

УДК 630*377.7(075.8)

UDC 630*377/7(075.8)

**ВЛИЯНИЕ КОСОГОРНОСТИ МЕСТНОСТИ
НА ОБЪЕМЫ ДОРОЖНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ
РАБОТ****INFLUENCE OF HILLY TERRAIN SLOPE
ON THE VOLUME OF ROAD EARTHWORK**

Морковин Владимир Александрович
к.т.н., доцент

Morkovin Vladimir Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Кириллов Федор Александрович
к.т.н., ассистент
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Kirillov Fedor Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., assistant
*Voronezh State Academy of Forestry and
Technologies, Voronezh, Russia*

Получены аналитические зависимости для расчета поправки на косогорность местности. Данная поправка вводится в формулу для расчета площади поперечного сечения земляного полотна дороги, что позволяет на стадии проектирования уточнить объемы дорожных земляных работ. Величина поправки на косогорность зависит не только от крутизны косогора, но и от параметров земляного полотна дороги. Как показывают расчеты при коэффициенте заложения косогора 25 и менее величина поправки существенна

The analytic dependence for slope correction calculation is obtained. This correction is introduced in the formula for calculating the area of earth roadbed cross-section. It allows detailing the volume of road earthwork at the design stage. The correction size depends on the slope steepness as well as cross-sectional parameters of the earth roadbed. The calculations show that the correction size is essential if ratio of slope is 25 or less

Ключевые слова: ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО,
ОБЪЕМ ДОРОЖНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ,
ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ,
ПОПЕРЕЧНЫЙ УКЛОН МЕСТНОСТИ,
КОЭФФИЦИЕНТ ЗАЛОЖЕНИЯ КОСОГОРА,
ПОПРАВКА НА КОСОГОРНОСТЬ МЕСТНОСТИ

Keywords: EARTH ROADBED, VOLUME OF
ROAD EARTHWORK, CROSS-SECTION AREA,
CROSS FALL, RATIO OF SLOPE, HILLY
TERRAIN SLOPE CORRECTION

Земляные работы при строительстве лесных дорог являются наиболее значимой статьей затрат, так как в условиях леса характерны неблагоприятные гидрологические условия и широко распространены глинистые грунты, что требует устройства высоких насыпей [1, 2, 3]. На участках косогорной местности, которые широко распространены на горных лесных дорогах [4] и встречаются на равнинных лесных дорогах [5] сток воды обеспечен, но параметры земляного полотна установлены на основе требований норм проектирования по обеспечению допустимых продольных уклонов дороги и снижения затрат на строительство и эксплуатацию дороги, а поэтому возможны различные значения рабочих отметок насыпей и выемок, характеризующиеся широким диапазоном изменения значений.

Влияние косогорности на объем дорожных земляных работ

рекомендуется учитывать при коэффициенте заложения косогора 1:10 и круче [2]. В работах [6, 7] показано, что влияние косогорности местности на объемы дорожных земляных работ зависит от величины рабочей отметки и ширины земляного полотна и его следует учитывать при сравнительно небольших косогорах в случаях, когда рабочие отметки имеют малое значение. Это особенно актуально для участков малых насыпей и не глубоких выемок.

Косогорность местности определяется величиной поперечного уклона – уклона, который направлен перпендикулярно направлению трассы [6]. Также используется другой показатель, количественно характеризующий косогор – коэффициент заложения косогора – отношение заложения косогора к превышению, соответствующему данному заложению [2, 6], который представляет собой величину противоположную поперечному уклону [5, 6].

На рис. 1 и 2 представлены поперечные профили соответственно насыпи и выемки на косогоре. Параметры, определяющие величину объема земляных работ, показаны на данных рисунках (в метрах): ширина земляного полотна B , рабочая отметка H , коэффициент заложения откоса m . Для выемки к указанным параметрам добавляются параметры кювета: глубина h_k , ширина по дну b_k , коэффициент заложения откоса кювета m_k . В данной работе не учитывается влияние параметров дорожной одежды и сливной призмы.

Известно [6], что объем земляных работ V (в кубических метрах) на некотором участке длиной L с однотипной конструкцией земляного полотна определяется по формуле

$$V = \int_0^L F(x) dx, \quad (1)$$

где $F(x)$ – площадь поперечного сечения земляного полотна, характеризующегося удалением от начала рассматриваемого участка на

расстояние x , изменяющееся в интервале $[0; L]$, м².

Интегрирование зависимости (1) позволяет получить формулу [8]

$$V = \left\{ \begin{array}{l} 0,5(F(L) + F(0)) - \\ -\frac{1}{6}[(B(L) - B(0))(H(L) - H(0)) + m(H(L) - H(0))^2] \end{array} \right\}^L, \quad (2)$$

где $F(L)$, $F(0)$ – площади поперечных сечений земляного полотна в крайних сечениях рассматриваемого участка (в конце и в начале), м²;

$B(L)$, $B(0)$ – ширина земляного полотна в крайних сечениях рассматриваемого участка, м;

$H(L)$, $H(0)$ – рабочие отметки земляного полотна в крайних сечениях рассматриваемого участка, м.

Выражение, заключенное в квадратные скобки в правой части формулы (2), называют призматоидальной поправкой [2], величина которой зависит от разности параметров земляного полотна. В отдельных случаях призматоидальной поправкой пренебрегают и формула (2) существенно упрощается.

Формулы (1) и (2) показывают, что величина объема земляных работ определяется площадью поперечного сечения земляного полотна, а точнее геометрического тела, называемого – призматоконус [2, 6, 7].

Для учета влияния поперечного уклона местности $i_{ПМ}$ (рис. 1 и 2) на величину объема земляных работ необходимо установить формулы, определяющие значение площади поперечного сечения земляного полотна в зависимости от указанного поперечного уклона.

Сразу следует сказать, что поперечный уклон $i_{ПМ}$ можно установить по карте [6] или измерением на местности, например геометрическим или тригонометрическим нивелированием. Коэффициент заложения косогогора m_0 является величиной обратной поперечному уклону $i_{ПМ}$, выраженному в долях единицы [2, 6].

Верховая часть имеет меньшую площадь, чем низовая, причем разница этих площадей равна площади треугольника $A_H B_H B_N$, который образован на схеме в результате геометрических построений.

Если не учитывать параметры дорожной одежды и сливной призмы, что было оговорено ранее, то поперечное сечение насыпи состоит из трех фигур: трапеции $E_H M_H E_B M_B$, треугольника $B_B E_B M_B$ (верховой откос) и треугольника $B_H E_H M_H$ (низовой откос).

Площадь поперечного сечения насыпи F_H представляет собой сумму площадей указанных фигур. Площадь трапеции $E_H M_H E_B M_B$ не зависит от поперечного уклона подошвы насыпи и составляет BH (B – высота трапеции, H – средняя линия).

Для нахождения площадей треугольников $B_B E_B M_B$ и $B_H E_H M_H$ введем систему координат (рис. 1) с началом в точке T , ось ординат X направим от точки T к точке A_B , а ось абсцисс Y – перпендикулярно оси X (вверх), используя которую установим координаты точек M_B и B_B , M_H и B_H . Надо отметить очень важную деталь: точки M_B и B_B , M_H и B_H принадлежат одной прямой $B_H B_B$, уравнение которой в принятой системе координат имеет вид

$$y = i_{ПМ} x. \quad (3)$$

Из схемы рис. 1 видно, что абсцисса точки M_B равна $x = 0,5B$, тогда из формулы (3) ее ордината составит $y = 0,5B i_{ПМ}$. Основание $E_B M_B$ треугольника равно разности ординат точек E_B и M_B , то есть $H - 0,5B i_{ПМ}$.

Верховой откос насыпи является частью прямой, проходящей через точки E_B , B_B и A_B , уравнение которой в общем виде выглядит $y = q + kx$. Угловой коэффициент этой прямой на основе определения коэффициента заложения m , и с учетом направления линии $B_B A_B$ будет равен $k = -1/m$. Свободный член q легко можно найти, зная координаты хотя бы одной точки, принадлежащей данной прямой. Бровка откоса (точка E_B) принадлежит рассматриваемой прямой и в принятой системе координат имеет координаты $x = 0,5B$, $y = H$, а следовательно

$$q = H + \frac{B}{2m}. \quad (4)$$

Уравнение прямой, проходящей через точки E_B , B_B и A_B , имеет вид

$$y = H + \frac{0,5B - x}{m}. \quad (5)$$

Так как прямые $E_B A_B$ и $B_H B_B$ пересекаются, то абсциссу точки B_B найдем, приравняв уравнения (3) и (5)

$$x = \frac{Hm + 0,5B}{1 + mi_{ПМ}}. \quad (6)$$

Высота h треугольника $B_B E_B M_B$ равна разности абсцисс точек B_B и M_B , то есть

$$h = \frac{m(H - 0,5Bi_{ПМ})}{1 + mi_{ПМ}}. \quad (7)$$

Площадь поперечного сечения верхового откоса (площадь треугольника $B_B E_B M_B$) F_{BO} на основе полученных выражений для его основания и высоты после их преобразования составит

$$F_{BO} = \frac{0,5m(H - 0,5Bi_{ПМ})^2}{1 + mi_{ПМ}}. \quad (8)$$

Отсутствие косогора характеризуется условием $i_{ПМ} = 0$ и формула (8) для случая, когда косогорность местности не учитывается примет вид

$$F_{BO} = 0,5mH^2. \quad (9)$$

Поперечное сечение низового откоса насыпи – треугольник $B_H E_H M_H$ имеет основание $E_H M_H$, равное разности ординат точек E_H и M_H , причем ордината точки M_H определяется по формуле (3) при $x = -0,5B$, то есть $y = -0,5Bi_{ПМ}$. На основе сказанного основание $E_H M_H$ составляет $H + 0,5Bi_{ПМ}$. Высота треугольника $B_H E_H M_H$ равна разности абсцисс точек M_H и B_H , причем абсцисса точки M_H равна $x = -0,5B$, а абсциссу точки B_H определим совместным решением уравнений прямых $B_H B_B$ (3) и $E_H B_H$.

По аналогии с прямой $E_B A_B$ угловой коэффициент прямой $E_H B_H$ равен $k = 1/m$, а свободный член q можно найти по координатам точки E_H : $x = -0,5B$, $y = H$. Решение уравнения относительно q позволяет получить выражение (4), то есть свободный член q одинаково определяется для уравнений прямых $E_H B_H$ и $E_B A_B$. Уравнение прямой $E_H B_H$ имеет вид

$$y = H + \frac{0,5B + x}{m}. \quad (10)$$

Приравняв уравнения (3) и (10) и выполнив преобразования, найдем абсциссу точки B_H

$$x = \frac{mH + 0,5B}{mi_{ПМ} - 1}. \quad (11)$$

Высота треугольника $B_H E_H M_H$ h равна

$$h = \frac{m(H + 0,5Bi_{ПМ})}{1 - mi_{ПМ}}. \quad (12)$$

Площадь поперечного сечения низового откоса (площадь треугольника $B_H E_H M_H$) F_{HO} на основе полученных выражений для его основания и высоты после их преобразования составит

$$F_{HO} = \frac{0,5m(0,5Bi_{ПМ} + H)^2}{1 - mi_{ПМ}}. \quad (13)$$

При $i_{ПМ} = 0$ формула (13) преобразуется в выражение (9).

Дополнительная площадь поперечного сечения насыпи f_D , обусловленная поперечным уклоном ее подошвы $i_{ПМ}$ равна разности суммы площадей поперечных сечений откосов, определяемых по формулам (8) и (13), и суммы площадей поперечных сечений откосов, определяемых по формуле (9), то есть

$$f_D = \frac{0,5m(H - 0,5Bi_{ПМ})^2}{1 + mi_{ПМ}} + \frac{0,5m(H + 0,5Bi_{ПМ})^2}{1 - mi_{ПМ}} - mH^2. \quad (14)$$

Для поперечного сечения выемки (рис. 2) точно таким же образом, как и для поперечного сечения насыпи, определяются площади

поперечных сечений верхового и низового откосов. В результате аналитических преобразований получаются зависимости (8), (13) и (14), но в случае выемки параметр B необходимо заменить на B_1 , который больше ширины земляного полотна на две ширины кювета поверху, то есть

$$B_1 = B + 2[b_K + h_K(m + m_K) + b_{3П}], \quad (15)$$

где $b_{3П}$ – ширина закюветной полки, м.

Формулу (14) можно упростить, при этом введем замену $i_{ПМ} = 1/m_0$ и получим

$$f_D = \frac{m(0,5B + mH)^2}{m_0^2 - m^2}. \quad (16)$$

По полученной формуле (16) можно рассчитать дополнительную площадь поперечного сечения земляного полотна в условиях косогора или поправку на косогорность местности f_D в зависимости от параметров земляного полотна m , B , рабочей отметки H и крутизны косогора m_0 . В формуле (16) выражение, стоящее в скобках $(0,5B + mH)$ – полуширина подошвы земляного полотна при $i_{ПМ} = 0$, то есть при его горизонтальном расположении. Если обозначить ширину горизонтальной подошвы земляного полотна $B_{П}$, то формула (16) примет вид

$$f_D = \frac{0,25mB_{П}^2}{m_0^2 - m^2}. \quad (17)$$

В таблице 1 представлены значения поправки на косогорность f_D , определенные в зависимости от ширины горизонтальной подошвы земляного полотна $B_{П}$, крутизны откоса земляного полотна m и крутизны косогора m_0 .

Из таблицы 1 видно, что поправка на косогорность местности изменяется в широком интервале: от 0,14 до 42,19 м² и существенно влияет на величину объема земляных работ. Если $f_D = 0,14$ м², то дополнительный объем земляных работ на пикет, обусловленный крутизной косогора

составит 14 м³, что существенно.

Площадь поперечного сечения земляного полотна F на косогоре следует определять по формуле

$$F = BH + mH^2 \pm f_{сп} \mathbf{m}f_{до} + f_d, \quad (18)$$

где $f_{сп}$ – площадь поперечного сечения сливной призмы, м²;

$f_{до}$ – поправка на устройство дорожной одежды, м².

В формуле (18) верхний знак используется для насыпей, а нижний – для выемок.

Таблица 1 -Значения поправки на кособорность местности

| Коэффициент заложения косогора | Поправка на кособорность местности f_d , м ² , при ширине горизонтальной подошвы земляного полотна | | | |
|---|---|-------|--------|-------|
| | 15 м | 20 м | 25 м | 30 м |
| Коэффициент заложения откоса насыпи 1,5 | | | | |
| 5 | 3,71 | 6,59 | 10,302 | 14,84 |
| 10 | 0,86 | 1,53 | 2,40 | 3,45 |
| 15 | 0,38 | 0,67 | 1,05 | 1,52 |
| 20 | 0,21 | 0,38 | 0,59 | 0,85 |
| 25 | 0,14 | 0,24 | 0,38 | 0,54 |
| Коэффициент заложения откоса насыпи 3 | | | | |
| 5 | 10,55 | 18,75 | 29,30 | 42,19 |
| 10 | 1,85 | 3,30 | 5,15 | 7,42 |
| 15 | 0,78 | 1,39 | 2,17 | 3,12 |
| 20 | 0,43 | 0,77 | 1,20 | 1,73 |
| 25 | 0,27 | 0,49 | 0,76 | 1,10 |

Можно утверждать, что крутизна косогора существенно влияет на объем дорожных земляных работ. Учитывать влияние кособорности местности на объем земляных работ следует, используя поправку, которая рассчитывается в зависимости от параметров земляного полотна, при одинаковых откосах земляного полотна по формулам (16) или (17), а при разных откосах земляного полотна – по формуле (14). Метод расчета, основанный на использовании указанной поправки, реализуется ЭВМ-программой [9].

Библиографический список

1. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги / Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 54 с.
2. Леонович И.И., Вырко Н.П., Лыщик П.А. Формулы и зависимости для решения дорожных и транспортных задач. Минск: Высш. шк., 1974. 480 с.
3. Экологические проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях леса / В.К. Курьянов, Н.И. Чубов, Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин // Экология и безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. тр. / ВГТА. Воронеж, 1997. С. 29–33.
4. Курьянов В.К. Транспортные качества лесовозных дорог. Воронеж: ВЛТИ, 1988. 124 с. Деп. в ВИНТИ 26.05.88 № 9-B88.
5. Афоничев Д.Н. Дифференциальная оценка распределения грунтовых масс по длине строящейся дороги // Изв. ВУЗов «Северо-Кавказский регион. Технические науки», 2005. Приложение № 1. С. 100–104.
6. Афоничев Д.Н. Совершенствование расчета объемов земляных работ в системе автоматизированного проектирования автомобильных дорог. Воронеж: ВГЛТА, 2008. 117 с. Деп. в ВИНТИ 26.02.2008, № 164-B2008.
7. Афоничев Д.Н. Совершенствование расчета объемов дорожных земляных работ // Научный вестник Воронежской государственной лесотехнической академии. Воронеж, 2009. Вып. 1(6). С. 56–65.
8. Морковин В.А. Особенности расчета объема земляных работ на участках кривых малого радиуса лесных автомобильных дорог // Лесо-технический журнал / ВГЛТА. 2011. № 2. С. 22–24.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611330. Программа дифференцированного расчета профильного объема земляных работ с учетом крутизны косогора, толщины дорожной одежды и укрепления обочин / Д.Н. Афоничев, С.Ю. Кузнецов, В.А. Морковин, А.А. Занин. Заявл. 23.12.2010, зарегистрировано 10.02.2011.