

Необходимость внедрения геоинформационных систем в процесс трассирования автомобильных дорог

DOI: 10.17273/CADGIS.2016.2.6

аль-Дамлахи Июссеф, магистрант кафедры «Изыскания и проектирование дорог» МАДИ (г. Москва)

Статья посвящена применению геоинформационных систем (ГИС) совместно с системами автоматизированного проектирования (САПР). Возможности системы используются для выбора оптимальных трасс автомобильных дорог с учётом критерия уклона рельефа (с минимальными уклонами поверхности земли) и их редактирования в соответствии с нормативными критериями геометрического трассирования, что способствует минимизации объёмов земляных работ на участках скального грунта, где стоимость выемки намного выше.

Геоинформационные системы применяются во многих отраслях, в том числе и в дорожном хозяйстве, для решения самого широкого круга инженерных и управленческих задач [1, 2].

В рамках настоящей статьи описывается метод расчёта оптимального прохождения трассы автомобильной дороги с целью минимизации объёмов земляных работ на основе глобальных данных цифровой модели рельефа (ЦМР) и посредством инструментария ГИС.

В качестве ГИС-инструментария автором статьи была выбрана одна из самых известных ГИС — это ArcGIS (ESRI, США). Данная система может использоваться для построения геоинформационных проектов любого уровня и, с одной стороны, даёт возможность легко создавать данные, карты, глобусы, модели и помогает решать самые распространённые геопространственные

задачи, а с другой стороны, позволяет экспортировать данные в форматы самых известных программ и, наоборот, импортировать данные из систем, наиболее широко используемых в сфере геометрического черчения, программирования, создания баз данных и т.д.

Программа ArcGIS включает в себя четыре модуля, один из которых — ArcMap — является управленческим:

1. ArcMap — это основная программа, которая используется для выполнения анализа, вывода карт и решения различных геоинформационных задач.
2. ArcScene предназначена для создания и анализа трёхмерных моделей.
3. ArcGlobe используется для анализа и отображения объёмных проектов, выполненных в масштабе всей Земли.

4. ArcCatalog представляет собой архив для создания и хранения всех слоёв и баз данных ArcGIS.

Для выполнения анализа и решения геопространственных задач в ArcMap используется инструмент ArcToolbox. С его помощью можно выполнить более 600 операций и процедур, позволяющих решать задачи ГИС [3].

На этапе оценки экономической себестоимости любого проекта, в том числе проекта автомобильной дороги, специалисты оценивают стоимость выполнения каждой стадии проекта и составляют ведомость, содержащую приблизительные объёмы работ, стоимость всех необходимых материалов, оборудования, труда наёмных рабочих и т.д. Также составляется план ожидаемой продолжительности осуществления каждой стадии проекта.

Стоит заметить, что на первой стадии выполнения проекта строительства автомобильной дороги сначала проводятся земляные работы, включающие в себя устройство выемок и насыпей, то есть то, что называется работами нивелирования местности автомобильной дороги.

Стоимость этих работ составляет большую часть от общей стоимости проекта, особенно если речь идёт о местности, где есть твёрдые грунты, например скалистые или каменистые, и где стоимость выемки земли значительно выше в сравнении с глинистыми грунтами. Поэтому на стадии трассирования автомобильной дороги в плане и в продольном профиле необходимо обратить внимание на то, как спроектировать наилучшую трассу, которая, с одной стороны, будет соответствовать критериям геометрического трассирования, а с другой стороны, будет учитывать цифровую модель местности, располагаясь таким образом, чтобы объёмы земляных работ были минимальны. Также стоит добавить, что один из показателей удачного трассирования — это получение трассы, в которой объёмы выемки и насыпи примерно равны.

Для решения указанной задачи необходимо провести тщательный анализ ЦМР и её уклонов, а также учитывать их при трассировании, выбирая оптимальный вариант прохождения трассы между её начальным и конечным пунктами. Но, к сожалению, этот важный момент чаще всего не учитывается проектировщиками, которые

...важнейшим условием проектирования трассы является либо владение проектировщиком знаниями в области геодезии и картографии, либо предоставление возможности участвовать в процессе трассирования геодезистам, которые смогут проанализировать и оценить ЦМР...

обычно подходят к стадии трассирования только с учётом критериев трассирования в СНиП и слабо учитывают ЦМР участка дороги. Тем не менее, указанный критерий оказывает большое влияние на стоимость выполнения земляных работ при строительстве автомобильной дороги.

Во многих случаях у нас есть шанс найти оптимальную трассу, которая при этом удовлетворяет требованиям геометрического трассирования, но требует гораздо меньших объёмов земляных работ, что в свою очередь значительно снижает стоимость дороги.

В связи с этим важнейшим условием проектирования трассы является либо владение проектировщиком знаниями в области геодезии и картографии, либо предоставление возможности участвовать в процессе трассирования геодезистам, которые смогут проанализировать и оценить ЦМР, а также предоставить оптимальные варианты трассирования, соответствующие всем требованиям проектирования автомагистралей, но с минимальными финансовыми затратами.

Программа ArcGIS содержит целый ряд инструментов, позволяющих анализировать ЦМР и получать на её основе новую информацию, в том числе значения уклонов, триангуляционную модель местности, горизонталы и т.д.

Цифровая модель местности (ЦММ) или ЦМР обычно отображаются растровым методом, и точность этих моделей (растров) зависит от размеров пикселей. Как уже было сказано, эти модели можно получить несколькими способами, например с помощью изображений дистанционного зондирования, передаваемых спутниками, либо изображений, получаемых с большой высоты при помощи фотограмметрической техники, установленной на летательный аппарат. Конечно, такие изображения или модели можно получить за отдельную плату у специальных организаций, однако стоимость будет зависеть от точности этих изображений. Но, к счастью, существуют сайты, специализирующиеся на создании спутниковых изображений, карт и цифровых моделей местности и рельефа земной поверхности, которые предоставляют бесплатные ЦМР с невысокой точностью (размеры пикселя обычно составляют 90×90 м или, в лучшем случае, 30×30 м), но этих значений вполне достаточно для целей анализа, оценки и предварительного проектирования автомобильных дорог или других инженерных сооружений. Приведём примеры подобных сайтов.

1. Aster GDEM (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp>). Данный сайт обеспечивает возможность за-

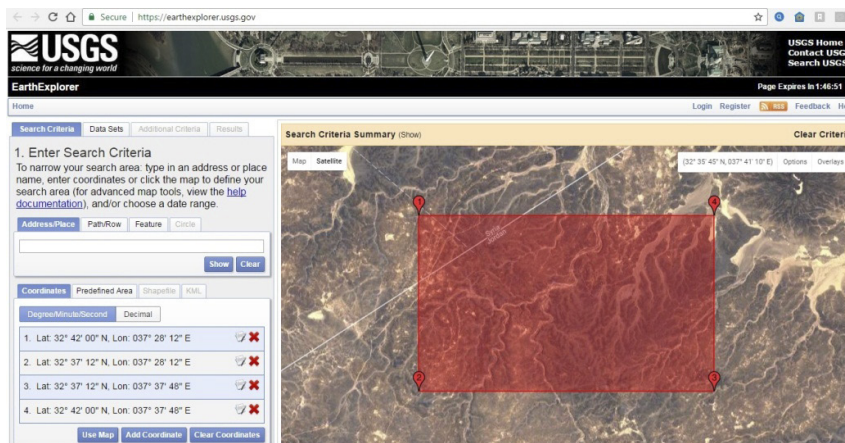


Рис. 1. Загрузка данных о рельефе местности в программе Earth explorer

Таблица 1. Географические координаты участка ЦМР

Номер точки	Долгота, град	Широта, град
1	37,47	32,7
2	37,47	32,62
3	37,63	32,62
4	37,63	32,7

Таблица 2. Координаты точек начала и конца трассы

Точка трассы	X, град	Y, град	Z, м
Начало	37,489968	32,664017	782
Конец	37,605155	32,654689	767

грузки ЦМР с разрешением 30 м или 90 м и с расширением TIFF [4].

2. [cgiar-csi-srtm](http://srtm.csi.cgiar.org) (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Данный сайт обеспечивает возможность загрузки ЦМР только с разрешением 90 м [5].
3. [Earth explorer](http://earthexplorer.usgs.gov/) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Один из лучших сайтов для загрузки ЦМР, обеспечивает возможность загрузки ЦМР с разрешением 30 м и с расширением TIFF [6]. На рис. 1 представлен участок, для которого с данного сайта была загружена ЦМР. Участок находится на юге Сирии (Между Сирией и Иорданией).

Грунт данной местности представлен скальными магматическими горными породами, преимущественно базальтами.

Для экспериментального проектирования автомобильной дороги был выбран участок местности площадью около 158 км² (8,88 км × 17,76 км). Географические координаты вершин прямоугольника местности представлены в таблице 1.

Географические координаты точек начала и конца проектируемой автомобильной дороги и их Z-отметки (высота над уровнем моря) представлены в таблице 2.

Один из самых важных инструментов ArcToolbox в программе ArcMap — это инструмент, называющийся «оптимальный путь» (Cost Path) (рис.2).

Этот инструмент вычисляет путь с наименьшей стоимостью от источника до места назначения с помощью двух дополнительных этапов. Первый осуществляется с помощью инструмента «Стоимостное расстояние» (Cost Distance), который создаёт выходной растр, в котором каждой ячейке присваивается суммарная стоимость до ближайшей ячейки источника. Алгоритм использует представление ячейки по типу «узел/связь», используемое в теории графов. При таком принципе представления центр каждой ячейки рассматривается как узел, а каждый узел может

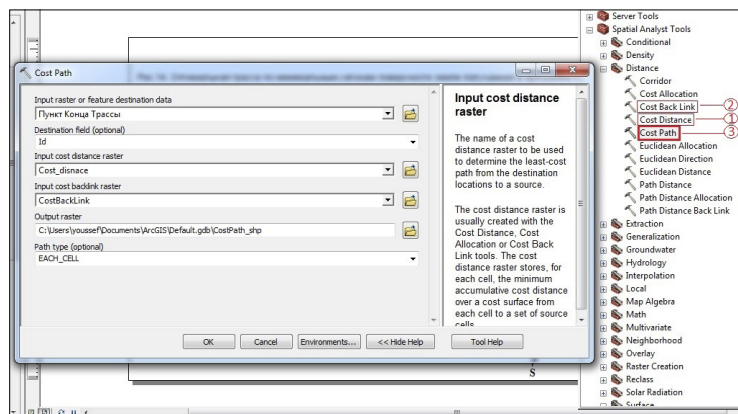


Рис. 2. Диалоговое окно расчёта оптимального пути в программе ArcMap

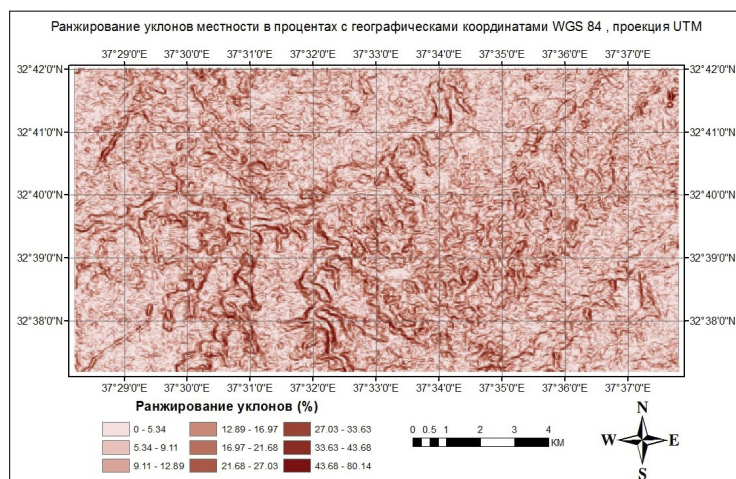


Рис. 3. Ранжирование уклонов местности в процентах в программе ArcGIS

быть соединён несколькими связями со смежными узлами. Второй этап осуществляется с помощью инструмента «Стоимостное направление» (Cost Back Link), который определяет соседа — следующую ячейку на пути наименьшей суммарной стоимости к ближайшему источнику. Подробную информацию о сути работы каждого из этих инструментов можно найти в [7]. Критерием, по которому оценивается стоимость пути, являются данные, содержащиеся в слое. В нашем случае это растровый слой, содержащий значения уклонов поверхности Земли. Каждый пиксель имеет значение уклона (уклоны в программах ГИС можно отображать двумя способами: либо в процентах, либо в градусах). Размер пикселя зависит от точности изображения. Таким образом, при применении указанного инструмента у нас получается трасса между начальным и конечным пунктом, проходящая через пиксели, которые имеют минимальные уклоны поверхности Земли. Из сказанного очевидно, что использование на участке минимальных уклонов даёт нам минимальные объёмы земляных работ. Чтобы выполнить ука-

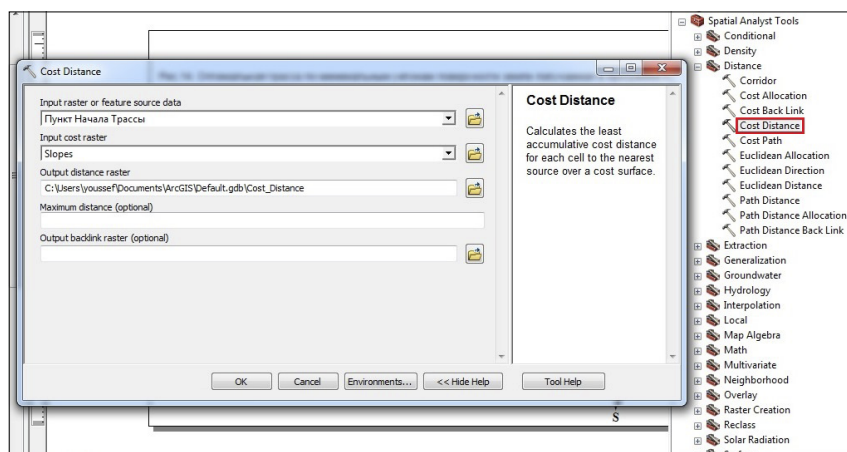


Рис. 4. Диалоговое окно Cost Path программы ArcMap

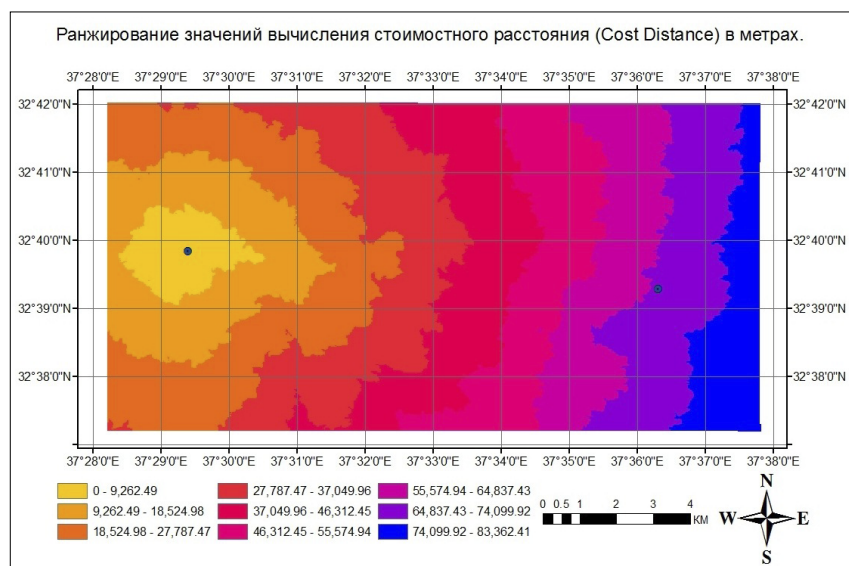


Рис. 5. Результат применения функции «Стоимостное расстояние» к местности

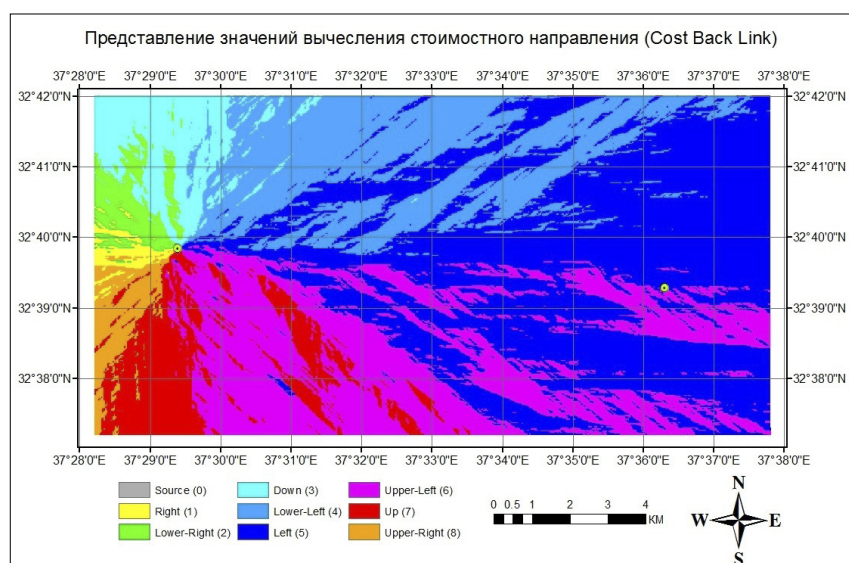


Рис. 6. Результат применения функции «Стоимостное направление» к местности

занный процесс, нам нужно создать слой, содержащий точку начала трассы, и слой, содержащий точку конца трассы, а также необходимо наличие слоя уклонов рельефа в качестве растровых данных. При извлечении уклонов поверхности земли для изучаемой местности в программе ArcGIS у нас получился слой раstra, содержащий уклоны поверхности земли изучаемой местности, варьирующиеся от нуля до 80,4%.

Уклоны поверхности земли были разделены на девять диапазонов, для каждого диапазона назначен свой собственный цвет, начиная от более светлого цвета для малых величин уклона и заканчивая более тёмным (коричневым) для больших величин уклона. Программа ArcGIS даёт возможность представить уклоны поверхности земли двумя способами (либо в процентах, либо в градусах). Так как при проектировании автомобильных дорог уклоны обычно представляют в процентах, мы также выбрали этот способ (рис.3).

Высоты точек поверхности земли изучаемой местности варьируются от 661 м до 897 м над уровнем моря.

Далее к полученным данным была применена функция «Стоимостное расстояние» (Cost Distance). В диалоговом окне применения данной функции в первой строке указывается слой, содержащий точки начала трассы. Во второй строке выбирается слой, содержащий критерии, на основе которых необходимо найти оптимальную трассу. В третьей строке указывается путь к папке на компьютере, где будет сохранён итоговый слой (рис. 4).

Результат применения данной функции к текущей местности представлен на рис. 5.

Далее была применена функция «Стоимостное направление» (Cost Back Link). В качестве исходных данных для применения функции был указан слой, содержащий точки начала трассы и слой, содержащий стоимостное расстояние, определённое на предыдущем шаге. На рис. 6 приведён результат применения функции «Стоимостное направление» к текущей местности.

К полученным данным была применена функция «Стоимость пути» (Cost Path). В качестве исходных данных был выбран слой, содержащий точки конца трассы, слой, содержащий стоимост-

ное расстояние и слой с полученным стоимостным направлением.

После применения данного инструмента на заданном участке между началом и концом предполагаемой дороги была получена трасса, представленная на рис. 7.

Итоговая трасса была интерполирована и отредактирована в соответствии с нормативным критериям трассирования автомобильных дорог для первой категории (IБ). Протяжённость полученной трассы составляет 11246,32 м (рис. 8).

Полученная трасса была экспортирована в AutoCAD Civil 3D. Затем в AutoCAD Civil 3D была создана вторая трасса, не зависящая от первой и также соответствующая нормативным критериям геометрического трассирования автомагистралей для первой категории (IБ). Данная трасса показана на рис. 9, её протяжённость составляет 10946,89 м.

После этого для каждой трассы был запроектирован продольный профиль с учётом критериев проектирования автомобильных дорог первой категории (IБ). Принято предельное значение для высоты насыпи не более чем 12 м для обоих профилей. Затем запроектированы поперечные профили для выемки и насыпи. Элементы поперечного профиля для выемки и насыпи проиллюстрированы на рис. 10 и 11. Толщина дорожной одежды предположительно принята равной 67 см.

На последнем этапе были рассчитаны объёмы земляных работ для первой трассы, полученной в программе ArcGIS, и для второй трассы, полученной в программе AutoCAD Civil 3D. Полученные объёмы приведены на рис. 12.

При сравнении объёмов выемки и насыпи первой и второй трасс видно, что у первой трассы объём выемки меньше, чем у второй, запроектированной в AutoCAD Civil 3D без учёта особенностей ЦМР. В указанном примере объём насыпи при применении технологий ГИС увеличился только на 24,8%, а объём выемки при этом сократился на 36,5% по сравнению с объёмом выемки для трассы, запроектированной в AutoCAD Civil 3D. Другими словами, объём насыпи увеличился на 150517 м³, объём выемки сократился на 2239725 м³. С экономической точки зрения это является очень важным и сильно влияет на общую себестоимость строительства автомобильной дороги.

Рассмотренный метод трассирования автомобильных дорог можно применять на холмистых, горных местностях или в районах скальных грунтов, где важно учитывать объёмы земляных работ. Поскольку этот метод в общем ограничивает гибкость выбора желательных радиусов кривых трассы в плане, он не будет эффективным в районах глинистых грунтов. В последнем случае его можно применять с целью выбора оптимальной геометрии трассы.

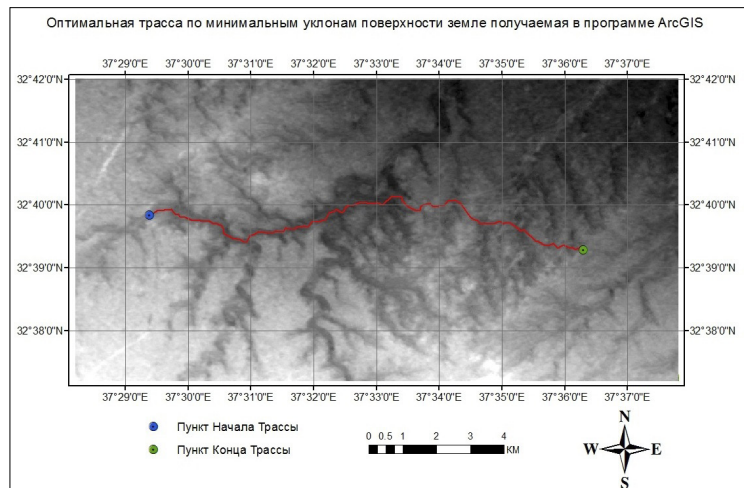


Рис. 7. Оптимальная трасса по минимальным уклонам поверхности земли, полученная после применения инструмента «Стоимость пути»

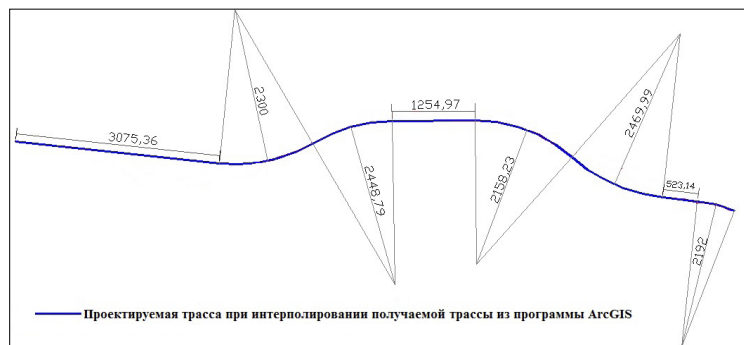


Рис. 8. Трасса, полученная при интерполировании трассы, созданной в программе ArcGIS

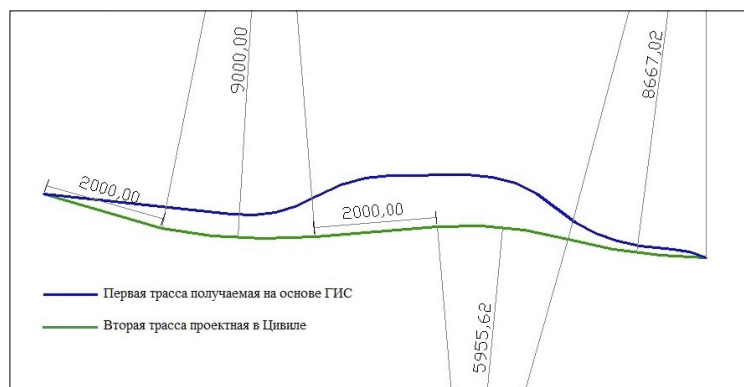


Рис. 9. Трасса, запроектированная в AutoCAD Civil 3D

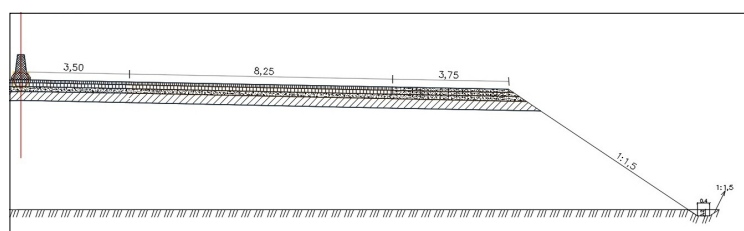


Рис. 10. Поперечный профиль с насыпью

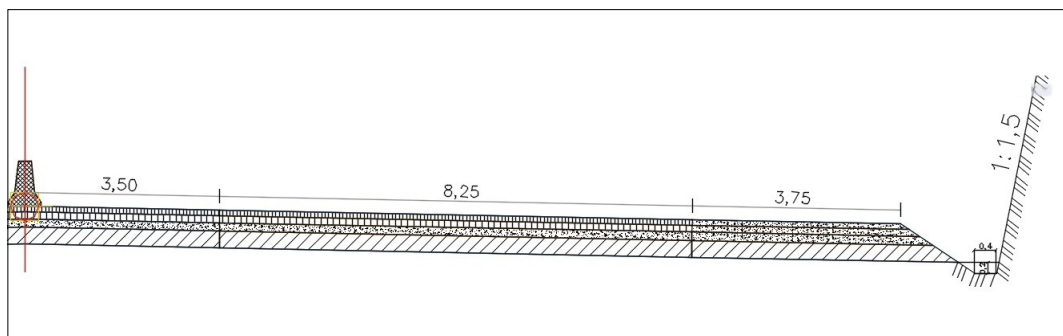


Рис. 11. Поперечный профиль с выемкой

Имя	2D площадь...	Выемка(скор...	Насыпь(скор...	Чистый(скорректированный)(Куб. м)	График разности объем...
Объем_Трасса_1	470475.13	1284766.83	756927.84	527838.99<Выемка>	
Объем_Трасса_2	470932.77	3524491.90	606410.74	2918081.16<Выемка>	

Рис. 12. Сравнение объёмов земляных работ для трассы, полученной в ArcGIS и трассы, запроектированной в AutoCAD Civil 3D

В заключение необходимо отметить, что процесс нахождения оптимальной трассы по определённым критериям является сложным и трудоёмким, поэтому ещё на стадии проектирования дороги необходимо использовать технологию ГИС для анализа ЦМР и дальнейшего автоматического нахождения оптимальной трассы. Игнорирование данного требования может привести к увеличению материальных затрат при строительстве автодороги. ■

Литература:

1. Геоинформационные системы в дорожном хозяйстве: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / А.В. Скворцов [и др.]. Т. VI. М.: ФГУП «Информавтодор», 2006. 372 с.
2. Скворцов А.В., Поспелов П.И., Котов А.А. Геоинформатика в дорожной отрасли: учеб. пособие для вузов по специальности «Автомоб. дороги и аэродромы». М.: МАДИ, 2005. 250 с.
3. Intermediate GIS — Work Book for ArcMap 10.2. Alaska, department of Fish and Game. С. 70.
4. Aster GDEM. URL: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp> (дата обращения 31.05.2017).
5. Cgiar-csi-srtm. URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения 31.05.2017).
6. Earth explorer URL: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 31.05.2017).
7. Обзор инструментов Расстояние. URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-distance-tools.htm> (дата обращения 31.05.2017).