

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ТА СПОРУДИ

УДК 622.839:577.4

Пеньков В.А., к.т.н., Павлова М.Г., инж.

АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГИ, ДЕФОРМИРОВАННОЙ УСТУПАМИ

В работе рассмотрен вопрос построения и использования моделей взаимодействия автомобильной дороги и проявлений локальной кривизны на подрабатываемых территориях при крутом падении угольных пластов. Представлены зависимости для различного представления поверхностей уступов и дороги.

Введение

Подземная разработка угольных и других месторождений полезных ископаемых приводит к значительным сдвигам земной поверхности и деформациям зданий и сооружений. Кроме того, при разработке месторождений с крутым падением пластов происходит образование участков локальной кривизны поверхности – уступов. Их воздействие на объекты приводит к еще более существенным повреждениям сооружений, вплоть до полного разрушения. Специальные исследования влияния подземных горных работ (ПГР) и уступов на автомобильные дороги до последнего времени не проводились, поэтому существующие нормы проектирования не учитывают влияние этого фактора.

Целью данного исследования является разработка модели взаимодействия уступа и дороги для оценки влияния уступов на геометрические параметры и транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.

Общие подходы к изучению проявлений локальной кривизны и их влияния на автомобильные дороги

Вопрос образования уступов на земной поверхности при разработке крутопадающих пластов рассматривается с 1939 г. Влиянию уступов на здания и сооружения посвящен ряд исследований в 1980-2004 гг. [1–6]. Исследование влияния уступов на дороги выполнялось только в АДИ Дон НТУ [2–5]. Представленные в [4, 6] зависимости для определения элементов плана и продольного профиля участков дорог в зоне геометрического воздействия локальной кривизны дают возможность оценить это влияние только по отдельным направлениям. В данной статье предлагается дать комплексное описание поверхности участка дороги, попавшего на уступ. До сих пор подобное моделирование на дорогах не проводилось.

На рис. 1 представлены параметры плана и профиля уступов, принятые в моделях в соответствии с предлагаемой классификацией [5].

В предлагаемой модели процесс воздействия уступа на дорогу рассматривается как взаимодействие топографических поверхностей, представленных матрицами одного размера или регулярными цифровыми моделями с квадратной сеткой. Матрица результирующей деформированной поверхности дороги D_r получается путем поэлементного вычитания матрицы топографической поверхности уступа U из матрицы топографической поверхности дороги D

$$D_r = D - U. \quad (1)$$

Моделирование поверхностей уступов

Уступ рассматривается как поверхность выпукло-вогнутой кривизны [4]. Основные параметры уступа принимались по направлению его развития (вкрест простираения).

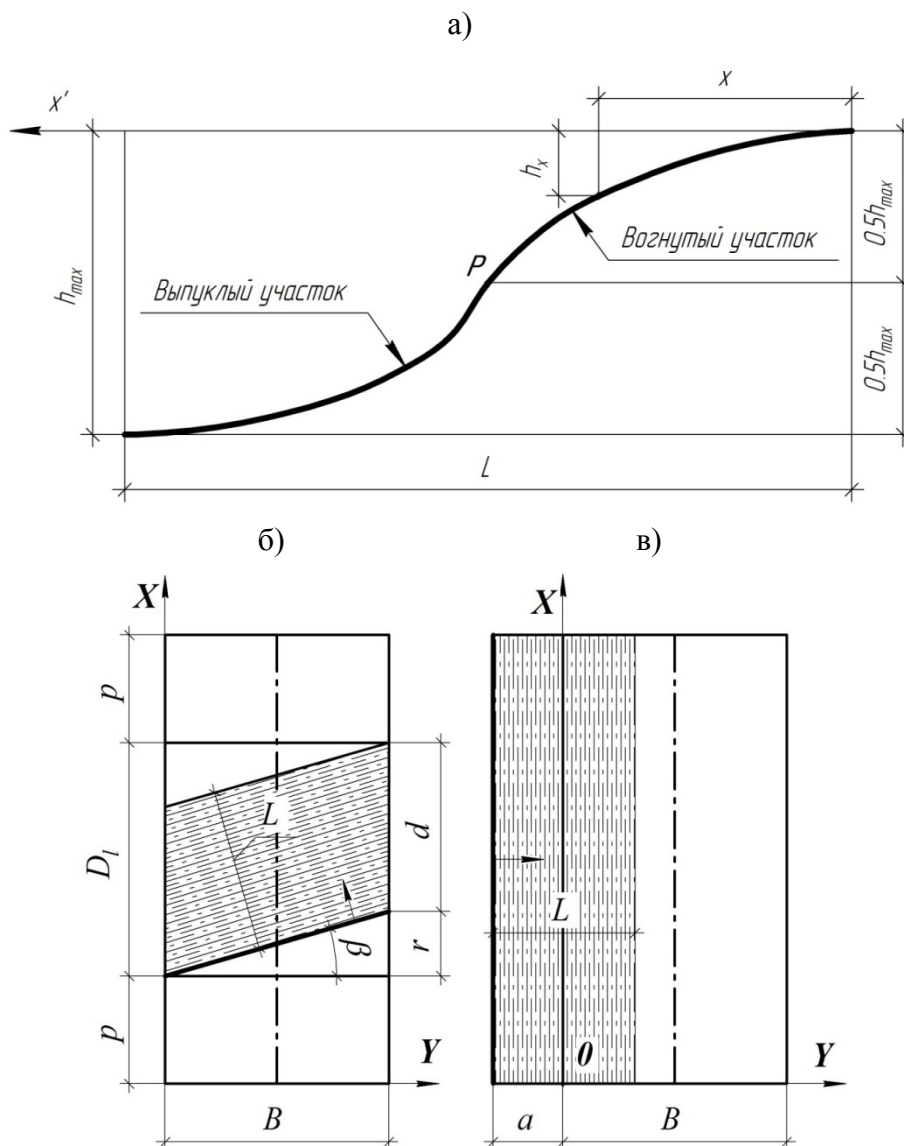


Рис.1. Параметры уступов: а – профиль; б – план косого; в – план продольного

Основные элементы уступа (рис. 1): h_{\max} – максимальная высота уступа; h_x – высота уступа в текущей точке на расстоянии x от его начала; L – длина уступа по развитию; D_l – протяженность уступа по простираению в пределах рассматриваемого участка.

Для определения высоты точек уступа h могут использоваться различные зависимости. Наиболее простое, но достаточно детальное и универсальное описание уступа дает использование типовой кривой [2, 3]. Для определения наклона в произвольной точке уступа по направлению его развития используется (3). Максимальный наклон на уступе в направлении его развития I_{\max} имеет место при $x_0 = 0,5 L$ и определяется по (4):

$$h_x = \frac{h_{\max} x^2 (2L^2 - x^2)}{L^4}, \quad (2)$$

$$I_x = -h_{\max} \frac{\left(-1 + \cos\left(2\pi \frac{x}{L}\right)\right)}{L}, \quad (3)$$

$$I_{\max} = \frac{2h_{\max}}{L}. \quad (4)$$

Для более полного учета воздействия вместе с уступом описываются прилегающие участки p , длиной 2-5 м до начала и после конца зоны геометрического взаимодействия. Ширина участка взаимодействия принимается равной ширине дороги (покрытия) B . Учитывая особенности взаимодействия уступа и дороги при углах β , близких к 90° и 0° , рассматриваются уступы трех видов: косой, поперечный и продольный, хотя формально поперечный и продольный являются частными случаями.

1. Модель поверхности поперечного уступа

В этом случае угол пересечения уступа с дорогой $\beta = 0^\circ$.

Координаты x главных точек моделируемого участка: начало участка $x = 0$, начала уступа $x_n = p$, конца участка $x_k = 2p + L$. Для каждого значения y ширины дороги высоты точек поверхности уступа определяются по [4]:

$$h_{x,y} = h_{\max} \left[1 - \left(\frac{x}{L}\right) + \frac{1}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{x}{L}\right) \right]. \quad (5)$$

Высоты точек в пределах участка взаимодействия находим из зависимости:

$$U1_{x,y} = \begin{cases} 0 & x \leq p \\ h_{x,y} & \text{при } p \leq x \leq 2p + L \\ h_{\max} & x \geq 2p + L \end{cases}. \quad (6)$$

2. Модель поверхности косого уступа

Угол пересечения уступа с дорогой ($0^\circ < \beta < 90^\circ$).

Принимаем: $k_1 = x - (p + r)$; $r = y \tan \beta$, $d = L / \cos \beta$; $D_l = (L + B \sin \beta) / \cos \beta$.

Координаты x главных точек моделируемого участка: начала участка $x_0 = 0$, начала уступа $x_n = p$, конца участка: $x_k = 2p + D_l$.

Высоты точек поверхности уступа определяются по

$$hk_{x,y} = h_{\max} \left[1 - \frac{k_1 \cos \beta}{L} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{k_1 \cos \beta}{L}\right) \right]. \quad (7)$$

Для описания поверхности косого уступа на участке взаимодействия используются зависимости:

$$U2_{x,y} = \begin{cases} 0 & (p+r) < x < (d+r) \\ hk_{x,y} & \text{при } x \leq (p+r) \\ h_{\max} & x \geq (d+h+r) \end{cases}. \quad (8)$$

3. Модель поверхности продольного уступа

В этом случае для описания поверхности уступа так же используется типовая кривая. При этом учитывается, что направление развития уступа перпендикулярно направле-

нию дороги $\beta = 90^\circ$. Координаты x главных точек моделируемого участка: начало участка $x_0 = 0$, $y_0 = 0$. Координата начала уступа $y = a$; координата конца уступа $y = c = a + L$, $b = 0.5B$.

Для каждого x по длине участка дороги зависимость для описания поверхности продольного правопадающего уступа имеет вид:

$$hp_{x,y} = h_{\max} \left[1 - \left(\frac{y}{L} \right) + \frac{1}{2\pi} \sin\left(2\pi \frac{y}{L} \right) \right]. \quad (9)$$

На основе (9) получаем зависимости для описания поверхности продольного уступа на участке взаимодействия уступа и дороги:

$$U3_{x,y} = \begin{cases} 0 & y < a \\ hp_{x,y-a} & \text{при } a \leq y \leq c \\ h_{\max} & c < y \leq B. \end{cases} \quad (10)$$

В случае левопадающего уступа вместо величины $hp_{x,y}$ используется величина $hp1_{x,y}$, определяемая по (11):

$$hp1_{x,y} = h_{\max} - hp_{x,y}. \quad (11)$$

4. Модель поверхности дороги

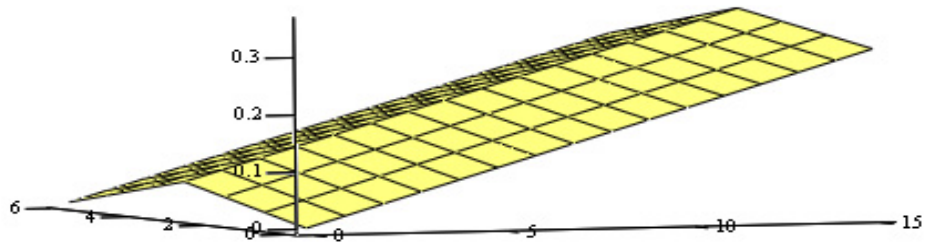
В качестве модели поверхности дороги рассматривается прямолинейный двухскатный участок с продольным уклоном i_p . Высота точки, принимаемой за начальную, равна H_0 . Длина L_d участка дороги, участвующего в моделировании, зависит от протяженности зоны геометрического взаимодействия и длиннее ее по оси x на 2-5 м. Ширина участка равна ширине дороги B .

Поверхность дороги D является результатом сложения поверхности D_1 , наклонной плоскости с продольным уклоном i_p , и двухскатной поверхности D_1 с поперечными уклонами от оси, равными i_b . Если направление оси x вдоль левой кромки покрытия дороги, а оси y перпендикулярно, то уравнения для вычисления отметок элементов матрицы D имеет следующий вид:

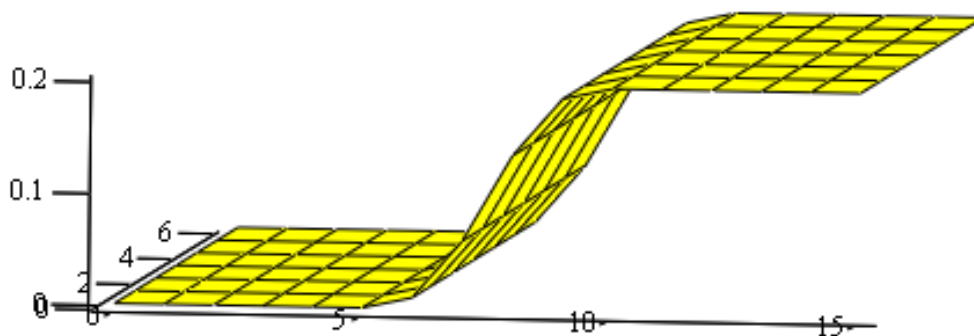
$$D_{x,y} = \begin{cases} H_0 + (i_p x + i_b y) & 0 < y \leq 0,5B \\ H_0 - (i_p x + i_b y) & \text{при } 0,5B < y \leq B. \end{cases} \quad (12)$$

5. Пример моделирования взаимодействия поверхностей дороги и уступа

Для описания взаимодействия поверхностей дороги и уступа, в соответствии с принятой моделью, рассмотрим участок дороги длиной $L_d = 15$ м, шириной $B = 6$ м, продольным и поперечными уклонами, равными 0.02. Модель участка поверхности дороги D с шагом 1 м представлена на рис. 2.

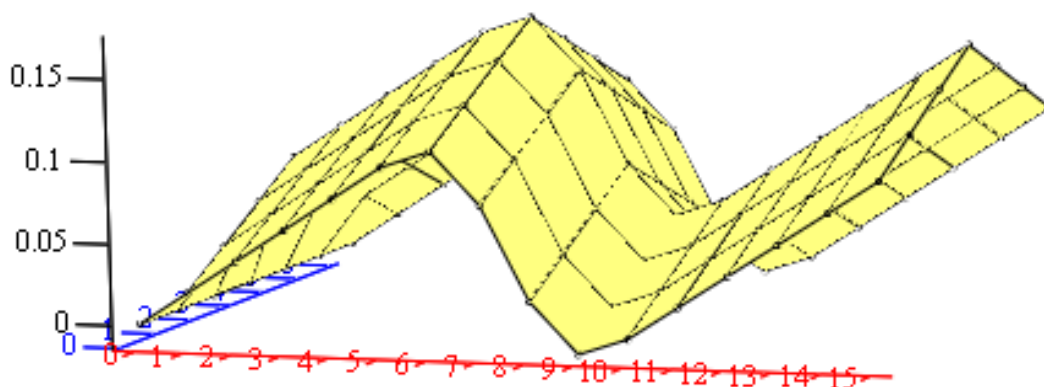
Рис. 2. Модель участка поверхности дороги D

Рассмотрим модель поверхности поперечного уступа. Длина уступа – 5 м, начало уступа – 5 м от начала участка дороги, максимальная высота 0.2 м. Модель поверхности уступа U с шагом 1 м представлена на рис. 3.

Рис. 3. Модель поверхности поперечного уступа U

Построим результирующую поверхность D_r взаимодействия дороги и поперечного уступа согласно (1).

а)



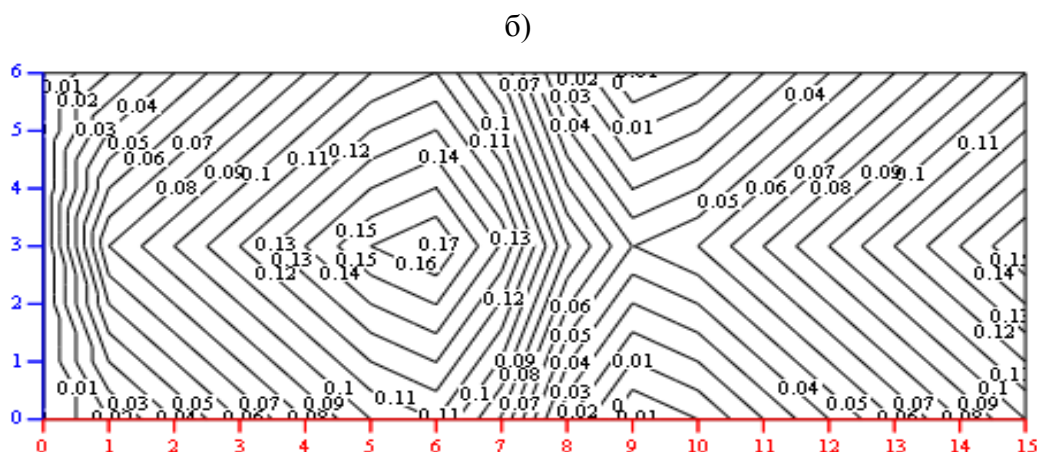


Рис. 4. Моделирование поверхности покрытия дороги D_r , деформированной поперечным уступом: *a* - трехмерная модель; *б* - план в изолиниях

Таким образом, выполненные расчеты позволяют наглядно показать состояние поверхности деформированной дороги, выявить наличие трамплина и источника накопления воды.

Рассмотрим модель поверхности продольного уступа. Начало уступа совпадает с левой кромкой покрытия участка дороги, задействованного в моделировании, высота $h_{max} = 0,2$ м, длина $L = 6,0$ м. совпадает с шириной поверхности дороги B . Ширина уступа 15.

Модель поверхности продольного уступа U с шагом 1 м представлена на рис. 5.

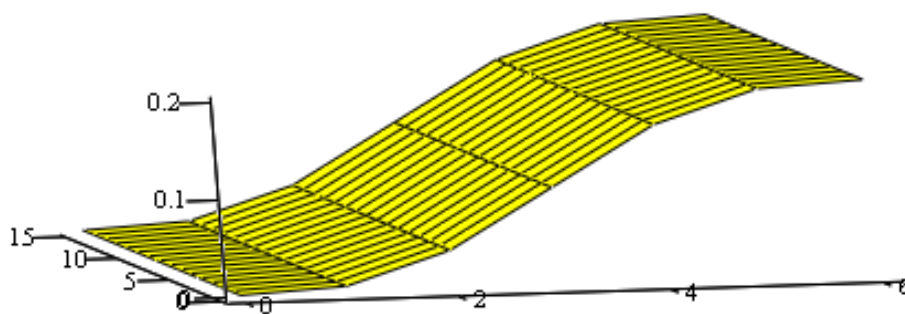
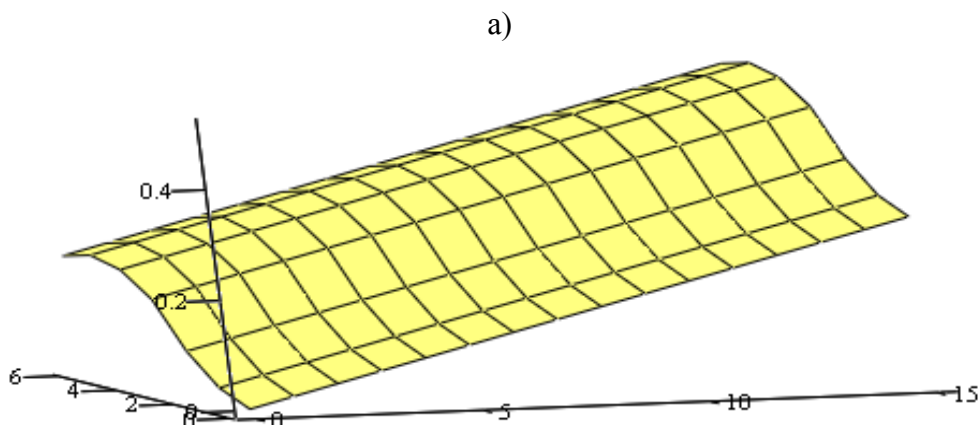


Рис. 5. Модель поверхности продольного уступа U

Взаимодействие поверхности дороги и продольного уступа, построенное согласно (1), представлено на рис. 6.



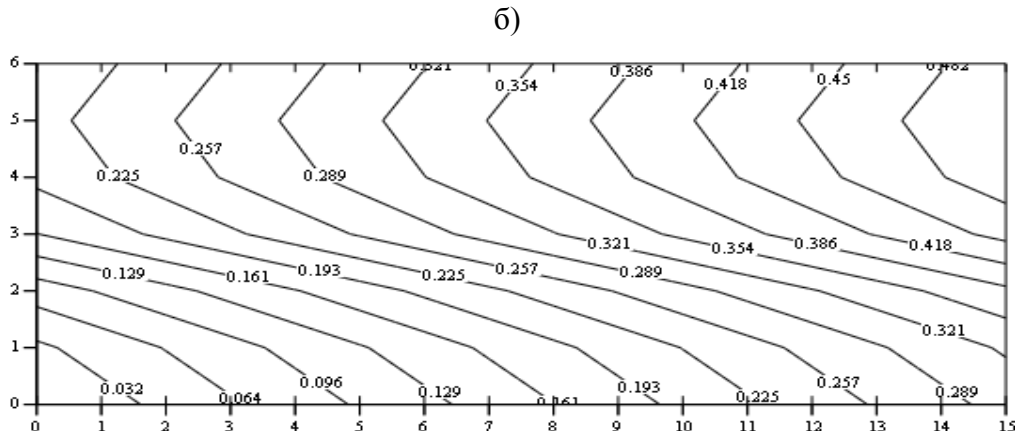


Рис. 6. Моделирование поверхности покрытия дороги, деформированной продольным уступом: а – трехмерная модель; б – план в изолиниях

Взаимодействие поверхности дороги и продольного уступа, построенное согласно (1), показывает наличие односкатного покрытия с ложбиной, что позволяет выявить изменение движения автомобилей на разных полосах движения, изменение отвода воды с двускатного профиля на односкатный и застой воды в поперечном направлении.

Выводы

Данная модель взаимодействия уступа с дорогой позволяет:

1. Установить пространственные искажения геометрических параметров подрабатываемой дороги.
2. Использовать полученные оценки результата моделирования для проектирования и ремонта дорог на территориях, подверженных подземным горным работам.
3. Оценить качество водоотвода.
4. Прогнозировать условия движения, экологические и транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги.

Список литературы

1. Кратч Г. Сдвигание горных пород и защита подрабатываемых сооружений. – М.: Недра, 1976. – 494 с.
2. Пеньков В.А., Сирик А.Г. Влияние подработки на городские улицы и дороги // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 1999. – Вип.4. – С. 98-105.
3. Пеньков В.А., Сирик А.Г. Перспективы исследований влияния локальной кривизны на городские улицы и дороги Донбасса // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2000. – Вип. 6. – С. 126-133.
4. Пеньков В.А., Сирик А.Г. Параметры зоны геометрического воздействия локальной кривизны на городские улицы дороги // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2000. – Вип. 7. – С. 152-165.
5. Пеньков В.А., Сирик А.Г. Систематизация уступов на подрабатываемых улицах и дорогах // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2001. – Вип. 8. – С. 137-145.
6. Сирик О.Г., Пеньков В.О., Васечкин М.В., Грабар О.В. Вдосконалення моделі утворення уступу // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2004. – Вип. 18. – С. 149-157.

Стаття надійшла до редакції 15.05.07

© Пеньков В.О., Павлова М.Г., 2007