

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТУПА К РАСЧЕТУ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Грабарь Е.В., Сирик А.Г.
Донецкий национальный технический университет
Автомобильно-дорожный институт

Визначена розрахункова схема і геомеханічні характеристики нової моделі утворення уступу в товщі наносів над корінними породами. Показані можливості удосконалення методики розрахунку підроблених споруд на ділянках уступів.

При добыче угля в пластах крутого падения на земной поверхности образуются вытянутые вдоль простирания пластов террасообразные уступы высотой до 60 см. В 70-90-х прошлого века они стали причиной массового разрушения жилья, социальных объектов и инженерных коммуникаций городов Центрального Донбасса [1].

Уступ является результатом образования ступеньки в коренных породах круто падающих пластов при их взаимном скольжении в результате консольного прогиба над выработанным пространством. Через наличие над коренными породами достаточно упругого слоя глинистых наносов уступ на земной поверхности всегда представляет собой криволинейное образование выпукло-вогнутого профиля.

Детальное исследование уступов выполнено в работе [1], где было доведено, что использование при расчетах сооружений на уступах расчетной схемы „ступенька” неверно, основным параметром при расчетах должна быть *кривизна* уступа, а не его *высота*, полученная путем геометрических представлений модели образования уступа.

В работе [2] нами была предложена новая геомеханическая модель образования уступа как результат изгиба грунтового параллелепипеда слоя наносов над „ступенькой”, в коренных породах. Это отличает ее от ранее принятых чисто геометрических моделей, в том числе и модели в действующих „Правилах підробки будівель ...” 2004 г. [3].

В качестве расчетной схемы взята статически неопределимая балка с обоими защемленными концами (схема 11 [4], рис. 1), один из которых при оседании на величину высоты уступа становится шарнирно опертым.

При этом на обоих заземленных опорах возникают опорные моменты:

$$M_A = M_B = -\frac{6EJ}{\ell^2} \cdot \Delta, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала балки; J – ее момент инерции на изгиб; ℓ – длина балки; Δ – оседание опоры, в нашем случае – высота уступа.

Кроме деформаций от опускания одной из опор необходимо учесть равномерно-распределенную нагрузку от веса грунтового параллелепипеда.

Схема, выбранная из пяти возможных вариантов сочетания типов опор и нагрузки, показана на рис. 1.

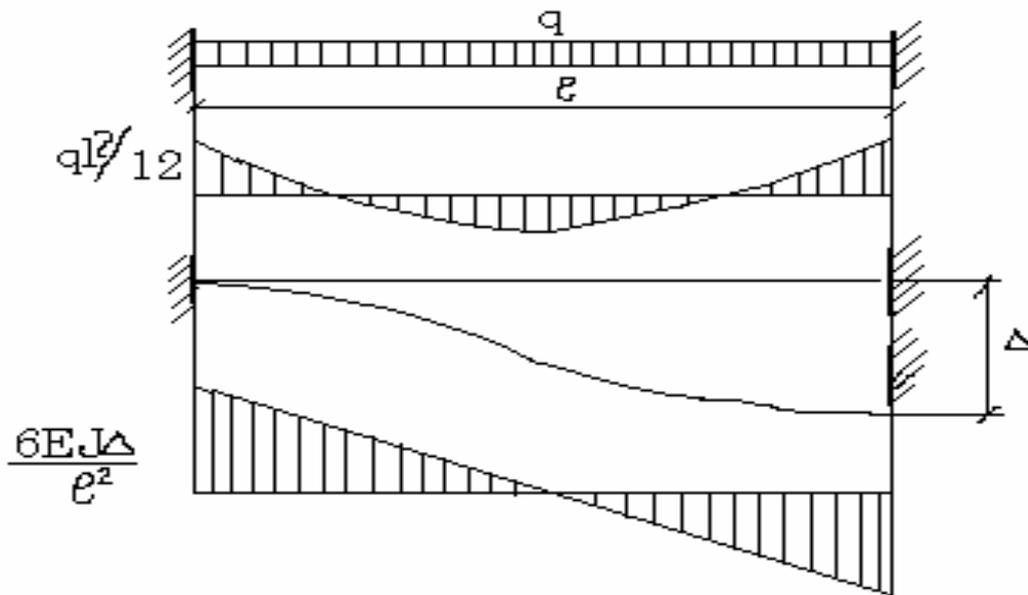


Рисунок 1 – Принятая расчетная схема образования уступа

Для принятой схемы наибольший суммарный изгибающий момент будет в левом заземлении:

$$M = \frac{q\ell^2}{8} + \frac{6 \cdot EJ}{\ell^2} \cdot \Delta, \quad (2)$$

Пользуясь дифференциальным уравнением упругой линии, переходим от момента к вызванной им кривизне [5]

$$K = \frac{1.5 \cdot \gamma \cdot \ell^2}{E \cdot h^2} + \frac{6 \cdot \Delta}{\ell^2}. \quad (3)$$

Радиусы кривизны, с которыми удобнее проводить математические обработки кривизны на уступах, во всех случаях вычисляются по формуле:

$$R = \frac{1}{K}. \quad (4)$$

В приведенных формулах приняты такие обозначения: $q = \gamma \cdot h \cdot b$ – равномерно-распределенная нагрузка кн./м; γ – объемный

вес грунта, кН/м^3 ; b – единичная ширина грунтового параллелепипеда, $b = 1 \text{ м}$.

Во всех случаях наших съемок грунты были представлены суглинками. Их геомеханические показатели могут значительно отличаться. Средние значения модуля упругости при влажности глинистого грунта $W = 0,65 - 0,85$ от границы текучести составляют от 30 до 70 МПа [6]. Учитывая избыточное увлажнение грунтов в городских условиях с частыми разрывами водопроводных сетей, в том числе и на уступах, величины увлажнения могут быть еще больше. Из этих соображений приняты два значения модуля упругости – $E = 70 \text{ МПа}$ для благоприятных условий увлажнения и $E = 20 \text{ МПа}$ для наиболее неблагоприятных, и объемный вес суглинков от 17 до 19 кН/м^3 .

Результаты расчетов наименьших значения радиусов кривизны с помощью редакторов Mathcad и Excel приведены в таблице 1 и на рис. 2.

Таблица 1 – Радиусы кривизны трех моделей уступа длиной 5 м.

Радиусы кривизны модели вар. 1								
	$E = 70 \text{ МПа}; \gamma = 17 \text{ кН/м}^3$				$E = 20 \text{ МПа}; \gamma = 19 \text{ кН/м}^3$			
Высота уступа	Мощность наносов h							
	2м	3м	4м	5м	2м	3м	4м	5м
0,10	20,65	10,64	6,34	4,17	47,83	62,66	70,29	74,49
0,20	16,55	9,44	5,89	3,97	30,39	35,77	38,13	39,33
0,30	13,81	8,48	5,50	3,79	22,27	25,03	26,16	26,72
0,40	11,84	7,69	5,16	3,63	17,57	19,25	19,91	20,23
0,50	10,37	7,04	4,86	3,48	14,51	15,64	16,07	16,28
0,60	9,22	6,50	4,59	3,34	12,36	13,17	13,47	13,62
Радиусы кривизны модели вар. 2								
0,10	16,55	9,44	5,89	3,97	30,39	35,77	38,13	39,33
0,20	11,84	7,69	5,16	3,63	17,57	19,25	19,91	20,23
0,30	9,22	6,50	4,59	3,34	12,36	13,17	13,47	13,62
0,40	7,55	5,62	4,14	3,09	9,53	10,00	10,18	10,26
0,50	6,39	4,95	3,76	2,88	7,76	8,07	8,18	8,24
0,60	5,54	4,43	3,45	2,69	6,54	6,76	6,84	6,88

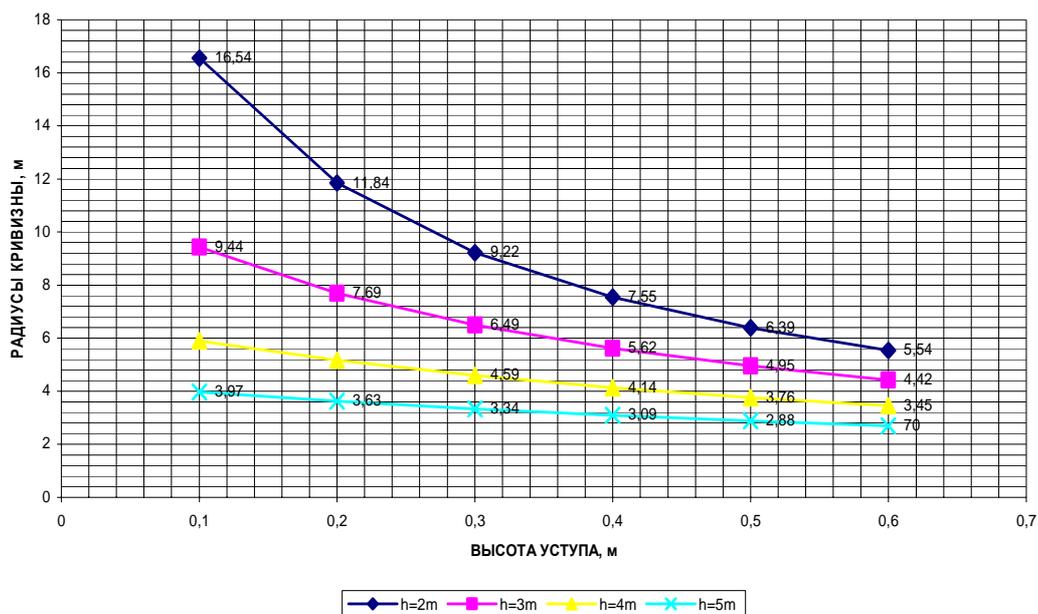


Рисунок 2– Радиусы кривизны модели № 2 для $E=70$ МПа, $\gamma=17$ кН/м³.

Сопоставление полученных радиусов с фактически измеренными при инструментальных съемках уступов показали лучшие совпадения для модели 2. Предложенная модель образования уступов удобна при прогнозировании величин внутренних усилий, вызванных действием кривизны уступов в фундаментах инженерных сооружений и трубопроводах всех видов коммуникаций.

Практика расчетов показала, что метод геомеханической модели уступа с расчетами радиусов кривизны наилучше подходит для оценки напряжений в трубопроводах на уступах.

Расчет по данной методике напряжений на уступах высотой 10, 20 и 30 см в полиэтиленовых трубах компании «ЭЛЬПЛАСТ» для подачи холодной воды типоряда SRD-11 диаметрами от 110 до 630 мм с давлением воды 1,6 МПа показал, что весь типоряд труб будет работать без разрушений на уступах высотой до 30 см. При этом модуль упругости принят $E = 1000$ МПа, а разрушающее напряжение при изгибе $\sigma = 30$ МПа [3]. Это дает основание рекомендовать на участках образования уступов применение полиэтиленовых труб, стоимость которых при диаметрах до 250 мм не выше стальных, а показатели технологии строительства, транспортирования и эксплуатации значительно превосходят.

Надежность результатов подобных расчетов по методике геомеханической модели будет зависеть от наличия и достоверности данных инженерно-геологических изысканий, в первую очередь, характеристик, которые вошли в формулы изгибающих моментов и кривизны предложенных моделей.

Литература:

1. Сирик А.Г. Прогноз геометрических параметров уступов на земной поверхности при разработке свит крутых пластов в Донбассе. Дисс. канд. техн. наук. – Донецк, 1990. – 204 с.
2. Сірик О.Г., Пеньков В.О., Грабар О.В., Васечкін М.В. Вдосконалення моделі утворення уступу // Містобудування та територіальне планування, вип. 18. – К.: КНУБА, 2004. – с.149-157.
3. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с.
4. Рабинович И.М. Основы строительной механики стержневых систем. – М.: Госстройиздат, 1960. – 518 с.
5. Сопротивление материалов / Под ред. Г.С.Писаренко. – К.: Вища школа, 1986. – 775 с.
6. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа.– М.: Транспорт, 1985. –157 с.