

М.Б. Луцкий, В.Я. Кириленко, И.К. Дорожко,
А.А. Чичкан, Н.Н. Лигус, В.А. Луценко

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ШАХТНОЙ КРЕПИ

Розглянуто існуючі конструктивні особливості профілів для кріплення гірських виробітків. Зроблено аналіз умов їхньої роботи, виявлені недоліки. Розроблено новий профіль, у якому за рахунок раціонального розподілу металу підвищені прочностні характеристики як окремих елементів, так і всього профілю. Показано переваги нового профілю перед відомими. Нова конструкція забезпечує фіксацію профілів у вузлах піддатливості, підвищує надійність і безпека роботи.

PERFECTING OF A CONSTRUCTION OF PROFILES FOR A MINE SUPPORT

The analysis of the operating conditions of structures in a design mine stull is conducted, their advantages and defects are revealed. To defects of known structures it is possible to relate a not rational cost of metal, absence of reliable fixing of a structure in units of a pliability and low durability of cross section. For removal of the indicated defects the new design is developed and the bill of rating of structures for fastening mountain manufactures. In comparison with known the new structure has increased durability, that allows to reduce a cost of metal, to increase reliability of work of a structure in units of a pliability.

Для крепления горных выработок и предотвращения их обрушения в горнодобывающей отрасли применяются стальные рамные крепи. От надёжности работы арочных рамных крепей, в том числе в податливом режиме, зависит безопасность и качество проведения горных выработок, расход металла на устройство крепи. Под податливостью понимают способность конструкции воспринимать нагрузки, возникающие в горном массиве при смещении пород. Стальные рамные крепи изготавливают из специальных желобчатых профилей. Основными показателями профиля являются: несущая способность и технологичность изготовления, как профиля, так и собственно крепи. Решающими факторами являются оптимальная конфигурация и геометрические параметры поперечного сечения при минимальной плотности. Несущая способность профиля характеризуется моментами инерции сечения и моментами сопротивления сечения при изгибе (W_x и W_y) относительно горизонтальной и вертикальной нейтральных осей $X-X$ и $Y-Y$.

До начала 20^х годов прошлого столетия для крепления горных выработок применяли жёсткие стальные рамные крепи, изготовленные из швеллеров, двутавровых балок и рельсов. В процессе эксплуатации, при смещении породного контура, в конструкции крепи возникали значительные деформации, в результате чего крепь разрушалась. При решении этой проблемы специалистами фирмы «Ф.Моль» было предложено жёсткую рамную крепь разделить на несколько элементов, соединённых между собой шарнирами.

В процессе совершенствования конструкции крепи, в 1932 г. специалистами фирмы «Туссейн Хайтцманн» (Германия) было предложено двутавровые балки и рельсы заменить специальными желобчатыми профилями П-образной формы

- KS/КО (рис.1,а).

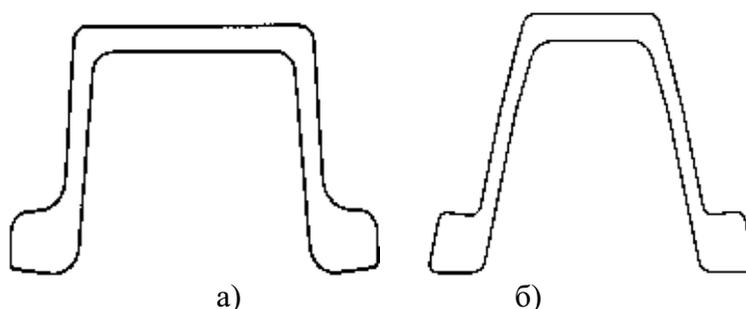


Рис.1 – Поперечное сечение профилей KS/КО, ШП (а) и СВП (б)

Применение желобчатых профилей и замковых соединений повысило надёжность и безопасность работы крепи в податливом режиме, уменьшило вероятность её разрушения.

В то же время началась разработка и применение аналогичных профилей на шахтах СССР. Первоначально были разработаны горячекатаные шахтные профили - ШП.

По размерам и прочностным характеристикам, профили ШП были близки к профилям типа KS/КО и обладали общими недостатками. По причине нерационального распределения металла в поперечном сечении профиля - массивные и толстые фланцы, расположенные на концах тонких наклонных стенок не обеспечивали требуемую "жесткость" и прочность конструкции крепи. Кроме того, ограниченный ряд профилей приводил к перерасходу металла. По этим причинам профили ШП не получили широкого распространения.

В начале 70^х годов учёные ДонУГИ и УкрНИИМет разработали специальные взаимозаменяемые профили СВП (рис.1,б), которые получили широкое распространение на шахтах бывшего СССР. По своим характеристикам профили СВП превосходили и, до настоящего времени превосходят известные зарубежные и отечественные профили для арочной крепи. В профилях СВП, за счёт перераспределения металла между днищем, стенками и фланцами увеличены прочностные характеристики поперечного сечения. Это позволило повысить надёжность работы конструкции крепи и безопасность эксплуатации горных выработок. При этом был расширен сортаментный ряд профилей, что позволило в зависимости от условий эксплуатации, применять профили различных размеров и массы. Производство СВП в течение длительного времени в условиях сортовых станов Украины и России, в том числе - крупносортного стана "600" АМК, показало их высокую технологичность.

В процессе эксплуатации арочной крепи, изготовленной из профилей СВП были выявлены некоторые недостатки. Вследствие конструктивных особенностей, в узлах податливости не обеспечивалась взаимная фиксация фланцев. По этой причине при увеличении нагрузок в поперечном сечении узла податливости возникали значительные напряжения, под действием которых происходил отрыв днища. При этом верхняя часть арки проваливалась в нижнюю, в результате чего возникала необходимость замены крепи.

В конце 80^х годов специалистами ДонУГИ и УкрНИИМет было предложено за счёт изменения конструкции фланцев обеспечить взаимную фиксацию смежных профилей в узлах податливости. Для этого были разработаны профили для крепления горных выработок (КГВ) [1], у которых верхняя поверхность фланцев имела впадины, а нижняя - выступы (рис.2,а).

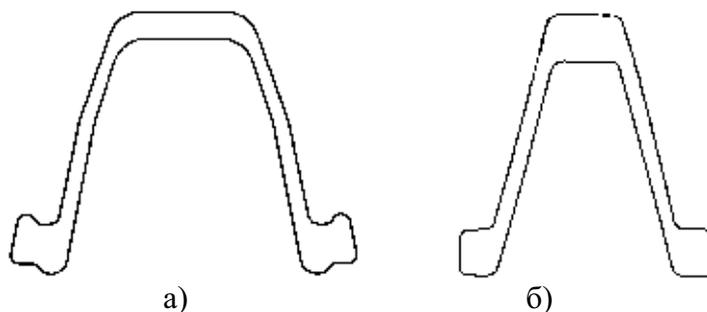


Рис.2 – Профили для крепления горных выработок КГВ (а) и СВПУ (б)

Снабжение фланцев выступами и впадинами должно было обеспечить фиксацию профилей и исключить их относительное смещение в замковых соединениях. В процессе эксплуатации профилей КГВ было установлено, что малые радиусы сопряжения опорных поверхностей выступов и впадин фланцев приводили к интенсивному износу и выработке элементов калибров. При этом, по сравнению с профилями СВП сузился сортаментный ряд профилей КГВ, что не позволяло в зависимости от геологических условий варьировать их размерами и приводило к перерасходу металла. По этим причинам профили КГВ не получили распространения.

Для повышения несущей способности работы крепи авторами [2] были разработаны специальные взаимозаменяемые унифицированные профили (СВПУ), которые по сравнению с известными профилями обладают более высокими прочностными характеристиками. При этом ширина днища равна суммарной толщине фланцев, а угол наклона боковых стенок равен углу, образованному продолжением средних линий стенок профиля и осью симметрии при их пересечении в центре изгиба (рис. 2,б). По сравнению с профилями СВП, профили СВПУ имеют более массивное и узкое днище, они выше и уже. Вследствие конструктивных особенностей, у профилей СВПУ не благоприятное соотношение высоты к ширине внутреннего участка. Под воздействием усилий прокати при формировании гребнями валков узкого и высокого клина в значительной степени возрастает вероятность их скалывания. Конструкцией фланцев не предусмотрена фиксация профилей в замковых соединениях. По этим причинам, не смотря на более высокие прочностные характеристики, профили СВПУ не получили распространения.

Для повышения надёжности и упрощения соединения внахлест смежных элементов крепи в узлах податливости, авторами [3] предложены профили, у которых днище выполнено с уступами, расположенными в его углах, боковые стенки - с наклоном внутрь профиля, а фланцы обращены своими рёбрами внутрь к вертикальной оси профиля (рис. 3,а).

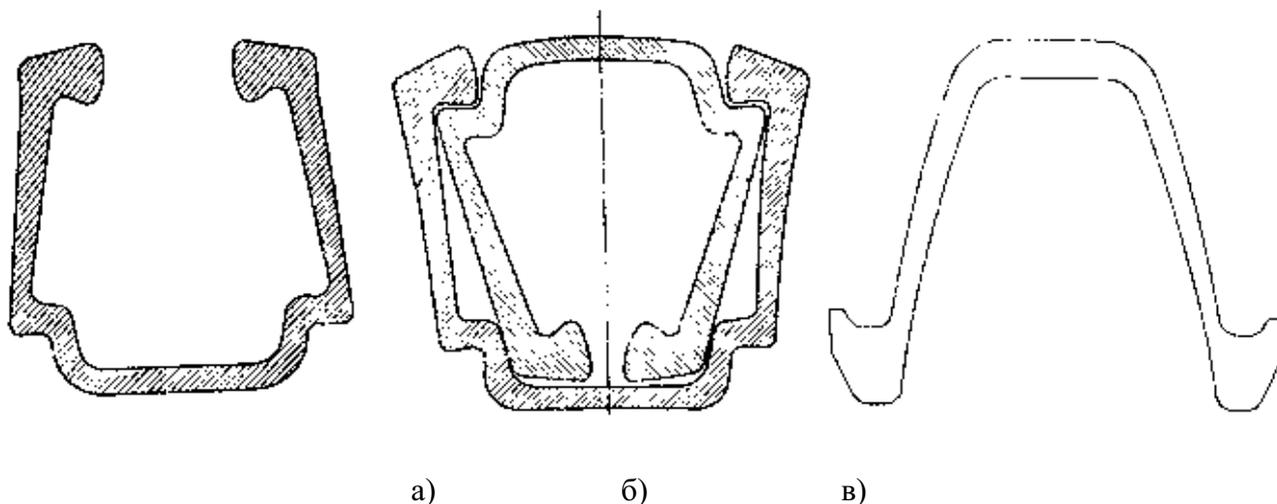


Рис. 3 – Конструкция профилей с фланцами, обращёнными внутрь (а) и соединение профилей внахлест (б); профили ПВ (в)

При соединении в узлах податливости профили разворачивают открытой частью в противоположные стороны и вставляют один в другой (рис. 3,б). При этом фланцы одного профиля фиксируются уступами боковых стенок другого профиля, а концы стенок опираются на внутреннюю поверхность уступов.

В конструкции желобчатого профиля ПВ [4], у которого для повышения сопротивления крепи и взаимной фиксации профилей в узлах податливости, верхние поверхности фланцев выполнены с впадинами, а нижние - в виде выступов с опорными гранями. Ширина верхних опорных поверхностей выполняется большей, чем ширина нижних поверхностей, а угол наклона опорных граней к оси симметрии профиля не превышает 45° (рис. 3,в). В профилях ПВ не усилены участки сопряжения днища и стенок, а возможность деформаций и сколов узких участков, расположенных на верхней поверхности, снижает эффективность фиксации фланцев. Кроме того, малые радиусы сопряжения опорных поверхностей выступов и впадин приводят к интенсивному износу калибров, снижается стойкость, ухудшается технологичность прокатки и надёжность фиксации профилей.

Известна так же конструкция специального профиля, содержащего днище и фланцы, у которого часть внутренней или наружной линии днища, одной из боковых стенок и одного из фланцев выполнены из фрагментов косоугольного конуса (рис. 4). Толщина и длина, как стенок, так и фланцев симметрично расположенных относительно вертикальной оси может быть различной. Кроме того, толщина стенки может увеличиваться или уменьшаться в направлении от днища к фланцам. а толщина одного фланца может увеличиваться от стенки и края фланца к его середине. В некоторых случаях для увеличения трения внутренняя поверхность профиля выполняется рифлёной.

В последние годы в Германии получили распространение унифицированные лотковые профили V, разработанные фирмой «Туссейн Хайтцманн» [5], имеющие более узкое, утолщённое днище и увеличенную высоту сечения (рис. 5). По своим характеристикам, эти профили уступают профилям СВП, но, вследствие применения легированных марок сталей, а также специальной конструк-

ции замковых соединений, они получили широкое распространение на шахтах Германии, Польши, Чехии и др. Таким образом, конструкции профилей, предназначенных для изготовления арочных крепей, из-за несовершенства конструкции и низких прочностных свойств, не в полной мере соответствуют предъявляемым требованиям.

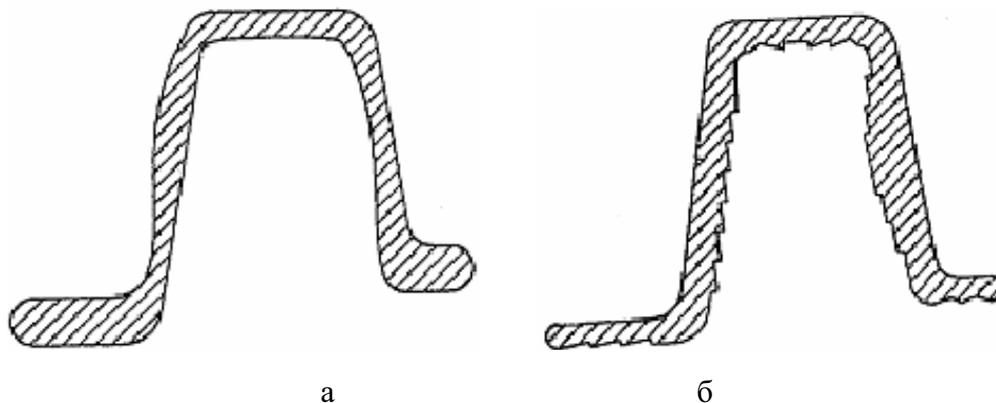


Рис.4 – Профили с различной толщиной и длиной элементов (а) и рифлениями (б)

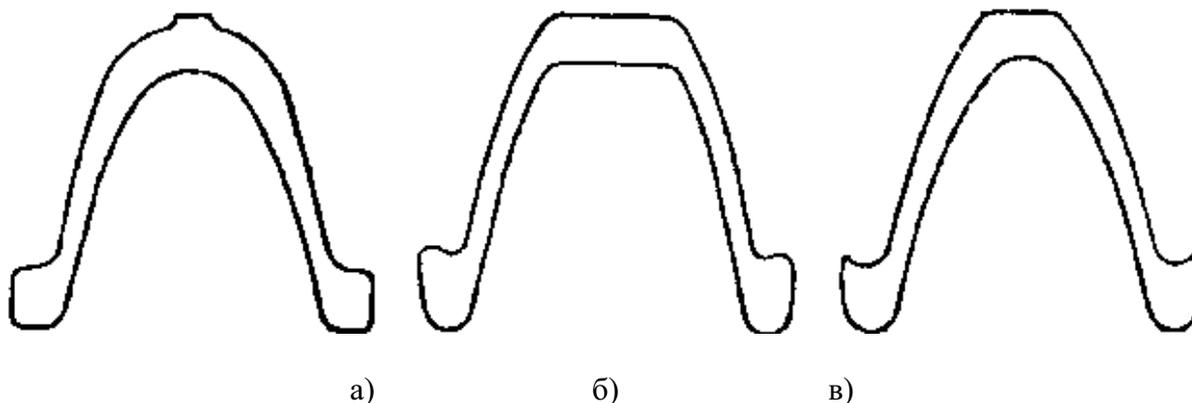


Рис.5 – Желобчатые профили для шахтной крепи
а) колоколообразные; б) лотковые; в) унифицированные лотковые

Сотрудниками кафедры "обработка металлов давлением" ДГМИ и НПЦ «Геомеханика» совместно с работниками ОАО "АМК", путём оптимизации формы и соотношений размеров элементов был разработан новый профиль для шахтной крепи (рис.6). При этом особое внимание уделялось повышению надёжности взаимной фиксации фланцев в замковых соединениях, увеличению прочностных характеристик (W_x) участков сопряжения днища с боковыми стенками и всего профиля при минимально возможной линейной плотности. С учётом этих требований разработана конструкция и расширен сортаментный ряд профилей для шахтной крепи, которые получили название "Специальные профили Алчевские" – СПА [6] (рис. 6,а). Профили СПА содержат днище 1, боковые стенки 2, снабжённые фланцами 3. На верхней и нижней поверхностях фланцев расположены впадины 4 и выступы 5, сопряжённые между собой наклонными поверхностями 6 и 7. Для повышения прочностных характеристик участков сопряжения днища с боковыми стенками, днище выполнено переменной толщины, которая увеличивается от плоскости симметрии профиля к уча-

стам сопряжения с боковыми стенками. Кроме того, внутренняя и наружная поверхности дна выполнены криволинейными и вогнутыми, при чём радиус кривизны внутренней поверхности - R_1 составляет 0,3-0,34, а радиус кривизны наружной поверхности - R_2 составляет 0,92-0,95 высоты профиля (рис. 5,6). Предложенная конструкция дна, за счёт перераспределения металла в поперечном сечении профиля, позволяет на 9-20% увеличить толщину участков его сопряжения с боковыми стенками. Как установлено исследованиями, момент сопротивления участков сопряжения дна по сравнению с аналогичными профилями СВП увеличился на 18-30%. Увеличение прочности сечения участков сопряжения дна с боковыми стенками позволяет уменьшить вероятность его отрыва при увеличении нагрузок, и повышает надёжность работы крепи в узлах податливости.

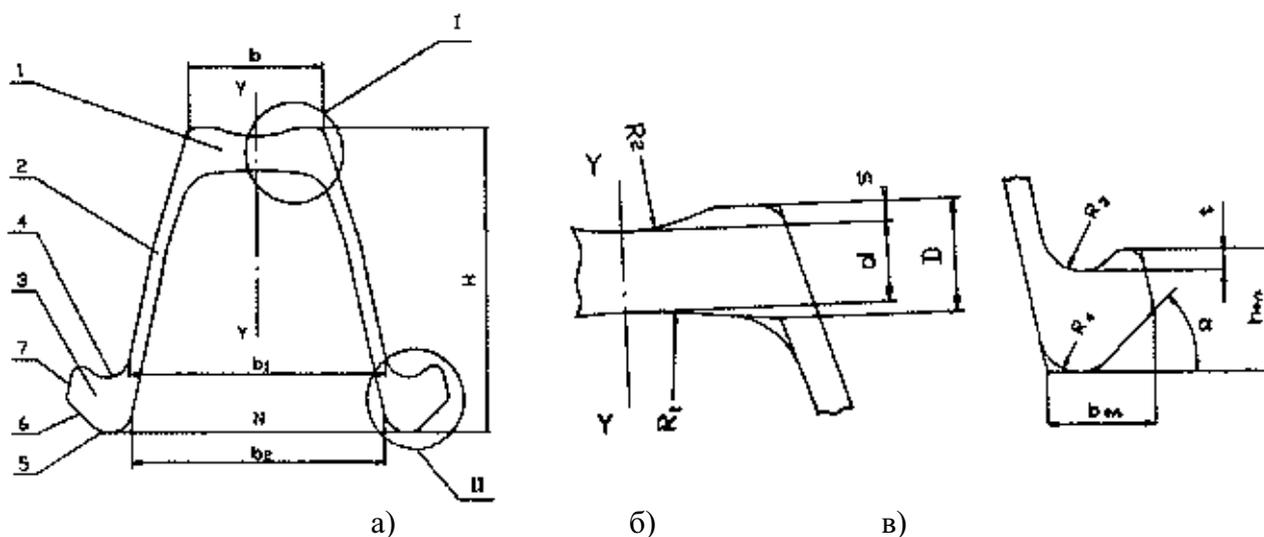


Рис.6 – Специальный профиль Алчевский - СПА

а) общий вид поперечного сечения; б) сопряжение стенок с дном в) фланцы

Как отмечалось выше, эксплуатационные качества арочной крепи, наряду с прочностными характеристиками определяются фиксацией смежных профилей в узлах податливости. Для повышения надёжности взаимной фиксации профилей в замковых соединениях, за счёт перераспределения металла в поперечном сечении фланцев, их опорные поверхности выполнены по радиусам в виде впадин и выступов расположенных на верхней и нижней поверхностях (рис. 6,в). При этом радиусы кривизны опорных поверхностей выступов фланцев составляют 0,34-0,4 горизонтальной проекции ширины фланцев, а радиусы кривизны опорных поверхностей впадин-0,96-0,98 радиусов кривизны опорных поверхностей выступов. Такое соотношение радиусов кривизны опорных поверхностей выступов и впадин, а также выполнение нижней грани фланцев под острым углом к горизонтали, обеспечивает дополнительное трение сопрягаемых поверхностей фланцев смежных профилей в замковых соединениях узлов податливости. Для производства 9 профилеразмеров СПА разработаны технические условия.

Сравнение прочностных характеристик поперечного сечения разработанно-

го и известных профилей показало, что профили СПА по сравнению с распространёнными профилями СВП и V, обладают более высокими характеристиками поперечного сечения - моментами сопротивления W_x (рис.7,а). При этом появляется возможность замены профилей СВП и V на профили СПА, обладающие близкими значениями моментов сопротивления W_x и меньшей линейной плотностью. Кроме того, при близких значениях W_y поперечного сечения новых и известных профилей, профили СПА обладают и более высокими отношениями W_x / W_y (рис.7,б).

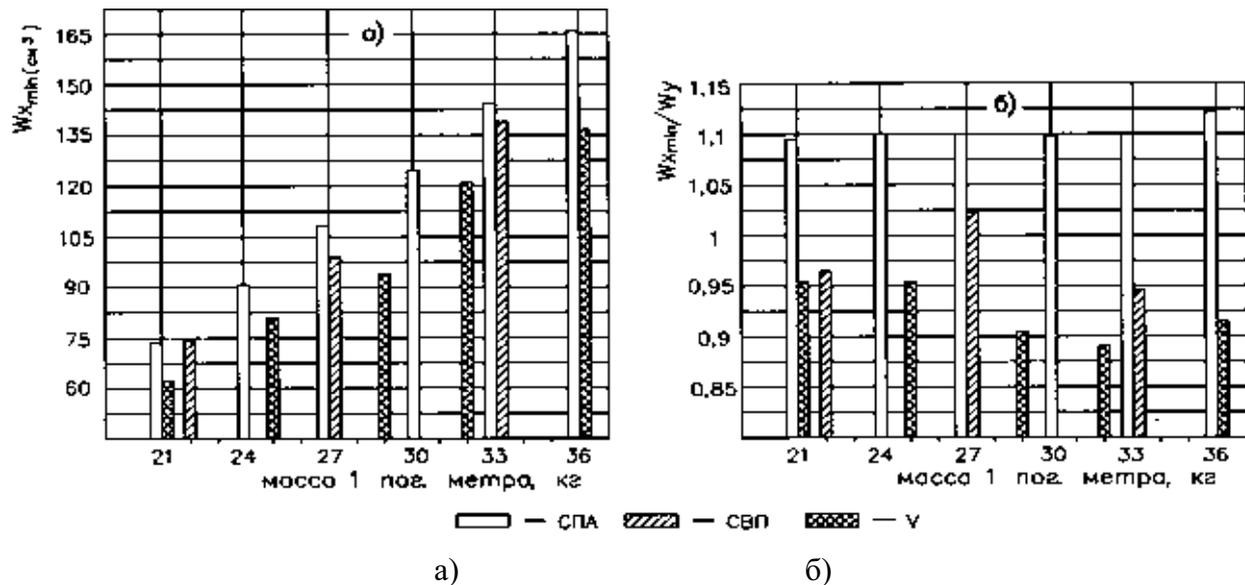


Рис.7 – Моменты сопротивления профилей для шахтной крепи

Рациональность распределения металла и эффективность его использования по сечению профиля можно охарактеризовать удельными показателями [7]. Одним из таких показателей является удельный момент сопротивления или коэффициент использования материала, который представляет собой момент сопротивления поперечного сечения профиля - W_x , отнесенный к массе одного погонного метра - G . Как видно из рисунка 8, профили СПА, обладающие меньшей линейной плотностью (СПА 21, СПА 24 и СПА 30) обладают более высокими значениями удельных моментов сопротивления и коэффициентами использования материала. Это позволяет варьировать размерами новых профилей без снижения несущей способности крепи и даёт возможность экономии металла.

Другим показателем рациональности профилей, работающих на изгиб, является удельный момент сопротивления изгибу $\omega = \frac{W_x}{\sqrt{F^3}}$. Этот показатель, неза-

висимо от размеров, позволяет оценить рациональность распределения металла в поперечном сечении профиля. Как видно из графиков (рис. 8), профили СПА имеющие меньшую линейную плотность, по сравнению с известными профилями обладают более высокими значениями удельных моментов сопротивления изгибу.

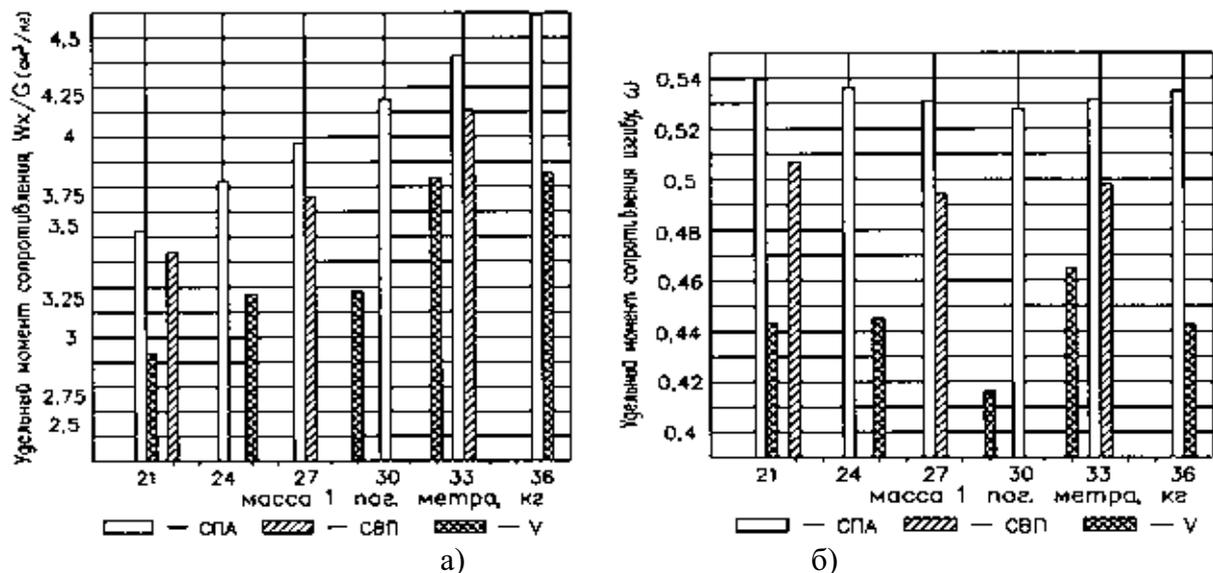


Рис.8 – Удельные моменты сопротивления профилей

Выводы.

Проведен сравнительный анализ конструкций профилей, предназначенных для изготовления арочной крепи. Показаны причины неудовлетворительной работы крепи, которые заключаются в низких прочностных характеристиках участков сопряжения днища с боковыми наклонными стенками и отсутствии надёжной фиксации профилей в узлах податливости.

Разработана новая конструкция и расширен сортаментный ряд профилей для изготовления арочной крепи "Специальные профили Алчевские", в которых счѐт рационального распределения металла между элементами поперечного сечения, повышены прочностные характеристики участков сопряжения днища с боковыми стенками, на 6-12% повышен момент сопротивления изгибу по оси X-X, повышена надёжность фиксации фланцев в узлах податливости. Это позволит при изготовлении арочных крепей, в зависимости от геологических условий варьировать размерами и массой профилей, а так же плотностью их установки в горных выработках.

Применение профилей СПА позволит улучшить условия работы, повысить надёжность и безопасность проведения горных выработок, снизить расход металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зигель Ф.С., Компанец В.Ф. Арочные крепи из новых профилей проката // Уголь Украины.-1992.- №10.- С.59 - 61.
2. Авт.св.СССР № 1348527 А1 МКИ E21D 11/14 Спецпрофиль /В.Н.Каретников, В.Б.Клеймѐнов, А.И.Соколов. Заявл.12.02.86. Оpubл. 30.10. 1987.- Бюл. № 40.
3. Авт.св.СССР № 639470 МКИ E21D 11/14 Стальной профиль / Франц Гантке, Харальд Вальтер и Вальтер Цивитц (ФРГ). Заявл 11.11.1975. Оpubл. 25.12.1978. Бюл. № 47.
4. Авт.св.СССР № 1701928 А1 МКИ E21D 11/14 Желобчатый профиль / В.П.Макаров, И.Б.Ильина, Ю.А.Белоглазов и др. Заявл. 28.02.1990. Оpubл. 30.12.1991. Бюл. № 48.
5. Г.Г.Литвинский, Г.И.Гайко, Н.И.Кулдыркаев. Стальные рамные крепи горных выработок. - Киев: - Техника. -1999. -216с.
6. Пат.UA № 45269 А Профиль горячекатаный для крепления горных выработок / М.Б. Луцкий, В.Я. Кири-

УДК 622.281

С.В. Мартыненко, А.В. Скобенко

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЬНОЙ РАМНОЙ КРЕПИ

Розглянуто питання проектування гірничого кріплення з урахуванням геомеханічної системи “кріплення-породний масив” як стохастичної системи з високим рівнем невизначеності.

THE THEORY AND PROCEDURE OF CALCULATIONS OF PARAMETERS OF A STEEL FRAME SUPPORT

The problem of designing of a mining support surveyed in view of a mechanical system “support-rock mass” as stochastic system with a high level of indeterminacy.

Введение

Наиболее распространенная в настоящее время металлическая крепь из СВП как подпорная конструкция в традиционном виде практически полностью исчерпала свои возможности в выработках, проводимых в сложных горно-геологических условиях. Увеличение глубины разработки угольных пластов и связанный с этим рост горного давления привели к тому, что на шахтах Украины более 50% выработок находятся в неудовлетворительном состоянии, а протяженность ремонтируемых выработок колеблется от 20 до 40% от поддерживаемых. Однако, благодаря широкой освоенности производства, технологичности работ по ремонту, возможности многократного использования, указанная крепь еще длительное время будет оставаться основной при обеспечении устойчивости горных выработок.

Состояние вопроса

До сих пор при проектировании крепи подготовительных выработок по классическим методикам, в силу высокой идеализации вмещающего породного массива, прослеживается явная тенденция несоответствия в большинстве случаев параметров крепи реальным горно-геологическим условиям их эксплуатации. Это, в свою очередь, приводит либо к существенному превышению несущей способности и, следовательно, стоимости крепи, либо к дополнительным эксплуатационным затратам на ремонт.

Таким образом, повышение несущей способности металлической крепи является актуальной задачей, а основными путями ее решения являются поиск и определение рациональной конфигурации сечения профиля с моментами сопротивления, более полно учитывающими направление силовых воздействий на раму [1], создание несущих многоэлементных конструкций, обладающих гибкостью изменения пространственного расположения элементов крепи применительно к условиям нагружения [2], применение высокопрочных сталей для