

УДК 622.833.5:539.3

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ
«КРЕПЬ УСИЛЕНИЯ – ПРОЧНЫЙ СЛОЙ» НА
ВЫДАВЛИВАНИЕ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

А.Л. Касьяненко, И.С. Ковальчук

Донецкий национальный технический университет

В данной работе качественно определяются смещения пород почвы горной выработки от параметров прочного слоя его ширины (пролета горной выработки), толщины и прочности на одноосное сжатие, а также с учетом изменения смещений пород при установке стойки.

При наличии неустойчивых пород почвы угольных пластов потеря устойчивости выработок является результатом выдавливания пород почвы [1]. С увеличением глубины разработки происходит выдавливание прочных пород почвы ($\sigma_{сж} > 60$ МПа). Традиционно принятой мерой борьбы с пучением является подрывка пород почвы. Потеря же устойчивости прочных пород почвы не позволяет производить подрывку с использованием средств механизации. Это снижает темпы подрывки почвы в 4-5 раз. Что в целом приводит к удорожанию стоимости ремонтных работ и в конечном счете увеличивает себестоимость угля.

До настоящего предложено множество расчетных схем, объясняющих механизм выдавливания пород почвы [2-7] и предложены различные способы уменьшения смещений [8-10].

Шахтные исследования [11] показали, что механизм выдавливания пород почвы при наличии прочного слоя в непосредственной близости от контура выработки, несколько отличается от существующих представлений, при этом сам процесс выдавливания происходит в три этапа. На первом этапе происходит постепенное расслоение непосредственной почвы над прочным слоем при этом смещения растут с постоянной скоростью. На втором этапе в работу вступает прочный слой, который воспринимает нагрузку от выдавливающих пород основной почвы, при этом скорость смещений почвы уменьшается. На третьем этапе происходит разрушение прочного слоя, скорость смещений резко возрастает, наблюдается формирование складки с образованием продольной трещины.

Исходя из выше сказанного, для устранения указанных недостатков был предложен способ использования системы «крепь усиления – прочный слой» [12].

С целью качественной оценки эффективности работы системы «крепь усиления – прочный слой» на смещения пород почвы горных выработок была поставлена задача. Рассматривалась выработка арочного сечения с шириной по почве l в почве выработки залегает слой прочностью усж и мощностью h . Задача сводилась к определению прогиба прочного слоя под воздействием сил горного давления с предложенным способом (рис. 1,а) и без него (рис. 1,б). Также принималось, что прочный слой залегает в непосредственной почве, это допущение идет в запас прочности слоя пород почвы.

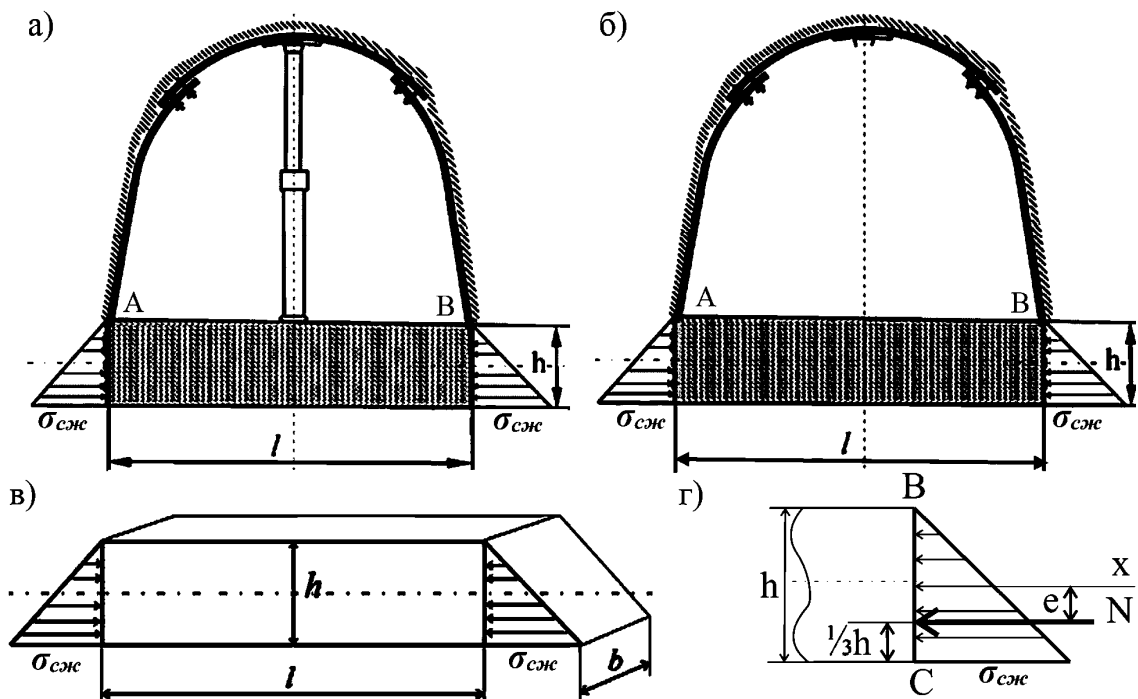


Рис. 1. Расчетная схема для определения прогиба верхнего слоя пород почвы с предложенным способом в выработке (а) и без него (б), и напряжения, действующими на слой пород почвы (в) и на его торце (г)

Для решения поставленной задачи принималась следующая расчетная схема: слой породы почвы длиной, равной ширине выработки l , и шириной равной шагу установки крепи b , который можно представить, как балку на упругом основании короткой длины под действием сжимающих сил, которые обусловлены действующими в массиве напряжениями (рис. 1). В месте сопряжения стенки выработки и почвы возникает концентрация напряжений, что приводит к последующему разрушению пород. Вследствие этого в

точках А и В напряжения падают до нуля. По мере удаления от контура выработки в глубь массива напряжения увеличиваются по закону близкому к линейному (рис. 1,в).

Задача рассматривалась с помощью методов теории упругости [13]. При решении задачи принято допущение, что напряжения на торце балки не должны превышать предела прочности на одноосное сжатие, поэтому максимальные значения напряжений, действующие на торце балки принимаем равными прочности пород при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$. Равнодействующая сила от напряжений, равна: $N = \frac{1}{2} \sigma_{сж} hb$, и приложена с эксцентриситетом $e = \frac{h}{6}$, относительно центральной оси. Тогда расчётную схему можно представить, как шарнирно-закрепленную балку на упругом основании с предложенным способом в выработке (рис. 2,а) и без него (рис. 2,б) под действием момента:

$$M = Ne = \frac{1}{2} \sigma_{сж} hb \frac{h}{6} = \frac{\sigma_{сж} bh^2}{12}, \quad (1)$$

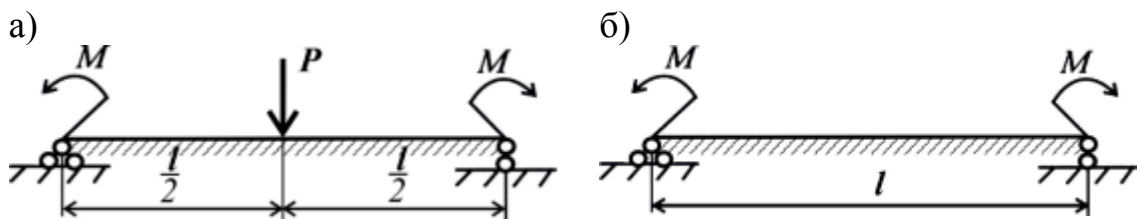


Рис. 2. Схема расчета балки на упругом основании с предложенным способом (а) и без него (б)

При расчете балки используем уравнения прогибов по методу начальных параметров [14]:

$$\begin{aligned} W = & W_0 V_1(\beta x) + \frac{1}{\beta} \varphi_0 V_2(\beta x) + \frac{1}{\beta^2 EI} \varphi_0 V_3(\beta x) + \frac{1}{\beta^3 EI} Q_0 V_4(\beta x) + \\ & + \sum \frac{M_i}{\beta^2 EI} V_3[\beta(x-a)] + \sum \frac{P_i}{\beta^3 EI} V_4[\beta(x-b)] + \\ & + \frac{q}{4\beta^4 EI} \{ [1 - V_1(b(x-c))] - [1 - V_1(b(x-d))] \}, \end{aligned} \quad (2)$$

где W_0 , φ_0 , M_0 , Q_0 , M_i , P_i , q – соответственно прогиб, угол поворота сечения, моменты и силы в начале координат, моменты силы, интенсивность распределённой нагрузки, действующей на балку;

$(x-a);(x-b);(x-c);(x-d)$ – расстояние от рассматриваемого сечения x до точки приложенного момента a , силы b , начала c и конца d распределенной нагрузки;

V_1, V_2, V_3, V_4 – функции А.Н. Крылова;

ν – коэффициент:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала балки, Па;

I – осевой момент инерции прямоугольного сечения, м⁴;

k – коэффициентом винклеровского основания, который характеризует связь между балкой (слоем породы) с нижележащими слоями почвы, по данным натурных испытаний, принимаем $k=5 \cdot 10^8$ кг/м³ для разрушенных трещиноватых пород.

Уравнение углов поворота сечений получаем путем дифференцирования уравнения прогибов, последовательно дифференцируя уравнение углов поворота сечений и разделив на жёсткость при изгибе $E \cdot I$, получаем уравнения изгибающих моментов и поперечных сил.

При установке системы «крепь усиления – прочный слой» действует сила P (рис. 3,б) влияние которой учитывается слагаемым:

$$-\sum \frac{P_i}{\beta^3 EI} V_3 \left[\beta \left(x - \frac{l}{2} \right) \right] \quad (4)$$

в уравнении прогибов (2).

Сила P определяется как результат давления со стороны кровли по методике ВНИМИ [9].

Для определения начальных параметров записываются граничные условия: при $x=0$, $W=W_0=0$, $M_0=-M$, $x=l$, $M=-M$. С помощью программного комплекса MathCAD были выполнены расчеты и построены графики прогибов (смещений) в зависимости от: прочности и толщины слоя почвы, ширины выработки, значений коэффициента винклеровского основания.

На рис. 3-4 показаны изменения прогибов по ширине выработки равной $l=2;3;4;6$ м, при установке системы «крепь усиления – прочный слой» и без неё со слоем породы толщиной $h=0,2;0,4;0,6;0,8$ м в качестве «прочного слоя» выступал известняк с $\gamma_{сж}=120$ МПа и $E=8,629 \cdot 10^4$ МПа [15].

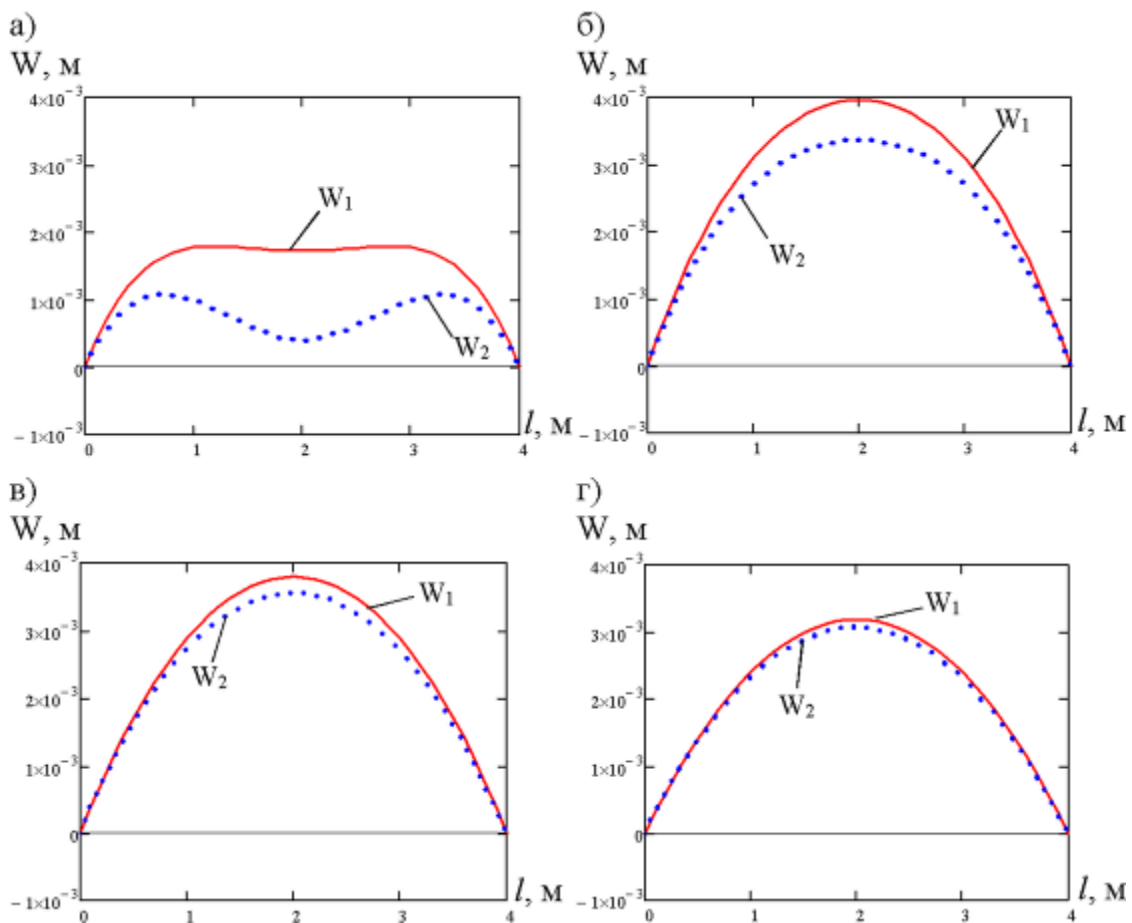


Рис. 3. Значения прогибов балки (W_1 – без силового воздействия и W_2 – с силовым воздействием) длиной $l=4$ м равной ширине выработки с прочностью $\sigma_{сж} = 120$ МПа (известняк) при различной толщине: а) $h=0,2$ м; б) $h=0,4$ м; в) $h=0,6$ м; г) $h=0,8$ м

Анализируя графики, представленные на рис. 3, можно сделать вывод, что установка системы «крепь усиления - прочный слой» для слоя толщиной 0,2 м уменьшает прогибы в 2 раза и для слоя толщиной 0,3 м – в 1,2 раза. В случае если толщина слоя составляет 0,6 и 0,8 м влияние системы менее эффективное и уменьшает смещения не существенно.

Можно предположить, что установка системы «крепь усиления - прочный слой» наиболее эффективна при установке на слой толщиной 0,2 и менее эффективно при установке на слой толщиной 0,6-0,8 м и более.

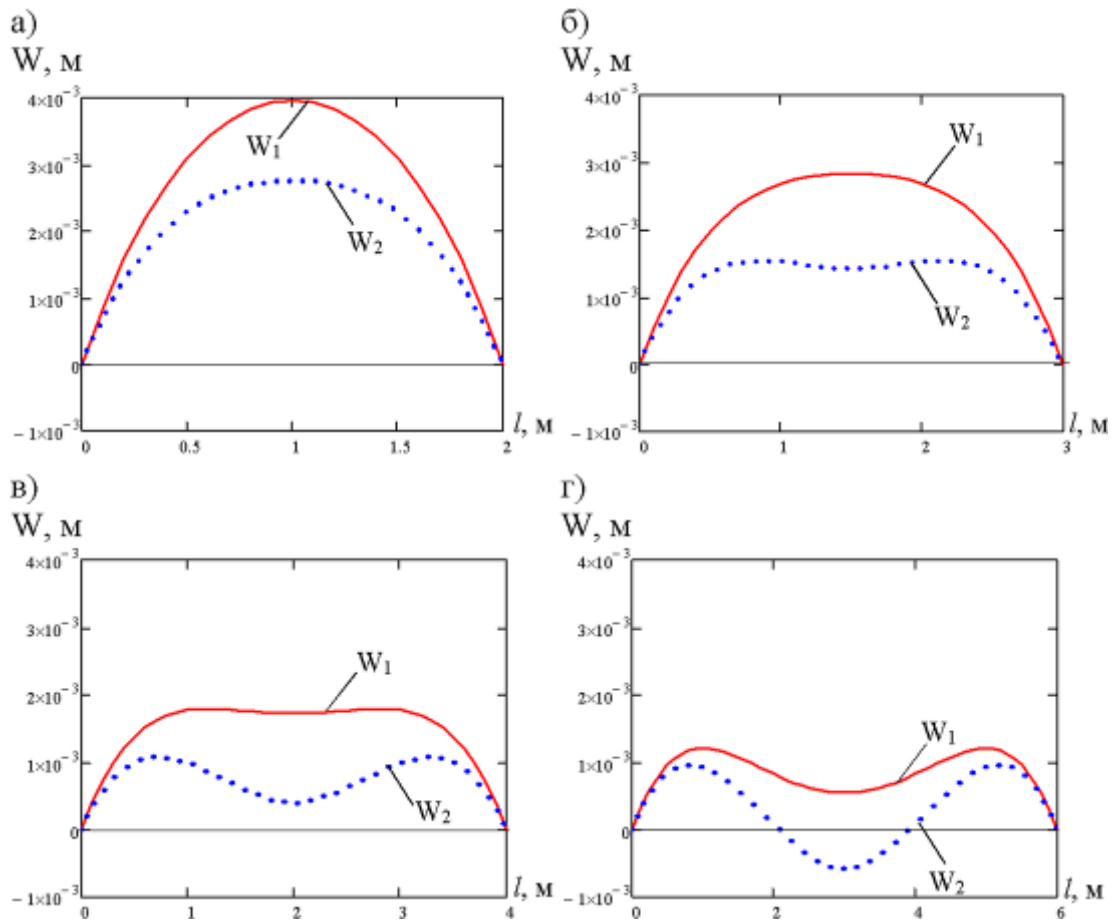


Рис. 4. Значения прогибов балки (W_1 – без силового воздействия и W_2 – с силовым воздействием) длиной: а) $l=2$ м; б) $l=3$ м; в) $l=4$ м; г) $l=6$ м, прочностью $\sigma_{сж} = 120$ МПа (песчаник) и толщиной $h=0,2$ м.

Анализируя графики, представленные на рисунке 4, можно сделать вывод, что установка установки системы «крепь усиления - прочный слой» наиболее эффективна для ширины выработки от 3 и 4 м, т.к. прогибы слоя почвы уменьшились в 1,2-2 раза и менее эффективна для ширины 1 и 6 м и позволяет предотвратить деформацию слоев почвы от действием горного давления.

Таким образом приведённые исследования позволяют сделать вывод, что установка системы «крепь усиления – прочный слой» наиболее эффективна если в качестве «прочного слоя» выступает слой известняка с толщиной $h=0,2$ м при ширине выработки $l=3-4$ м, позволяющий снизить смещения почвы в 1,2-2 раза.

Дальнейшие исследования будут направлены на детальное изучение закономерностей смещений пород почвы горных выработок от отдельных параметров прочного слоя пород (его толщины, прочности, модуля упругости) и поисках применения полученных данных для нужд практики.

Библиографический список

1. Литвинский, Г. Г. Механизм пучения пород почвы подготовительных выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский // Уголь. – 1987. – №2. – С. 15-17.
2. Гурдус, А. В. Изучение причин вспучивания горных пород каменноугольной формации Донбасса и меры борьбы с этим явлением. – Харьков:ГОНТИ. – 1933. – 76 с.
3. Комиссаров, М. А. Некоторые вопросы поддержания подготовительных выработок в условиях пологих пластов Донбасса [Текст] // Вопросы охраны и крепление горных выработок. ДонУГИ. – Сб. № 41. – М.: «Недра», 1968.– С. 3-25.
4. Касьян, Н. Н. Механизм пучения почвы горных выработок в условиях хрупкого разрушения пород [Текст] / Н.Н. Касьян, А.И. Костоманов, О.К. Мороз // Изв. вузов. Горный журнал. – 1996.– №1.– С. 4-8.
5. Роечко, А. Н. Новый подход к исследованию явления пучения пород для обоснования мер борьбы с ним [Текст] // Уголь Украины. – 1997. – №2-3. – С. 20-22.
6. Шашенко, А. Н. Оценка устойчивости пород почвы горных выработок [Текст] / А. Н. Шашенко, А.В. Солодянкин // Проблеми гірського тиску. Зб. наук. праць. / під заг. ред. О. А. Мінаєва. – Донецьк, ДонНТУ, 2004. – Вип. 14. – С. 67 – 72.
7. Литвинский, Г.Г. Особенности и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок [Текст] / Г.Г. Литвинский, Э.В.Фесенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 61. – С. 101-110.
8. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР / Ленинград: ВНИМИ, 1986. – 223 с.
9. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст] / Мінпаливенерго України. – Київ, 2007. – 113 с.
10. КД 12.01.01.201–98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Донецк: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.
11. Соловьёв, Г.И. Особенности выдавливания прочных пород почвы выемочных выработок глубоких шахт [Текст] / Г.И. Соловьёв, А.Л. Касьяненко, В.Е. Нефёдов, Ю.Н. Панфилов, О.В. Еременко // Вісті Донецького гірничого інституту, Донецьк. – 2011. – №1. – С. 115-121.
12. Пат. 99028 Україна, МПК8 E21D 11/14. Спосіб підтримання гірничих виробок [Текст]/ Соловійов Г.І., Касьяненко А.Л.; заявник і власник Донецький національний технічний університет. – № a201015254; заявл. 25.06.2012; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13, 2012 г. – 4 с.
13. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. Учебник под ред. Г. С. Варданяна – М.: «АСВ», 1995. – 568 с.
14. Ковальчук, И. С. К вопросу расчета смещений пород почвы горных выработок [Текст] / Ковальчук И.С., Касьяненко А.Л., Горбылёв Г.В. // // Материалы международной научно-практической конференции «Опыт прошлого – взгляд в будущее»: ТулГУ. – Тула, 2013. – С. 41-47.
15. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород // Под ред. Н В Мельникова, В. В. Ржевского, М. М. Протодряконова. – М.: «Недра», 1975. – 279 с.