

УДК 622.28.042.4: 622.281.5: 622.283.5: 622.23.056

*д.т.н. Литвинский Г. Г.,  
к.т.н. Фесенко Э. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ РАМНОЙ КРЕПИ ИЗ КОРОБЧАТОГО ПРОФИЛЯ

*Обоснована форма поперечного сечения для крепления горных выработок в условиях пологого и наклонного залегания пород. Исследована работа полигональной рамной крепи из коробчатого профиля, предложена методика расчета ее элементов с учетом взаимодействия с массивом пород. Обоснована оптимальная конструкция, в которой минимизированы изгибающие моменты, что экономит расход металлопроката в 3–5 раз. Доказано, что заполнение трубы бетоном повышает несущую способность крепи из коробчатого профиля еще более, чем в 2 раза.*

**Ключевые слова:** *коробчатый профиль, рамная крепь, полигональная крепь, несущая способность, расчет устойчивости, эффективность, трубобетон.*

Крепление горной выработки — один из самых трудоемких и продолжительных процессов проходческого цикла, более половины материальных затрат в себестоимости сооружения выработки приходится на стоимость крепи. Большинство подготовительных выработок шахт Украины (свыше 90%) закреплено стальной рамной крепью из специального взаимозаменяемого профиля СВП. В среднем расходуется около 300–350 т металлопроката на каждый километр выработки. При этом возведение крепи, как правило, производят вручную, что при значительных размерах выработки (более 11–12 м<sup>2</sup>) весьма трудоемко, поскольку масса элемента крепи (верхняка), который необходимо смонтировать на высоте 3,5–4 м может достигать 120–150 кг. Поэтому так актуальна проблема снижения стоимости и трудоемкости крепления для горнодобывающей промышленности.

Промышленный опыт использования рамной крепи позволил выявить следующие ее недостатки:

1. Используемый специальный профиль СВП неэффективен и дорог.
2. Требуется тщательная забутовка закрепного пространства, что трудновыполнимо и без чего несущая способность крепи снижается в 5–7 раз.

3. Элементы крепи работают со значительными изгибающими моментами, что ведет к их деформации и поломке.

4. Узлы податливости крепи часто не совпадают с направлением смещений пород, их сложно монтировать, они имеют низкое неравномерное (скачкообразное) сопротивление и недостаточный запас податливости.

5. Крепь не отвечает принципу оптимальности, различные элементы нагружены неодинаково.

6. Сложен монтаж крепи из-за узловых резьбовых соединений и большого веса элементов, требуется предохранительная крепь в забое.

Особо следует остановиться на выборе стального проката для элементов крепи. В работах [1, 2] выполнен анализ существующих серийных профилей металлопроката и показано, что наиболее технологичным и эффективным для рамной крепи является замкнутый тонкостенный профиль квадратного очертания. Его прочность (при условии равенства масс 1 п.м.) выше, чем у стандартных спецпрофилей типа СВП того же сечения в 1,5–2 раза, а при кручении — в 16–27 раз.

Поэтому пришло время отказаться от применения неэффективного спецпрофиля СВП, который в настоящее время доминирует в рамных крепях горной промышлен-

ности, и заменить его коробчатым профилем квадратной формы. Однако это требует разработки конструктивных элементов новой крепи, обоснования ее оптимальной формы поперечного сечения и методики определения ее прочных параметров в различных горно-геологических условиях.

**Цель исследований** состоит в изучении особенностей работы замкнутого профиля квадратного очертания (квадратной трубы) в различных конструкциях крепей с учетом характера приложенной нагрузки и их взаимодействия с массивом горных пород. **Объектом** исследований является стальная рамная крепь из коробчатого профиля, а **предмет исследований** — конструкция и параметры этой крепи. **Задачами исследований** являются: обоснование рациональной конструкции крепи из коробчатого профиля и разработка метода определения ее параметров.

**Основная идея** исследований состоит в выборе параметров рамных крепей горных выработок из коробчатого профиля на основе расчета несущей способности сжато-изогнутого несущего элемента такой крепи по критерию потери его общей устойчивости.

На основании анализа опыта применения стальной рамной податливой крепи в различных условиях можно сформулировать ряд основных требований, которым она должна удовлетворять:

1. Высокая несущая способность, которая должна превышать ожидаемую нагрузку со стороны массива пород.
2. Взаимодействие с массивом в режиме податливости, причем сопротивление податливости должно быть постоянным и не менее 70-80% предельной несущей способности крепи.
3. Величина конструктивной податливости крепи должна соответствовать по величине и направлению прогнозируемым смещениям пород в выработку.
4. Крепь в целом и отдельные ее элементы должны отвечать принципу равнопрочности [3], что гарантирует минимальную ее массу при заданной несущей спо-

собности, а также должна обеспечивать минимальные изгибающие усилия в ее элементах.

5. Конструкция не должна иметь резбовых податливых узлов и обеспечивать простоту и удобство монтажа за счет простого соединения элементов.

6. Высокая технологическая готовность к установке за счет крупноузловой сборки и использования элементов верхняка как временной призабойной крепи.

Проанализируем несколько возможных форм очертаний крепи горной выработки — полигональных и арочных (рис. 1).

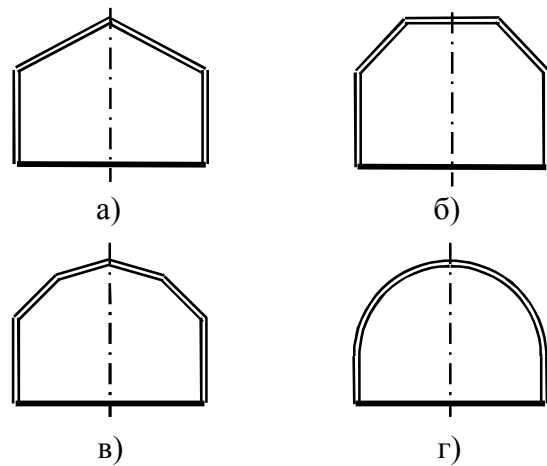


Рисунок 1 — Возможные формы очертаний горных выработок

Преимущества использования полигональных крепей (рис. 1 а, б, в) по сравнению с арочными (рис. 1 г) при тех же размерах выработки состоят в следующем:

- 1) они не требуют сложных и дорогих изогнутых конструктивных элементов;
- 2) масса отдельных элементов полигональной крепи (особенно при увеличении количества сегментов — рис. 1 б, в) как правило, меньше массы элементов трехзвенной арочной крепи;
- 3) возможность простой установки шарнирных соединений, которые значительно снижают изгибающие моменты в конструкции, тогда как в арочной это сопряжено с существенными конструктивными сложностями;

4) полигональные крепи проще приспособить к наклонному и крутому залеганию пластов.

Сравнивая возможные формы полигональной крепи, можно видеть, что в полигональной крепи из 4-х элементов (рис. 1, а) верхняки имеют повышенную длину, что заметно снижает их общую устойчивость. Вариант крепи из 6-ти конструктивных элементов (рис. 1, в), требует большого числа узлов сопряжений, что усложняет технологию изготовления крепи и трудоемкость ее возведения.

Поэтому из рассмотренных вариантов наиболее целесообразным, особенно при пологом и наклонном залегании пород, следует считать полигональную крепь из 5-ти конструктивных элементов (рис. 1, б).

Оценим прочностные показатели такой конструкции крепи. Для этого выполним расчет данной конструкции с использованием метода конечных элементов с помощью программы Лира, что позволит обосновать параметры крепи.

Особенностью выполненных расчетов является учет взаимодействия крепи с окружающим массивом в виде так называемого пассивного (реактивного) отпора пород, для моделирования которого использовали нелинейные конечные элементы (КЭ 264) в виде односторонней упругой связи заданной жесткости  $R$  с массивом. Расчетная схема крепи представлена на рисунке 2.

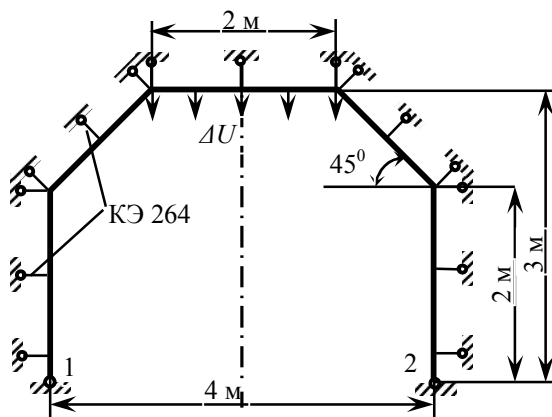


Рисунок 2 — Расчетная схема полигональной крепи из 5-ти элементов

Размеры поперечного сечения выработки выбраны из условия рационального использования сечения. Высота стоек с запасом на осадку принята равной 2 м, поскольку зазоры, регламентируемые ПБ, должны соблюдаться на высоте 1,8 м. Площадь поперечного сечения такой крепи составляет  $S = 11 \text{ м}^2$ .

Нижние узлы 1,2 стоек опираются на почву выработки как неподвижные шарниры. Жесткость забутовки задаем коэффициентом постели  $c$ , МПа/м. При неплотной забутовке жесткость принята  $c = 25 \dots 100$  МПа/м, а при плотной качественной забутовке  $c > 100$  МПа/м, тампонаж закрепного пространства дает жесткость  $c = 500$  МПа/м.

Рассмотрим случай пологого залегания пород, когда верхняк крепи установлен «под плоскую кровлю», а нагрузка на крепь задается смещениями пород кровли. Следовательно, крепь загружена заданными равномерными смещениями верхняка крепи  $\Delta U$  (рис. 2).

Расчет сводится к определению внутренних силовых факторов в элементах крепи, выявлению опасных сечений и подбору сечений элементов. Суммарное напряжение в опасном сечении зависит от соотношения изгибающих моментов  $M$  и продольных сжимающих сил  $N$  и не должно превышать расчетного сопротивления  $R_y$  (предела текучести стали) [4]:

$$\sigma = \frac{M}{W \cdot \gamma_{c1}} + \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot \gamma_{c2}} \leq R_y, \quad (1)$$

где  $W$  — момент сопротивления сечения,  $\text{м}^3$ ;  $R_y$  — расчётное сопротивление стали, ( $R_y = 240$  МПа);  $\varphi$  — коэффициент продольного изгиба, принятый в соответствии со СНиП II-23-81 [5];  $A$  — площадь поперечного сечения профиля,  $\text{м}^2$ ;  $\gamma_{c1}$ ,  $\gamma_{c2}$  — соответственно коэффициент условий работы для изгибаемых и центрально сжатых элементов ( $\gamma_{c1} = 0,8$ ,  $\gamma_{c2} = 1,1$ ).

При подборе сечений элементов крепи принято, что рама должна обеспечить

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

несущую способность  $[P] = 300$  кН, а профиль элементов крепи — квадратная труба.

На первом этапе выполнены расчеты полигональной крепи при жесткости забутовки закрепного пространства  $c = 25 \dots 500$  МПа/м. Характер эпюры изгибающих моментов представлен на рисунке 3.

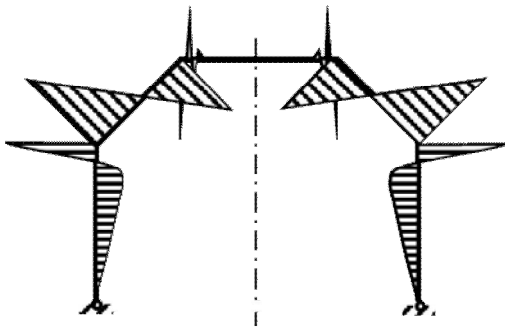


Рисунок 3 — Эпюра изгибающих моментов при жесткости забутовки  $c = 25 \dots 500$  МПа/м

Как видно из рисунка 3, максимальные изгибающие моменты возникают в местах соединения наклонных элементов крепи (раскосов) с верхняком и стойками. В стойках эпюра моментов обусловлена пассивным отпором пород в виде забутовки.

Результаты подбора несущих элементов крепи даны в таблице 1.

Расчеты показали, что отсутствие забутовки или ее плохое качество ( $c \leq 25$  МПа/м) приводит к появлению в полигональной крепи высоких изгибающих моментов, что требует применения мощных несущих элементов  $180 \times 180 \times 6$  мм весом от 45,2 кг (раскосы) до 64,1 кг (верхняк и стойки). Масса всей рамы крепи составила 283 кг.

Наличие забутовки закрепного пространства с жесткостью  $c \geq 100$  МПа/м резко снижает изгибающие моменты в крепи (в 1,7–2 и более раз) и позволяет использовать несущие элементы меньших типоразмеров (см. табл. 1).

Таблица 1 — Подбор сечений элементов полигональной крепи из коробчатого профиля при жесткости забутовки закрепного пространства  $25 \dots 500$  МПа/м

Типоразмер элемента крепи, мм	Жесткость забутовки $c$ , МПа/м	Момент сопротивления $W_x$ , см <sup>3</sup>	Площадь сечения стержня $A$ , см <sup>2</sup>	Расчетная длина $l_{ef}$ , м	Момент в опасном сечении $M$ , кН·м	Продольная сила в опасном сечении $N$ , кН	Гибкость стержня $\lambda$	Масса элемента крепи, кг
верхняк								
180x180x6	25	226,28	40,83	2,0	37,1	77,7	28,3	64,1
160x160x4	100	123,4	24,55	2,0	19,9	107	31,5	38,5
160x160x4	200	123,4	24,55	2,0	16,3	116	31,5	38,5
160x160x4	500	123,4	24,55	2,0	14,6	138	31,5	38,5
раскос								
180x180x6	25	226,28	40,83	1,41	34,6	158	20,0	45,2
160x160x6	100	175,69	36,03	1,41	23,8	173	22,6	39,9
160x160x5	200	150,3	30,36	1,41	20,8	182	22,2	33,6
160x160x5	500	150,3	30,36	1,41	19,2	211	22,2	33,6
стойка								
180x180x6	25	226,28	40,83	2,0	33,6	152	28,3	64,1
160x160x5	100	150,3	30,36	2,0	23,8	158	31,7	47,7
160x160x5	200	150,3	30,36	2,0	20,8	161	31,5	47,7
160x160x5	500	150,3	30,36	2,0	19,2	179	31,5	47,7

Однако необходимо обратить внимание на то, что дальнейшее увеличение жесткости забутовки до  $c = 200$  МПа/м и даже выполнение тампонажа закрепного пространства ( $c = 500$  МПа/м) уменьшает изгибающие моменты не столь существенно. Так, масса крепи из коробчатого профиля для  $c = 100$  МПа/м составила 214 кг, а повышение жесткости забутовки до  $c = 200$  МПа/м или выполнение тампонажа позволило снизить массу рамы до 201 кг (на 6%). Таким образом, для данной расчетной схемы повышение жесткости забутовки выше  $c = 100$  МПа/м нецелесообразно, однако и ее отсутствие ( $c < 25\text{--}50$  МПа/м) недопустимо.

Масса арочной крепи из СВП-33, имеющей сходные параметры (площадь поперечного сечения и несущую способность) составляет 294 кг, а масса отдельных ее элементов находится в пределах 100–110 кг (верхняк) и 90–100 кг (стойка).

Применять профиль СВП для полигональных крепей не представляется возможным, поскольку, во-первых, не существует конструкций соединения элементов таких крепей, а, во-вторых, даже самый мощный спецпрофиль СВП-33 не обеспечивает достаточной прочности конструкции при  $c < 200$  МПа/м, так как расчетные напряжения в опасных сечениях крепи превышают предел текучести стали  $R_y$ . В полигональной крепи с верхняком из СВП-33 и забутовке жесткостью  $c = 25$  МПа/м, расчетные напряжения  $\sigma = 366$  МПа, что существенно выше допустимых  $R_y = 240$  МПа. Спецпрофиль СВП-33 может быть теоретически использован лишь для крепи с жесткой качественной забутовкой  $c > 200$  МПа/м. Однако и тогда перерасход металла по сравнению с такой же крепью из коробчатого профиля составит 32%.

Из расчетов следует, что взаимодействие полигональной конструкции крепи с забутовкой происходит только в районе соединения стоек с раскосами. Поэтому интересно рассмотреть работу полигональной крепи без забутовки закрепного пространства, но с различной жесткости расклинкой узлов соединений стоек с рас-

косами. С этой целью определили прочные размеры крепи: несущая способность рамы задана равной  $[P] = 300$  кН, а жесткость расклинки менялась в пределах от  $R = 2$  МН/м до  $R = 50$  МН/м, что соответствует жесткости деформирования расклинки соответственно от 0,2 т/мм до 5 т/мм.

На завершающем этапе исследований моделировалась шарнирная крепь полигональной формы, т.е. места сопряжений раскосов со стойками и верхняком в расчетной схеме крепи были шарнирными, при этом остальные параметры модели — несущая способность  $[P]$  и жесткость расклинки  $R$  оставались прежними.

Результаты расчетов полигональной крепи представлены в таблице 2.

С увеличением жесткости расклинки  $R$  уменьшаются изгибающие моменты в полигональной крепи с нешарнирным соединением элементов, что позволяет использовать несущий профиль меньшего типоразмера. При увеличении  $R$  с 2 МН/м до 50 МН/м масса крепи уменьшилась с 225 кг до 96 кг (в 2,35 раза), а по сравнению с арочной крепью из СВП-33 в 3,06 раза. Следовательно, при использовании полигональной крепи с нешарнирным соединением элементов для уменьшения изгибающих моментов в опасных сечениях необходимо в районе сопряжений раскосов со стойками применять расклинку как можно большей жесткости.

При шарнирном соединении элементов полигональной крепи изгибающие моменты в них отсутствуют. Для учета возможных случайных эксцентриситетов в реальных шарнирных соединениях при расчете элементов крепи моменты в опасных сечениях приняты равными  $M = 0,1$  кН·м. Все элементы шарнирной крепи оказываются центрально сжатыми, что позволяет резко уменьшить типоразмеры несущих профилей. Как видно из таблицы 2, площадь поперечного сечения элементов крепи находится в пределах 7,74...10,6 см<sup>2</sup>, а их масса составляет: верхняк и стойки — 12,2 кг, раскосы — 10,6...11,7 кг.

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Таблица 2 — Подбор сечений элементов полигональной крепи из коробчатого профиля при жесткости расклинки 2...50 МН/м

Типоразмер стержня	Соединение элементов крепи	Жесткость расклинки $R$ , МПа/м	Момент сопротивления $W_x$ , см <sup>3</sup>	Площадь сечения стержня $A$ , см <sup>2</sup>	Расчетная длина $l_{ef}$ , м	Момент в опасном сечении $M$ , кН·м	Продольная сила в опасном сечении $N$ , кН	Гибкость стержня $\lambda$	Масса элемента крепи, кг
верхняк									
180x180x5	жестк	2	193,0	34,36	2,0	31,3	99,3	28,1	53,9
120x120x5	жестк	10	80,91	22,36	2,0	10,1	137,2	42,9	35,1
100x100x4	жестк	50	45,27	14,95	2,0	3,3	163,3	51,4	23,5
<b>100x100x2</b>	<b>шарн</b>	<b>2</b>	<b>24,6</b>	<b>7,74</b>	<b>2,0</b>	<b>0,1</b>	<b>150,8</b>	<b>50,1</b>	<b>12,2</b>
100x100x2	шарн	10	24,6	7,74	2,0	0,1	153	50,1	12,2
100x100x2	шарн	50	24,6	7,74	2,0	0,1	169	50,1	12,2
раскос									
180x180x5	жестк	2	193,0	34,36	1,41	29,5	177	19,8	38,0
140x140x4	жестк	10	93,09	21,35	1,41	9,5	206	25,5	23,6
110x110x4	жестк	50	55,62	16,55	1,41	3,1	235	32,8	18,3
<b>100x100x2,5</b>	<b>шарн</b>	<b>2</b>	<b>30,13</b>	<b>9,59</b>	<b>1,41</b>	<b>0,1</b>	<b>213</b>	<b>35,6</b>	<b>10,6</b>
100x100x2,5	шарн	10	30,13	9,59	1,41	0,1	217	35,6	10,6
110x110x2,5	шарн	50	36,8	10,59	1,41	0,1	239	35,6	11,7
стойка									
160x160x5	жестк	2	150,3	30,36	2,0	20,2	150	31,8	47,7
110x110x4	жестк	10	55,62	16,55	2,0	6,4	150	46,5	26,0
100x100x3	жестк	50	35,41	11,41	2,0	2,0	150	50,8	17,9
<b>100x100x2</b>	<b>шарн</b>	<b>2</b>	<b>24,6</b>	<b>7,74</b>	<b>2,0</b>	<b>0,1</b>	<b>150</b>	<b>50,1</b>	<b>12,2</b>
100x100x2	шарн	10	24,6	7,74	2,0	0,1	150	50,1	12,2
100x100x2	шарн	50	24,6	7,74	2,0	0,1	150	50,1	12,2

Жесткость расклинки почти не влияет на напряженное состояние элементов крепи, т.е. при любом  $R$  сечения элементов крепи не меняются (табл. 2). Это снижает требования к качеству расклинки при установке крепи, однако не упраздняет необходимость ее установки, поскольку расклинка должна обеспечить геометрическую неизменяемость шарнирной конструкции и ее устойчивость.

Масса рамы шарнирной полигональной крепи из коробчатого профиля с несущей способностью  $[P] = 300$  кН составляет 58–60 кг, что в 1,6 раза меньше массы наиболее эффективной крепи с нешарнирным соединением элементов (96 кг) и в 4,9 раза меньше массы арочной крепи той же несущей способности из СВП-33.

Для обеспечения шарнирного соединения элементов предложенной крепи и возможности ее применения в зоне интенсивного горного давления нами разработаны конструкции и поданы заявки на изобретения узлов податливости и шарнирных узлов соединения крепи из коробчатого профиля.

Одним из условий эффективной работы шарнирной конструкции крепи является отсутствие сосредоточенных нагрузок на отдельные ее элементы. Поэтому при эксплуатации такой крепи необходимо предусмотреть управление формированием нагрузок на крепь за счет определенных конструктивных решений. Такие решения нами разработаны и отражены в поданных

заявках на изобретения по данной конструкции крепи.

Эффективность предложенной конструкции крепи можно повысить, заполнив несущий коробчатый профиль бетоном. Такой материал, известный как труботетон, как показали многочисленные исследования [6-8 и др.] особенно эффективен для центрально сжатых или сжатых с небольшими эксцентриситетами элементов.

Произведем расчет центрально сжатой стойки полигональной крепи из коробчатого профиля, заполненной бетоном, согласно [9].

Обойма — стальная труба 100x100x2 мм, заполненная бетоном с кубиковой прочностью 20 МПа. Расчетный предел текучести стали  $R_y = 240$  МПа, площадь поперечного сечения стальной трубы  $A_c = 7,74$  см<sup>2</sup>, площадь бетонного ядра  $A_b = 92,2$  см<sup>2</sup>. Модуль упругости бетона  $E_b = 2,3 \cdot 10^4$  МПа, стали —  $E_c = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент продольного изгиба  $\varphi = 0,84$ .

Согласно [9], предельная сжимающая сила труботетонного элемента определяется по формуле:

$$[N] = R_y \cdot A_c \cdot \varphi \cdot \left( 1 + \frac{E_b}{E_c} \cdot \frac{A_b}{A_c} \right), \quad (2)$$

тогда:

$$[N] = 240 \cdot 10^{-1} \cdot 7,74 \cdot 0,84 \times \\ \times \left( 1 + \frac{2,3 \cdot 10^4}{2,1 \cdot 10^5} \cdot \frac{92,2}{7,74} \right) \\ [N] = 359,6 \text{ кН.}$$

Как видим, стойка, рассчитанная на продольную силу  $N = 150$  кН при заполнении бетоном выдержит усилие  $\approx 360$  кН,

#### Библиографический список

1. Литвинский Г. Г. Исследование эффективности прокатных профилей для рамной крепи горных выработок / Г. Г. Литвинский, Э. В. Фесенко // Уголь Украины. — 2012. — №11. — С. 11–14.
2. Литвинский Г. Г. Оптимальный прокатный профиль для рамной крепи / Г. Г. Литвинский, Э. В. Фесенко // Вісті Донецького гірничого інституту. — Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. — Вып. 1(32). — С. 198–203.

т.е. в 2,4 раза больше, чем без бетона. Таким образом, если все элементы шарнирной полигональной крепи из коробчатого профиля заполнить бетоном, ее несущая способность возрастет в 2,4 раза и составит  $[P] = 720$  кН. Это весьма существенно увеличит устойчивость выработки даже в сложных горно-геологических условиях.

#### Выводы

1. Спецпрофиль СВП для рамных крепей ввиду его малой эффективности целесообразно заменить квадратной тонкостенной трубой.

2. Для крепления выработок наиболее рациональна полигональная крепь из 5-ти элементов, что позволяет наиболее полно использовать сечение выработки в свету, снизить массу отдельных элементов крепи, отказаться от использования сложных в изготовлении и более дорогих гнутых элементов.

3. Наиболее эффективной конструкцией для крепления горных выработок является шарнирная полигональная крепь из коробчатого профиля, использование которой сокращает потребление металлопроката в 4,9 раза по сравнению с арочной крепью из СВП-33 такой же несущей способности и площади поперечного сечения. Масса каждого элемента новой крепи не превышает 15 кг.

4. Предложенная конструкция крепи устраняет необходимость в забутовке, а требует лишь расклинки узла смыкания стоек с раскосами.

5. Заполнение коробчатого профиля крепи бетоном превращает его в труботетон, что позволяет повысить несущую способность крепи еще в 2–2,5 раза.

3. Литвинский Г. Г. Исследование предельных состояний рамной крепи / Г. Г. Литвинский, Э. В. Фесенко // *Научный вестник НГУ*. — Днепропетровск, 2013. — №3. — С. 26–33.
4. Маилян Р. Л. Строительные конструкции: учебное пособие / Р. Л. Маилян, Д. Р. Маилян, Ю. А. Веселев. — [2-е. изд.]. — Ростов н/Д: Феникс, 2005. — 880 с.
5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. — М., 2011. — 172 с.
6. Стороженко Л. И. Расчёт трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, П. И. Плехотный, А. Я. Черный. — К.: Будивельник, 1991. — 120 с.
7. Кришан А. Л. Определение разрушающей нагрузки сжатых трубобетонных элементов / А. Л. Кришан, А. И. Заикин, М. С. Купфер // *Бетон и железобетон*. — 2008. — № 2. — С. 22–25.
8. Сінельник О. П. Інженерний метод розрахунку трубобетонних конструкцій при центральному завантаженні / О. П. Сінельник // *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. — Макіївка, 2011. — Вып. 4. — С. 47–52.
9. Литвинский Г. Г. Теория расчета центрально-сжатых трубобетонных конструкций крепи / Г. Г. Литвинский, Э. В. Фесенко // *Сб. науч. тр.* — Алчевск: ДонГТУ, 2012. — Вып. 38. — С. 10–16.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Фрумкин Р. А.,  
д.т.н., проф. ДонНТУ Борщевским С. В.**

Статья поступила в редакцию 27.02.14.

**д.т.н. Литвинський Г. Г., к.т.н. Фесенко Е. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)**

### **ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ПАРАМЕТРІВ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ З КОРОБЧАСТОГО ПРОФІЛЮ**

*Обгрунтовано форму поперечного перерізу для кріплення виробок в умовах пологого та похилого залягання порід. Досліджено роботу полігонального кріплення з коробчастого профілю, запропоновано методіку розрахунку його елементів з урахуванням взаємодії з масивом порід. Обгрунтовано оптимальну конструкцію, у якій мінімізовано згинальні моменти, що економить витрати металопрокату у 3–5 разів. Доведено, що заповнення труби бетоном підвищує несучу спроможність кріплення з коробчастого профілю ще більш, ніж у 2 рази.*

**Ключові слова:** *коробчастий профіль, рамне кріплення, полігональне кріплення, несуча спроможність, розрахунок стійкості, ефективність, трубобетон.*

**Lytvynskiy H. G. Doctor of Engineering Sciences, Fesenko E. V. Candidate of Engineering Sciences (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)**

### **REASONS FOR DESIGN AND PARAMETERS OF BOX PROFILE FRAME SUPPORT**

*The form of cross-section for excavation support under the conditions of hollow and angled bedding of rocks has been grounded. The work of polygonal box profile frame support has been investigated. The method of calculating their element with account for contacting with massive of rock has been proposed. Optimal design with the minimized deflection moments decreasing the usage of metal-roll in 2-2.5 times has been grounded. Filling the tube with cement increases supporting strength of box profile frame support more than in twofold.*

**Key words:** *box profile, frame support, polygonal support, bearing capacity, calculation of stability, efficiency, tube confined concrete.*