

УДК 625.72

Маркарова Г.Г., інж., Піндус О.Б., студент

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМІВ НАСИПІВ І ВІЙМОК НА КОСОГІРНИХ ДІЛЯНКАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Проведено аналіз існуючих методів розрахунку площі поперечного перерізу при підрахунках об'ємів насипів і виїмок на косогірних ділянках автомобільних доріг. Запропоновано більш точний метод розрахунку площі поперечного перерізу і одержані нові формули, які дозволяють підвищити точність розрахунків об'ємів.

Проблема, що розглядається

Для розробки проекту організації робіт, вибору типів дорожніх машин і оцінки вартості будівництва повинні бути визначені об'єми земляних робіт, які необхідно виконати при зведенні земляного полотна на окремих ділянках і дороги в цілому.

Методика розрахунку об'ємів насипів при відсутності поперечного похилу місцевості достатньо повно описується в відомих літературних джерелах [1, 2, 3]. Об'єм призматоїда з трапецеїдальними основами висотою H_1 і H_2 , і довжиною L рекомендується визначати за формулами:

$$V_{np} = \left[\frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{m(H_1 - H_2)^2}{6} \right] \cdot L, \quad (1)$$

$$V_{np} = \left[F_{сер} + \frac{m(H_1 - H_2)^2}{12} \right] \cdot L, \quad (2)$$

де F_1 та F_2 – площі перерізу земляного полотна на початку та в кінці ділянки, які визначаються за відомою формулою площі трапеції $F = (B + mH) \cdot H$;

$F_{сер}$ – площа перерізу в середині призматоїду, яка визначається за середньою робочою відміткою $H_{сер} = (H_1 + H_2)/2$;

L – довжина ділянки;

m – коефіцієнт закладення укосів;

B – ширина земляного полотна по верху.

Використання формул (1, 2) для розрахунку об'ємів насипу на косогірній місцевості з похилом від 1:10 до 1:3 дає помилки до 10% і більше. Тому, згідно [3], під час розрахунку об'ємів насипів на косогорах з похилом від 1:10 до 1:3 вводиться поправка, що враховує поперечний похил місцевості. Введення цієї поправки дещо знижує величину помилки, але вона розраховується за умови, що на всій довжині ділянки поперечний похил місцевості однаковий. Фактично похил місцевості на кожному поперечному перерізі різний. Земляне полотно може також влаштовуватись у виїмках, напіввиїмках, напівнасіпах чи напівнасіпах - напіввиїмках. Користуватись відміченою поправкою в таких випадках взагалі неможливо. Під час проектування напівнасіпів - напіввиїмок необхідно розраховувати об'єми насипної та зрізної частини.

Об'єми земляних робіт в таких випадках слід розраховувати за формулами:

$$V_n = \frac{F_{n1} + F_{n2}}{2} \cdot L, \quad (3)$$

$$V_6 = \frac{F_{e1} + F_{e2}}{2} \cdot L, \quad (4)$$

де F_H – площа насипної частини перерізу;

F_6 – площа виїмки чи зрізної частини перерізу.

Таким чином розрахунок об'ємів на косогірній місцевості зводиться до визначення площ F_H та F_6 .

Мета роботи

Метою роботи є розробка формул для розрахунку площ насипної та зрізної частини перерізу на косогірних ділянках автомобільних доріг, які б диференційовано враховували крутизну схилів.

Основний розділ

Площу поперечного перерізу насипу на косогірній місцевості (рис.1) рекомендується визначати як таку, що складається із площ кількох геометричних фігур.

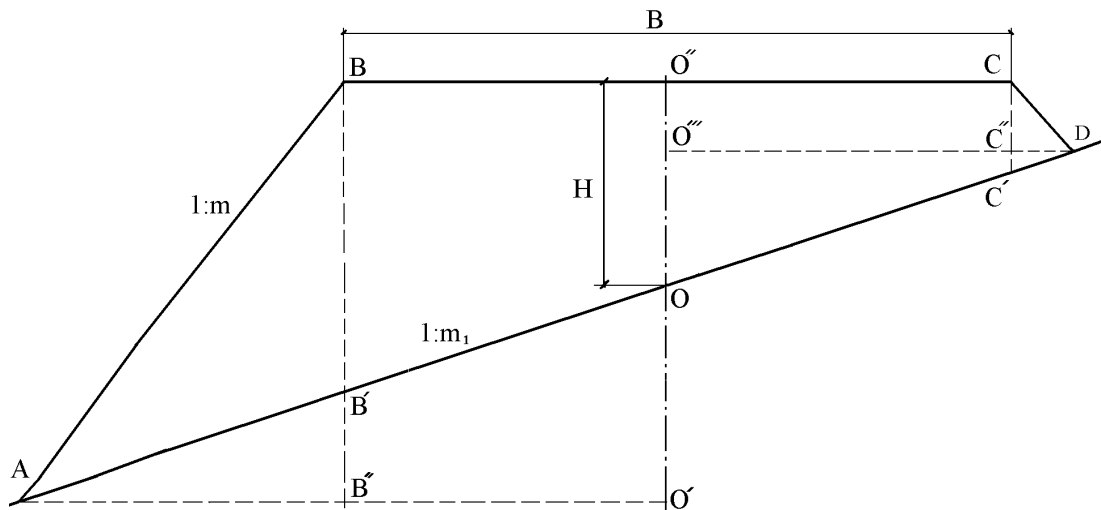


Рис. 1. Схема до визначення площі перерізу насипу на косогорі

Згідно рисунку площа перерізу буде визначатись за формулою:

$$F = F_{B'O'CC'} + F_{C'O''C'D} + F_{A'B''B'O'} \quad (5)$$

Площі геометричних фігур визначаються за формулами:

$$F_{B'O'CC'} = B \cdot H; \quad (6)$$

$$F_{C'O''C'D} = \frac{1}{2} C'C'' \cdot C''D; \quad (7)$$

$$F_{A'B''B'O'} = \frac{1}{2} A'B'' \cdot B'B'; \quad (8)$$

Сторони геометричних фігур визначаємо із наступних міркувань. Із трикутника AOO' знаходимо:

$$AO' = OO' \cdot m_1, \quad (9)$$

де m_1 – крутизна закладання склону.

Із чотирикутника $ABO''O'$ знаходимо:

$$AO' = B/2 + H \cdot m + OO''m, \quad (10)$$

Із виразів (9) і (10) знаходимо:

$$\begin{aligned} OO''m_1 &= B/2 + H \cdot m + OO''m, \\ OO'' &= \frac{B/2 + H \cdot m}{m_1 - m} = \frac{B + 2Hm}{2(m_1 - m)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Підставивши (11) в (9), одержимо:

$$AO' = \frac{(B + 2Hm)m_1}{2(m_1 - m)}. \quad (12)$$

Знаючи AO' , із рисунка 1 знаходимо:

$$AB'' = AO' - O'B'' = \frac{(B/2 + Hm)m_1}{m_1 - m} - B/2.$$

Після відповідних перетворень одержимо:

$$AB'' = \frac{m(2Hm_1 + B)}{2(m_1 - m)}. \quad (13)$$

Одночасно

$$BB' = H + \frac{B}{2m_1} = \frac{2Hm_1 + B}{2m_1}. \quad (14)$$

Площа трикутника ABB' складе

$$F_{ABB'} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m(2Hm_1 + B)}{2(m_1 - m)} \cdot \left(\frac{B + 2Hm_1}{2m_1} \right) = \frac{m(2Hm_1 + B)^2}{8(m_1 - m)m_1}. \quad (15)$$

Основа трикутника $CC'D$ визначається за формулою:

$$CC' = H - \frac{B}{2m_1} = \frac{2Hm_1 - B}{2m_1}. \quad (16)$$

Висота трикутника $CC'D$ із рисунка 1

$$C'D = O''D - B/2. \quad (17)$$

Із трикутника $OO'''D$ знаходимо:

$$O''D = OO'''m_1. \quad (18)$$

Із чотирикутника $O''O'''CD$ знаходимо:

$$O''D = B/2 + (H - OO''') \cdot m. \quad (19)$$

Із виразів (18) і (19) знаходимо:

$$\begin{aligned} 2 OO'''m_1 &= B + 2(H - OO''') \cdot m, \\ OO''' &= \frac{B + 2Hm}{2(m_1 + m)}. \end{aligned} \quad (20)$$

Підставивши (20) в (18), одержимо:

$$O''D = \frac{(B + 2Hm)m_1}{2(m_1 + m)}. \quad (21)$$

Підставивши (21) в (17), одержимо:

$$C''D = \frac{(2Hm_1 - B)m}{2(m_1 + m)}. \quad (22)$$

Площа трикутника C''CD

$$F_{C''CD} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2Hm_1 - B}{2m_1} \cdot \frac{(2Hm_1 - B)m}{2(m_1 + m)} = \frac{(2Hm_1 - B)^2 m}{8(m_1 + m)m_1}. \quad (23)$$

Підставивши (6, 15, 23) в (5), після відповідних перетворень, одержимо кінцеву формулу для визначення площі поперечного перерізу насипів, розташованих на косогорі з похилом 1: m_1

$$F = B \cdot H + \frac{(2Hm_1 + B)^2 m}{8(m_1 - m)m_1} + \frac{(2Hm_1 - B)^2 m}{8(m_1 - m)m_1}. \quad (24)$$

При висоті насипу $H = B/2m_1$ насип перетворюється в напівнасип (рис. 2) і площа поперечного перерізу насипної частини буде складатись з двох геометричних фігур: трикутника ABB' і трикутника $B'BC$.

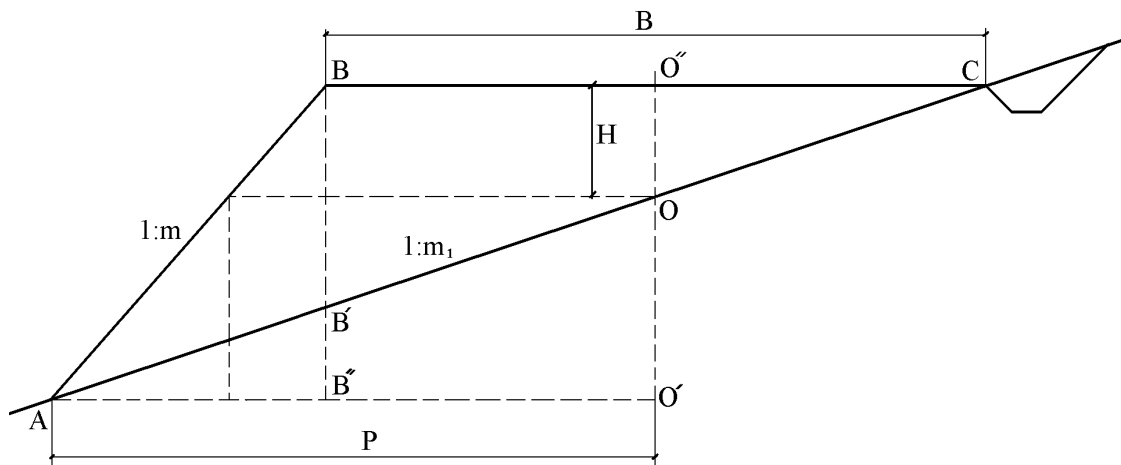


Рис. 2. Земляне полотно на косогорі – напівнасип

Згідно рис. 2 площа перерізу насипу буде визначатись за формулою,

$$F_n = F_{B'BC} + F_{ABB'}. \quad (25)$$

де

$$F_{B'BC} = \frac{1}{2} BC \cdot BB'; \quad (26)$$

$$F_{ABB'} = \frac{1}{2} BB' \cdot AB''. \quad (27)$$

Скориставшись формулами (13, 14), одержимо:

$$F_{B'BC} = \frac{1}{2} B \cdot 2H = B \cdot H ; \quad (28)$$

$$F_{ABB'} = \frac{1}{2} \cdot 2H \left[\frac{(B + 2Hm)m_1}{2(m_1 - m)} - \frac{B}{2} \right] = \frac{(B + 2Hm_1) \cdot mH}{2(m_1 - m)}. \quad (29)$$

Площа поперечного перерізу насипу складе:

$$F_n = \frac{(B + 2Hm_1) \cdot mH}{2(m_1 - m)} + BH. \quad (30)$$

Враховуючи, що для даного випадку $2Hm_1 = B$, залежність (30) після відповідних перетворень набуде вигляду

$$F_n = \frac{BHm_1}{(m_1 - m)} \quad \text{або} \quad F_n = \frac{B^2}{2(m_1 - m)}. \quad (31)$$

При висоті насипу $H < B/2m_1$ і глибині виїмки $H < B/2m_1$ земляне полотно проектується у вигляді напівнасипу-напіввиїмки (рис. 3).

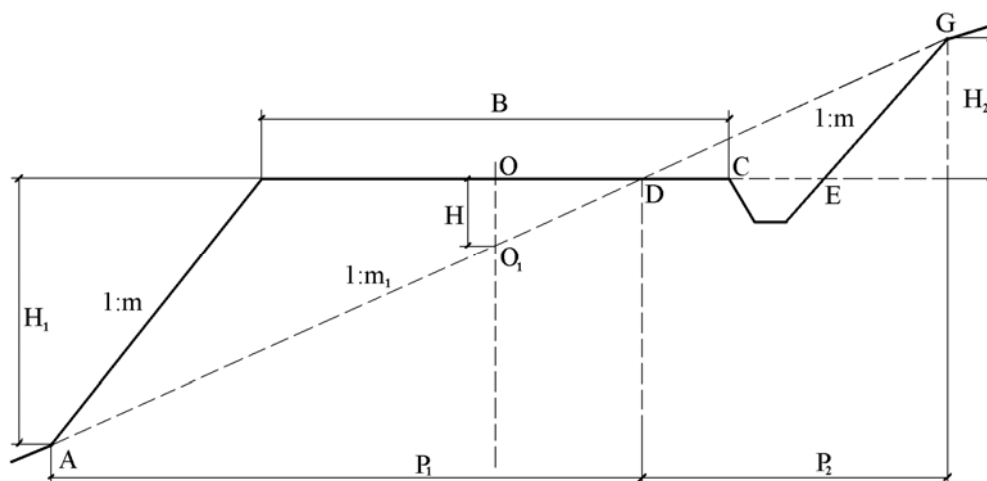


Рис. 3. Земляне полотно на косогорі - напівнасип-напіввиїмка

В цьому випадку земляне полотно складається з насипної частини ($\triangle ABD$) і зрізки ($\triangle DEG$ з боковою канавою), площа яких визначається окремо. Основою для розрахунків являється точка D , положення якої залежить від робочої відмітки. Якщо робоча відмітка H відповідає насипу, точка D знаходиться ліворуч точки O , якщо робоча відмітка H відповідає виїмці, точка D знаходиться праворуч точки O . Відстань OD визначається за формулою:

$$OD = H \cdot m_1. \quad (32)$$

Висоти трикутників ABD і DEG визначаються із наступних міркувань:

$$p_1 = H_1 \cdot m_1; \quad (33)$$

$$p_1 = B/2 \mp H \cdot m_1 + H_1 \cdot m; \quad (34)$$

Вирішуючи рівняння (33) і (34) відносно H_1 , одержимо

$$H_1 = \frac{B \mp 2Hm_1}{2(m_1 - m)}. \quad (35)$$

В формулах (34) і (35) верхні знаки приймаються, якщо точка O' розташована вище точки O (робоча відмітка відповідає насипу), нижні – навпаки (робоча відмітка відповідає виїмці).

Аналогічно знаходимо

$$p_2 = H_2 \cdot m_1; \quad (36)$$

$$p_2 = B/2 \pm H \cdot m_1 + b'_o + H_2 \cdot m, \quad (37)$$

де b'_o - ширина канави по верху (рис. 4).

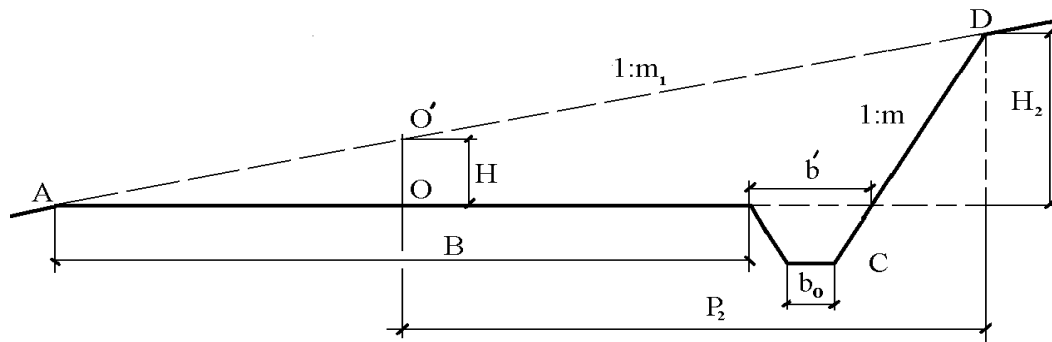


Рис. 4 - Земляне полотно на косогорі – напіввиїмка
Із рівнянь (36), (37) знаходимо:

$$H_2 = \frac{B \pm 2Hm_1 + 2b'_o}{2(m_1 - m)}. \quad (38)$$

Площа насипної частини складе

$$F_n = \frac{1}{2} \cdot BD \cdot H_1 + \frac{1}{2} (B/2 \mp H \cdot m_1) \cdot \frac{B \mp 2Hm_1}{2(m_1 - m)},$$

що після відповідних перетворень дасть

$$F_n = \frac{1}{8} \cdot \frac{(B \mp 2Hm_1)^2}{(m_1 - m)}. \quad (39)$$

Площа зрізної частини відповідно складе

$$F_g = \frac{1}{8} \cdot \frac{(B \pm 2Hm_1 + 2b'_o)^2}{(m_1 - m)} + F_k, \quad (40)$$

де F_k – площа поперечного перерізу канави, яка визначається в усіх випадках за формулою

$$F_k = (b_o + h_k m) \cdot h_k, \quad (41)$$

де b_o – ширина канави по низу;

h_k – глибина канави.

При глибині виїмки $H = B/2m_1$ земляне полотно проектується у вигляді напіввиїмки (див. рис. 4).

Із рис. 4 знаходимо

$$p + \frac{B}{2} = H_2 \cdot m_1; \quad (42)$$

$$p - \left(\frac{B}{2} + b'_o \right) = H_2 \cdot m . \quad (43)$$

Віднявши (43) з (42) одержимо

$$\frac{B}{2} + \frac{B}{2} + b'_o = H_2 \cdot (m_1 - m) ,$$

звідки

$$H_2 = \frac{B + b'_o}{m_1 - m} . \quad (44)$$

Площа поперечного перерізу напіввиїмки відповідно складе

$$F_g = \frac{1}{2} \cdot (B + b'_o) \cdot \frac{B + b'_o}{m_1 - m} + F_k = \frac{(B + b'_o)^2}{2(m_1 - m)} + F_k , \quad (45)$$

де F_k визначається за формулою (41).

При $H > B/2m_1$ земляне полотно проектується у виїмці (рис. 5).

Поперечний переріз земляного полотна в виїмці, як видно із рис. 5, складається із п'яти геометричних фігур: трапеції $BDEF$, трикутників BCD і EGF та бокових каналів у вигляді трапеції. Площа поперечного перерізу земляного полотна буде рівна сумі площ цих фігур.

Для знаходження площ трикутників BCD і EGF необхідно знайти закладання p_1 і p_2 (рис. 5), через які знаходяться висоти названих трикутників.

Розглядаючи ліву сторону виїмки, можна записати

$$p_1 = H_1 \cdot m_1 ; \quad (46)$$

$$p_1 = (H - H_1) \cdot m + B'/2 , \quad (47)$$

де

$$B' = B + 2b'_o . \quad (48)$$

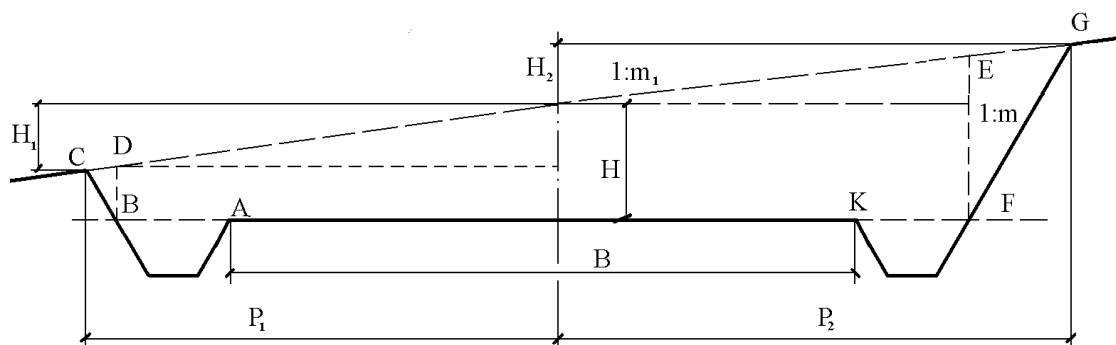


Рис. 5. Земляне полотно на косогорі – виїмка

Прирівнявши праві частини рівнянь (46) і (47), одержимо:

$$H_1 \cdot m_1 = (H - H_1) \cdot m + B'/2 . \quad (49)$$

Вирішивши рівняння (49) відносно H_1 , одержимо:

$$H_1 = \frac{2Hm + B'}{2(m_1 + m)} . \quad (50)$$

Підставивши (50) в (46), одержимо:

$$p_1 = \frac{2Hm + B'}{2(m_1 + m)} \cdot m_1. \quad (51)$$

Площа трикутника BCD складе:

$$F_{BCD} = \frac{1}{2} \left(H - \frac{B'}{2m_1} \right) \left(p_1 - \frac{B'}{2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{2Hm_1 - B'}{2m_1} \right) \left(\frac{2Hm + B'}{2(m_1 + m)} m_1 - \frac{B'}{2} \right) = \frac{(2Hm_1 - B')^2 m}{8(m_1 + m)m_1}. \quad (52)$$

Розглядаючи праву сторону виїмки, можна записати

$$p_2 = H_2 m_1 \quad (53)$$

$$i \quad p_2 = B'/2 + (H + H_2)m. \quad (54)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (53) і (54), і вирішивши одержане рівняння відносно H_2 , одержимо:

$$H_2 = \frac{B' + 2Hm}{2(m_1 - m)}. \quad (55)$$

Підставивши (55) в (53), одержимо:

$$p_2 = \frac{(B' + 2Hm) \cdot m_1}{2(m_1 - m)}. \quad (56)$$

Площа трикутника EGF складе:

$$F_{EGF} = \frac{1}{2} \left(H + \frac{B'}{2m_1} \right) \left(p_2 - \frac{B'}{2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{2Hm_1 + B'}{2m_1} \right) \left[\frac{2Hm_1 m_1 + B'm_1}{2(m_1 - m)} - \frac{B'}{2} \right] = \frac{(2Hm_1 - B')^2 m}{8(m_1 - m)m_1}. \quad (57)$$

Площа трапеції $BDEF$ визначиться як:

$$F_{BDEF} = HB'. \quad (58)$$

Таким чином площа поперечного перерізу виїмки на косогорі складе:

$$F_g = HB' + \frac{(2Hm_1 - B')^2 m}{8(m_1 + m)m_1} + \frac{(2Hm_1 + B')^2 m}{8(m_1 - m)m_1} + 2(b_o + h_k m)h_k. \quad (59)$$

Висновок

Одержані формули (24, 31, 39, 40, 45, 59) дають можливість диференційовано визначити площі поперечних перерізів різних типів земляного полотна і розраховувати об'єми насипної частини (насипу) чи зрізної частини (виїмки) при відомих похилах місцевості і рекоменчуються для широкого використання.

Список літератури

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. - Ч.1: Уч. для вузов. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1987. - 368 с.
2. Білятинський О.А., Заворицький В.Й., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг. - Ч.1. - К.: Вища школа, 1997. - 518 с.
3. Митин Н.А. Таблицы для подсчета объемов земляного полотна автомобильных дорог. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1977. - 544 с.

Стаття надійшла до редакції 27.02.07
© Маркарова Г.Г., Піндус О.Б., 2007