

за технологічними параметрами, становить близько 3,0 м, а щільність анкерування 0,83 анк./м² ($N_a = 4-5$ шт.).

ВИСНОВКИ. Таким чином, для умов пластів m_4^0 та m_5^{16} шахти «Добропільська» отримані залежності зміщень покрівлі та підшови похилих виробок від глибини їх закладення ($H = 700 \dots 1500$ м) при зміні кількості ($N_a = 3 \dots 9$ шт.) та довжини анкерів ($l_a = 2,2 \dots 3,5$ м) можуть служити для прогнозу зміщень в подібних гірничо-геологічних умовах для виробок, що будуть споруджуватись. Дані залежності можуть служити для прогнозу зміщень контуру для похилих виробок, що будуть споруджуватися в подібних гірничо-геологічних умовах, що в свою чергу дозволить оптимізувати параметри анкерного і рамно-анкерного кріплення.

Подальші дослідження будуть спрямовані на обґрунтування та визначення раціональних параметрів анкерування похилих виробок в інших гірничо-геологічних умовах ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля».

Список літератури

1. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Ин-т геотехнической механики НАН Украины, 2002. – 372 с.
2. Булат А.Ф. О внедрении новой технологии опорного крепления выработок анкерами // Уголь Украины. – 2000. – № 9. – С. 4–7.
3. Наумович А.В., Терещук Р.Н., Гапеев С.Н. Натурные исследования закономерностей проявлений горного давления в подготовительных выработках шахты «Шахтерская-Глубокая» // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 6. – С. 8–10.
4. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: дисс.... доктора техн. наук: 05.15.04.; 05.15.09 / Солодянкин Александр Викторович. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.
5. Халимендик Ю.М. Шахтные исследования состояния наклонных выработок / Ю.М. Халимендик, В.Ф. Панибратченко, Р.Н. Терещук, Е.А. Колесниченко, А.Е. Григорьев // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 94. – С. 229–238.
6. Наумович А.В., Терещук Р.Н. Исследование устойчивости подготовительных выработок глубоких горизонтов вне зоны влияния очистных работ // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2009. – № 11. – С. 3–5.
7. Петренко Ю.А., Касьян Н.Н., Новиков А.О. и др. Новый подход к расчету параметров анкерной крепи // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. – ИФГП НАН Украины. – 2004. – №1. – С. 67–172.
8. Терещук Р.Н. Определение зоны влияния одиночного анкера на однородный приконтурный массив // Зб. наук. пр. Проблеми гірського тиску. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – №19. – С. 183–195.
9. Терещук Р.Н. Терещук О.В. Определение рациональных параметров анкерования наклонных выработок // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2 (14). – С. 104–113.
10. Терещук Р.Н. Моделирование анкерных систем для крепления наклонных выработок // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2 (16). – С. 81–90.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАМНОЙ ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ ИЗ КОРОБЧАТОГО ПРОФИЛЯ

Э.В. Фесенко, Донбасский государственный технический университет, Украина

Обоснована форма поперечного сечения для крепления горных выработок в условиях пологого и наклонного залегания пород. Исследована работа полигональной рамной крепи из

коробчатого профиля. Предложена оптимальная конструкция, в которой минимизированы изгибающие моменты, что экономит расход металлопроката в 3-5 раз. Разработаны конструктивные решения отдельных узлов и элементов новой крепи.

Крепление горной выработки – один из самых трудоемких и продолжительных процессов проходческого цикла, более половины материальных затрат в стоимости сооружения выработки составляют расходы на крепь. Большинство подготовительных выработок шахт Украины (свыше 90%) закреплено металлической 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 м²) 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:

- используемый специальный профиль СВП неэффективен и дорог;
- требуется тщательная забутовка закрепного пространства, что трудновыполнимо и без чего несущая способность крепи снижается в 5-7 раз;
- элементы крепи работают со значительными изгибающими и крутящими моментами, что ведет к их деформации и поломке;
- узлы податливости крепи часто не совпадают с направлением смещений пород, их сложно монтировать, они имеют низкое неравномерное (скачкообразное) сопротивление и недостаточный запас податливости;
- крепь не отвечает принципу оптимальности, различные элементы загружены неодинаково;
- 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 (коробчатый профиль). Его прочность на изгиб выше, чем у стандартных спецпрофилей типа СВП того же сечения в 1,5 – 2 раза, а при кручении – в 16 – 27 раз (при условии равенства массы 1 п.м.).

Поэтому, по нашему мнению, целесообразно отказаться от применения в рамной крепи неэффективного спецпрофиля СВП, который в настоящее время доминирует в горной промышленности, 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 разных горно-геологических условиях.

Цель исследований состоит в изучении особенностей работы замкнутого профиля квадратного очертания (квадратной трубы) в различных конструкциях крепи с учетом характера приложенной нагрузки и ее взаимодействия с массивом горных пород. **Объектом исследований** является металлическая 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 ее конструктивных элементов.

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 быть выше, чем у равноценной рамной крепи из спецпрофиля .
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 быть максимально возможной и соответствовать по величине и направлению прогнозируемым смещениям пород в выработку.

4. Крепь в целом и отдельные ее элементы должны отвечать принципу равнопрочности [3] и обеспечивать минимальные изгибающие усилия в ее элементах, что гарантирует минимальную ее массу при заданной несущей способности.

5. Конструкция не должна иметь резьбовых податливых узлов и соединений, обеспечивать простоту и удобство монтажа.

6. Возможность использования элементов верхняка и рамы как временной призабойной крепи.

7. Высокая технологическая готовность к установке при изготовлении на заводе, что обеспечит возможность крупноузловой сборки в выработке.

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

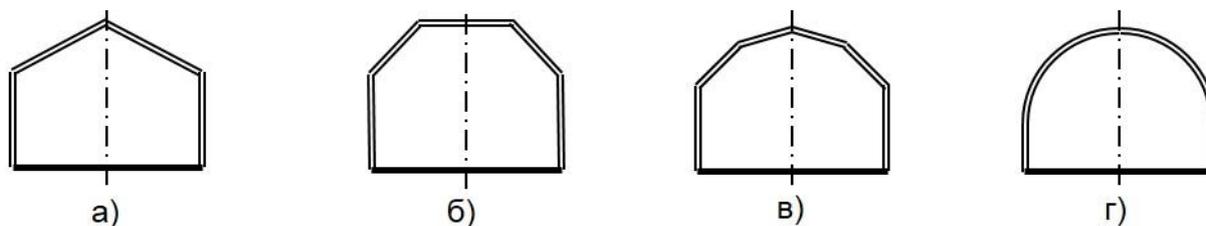


Рис. 1. Возможные формы очертаний горных выработок

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, что упрощает их монтаж;

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, т.е. они более универсальны.

Сравнивая возможные формы полигональной крепи, можно увидеть, что в полигональной крепи из 4-х элементов (рис. 1, а) верхняки имеют повышенную длину, что заметно снижает их общую прочность и 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). Отметим, что такая форма отвечает принципу наибольшего использования сечения выработки.

Для оценки прочностных показателей такой крепи нами выполнены расчеты с использованием метода конечных элементов с помощью программы Лира. В расчетах учтено взаимодействие крепи с окружающим массивом в виде так называемого пассивного (реактивного) отпора пород.

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 крепи при расчетах была равна $S = 11 \text{ м}^2$, возможная вертикальная податливость крепи равна 1000 мм.

Жесткость забутовки задавали коэффициентом постели c , МПа/м. При неплотной забутовке жесткость принята $c = 25 \dots 100 \text{ МПа/м}$, а при плотной качественной забутовке $c > 100 \text{ МПа/м}$,

тампонажу закрепного пространства соответствует жесткость $c = 500$ МПа/м. Был рассмотрен случай пологого залегания пород, когда верхняк крепи установлен «под плоскую кровлю», а нагрузка на крепь задается смещениями пород кровли. Следовательно, крепь была загружена заданными равномерными смещениями верхняка крепи ΔU .

При подборе сечений элементов крепи принято, что рама должна обеспечить 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. Результаты подбора несущих элементов крепи даны в таблице 1.

Табл. 1 Подбор сечений элементов полигональной крепи из коробчатого профиля при жесткости забутовки закрепного пространства 25...500 МПа/м

Типоразмер элемента крепи, мм	Жесткость забутовки c , МПа/м	Момент сопротивления W_x , см ³	Площадь сечения стержня A , см ²	Расчетная длина l_{ef} , м	Момент в опасном сечении M , кН·м	Продольная сила в опасном сечении N , кН	Гибкость стержня λ	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	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	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	500	150,3	30,36	2,0	19,2	179	31,5	47,7

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 180x180x6 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).

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. Таким образом, для данной расчетной схемы повышение жесткости забутовки выше $c = 100$ МПа/м нецелесообразно, однако и ее отсутствие ($c < 25-50$ МПа/м) недопустимо.

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 раскосами. 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 в диапазоне 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 расclinки R оставались прежними.

Результаты расчетов полигональной крепи представлены в таблице 2.

Табл. 2 Подбор сечений элементов полигональной крепи из коробчатого профиля при жесткости расclinки 2...50 МН/м

Типоразмер стержня	Соединение элемент ов крепи	Жесткость расclinки R , МПа/м	Момент сопротивления W_x , см ³	Площадь сечения стержня A , см ²	Расчетная длина l_{ef} , м	Момент в опасном сечении M , кН·м	Продольная сила в опасном сечении N , кН	Гибкость стержня λ	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
100x100x2	шарн	2	24,6	7,74	2,0	0,1	150,8	50,1	12,2
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
100x100x2,5	шарн	2	30,13	9,59	1,41	0,1	213	35,6	10,6
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
100x100x2	шарн	2	24,6	7,74	2,0	0,1	150	50,1	12,2
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

С увеличением жесткости расclinки R уменьшаются изгибающие моменты в полигональной крепи с жестким 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 жестким соединением элементов для уменьшения изгибающих моментов в опасных сечениях необходимо в районе сопряжений раскосов со стойками применять расclinку 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 см², а их масса составляет: верхняк и стойки – 12,2 кг, раскосы – 10,6...11,7 кг.

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 узлов податливости и шарнирных узлов соединения крепи из коробчатого профиля [4].

На рисунке 2 представлена конструкция шарнирного узла соединения элементов полигональной крепи, где под номерами показано: 1 – несущий элемент крепи, 2 – обойма, 3 – труба-шарнир, 4 – отрезок швеллерной формы для установки расклинки 5, 6 – сегментная вставка, 7 – планка, 8 – анкер, 9 – межрамная стяжка, 10 – клиновой фиксатор.

Концы элементов крепи 1 вставлены в обоймы 2, между которыми размещена труба-шарнир 3. При этом одна из обойм 2, труба-шарнир 3 и отрезок швеллерной формы 4 скреплены между собой при помощи сварки. Взаимный поворот несущих элементов 1 в шарнирном узле происходит по поверхностям трубы-шарнира 3 и сегментной вставки 6, которая сварена со вторыми обоймой 2 и отрезком швеллерной формы 4. С помощью планки 7 обоймы 2 соединены между собой под заданным углом. Шарнирный узел снабжен двумя расклинками 5. Труба-шарнир 3, сегментная вставка 6 и планка 7 имеют радиальные соосные прорезы, через которые проходит анкер 8.

Соседние рамы крепи соединены между собой с помощью разработанных нами межрамных стяжек 9 в виде трубы с клиновыми фиксаторами 10 на концах. Межрамная стяжка 9 упирается своим торцом в обойму 2 и торец трубы-шарнира 3, при этом клиновой фиксатор 10 проходит сквозь трубу-шарнир 3 и закрепляет межрамную стяжку на раме крепи.

После возведения крепь начинает воспринимать внешнюю нагрузку. При этом, благодаря тому, что в шарнирных узлах установлены расклинки 5, внешние силы будут приложены преимущественно на шарнирные узлы, что обуславливает существенное снижение изгибающих моментов в несущих элементах. Кроме того, форма крепи может быть принята разной в зависимости от горно-геологических условий, углов падения пород и т.д. За счет изменения длины элементов крепи, углов соединения несущих элементов между собой и мест размещения шарниров и узлов податливости возможно выбрать наиболее целесообразную конфигурацию крепи, когда распределение нагрузок обеспечено через расклинки на шарнирные узлы, при этом достигается согласование направлений максимальных смещений контура выработки с оптимальным направлением работы узлов податливости.

Использование в шарнирных узлах обойм 2, в которые вставлены концы несущих элементов 1, значительно ускоряет и облегчает монтаж крепи, поскольку полностью отсутствуют болтовые соединения. Шарнирный узел может быть быстро смонтирован при возведении крепи, поскольку он полностью изготовлен и собран заранее.

Благодаря применению в предложенной крепи разъемных шарнирных узлов, а также из-за отсутствия изгибающих и крутящих моментов в ее элементах, после погашения горной выработки и демонтажа крепи элементы крепи можно повторно использовать, что значительно удешевит стоимость крепи.

Конструкция межрамной стяжки, в которой не предусмотрены резьбовые соединения, позволяет быстро и надежно монтировать соседние рамы. При установке анкеров в шарнирных узлах потребность в межрамных стяжках отпадает.

Общий вид разработанного узла податливости представлен на рисунке 3.

Узел податливости крепи состоит из несущих элементов профиля 1 и 2 и обоймы 3 с деформирующими клиньями 4, которая жестко соединена с несущим элементом 2.

Под действием вертикальной нагрузки верхний несущий профиль стойки крепи смещается внутрь узла податливости и начинает взаимодействовать с деформирующими клиньями. Соппротивление узла податливости обеспечивается за счет сил смятия стенок несущего профиля, а также сил трения, возникающих по поверхностям контакта стенок профиля и ребер деформирующих клиньев при их взаимном смещении внутри обоймы узла податливости.

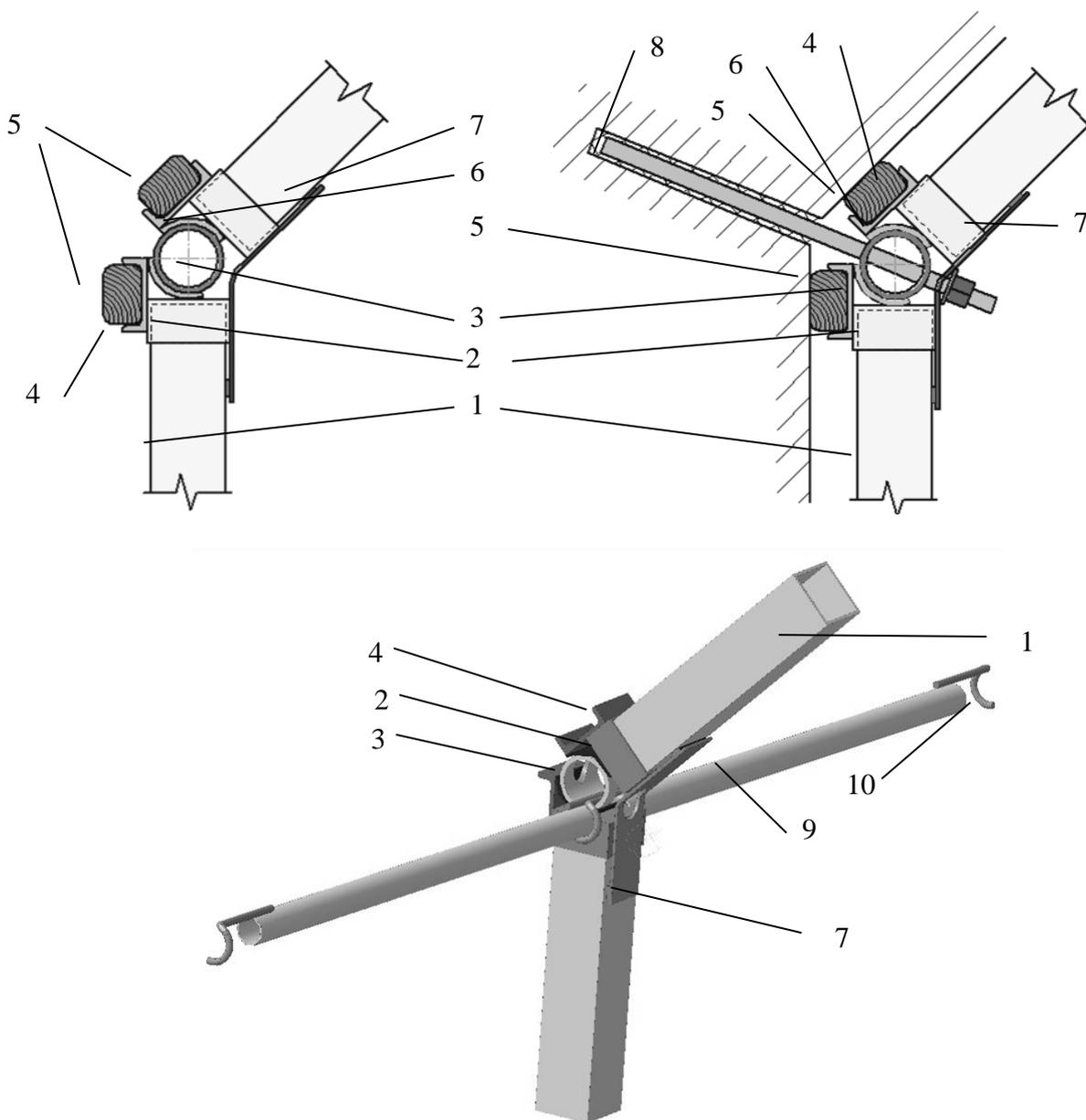


Рис. 2. Шарнирный узел соединения несущих элементов крепи

Существенное влияние на сопротивление узла податливости $F_{уз}$ оказывает угол наклона деформирующих клиньев α к его продольной оси. Так, значение $F_{уз}$ растет при увеличении этого угла и падает при его уменьшении. Однако, как показали эксперименты, увеличивать угол наклона клиньев α более 25...27 градусов нельзя из-за возникающих при этом больших сил трения, которые приводят к образованию «задиров» по трущимся поверхностям. В то же время при уменьшении угла α менее 20 градусов, сопротивление $F_{уз}$ узла податливости находится на весьма низком уровне и работу узла в таком случае нельзя признать эффективной. Таким образом, согласно нашим исследованиям, оптимальный угол наклона деформирующих клиньев α , установленных в обойме узла податливости, должен находиться в пределах $\alpha = 23...25$ градусов, что обеспечивает постоянную величину сил трения в узле и его надежную работу.

Предложенная конструкция узла обеспечивает большую величину податливости (не менее половины высоты стойки) и возможность широкого регулирования силы его сопротивления.

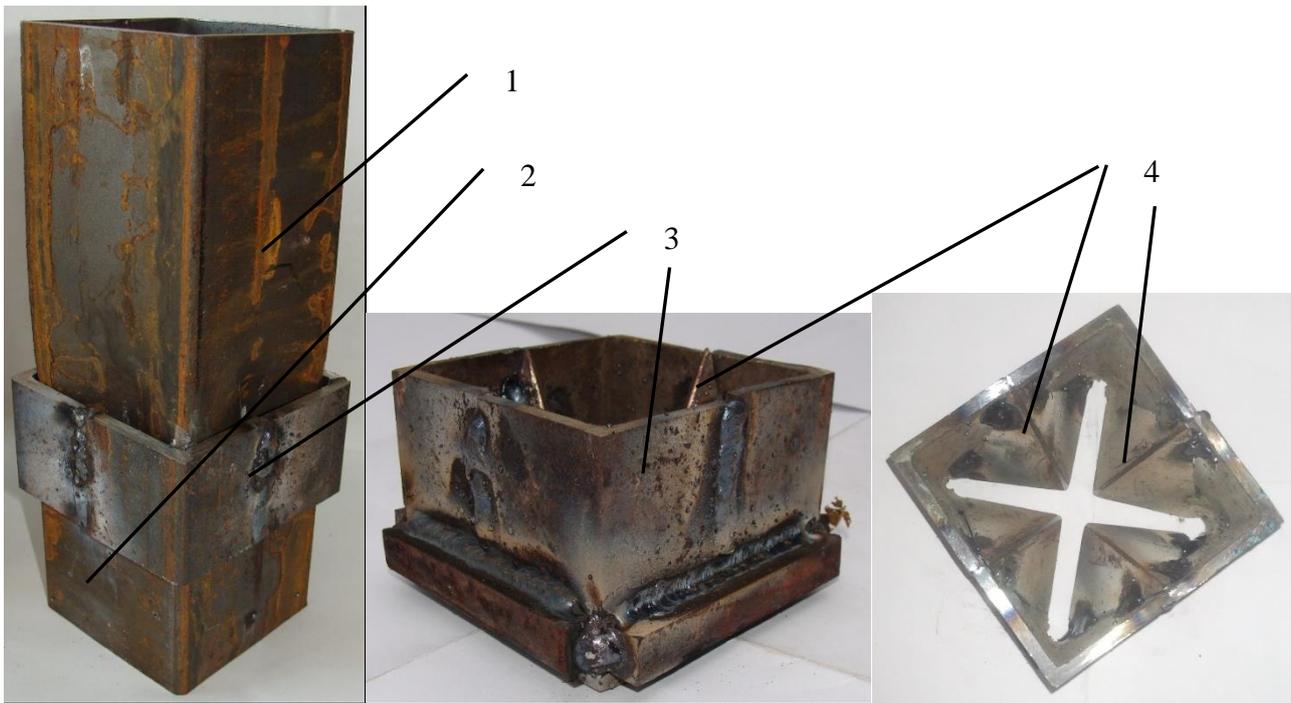


Рис. 3. Общий вид и элементы узла податливости

Выводы.

1. Спецпрофиль СВП для рамных крепей ввиду его малой эффективности целесообразно заменить профилем в виде квадратной тонкостенной трубы.

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 позволяет значительно повысить несущую способность, надежность и удобство соединения элементов, обеспечивает высокую скорость монтажа в выработке, устраняет необходимость в плотной забутовке, а требует лишь расклинки узла смыкания стоек с раскосами.

5. Разработанный узел податливости крепи из коробчатого профиля имеет регулируемую в широком диапазоне усилий несущую способность, почти идеальную деформационно-силовую характеристику, значительную величину податливости, полную конструктивную готовность использования в крепи, простую конструкцию, малую металлоемкость, трудоемкость установки и стоимость.

Список литературы

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.
3. Литвинский Г.Г. Исследование предельных состояний рамной крепи / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – №3. – С. 26 – 33.
4. Пат. 88666 Україна, МПК E 21 D 11/14 (2006.01). Вузол піддатливості для кріплення з коробчастого профілю / Литвинський Г.Г., Фесенко Е.В.; заявл. 28.10.2013; опубл. 25.03.2014, Бюл. №6. – 4 с.