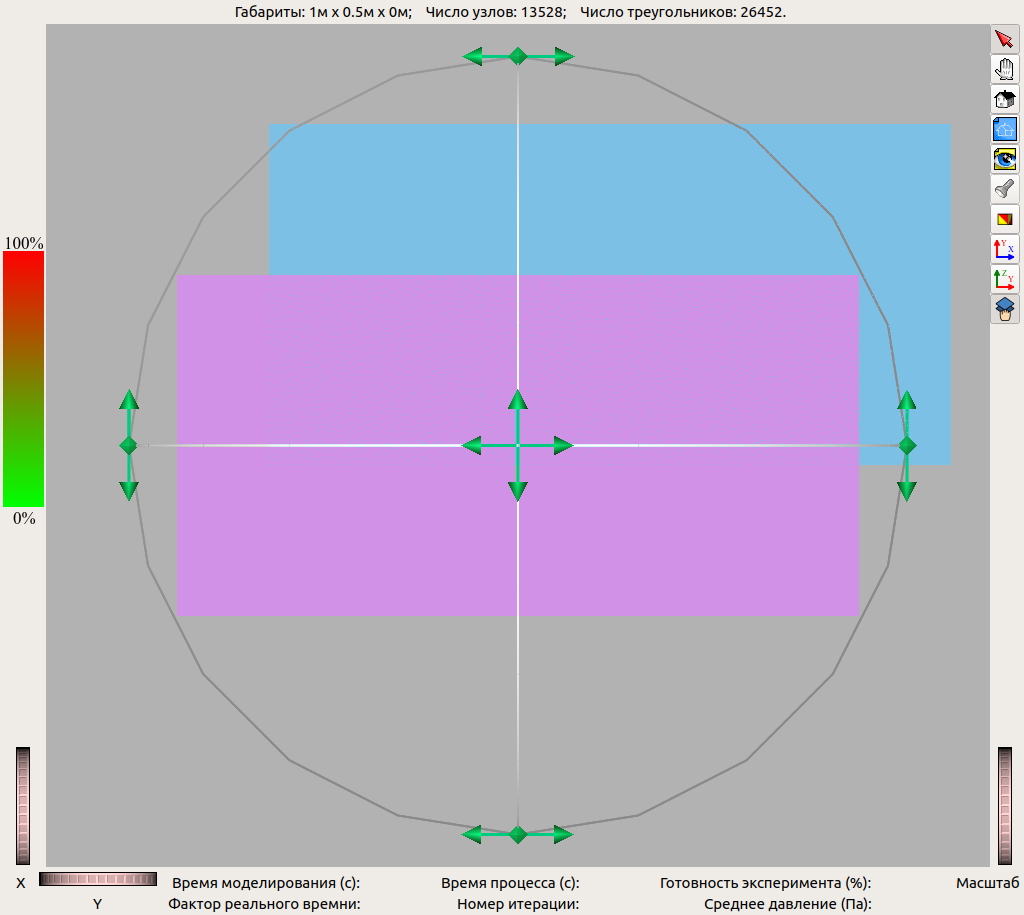


Рис. 3.13. Сфера управления перемещением слоя

Отжатие кнопки режима перемещения  приводит к исчезновению сферы управления перемещением и возвращению слоя на исходную позицию.

Для линейного перемещения слоя следует зажать левой кнопкой мыши перекрести стрелок () на сфере и с зажатой кнопкой двигать мышь в нужную сторону (рис. 3.14).

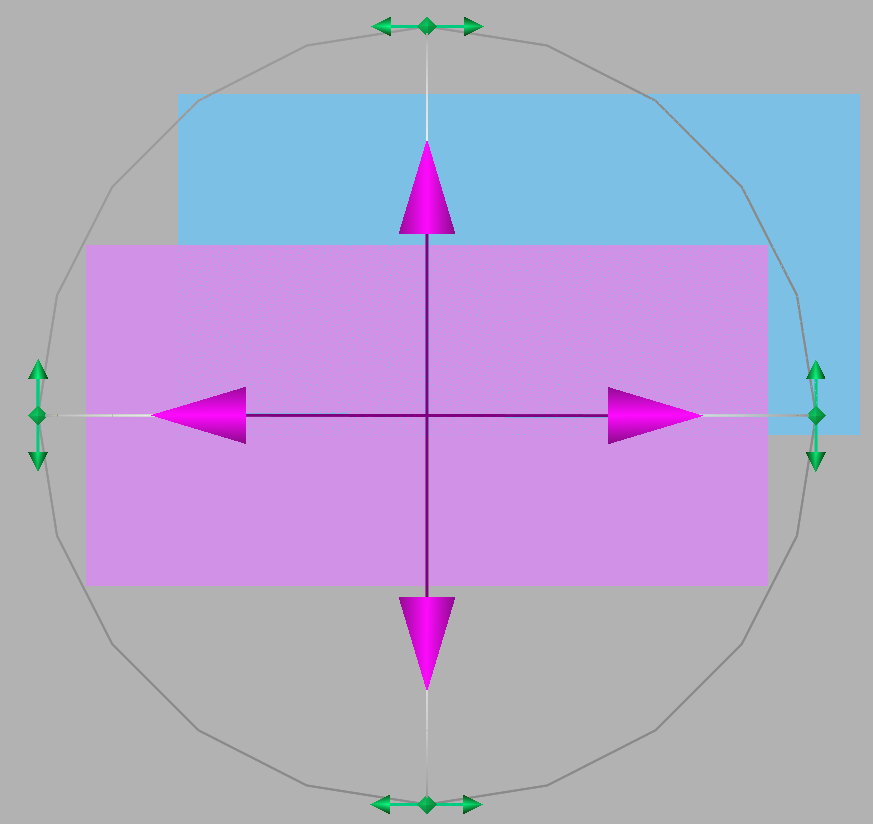


Рис. 3.14. Сфера управления перемещением во время процесса линейного смещения слоя

Для вращательного перемещения слоя следует зажать левой кнопкой мыши любую точку сферы сфере и с зажатой кнопкой двигать мышь в нужную сторону. В результате слой будет поворачиваться относительно центра сферы (рис. 3.15).

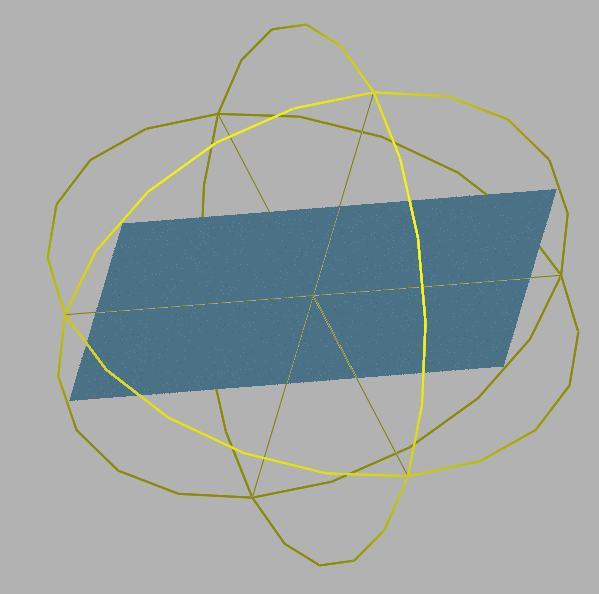


Рис. 3.15. Сфера управления перемещением во время процесса вращательного смещения слоя

После окончания перемещения следует кликнуть мышью в любом месте рабочей сцены отображения модели, за пределами сферы. В результате появится диалог подтверждения перемещения (рис. 3.16).

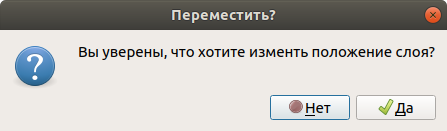


Рис. 3.16.Диалог подтверждения перемещения

В случае нажатия в диалоге подтверждения кнопки «Да» слой будет оставлен в новой позиции. В случае нажатия на кнопку «Нет» он будет возвращён в исходную.

### 3.5.3. Регулирование размеров кубиков в узлах

В узлах сетки для визуализации могут отображаться кубики. Кубики в узлах окрашены в выбранный для слоя стандартный цвет, и их цвет не зависит от степени пропитки области, в которой находится узел. Размер стороны кубика можно регулировать ползунком **«Размер стороны кубиков в узлах, мм»** на вкладке «Дополнительно» (рис. 3.17). Выставление большого размера кубиков может понадобиться для возможности определения того, где какой слой наблюдается во время пропитки. При выставлении нулевого размера стороны кубики в узлах отображаться перестают.



Рис. 3.17. Ползунок регулировки размеров кубиков в узлах

# 4. Управление процессом моделирования



Рис. 4.1. Элементы управления процессом моделирования

## 4.1. Запуск

Для запуска моделирования необходимо задать форму модели и все параметры (см. пункты 1 и 2) и затем нажать на кнопку **«Запуск симуляции»** () на панели инструментов.

Во время симуляции можно менять температуру связующего, остальные параметры менять нельзя.

## 4.2. Пауза

Процесс моделирования в любой момент возможно поставить на паузу. Для этого нажать на кнопку **«Пауза симуляции»** () на панели инструментов. Возобновить процесс моделирования можно нажатием на кнопку **«Запуск симуляции»** ().

Во время паузы также нельзя менять никакие параметры симуляции, кроме температуры связующего.

## 4.3. Остановка

Процесс моделирования в любой момент возможно поставить на остановить. Для этого нажать на кнопку **«Остановка симуляции»** () на панели инструментов. Возобновить моделирование после остановки нельзя, можно только начать его заново.

Когда готовность эксперимента достигнет 100 % или величина давления связующего в узлах перестанет изменяться, моделирование остановится автоматически.

## 4.4. Сброс параметров модели

Кнопка **«Сброс симуляции»** () на панели инструментов служит для остановки симуляции и сброса раскраски модели к исходной.

## 4.5. Параметры окончания расчёта

Нижней части вкладки «Параметры моделирования» располагается раздел **«Окончание расчёта»** (рис. 4.2). Данный раздел содержит элементы управления, позволяющие останавливать процесс моделирования при достижении определённых условий.

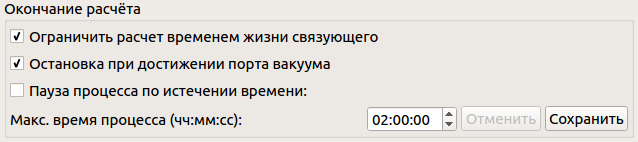


Рис. 4.2. Раздел «Окончание расчёта»

### 4.5.1. Ограничение расчёта временем жизни связующего

Для того чтобы процесс автоматически останавливался, когда время моделируемого процесса начинает превышать время жизни связующего, необходимо отметить галочку **«Ограничить расчёт временем жизни связующего»**. Время жизни связующего рассчитывается автоматически, в зависимости от характеристик связующего и заданной температуры.

### 4.5.2. Окончание расчёта при заполнении порта вакуума

Для того чтобы процесс моделирования автоматически останавливался, когда все относящиеся к порту вакуума узлы становятся полностью заполненными, необходимо отметить галочку **«Остановка при достижении порта вакуума»**.

### 4.5.3. Автоматическая пауза по истечении времени

В программе реализована функция автоматической паузы процесса по достижении определённого расчётного времени моделирования (рис. 4.3).

Для использования этой функции во вкладке **«Параметры моделирования»** необходимо отметить галочку **«Ограничивать время процесса»**. Время процесса задаётся в поле **«Макс. время процесса»** в формате чч:мм:сс. После ввода времени нужно нажать кнопку **«Сохранить»**.

Снимается ограничение на время процесса путём снятия галочки **«Ограничивать время процесса»**.



Рис. 4.3. Элементы управления автоматической паузой

# 5. Сохранение и загрузка модели пропитанного материала



Рис. 5.1. Кнопки создания, загрузки и сохранения модели

## 5.1. Создание новой модели

Для создания новой модели нужно нажать кнопку **«Новая деталь»** () на панели инструментов. В результате модель преформы будет очищена и вся не сохранённая информация о её конфигурации и пропитке утеряна.

## 5.2. Сохранение модели

Полную информацию о модели можно сохранить в единый файл. В результате сохраняется трёхмерная модель, степень её пропитки, параметры пропитки, информация о процессе пропитки.

Для сохранения модели нужно нажать **«Сохранить деталь»** (). Далее в открывшемся диалоге сохранения файла выбрать нужную папку, ввести имя файла и нажать «Сохранить».

## 5.3. Загрузка модели

Полную информацию о модели можно загрузить из файла. В результате загрузится трёхмерная модель, степень её пропитки, параметры пропитки, прошедшем информация о процессе пропитки. При этом, если перед сохранением моделирование не было завершено, а было поставлено на паузу, после загрузки сохранённой модели моделирование можно продолжить.

Для открытия модели нужно нажать **«Открыть деталь»** (). Далее в открывшемся диалоге сохранения файла выбрать нужный файл и нажать «Открыть».

# 6. Автоматическое сохранение картинок и видео процесса

В программе предусмотрены функции записи с экрана изображений и видео протекающего процесса.

## 6.1. Сохранение серии картинок

Для включения режима сохранения серии картинок следует нажать на кнопку **«Запись серии кадров»** () на панели инструментов. После этого кнопка начнёт отображаться утопленной. Когда режим сохранения серии картинок включен, в момент запуска моделирования начнётся запись серии кадров, а окно программы перейдёт в режим отображения поверх всех остальных окон. Если процесс моделирования уже активен в момент включения данного режима, запись серии кадров начнётся сразу же. Запись серии кадров будет остановлена в случае остановки процесса моделирования, либо в случае выключения данного режима. Для выключения режима записи кадров следует нажать на кнопку **«Запись серии кадров»** () ещё раз.

Для корректной записи кадров требуется, чтобы часть окна, отображающая деталь, полностью располагалась на экране и не была перекрыта никакими другими окнами. Если окно будет перемещено, и та его часть, которая отображает деталь, частично выйдет за границы экрана, сохранение кадров будет приостановлено до тех пор, пока окно не будет возвращено в положение, в котором деталь отображается полностью.

Кадры будут записываться с заданным интервалом и сохраняться в заданную папку. Задать эти параметры можно перед началом записи на вкладке **«Дополнительно»** (рис. 6.1).

Для выбора папки, в которой будут храниться серии кадров, следует нажать кнопку **«Выбрать папку»**. В открывшемся диалоге нужно перейти в нужную папку и нажать кнопку «Открыть». Путь, по которому расположена выбранная папка, отобразится слева от кнопки **«Выбрать папку»**.

Для каждой новой серии снимков в заданной папке автоматически создаётся новая папка. Имя этой папки задаётся в поле **«Имя серии кадров»**. Имя папки не должно быть пустым, а также не должно содержать символов, наличие которых недопустимо в именах файлов и папок в используемой операционной системе. После ввода имени папки нужно нажать на кнопку **«Сохранить»**, расположенную на той же строчке. Для отмены редактирования и отображения в поле ввода текущего заданного имени папки нужно нажать кнопку **«Отменить»**.

Если в папке для записи кадров уже существует папка с таким именем, будет создана новая папка, к имени которой будет добавлено число 1. Если существует папка и с таким именем, то добавлено будет число 2, и так далее.

Для задания временного интервала между снятием кадров используется поле ввода **«Период снятия кадров, с»**.

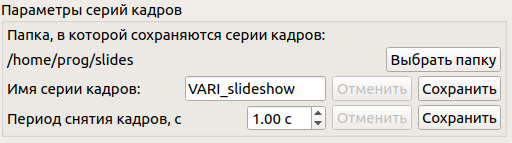


Рис. 6.1. Элементы управления для задания параметров снятия серий кадров

Снимки экрана сохраняются в формате **PNG**. Каждый снимок имеет имя файла, содержащее слово “slide” и количество времени в секундах, прошедшее с момента запуска записи серии кадров до момента снятия данного кадра.

Для открытия папки, в которой сохраняются серии кадров, необходимо нажать на кнопку **«Открыть папку слайдшоу»** () на панели инструментов.

## 6.2. Сохранение видео

Для записи видео следует нажать на кнопку **«Запись видео»** () на панели инструментов. После этого кнопка начнёт отображаться утопленной. Когда режим записи видео включен, в момент запуска моделирования начнётся сохранение кадров, а окно программы перейдёт в режим отображения поверх всех остальных окон. Если процесс моделирования уже активен в момент включения данного режима, запись начнётся сразу же. Запись будет остановлена в случае остановки процесса моделирования, либо в случае выключения данного режима. Для выключения режима записи кадров следует нажать на кнопку **«Запись видео»** () ещё раз. После остановки записи из записанных кадров начнёт формироваться видеофайл.

Процесс формирования видеофайла протекает в фоне в отдельном потоке. По окончании формирования видеофайла будет отображено окно с сообщением, где видеофайл сохранён (рис. 6.2). Данное окно появляется только в том случае, если в этот момент не осуществляется запись следующего видео или серии кадров.

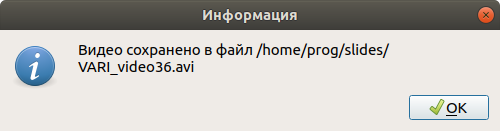


Рис. 6.2. Окно с информацией о месте сохранения видео

Для корректной записи видео требуется, чтобы часть окна, отображающая деталь, полностью располагалась на экране и не была перекрыта никакими другими окнами. Если окно будет перемещено, и та его часть, которая отображает деталь, частично выйдет за границы экрана, запись будет приостановлена до тех пор, пока окно не будет возвращено в положение, в котором деталь отображается полностью.

Задать параметры видео можно перед началом записи на вкладке **«Дополнительно»** (рис. 6.3).

Для выбора папки, в которой будут храниться видеозаписи, следует нажать кнопку **«Выбрать папку»**. В открывшемся диалоге нужно перейти в нужную папку и нажать кнопку «Открыть». Путь, по которому расположена выбранная папка, отобразится слева от кнопки **«Выбрать папку»**.

**Имя сохраняемого видеофайла (без расширения)** задаётся в поле **«Имя видео**».Имя не должно быть пустым, а также не должно содержать символов, наличие которых недопустимо в именах файлов в используемой операционной системе. После ввода имени видео нужно нажать на кнопку **«Сохранить»**, расположенную на той же строчке. Для отмены редактирования и отображения в поле ввода текущего заданного имени видео нужно нажать кнопку **«Отменить»**.

Если в папке для сохранения видео уже существует видео с таким именем, к имени нового видео будет добавлено число 1. Если существует видео и с таким именем, то добавлено будет число 2, и так далее.

Для задания частоты кадров (количества кадров в секунду) используется поле ввода **«Частота кадров, Гц»**. Минимальное число кадров – 1, максимальное – 25.

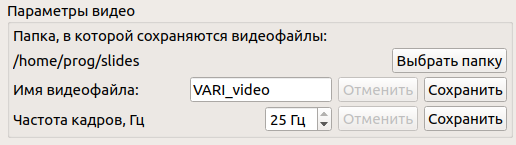


Рис. 6.3. Элементы управления для задания параметров записи видео

Видео сохраняются в контейнере **AVI**. Используется кодек **MJPEG**.

Для открытия папки, в которой находятся записываемые видеозаписи, необходимо нажать на кнопку **«Открыть папку видео»** () на панели инструментов.

# 7. Взаимодействие с базой данных материалов

В программе реализован интерфейс взаимодействия с базой данных материалов. Используется база данных SQLite.

Поддерживаются возможности добавления новых материалов, редактирования существующих, удаления существующих. Также имеются возможности сохранения базы в файл (экспорт) и создания базы из файла (импорт).

База данных содержит две таблицы: наполнители и связующие.

## 7.1. База данных наполнителей

Интерфейс взаимодействия с базой данных наполнителей может быть открыт при создании слоя (см. пункт 1.1.1) либо при изменении материала уже созданного слоя (см. пункт 1.4).

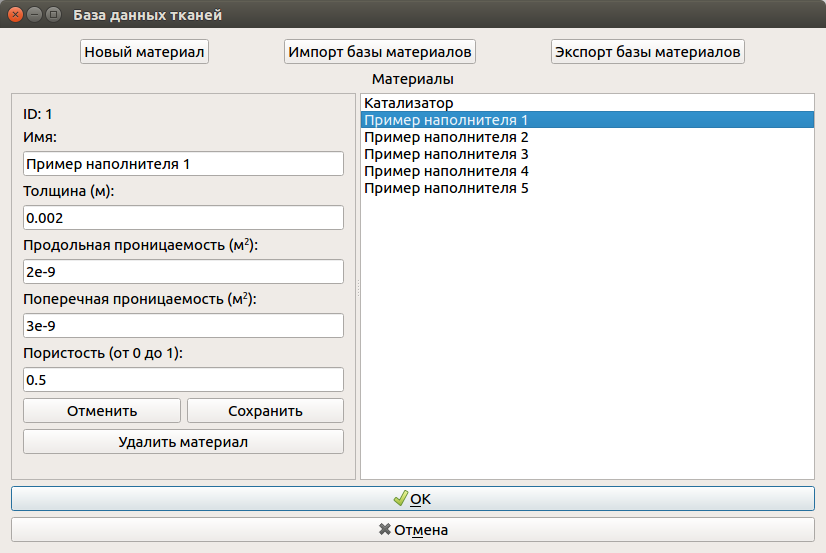


Рис. 7.1. Интерфейс взаимодействия с базой данных тканей

Каждый наполнитель характеризуется следующими параметрами:

* ID - уникальный номер наполнителя, назначается автоматически, его невозможно изменить.
* Имя - строка. Уникально для каждой ткани. Может состоять из любых символов. Может быть отредактировано.
* Толщина - число с плавающей точкой. Измеряется в метрах (м).
* Продольная проницаемость - число с плавающей точкой. Проницаемость материала вдоль основного направления волокон. Измеряется в квадратных метрах (м2).
* Поперечная проницаемость - число с плавающей точкой. Проницаемость материала в направлении, перпендикулярном основному направлению волокон. Измеряется в квадратных метрах (м2).
* Пористость - число с плавающей точкой, от 0 до 1. Безразмерная величина.

## 7.2. База данных связующих

Интерфейс взаимодействия с базой данных наполнителей может быть открыт при выборе материала связующего (см. пункт 2.1.1).

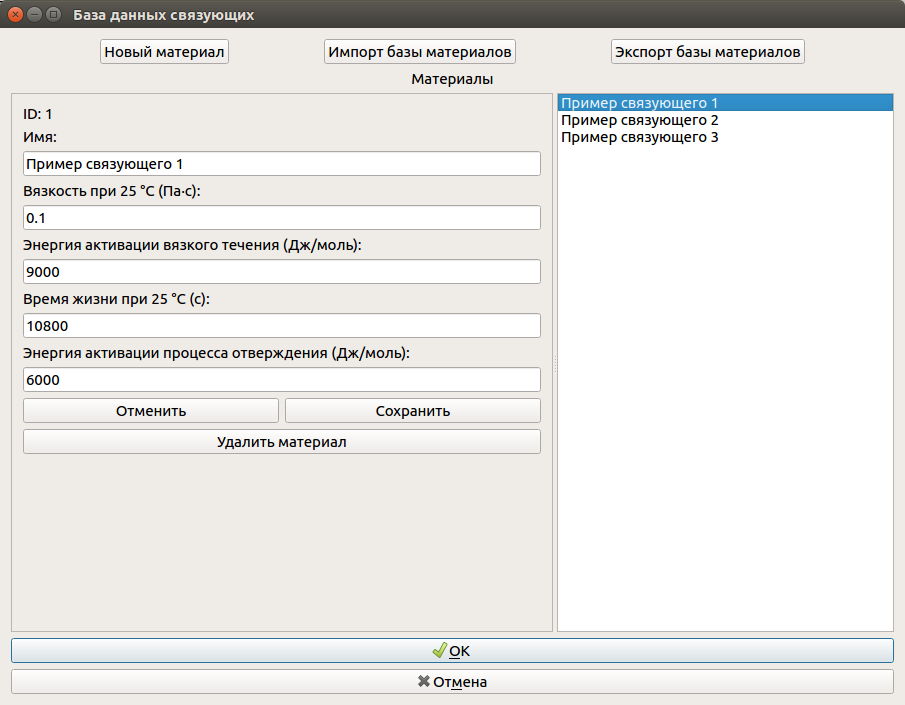


Рис. 7.2. Интерфейс взаимодействия с базой данных связующих

Каждое связующее характеризуется следующими параметрами:

* ID - уникальный номер связующего, назначается автоматически, его невозможно изменить.
* Имя - строка. Уникально для каждого типа связующего. Может состоять из любых символов. Может быть отредактировано.
* Номинальная вязкость – число с плавающей точкой. Динамическая вязкость жидкости, измеренная при температуре 25 °C (298,15 К). Измеряется в Паскалях на секунду (Па · с).
* Энергия активации вязкого течения – число с плавающей точкой. Используется для определения вязкости жидкости при заданной температуре. Измеряется в Джоулях в моль (Дж/моль).
* Время жизни связующего при 25 °C – число с плавающей точкой. Характеризует максимально возможный срок применения смешанного связующего, после которого оно станет желеобразным, и, в силу резкого роста вязкости, дальнейшая пропитка станет невозможной. Измеряется в секундах (с).
* Энергия активации процесса отверждения – число с плавающей точкой. Используется для определения времени жизни связующего при заданной температуре. Измеряется в Джоулях в моль (Дж/моль).

## 7.3. Выбор материала для использования

При выборе материала для использования нужно выделить в списке требующийся материал, после этого нажать кнопку **«ОК»**. Также возможно выбрать материал двойным щелчком мыши по его названию в списке.

Также возможно выбрать материал, отсутствующий в списке, без сохранения его в базу данных. Для этого необходимо ввести его параметры, а затем нажать кнопку **«ОК»**.

## 7.4. Добавление материала

Для добавления материала необходимо совершить следующие действия:

1. нажать кнопку **«Новый материал»** в левом верхнем углу;
2. ввести параметры материала;
3. нажать кнопку **«Сохранить»**.

## 7.5. Изменение материала

Для изменения существующего материала необходимо совершить следующие действия:

1. выбрать материал в списке справа;
2. изменить интересующие параметры;
3. нажать кнопку **«Сохранить»**.

## 7.6. Удаление материала

Для удаления материала необходимо совершить следующие действия:

1. выбрать материал в списке справа;
2. нажать кнопку **«Удалить материал»**;
3. в открывшемся окне подтверждения нажать **«Да»**.

## 7.7. Экспорт базы материалов

Для экспорта базы данных в текстовый файл необходимо, нажать кнопку **«Экспорт базы материалов»**, в открывшемся диалоге сохранения файла выбрать папку, задать имя файла и нажать «Сохранить».

## 7.8. Импорт базы материалов

Для импорта базы данных из текстового файла необходимо, нажать кнопку **«Экспорт базы материалов»**, в открывшемся диалоге выбрать файл и нажать «Открыть».

В случае если в базе данных есть материалы, имена или ID которых совпадают с какими-либо материалами импортируемой базы, произойдёт ошибка и база импортирована не будет.