

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧНОГО ПРОДОЛЬНОГО УКЛОНА ОБХОДА ХОЛМА ПРИ ТРАССИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Мусиенко И. В.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос определения экономичного продольного уклона при обхождении холма для разных категорий транспортных средств при автоматизированном проектировании автомобильных дорог. Подтверждена следующая гипотеза о том, что при трассировании автомобильной дороги через рельефное ситуационное препятствие в виде холма есть область определённых значений, при которых функция суммарного расхода топлива определённой категории транспортных средств имеет экстремум, через который можно получить продольный уклон, обеспечивающий минимальный расход для определённой категории транспортных средств.

**Ключевые слова:** трассирование автомобильной дороги, экономичный продольный уклон, холм, суммарные затраты топлива.

### Введение

На местоположение трассы автомобильной дороги влияют не только ситуационные и геологические факторы, но и рельефные. Традиционная последовательность трассирования автомобильной дороги следующая:

1) выполняется трассирование автомобильной дороги в плане с увязкой геометрических элементов кривых (в процессе принятия окончательного проектного решения трасса  $n$ -ое количество раз меняется в плоскости  $X$ - $Y$ );

2) при необходимости выполняется проектирование продольного профиля автомобильной дороги с перетрассированием в плане (рациональный подбор положения оси дороги в плоскости  $Z$  с прохождением через контрольные точки с соблюдением нормативов по радиусам выпуклых и вогнутых кривых, максимальным уклонам, максимальным высотам насыпей и глубинам выемок).

На первом этапе трасса прокладывается с учётом ситуационных гидрологических и геологических условий, проектировщик частично может учесть изменение рельефа, провести трассу по допустимому уклону, но целостно представить дорогу в плоскости  $Z$  можно только при проектировании продольного профиля.

На втором этапе проектировщик в процессе проектирования продольного профиля может вернуться к перепроектированию трассы автомобильной дороги, если особенности рельефа местности не были учтены должным образом на первом этапе.

В данной схеме учёт рельефа при трассировании сводится в основном к приведению

к нормативам вертикальной геометрии красной линии продольного профиля и недопущению высоких насыпей и глубоких выемок, но есть ещё ряд других факторов, которые необходимо учесть в процессе проектирования. Прежде всего, это расход топлива.

Расход топлива является очень весомым экономическим фактором, но ещё весомее расход топлива является и экологическим фактором.

### Анализ публикаций

Вопросами оптимального расположения трассы автомобильной дороги на различных моделях форм рельефа занимался О. С. Забышный [1]. Топливная экономичность автомобилей в различных условиях движения рассматривается в работах Н. М. Маяка [2]. Есть ряд публикаций по оптимизационным критериям определения положения трассы [3–4], которые сгруппированы в комплексных подходах имитационного проектирования пространственного положения трассы [5], компьютерно-системном подходе при проектировании автомобильных дорог [6] и трассирования автомобильных дорог методом гибкого браслета [7]. Вопросы экономичного трассирования рассматриваются в стандартных подходах к проектированию автомобильных дорог [8]. Исследуются также вопросы соотношения внешней среды движения и экономичности транспортного процесса [9–10]. Методы оценки экологического и энергетического качества автомобильных дорог [11] заложены в программном комплексе CREDO [12].

### Цель и постановка задачи

При проектировании автомобильной дороги на равнинной местности закон расхода топлива простой – чем длиннее дорога, тем выше будет суммарный расход топлива.

При проектировании автомобильной дороги в пересечённой местности часто возникает вопрос преодоления ситуационного препятствия, например холма (рис. 1).

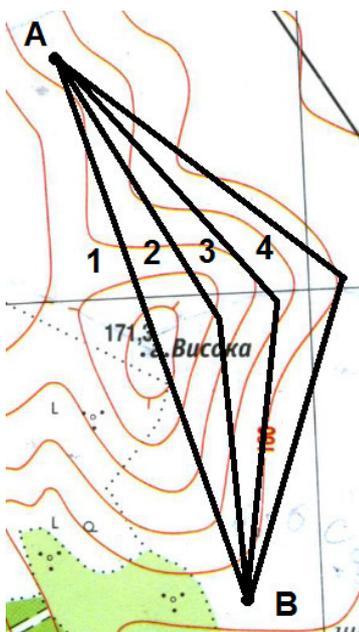


Рис. 1. Пример трассирования автомобильной дороги через холм

У проектировщика дороги должна быть определённая тактика преодоления такого препятствия, поскольку существует неопределённость. Первый вариант трассы (см. рис. 1) самый короткий по длине, но автомобилю необходимо полпути преодолевать определённый уклон, что будет увеличивать расход топлива и, соответственно, эмиссию вредных веществ. Четвёртый вариант трассы дороги наиболее длинный, но с самым малым продольным уклоном. Здесь может быть перерасход топлива за счёт удлинения трассы. Можно предположить, что наименьший суммарный расход топлива для конкретной группы транспортных средств может быть во 2 или 3 варианте трассы, т.е. возможен экстремум по расходу из этих 4 вариантов.

Формулируем гипотезу: при трассировании автомобильной дороги через рельефное препятствие в виде холма есть область определённых значений (глубины выемки, расстояния между исходными пунктами, высоты холма и крутизны откосов), при которых функция суммарного расхода топлива опре-

делённой категории транспортных средств имеет экстремум. Из этой функции можно получить продольный уклон, который будет обеспечивать минимальный расход для определённой категории транспортных средств. Зная состав движения, можно определить средний экономичный продольный уклон для обхождения конкретного холма. Он может служить тактическим ориентиром для проектировщика при трассировании в конкретной области местности.

Для проверки вышеизложенной гипотезы необходимо решить конкретную задачу обхода холма трассы дороги несколькими вариантами с последующим расчётом суммарного по трассе расхода топлива.

### Методы исследований и программы

Для решения вышеизложенной задачи целесообразно запроектировать 10 вариантов трассы автомобильной дороги между пунктом А и пунктом В с обходом холма под разным продольным уклоном: 0 ‰; 5 ‰; 10 ‰; 20 ‰; 30 ‰; 40 ‰; 50 ‰ и т.д. (рис. 2).

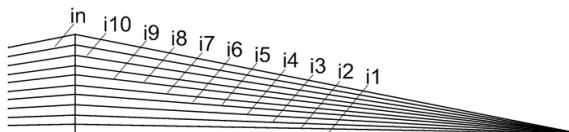


Рис. 2. Схема исследования динамики расхода топлива при преодолении холма под разным уклоном (продольный разрез)

Расстояние между исходным и конечным пунктом берём 2 км.

Суммарный расход топлива целесообразно рассчитывать в САПР АД CREDO II-го поколения, в котором ещё был предусмотрен такой расчёт [12], поскольку в САПР АД CREDO III-го поколения этот расчёт ещё не введён.

Автомобильную дорогу необходимо проектировать в плане и продольном профиле с построением красной линии продольного профиля. Также целесообразно рассмотреть суммарный расход топлива по разным группам подвижного состава.

### Результаты исследований

Расчёты по 10 вариантам трасс автомобильных дорог, выполненные в САПР АД CREDO II, показывают, что при аппроксимации рядов данных полиномами 2-й степени для всех категорий транспортных средств

можно рассчитать минимальные экстремумы (рис. 3), т.е. вышеизложенная гипотеза подтверждается.

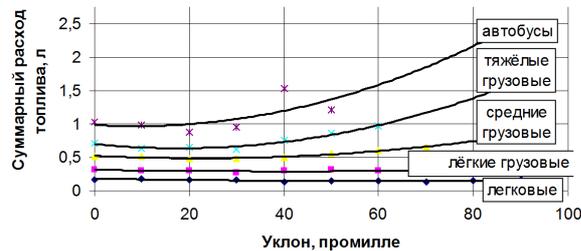


Рис. 3. Зависимость суммарного расхода от уклона для разных категорий подвижных средств

Здесь нет необходимости приводить сами зависимости, поскольку они не имеют практического значения. Интересно само решение задач нахождения экстремума: для легковых автомобилей экономичный уклон составляет 63 ‰, для лёгких грузовых — 41 ‰, для средних грузовых — 22 ‰; для тяжёлых грузовых — 18 ‰; для автобусов — 9 ‰ (рис. 4).

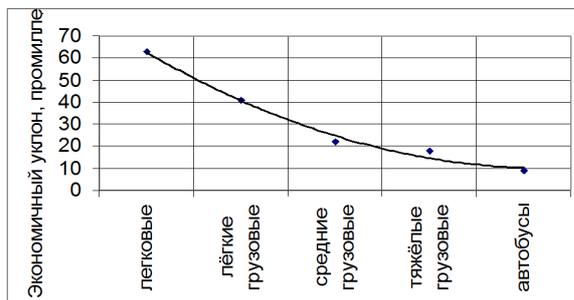


Рис. 4. Зависимость экономичного уклона от категорий транспортных средств

### Выводы

В результате исследований была подтверждена следующая гипотеза: при трассировании автомобильной дороги через рельефное ситуационное препятствие в виде холма есть область определённых значений (глубины выемки, расстояния между исходными пунктами, высоты холма и крутизны откосов), при которых функция суммарного расхода топлива определённой категории транспортных средств имеет экстремум, через который можно получить продольный уклон, обеспечивающий минимальный расход для определённой категории транспортных средств.

Состав движения является одной из исходных характеристик при проектировании

автомобильной дороги, поэтому всегда можно определить средний экономичный продольный уклон, который может служить тактическим параметром при трассировании.

В качестве дальнейших исследований необходимо конкретизировать составляющие функции суммарного расхода топлива, а именно: глубину выемки, расстояние между исходными пунктами, высоту холма и крутизну откосов.

### Литература

1. Забишний О. С. Визначення оптимального розташування траси автомобільної дороги на моделях форм рельєфу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 1972. Вип. 9. С. 12–15.
2. Маяк Н. М. Топливная экономичность автомобилей в сложных условиях движения. Киев: Вища школа, 1990. 215 с.
3. Мусиенко И. В. Оптимизационный критерий определения положения ситуационного отклонения трассы автомобильной дороги в плане. *Сборник научных трудов "Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов"*, Минск: БНТУ, 2012. С. 267–270.
4. Мусиенко И. В., Ткаченко А. Е. Оптимизация трассы автомобильной дороги по максимальным радиусам. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Київ: НТУ, 2012. Вип. 84. С.8–12.
5. Піліпака Л. М. Імітаційне проектування просторового положення траси. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2008. Вип.1(41). С. 212–218.
6. Musiienko I. The computer systems approach in highways designing as a part of computer aided designing. *Proceedings of the 8th International, Scientific Conference. Transbaltica 2013*. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University. P. 140–142.
7. Мусиенко И. В., Алале Б. Общие положения трассирования дорог методом гибкого браслета. *Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: материалы Международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых учёных*. Харьков: ХНАДУ, 2012. С. 177–181.
8. Mark A. Marek, P. Roadway Design Manual. Texas Department of Transportation. 2010, 316 p. URL: [https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/txdot/design/rdw\\_2010-11.pdf](https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/txdot/design/rdw_2010-11.pdf) (дата обращения 20.09.2019).
9. Wood E., Gonder J., Forrest J. On-Road Validation of a Simplified Model for Estimating Real-World Fuel Economy. *WCX 17: SAE World Con-*

- gress Experience*. Detroit, Michigan, 2017. URL: [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/on-road\\_validation\\_real-world\\_fuel\\_economy.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/on-road_validation_real-world_fuel_economy.pdf) (дата обращения 20.09.2019).
10. Löhr E., Kirsch F., Jones L. Exploration of EU road vehicle fuel consumption and disaggregation. *Ricardo Energy & Environment*. ED61469. Issue Number 4. 2016. – 152 p. URL: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/road\\_vehicle\\_fuel\\_consumption\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/road_vehicle_fuel_consumption_en.pdf) (дата обращения 20.09.2019).
  11. Филиппов В. В., Говорушенко Н. Я., Величко Г. В. Проблемы и методы оценки экологического и энергетического качества автомобильных дорог. *Автоматизированные технологии CREDO*. 2000. №2. С. 45–51.
  12. Программный комплекс обработки инженерных изысканий, цифрового моделирования местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог. *Рабочая документация в 7-и томах*. Минск: НПО «КРЕДО-ДИАЛОГ». 1999.
- Reference**
1. Zabyshnyi O. S. Vyznachennia optymalnogo roztashuvannia trasy avtomobilnoi dorohy na modeliakh form reliefu. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. Kyiv, 1972. Vyp. 9. S. 12–15.
  2. Mayak N. M. Toplivnaya e`konomichnost` avtomobilej v slozhny`kh usloviyakh dvizheniya. Kiev: Vishha shkola, 1990. 215 s.
  3. Musiienko I. V. Optimizacziorny`j kriterij opredeleniya polozheniya situacziionnogo otkloneniya trassy` avtomobil`noj dorogi v plane. *Sbornik nauchny`kh trudov "Sovershenstvovanie organizaczi do-rozhnogo dvizheniya i perevozok passazhirov i gruzov"*, Minsk: BNTU, 2012. S. 267–270.
  4. Musiienko I. V., Tkachenko A. E. Optimizacziya trassy` avtomobil`noj dorogi po maksimal`ny`m radiusam. *Avtomobi`l`ni` dorogi i` dorozhnye budi`vnicztvo. Naukovo-tekhni`chnij zbi`rnik*. Kiyiv: NTU, 2012. Vip. 84. S.8–12.
  5. Pilipaka L. M. Imitatsiine proektuvannia prostoroovoho polozhennia trasy. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Zbirnyk naukovykh prats*. Rivne: NUVHP, 2008. Vyp.1(41). S. 212–218.
  6. Musiienko I. The computer systems approach in highways designing as a part of computer aided designing. *Proceedings of the 8th International, Scientific Conference. Transbaltica 2013*. Vilnus: Vilnus Gediminas Technical University. P. 140–142.
  7. Musiienko I. V., Alale B. Obshhie polozheniya trassirovaniya dorog metodom gibkogo brasleta. *Sovremennu`e komp`yuterno-innovacziionny`e tekhnologii proektirovaniya, stroitel`stva, e`kspuataczii avtomobil`ny`kh dorog i ae`rodromov: materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferenczii s uchastiem studentov i molody`kh uchyony`kh*. Khar`kov: KhNADU, 2012. S. 177–181.
  8. Mark A. Marek, P. Roadway Design Manual. Texas Department of Transportation. 2010, 316 p. URL: [https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/txdot/design/rdw\\_2010-11.pdf](https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/txdot/design/rdw_2010-11.pdf) (Last accessed 20.09.2019).
  9. Wood E., Gonder J., Forrest J. On-Road Validation of a Simplified Model for Estimating Real-World Fuel Economy. *WCX 17: SAE World Congress Experience*. Detroit, Michigan, 2017. URL: [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/on-road\\_validation\\_real-world\\_fuel\\_economy.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/on-road_validation_real-world_fuel_economy.pdf) (Last accessed 20.09.2019).
  10. Löhr E., Kirsch F., Jones L. Exploration of EU road vehicle fuel consumption and disaggregation. *Ricardo Energy & Environment*. ED61469. Issue Number 4. 2016. – 152 p. URL: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/road\\_vehicle\\_fuel\\_consumption\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/road_vehicle_fuel_consumption_en.pdf) (Last accessed 20.09.2019).
  11. Filippov V. V., Govorushhenko N. Ya., Velichko G. V. Problemy` i metody` ocenki e`kologicheskogo i e`nergeticheskogo kache-stva avtomobil`ny`kh dorog. *Avtomatizirovanny`e tekhnologii CREDO*. 2000. #2. S. 45–51.
  12. Programmny`j kompleks obrabotki inzhenerny`kh izy`skanij, czifrovogo modelirovaniya mestnosti, proektirovaniya genplanov i avtomobil`ny`kh dorog. *Rabochaya dokumentacziya v 7-i tomakh*. Minsk: NPO «KREDO-DIALOG». 1999.
- Мусяенко Игорь Владимирович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования дорог, геодезии и землеустройства ХНАДУ, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков 61002, Украина, телефон +38 (057) 707-37-32, [rp@khadi.kharkov.ua](mailto:rp@khadi.kharkov.ua).
- Дослідження економічного поздовжнього ухилу обходу пагорба у випадку трасування автомобільних доріг**  
**Анотація.** У статті розглядається питання визначення економічного поздовжнього ухилу обходу пагорба у випадку трасування для різних категорій транспортних засобів під час автоматизованого проектування автомобільних доріг.  
**Ключові слова:** трасування автомобільної дороги, економічний поздовжній ухил, пагорб, сумарні витрати палива.
- Мусяенко Ігор Володимирович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна, телефон +38(057) 707-37-32, [rp@khadi.kharkov.ua](mailto:rp@khadi.kharkov.ua).

### Study of the economical longitudinal slope of a hill bypass when tracing roads

**Abstract. Problem.** Taking into account the relief during tracing is mainly reduced to the longitudinal profile vertical geometry and the prevention of high embankments and deep excavations, but there are a number of other factors that must be taken into account in the design process. First of all, it is the fuel consumption as an economic factor and as an environmental factor. The designer can only control a longitudinal slope when going around a hill. **Goal.** The goal of the study is to confirm the hypothesis that there is an interval of the value of the source data when there is an extremum of the total fuel consumption. The source data include the depth of the excavation, the distance between the starting points, the height of the hill and the steepness of the slopes. The total cost of fuel refers to the amount of fuel that a certain group of cars will spend when driving on a specific section of the road from the starting point to the final point. **Methodology.** To solve the above problem, 10 variants of the highway route between point A and B have been designed with a bypass of the hill under different longitudinal slopes. Total fuel consumption has been calculated in CAD CREDO.

**Results.** The most important result of the study is the confirmation of the hypothesis that there is an interval of the value of the source data when there is an extremum of the total fuel consumption. **Originality.** With a certain minimum extremum of the total fuel consumption, an economical longitudinal slope has been found. This slope corresponds to a specific group of vehicles. The vehicle compositions are one of the initial characteristics in the design of the road, so one can always determine the average economical longitudinal slope. **Practical value.** This slope can serve as a tactical guide for the designer when tracing in a specific area of the terrain.

**Keywords:** road tracing, economical longitudinal slope, hill, total fuel consumption.

**Musiienko Igor**, Ph.D., associate professor, associate professor of department of highway design, geodesy and land management Kharkov national automobile highway university, 61002, Ukraine, Yaroslava Mudrogo str., 25, +38(057) 707-37-32, rp@khadi.kharkov.ua.

---