

УДК 622.281.5-4

Д.Н. Макшанкин, Р.Р. Зайнулин, А.В. Ремезов

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В настоящее время значительная часть горных выработок на шахтах России в связи с длительным сроком службы и определенных горно-геологических условий крепится металлической рамной крепью, изготовленной из специального спецпрофиля СВП (рис. 1), который наряду с положительными качествами имеет и ряд существенных недостатков, выявленных при эксплуатации таких крепей.

1. При высокой нагрузке на верхняк арочной

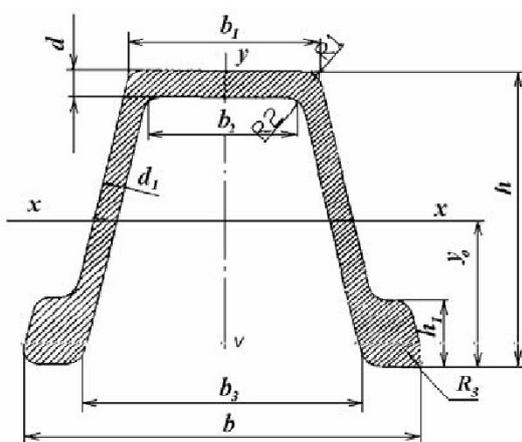


Рис. 1. Специальный взаимозаменяемый  
профиль СВП

крепи часто расширяются верхние концы стоек и профиль верхняка проваливается в профиль стойки.

2. Малые радиусы закруглений на сопряжениях днища и стенок профиля вызывают консистенцию касательных напряжений в этих местах, что в сочетании с вышеуказанным явлением способствует отрыву днища.

3. Металлическая крепь из СВП теряет несущую способность из-за недостаточной сопротивляемости усилиям скручивания.

4. Конфигурация специального профиля не обеспечивает плотного контакта соединяемых элементов по всему контуру поперечного сечения (фланцам, стенкам, днищу).

5. Рамные крепи из СВП, в связи со значительной высотой профиля, создают высокие аэродинамические сопротивления вентиляционной струе и повышают общешахтную депрессию.

6. Относительно большая высота специального профиля требует выемки дополнительного объема горной массы для обеспечения нужного поперечного сечения горной выработки в свету ( $S_{св}$ ) при установке крепи (14-20%).

7. Значительная высота спецпрофиля и незначительная его ширина делают крепи, изготовленные из СВП, неустойчивыми при воздействии касательных напряжений в силу малой площади соприкосновения крепи с кровлей и боками горной выработки, т.е. уменьшают геомеханические способности крепи по созданию устойчивого поддержания кровли и бортов.

8. За счет значительного веса СВП в себестоимости проведения 1 п.м горной выработки стоимость самого металлического крепления составляет 15-20%.

9. Установлено, что повышение несущей способности спецпрофиля за счет увеличения момента сопротивления изгибу в плоскости крепи не дает ощутимого эффекта и приводит к неоправданному увеличению расхода металла.

Учитывая перечисленное выше, следует отметить, что геометрические параметры сечения указанных профилей СВП нельзя считать идеальными и окончательными. Таким образом, совершенствовать основные характеристики металлических крепей горных выработок можно параллельно с совершенствованием основных параметров специального профиля СВП.

**Цель исследования.** Определить геометрические параметры аналогов шахтных специальных профилей, по технологическим свойствам не уступающими применяемым профилям, но с улучшенными характеристиками.

Для решения поставленной задачи мы используем следующий подход.

Сначала применим метод линейной

Таблица 1. Геометрические параметры специального профиля СВП

СВП	$W_x$	$W_y$	$F$	$h$	$h_1$	$b$	$b_1$	$d$	$d_1$
СВП-14	40,7	46,1	18,7	88,0	21,0	121,0	55,0	7,8	5,4
СВП-17	50,3	57,9	21,73	94,0	23,0	131,5	60,0	8,5	5,7
СВП-19	61,3	67,0	24,44	102,0	24,0	136,0	60,0	9,5	6,0
СВП-22	74,8	77,8	27,91	110,0	25,6	145,5	60,0	11,0	6,2
СВП-27	100,2	110,5	34,37	123,0	29,0	149,5	59,5	13,0	7,1
СВП-33	138,5	148,0	42,51	137,0	32,0	166,0	66,0	14,5	7,9

оптимизации, чтобы простым подбором геометрических параметров добиться уменьшения высоты профиля, не изменяя характеристик жесткости, момента сопротивления и т.д.

Так как нам известны условия работы крепи и элементов ее составляющих, путем изменения толщины профиля и смещения центра оси  $x$  относительно оси  $y$  попробуем добиться необходимого результата.

Путем точного расчета геометрических параметров определим размеры нового профиля - точнее, всего параметрического ряда профиля ШП.

**План проведения исследования**

1. Рассматриваем момент сопротивления  $W_x$  и  $W_y$  как функции геометрических параметров:

$$W_x = f(b, b_1, d, h, h_1)$$

$$W_y = f(b, b_1, d, h, h_1).$$

2. Решаем полученное уравнение, преобразованное к каноническому виду, относительно  $h$

$$A \cdot h^4 + B \cdot h^3 + C \cdot h^2 + D \cdot h + E = 0.$$

3. Строим трехмерный график полученного решения с осями  $b_1$  и  $b$  относительно  $h$ .

4. Определяем геометрические размеры нового спецпрофиля с улучшенными аэродинамическими параметрами  $b$  и  $b_1$ , минимизируя  $h$  для типоразмерного ряда СВП ( $d$ ).

Исходные данные приведены в табл. 1.

**Исходные формулы и обозначения**

Площадь поперечного сечения профиля, см<sup>2</sup>

$$F = F_1 + F_2 + F_3,$$

где  $F_1, F_2, F_3$  – площади отдельных сегментов профиля:

$$F_1 = b_1 \cdot d,$$

$$F_2 = [(h - h_1 - d) \cdot d_1] \cdot 2,$$

$$F_3 = (b - b_1) \cdot h_1;$$

$y_o, \tilde{y}_o$  – координаты крайних точек относительно осей  $X$  и  $Y$  ( $\tilde{y}_o = h - y_o$ );

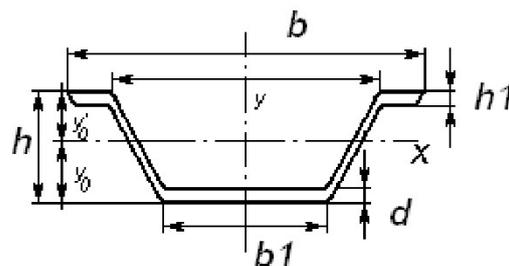


Рис.2. Расчетная схема

$J_x = J_{x_1} + J_{x_2} + J_{x_3}$  – момент инерции профиля относительно оси  $X$ , см<sup>4</sup>;

моменты инерции отдельных сегментов

$$J_{x_1} = \frac{b_1 \cdot d^3}{12} + F_1 \cdot \left(y_o - \frac{d}{2}\right)^2,$$

$$J_{x_2} = \frac{d_1 \cdot (h - h_1 - d)^3}{6} + F_2 \cdot (\tilde{y}_o - y_o)^2,$$

$$J_{x_3} = \frac{(b - b_2) \cdot h_1^3}{12} + F_3 \cdot \left[\frac{(\tilde{y}_o - h_1)}{2}\right]^2;$$

момент инерции профиля относительно оси  $y$ , см<sup>4</sup>

$$J_y = \frac{b^3 \cdot h - (h - d)(b - 2d_1)^2}{12};$$

момент сопротивления профиля относительно оси  $X$  для верхних волокон

$$W_{x_6} = \frac{J_x}{y_o};$$

момент сопротивления профиля относительно оси  $y$

$$W_{y_6} = \frac{J_y}{6 \cdot b}.$$

**Порядок проведения исследования**

Вводим обозначения:

-  $k_1$  – коэффициент, связывающий  $d$  и  $d_1$  (определяется для каждого типа профиля);

-  $k_3$  – коэффициент, учитывающий смещение центра оси  $x$  относительно оси  $y$  ( для предвари-

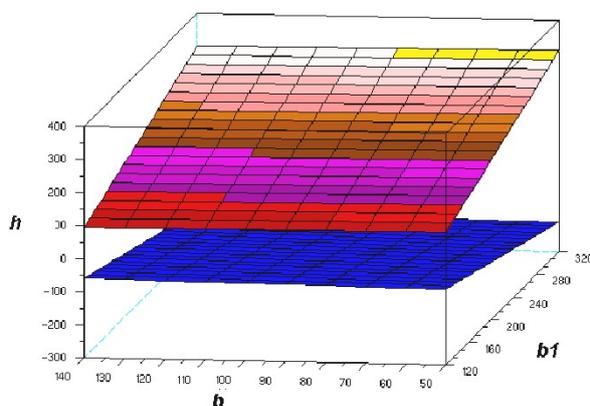


Рис.3. Трёхмерный график зависимости высоты профиля от значений (общее решение)

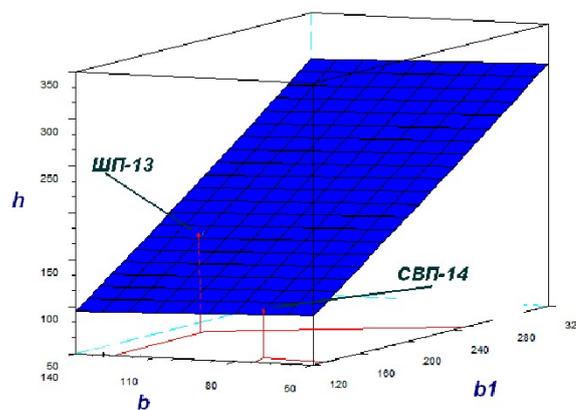


Рис.4. Трёхмерный график зависимости высоты профиля от значений

тельного расчета принимается равным 1);

-  $k_4$  – коэффициент, принятый из выражения

$$b_2 = b_1 + 2 \cdot h \cdot k_4;$$

-  $h_1$  – исходя из технологии изготовления профиля, принимаем  $h_1 = d$ .

Путём простых преобразований получаем алгебраическое уравнение 4-й степени

$$A \cdot h^4 + B \cdot h^3 + C \cdot h^2 + D \cdot h + E = 0,$$

где

$$A = \left[ \frac{4 \cdot k_1 \cdot k_3^3 \cdot d}{b} - \frac{2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot d}{b} \right];$$

$$B = \left[ \frac{k_1 \cdot d}{3 \cdot d} + 2 \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot d - \frac{b_1 \cdot k_3 \cdot d}{b} + \frac{2 \cdot k_3 \cdot d}{b} \right];$$

$$C = \left[ \frac{k_1 \cdot b \cdot d - 2 \cdot k_1 \cdot d^2 - \frac{b_1 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot d}{b} - \frac{4 \cdot k_1 \cdot k_3^2 \cdot d^2}{4 \cdot b} + \frac{k_3^2 \cdot d}{2}} \right];$$

$$D = \left[ \frac{4 \cdot k_1 \cdot d^3}{b} - \frac{2 \cdot d \cdot k_4}{b} + \frac{b^2}{72} - \frac{(b - 2 \cdot k_1 \cdot d)^3}{72} - \frac{k_4}{3b} + 4 \cdot k_1 \cdot d^2 \cdot k_3 - k_3 \cdot d^2 \right];$$

$$E = \left[ \frac{d \cdot (b - 2 \cdot k_1 \cdot d)^3}{6} + \frac{2 \cdot b_1 d}{b} - \frac{b - d}{2} - 4 \cdot k_1 \cdot d^2 b + \frac{d^3}{2} - \frac{b_1 \cdot d^3}{b} - \frac{b_1}{6 \cdot b} - W_y - W_{x_0} \right].$$

Аналитическое решение данного уравнения, с учётом всех подстановок является чрезвычайно громоздким. Для численного решения мы воспользовались возможностями пакета *Scilab-4.1*, задав таблицу исходных данных (табл.2).

Наша задача - определить область параметров специального профиля с улучшенными аэродинамическими характеристиками. Для этого мы

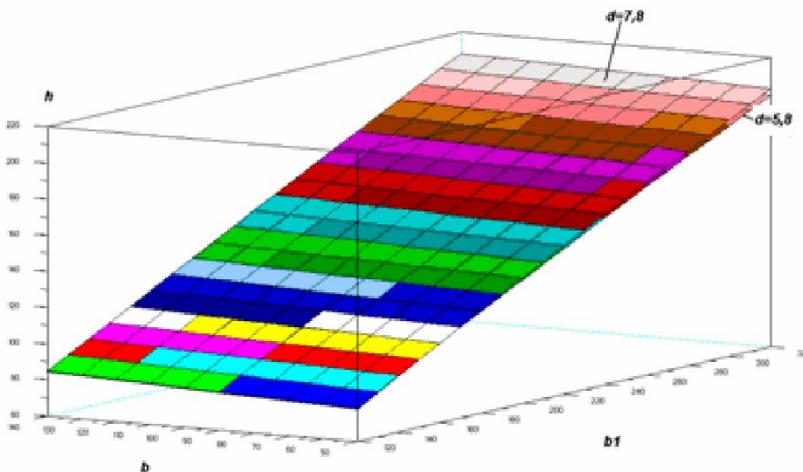


Рис. 6. Трёхмерный график зависимости  $h$  от толщины полосы проката

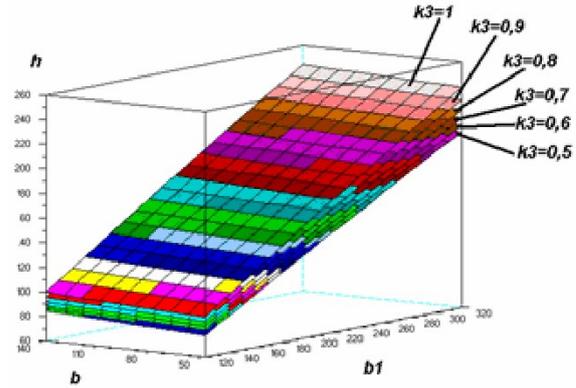


Рис.5. Трёхмерный график зависимости  $h$  от  $k_3$

должны определиться с областью допустимых значений для  $b$  и  $b_1$ , решить приведенное уравнение относительно  $h$ , а затем выяснить, при каких  $b$  и  $b_1$  значения  $h$  близки к минимуму.

Таблица 2

СВП	$W_x$	$W_y$	$k_1$	$k_3$	$k_4$
СВП-14	40,7	46,1	0,69	1	0,17
СВП-17	50,3	57,9	0,67	1	0,17
СВП-19	61,3	67,0	0,63	1	0,17
СВП-22	74,8	77,8	0,56	1	0,17
СВП-27	100,2	110,5	0,55	1	0,17
СВП-33	138,5	148,0	0,54	1	0,17

Учитывая, что с точки зрения технической механики применяемый расчет аналогичен для всех типоразмеров профиля, и разница заключается в конкретных значениях, то порядок работы и последовательность действий рассмотрим на примере специального взаимозаменяемого профиля СВП-14, а данные расчетов по всей линейке типоразмеров приведем в конечной таблице.

Решение получается в виде поля комплексных чисел. В дальнейшем, для анализа будем использовать модуль положительного решения.

Таким образом, можно заметить, что параметры профиля СВП достаточно сбалансированы, в том числе и по аэродинамическим показателям, и простой подстановкой, минимальных значений, показатели кардинально улучшить не получится.

Тем не менее, в нашем распоряжении имеются и другие показатели, в частности, коэффициент, учитывающий смещение центра оси  $X$  относительно оси  $Y$ , который в профиле СВП равен 1 и который мы можем изменять, зная специфику работы профиля в рамной и арочной конструкциях, и толщина профиля.

Таблица 3. Технические характеристики профилей ШП и СВП

Тип профиля	Номер профиля	Размеры, мм					
		Высота профиля, $h$	Высота профиля, $h_1$	Ширина профиля, $b$	Ширина днища, $b_1$	Толщина днища, $d$	Толщина стенок, $d_1$
ШП	13	68	5,8	242,1	105,0	5,8	4,0
СВП	14	88	21,0	121,0	55,0	7,8	5,4
ШП	16	74	6,3	260,4	114,0	6,3	5,0
СВП	17	94	23,0	131,5	60,0	8,5	5,7
ШП	18	82	6,5	294,1	130,8	6,5	5,0
СВП	19	102	24,0	136,0	60,0	9,5	6,0
ШП	21	88	7,0	286,2	124,0	7,0	5,0
СВП	22	110	25,6	145,5	60,0	11,0	6,2
ШП	26	98,4	8,0	309,2	133,0	8,0	7,0
СВП	27	123	29,0	149,5	59,5	13,0	7,1
ШП	32	109,6	10,0	317,8	133,0	10,0	8,0
СВП	33	137	32,0	166,0	66,0	14,5	7,9

Таблица 4. Технические характеристики профилей ШП и СВП

Тип профиля	Номер профиля	Площадь поперечного сечения, $F$ , см <sup>2</sup>	Вес 1 п.м., $G$ , кг/м	Момент сопротивления, см <sup>3</sup>		Момент инерции, см <sup>4</sup>	
				$W_x$	$W_y$	$J_x$	$J_y$
ШП	13	20,99	13,46	39,44	66,25	134,12	801,96
СВП	14	18,7	14,7	40,7	46,1	181,0	282,3
ШП	16	17,11	16,51	51,16	87,02	189,31	1133,08
СВП	17	21,73	17,1	50,3	57,9	243,0	382,3
ШП	18	23,95	18,84	65,9	96,58	270,22	1420,28
СВП	19	24,44	19,2	61,3	67,0	322,8	464,0
ШП	21	26,68	20,99	75,45	123,72	332,02	1770,0
СВП	22	27,91	21,9	74,8	77,8	428,6	566,3
ШП	26	33,47	26,33	104,6	165,7	514,64	2561,7
СВП	27	34,37	27,0	100,2	110,5	646,1	731,5
ШП	32	41,82	32,9	142,32	204,87	779,92	3253,3
СВП	33	42,53	33,39	138,5	148,0	999,5	1228,0

На рис. 5 видно, что смещение центра оси  $X$  относительно оси  $Y$  может привести к значительному улучшению аэродинамических показателей и значение, равное 0,6, может быть использовано.

Изменение толщины полосы проката не может оказывать значительного влияния на аэродинамические показатели, так как геометрически, толщина проката на порядок меньше размеров профиля, и, тем не менее, при изменении геометрических размеров, в частности, при увеличении ширины полосы проката, необходимо придерживаться весовых показателей СВП-14.

**Выводы**

Таким образом, можно определить приблизительно следующие показатели:

$k_3=0,6$  ( на основании этого значения можно определить высоту нового профиля);

$d =5,8$  (данный показатель позволяет опреде-

лить приблизительно ширину проката профиля, а, следовательно, и закономерности отношений между  $b$  и  $b_1$ ).

На этом этапе рассмотренная приближенная модель исчерпывает себя, так как предложенные изменения приводят к созданию *совершенно нового профиля*, который рассчитывается по вышеприведённым формулам. Подобные вычисления проводятся для всех типоразмеров профиля СВП. Результаты этих расчётов приведены в табл. 3 -4.

*Примечание.* При проведении расчётов в данной статье использовалось свободно распространяемое программное обеспечение (лицензия GPL):

1. офисный пакет OpenOffice.org 2.2 (GPL – открытая лицензия);
2. пакет для проведения научных расчётов. Scilab 4.1 (GPL – открытая лицензия).

□ Авторы статьи:

Макшанкин  
Денис Николаевич  
– горный инженер шахты  
«Распадская»

Новоселов  
Сергей Вениаминович  
– канд.экон.наук, доц. каф.  
экономики и организации горной  
промышленности

Ремезов  
Анатолий Владимирович  
– докт.техн.наук, проф. каф. РМПИ