

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗАТЯЖЕК ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ПРОЧНОСТНЫЕ И СТОИМОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ**

Наведено результати аналітичних розрахунків по оптимізації конструктивних параметрів склопластикових затяжек гірничих виробок і лабораторних випробувань експериментальних зразків

**THE DESIGN PARAMETERS OF LAGGING MINE WORKING FROM
GLASS PLASTIC, STRENGTH AND VALUE**

The results of analytical calculations to optimize the design parameters of glass plastic lagging mine working and laboratory testing experimental samples

Важными элементами крепления очистных выработок является верхняк, а подготовительных – затяжка. Затяжка служит, в основном, для предохранения рабочего пространства от вывалов кусков пород кровли.

В качестве материала шахтного крепежа традиционно применяется древесина, проверенная многолетней практикой, легко подвергающаяся механической обработке и являющаяся до настоящего времени наиболее дешевым материалом для этих целей. В связи с нарушением экономических связей между бывшими республиками (основным поставщиком леса являлась Россия), в Украине возникли трудности с обеспечением действующих шахт крепежной древесиной.

Для затяжки подготовительных выработок применяется также металл и бетон. Основными недостатками элементов крепления из металла и бетона являются значительный вес конструкций, приводящий к трудностям в процессе их установки и демонтажа и высокая стоимость изделий. Кроме того, бетонные плиты не выдерживают значительных деформаций, а сетчатая металлическая затяжка – допускает просыпание мелких кусков породы в выработку.

В последнее время, как в Украине, так и за рубежом [1, 2] осуществляются исследования по использованию в горной промышленности, в качестве материала для шахтного крепежа, различных марок стеклопластика. Данный материал обладает сравнительно небольшой плотностью, высокой химической стойкостью к действию кислот, щелочей и агрессивной шахтной среды, хорошей износостойкостью и низким коэффициентом трения, хорошими электроизоляционными и механическими свойствами и имеет перспективу стать незаменимым в данной области применения.

Широкое применение стеклопластиковых затяжек сдерживается относительно высокой стоимостью данного материала. Этот недостаток компенсируется значительным, по сравнению с деревянным крепежом, увеличением срока его службы. Кроме того, удешевление затяжек из стеклопластика возможно за счет экономии сырья путем оптимизации их конструкции.

Целью данной работы является создание затяжки подготовительных горных выработок из пластиковых материалов с полной заменой леса и металла.

В соответствии с поставленной целью, на данном этапе работы решались следующие задачи:

- осуществлен обзор и анализ элементов крепления подготовительных выработок с использованием пластиковых материалов;
- проведены аналитические расчеты рациональной формы затяжек из стеклопластика;
- изготовлена экспериментальная партия затяжек;
- проведены лабораторные испытания затяжек из стеклопластика.

Исследованиями установлено, что важнейшими конструктивными составляющими стеклопластиковых затяжек, определяющими их прочностные, деформационные и стоимостные показатели, являются тип материала стекловолокна и связующего, а также форма затяжки. В результате лабораторных испытаний образцов затяжек на физико-механические свойства [3] рекомендовано в качестве исходных компонентов стеклопластиков использовать материалы, производство которых освоено предприятиями Украины, основными из которых являются: стеклоткань Т-10 (нитепрошивное волокно), полотно однонаправленное марки НПО-400, полотно иглопробивное стеклянное ИПС-Т, а также связующее – лак бакелитовый ЛБС-20. Испытаниям подвергались гибридные стеклопластики на основе стекловолокон НПО-400 и ИПС, отличающихся повышенной прочностью при низкой стоимости.

Расчет вариантов и выбор конструктивных параметров затяжек осуществлен для 5-ти разнообразных форм: прямоугольной, коробчатой, волнообразной, складчатой с прямоугольной и трапециидальной формой профиля.

Теоретический расчет прочностных характеристик затяжек прямоугольной и коробчатой форм показал, что для достижения заданной несущей способности – не менее 4 кН, необходим большой расход материалов, что значительно увеличивает их стоимость.

Основными расчетными показателями волновой затяжки (рис. 1) являются геометрический момент инерции, критическое давление потери устойчивости, а также величина прогиба затяжки.

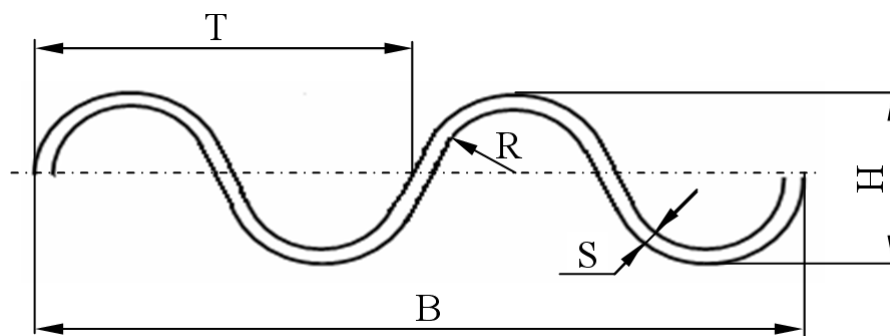
Геометрический момент инерции участка затяжки шириной Т вычисляется по формуле:

$$I_T = 0,25\pi((R + S)^4 - R^4) \quad (1)$$

Критическое давление потери устойчивости, при котором затяжка исчерпывает несущую способность, определяется из выражения:

$$q_{кр.} = 0,46 \frac{E \cdot S^{5/2}}{R^{3/2}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала затяжки, Па



Г – длина волны поперечного сечения затяжки, м;
 В – ширина затяжки, м;
 Н – высота поперечного сечения затяжки, м;
 R – радиус изгиба, м;
 S – толщина затяжки, м

Рис. 1 Форма поперечного сечения волновой затяжки

Величина прогиба затяжки определяется по формуле:

$$W_s = \frac{P_p \cdot l^3}{48EI_T}, \quad (3)$$

где P_p – расчетная нагрузка по центру затяжки;

l – расстояние между опорами (рамами арочной крепи), м.

Складчатая затяжка представлена на рис. 2.

Геометрический момент инерции сечения вычисляется по формуле:

$$I = \left[I_w + S_w \cdot H_w \left(\frac{H}{2} - y_{ц.м.} \right)^2 \right] \cdot N_w + \left[\frac{A \cdot S_G^3}{12} + A \cdot S_G \left(y_{ц.м.} - \frac{S_G}{2} \right)^2 \right] \cdot N_s + \left[\frac{C \cdot S_G^3}{12} + C \cdot S_G \left(H - y_{ц.м.} - \frac{S_G}{2} \right)^2 \right] \cdot N_R, \quad (4)$$

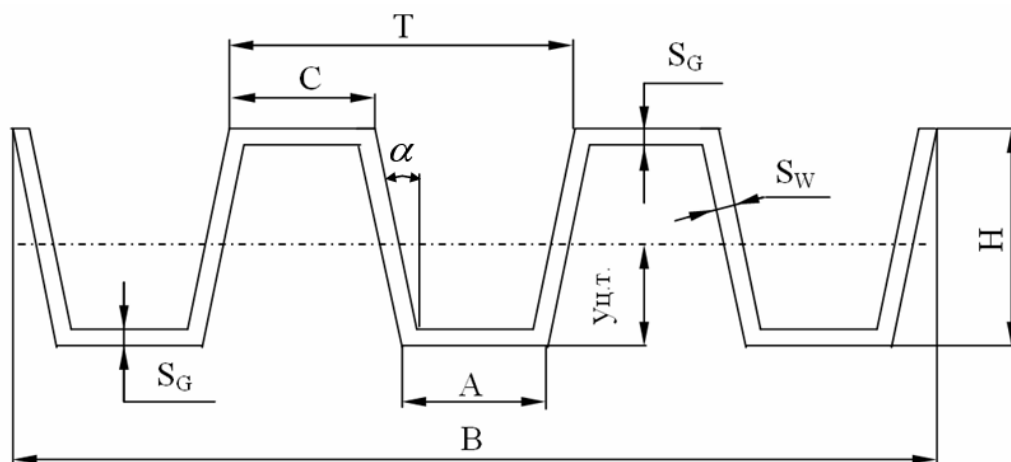
где I_w – геометрический момент инерции вертикальной полки относительно горизонтальной оси, м⁴;

H_w – длина вертикальной полки, м;

N_s – количество горизонтальных полок в сжатой зоне, м;

N_R – количество горизонтальных полок в растянутой зоне, м;

N_w – количество вертикальных полок.



T – длина волны поперечного сечения затяжки, м;
 H – высота поперечного сечения затяжки, м;
 B – ширина затяжки, м;
 C – ширина верхней горизонтальной полки затяжки, м;
 A – ширина нижней горизонтальной полки затяжки, м;
 S_G – толщина горизонтальной полки затяжки, м;
 S_W – толщина вертикальной полки затяжки, м;
 $y_{ц.т.}$ – координата центра тяжести сечения, м
 Рис. 2 – Форма поперечного сечения складчатой затяжки

Критическое напряжение потери устойчивости вертикальной полки от изгиба вычисляется с допущением в запас прочности, что отношение действующих напряжений сжатия и растяжения равно единице:

$$\sigma_{кр.}^u = k \cdot \frac{E_W \cdot S_W^2}{H^2}, \quad (5)$$

где $k = 22$ – коэффициент устойчивости полки при изгибе.

Критическое напряжение потери устойчивости вертикальной полки от сжатия вычисляем по формуле:

$$\sigma_{кр.}^{сж.} = k_1 \cdot \frac{E_W \cdot S_W^2}{H^2} \quad (6)$$

Здесь в запас устойчивости принято предположение о шарнирном опирании пластинки, а $k_1 = 3,6$ – коэффициент устойчивости полки при сжатии.

Величина прогиба затяжки определяется по формуле (3).

Критерием массовой, а значит и стоимостной эффективности затяжки принята величина отношения геометрического момента инерции к площади поперечного сечения I/S . Зависимость критерия стоимостной эффективности от выше указанных конструктивных параметров затяжки показана на рис. 3.

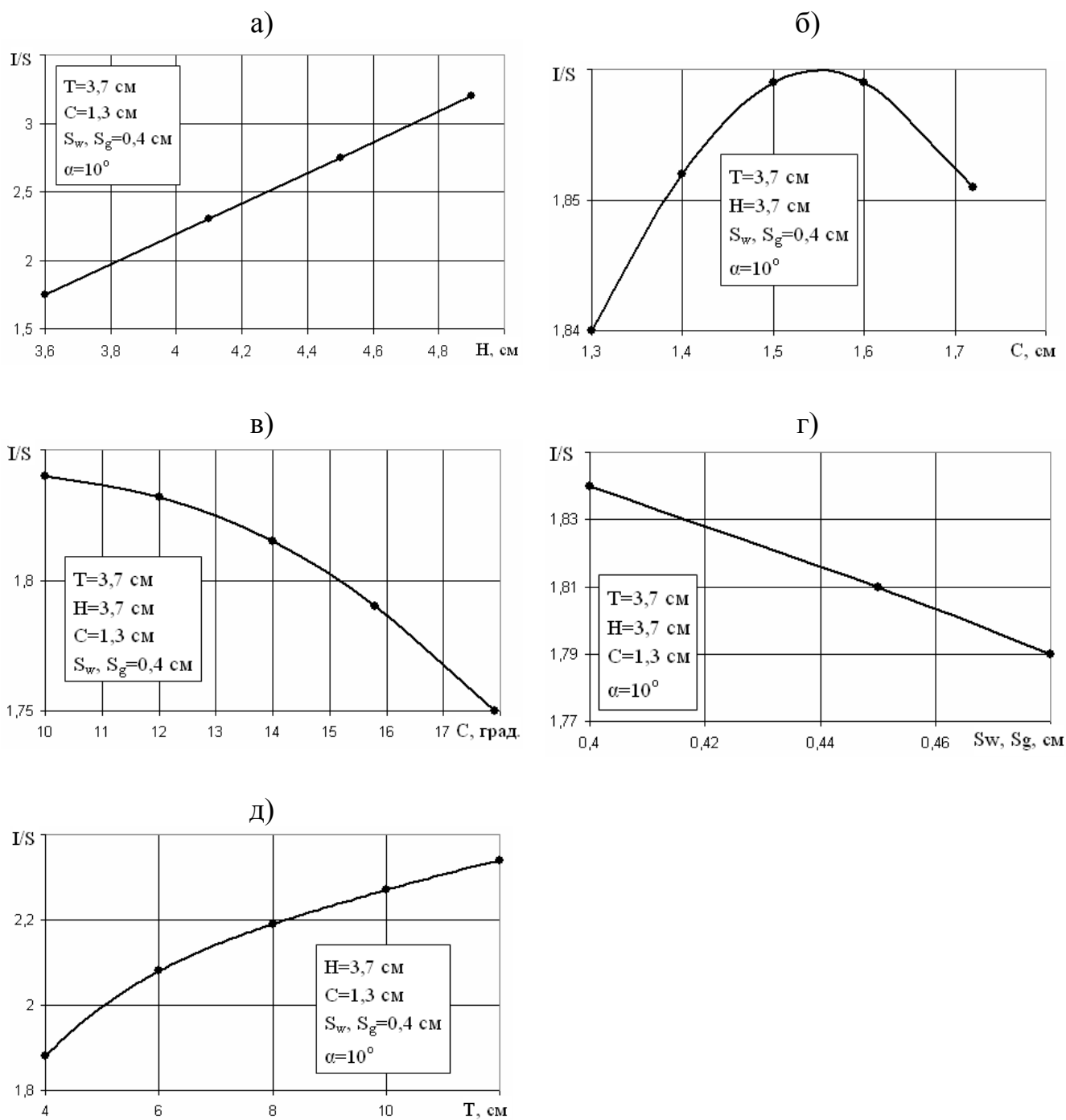


Рис. 3 – Зависимость критерия стоимостной эффективности от конструктивных параметров затяжки

Из расчетов и анализа графиков следует, что:

- отношение I/S прямо пропорционально высоте сечения H и обратно пропорционально толщине полок S_w и S_g (рис. 3, а и 3, г);
- величина соотношения I/S достигает максимального значения при равной ширине верхней и нижней горизонтальных полок затяжки $C=A$;
- чем меньше угол наклона полки α , тем выше значение I/S (рис. 3, в);

– отношение I/S увеличивается с увеличением длины волны поперечного сечения затяжки T (рис. 3, д) и эта зависимость не является линейной.

Таким образом, варьируя толщиной полки и длиной волны поперечного сечения затяжки, можно определить рациональные стоимостные показатели затяжки при заданных прочностных и деформационных параметрах.

Угол наклона вертикальной полки α выбираем минимальным, который диктуется технологическими соображениями – 10^0 . Высоту поперечного сечения затяжки H выбираем максимально допустимой по ТЗ – 50 мм.

На основании проведенных аналитических расчетов были изготовлены и испытаны в лабораторных условиях образцы складчатой затяжки, механические характеристики которых показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Механические характеристики экспериментальных образцов складчатой затяжки

$\sigma_{изг.} \times 10^{-7}$, Па	$E_{изг.} \times 10^{-10}$, Па	$\sigma_{расч.} \times 10^{-7}$, Па	$E_{расч.} \times 10^{-10}$, Па	$\sigma_{сж.} \times 10^{-7}$, Па
$23,4 \pm 6 \%$	$1,71 \pm 10 \%$	$34,5 \pm 8 \%$	$2,49 \pm 5 \%$	$9,6 \pm 6 \%$

Испытания проводились по трехточечной схеме на базе 900 мм. Сравнение результатов экспериментальных исследований с расчетными данными показано в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение расчетных показателей основных параметров складчатой затяжки с данными лабораторных испытаний

Наименование показателей	Расчетные	Экспериментальные	Погрешность, %
1. Разрушающая нагрузка, $R_{разр.}$, кгс	606	641	5,6
2. Максимальный прогиб, W_{max} , мм	21,3	22,9	6,9
3. Предел прочности при изгибе, $\sigma_{изг.} \times 10^5$, Па	326	346	6,0

Таким образом, погрешность лабораторных и расчетных показателей не превышает 7 %, что является вполне приемлемым, учитывая обычный для композитных материалов разброс механических характеристик – 15-20 %.

Обозначив коэффициент запаса затяжки по сжимающему напряжению через K_1 , а по сдвигу – через K_2 и используя в расчетах характеристики материала, из которого были изготовлены экспериментальные образцы затяжек (табл. 1), получаем зависимости, показанные на рис. 4.

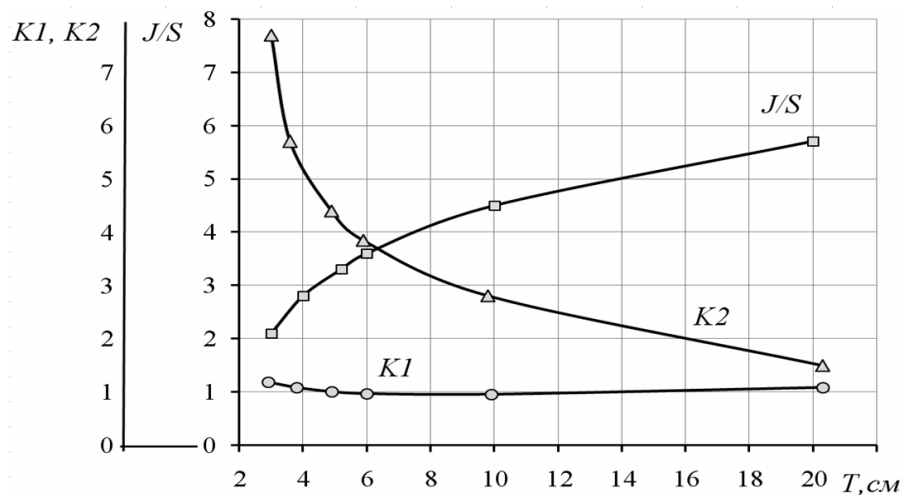


Рис. 4 – Зависимость критерия стоимостной эффективности I/S и коэффициентов запаса затяжки по сжимающему напряжению K_1 и по сдвигу K_2 от длины волны поперечного сечения затяжки T

Анализ результатов расчетов позволяет сделать вывод, что рациональными параметрами для затяжки, имеющей механические характеристики, показанные в табл. 1, являются:

1) для затяжки шириной 200 мм, предназначенной для укладки в зонах максимальной кривизны выработки:

- высота поперечного сечения затяжки $H=50$ мм,
- длина волны поперечного сечения затяжки $T=50$ мм,
- толщина горизонтальной и вертикальной полок затяжки $S_G=S_W=3$ мм,
- коэффициент запаса затяжки по сжимающему напряжению $K_1=1,14$,
- критерий стоимостной эффективности затяжки $I/S=3,63$;

2) для затяжки шириной 1000 мм, предназначенной для укладки в пологих зонах контура выработки:

- высота поперечного сечения затяжки $H=50$ мм,
- длина волны поперечного сечения затяжки $T=100$ мм,
- толщина горизонтальной и вертикальной полок затяжки $S_G=S_W=3$ мм,
- коэффициент запаса затяжки по сжимающему напряжению $K_1=1,04$,
- критерий стоимостной эффективности затяжки $I/S=4,30$.

Таким образом, разработанная методика расчета напряжений, прогибов, массы и стоимости основных материалов стеклопластиковых затяжек позволяет оптимизировать стоимостные показатели затяжки при заданных прочностных и деформационных параметрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заславский, Ю.З. Новые виды крепи горных выработок / Ю.З. Заславский, Е.Б. Дружко – М.: Недра, 1989.
2. Балбачан, Я.И. Шахтная крепь из высокопрочных стеклопластиков / Я.И. Балбачан – М.: Недра, 1962.
3. Курносов, С.А. Оптимизация состава стеклопластиковых материалов для изготовления затяжек горных выработок / С.А. Курносов, И.Н. Слащев // Збірник наукових праць НГУ № 33, Том 1. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2009. – С. 103-110.