

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕНТОЧНЫХ ЦЕЛИКОВ

А.Н. Шашенко, Н.В. Хозяйкина, А.Ф. Косолапов, Национальный горный университет, Украина

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние широкого ленточного целика при отработке угольного пласта лавами. Доказано, что его сопротивляемость внешними нагрузками в сложном напряженном состоянии неодинакова. Она существенно ниже у краев и выше в центре, где образуется ядро уплотнения. Даны рекомендации по прочности строительных смесей для возведения искусственных целиков.

Для охраны подготовительных выработок в угольных шахтах применяют ленточные целики – естественные и искусственные. В последние годы для снижения себестоимости добываемого угля все чаще сооружают целики из шпал, железобетонных плит, пакеты с твердой смесью Текхард или возводят литые полосы. Материалы, из которых устраивают искусственные целики тоже, как правило, далеко не всегда соответствует экономическим и экологическим требованиям. В этой связи целесообразно рассмотреть особенности деформирования ленточных целиков с тем, чтобы понять каким требованиям должны отвечать материалы для возведения предохранительных конструкций вдоль подготовительных выработок. Это особенно важно в случае повторного использования штреков.

Рассмотрим выработки, сооружаемые в горно-геологических условиях угольных шахт Западного Донбасса, где залегание пластов практически горизонтальное. Подготовительная выработка, расчетная схема которой приведена на рис. 1, пройдена в условиях шахты «Степная» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»: глубина расположения – 600 м, мощность угольного пласта – 0,95 м, средний объемный вес вмещающих пород 1,8 т/м³. Основные физико-механические характеристики породного массива представлены в табл. 1.

Таблица 1
Физико-механические характеристики исследуемого породного массива

№ породного слоя	Наименование породного слоя	Модуль Юнга E , МПа	Коэффициент Пуассона, μ	Предел прочности на одноосное сжатие $R_{сж}$, МПа
1	Уголь	13478,6	0,3	15
2	Аргиллит	3193	0,3	15
3	Песчаник	9000	0,3	30
4	Алеврит	2981,7	0,3	20

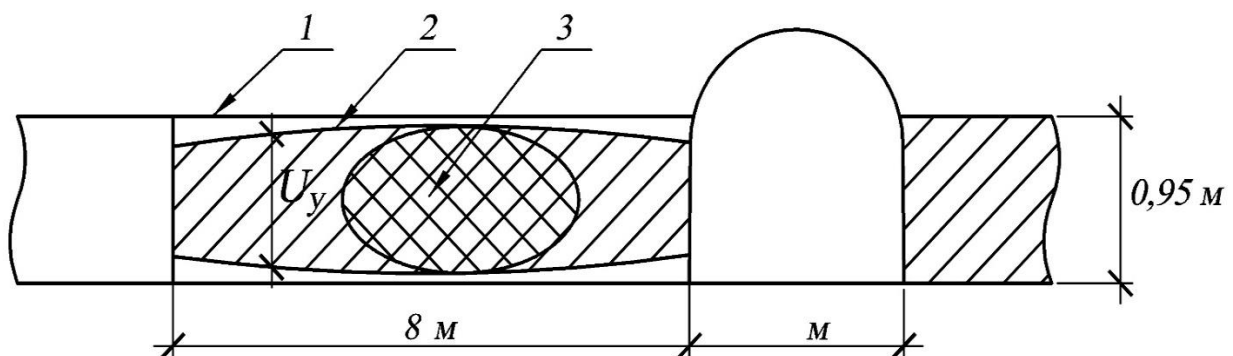


Рис. 1. Расчетная схема предохранительного ленточного целика вдоль подготовительной выработки: 1 – контур недеформированного целика; 2 – контур деформированного целика; 3 – ядро уплотнения

Выработка закреплена арочной металлической крепью из СВП-27 с шагом установки рам 0,75 м.

Как следует из работ [1, 2, 3], деформирование целика достаточной ширины происходит неравномерно. Края целика разрушаются сильнее, чем его центральная часть. По этой причине вертикальные перемещения U_y имеют максимальные значения у краев целика и минимальные в центре, где образуется обжатое со всех сторон так называемое ядро уплотнения, которое, собственно, и является несущей основой предохранительной конструкции.

На рис. 2 приведена конечно-элементная схема к решению поставленной задачи: установить особенности предельного напряженно-деформированного состояния ленточного целика.

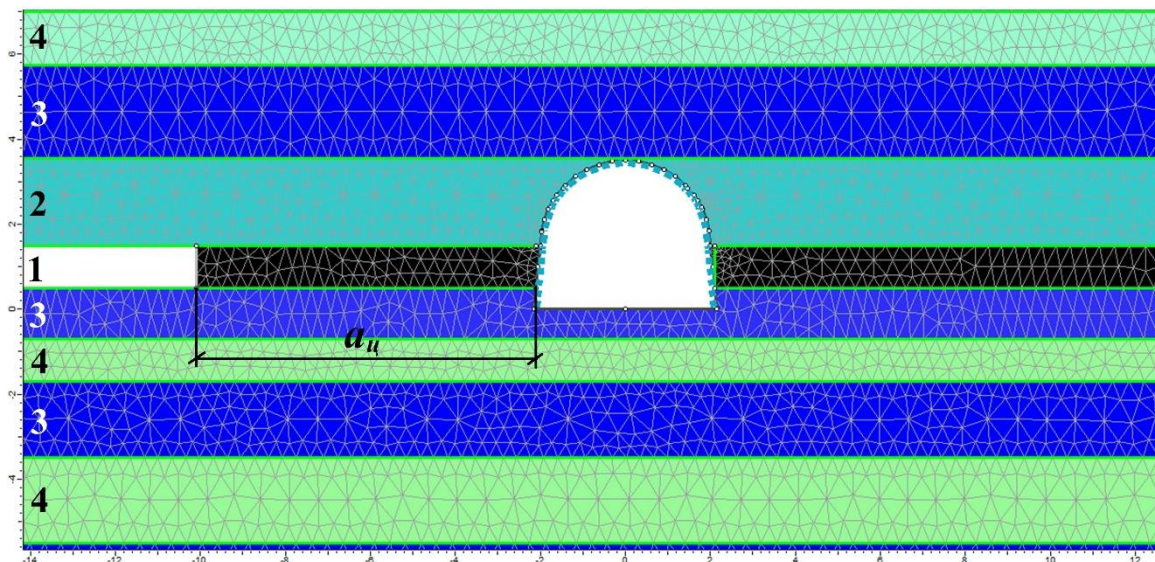


Рис. 2. Расчетная схема к решению упругой задачи о деформированном состоянии охранной конструкции в окрестности выработки: a_u - ширина охранной конструкции; 1 – уголь; 2 – аргиллит; 3 – алевролит; 4 – аргиллит ослабленный

Задача плоской деформации решается в упругой постановке с помощью программного комплекса RS2 канадской компании Rocscience. В качестве критерия разрушения горных пород используется зависимость [3] в следующей форме:

$$\sigma_e = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{\sigma_1 + \sigma_3} = R_c. \quad (1)$$

Здесь σ_1 , σ_3 - компоненты главных напряжений, R_c - предел прочности на одноосное сжатие, σ_e - эквивалентные напряжения. Этот критерий удобен в том смысле, что он имеет отчетливо выраженную физическую основу. Дезинтеграция горных пород в сложном напряженном состоянии происходит в результате совместного действия двух видов разрушения: от сдвига $(\sigma_1 - \sigma_3)$ и отрыва $(\sigma_1 + \sigma_3)$.

Методика решения задач подобного типа изложена в работе А.О. Логуновой [4]. Она сводится к имитации процесса поэтапного проведения выработки в весомой породной среде.

На рис. 3 приведена картина распределения векторов перемещений в целике и его окрестностях. Из нее следует, как и предполагалось, что в рассматриваемых условиях края целика разрушены $\sigma_e \succ R_c$, а в его центральной части формируется зона неразрушенного материала $(\sigma_e \prec R_c)$, которая и является несущей конструкцией.

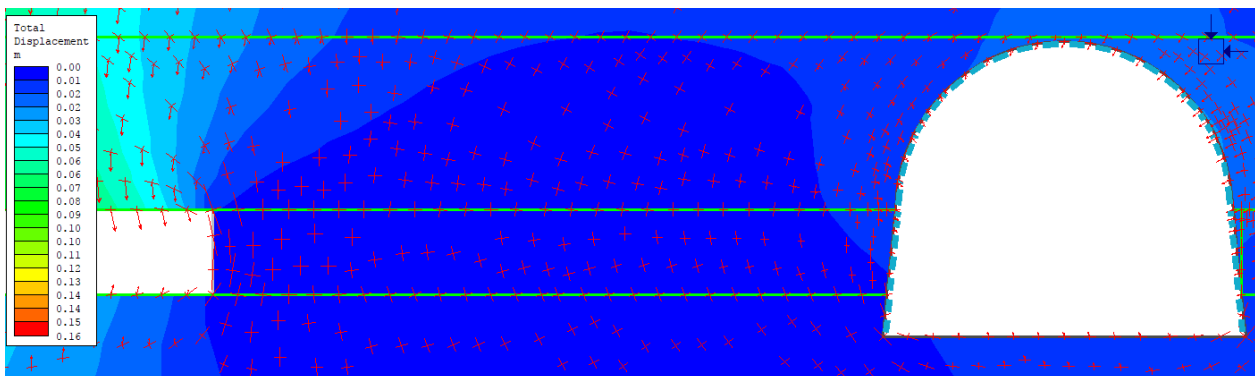


Рис. 3. Картина распределения векторов перемещений в целике и его окрестностях ($a_y = 8$ м)

Физически это объясняется тем, что разность $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$ становится меньше к центру целика и увеличивается к его краям. В то же время сумма напряжений $\sigma_1 + \sigma_3$, наоборот, увеличивается к центру и уменьшается к краям. В целом же в соответствии с (1) это приводит к уменьшению значений σ_e .

На рис. 4 приведено распределение главных напряжений σ_1 и σ_3 по кровле и почве рассматриваемого целика.

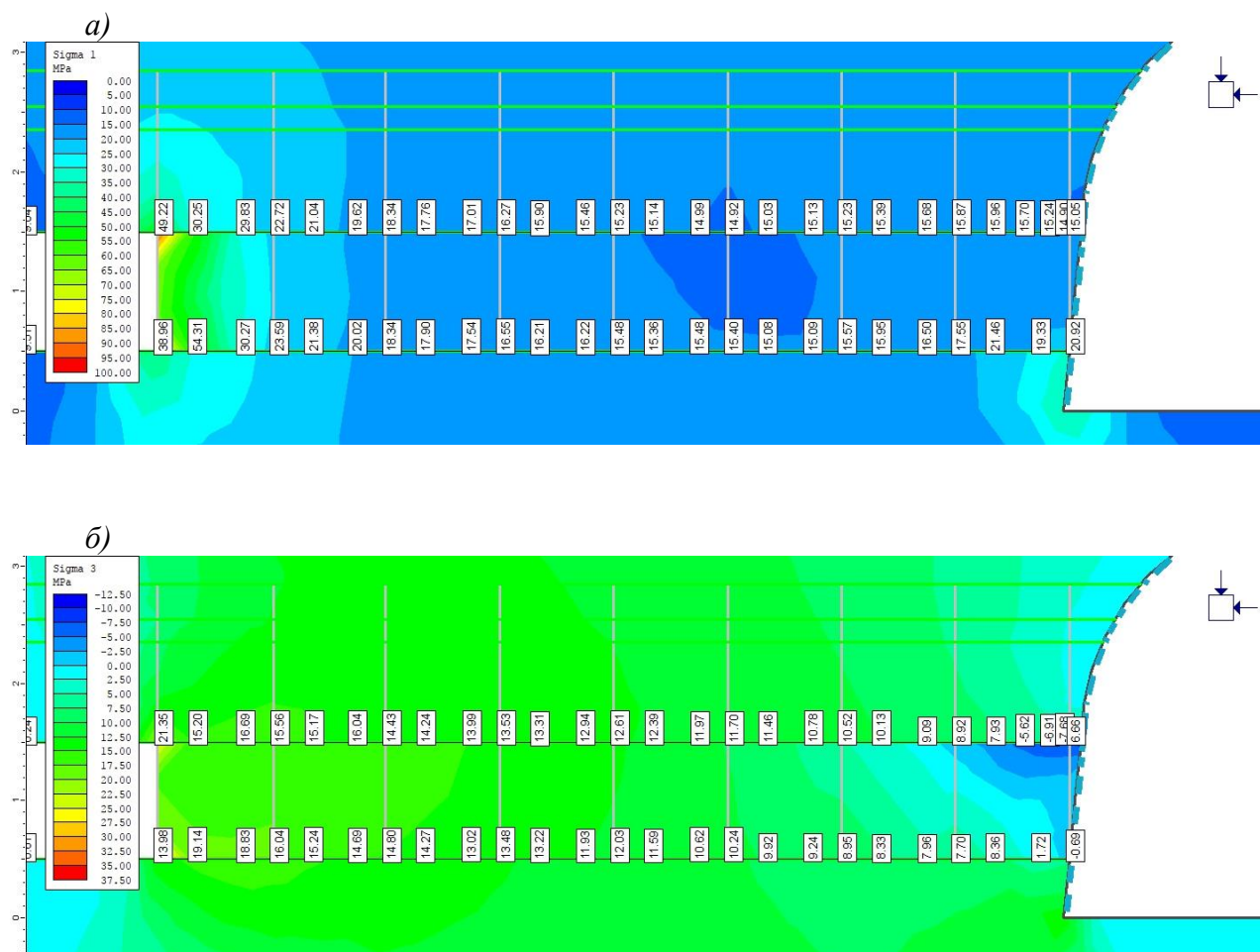


Рис. 4. Распределение главных напряжений по кровле и почве целика:

а - σ_1 ; *б* - σ_3

Обработка этих результатов расчета в Excel с помощью формулы (1) показана на рис. 5.

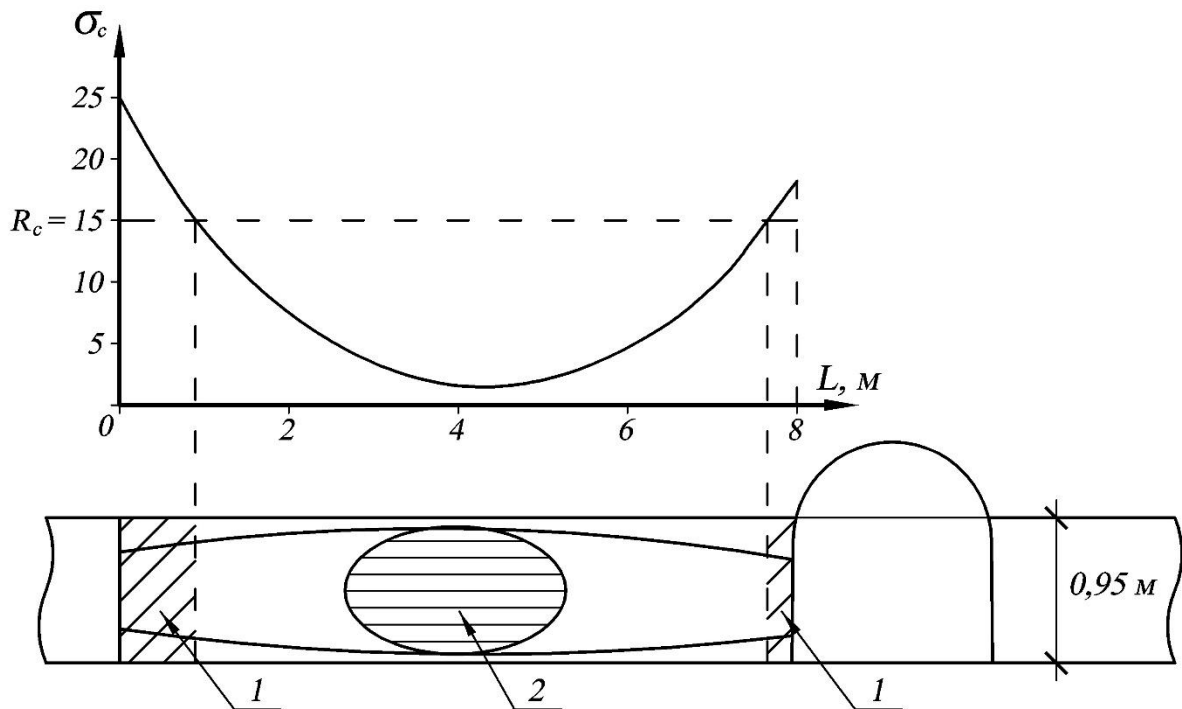


Рис. 5. Распределение прочности материала целика (σ_c) по его ширине (а) и формирование деформированных зон (б): 1 – зоны разрушения; 2 – зона уплотнения

Из него следует, что прочность материала целика (уголь) недостаточна у краев ($\sigma_c > R_c$). Это приводит к их разрушению, которое сопровождается соответствующими значительными деформациями пород кровли и почвы, выдавливанием разрушенного материала в сторону лавы и выработки. В центре же целика образуется область, в которой компоненты напряжений приближаются к одинаковым величинам, а прочность материала целика значительно больше уровня действующих эквивалентных напряжений ($\sigma_e \ll R_c$).

Выводы. Из приведенного выше анализа следует, что при сооружении искусственных целиков нет смысла использовать материалы с высокой несущей способностью, намного превышающей прочность вынимаемого угля. Образно говоря, капсулы с водой, размещённые в центре целика и равномерно сжатые со всех сторон, вследствие ее несжимаемости обеспечат создание несущего ядра уплотнения. на практике же это могут быть недорогие порошкообразные смеси из измельченной шахтной породы с небольшой добавкой вяжущего, расфасованного в полиэтиленовые пакеты.

Список литературы

1. Зюков Ю.Е. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния предохранительных целиков в лавах пологопадающих пластов / А.Н. Шашенко, Ю.Е. Зюков // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – № 12. 2008. – С. 12 – 14.
2. Зюков Ю.Е. Геомеханическая модель очистного забоя с предохранительными целиками различной жесткости / Ю.Е. Зюков // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників-2008». – Дніпропетровськ: НГУ. – 2008. – С. 50-54.
3. Шашенко А.Н. Геомеханика / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Е.А. Сдвижкова. – К.: Новий друк, 2016. – 258 с.
4. Логунова А.О. Управление геомеханическими процессами в окрестности подземных выработок с помощью анкерных систем / А.О. Логунова // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 1 (13). – С. 89-96.