

УДК 622.23.02

к.т.н. Доценко О. Г.,
к.т.н. Кизияров О. Л.,
к.т.н. Аверин Г. А.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, dotcenkoo@mail.ru)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ОБРУШЕННЫХ ПОРОД В ПЕРИОД АКТИВНЫХ СДВИЖЕНИЙ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА

В статье приведены результаты исследования закономерностей изменения в процессе уплотнения деформационных свойств обрушенных пород. Установлено, что изменение давления на почву извлеченного пласта и модуля деформации взаимозависимы и имеют S-образный характер, происходят в течение периода времени, равного длительности процесса активных сдвижений подработанного массива.

Ключевые слова: обрушенные породы, модуль деформации, активные сдвижения подработанного массива.

Развитие горных работ на шахтах Донбасса сопряжено с неуклонным увеличением глубины разработки и усложнением горно-геологических условий, что сопровождается ростом проявлений горного давления и снижением устойчивости горных выработок. Треть всех проводимых на шахтах выработок перекрепляется, и больше половины из них требуют повторного ремонта. Перспективные способы сохранения нормального эксплуатационного состояния выработок связаны с их проведением в разгруженных зонах, в том числе в породах выработанного пространства. Опыт шахт Донбасса, практикующих проведение выработок по обрушенным породам, свидетельствует о хорошем их состоянии. Широкое распространение способа сдерживается недостаточной изученностью деформационных свойств обрушенных пород. Установление этих свойств в целях использования для прогнозирования напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки, проводимой в обрушенных и уплотняющихся породах, является актуальной задачей. Результаты прогноза позволят избежать ошибок при установлении параметров поддержания выработки на стадии ее проектирования, снизить расход материальных и трудовых ресурсов.

Значительный вклад в разработку вопросов, связанных с обеспечением устойчивости выработок, проводимым по обрушенным породам, внесли Зборщик М. П., Назимко В. В., Пилюгин В. И., Черняев В. И., Малов В. И. и другие. Основная практическая рекомендация исследователей сводится к тому, что выработки по выработанному пространству следует проводить по окончании активных сдвижений подработанной толщи. Остается недостаточно изученным вопрос обеспечения устойчивости выработок до завершения указанного процесса, для чего необходимо знать изменяющиеся во времени свойства обрушенных пород. Изучение деформируемости обрушенных и уплотняющихся пород имеет в основном поисковый характер и законченной теории для оценки изменений напряженно-деформированного состояния массива по мере проведения и поддержания выработки в породах с подобными структурно-механическими особенностями пока не предложено.

Цель работы — установить закономерности изменения модуля деформации обрушенных пород в период активных сдвижений подработанного массива.

Для достижения цели поставлены и решены следующие **задачи**:

– установить закономерности длительности активных сдвижений пород в зави-

симости от глубины разработки и крепости вмещающих пород;

– определить величину давления на почву отработанного пласта в произвольный момент времени;

– вывести эмпирические зависимости модуля деформации обрушенных пород для различного литологического состава в произвольный момент времени.

Для установления длительности активных сдвижений горных пород при их разработке произведена статистическая обработка результатов натуральных замеров оседаний земной поверхности, выполненных на горных предприятиях ГУП ЛНР «РТК „Востокуголь“» [1]. Эмпирическая зависимость имеет вид

$$t_{\text{акт}} = \sqrt{H \cdot f \cdot B^{0,12}}, \text{ сут}, \quad (1)$$

где H — глубина разработки, м;

f — средняя крепость пород кровли;

B — объем выработанного пространства, образуемый за лавой в месяц, м³/мес.;

$$B = m \cdot L \cdot v, \text{ м}^3/\text{мес.}, \quad (2)$$

где m — мощность пласта, м;

L — длина лавы, м;

v — средняя скорость подвигания очистного забоя, м/мес.

Оседание подработанного очистными работами массива и стабилизация горного давления в выработанном пространстве лавы взаимосвязаны между собой и имеют одинаковую продолжительность.

Вслед за проходом лавы обрушаются породы непосредственной кровли, а затем и основной. Давление на почву извлеченного пласта умеренно нарастает. Обрушаясь с разрывом сплошности, породы образуют свод, в ходе формирования которого давление нарастает интенсивно. Расположенные над сводом породные слои прогибаются. С восприятием сводом веса вышележащих породных слоев давление в выработанном пространстве стабилизируется на уровне γH .

На следующем этапе определена величина давления на почву отработанного пласта на интересующий момент времени,

детальное описание методики приведено в работе [2].

Наращение давления в выработанном пространстве проходит в три этапа: умеренного роста, интенсивного роста и стабилизации. Для его описания предложена логистическая кривая, ограниченная по вертикали величиной максимально возможного давления γH , а по горизонтали — продолжительностью активного развития сдвижений массива $t_{\text{акт}}$:

$$P(t) = \frac{\gamma H \cdot g \cdot 10^{-3}}{1 + a \cdot \exp \left[-b \left(t + \frac{l_n}{v} - t_{\text{акт}} \right) \right]} \text{ МПа}, \quad (3)$$

где $P(t)$ — величина давления в выработанном пространстве в момент времени t , МПа;

γ — объемная масса пород в массиве, т/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

t — время после прохода лавы, сут;

l_n — шаг первичной посадки кровли, м;

v — средняя скорость подвигания очистного забоя, м/сут;

$t_{\text{акт}}$ — продолжительность активных сдвижений, сут.

Отношение l_n/v переносит начало кривой в точку, соответствующую времени посадки основной кровли, с которого давление начинает умеренно расти. Параметр a определяет месторасположение кривой на временной оси. Его изменение смещает кривую вправо или влево. На крутизну серединной части кривой оказывает влияние значение параметра b .

Параметр a описывается степенной зависимостью

$$a = 0,256 \cdot H^{-0,42} = 0,37/t_{\text{акт}}. \quad (4)$$

Аналогично определяем параметр b :

$$b = 11,05 \cdot H^{-0,84} = 8,08/t_{\text{акт}}. \quad (5)$$

По результатам компрессионных испытаний получены эмпирические зависимости для вычисления модуля деформации при учете литологического состава обрушенных пород, их влажности и исходной пустотности [3]:

– для аргиллита:

$$E_{\text{арг}} = 108 \cdot \exp(0,043P - 6,82V + 0,83W + 0,24PV - 2,54VW + 0,57), \text{ МПа}; \quad (6)$$

– для алевролита:

$$E_{\text{ал}} = 131 \cdot \exp(0,075P - 4,32V + 2,38W + 0,13PV - 7,29VW - 0,22), \text{ МПа}; \quad (7)$$

– для песчаника:

$$E_{\text{псч}} = 172 \cdot \exp(0,003P + 0,36PV - 11,72V + 2,17), \text{ МПа}. \quad (8)$$

Определять величину модуля деформации в заданный момент времени предлагается в соответствии со следующим алгоритмом:

– рассчитывается длительность активного периода оседаний земной поверхности по эмпирической степенной зависимости (1);

– определяется величина давления на почву отработанного пласта в интересующий момент времени (3);

– вычисляется модуль деформации обрванных пород по зависимостям (6), (7) или (8), с учетом их литологического состава, исходной пустотности и влажности. Исходная пустотность пород зависит от их месторасположения в своде обрушения.

В качестве примера рассмотрим, как изменяется модуль деформации мелкодробленого алевролита во времени. Глубину разработки примем 1100 м, шаг посадки кровли — 10 м, а скорость подвигания лавы — 2,4 м/сут. Так как рассматривается пример для мелкодробленой породы, то на основании априорной информации исходную пустотность (V) принимаем 44,7 %. Влажность принимаем на уровне $W=0,1$ %.

Длительность активного периода сдвижения подработанного массива в заданных условиях составит

$$t_{\text{акт}} = 0,73H^{0,84} = 0,73 \cdot 1100^{0,84} = 262 \text{ дня}.$$

Параметры зависимости (3) составят:

$$a = 0,256 \cdot 1100^{-0,42} = 0,0135,$$

$$b = 11,05 \cdot H^{-0,84} = 11,05 \cdot 1100^{-0,84} = 0,031.$$

Величину давления на почву извлеченного пласта в произвольный момент времени после прохода лавы определяем согласно выражению (3):

$$P(t) = \frac{9,81 \cdot 2,5 \cdot 1100 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,0135 \cdot \exp\left[-0,031 \cdot \left(t + \frac{10}{2,4} - 262\right)\right]}.$$

Модуль деформации мелкодробленого алевролита при каждом значении действующей нагрузки (P) рассчитывается по зависимости (7).

В таблице 1 представлены результаты расчетов модуля деформации для рассматриваемого примера, а на рисунке 1 — номограмма по его нахождению.

Таблица 1

Результаты расчета модуля деформации мелкодробленого алевролита для рассматриваемого примера

t , сут	$P(t)$, МПа	$E=f(P, V, W)$, МПа	t , сут	$P(t)$, МПа	$E=f(P, V, W)$, МПа
0	0,6	15	150	19,2	179
10	0,8	16	180	23,3	308
30	1,5	17	210	25,4	408
60	3,6	22	240	26,3	463
90	7,5	38	270	26,7	487
120	13,3	82	–	–	–

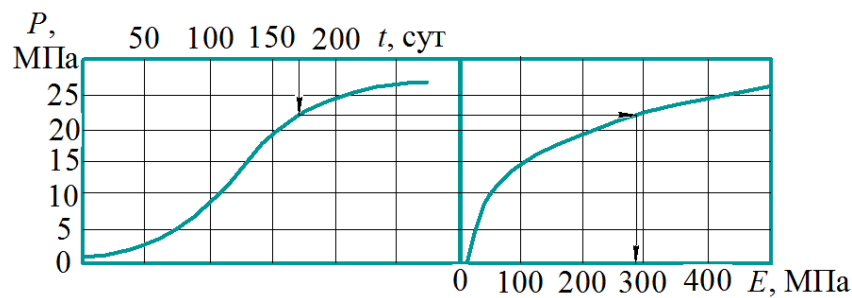


Рисунок 1 Закономерности изменения во времени модуля деформации мелкодробленых обрушенных горных пород на глубине 1100 м

Ключ к номограмме следующий. Пусть с момента обрушения прошло 170 суток. На этот момент времени давление на почву извлеченного пласта составит 22 МПа, а модуль деформации мелкодробленого алевролита достигнет 29 МПа.

Аналогичным образом были построены графики для крупнодробленых обрушенных пород, представленных аргиллитом, алевролитом или песчаником.

Сделаны следующие **выводы**:

– изменение величин $P(t)$ (давления) и E (модуля деформации) взаимозависимо и имеет S-образный характер, происходит в течении периода времени, равного длительности процесса активных сдвижений подработанного массива;

– на S-образной кривой выделяются три этапа. На начальном этапе темп прироста веса отслоившихся пород незначительный; по мере вовлечения в процесс оседания прочих пород изменение давления переходит в

стадию интенсивного роста и, исчерпав возможности роста с достижением земной поверхности, замедляется и стабилизируется;

– параллельно нарастанию давления на почву извлеченного пласта происходит изменение (рост) модуля деформации обрушенных пород. Для мелкодробленых пород модуль деформации изменяется от малых численных значений (9...40 МПа) на первом этапе до 300...400 МПа на этапе интенсивного роста и до 500...520 МПа на этапе стабилизации.

Для крупнодробленых пород он изменяется в зависимости от литологического состава от 60...245 МПа на начальном этапе уплотнения до 400...800 МПа в период интенсивного роста давления $P(t)$ и на этапе стабилизации давления достигает 520...1080 МПа. Чем выше содержание глинистых частиц в породе, тем меньше величина модуля деформации при прочих равных условиях.

Библиографический список

1. Установление времени стабилизации горного давления на почву извлеченного пласта [Текст] / О. Л. Кизияров, О. Г. Доценко, Г. А. Аверин, Н. В. Гришко // Сб. науч. тр. ДонГТИ. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — Вып. 24 (67). — С. 25–32.
2. Dotsenko, O. Pressure variation of caved rocks in mined-out area of face [Text] / O. Dotsenko // School of Underground Mining : 7th international conference. — Dnepropetrovsk : NGU, 2013. — P. 217–221.
3. Доценко, О. Г. Компрессионные испытания обрушенных пород [Текст] / О. Г. Доценко, О. Л. Кизияров, Г. А. Аверин // Сб. науч. тр. ДонГТИ. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. — Вып. 28 (71). — С. 22–29.

© Доценко О. Г.
 © Кизияров О. Л.
 © Аверин Г. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. СГ ДонГТИ Смекалиным Е. С.,
к.т.н., доц., зав. каф. ТП и ОТ СИПИМ ЛГУ им. В. Даля Черниковой С. А.*

Статья поступила в редакцию 06.12.2022.

**PhD in Engineering Dotsenko O. G., PhD in Engineering Kiziyarov O. L., PhD in Engineering
Averin G. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR dotcenkoo@mail.ru)**

**CHANGING PATTERNS OF CAVED ROCKS DEFORMATION MODULUS DURING THE
ACTIVE SHIFTS OF THE UNDERMINED MASSIF**

The article presents the results of a study of changing patterns in the process of compacting the deformation properties of caved rocks. It has been determined that the change in soil pressure of the extracted formation and the deformation module is interdependent and has an s-shaped nature, occurs during a period of time equal to the process duration of the active shifts of the undermined massif.

Key words: *caved rocks, deformation modulus, active shifts of the undermined massif.*