

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет информатики  
Кафедра теоретических основ информатики

УДК 681.03

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГАК  
Зав. кафедрой, доцент, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ А.Л.Фукс  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ РАСЧЁТА КАРТОГРАММ  
ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ  
ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В САПР АД INDORCAD/ROAD

по основной образовательной программе подготовки бакалавров  
010300 – Информационные технологии

Андрющенко Даниил Павлович

Руководитель ВКР, профес-  
сор кафедры теоретических основ  
информатики, д.т.н.  
\_\_\_\_\_ А.В.Скворцов  
*подпись*  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Автор работы  
студент группы № 1491  
\_\_\_\_\_ Д.П.Андрющенко  
*подпись*

Электронная версия бакалаврской работы  
помещена в электронную библиотеку.

Администратор электронной  
библиотеки факультета  
\_\_\_\_\_ Е.Н.Якунина  
*подпись*

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 30 с., 17 рисунков, 8 источников, 2 приложения.

КАРТОГРАММА ФРЕЗЕРОВАНИЯ, ДОРОЖНЫЙ РЕМОНТ, INDOR-CAD, DELPHI

Объект исследования – картограмма фрезерования для проектирования дорожного ремонта.

Цель работы – разработать программный модуль расчёта картограмм фрезерования для подсистемы проектирования ремонтов дорожного покрытия в САПР автомобильных дорог IndorCAD/Road.

Метод исследования – теоретическое исследование, работа на ЭВМ.

Основные результаты – разработан модуль расчёта картограмм фрезерования, внедрён в коммерческий программный продукт IndorCAD/Road.

## Оглавление

Введение.....	4
1. Обзор предметной области .....	6
2. Общие принципы разработки дополнительных модулей в САПР IndorCAD/Road .....	10
2.1. Средства для отмены/восстановления действий пользователя... ..	10
2.2. Потoki .....	11
2.3. Деревья свойств.....	11
2.4. Отображение в 3D.....	12
3. Модуль картограммы фрезерования.....	14
3.1. Обзор класса TMillingCartogram .....	14
3.2. Обзор класса TShapeSeparator .....	15
3.3. Обзор класса TMillingArea.....	16
3.4. Обзор класса TMillingAreaCalculator .....	16
3.5. Общая информация о модуле .....	19
Заключение .....	22
Список использованной литературы .....	23
Приложение А. Руководство программиста .....	24
Приложение Б. Руководство пользователя .....	28

## Введение

Техническое состояние дорожной сети существенно влияет на темпы социально-экономического развития как страны в целом, так и отдельных ее регионов, поскольку автомобильные дороги зачастую не имеют альтернативы.

За последние 20 лет существенно изменился уровень автомобилизации населения. Общее количество транспортных средств (ТС) в среднем увеличилось в 2,5 раза. Кроме того существенно изменился состав транспортного потока и динамические характеристики автомобилей. Опережение роста интенсивности движения на автомобильных дорогах по сравнению с увеличением протяженности, а также увеличения в составе транспортного потока доли тяжелых автомобилей и автопоездов приводит к стремительному разрушению покрытий. В этой связи необходимо увеличение объемов ремонтно-восстановительных работ (ремонтов дорог) для сохранения существующей сети от разрушений и приведения ее в нормативное состояние. С увеличением ремонтно-восстановительных работ становится актуальной задача разработки эффективных методов и технологий проектирования ремонтных работ, как в части инженерных изысканий, так и в части разработки специальных программных модулей по проектированию ремонтов.

**Цель работы** заключается в разработке программного модуля для расчёта картограмм фрезерования при проектировании ремонтов дорожного покрытия в САПР автомобильных дорог IndorCAD/Road.

В рамках указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить и проанализировать нормативную базу (ГОСТы и СНиПы), согласно которых происходит проектирование дорожных ремонтов, и существующие варианты решения задачи оптимизации процесса проектирования.
2. На основе этого анализа разработать или выбрать существующий эффективный алгоритм:

- 2.1. расчёта картограмм фрезерования;
  - 2.2. разбиения картограммы фрезерования на участки проведения работ;
  - 2.3. нарезки картограммы участка на полосы фрезерования с учётом технологий производства работ и используемых механизмов.
3. Реализовать разработанные алгоритмы.
  4. Разработать графический интерфейс пользователя (GUI) для взаимодействия пользователя с программным модулем.
  5. Апробировать разработанный модуль на реальных данных, доработать его согласно полученным экспериментальным данным.
  6. Внедрить разработанный модуль в коммерческую систему автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD/Road.

## 1. Обзор предметной области

Согласно федерального закона от 08.11.2007 № 257-ФЗ [1] «Ремонт автомобильной дороги – комплекс работ по восстановлению транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильной дороги, при выполнении которых не затрагиваются конструктивные и иные характеристики надежности и безопасности автомобильной дороги».

В соответствии с п. 5г «Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог» при ремонтах автомобильных дорог нужно проводить инженерные изыскания и разрабатывать проектную документацию.

На сегодняшний день существует ряд объективных причин пагубно влияющих на процессы разработки проектной документации на ремонт автомобильных дорог:

1. Сроки проектно-изыскательских работ (ПИР).
2. Отсутствие единых требований к объемам работ.
3. Отсутствие нормативной и методической документации.
4. Отсутствие эффективных методов производства инженерно-геодезических работ.
5. Отсутствие специализированных программно-технических комплексов – систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД).

Из опыта работ по проектированию ремонтов известно, что на выполнение ПИР 10 км дороги II технической категории в среднем отводится от 4 до 6 месяцев (в том числе изыскательские работы 3–4 месяца, разработка ПСД 1–1,5 месяца). Это с учетом того что минимальная продолжительность ПИР (стадия «П») на один объект по рекомендованной Росавтодором методике (Методические рекомендации по определению продолжительности выполнения комплекса проектно-изыскательских работ для строительства автомобильных дорог общего пользования) составляет от 16 до 22 месяцев. Не-

смотря на то, что дорога уже существует, и мы применяем понижающие коэффициенты к срокам нового строительства, сроки выполнения проектно-изыскательских работ все равно остаются по-прежнему фактически не выполнимыми. Подрядчики не в состоянии выполнить все требования, предусмотренные техническим заданием, т.к. в зависимости от «внутренних» желаний заказчика (будь то федеральная структура или органы местного самоуправления) нужно собрать технические условия по всем смежным инженерным сетям (а это может затянуться на несколько месяцев) и разработать проектную документацию (а это как минимум 10 томов текстовых и графических материалов). Затем нужно согласовать проектные решения со всеми заинтересованными организациями и у заказчика работ. Причем основным условием является лимит финансирования строительно-монтажных работ. В том случае, если с первого раза это условие не выполнено, то заказчик требует оптимизации проектных решений, что зачастую приводит к корректировке продольного профиля, т.е. к фактической переработки всей проектной документации. Для соблюдения условий государственного контракта в части сроков выполнения ПИР проектировщики передают заказчику заведомо сырой материал – «рыбу», для процентовки выполненных работ.

Второй важный момент – это, безусловно, стоимость работ. Стоимость ПИР зависит от категории автомобильной дороги и протяженности (стоимость проектирования 1 км дороги II категории может изменяться в диапазоне 140–200 тыс. руб.). В этой связи привлечение дополнительных человеческих ресурсов и «затягивание» работ (оптимизация проектных решений в несколько подходов) не целесообразно с экономической точки зрения. Все это приводит к неминуемым финансовым потерям, а зачастую к работе в «минус», что в условиях рыночной экономики является недопустимым.

Специфика работ по изысканиям для проектирования ремонта автомобильных дорог, в отличие от нового строительства, заключается в наличии существующей дороги со всеми ее элементами и инженерными коммуникациями в существующей полосе отвода, со сложившейся обстановкой в при-

дорожных полосах и наличии транспортных и пешеходных потоков. Всего этого при изысканиях для проектирования нового строительства нет. При изысканиях для разработки проектов ремонта необходимо выявить характеристики всех элементов существующей дороги, дать оценку их технического состояния и определить необходимые мероприятия по устранению выявленных дефектов, причем в строгом соответствии с действующей классификацией работ по ремонту автомобильных дорог. В процессе проектирования возникают не меньшие сложности, обусловленные восстановлением существующей оси дороги, восстановлением проектной поверхности и др.

В-третьих, эффективность работы проектировщиков снижается из-за отсутствия нормативной и методической документации, отражающей специфику проектирования ремонта автомобильных дорог.

Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\* [2] не распространяет свое действие на проектирование ремонтируемых дорог, хотя согласно действующей «Классификацией работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог» необходимо разрабатывать проектную документацию на данный вид работ. Отсутствие нормативных требований в Актуализированной редакции СНиП 2.05.02-85\* дополняется отсутствием требований по оформлению проектных решений по ремонту дорог в ГОСТ Р 21.1701-97 «Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог» [3].

В четвертых, в настоящее время инженерно-геодезические изыскания производятся по традиционной пятиточечной технологии (тахеометрическая съемка по поперечникам) по «морально» устаревшим нормативным документам. Единственным документом, регламентирующим работу изыскателей на существующей дороге, является «Инструкция по изысканиям и проектированию реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог», утвержденная Союздорпроектом ещё в 1959 году и переизданная в 1969 году [4]. Многие положения указанного документа остаются актуальными до настоящего времени и используются изыскателями и проектировщиками, однако в



целом требуется его переработка в связи с коренными изменениями, произошедшими за рассматриваемый период в дорожной отрасли вообще и развитием научно-технического прогресса в целом.

Однако существует еще одна проблема оказывающая влияние на качество проектной документации касающаяся САПР АД. На сегодняшний день отсутствуют специализированные программные продукты, из семейства САПР АД, которые учитывали бы специфику проектных работ. В этой связи разработка алгоритмов и написание программного кода, отражающих специфику ремонтов автомобильных дорог, это актуальные задачи, которые являются целью моих дальнейших научных исследований.

## 2. Общие принципы разработки дополнительных модулей в САПР IndorCAD/Road

Система автоматизированного проектирования IndorCAD является чрезвычайно мощным инструментом для проектирования инженерных объектов. При этом возможности системы не ограничиваются существующим функционалом, она предоставляет программисту возможность разрабатывать собственные модули. Разработка модулей ведётся на языке Delphi в системе разработки Embarcadero Delphi XE5.

Для создания новых объектов в САПР необходимо создать собственные классы данных, моделирующие эти объекты. Чаще всего эти классы наследуются от класс `TObservableObject` или `TOwnedObject` для того, чтобы была возможность оповещать родительские объекты о произошедших изменениях.

Также САПР IndorCAD предоставляет определённые программные интерфейсы для разработки новых модулей. Рассмотрим некоторые из них.

### 2.1. Средства для отмены/восстановления действий пользователя

Для отмены/восстановлений действий пользователя существует класс `TUndoManager`. Он содержит все необходимые методы для запоминания того, какие действия нужно совершить для того, чтобы отменить то или иное действие.

Пример:

```
procedure TCADMillingCartogram.SetWidth(Value: Double);  
begin  
    Limit(Value, 0.1, 4);  
    SetDoubleValue(Value, FWidth, SetWidth,  
        @SUndoMillingCartogramWidthChanging, [chXY]);  
end;
```

В этом случае метод `SetDoubleValue` сообщает менеджеру отмены действий, что при отмене эффектов этого метода нужно вызвать метод `SetWidth` с параметром `FWidth` типа `Double`. Помимо менеджера отмены, эта процедура оповещает класс набором уведомлений о том, как реагировать на проведённые изменения. Обработка уведомлений происходит в процедуре `AnalyseChanges (var Flags: TCADChanges)`.

В интерфейсе пользователя отмена и восстановления представлены соответствующими кнопками.

## **2.2. Потоки**

Потоки (`TPropertyStream`) используются для чтения/записи данных из любого/в любой источник. Это могут быть как бинарные или XML файлы, так и хранилище в памяти. Сохранение и загрузка объектов производятся в методах `SaveTo` и `LoadFrom`.

При использовании `TPropertyStream` все данные представляются в древовидном виде, обход дерева совершается при помощи соответствующих методов (зайти в папку, создать папку, прочитать значение определённого типа с определённым именем, записать значение с определённым именем).

## **2.3. Деревья свойств**

Также САПР `IndorCAD` предоставляет определённые программные интерфейсы для разработки новых модулей. Один из них – деревья свойств. Деревья свойств (`Property trees`) используются для задания и редактирования свойств проектируемых объектов. Соответствующие классы предоставляют удобный интерфейс для задания свойств и редактирования их значений. Основные методы (такие как `AddInteger`, позволяющий добавить целочисленное свойство, `AddDouble`, позволяющий добавить вещественное свойство, `AddIntCombo`, позволяющий добавить выпадающий список значений), позволяющие работать с деревьями свойств, описаны в классе `TProperty`. Кроме

того, есть возможность выделить цветом уровень иерархии конкретного свойства. GetProperties и SetProperty - функции, которые отображают свойства и устанавливают новые значения.

На рисунке ниже (рис. 1) приведён пример дерева свойств.

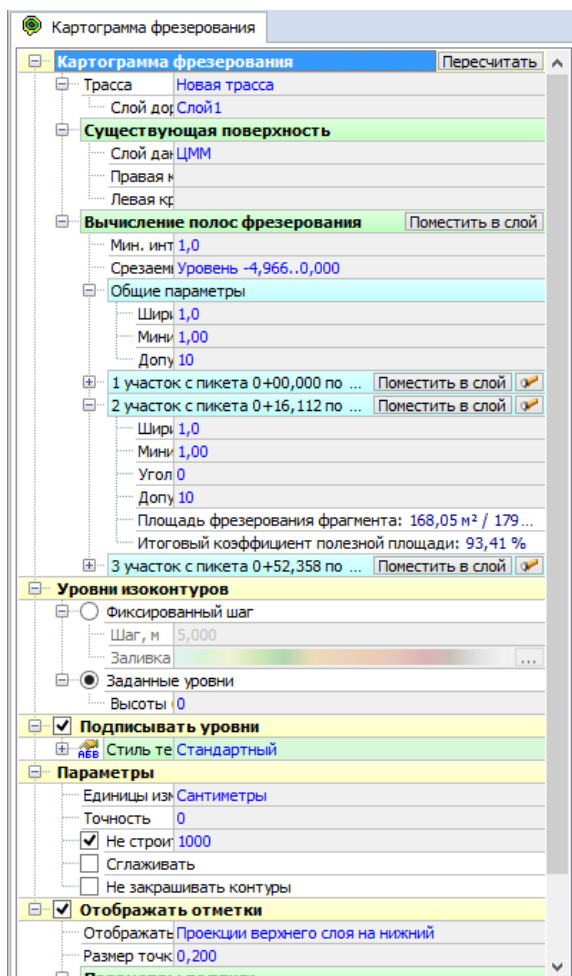


Рисунок 1 (пример дерева свойств)

## 2.4. Отображение в 3D

В САПР IndorCAD есть возможность отобразить все объекты плана в 3D. За это отвечает интерфейс IObject3D, который реализуется процедурами DrawToD3D и FreeD3DResources. Первая процедура предоставляет классу информацию о View3D – объекте, в котором происходит отрисовка всех данных класса. Вторая процедура удаляет устаревшую или неактуальную информацию, связанную с отображением в 3D.

На рисунке ниже (рис. 2) приведён пример 3D-вида.

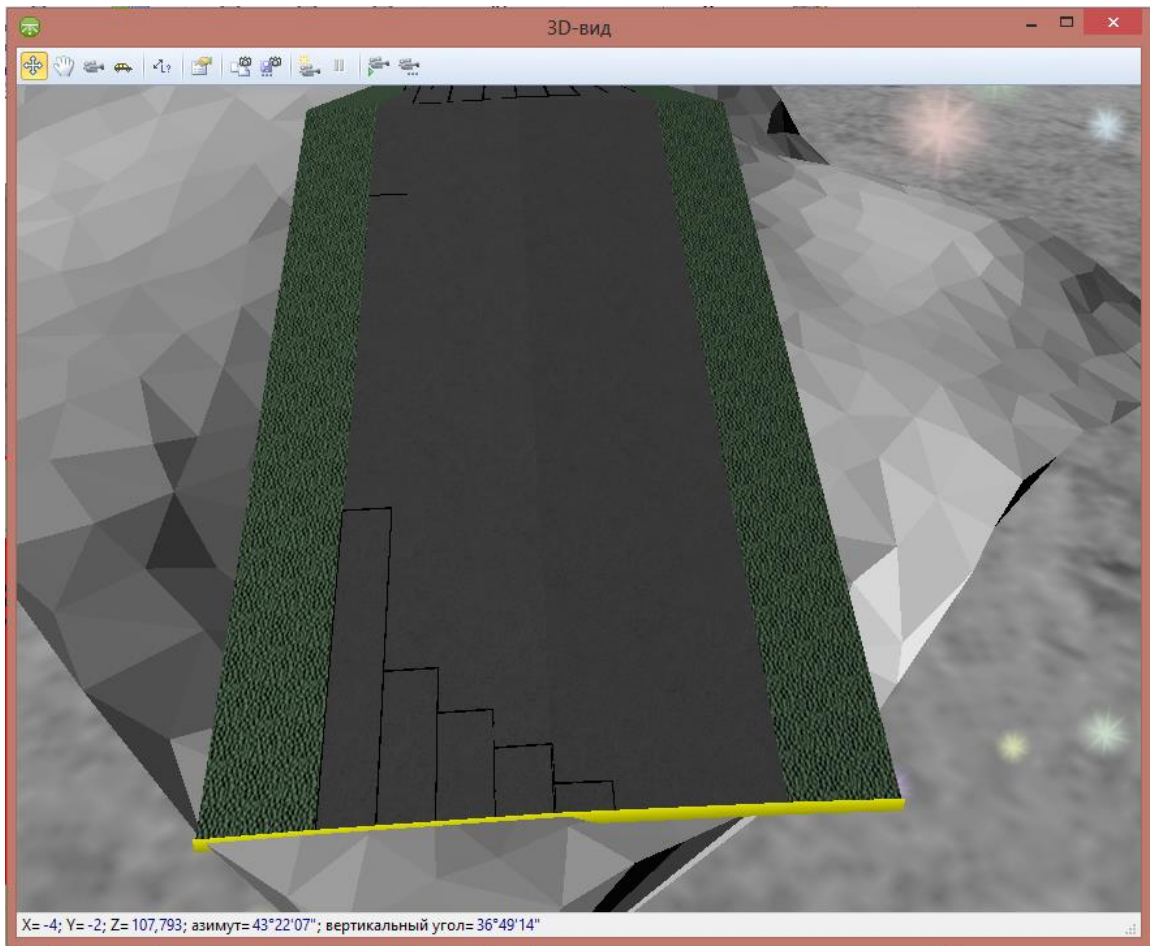


Рисунок 2 (пример 3D-вида)

### 3. Модуль картограммы фрезерования

В этой главе рассматривается модуль реализующий расчёт картограмм фрезерования для подсистемы проектирования ремонтов дорожного покрытия в САПР автомобильных дорог IndorCAD/Road. Сам модуль состоит из четырёх классов:

- `TMillingCartogram` – картограмма фрезерования, главный класс модуля, вычисляющий проблемные участки на трассе;
- `TShapeSeparator` – разделитель картограммы на участки, вспомогательный класс, разделяющий всю картограмму на участки проведения работ;
- `TMillingArea` – участок проведения работ, вспомогательный класс, задающий параметры, с которыми будут рассчитываться полосы фрезерования;
- `TMillingAreaCalculator` – вычисляет полосы фрезерования на конкретном участке проведения работ.

#### 3.1. Обзор класса `TMillingCartogram`

Первый рассматриваемый класс – `TMillingCartogram`. Он представляет собой картограмму фрезерования трассы и хранит большой набор свойств и методов. Экземпляр данного класса создается один раз для трассы и живет в составе всего проекта. Вычисляется как разность двух поверхностей: проектной и существующей. Проектная поверхность предоставляется трассой, а существующая – слоем поверхности. Картограмма фрезерования должна отвечать всем требованиям, предъявляемым к физической модели инструмента. Соответственно, картограмма фрезерования имеет большое количество различных свойств, настроек, внутренних методов и реализует несколько дополнительных интерфейсов. Поскольку фреза срезает дорожное полотно

фиксированной толщины, картограмму приходится строить по слоям. Каждый слой задаётся диапазоном высот.

### 3.2. Обзор класса TShapeSeparator

Для удобства проектирования вся картограмма разбивается на отдельные участки проведения работ. Этим занимается класс TShapeSeparator. Для разбиения ему необходимо знать лишь о фигуре, представляющей картограмму, и минимальный интервал между участками. Поскольку фигура картограммы представлена в виде многоконтурного полигона, самый простой способ разбиения на участки – нахождения минимального остова в графе, в котором вершинами будут являться контуры, а рёбрами – кратчайшее расстояние между ними. Однако, поиск расстояния между двумя полигонами очень трудоёмкая задача, разбиение проводится в 2 этапа.

Первичное разделение производится путём нахождения граничных координат полигона и сравнения их с соответствующими координатами соседних полигонов. Если разница больше заданного интервала, значит, точное расстояние также будет больше, и, следовательно, эти полигоны надо разбивать.

После первого этапа мы получаем целый список графов, внутри которых нужно будет искать расстояние и строить остов. Для проведения дальнейшего разделения находим расстояния между контурами одного графа, используя алгоритм Крускала [5].

Алгоритм Крускала выглядит следующим образом: вначале текущее множество рёбер устанавливается пустым. Все рёбра графа сортируются по весу (в нашем случае по расстоянию). Затем, пока это возможно, проводится следующая операция: из всех рёбер, добавление которых к уже имеющемуся множеству не вызовет появления в нём цикла, выбирается ребро минимального веса и добавляется к уже имеющемуся множеству. Когда таких рёбер больше нет, алгоритм завершён. Подграф данного графа, содержащий все его

вершины и найденное множество рёбер, является его остовным деревом минимального веса. Оценка сложности алгоритма Крускала можно записать как  $O(E \ln V)$ , где  $E$  – количество рёбер графа, а  $V$  – количество вершин графа.

Последним шагом данного разбиения из полученного остова нужно убрать все рёбра, чей вес больше заданного. В результате работы объекта типа `TShapeSeparator` мы получаем список многоконтурных полигонов, по которым в дальнейшем строятся участки проведения работ.

### 3.3. Обзор класса `TMillingArea`

Каждый участок проведения работ описывается классом `TMillingArea`. Этот класс хранит в себе информацию о том, каким образом фреза будет работать на данном интервале трассы. У участка есть следующие свойства:

- Ширина самой фрезы, которая определяет ширину полосы фрезерования;
- Минимальное расстояние между полосами фрезерования, расположенными в одной линии;
- Угол относительно траектории трассы, согласно которому пойдёт фреза. Это свойство может задаваться как фиксированным углом, так и вычисляться автоматически на заданном диапазоне.

### 3.4. Обзор класса `TMillingAreaCalculator`

Последний класс – `TMillingAreaCalculator`. Его задача вычислить полосы фрезерования на каждом участке так, чтобы они полностью покрывали всю площадь участка. Именно этот класс отвечает за решение главной задачи модуля – снижение затрат, средств и сил на выполнение ремонта дорожного покрытия. Эта происходит за счёт уменьшения площади фигуры фрезерования, составленной из полос фрезерования. Фактически, площадь фигуры фрезерования – оптимизационная функция данной модели. Построение полос фрезерования зависит от трёх переменных: ширины фрезы, которая задаётся



заранее и меняться не может, интервалом между полосами фрезерования, который также не меняется, и направление фрезы относительно трассы. Последняя переменная является единственной не фиксированной, соответственно, площадь полученной фигуры фрезерования – это функция от угла поворота фрезы. В модуле есть две возможности задать направление движения фрезы: фиксированный угол, в случае, если проектировщик точно знает, как поедет фреза, или задать максимально возможное отклонение относительно траектории трассы. Во втором случае модуль вычисляет значение площади фигуры фрезерования на диапазоне, заданном отклонением. Так как угол – переменная непрерывная, вычисление всех возможных значений представляет бесконечный цикл. Поскольку изменения площади фрезерования при малых изменениях направления движения фрезы невелики, при автоматическом расчёте полос фрезерования, переменная направления движения фрезы будет меняться дискретно, что выдаст не оптимальный, а субоптимальный результат.

На рисунках 3–6 показаны построенные полосы фрезерования с разными заданными углами, а также разница в результатах.

Также, как видно на рис. 3, существуют небольшие участки фрезерования, ради которых фреза не будет проходить и срезать большое количество «лишнего» дорожного полотна.

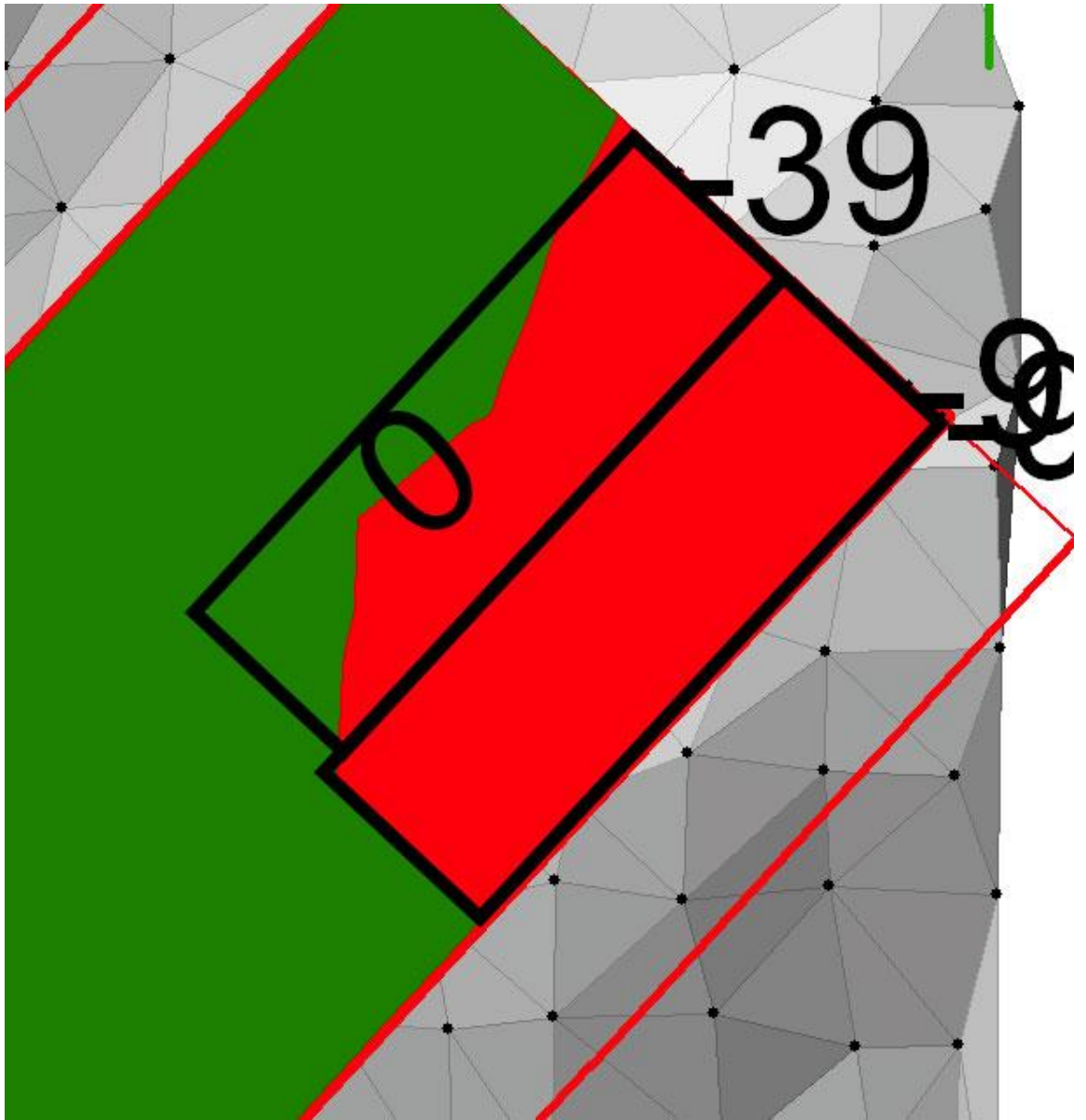


Рисунок 3 (полосы фрезерования, построенные при движение фрезы относительно направления трассы)

3 участок с пикета 0+52,358 по пикет 0...		Поместить в слой	Рассчитать участок
Ширина фрезы, м	3,0	По умолчанию	
Минимальный разрыв по	1,00		
Угол фрезерования, °	0	По умолчанию	
Допустимое отклонение	10		
Площадь фрезерования фрагмента: 29,26 м <sup>2</sup> / 33,28 м <sup>2</sup>			
Итоговый коэффициент полезной площади: 87,93 %			

Рисунок 4 (лишняя работа фрезы ~ 12,07% площади проблемного участка)

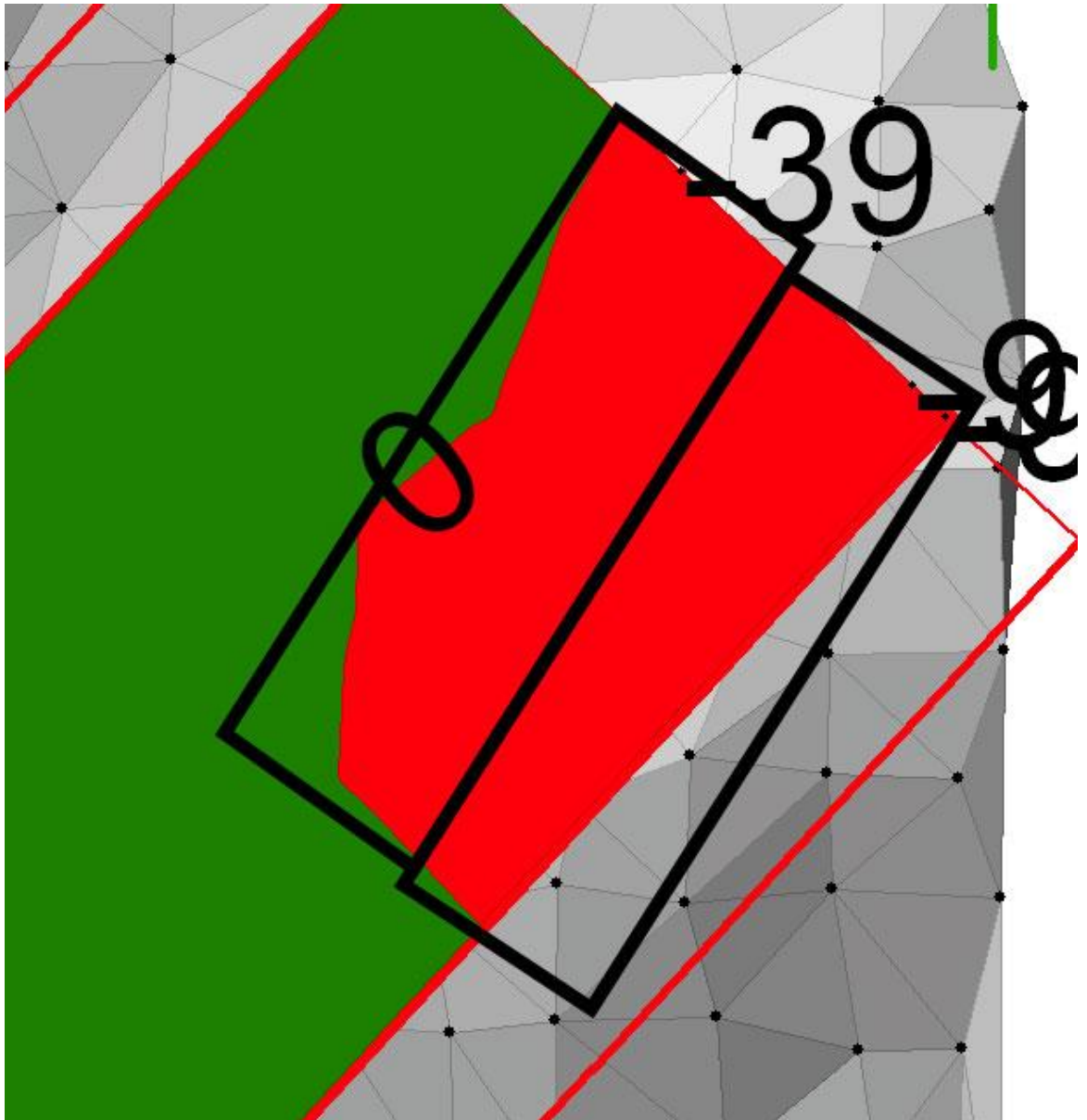


Рисунок 5 (полосы фрезерования, построенные при движение фрезы с отклонением в  $16^\circ$  относительно направления трассы)

3 участок с пикета 0+52,358 по пикет 0...		Поместить в слой	Рассчитать участок
Ширина фрезы, м	3,0	По умолчанию	
Минимальный разрыв по	1,00		
Угол фрезерования, °	16	По умолчанию	
Допустимое отклонение	10		
Площадь фрезерования фрагмента: 29,26 м <sup>2</sup> / 40,90 м <sup>2</sup>			
Итоговый коэффициент полезной площади: 71,54 %			

Рисунок 6 (лишняя работа фрезы ~ 28,46% площади проблемного участка)

### 3.5. Общая информация о модуле

Таким образом, используемую модель данных можно представить следующей диаграммой (рис. 7).

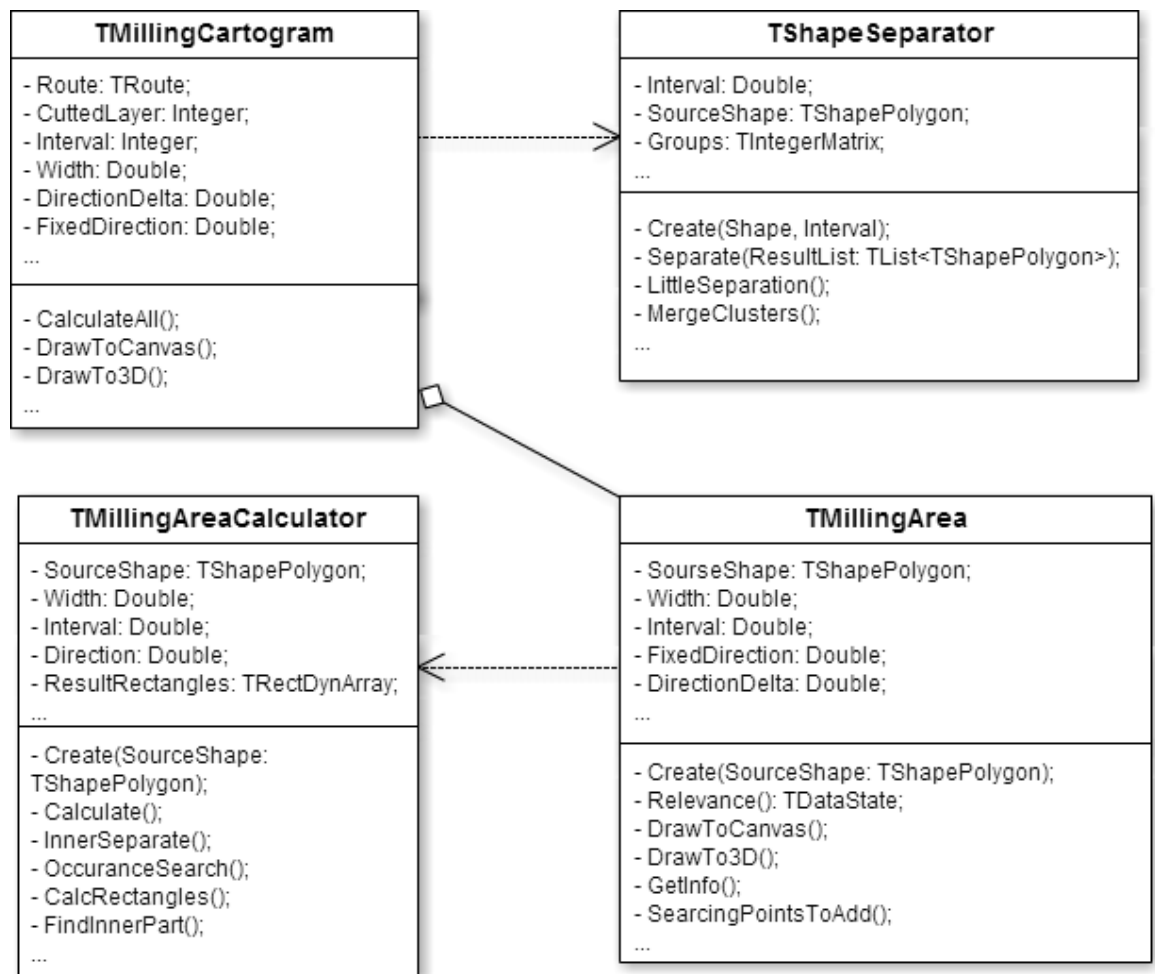


Рисунок 7 (диаграмма классов модуля)

В рамках данной работы был реализован механизм расчета картограммы фрезерования в соответствии с поставленными требованиями. По причине того, для расчёта оптимального решения каждого участка необходимо вычислить несколько вариантов полос фрезерования, расчет всей картограммы может длиться до нескольких минут. Большая часть бизнес-логики алгоритма реализована в рамках классов модели предметной области, более подробно реализация рассмотрена в диаграмме последовательности на рис. 8

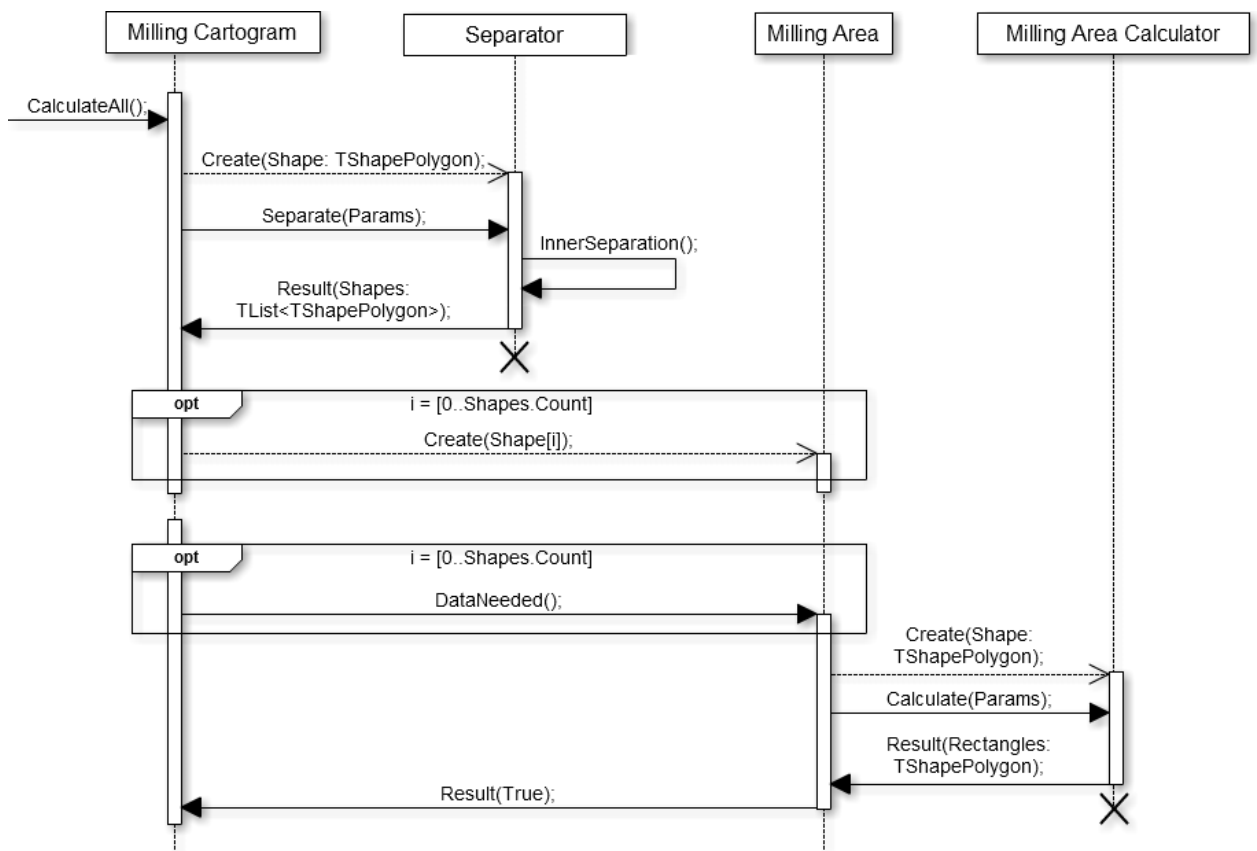


Рисунок 8 (диаграмма последовательности работы модуля)

## Заключение

1. Для достижения поставленной цели были изучены и проанализированы ГОСТы и СНиПы, согласно которым проводится проектирование ремонтов автомобильных дорог.
2. В результате анализа были разработаны алгоритмы предварительного разбиения картограммы фрезерования на участки, вычисления на каждом полученном участке полос фрезерования с учётом технологий производства работ и используемых механизмов.
3. Разработанные алгоритмы были реализованы в виде библиотеки классов MillingCartogram.
4. Был разработан графический интерфейс для взаимодействия пользователя с библиотеки классов MillingCartogram.
5. Полученный модуль успешно внедрён в коммерческую САПР автомобильных дорог IndorCAD/Road и апробирован на реальных проектах, выполненных компанией Индор-Мост (г. Томск) в 2014 г. на территории Томской области и Алтайского края.
6. К настоящему времени разработанный модуль вошёл в состав новой версии САПР IndorCAD/Road 9.0 и поставляется на российский рынок.

## Список использованной литературы

1. Федеральный закон N 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – В ред. от 03.11.2010, с изм. от 13.12.2010.
2. СНиП 2.05.02-85\* Автомобильные дороги. – М., 2004.
3. ГОСТ Р 21.1701-97. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог.
4. Инструкция по изысканиям и проектированию реконструкции автомобильных дорог. – М.: 1959.
5. Кнут Д. Искусство программирования. Том 1 / Пер. с англ. – М.
6. Кривых И.В., Бойков В.Н., Петренко Д.А., Скворцов А.В., Мирза Н.С. Система проектирования IndorCAD. Построение, обработка и анализ цифровой модели местности: Руководство пользователя. – Томск: Изд-во ТГУ, 2008. – 300 с.
7. Бойков В.Н. САПР АД — перспективы развития // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 6–9.
8. Петренко Д.А. Новое поколение программных продуктов ИндорСофт // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 10–17.

## Приложение А. Руководство программиста

На рисунке 9 представлена диаграмма последовательности, которая описывает всю работу модуля.

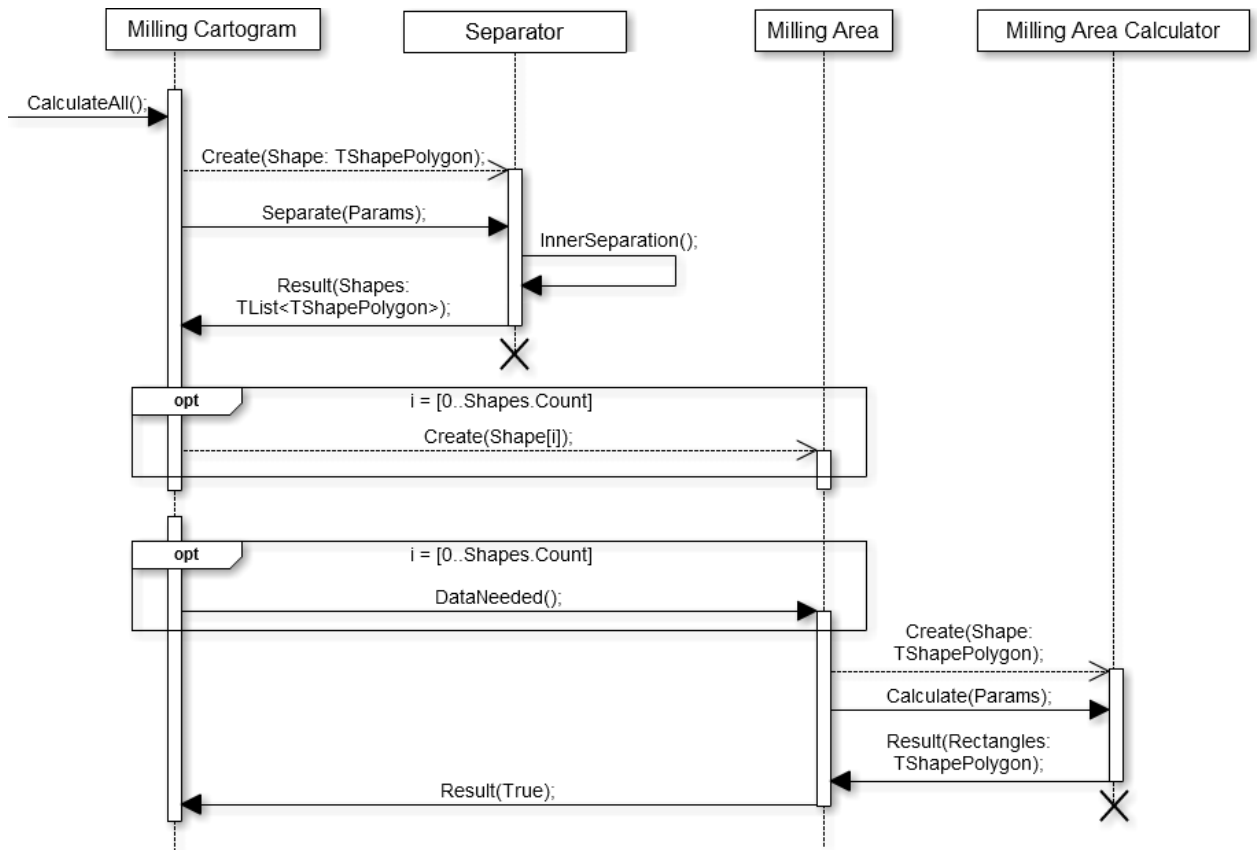


Рисунок 9 (диаграмма последовательности модуля)

После создания картограммы фрезерования необходимо задать свойство «интервал», который задаёт минимальное расстояние между участками фрезерования, а также срезаемый слой, который указывает проблемные участки.

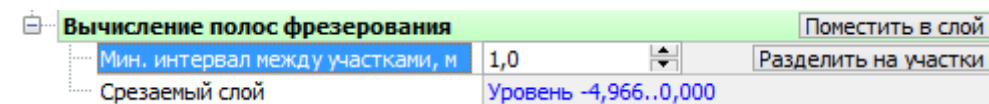


Рисунок 10 (параметры разделения картограммы фрезерования на участки)



Первый этап работы модуля – разделения всей картограммы фрезерования на участки проведения работ. Этот этап необходим для того, чтобы оптимизировать работу фрезы, позволяя проходить участки с различной шириной барабана и в разных направлениях.

По нажатию кнопки разделения на участки (рис. 10) происходит вызов функции `CalculateAll()`, которая создаёт экземпляр класса `TShapeSeparator` и вызывает его функцию `Separate`, передавая заданные параметры.

Поскольку фигура участков представляет собой многоконтурный полигон, разделение его на различные участки предполагает поиск расстояний между каждым из полигонов. Это первичное разделение происходит всё еще в функции `Separate`. Результатом работы грубого разделения является список многоконтурных полигонов, которые отдаются на вход функции `InnerSeparation()`. Внутреннее разделение строит минимальный остов графа, рёбрами которого являются расстояния, а вершинами – полигоны. Получив остов, удаляются все рёбра, больше заданного интервала. Полученные наборы связанных графов возвращаются картограмме фрезерования, которая по ним создаёт участки проведения работ (рис. 11).

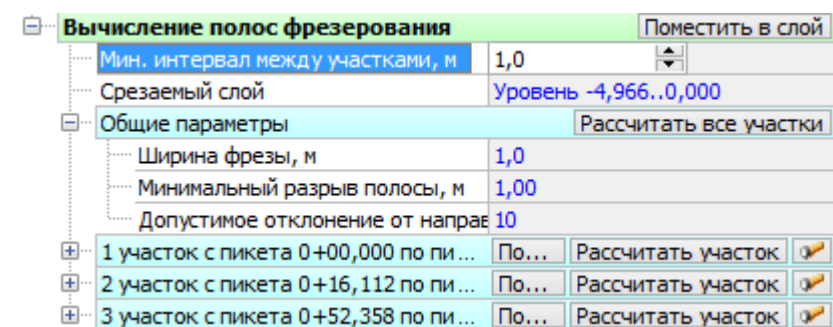


Рисунок 11 (участки проведения работ)

Следующий этап работы модуля – расчёт полос фрезерования по всем участкам, либо по конкретному участку. Для этого после нажатия кнопки «рассчитать все участки» или «рассчитать участок» происходит вызов функции `DataNeeded()`. В этой функции участок создаёт экземпляр класса

`TMillingAreaCalculator` и вызывается его метод `Calculate()`. В этом методе происходят циклические внутренние расчеты, и выбирается наилучшая фигура фрезерования. Цикл появляется в случае, когда мы задаём не фиксированный угол, а максимальное отклонение от направления движения трассы. Сами внутренние расчёты производятся следующим образом:

1. Трансформируем трассу в линейно-протяжённый объект;
2. Ищем граничные точки участка;
3. Создаём прямоугольник фиксированной ширины и поворачиваем его на заданный угол. Поскольку полученный прямоугольник должен полностью покрывать фигуру проблемного участка, его длина берётся как максимальное расстояние между точками полигона, попавшими внутрь прямоугольника.
4. Поскольку полигон может быть невыпуклым, либо это несколько различных контуров, вся полоса фрезерования может быть разделена на несколько различных, если расстояние между контурами больше заданного интервала.

В результате получается массив прямоугольников, полностью охватывающих фигуру проблемного участка.

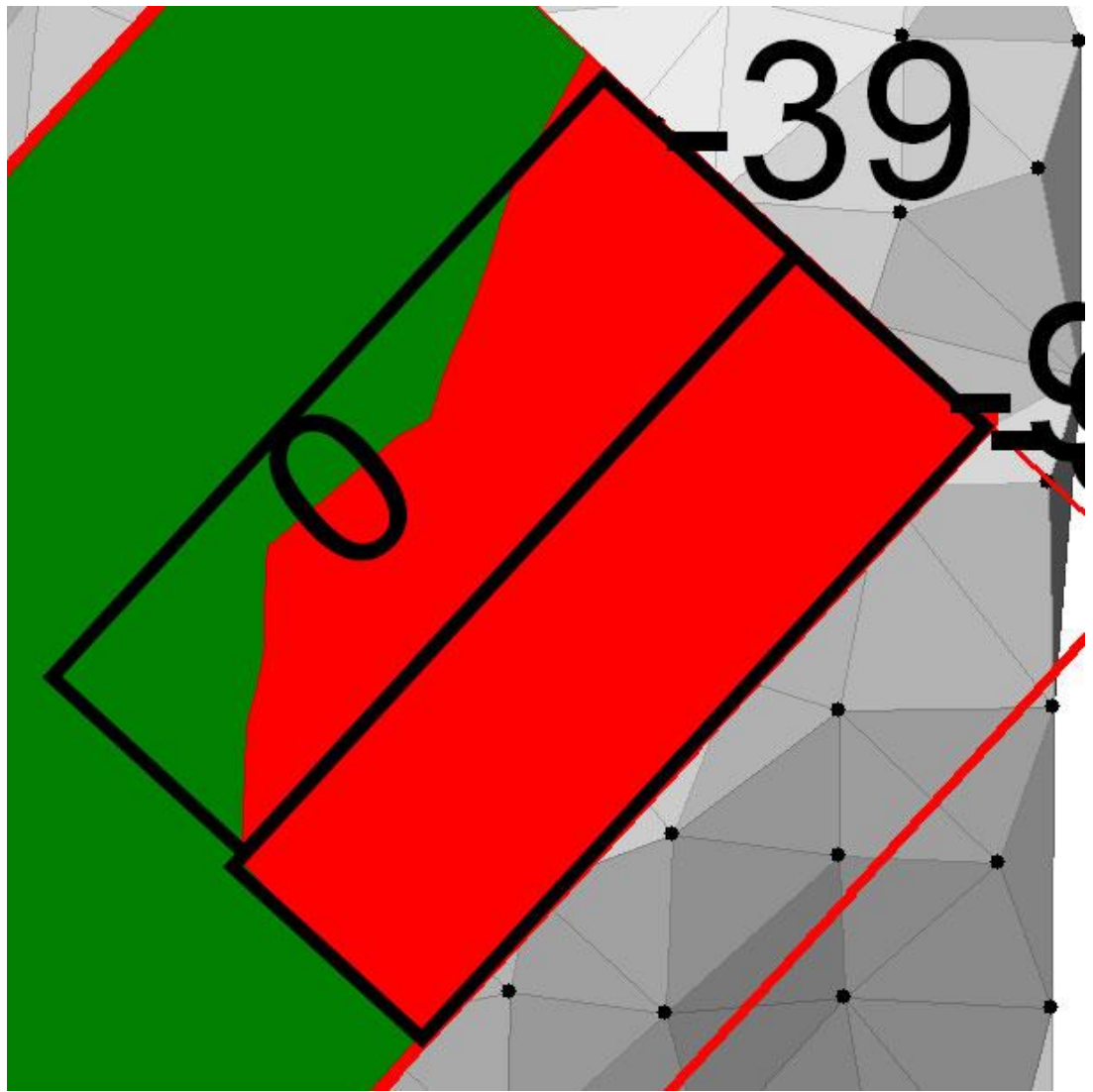


Рисунок 12 (фигура фрезерования, покрывающая фигуру проблемного участка)

## Приложение Б. Руководство пользователя

Начиная работу с модулем картограммы фрезерования, убедитесь, что в проекте задана существующая поверхность и трасса, разбитая на поперечники, у которой также задан хотя бы один слой дорожной одежды.

После того, как все условия выполнены, нажмите кнопку «Картограмма фрезерования» на вкладке «Модель трассы» (рис. 13).

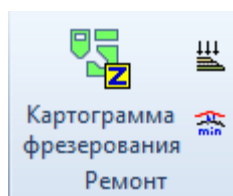


Рисунок 13 (кнопка создания картограммы фрезерования)

В появившемся окошке выберите слой данных, откуда берётся существующая поверхность, а также задайте кромки, определяющие границы фрезерования (рис. 14).

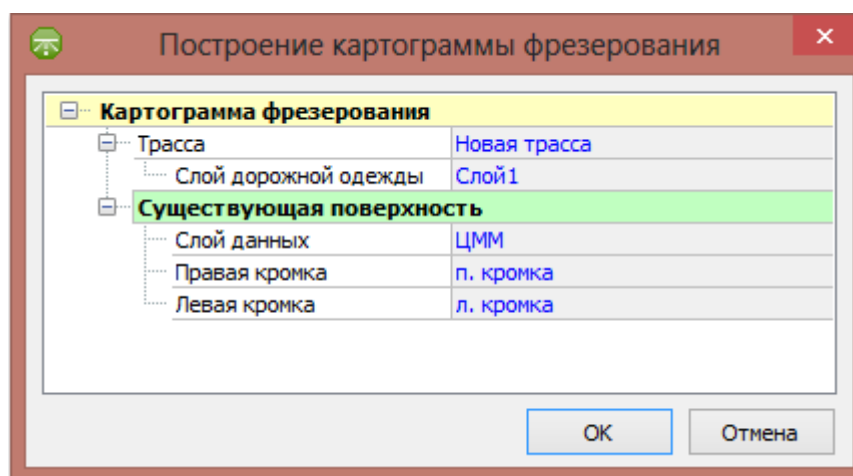


Рисунок 14 (диалог создания картограммы фрезерования)

Параметры картограммы можно изменить в инспекторе объектов, а затем и пересчитать саму картограмму, нажав соответствующую кнопку (рис. 15).

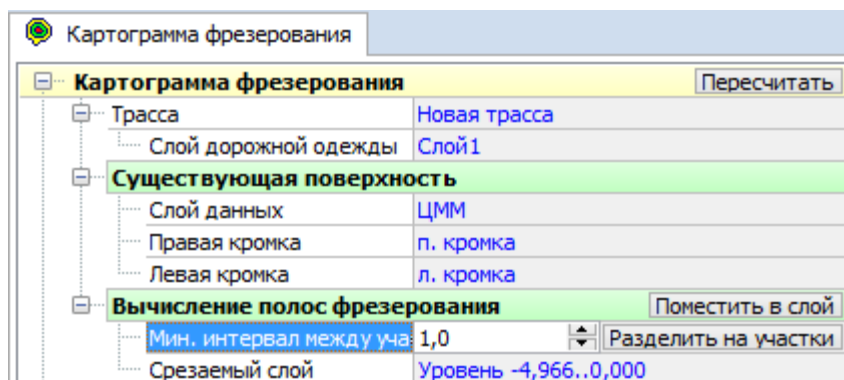


Рисунок 15 (инспектор объектов картограммы фрезерования)

Следующий шаг – разбиение картограммы на участки. Для этого задайте минимальный интервал между ними и нажмите кнопку «разделить на участки» (рис. 16). Также важно помнить о том, как слой необходимо срезать.

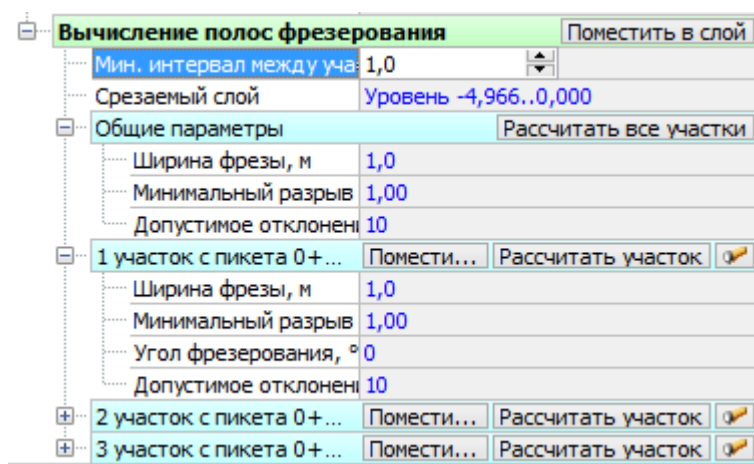


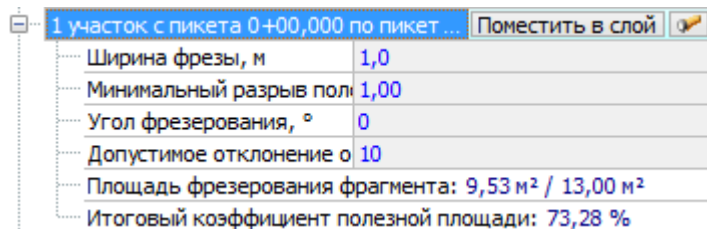
Рисунок 16 (разбиение картограммы на участки)

Затем необходимо задать параметры вычисления полос фрезерования. Их можно задавать как для всей картограммы, так и для каждого конкретного участка. В вычислении полос фрезерования участвуют следующие параметры:

- Ширина фрезы – ширина барабана фрезы, от которой зависит ширина полученных полос фрезерования;
- Минимальный разрыв полосы – минимальное расстояние между проблемными участками дорожного полотна, начиная с которого фреза не будет снимать лишней асфальт, убрав барабан;
- Угол фрезерования или допустимое отклонение от направления – то, как фреза поедет относительно трассы. Если задать допустимое от-

клонение, то будет произведён расчёт нескольких возможных групп полос фрезерования и выбрана группа с наименьшей площадью.

Для расчёта полос фрезерования, нажмите кнопку «рассчитать участок». В инспекторе объектов появится информация о полученной группе полос фрезерования (рис. 17).



1 участок с пикета 0+00,000 по пикет ...		Поместить в слой
Ширина фрезы, м	1,0	
Минимальный разрыв пол	1,00	
Угол фрезерования, °	0	
Допустимое отклонение о	10	
Площадь фрезерования фрагмента:	9,53 м <sup>2</sup> / 13,00 м <sup>2</sup>	
Итоговый коэффициент полезной площади:	73,28 %	

Рисунок 17 (информация и параметры вычисленной группы полос фрезерования)

Также есть возможность поместить полученную проектную поверхность в слой данных в виде точек, по которым будет построена триангуляция, для этого нажмите кнопку «поместить в слой».