

*к. т. н, доц. Фесенко Э. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ОЖИДАЕМЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

*Запропоновано оцінку економічної ефективності методів прогнозу гірського тиску. Враховано витрати на підвищення стійкості гірничих виробок та їхній ремонт. Розрахунки основані на використанні ймовірності прогнозу й понять помилок прогнозу першого й другого роду.*

Улучшение экономических показателей угольной отрасли в первую очередь связано с проблемой уменьшения себестоимости добываемого угля. Для этого необходимо значительно снизить затраты на ремонт горных выработок, ежегодный размер которых достигает сотен миллионов гривен [1]. Средняя глубина разработки угольных пластов в Донбассе постоянно увеличивается, приближаясь в настоящее время к 800 – 850 м, что приводит к ухудшению условий проведения и поддержания горных выработок. Так, более 40% проводимых выработок ремонтируется еще до сдачи их в эксплуатацию, а половина действующих деформирована. Поэтому при проектировании новых и эксплуатации существующих горных выработок важное значение приобретает использование различных методов прогноза проявлений горного давления (ожидаемых смещений пород кровли, почвы и боков, скоростей этих смещений, их интенсивности с течением времени и т.д.).

Экономический эффект от применения того или иного метода прогноза зависит от его точности, поскольку любая ошибка при прогнозировании может привести к значительным экономическим потерям. Так, при отсутствии или неточности прогноза могут возникать ошибки первого или второго рода. Ошибка первого рода возникает, когда ожидается отсутствие проявлений горного давления, а фактически они происходят. Эта ошибка приводит к необходимости ликвидировать последствия проявлений горного давления (подрывка пород почвы, ремонт крепи или перекрепление выработки, демонтаж, а затем настилка новых рельсовых путей, переустановка конвейеров и т.д.). Ошибка второго рода появляется, если применяют излишние способы повышения устойчивости выработок в условиях, где нет опасных проявлений горного давления, что приводит к неоправданным затратам средств на борьбу с несуществующей опасностью. Использование достоверных методов про-

гноза при строительстве и эксплуатации горных выработок устраняет ошибки проектирования первого и второго рода, даёт возможность своевременно и рационально применять способы борьбы с различными проявлениями горного давления и избегать их там, где они не нужны.

В настоящее время в основном разработаны и используются методики расчета фактического экономического эффекта, когда оценивают и сравнивают между собой различные способы предотвращения проявлений горного давления, а не методы его прогноза. Однако на стадии проектирования выработок, когда еще не известны фактические масштабы проявлений горного давления, представляет интерес оценка эффективности применения именно метода прогноза с учетом точности, которую данный метод может обеспечить. Применение теории распознающих систем для прогнозирования различных проявлений горного давления впервые предложено Р.А. Фрумкиным [2]. В работе [3] предложенная методика использована для прогнозирования смещений кровли очистных выработок, когда с помощью прогностических таблиц принимаются решения по выбору рациональных параметров крепей для различных горно-геологических и горнотехнических условий. В данном случае при расчете эффективности применения методики прогноза стоимостью ошибок второго рода, а также стоимостью правильно принятых решений можно пренебречь [3], хотя в общем случае прогнозирования проявлений горного давления это не всегда справедливо. Кроме того, в этом случае не видно, на сколько возрастает эффективность той или иной методики прогноза при повышении ее точности.

В связи с этим, цель исследований – разработка методики определения ожидаемого экономического эффекта при использовании различных методов прогноза горного давления с учетом их точности и достоверности. Задачи исследований – определение вероятности проявлений горного давления в различных горно-геологических условиях и величины возможной ошибки при расчете этой вероятности, численная оценка эффективности прогноза в зависимости от затрат на способы борьбы с горным давлением, мероприятия по ликвидации последствий его проявлений.

Разработку методики рассмотрим на примере метода прогноза пучения почвы, разработанного в ДонГТУ [4 – 6]. Метод позволяет с достаточной высокой степенью достоверности (ошибка 9 – 12 %) рассчитать вероятность и величину поднятия пород почвы в пластовых подготовительных выработках для различных горно-геологических и горнотехнических условий.

На первом этапе проанализируем случай, когда прогноз пучения почвы не сделан, т.е. проектировщик или производитель в среднем

(отвлекаясь от субъективных и внепроизводственных факторов) с равной степенью вероятности  $P=50\%$  может принять решение – планировать в данной выработке мероприятия по предотвращению пучения или нет. При этом фактически пучение может проявиться, а может отсутствовать. Таким образом, принятое решение может совпасть с реальным проявлением пучения, либо оказаться ошибочным. Оценим эффективность  $\mathcal{E}$  принимаемых решений для каждого из возможных случаев (табл. 1).

Таблица 1 – Эффективность  $\mathcal{E}$  принятия решений при отсутствии прогноза пучения почвы

принимаемое решение \ пучение фактическое	$P_{\text{п}} = 0$ (способы предотвращения не планируются)	$P_{\text{п}} = 1$ (способы предотвращения планируются)
$P_{\text{ф}} = 1$ (пучение есть)	1 $\mathcal{Z}_c - \mathcal{Z}_n$	2 $\mathcal{Z}_n - \mathcal{Z}_c$
$P_{\text{ф}} = 0$ (пучения нет)	3 $\mathcal{Z}_c$	4 $-\mathcal{Z}_c$

где  $\mathcal{Z}_c$  – затраты на средства борьбы с пучением;

$\mathcal{Z}_n$  – затраты на ликвидацию последствий пучения.

**Случай 1 – ошибка первого рода.** Применять способы предотвращения пучения не планировалось, а фактически пучение в выработке проявилось. Следовательно, возникнет необходимость ликвидации последствий пучения  $\mathcal{Z}_n$  (подрывка пород почвы, перестилка рельсовых путей, конвейеров и т.д.), однако исключены затраты на мероприятия по предотвращению пучения  $\mathcal{Z}_c$ . Эффективность решения в этом случае:  $\mathcal{E} = \mathcal{Z}_c - \mathcal{Z}_n$ . Поскольку всегда  $\mathcal{Z}_n > \mathcal{Z}_c$ , то возникнут убытки  $\mathcal{E} < 0$ .

**Случай 2 – правильное решение,** а именно, о применении способов предотвращения пучения, что совпало с реальным проявлением горного давления в выработке. Тогда  $\mathcal{E} = \mathcal{Z}_n - \mathcal{Z}_c$ , т.е. имели место затраты  $\mathcal{Z}_c$  на мероприятия по предотвращению пучения, однако удалось избежать затрат  $\mathcal{Z}_n$ , связанных с ликвидацией его последствий. Поскольку  $\mathcal{Z}_n > \mathcal{Z}_c$ , то в случае 2 будет экономия средств  $\mathcal{E} > 0$ .

**Случай 3 – правильное решение,** когда предотвращение пучения не планировалось и пучения в выработке действительно нет. Эффектив-

ность решения в том, что были исключены затраты  $Z_c$  на средства борьбы с пучением.  $\mathcal{E} = Z_c$ .

**Случай 4 – ошибка второго рода**, когда предусмотрены мероприятия по предотвращению пучения при его фактическом отсутствии. В этом случае возникли убытки в размере затрат  $Z_c$ , т.е.  $\mathcal{E} = -Z_c$ .

При отсутствии геомеханического прогноза в среднем эффективность принятия решений будет равна нулю для обоих случаев фактического проявления пучения ( $P_\phi = 1$  или  $P_\phi = 0$ ), поскольку вероятность принятия того или иного решения одинакова и составляет 50 % (см. табл. 1), так:

$$P_\phi = 1 \rightarrow \mathcal{E} = (Z_c - Z_n)/2 + (Z_n - Z_c)/2 = 0;$$

$$P_\phi = 0 \rightarrow \mathcal{E} = Z_c/2 - Z_c/2 = 0.$$

В качестве альтернативы рассмотрим ситуацию, когда прогноз пучения абсолютно достоверный, т.е. заранее благодаря идеальному геомеханическому прогнозу точно известно, будет в выработке пучение почвы или нет. Эффективность  $\mathcal{E}$  принимаемых решений составит (табл. 2):

Таблица 2 – Эффективность  $\mathcal{E}$  принятия решений при абсолютно достоверном прогнозе пучения почвы

<div style="text-align: center;">принимаемое решение</div> <div style="text-align: center;">пучение фактическое</div>	<div style="text-align: center;"><math>P_\pi = 0</math></div> <div style="text-align: center;">(способы предотвращения не планируются)</div>	<div style="text-align: center;"><math>P_\pi = 1</math></div> <div style="text-align: center;">(способы предотвращения планируются)</div>
<div style="text-align: center;"><math>P_\phi = 1</math></div> <div style="text-align: center;">(пучение есть)</div>	1 <b>случай невозможен</b>	2 $Z_n - Z_c$
<div style="text-align: center;"><math>P_\phi = 0</math></div> <div style="text-align: center;">(пучения нет)</div>	3 $Z_c$	4 <b>случай невозможен</b>

Как видно из табл. 2, при абсолютно достоверном прогнозе случаи 1, 4 невозможны, а эффективность случаев 2, 3 остается прежней (см. табл. 1).

Если вероятность того, что пучение в данной выработке произойдет, составляет  $P_\delta$ , то в среднем эффективность решений для абсолютно точного прогноза составит (см. табл. 2):

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= (Z_n - Z_c) \cdot P_\delta + Z_c \cdot (1 - P_\delta) \text{ или} \\ \mathcal{E} &= Z_n \cdot P_\delta - Z_c \cdot (2P_\delta - 1) \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, экономическая эффективность  $\mathcal{E}$  прогноза увеличивается с повышением его точности. При отсутствии прогноза  $\mathcal{E} = 0$ , для абсолютно точного прогноза  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{max}$ .

Обычно точность любого метода прогноза меньше единицы, поэтому его эффективность будет находиться в пределах  $0 \leq \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_{max}$ . Прогноз пучения почвы позволяет рассчитать вероятность  $P_p$  этого события для различных горно-геологических условий. При расчетах может возникнуть ошибка, равная:

$$\Delta \varepsilon = |P_\delta - P_p|; \quad (2)$$

где  $\Delta \varepsilon$  – ошибка расчета вероятности пучения;

$P_\delta$  – действительное (точное) значение вероятности пучения;

$P_p$  – расчетное значение вероятности пучения.

При расчете ожидаемого экономического эффекта использование в формуле (1) значения  $P_p$  вместо  $P_\delta$  приведет к тому, что значение  $\mathcal{E}$  может быть рассчитано с ошибкой. Величина ошибки  $\Delta \mathcal{E}$  составит:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \mathcal{E}_d - \mathcal{E}_p; \\ \Delta \mathcal{E} &= (Z_n \cdot P_\delta - Z_c \cdot (2P_\delta - 1)) - (Z_n \cdot P_p - Z_c \cdot (2P_p - 1)); \end{aligned} \quad (3)$$

Заменив в выражении (3)  $P_\delta$  на  $\Delta \varepsilon + P_p$ , раскрыв скобки и сделав преобразования, получим:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \varepsilon (Z_n - 2 \cdot Z_c); \quad (4)$$

Ошибка  $\Delta \varepsilon$  может привести к завышению или занижению истинного значения вероятности  $P_\delta$ . Поэтому значение ожидаемого экономического эффекта  $\mathcal{E}$  с учетом возможной ошибки составит:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_p - \Delta \mathcal{E}; \text{ или}$$

$$\mathcal{E} = Z_n \cdot P_p - Z_c \cdot (2P_p - 1) - \Delta\varepsilon (Z_n - 2 \cdot Z_c); \quad (5)$$

**Пример.**

Оценим эффективность применения прогноза пучения почвы для следующих условий проведения выработки: 34-й западный конвейерный штрек ш. "Суходольская-Восточная" находится на глубине 820 м, охраняется по схеме «бутовая полоса – массив», в почве залегает алевролит мощностью  $m_n = 3$  м, прочностью  $\sigma_{сжс} = 60$  МПа, мощность угольного пласта  $m_y = 0,75$  м, угол падения пород  $\alpha = 5^0$ , ширина выработки  $2a = 5$  м. В качестве мер предотвращения пучения рекомендуется способ, разработанный в ДонГТУ, – активная разгрузка и последующее упрочнение пород почвы (АРПУ). Расчет ведем на 1 п.м. выработки.

Расчетная вероятность пучения почвы в данной выработке составит [4 – 6]  $P_p = 0,57$ , величина поднятия пород почвы  $U = 1,0$  м. Возможная ошибка прогноза  $\Delta\varepsilon = 12\%$  или в абсолютном значении расчетной вероятности  $\Delta\varepsilon = 0,07$ . Рассчитаем затраты на средства борьбы с пучением почвы  $Z_c$  и на ликвидацию последствий пучения  $Z_n$ .

$$Z_c = V_{АРПУ} \cdot c_{АРПУ} = 1,0 \cdot 400 = 400 \text{ грн};$$

где  $V_{АРПУ}$  – объем работ по применению способа АРПУ (ДонГТУ) [7];  
 $c_{АРПУ}$  – стоимость работ по применению способа АРПУ, грн.

$$Z_n = V_{подр} \cdot c_{подр} + V_{дем.р} \cdot c_{дем.р} + V_{наст.р} \cdot c_{наст.р} + V_{пер} \cdot c_{пер}$$

$V_{подр}$ ,  $V_{дем.р}$ ,  $V_{наст.р}$ ,  $V_{пер}$ , – соответственно объем работ по подрывке почвы; демонтажированию, настилке рельсовых путей; перекреплению выработки;

$c_{подр}$ ,  $c_{дем.р}$ ,  $c_{наст.р}$ ,  $c_{пер}$ , – стоимости единицы объема работ по подрывке почвы; демонтажированию, настилке рельсовых путей; перекреплению выработки, грн.

Объем пород при одной подрывке:

$$V_{подр} = U \cdot 2a = 1,0 \cdot 5,0 = 5 \text{ м}^3,$$

где  $U$  – прогнозируемая величина пучения,  $U = 1,0$  м;

$2a$  – ширина выработки,  $2a = 5,0$  м.

Объем работ по демонтажированию старых и настилке новых рельсовых путей:

$$V_{дем.р} = n = 2 \text{ м};$$

$$V_{наст.р} = n = 2 \text{ м},$$

где  $n$  – количество рельсовых путей в сечении выработки.  
Объем работ по перекреплению выработки:

$$V_{пер} = n_{кр} = 1 \text{ рама},$$

где  $n_{кр}$  – плотность установки крепи, рам/м.

Тогда  $Z_n = 5 \cdot 150 + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 60 + 1 \cdot 500 = 1430 \text{ грн}$

Ожидаемый экономический эффект для данной выработки составит:

$$\mathcal{E} = Z_n \cdot P_p - Z_c \cdot (2P_p - 1) - \Delta\epsilon (Z_n - 2 \cdot Z_c)$$

$$\mathcal{E} = 1430 \cdot 0,57 - 400 \cdot (2 \cdot 0,57 - 1) - 0,07(1430 - 2 \cdot 400)$$

$$\mathcal{E} = 759 - 44 = 715 \text{ грн}$$

Таким образом, предложенная методика оценки ожидаемого экономического эффекта при прогнозе пучения почвы позволяет ориентировочно рассчитать эффект в различных горно-геологических условиях с учетом возможной ошибки прогноза. Разработанная методика не ограничена лишь прогнозированием пучения почвы горных выработок, а может быть распространена на иные методы прогноза горного давления, в которых рассчитывается вероятность и интенсивность его проявления (ожидаемые смещения пород, объемы вывалов, выбросов и т.д.).

*Предложена оценка экономической эффективности методов прогноза горного давления. Учтены затраты на повышение устойчивости горных выработок и их ремонт. Расчеты основаны на использовании вероятности прогноза и понятий ошибок прогноза первого и второго рода.*

*The estimation of economic efficiency of methods of the forecast of mountain pressure is offered. Expenses for increase of stability of developments and their repair are taken into account. Calculations are based on use of probability of the forecast and concepts of mistakes of the forecast of the first and second sort.*

#### **Библиографический список.**

1. Мизин В.А., Сытник А.В., Нагорный А.В. Творческое сотрудничество института, завода и шахты – залог успеха // Уголь Украины. – 2003. - №8. – С. 43-44.

2. Фрумкин Р.А. Методика прогнозирования процессов со многими параметрами и ее приложение в горном деле // Уголь. – 1973. - №1.

3. Рогозян Н.С. Прогнозирование смещений кровли очистных выработок пологих пластов Донбасса для выбора рациональных параметров крепи: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02. – Коммунарск, 1975. – 167 с.

4. Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В. Вероятность и величина пучения почвы горных выработок // Современные проблемы шахтного и подземного строительства: Материалы международного научно-практического симпозиума. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – Вып. 5. – С. 118 – 130.

5. Litvinsky Garry G. Engineering method for predicting footwall heave in mine workings / Garry G. Litvinsky, Eduard V. Fesenko // Technical, technological and economic aspects of thin-seams coal mining: International mining forum 2007. – London, 2007. – P. 67 – 74.

6. Фесенко Э.В. Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2005. – 177 с.

7. Литвинский Г.Г., Бабиюк Г.В., Быков В.А. Эффективные способы предотвращения пучения пород в шахтах/ Обзорная информация. – М.: ЦНИЭИУголь, 1985. – 48 с.