



УДК 625.7/8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ТРАССИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*М.М. Умаров, экстерн**А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф.**Е.В. Чернышова, асп.**Е.Ю. Микова, экстерн*

Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: m_m_umarov@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_y_mikova@mail.ru

Большие возможности для повышения производительности и качества инженерного труда предоставляют механизация и автоматизация различных процессов инженерной деятельности с помощью электронной вычислительной техники. Это относится и к процессу проектирования, где выбор оптимального решения связан с рассмотрением и обработкой большого числа возможных вариантов. Применение электронно-вычислительных машин не только ускоряет расчеты, но и позволяет использовать для решения более строгие зависимости, что повышает точность вычислений. В некоторых случаях это дает возможность по-новому организовать процесс получения исходной информации. Первоначально автоматизации подвергались отдельные небольшие виды расчетов без какого-либо существенного изменения существующих технологических схем. В настоящее время с появлением новых математических методов стоит вопрос о создании автоматизированных систем на базе современных вычислительных машин, решающих весь комплекс задач по конкретной теме. В области дорожного проектирования на первом этапе автоматизации инженерных расчетов составляются программы, обслуживающие отдельные промежуточные этапы проектирования, связанные с большим объемом вычислений и не требующие вариантной проработки (например, программы подсчета объемов земляных работ, площадей откосов земляного полотна, ливневого стока, скоростей движения и др.), на втором этапе проводятся комплексные расчеты, включающие логические элементы и связанные с обработкой, анализом большого количества вариантов и выбором оптимального из них по ряду показателей. Цель наших исследований – разработка методики определения оптимального варианта трассы лесной автомобильной дороги по стереомодели местности.

Ключевые слова: лесная автомобильная дорога, трассирование, продольный профиль, цифровая модель местности.

Введение

Опыт отечественных и зарубежных исследований в области изысканий показывает, что наиболее эффективным средством получения геометрических характеристик местности является пространственная фототриангуляция с

Для цитирования: Умаров М.М., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю. Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 58–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

применением электронных вычислительных машин (ЭВМ). С учетом специфики линейных изысканий был разработан метод и составлена программа аналитического сгущения, позволяющая значительно снизить объемы работ по созданию геодезического обоснования. По сравнению с топографической съемкой этот метод позволяет в труднодоступных районах уменьшить трудозатраты в 8–10 раз [4]. При изысканиях новых линий с прокладкой магистрального хода трудозатраты на планово-высотную подготовку снимков сокращаются примерно в 2 раза.

Среди отечественных работ в этом направлении следует отметить исследования сотрудников Центрального научно-исследовательского института материалов, Института кибернетики, Казанского автомобильно-дорожного института, Московского автомобильно-дорожного университета (МАДУ) и ряда других организаций, которые изучают способы построения математических моделей рельефа местности, вопросы выбора направления трассы в пределах зоны варьирования, определения проектных элементов трассы, подобранных на стереомодели, отыскания оптимальной линии продольного профиля в заданном направлении и др. [2, 5]. В настоящее время эти исследования находятся в стадии экспериментального апробирования.

В нашей стране большое внимание уделяется созданию математических методов и алгоритмов оптимизации продольного профиля. В МАДУ разработан метод трассирования лесных автомобильных дорог по стереомодели с учетом сложившихся условий местности. Укладка трассы ведется в зоне варьирования по математической модели местности, создаваемой сетью структурных (орографических) линий. Измеренные по снимкам координаты точек структурных линий преобразуются в единую геодезическую систему координат методом аналитической фототриангуляции. Этот метод предполагает использование в качестве исходной информации не только данных о топографических характеристиках местности, но и геологических, гидрологических и других характеристик.

Цель нашего исследования – разработка методики определения оптимального варианта трассы лесной автомобильной дороги по стереомодели местности.

Объекты и методы исследования

Исследованию подлежит процесс выбора оптимального варианта трассы. При этом в намеченной полосе варьирования предложено разбивать весь процесс на два этапа: последовательный подбор оптимального направления проектируемой линии в заданной полосе; отыскание оптимальной трассы данного направления. На первом этапе внутри полосы возможного варьирования отыскивается система точек, определяющих для каждого конкретного значения руководящего уклона оптимальное прохождение трассы в намеченной зоне, на втором этапе при условии минимума приведенных строительно-эксплуатационных затрат осуществляется перебор всех возможных вариантов. Ограничением данного метода является равенство типов продольных профилей по вариантам.

Методика укладки трассы предполагает сочетание труда квалифицированного проектировщика и ЭВМ. Проектировщик анализирует по крупномасштабным картам положение трассы на всем протяжении и отмечает ее фиксированные участки. На остальных участках намечаются возможные варианты изменения вершин углов поворота и радиусов кривых. Поиски лучше-

го обхода или пересечения препятствий, более полного использования уклонов трассирования, а также проверку возможности спрямления трассы или улучшения линии на плане за счет более удачного подбора радиусов кривых выполняет ЭВМ. Отделка трассы проводится по цифровой модели рельефа местности.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным условием качественного проектирования будущего сооружения является полнота и достоверность исходной информации. Эти требования изложены в строительных нормах и правилах (СНиП) [1] и инструкциях по проведению геодезических измерений. Поскольку точность геодезических измерений оказывает влияние на производительность процесса изысканий, исследование этого вопроса представляет практический интерес.

В табл. 1 приведены нормативные требования к точности нивелировочных работ и угломерных определений.

Таблица 1

Обобщенные нормативные требования точности

Точность линейных измерений	Расстояние, км	Расхождение двойного нивелирования	Угловая невязка, мин
1:1000	3...4	$50\sqrt{L}$	–
1:1000...1:500	1	$(30...15)\sqrt{L}$	–
1:1000...1:500	1	$30\sqrt{L}$	–
1:1000...1:500	1	$(150...50)\sqrt{L}$	1,5...3,0

Примечание. L – расстояние между вершинами углов поворота.

Анализ данных табл. 1 показывает последовательное изменение требований к точности геодезических измерений.

Действующими в настоящее время нормативными документами установлены единые требования к точности производства геодезических и аэрогеодезических работ. В соответствии с принятым в настоящее время двухстадийным процессом проектирования эти требования разделены на две подгруппы: рекогносцировочные (предварительные) и подробные изыскания (табл. 2).

Таблица 2

Допустимые невязки топографо-геодезических работ при изысканиях лесных автомобильных дорог

Изыскания, вид работ	Измерения		
	угловые, мин	линейные	высотные, мм
Предварительные: магистральные ходы	2,0 (между полу-приемами на стоянке)	1:300	$300\sqrt{L}$
в замкнутых полигонах	$3,0'\sqrt{n}$	–	–
Ходы обоснования аэрофото-съемок	$3,0\sqrt{n}$	1:1000, 1:500 (в трудных условиях)	$150\sqrt{L}$
Подробные – полигоны для детальных планов	$1,5\sqrt{n}$	1:1000	$50\sqrt{L}$

Примечание. n – количество линий.

Отсутствие в инструкциях по проведению геодезических измерений каких-либо обоснований и конкретных указаний по применению на практике приведенных в табл. 2 точностей изыскательских работ не может не влиять на производительность, технологию и экономику геодезических измерений [7]. Степень применения аэрометодов и полнота использования материалов аэрофотосъемки на той или иной стадии проектно-изыскательских работ определяются теми задачами, которые решаются на них. Поскольку обе стадии (подбор оптимального направления проектируемой линии в заданной полосе; отыскание оптимальной трассы данного направления), технический проект и рабочие чертежи, согласно табл. 2, относятся к одной подгруппе подробных изысканий, то точность и технология работ подразумеваются одинаковыми, несмотря на различие задач, которые решаются на этих стадиях. Если на стадии технического проекта основной упор делается на определение стоимости, сроков и технико-экономических показателей будущего строительства, то на заключительной стадии, когда составляются рабочие чертежи, основным моментом является качество будущего строительства. Естественно, что требования к точности результатов изысканий на заключительной стадии должны быть максимальными.

В СНиП 11-02–96 также ничего не говорится о расстояниях, которые должны измеряться с указанной точностью. Если это относится к отдельным линиям, из которых слагается трасса, то общая ошибка всей трассы будет меньше в \sqrt{n} раз, чем ошибка измерения каждой линии.

На основании проведенных нами исследований, в которых изучалась взаимосвязь проектно-изыскательских работ с технико-экономическими показателями дорожного строительства и условиями автомобильного движения, было установлено, что действующие в настоящее время требования к точности геодезических работ не соответствуют их действительно необходимой точности. Они завышены и требуют изменений. Так, в работе [4] была предложена новая методика определения предельных точностей производства геодезических и аэрогеодезических работ при изысканиях лесных автомобильных дорог.

С учетом различий в стоимости строительства и автоперевозок для дорог различных категорий были составлены таблицы предельных точностей производства геодезических измерений при изысканиях лесных автомобильных дорог, в которых предельные ошибки геодезических измерений дифференцированы по стадиям проектирования, категориям дорог и условиям местности.

Исследования [3, 6] также свидетельствуют о том, что действующие нормативные требования к точности геодезических измерений завышены и недостаточно учитывают специфику каждого вида линейных изысканий.

Основное отличие аэроизысканий от наземных состоит в том, что геометрические параметры местности определяются по ее фотограмметрической модели, полученной в результате фотограмметрической обработки. Для ориентирования и масштабирования фотограмметрической модели относительно исходной геодезической системы координат необходимо, чтобы ряд точек этой модели был определен в геодезической системе координат.

На рис. 1 показаны различные схемы размещения опознаков (точка объекта фотограмметрической съемки с известными пространственными координатами, опознанная на фотограмметрическом снимке) на маршруте аэросъемки.

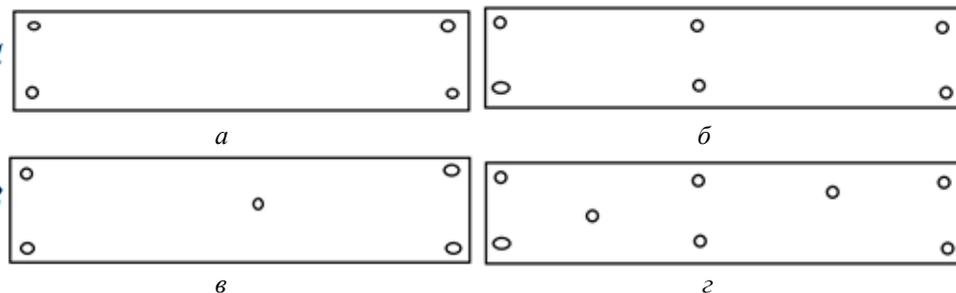


Рис. 1. Схемы размещения опознаков на маршруте: *a* – 4 опознака, *б* – 6, *в* – 5, *г* – 8

Эти точки, кроме геодезического ориентирования, позволяют выявлять систематические ошибки фототриангулирования и, следовательно, устранять их влияние.

Практика показала, что в большинстве случаев для маршрутов, состоящих из 10–15 снимков, удовлетворительные результаты получаются при размещении опознаков по схемам рис. 1, *a*, *б* [10]. В случае, когда длина маршрута составляет 20–25 снимков, подходят схемы, приведенные на рис. 1, *в*, *г*. Более длинные сети целесообразно делить на части.

Так как точность определения геодезических координат опознаков влияет на точность определения координат по фотограмметрической модели, находим этот показатель исходя из норм точности, приведенных в действующих инструкциях. Поскольку в них не указана точность определения координат точек по трассе, будем исходить из положения, что относительная ошибка определения длины между двумя точками не должна превышать 1:1 000. Как следует из схем, изображенных на рис. 1, наименьшее расстояние между опознаками наблюдается у тех, которые составляют поперечную пару, а наибольшее примерно соответствует длине маршрута. Для дальнейшего рассмотрения принимаем: средний масштаб 1:10 000, средняя длина маршрута 10 км. При этих значениях наименьшее расстояние между опознаками составит 1,3 км (относительная ошибка – 1,3 м), наибольшее – 10,0 км (ошибка – 10,0 м). Поскольку данные ошибки являются результатом измерения координат в двух точках, точность определения в одной точке

$$m'_p = \frac{1,30}{\sqrt{2}} = \pm 0,92 \text{ м.}$$

Принимая эту ошибку за предельную, находим точность взаимного положения близко расположенных опознаков $m_{p\delta} = \pm 0,4$ м.

С увеличением расстояния между опознаками абсолютное значение относительной ошибки будет возрастать, в связи с чем точность определения их планового положения будет снижаться. Поэтому точность взаимного положения близко расположенных точек принимаем за точность определения плановых координат опознаков для всего маршрута: $m_p = \pm 0,4$ м.

Передачу координат по маршруту с указанной точностью можно осуществить по методу триангуляции, или полигонометрии. Применение в этом случае светодальномеров с большим запасом обеспечит необходимую точность линейных измерений.

При расчете точности угловых измерений принимаем во внимание, что максимальная длина линий, измеряемых светодальномером, составляет порядка 5,0 км при средней длине около 2,0 км [11]. Поскольку смещение опре-

деляемой точки Δt , вызванное угловыми ошибками, прямо пропорционально длине линий S , находим ошибку угловых измерений v , обеспечивающую требуемую точность определения плановых координат (рис. 2).

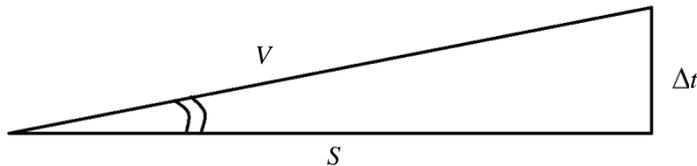


Рис. 2. Смещение определяемой точки из-за ошибок измерения углов

Для $S = 5000$ м имеем $v = 0,4 / 5000 = 0,00008 = 17''$; для $S = 2000$ м имеем $v = 0,4 / 2000 = 0,0002 = 40''$.

Такая точность может быть получена при измерении углов оптическими теодолитами.

Точность определения высот опознаков для целей фототриангулирования зависит от точности измерения превышений (h) по снимкам:

$$h = \frac{\Delta p}{b + \Delta p} H, \quad (1)$$

где b – высота прибора;

Δp – разность продольных параллаксов;

H – высота съемочного пикета (фотографирования).

После дифференцирования (1) получаем

$$dh = d\Delta p \frac{H}{p} + \Delta p \frac{dH}{p} - \Delta p \frac{H dp}{p^2}. \quad (2)$$

Переходя к среднеквадратическим ошибкам, имеем

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p}, \text{ или } H = \frac{m_h}{m_{\Delta p}} p.$$

Таким образом, ошибка определения превышений по снимкам зависит от высоты фотографирования и ошибки измерения разности продольных параллаксов. Из зависимости (1) следует, что увеличение формата снимков повышает точность определения превышений при одинаковой высоте фотографирования.

При $m_{\Delta p} = \pm 0,015$ мм, $p = 70$ мм, $H = 1000$ м получаем:

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p} = 0,2 \text{ м.}$$

Принимая эту величину за предельную ошибку измерения превышений, находим среднеквадратическую ошибку определения высот опознаков:

$$m_{\Delta h} = \frac{m_h \sqrt{2}}{2,5} = 0,11 \text{ м.}$$

Поскольку фотограмметрическая сеть ориентируется по нескольким опознакам, ошибка одного опознака будет в \sqrt{n} раз больше, т. е. для $n = 4$ имеем: $m'_h = \pm 0,11\sqrt{4} = \pm 0,22$ м; для $n = 6$ имеем $m'_h = \pm 0,11\sqrt{6} = \pm 0,27$ м.

Анализ работ [8, 9] по этой тематике показал, что дорожники считают возможным на заключительных стадиях проектирования использовать планы, по которым высоты точек определяются с ошибкой $m_h = \pm 0,15$ м.

Точность линейных измерений. Если положение отрезка на стереомодели зафиксировано в каких-то точках, то его длину l можно рассчитать по формуле $l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$. Если предположить, что ошибки определения координат по осям X и Y равны, т. е. $m_x = m_y$, то ошибку положения точки можно найти как $m_p = m_{x,y} \sqrt{2}$, тогда ошибка длины, установленная по двум точкам, $m_l = m_p \sqrt{2}$, а относительная ошибка длины

$$\frac{m_l}{l} = \frac{2m_{x,y}}{l}. \quad (3)$$

Так как систематические ошибки фотограмметрических сетей устраняются в процессе фототриангулирования, ошибки определения координат точек местности будут зависеть главным образом от случайных ошибок измерения координат снимков и масштаба фотографирования.

Находим минимальную длину отрезка m_l , измерение которой по фотограмметрической модели, обеспечит точность, рекомендованную в инструкциях, т. е. $\frac{m_l}{l} \leq \frac{1}{1000}$. Принимаем по снимкам ошибку измерения координат $m_{x,y} = \pm 0,02$ мм, знаменатель (l) масштаба снимков $m = 1000$. В этом случае ошибка измерения длины $m_l = 0,4$ м. Решая пропорцию $\frac{0,4}{l} = \frac{1}{1000}$, находим минимальную длину отрезка $l = 400$ м.

Поскольку на практике длина трассы значительно превышает найденное значение, ошибка определения длины трассы по фотограмметрической модели будет значительно меньше установленного в инструкциях допуска для наземных изысканий.

Точность угловых измерений. Пара точек в пространстве, кроме длины, определяет и направление данного отрезка. Если система координат задана, то дирекционный угол этого направления будет найден из выражения

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (4)$$

Так как ошибка координат одной точки $m_{x,y} = \pm 0,020$ м, то ошибка направления, вычисленного по двум точкам, составит $m_\alpha = \frac{m_{x,y} \sqrt{2}}{L}$.

При определении элементов трассы по стереомодели часто возникает задача установления углов поворота трассы, которые могут быть найдены через направления, образующие угол поворота, т. е. $m_\beta = m_\alpha \sqrt{2} = \frac{2m_{x,y}}{L}$.

Если за минимальное расстояние между вершинами принять $L = 200$ м, то ошибка определения угла поворота

$$\delta_\beta = \frac{0,4}{200} = 7';$$

для $L = 500$ м значение ошибки пропорционально уменьшится:

$$\delta_{\beta} = \frac{0,4}{500} = 2'.$$

Согласно требованиям [1], точность угловых измерений по трассе рассчитывается по формуле $m_{\beta} = 1,5'\sqrt{n}$. Таким образом, при определении углов поворота по снимкам при коротких расстояниях (200 м) полученная ошибка соответствует наземному ходу, когда $n = 10-12$ вершин. Если длина направлений, по которым устанавливается угол поворота, больше 500 м, точность определения углов становится выше, чем рекомендовано в инструкциях. Эти рассуждения имеют место при строгой обработке маршрута аэрофотосъемки.

Точность определения превышений по снимкам. Для средних значений $H = 1000$ м, $p = 70$ мм превышение

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p} = 0,2 \text{ м.}$$

Так как превышение определяется между двумя точками, то ошибка такого превышения будет в $\sqrt{2}$ раз больше, т. е.

$$m_{\Delta h} = m_h \sqrt{2} = 0,28 \text{ м.}$$

В работе [6] установлено, что точность определения уклонов, равная 0,010...0,005, не оказывает заметного влияния на условия автомобильного движения. Поэтому, принимая 0,005 (0,5 м на пикет) за точность определения уклонов, рассчитаем масштаб аэрофотосъемки, обеспечивающий заданную точность. Принимая высоту уклона $f = 100$ мм, а $m_h = 0,5$ м, $p = 870$ мм, получаем:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H},$$

где $H = \frac{m_h p}{m_{\Delta p}} = 1000$ м.

В местах с затрудненным водоотводом точность выдерживания уклонов для обеспечения стока должна быть не ниже 0,002 (0,2 м на пикет). Рассчитаем высоту фотографирования, обеспечивающую этот допуск:

$$H = \frac{m_h}{m_{\Delta p}} p = 400 \text{ м.}$$

Объем земляных работ на расчетном участке устанавливаем из следующей формулы:

$$V = F_{\text{ср}} L = L(Bh + h^2), \quad (5)$$

где L – длина расчетного участка;

B – отношение заложения откосов насыпи (или выемки) к ее высоте;

h – средняя рабочая отметка.

Продифференцировав выражение (5) по L_p и h , получаем ошибку при определении объема земляных работ:

$$dV = dL(Bh + \eta h^2) + dhL(B + 2\eta h). \quad (6)$$

Переходим к среднеквадратическим ошибкам и получаем для насыпи:

$$m_v = \sqrt{m_L^2 h^2 (B + \eta h)^2 + m_h^2 L^2 (B + 2\eta h)^2}; \quad (7)$$

$$\frac{m_v}{V} = \sqrt{\frac{m_L^2 h^2 (B + \eta h)^2}{L^2} + \frac{m_h^2 L^2 (B + 2\eta h)^2}{h^2}} = \frac{m_v}{V} = \sqrt{\frac{m^2}{L^2} + \frac{(B + 2\eta h)^2}{(B + \eta h)^2} \frac{m_h^2}{h^2}}; \quad (8)$$

для выемки:

$$\frac{m_v}{V} = \sqrt{\left(\frac{m_L}{L}\right)^2 + \frac{(B + 2\eta h)^2}{(B + \eta h + \omega)^2} \left(\frac{m_h}{h}\right)^2}. \quad (9)$$

Таким образом, принимая во внимание, что относительная ошибка линейных измерений значительно меньше остальных членов выражений (8)–(9), можно предположить, что относительная ошибка определения объемов будет зависеть в основном от ошибок превышений и рабочей отметки.

Заключение

Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог по сравнению с наземными методами позволяет: сократить сроки и объемы полевых геодезических работ; поднять производительность процесса изысканий и снизить его стоимость; улучшить технико-экономические показатели запроектированной трассы; сократить стоимость строительства за счет выбора лучших вариантов и использования более детальной информации о данной местности. В связи с тем, что очертания современной трассы приближаются к плавной пространственной кривой, применение шаблонов кривых является наиболее рациональным методом определения их приближенных значений, а следовательно, и положения будущей трассы на местности.

Наиболее эффективный метод создания цифровой модели местности на основе снимков – аналитическая фототриангуляция. Поскольку информация о местности представлена в цифровом (дискретном) виде, для построения продольного профиля необходима аналитическая модель рельефа местности, использующая данные цифровой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНиП 11-02-96. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2000. 45 с.
2. Курьянов В.К. Теоретические основы и формализация задач управления качеством дорожных покрытий на основе оптимизации ремонтных работ // Проблемы и перспективы лесного комплекса: материалы межвуз. науч.-практ. конф., Воронеж, 26–27 мая 2005 г. Воронеж: ВГЛТА, 2005. Т. 1. 264 с.
3. Скрытников А.В. Теоретические основы и методы организации и управления дорожным движением // Бюл. трансп. информ. 2010. № 1(175). С. 10–15.
4. Скрытников А.В. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: моногр. М.: ФЛИНТА, 2012. 310 с.
5. Скрытников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. 2011. № 8(ч. 3). С. 667–671.

6. *Скрыпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В.* Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов // Сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», Воронеж, 08–09 апр. 2015. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 76–81.

7. *Скрыпников А.В., Умаров М.М., Чернышова Е.В.* Роль состояния лесовозных автомобильных дорог в обеспечении удобства и безопасности движения в неблагоприятные периоды года // Наука. Технологии. Производство. 2015. № 2(6). С. 66–68.

8. *Чертвов Е.Д., Скрыпников А.В., Буданов А.В., Котов Г.И.* Математические методы моделирования поиска принципов действия технических систем // Вестн. ВГУИТ. 2016. № 3(69). С. 110–115.

9. *Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V.* Analysis of Security Identity and Access Management Systems // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. No. 9(1). Pp. 0974–5572.

10. *Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V.* Development of the Method for Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems // Journal of Digital Information Management. 2016. No. 14(5). Pp. 322–332.

11. *Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V.* Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, iss. 2. Pp. 511–515.

Поступила 29.09.17

UDC 625.7/8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

Digital Elevation Model for Forest Road-Location

M.M. Umarov, External Student

A.V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

E.V. Chernyshova, Postgraduate Student

E.Yu. Mikova, External Student

Voronezh State University of Engineering Technology, pr. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: m_m_umarov@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_y_mikova@mail.ru

Mechanization and automation of various engineering processes using computers afford ground for the efficiency improving and the quality of engineering effort. This also applies to the design process, where often the final optimum choice involves the consideration and processing of a large number of possible options. The use of computers allows us not only to accelerate calculations, but also to use more stringent dependencies for the solution, which increases the accuracy of calculations. In some cases, this provides an opportunity to organize the process of obtaining the initial information from a new angle. At first, some separate not complicated methods of calculation without any significant modification of existing technological schemes were subjected to automation. Nowadays, with the advent of, new mathematical methods, there is much concern about the creation of automated systems based on modern computers solving the entire complex of problems on a particular topic. In

For citation: Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu. Digital Elevation Model for Forest Road-Location. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 58–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

the road design, at the first stage of automation of engineering calculations, the programs are made that serve individual intermediate stages of design, associated with a large amount of calculations and do not require variant analysis (programs for calculating cut and fill volumes, areas of subgrade embankments, flood run off, road speeds, etc.). At the second stage, complex calculations are carried out, that include logical elements and are associated with the processing, analysis of a large number of options and the choice of optimum alternative according to a number of indicators. The goal of research is to develop a methodology for determining the optimal variant of the forest road route using a terrain spatial model.

Keywords: forest road, road-location, longitudinal profile, digital elevation model.

REFERENCES

1. SNiP 11-02-96. Inrhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya [Construction Norms and Regulations 11-02-96. Engineering Survey for Construction. Basic Principles]. Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2000. 45 p.
2. Kur'yanov V.K. Teoreticheskie osnovy i formalizatsiya zadach upravleniya kachestvom dorozhnykh pokrytiy na osnove optimizatsii remontnykh rabot [Theoretical Foundations and Formalization of Problems of Quality Management of Road Surfaces on the Basis of Repair Works Optimization]. *Problemy i perspektivy lesnogo kompleksa: materialy mezhvuz. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 26–27 maya 2005 g.* [Problems and Perspectives of the Forest Complex: Proc. Interuniversity Sci. Practic. Conf., Voronezh, May 26–27, 2005]. Voronezh, 2005, vol. 1. 264 p. (In Russ.)
3. Skrypnikov A.V. Teoreticheskie osnovy i metody organizatsii i upravleniya dorozhnym dvizheniem [Theoretical Bases and Methods of Organization of Traffic Control on Roads]. *Byulleten' transportnoy informatsii* [Bulletin of Transport Information], 2010, no. 1(175), pp. 10–15.
4. Skrypnikov A.V. *Metody, modeli i algoritmy povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobil'nykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii* [Methods, Models and Algorithms for Increasing Transport-Operational Qualities of Forest Roads in the Process of Design, Construction and Operation]. Moscow, FLINTA Publ., 2012. 310 p. (In Russ.)
5. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Optimization of Maintenance Period for Logging Highway]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2011, no. 8-3, pp. 667–671.
6. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Analiz metodov otsenki nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov [Analysis of Methods for Assessing the Reliability of Complex Technical Complexes]. *Sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitiy agropromyshlennogo kompleksa», Voronezh, 08–09 apr. 2015* [Collected Papers Intern. Sci. Practic. Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, Voronezh, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 76–81. (In Russ.)
7. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Chernyshova E.V. Rol' sostoyaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v obespechenii udobstva i bezopasnosti dvizheniya v neblagopriyatnye periody goda [The Role of the State of Logging Roads to Ensure Comfort and Driving Safety in Adverse Seasons]. *Aktual'nye voprosy nauki, tekhnologii i proizvodstva* [Actual Problems of Science, Technology and Production], 2015, no. 2(6), pp. 66–68.
8. Chertov E.D., Skrypnikov A.V., Budanov A.V., Kotov G.I. Matematicheskie metody modelirovaniya poiska printsipov deystviya tekhnicheskikh sistem [Mathematical

Methods of Modeling Research of the Principles of Technical Systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2016, no. 3(69), pp. 110–115.

9. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Analysis of Security Identity and Access Management Systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, 2016, no. 9(1), pp. 0974–5572.

10. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems. *Journal of Digital Information Management*, 2016, no. 14(5), pp. 322–332.

11. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, iss. 2, pp. 511–515.

Received on September 29, 2017
