

УДК 625.7:630\*377.7(075.8)

UDC 625.7:630\*377.7(075.8)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА  
ПРОФИЛЬНОГО ОБЪЕМА ЗЕМЛЯНЫХ  
РАБОТ В СИСТЕМЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ****IMPROVEMENT OF THE CALCULATION OF  
THE PROFILE VOLUME OF EARTHWORKS IN  
COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM**

Афоничев Дмитрий Николаевич  
д.т.н., профессор

Afonichev Dmitry Nikolaevich  
Dr.Sci.Tech., professor

*Воронежская государственная лесотехническая  
академия, Воронеж, Россия*

*Voronezh State Academy of Forestry and Technologies,  
Voronezh, Russia*

Представлены зависимости для расчета профильного объема земляных работ в системе автоматизированного проектирования (САПР), учитывающие изменение параметров поперечного профиля земляного полотна автомобильной дороги, крутизну косягора. Указанные зависимости использованы в ЭВМ-программе расчета профильного объема земляных работ, которая позволяет рассчитать как профильный объем земляных работ по проектируемому участку автомобильной дороги, так и объемы работ по насыпям и выемкам на конкретных пикетах, что позволяет дифференцированно оценить распределение грунтовых масс для разработки технологических процессов строительства земляного полотна, а также является исходной информацией для проектирования резервов и отвалов грунта в САПР

Dependences for calculating the volume of earthworks profiled in computer-aided design system (CAD) are presented, taking into account the change in the parameters of the transverse profile of the subgrade of the road, the slope of the hillside. These function are used in computer-program of calculating the volume of earthworks profile, which allows us to calculate both the volume of earthworks profiled on the projected area of the road, and the amount of work on the mounds and excavations on the specific pickets, which allows to differentially estimate the distribution of ground masses for the development of technological processes of construction of subgrade, and it is also a source of information for the design of reserves and stockpiles of soil in CAD

Ключевые слова: ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ,  
ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО, НАСЫПЬ, ВЫЕМКА,  
ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ, СИСТЕМА  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОПРАВКА

Keywords: EARTHWORKS, SUBGRADE, MOUND,  
EXCAVATION, CROSS-SECTION AREA,  
COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEM,  
ADJUSTMENT

При строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных и железных дорог производятся большие объемы так называемых «земляных работ», связанных с разработкой, перемещением и укладкой грунтов. Земляные работы являются высокоэнергоемким процессом дорожного строительства [1, 2]. Известные методы расчета объемов земляных работ не учитывают особенности изменения параметров дороги, особенно на кривых в плане и профиле, естественных условий местности (рельеф, почвенно-грунтовые условия) [1, 3]. Существенным недостатком известных методов оценки объемов земляных работ является то, что они не

учитывают влияние сложных геометрических форм конструкции земляного полотна.

Расчет объемов земляных работ является трудоемким, а поэтому его положения должны предусматривать реализацию в системе автоматизированного проектирования (САПР), что требует разработки соответствующего математического обеспечения.

Профильный объем земляных работ представляет собой сумму объемов дорожных насыпей и выемок [1, 3]. При его определении рассчитывают объемы насыпей и выемок по отдельным выделенным участкам дороги, протяженностью до 100 м, причем в пределах участка может быть только насыпь или выемка. Геометрические тела выделенных участков насыпей и выемок называют призматоидами. Последовательность расчета следующая:

- формируются исходные данные: рабочие отметки в сечениях земляного полотна на границах выделенных участков, длины участков или координаты их концов, ширина земляного полотна, крутизна косогора, крутизна откосов земляного полотна, глубина и ширина дна кюветов, ширина и возвышение закюветных полок, крутизна откоса кювета, толщина снятия почвенно-растительного слоя и заложение откоса почвенно-растительного слоя, параметры поверхности земляного полотна (поперечные уклоны, ширина проезжей части и обочин, толщина слоев укрепления обочин), толщина и крутизна откосов дорожной одежды;

- рассчитываются поправки к площадям поперечного сечения земляного полотна на концах выделенного участка;

- вычисляется площади поперечных сечений земляного полотна на концах выделенного участка;

- определяется объем призматоида на выделенном участке;

- после расчета по всем выделенным участкам полученные значения объемов призматоидов суммируются.

Далее подробно представлено математическое обеспечение для расчета профильного объема земляных работ в САПР с учетом влияния сложных геометрических форм земляного полотна автомобильной дороги.

Объем призматоида  $V$  ( $\text{м}^3$ ) длиной  $L$  ( $\text{м}$ ) определяется по формуле [1, 3]

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

где  $F(x)$  – площадь поперечного сечения земляного полотна как функция координаты  $x$  ( $x \in [0; L]$ ),  $\text{м}^2$ .

Если площадь поперечного сечения земляного полотна  $F(x)$  определяется двумя переменными параметрами (рабочая отметка  $H(x)$  и ширина земляного полотна  $B(x)$ ), являющимися линейными функциями координаты  $x$ , то в результате интегрирования можно получить формулу

$$V = \left\{ 0,5(F_1 + F_2) - \frac{1}{6} \left[ (B_2 - B_1)(H_2 - H_1) + m(H_2 - H_1)^2 \right] \right\} L, \quad (2)$$

где  $F_1$ ,  $F_2$  – соответственно площади поперечных сечений насыпи или выемки (сечений 1 и 2), расположенных на расстоянии  $L$  друг от друга, с рабочими отметками  $H_1$ ,  $H_2$  и шириной земляного полотна  $B_1$  и  $B_2$ ,  $\text{м}^2$ ;

$m$  – коэффициент заложения откоса насыпи или выемки;

$L$  – длина участка земляного полотна, ограниченного сечениями с рабочими отметками соответственно  $H_1$  и  $H_2$ ,  $\text{м}$ .

Полученная формула (2) учитывает изменение ширины земляного полотна, которое может быть на участке отгона уширения земляного полотна перед кривой в плане. Ширина земляного полотна увеличивается также в пределах отгона виража за счет разности отметок бровок, что можно учитывать при определении объема призматоида [4].

Если площадь поперечного сечения земляного полотна  $F(x)$  определяется одним переменным параметром – рабочей отметкой  $H(x)$ , являющимся линейной функцией координаты  $x$ , то выражение (2) упрощается [1, 3]

$$V = \left\{ 0,5(F_1 + F_2) - \frac{1}{6}m(H_2 - H_1)^2 \right\} L. \quad (3)$$

Площадь поперечного сечения насыпи с рабочей отметкой  $H$  и постоянной крутизной откоса  $m$  равна

$$F = (B + \Delta_{зп} + \Delta_B)H + mH^2 + f_{сп} - f_{до} + \sum_{i=1}^4 a_i, \quad (4)$$

где  $B$  – ширина земляного полотна на прямом участке дороги, м;

$\Delta_{зп}$  – уширение земляного полотна на кривой в плане, м;

$\Delta_B$  – уширение земляного полотна за счет устройства виража, м;

$f_{сп}$  – площадь поперечного сечения сливной призмы, м<sup>2</sup>;

$f_{до}$  – площадь поперечного сечения дорожной одежды, м<sup>2</sup>;

$a_1$  – поправка на косогорность местности (учитывается при поперечном уклоне местности 1:25 и круче), м<sup>2</sup>;

$a_2$  – поправка на устройство полок в основании насыпи при поперечном уклоне 1:5...1:3, м<sup>2</sup>;

$a_3$  – поправка на снятие растительного слоя, м<sup>2</sup>;

$a_4$  – поправка на осадку насыпи на слабом основании (на болоте при устройстве без выторфовывания), м<sup>2</sup>.

Поправки  $\Delta_{зп}$  и  $\Delta_B$  вводятся для участков кривых в плане и участков отгонов виражей и уширения земляного полотна.

$$\Delta_{зп} = \Delta - O + 1, \quad (5)$$

где  $\Delta$  – уширение проезжей части на кривой в плане, м;

$O$  – ширина обочины на прямом участке, м.

Если при расчете по формуле (5) значение  $\Delta_{3П}$  получается отрицательным, то уширение земляного полотна не требуется.

Для участков виражей

$$\Delta_B = (B + \Delta_{3П}) i_B m, \quad (6)$$

где  $i_B$  – поперечный уклон виража, доли единицы.

Для участков отгонов виражей с двухскатным профилем проезжей части

$$\Delta_B \approx 0,5(B + \Delta_{3П}) i_{П} m, \quad (7)$$

где  $i_{П}$  – поперечный уклон поверхности проезжей части и краевой полосы обочины на прямом участке, доли единицы.

Для дороги со сложным двухскатным профилем проезжей части

$$f_{СП} = O_G^2 i_G + O_G i_G [B_0 + 2(O_K + O_V)] + O_V^2 i_V + O_V i_V (B_0 + 2O_K) + \left(\frac{B_0}{2} + O_K\right)^2 i_{П}, \quad (8)$$

где  $O_G, O_V, O_K$  – соответственно ширина грунтовой, укрепленной и краевой (укрепительной) полос обочины ( $O = O_G + O_V + O_K$ ), м;

$i_G, i_V$  – соответственно поперечные уклоны грунтовой и укрепленной полос обочины, доли единицы;

$B_0$  – ширина проезжей части на прямом участке, м.

Если двухскатная поверхность земляного полотна имеет постоянный по ширине поперечный уклон  $i_{П}$ , то формула (8) упрощается

$$f_{СП} = \frac{B^2 i_{П}}{4}. \quad (9)$$

В пределах виража при односкатном поперечном профиле проезжей части с уклоном  $i_B$

$$f_{СП} = \frac{(B + \Delta_{3П})^2 i_B}{2} (1 + m i_B). \quad (10)$$

В пределах отгона виража при двухскатном поперечном профиле

$$f_{СП} \approx 0,4(B + \Delta_{3П})^2 i_{П}, \quad (11)$$

В пределах отгона виража при односкатном поперечном профиле  $\Delta_B$  и  $f_{СП}$  рассчитываются по формулам (6) и (10), в которых  $i_B$  – поперечный уклон в рассматриваемом сечении отгона виража, который меньше поперечного уклона виража.

Участок отгона виража с двухскатным профилем имеет длину  $L_{ДС}$  (м) равную

$$L_{ДС} = \frac{(B_0 + \Delta)i_{П}}{\Delta i}, \quad (12)$$

где  $\Delta i$  – дополнительный уклон внешней кромки проезжей части, доли единицы.

$$f_{ДО} = H_{ДО}(B_{ДО} + m_{ДО}H_{ДО}) + (O_B + O_H)h_O, \quad (13)$$

где  $H_{ДО}$  – толщина дорожной одежды, м;

$B_{ДО}$  – ширина дорожной одежды по верху ( $B_{ДО} = B_0 + \Delta + 2O_K$ ,  $B_0$  – ширина проезжей части на прямом участке, м), м;

$m_{ДО}$  – коэффициент заложения откоса дорожной одежды;

$O_B, O_H, h_O$  – соответственно ширина внутренней и внешней обочин без краевых полос и толщина укрепления обочины (на прямых участках  $O_B = O_H$ ), м.

В случае малых насыпей, у которых  $H_{ДО} > H + h_{РС}$  ( $h_{РС}$  – толщина снимаемого растительного слоя, м) в формулу (13) вместо  $H_{ДО}$  подставляется значение  $H + h_{РС}$ .

$$a_1 = \frac{m}{m_0^2 - m^2} \left( \frac{B + \Delta_{3П} + \Delta_B}{2} + mH \right)^2, \quad (14)$$

где  $m_0$  – коэффициент заложения косогора.

$$a_2 = \frac{nb_{пол}^2}{2} \left( \frac{1}{m_0} - i_{пол} \right), \quad (15)$$

где  $n$  – количество полок в основании насыпи;

$b_{пол}$  – ширина полки, м;

$i_{пол}$  – поперечный уклон полки (доли единицы), принимаемый 0,02...0,04.

Ширина полки  $b_{пол}$  принимается 1...3 м, количество полок  $n$  рассчитывается в зависимости от горизонтального проложения ширины подошвы насыпи  $b_{под}$  равного

$$b_{под} = (B + \Delta_{зп} + \Delta_B) + m(H_{НОН} + H_{ВОН}), \quad (16)$$

где  $H_{ВОН}$ ,  $H_{НОН}$  – соответственно высота верхового и низового откосов насыпи, м.

$$H_{НОН} = \frac{m_0 H + 0,5(B + \Delta_{зп} + \Delta_B)}{m_0 - m}; \quad H_{ВОН} = \frac{m_0 H - 0,5(B + \Delta_{зп} + \Delta_B)}{m_0 + m}. \quad (17)$$

$$n = \frac{b_{под}}{b_{пол}}. \quad (18)$$

Количество полок  $n$  округляется до целого числа и принимается одинаковым на участке, где требуется устройство полок. При округленном значении  $n$  вычисляется ширина полки  $b_{пол} = \frac{b_{под}}{n}$ .

$$a_3 = (B_{под} - m_{PC} h_{PC}) h_{PC}, \quad (19)$$

где  $B_{под}$  – ширина подошвы насыпи, м;

$m_{PC}$  – коэффициент заложения откоса растительного слоя;

$h_{PC}$  – толщина снятия растительного слоя, м.

Ширина подошвы насыпи  $B_{под}$  равна

$$B_{под} = \left\{ B + \Delta_{зп} + \Delta_B + m(H_{НОН} + H_{ВОН}) \right\} \sqrt{1 + \frac{1}{m_0^2}}. \quad (20)$$

$$a_4 = 0,83s(B + \Delta_{3П} + \Delta_B + 2mH), \quad (21)$$

где  $s$  – осадка насыпи (м), равная  $(0,2...0,3)H_{CC}$  ( $H_{CC}$  – мощность слабого слоя, например, торфяной залежи, м).

Объем насыпи с переменной крутизной откоса (верхняя часть откоса высотой  $H_B$  имеет коэффициент заложения  $m_B$ , нижняя –  $m_H$ ) может быть определен по формулам (2) или (3), в которых  $m = m_H$ . В формуле (4) вместо  $(B + \Delta_{3П} + \Delta_B)H + mH^2$  будет  $(B + \Delta_{3П} + \Delta_B)H_B + m_B H_B^2 + b_B(H - H_B) + m_H(H - H_B)^2$ , где  $b_B = (B + \Delta_{3П} + \Delta_B) + 2m_B H_B$ . В формулах (14), (16), (17) и (20) необходимо произвести следующие замены:  $m = m_H$ ,  $B + \Delta_{3П} + \Delta_B = b_B$ ,  $H = H - H_B$ .

При разделении откосов насыпи бермами необходимо определить площадь поперечного сечения каждой бермы и к результату расчета по формуле (4) добавить сумму площадей поперечных сечений всех берм.

Площадь поперечного сечения выемки с рабочей отметкой  $H$  и коэффициентом заложения откоса  $m$  определяется по формуле

$$F = (B + \Delta_{3П} + \Delta_B + b_{кюв} + b_{3П})H + mH^2 - f_{СП} + f_{ДО} + f_K + \sum_{i=1}^3 a_i, \quad (22)$$

где  $b_{кюв}$  – ширина кюветов по верху, м;

$b_{3П}$  – ширина закюветных полок, м;

$f_K$  – площадь поперечного сечения кюветов, м<sup>2</sup>;

$a_1$  – поправка на косогорность местности (учитывается при поперечном уклоне местности 1:50 и круче), м<sup>2</sup>;

$a_2$  – поправка на снятие растительного слоя, м<sup>2</sup>;

$a_3$  – поправка на возвышение закюветных полок относительно бровки земляного полотна, м<sup>2</sup>.

$$b_{кюв} = b_{KH} + b_{KB} + 2d \left( \left| \sqrt{1 + m^2} \right| + \left| \sqrt{1 + m_K^2} \right| \right) + (h_{KH} + h_{KB} + 2d)(m + m_K), \quad (23)$$

где  $b_{KH}$ ,  $b_{KB}$  – соответственно ширина по дну кювета, расположенного с низовой стороны выемки и кювета, расположенного с верховой стороны, м;

$d$  – толщина слоя укрепления дна и откосов кювета и откосов выемки, м;

$m_K$  – коэффициент заложения откоса кювета;

$h_{KH}$ ,  $h_{KB}$  – соответственно глубина кювета, расположенного с низовой стороны выемки и кювета, расположенного с верховой стороны, м.

$$\begin{aligned} f_{до} &= (H_{до} + H_{PC})P + (B + \Delta_{3П} - P)h_0; \\ P &= B_{до} + 2(m_{до}H_{до} + b_{дон} + n_{PC}H_{PC}). \end{aligned} \quad (24)$$

где  $B_{до}$ ,  $H_{до}$ ,  $m_{до}$  – соответственно ширина (м), толщина (м), коэффициент заложения откоса дорожной одежды, м;

$H_{PC}$ ,  $n_{PC}$  – толщина и коэффициент заложения откоса заменяемого рабочего слоя, м;

$b_{дон}$  – уширение поверхности рабочего слоя, м;

$h_0$  – толщина слоя укрепления обочин, м.

$$\begin{aligned} f_K &= \left[ b_{KH} + d \left( \left| \sqrt{1+m^2} \right| + \left| \sqrt{1+m_K^2} \right| \right) + 0,5(h_{KH} + d)(m + m_K) \right] (h_{KH} + d) + \\ &+ \left[ b_{KB} + d \left( \left| \sqrt{1+m^2} \right| + \left| \sqrt{1+m_K^2} \right| \right) + 0,5(h_{KB} + d)(m + m_K) \right] (h_{KB} + d). \end{aligned} \quad (25)$$

Если кюветы имеют одинаковые размеры ( $b_{KH} = b_{KB} = b_K$  и  $h_{KH} = h_{KB} = h_K$ ) то формулы (23) и (25) упрощаются

$$b_{кюв} = 2 \left[ b_K + d \left( \left| \sqrt{1+m^2} \right| + \left| \sqrt{1+m_K^2} \right| \right) + (h_K + d)(m + m_K) \right]. \quad (26)$$

$$f_K = 2 \left[ b_K + d \left( \left| \sqrt{1+m^2} \right| + \left| \sqrt{1+m_K^2} \right| \right) + 0,5(h_K + d)(m + m_K) \right] (h_K + d). \quad (27)$$

$$a_1 = \frac{m}{m_0^2 - m^2} \left( \frac{B + \Delta_{3П} + \Delta_B + b_{кюв} + b_{3П} + mH}{2} \right)^2, \quad (28)$$

где  $m_0$  – коэффициент заложения косогогора.

$$a_2 = -(B_{\text{под}} - m_{PC} h_{PC}) h_{PC}, \quad (29)$$

где  $B_{\text{под}}$  – ширина подошвы выемки, м;

$m_{PC}$  – коэффициент заложения откоса выемки в пределах растительного слоя;

$h_{PC}$  – толщина снятия растительного слоя, м.

Ширина подошвы выемки  $B_{\text{под}}$  равна

$$B_{\text{под}} = \left\{ B + \Delta_{3П} + \Delta_B + b_{\text{кюв}} + b_{3П} + m(H_{\text{НОВ}} + H_{\text{ВОВ}}) \right\} \sqrt{1 + \frac{1}{m_0^2}}, \quad (30)$$

где  $H_{\text{НОВ}}, H_{\text{ВОВ}}$  – соответственно высота низового и верхового откосов выемки, м.

$$H_{\text{НОВ}} = \frac{m_0 H - 0,5(B + \Delta_{3П} + \Delta_B) - b_{\text{КВН}} - b_{3ПН}}{m_0 + m}; \quad (31)$$

$$H_{\text{ВОВ}} = \frac{m_0 H + 0,5(B + \Delta_{3П} + \Delta_B) + b_{\text{КВВ}} + b_{3ПВ}}{m_0 - m}.$$

где  $b_{\text{КВН}}, b_{\text{КВВ}}$  – соответственно ширина по верху кювета, расположенного с низовой стороны выемки и кювета, расположенного с верховой стороны, м;

$b_{3ПН}, b_{3ПВ}$  – соответственно ширина закюветной полки, расположенной с низовой стороны выемки и закюветной полки, расположенной с верховой стороны ( $b_{3П} = b_{3ПН} + b_{3ПВ}$ ), м.

$$b_{\text{кюв}} = b_{\text{КВН}} + b_{\text{КВВ}}. \quad (32)$$

$$b_{\text{КВН}} = b_{\text{КН}} + d \left( \left| \sqrt{1 + m^2} \right| + \left| \sqrt{1 + m_K^2} \right| \right) + (h_{\text{КН}} + d)(m + m_K). \quad (33)$$

$$b_{\text{КВВ}} = b_{\text{КВ}} + d \left( \left| \sqrt{1 + m^2} \right| + \left| \sqrt{1 + m_K^2} \right| \right) + (h_{\text{КВ}} + d)(m + m_K). \quad (34)$$

$$a_3 = -b_{3П} h_{3П}, \quad (35)$$

где  $h_{3П}$  – возвышение закуветных полок над бровкой земляного полотна,  
м.

Площадь поперечного сечения выемки, устраиваемой на косогоре по типу «выемка на полке» с рабочей отметкой  $H$  и коэффициентом заложения откоса  $m$  определяется по формуле

$$F = 0,5H_{BOB} \left[ m_0H + 0,5(B + \Delta_{3П} + \Delta_B) + b_{КВВ} + b_{3ПВ} \right] - f_{СП} + f_{ДО} + f_K + \sum_{i=1}^3 a_i, \quad (36)$$

где  $a_1$  – поправка на устройство бермы с низовой стороны, м<sup>2</sup>.

$$a_1 = \frac{0,5i_B}{1 - m_0i_B} \left[ m_0H - 0,5(B + \Delta_{3П} + \Delta_B) \right]^2, \quad (37)$$

где  $i_B$  – поперечный уклон бермы, принимается не менее поперечного уклона грунтовой обочины, доли единицы.

Ширина подошвы «выемки на полке» равна

$$B_{нод} = \left\{ \begin{array}{l} B + \Delta_{3П} + \Delta_B + b_{КВВ} + b_{3ПВ} + mH_{НОВ} + \\ + \frac{1}{1 - m_0i_B} \left[ m_0H - 0,5(B + \Delta_{3П} + \Delta_B) \right] \end{array} \right\} \left| \sqrt{1 + \frac{1}{m_0^2}} \right|. \quad (38)$$

При разделении откосов выемки бермами необходимо определить площадь поперечного сечения каждой бермы и к результату расчета по формулам (22) или (33) добавить сумму площадей поперечных сечений всех берм.

Представленный математический аппарат является основой ЭВМ-программы расчета профильного объема земляных работ [5], которая дополняет САПР автомобильных дорог и позволяет рассчитать как профильный объем земляных работ по проектируемому участку автомобильной дороги, так и объемы работ по насыпям и выемкам на конкретных пикетах, что позволяет дифференцированно оценить распределение грунтовых масс для разработки технологических процессов строительства земляного по-

лотна, а также является исходной информацией для проектирования резервов и отвалов грунта в САПР [6, 7].

### Список литературы

1. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог. В 2-х т. Т. 1 / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – М.: Транспорт, 1979. – 387 с.
2. Подольский В.П. Технология и организация строительства автомобильных дорог. [Текст]: учебное пособие. Т. 1: Земляное полотно / В.П. Подольский, А.В. Глагольев, П.И. Поспелов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 528 с.
3. Леонович И.И. Формулы и зависимости для решения дорожных и транспортных задач / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, П.А. Лыщик. – Минск: Высш. шк., 1974. – 480 с.
4. Морковин В.А. Особенности расчета объема земляных работ на участках кривых малого радиуса лесных автомобильных дорог / В.А. Морковин // Лесотехнический журнал / ВГЛТА. – 2011. – № 2. – С. 22–24.
5. 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.
6. Афоничев Д.Н. Обоснование параметров притрассовых резервов грунта в системе автоматизированного проектирования / Д.Н. Афоничев // Вестник МГУЛа – Лесной вестник. – 2009. – № 4. – С. 83–86.
7. Афоничев Д.Н. Расчет параметров придорожных отвалов грунта в системе автоматизированного проектирования / Д.Н. Афоничев // Ресурсосберегающие и экологические перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: матер. междунар. научной конф., посвященной 55-летию лесоинженерного факультета ВГЛТА / ВГЛТА. – Воронеж, 2009. – С. 200–204.