

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВ ПОДАТЛИВОСТИ КРЕПИ ИЗ КОРОБЧАТОГО ПРОФИЛЯ

Г.Г. Литвинский, Донбасский государственный технический университет, Украина
Э.В. Фесенко, Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича, Украина

Сформулированы требования к узлам податливости стальной рамной крепи и предложены новые их конструкции. Для создания сопротивления податливости впервые использованы управляемое пластическое формоизменение и местная потеря устойчивости коробчатого профиля. Проведены лабораторные исследования, определены технологические параметры и область применения нового узла податливости. Использование в рамной крепи коробчатого профиля вместо спецпрофиля позволит снизить ее массу, повысить работоспособность в податливом режиме, особенно в зоне вредного влияния очистных работ.

В зонах повышенного горного давления, где, как правило, наблюдаются значительные разрушения и смещения породного контура, могут применяться только податливые конструкции крепи. Чаще всего для этого используется рамная стальная крепь из СВП, направленная деформируемость которой обеспечивается за счет узлов податливости, установленных на участке нахлестки несущих элементов из прокатных профилей. Особая форма профилей для рамной крепи, - корытная, - была предложена в Германии около века назад именно с целью обеспечения смещения несущих элементов в узлах податливости (УП), работающих на принципе сухого трения на участке нахлестки профилей.

Как показано в работах [1, 2], перспективным направлением совершенствования стальной рамной крепи является отказ от малоэффективного спецпрофиля типа СВП и переход на коробчатый профиль (прямоугольную трубу), поскольку у него прочность при изгибе со сжатием выше в 1,5 – 2 раза, а устойчивость при кручении больше в 16 – 27 раз. Применение коробчатого профиля уменьшает массу крепи в 1,25 – 1,6 раза при сохранении той же несущей способности, заметно снижает стоимость, трудоемкость и время ее возведения, ускоряет сооружение и увеличивает устойчивость выработок. Однако применение коробчатых профилей сдерживается отсутствием разработок соответствующих конструкций УП.

В ДонГТУ на основе анализа существующих типов стальной рамной крепи и особенностей их взаимодействия с массивом в условиях больших смещений и нагрузок, были предложены и исследованы рамные крепи из коробчатого профиля проката [3, 4], в которых следует обеспечить значительный запас податливости при больших смещениях пород внутрь выработки, особенно в зоне вредного влияния очистных работ. Поэтому так актуальна задача разработки и обоснования новых УП для крепи из коробчатого профиля.

Цель исследований - разработка и изучение параметров УП для коробчатого профиля проката. **Объектами** исследований являются различные конструкции УП для крепи из коробчатого профиля, а **предмет исследований** – технологические параметры этих узлов. **Задачи исследований** – разработать новые конструкции УП и с помощью лабораторных испытаний установить их параметры.

Основная идея исследований состоит в создании сопротивления УП за счет использования пластического формоизменения и местной потери устойчивости коробчатого профиля.

Проведенные исследования показали, что несущая способность рамной крепи P в основном зависит от условий контактного взаимодействия крепи с массивом пород: она растет от 40-50 кН и менее для крепи без забутовки закрепного пространства до 400-500 кН при наличии тампонажа закрепного пространства [5]. Поэтому таким изменчивым условиям должны отвечать разные режимы работы узлов податливости. Так, серийные УП для профиля СВП обладают в среднем сопротивлением около 70-100 кН, поэтому крепи без забутовки будут работать в жестком режиме и сразу деформироваться, а крепи с несущей

способностью 400-500 кН будут в податливом режиме давать заниженный отпор всего 150-200 кН, что тоже неэффективно. Сформулируем основные требования, которым должна отвечать конструкция УП при взаимодействии крепи с массивом:

1. Простота, отсутствие резьбовых соединений, легкость и точность соединения сопрягаемых элементов;
2. Податливое сопротивление крепи следует задавать при заводском изготовлении в зависимости от прогнозных условий работы крепи в пределах от 50 до 500 кН;
3. Поставка крепи в полной заводской готовности, исключающей сборку и монтаж УП при креплении выработки;
4. В процессе эксплуатации крепи и смещений пород сопротивление УП должно оставаться постоянным.

На первом этапе исследований в лаборатории кафедры «Строительные геотехнологии» ДонГТУ на прессе МС-1000 были проведены испытания коробчатых труб с целью изучения их поведения при продольном сжатии и определения деформационно-силовых характеристик (ДСХ) в запредельном состоянии [6, 7].

Испытания показали, что коробчатые трубы при продольном сжатии, после достижения напряжениями критического уровня σ_k , начинают терять местную устойчивость и деформируются, образуя чередующиеся гофры на стенках трубы (рис. 1, а), при этом сопротивление деформированию периодически изменяется в пределах $(0,5 \pm 0,15) \sigma_k$. Эти обнаруженные особенности «волноподобного» деформирования коробчатого профиля в закритической стадии нагружения были положены в основу идеи создания УП новой конструкции из нескольких параллельных труб, работающих на взаимно дополняющих стадиях местной потери устойчивости. Такая конструкция позволила бы сгладить волновой характер сопротивления УП при сжатии и увеличить его суммарное сопротивление. В среднем сопротивление такого УП из двух коробчатых труб 40x40x2 мм должно находиться на уровне $F_{cp} \approx (120 \pm 10)$ кН (рис. 1, б, линия 1).

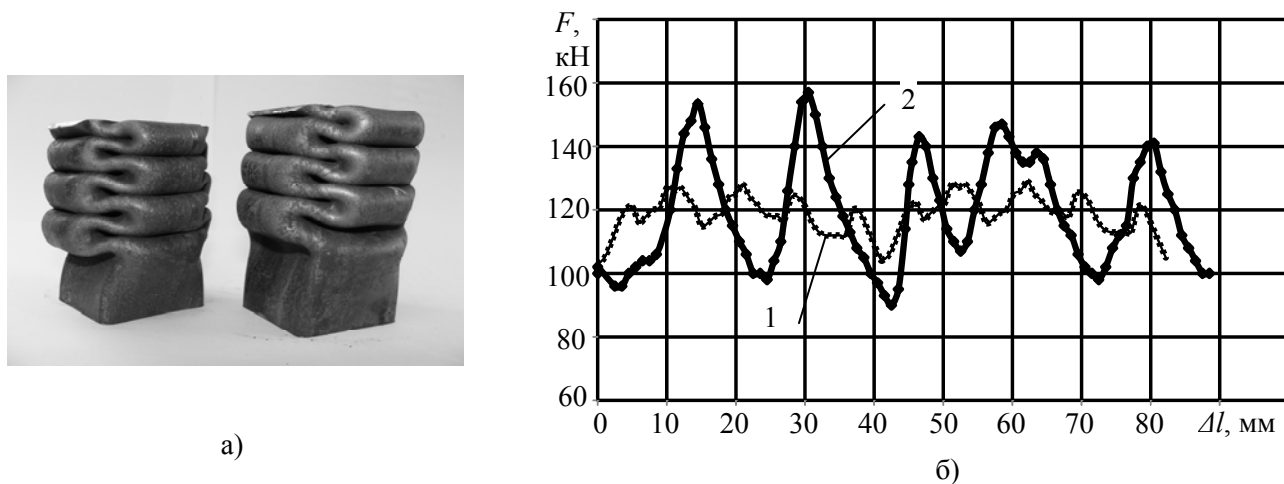


Рис. 1. Образцы трубы сечением 40x40x2 мм после испытаний (а) и ДСХ узла податливости из двух труб 40x40x2 мм (б)

Испытания на прессе МС-1000 труб длиной 200 и 320 мм показали, что ДСХ, полученная в результате эксперимента имела заметные пульсации и отличалась от ожидаемой (рис. 1, б, линия 2): при высоком среднем сопротивлении $F_{cp} \approx 120$ кН стохастический разброс составил 30 кН, т.е. около $\pm 25\%$. Это можно объяснить, во-первых, особенностями экспериментального оборудования, когда самоцентрирующаяся шаровая опора прессы, рассчитанная на одновременное испытание только одного образца, неравномерно передает внешнюю нагрузку при одновременном испытании двух труб. Во-вторых, процессы пульсирующего деформирования имеют значительную стохастическую компоненту. Поэтому такая конструкция УП из-за значительного разброса его рабочих характеристик

была признана нецелесообразной, хотя среднее сопротивление податливости сохраняется вплоть до полного смятия труб.

На втором этапе исследований нами был разработан узел податливости для крепи из коробчатого профиля [8], усилия сопротивления в котором создаются за счет сил трения, возникающих при взаимном смещении несущих профилей при их пластическом формоизменении и местной потере устойчивости.

Узел податливости (рис. 2) состоит из несущего элемента коробчатого профиля 1, у которого стенки предварительно крестообразно деформированы 2, а в середине второго несущего элемента крепи 3 параллельно его оси неподвижно закреплены фигурные клинья 4. Профили крепи 1 и 3 стыкуются в узле податливости, причем участок их соединения помещен в обойму 5, которая плотно прилегает к несущему профилю крепи 3 и опирается на упоры 6, приваренные к профилю 3. Элементы 1 и 3 на стыкуемых концах имеют фаски 7.

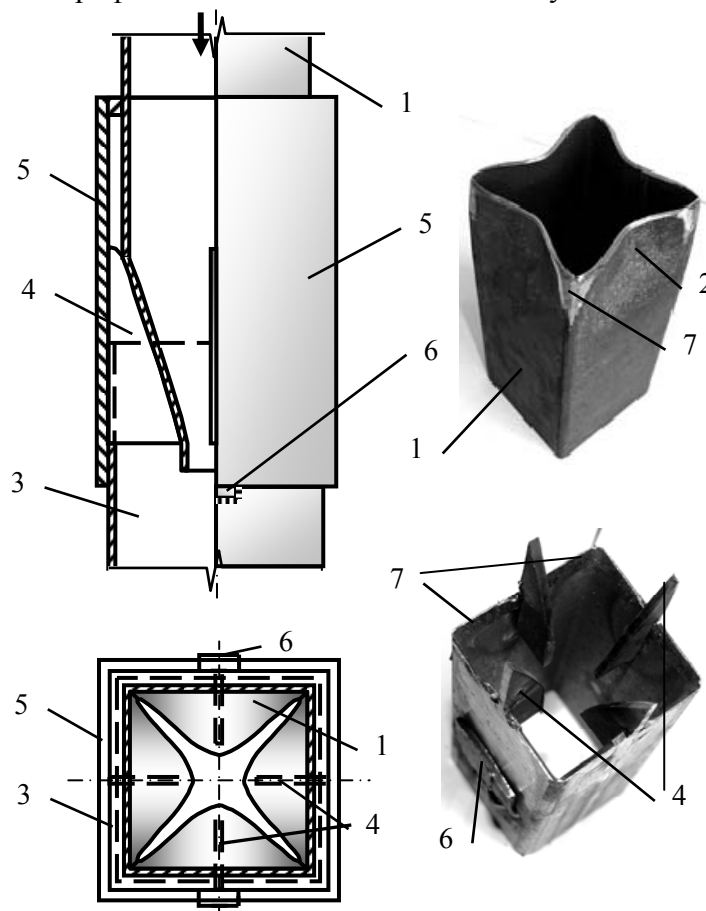


Рис. 2. Узел податливости с крестообразно деформированными стенками несущего профиля

Изменять сопротивление УП можно, меняя конфигурацию и размеры фигурных клиньев 4. Однако на практике часто стоит задача обеспечения максимального сопротивления, тогда фигурные клинья 4 не устанавливают. При взаимном смещении коробчатых профилей 1 и 3 внутри обоймы 5 возникает высокий распор и трение в углах профиля 3 УП. Величина податливости может быть значительной - не менее половины высоты стойки крепи.

Для устранения заклинивания узла податливости служит дополнительная обойма, внутри которой установлены деформирующие клинья. При смещении стойки внутрь УП деформирующие клинья подгибают стенки трубы внутрь профиля, задавая нужное направление их деформирования без заклинивания.

При исследовании параметров нового УП проведена серия испытаний на коробчатом профиле 80x80 мм с толщиной стенок 3 и 4 мм, при длине (рис. 2): верхнего 1 и нижнего 3 профилей – 150 и 100 мм соответственно, высота обоймы 5 была равна 50 мм. Нагрузку на

УП задавали плитой пресса. При испытаниях контролировали вертикальную силу с точностью до 1 кН и смещения плит пресса с точностью до 1 мм. На рис. 3, а показаны результаты испытаний.

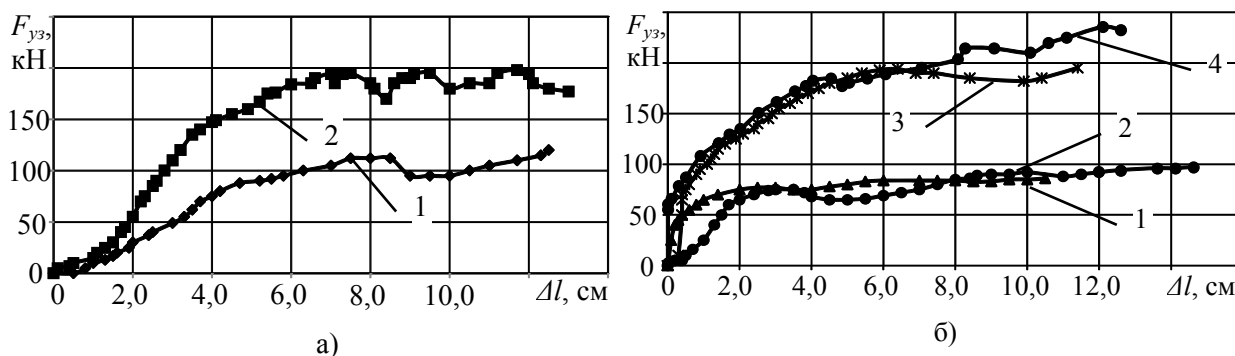


Рис. 3. Результаты испытаний узлов податливости из труб типоразмера 80x80x3 мм с деформирующей обоймой а) со шлифовкой и б) без шлифовки трущихся поверхностей

Оказалось, что результаты экспериментов значительно различаются. Сопротивление узла податливости F_{yz} при величине податливости до $\Delta l = 12...13$ см находится в пределах от 100...120 кН (линия 1) до 170...200 кН (линия 2), т.е. расхождение составляет $\approx 60\%$. Для коробчатых труб типоразмера 80x80x4 мм эти расхождения оказались еще большими. Это объясняется особенностью конструкции, когда трение несущих профилей в узле податливости происходит по поверхностям углов профилей: внутренней нижнего и наружной верхнего. Эти поверхности соприкосновения имеют небольшую площадь, и возникающие здесь в результате клинового распора значительные силы трения приводят к «задирам» металла на локальных участках контакта. Другими словами, происходит местное «холодное течение» металла, которое имеет случайный характер.

С целью устранения задилов и обеспечения стабильности сопротивления УП выполнили шлифовку фасок моделей. Это увеличило воспроизводимость результатов испытаний. (см. графики рис. 3, б), где линии 1, 2 – это ДСХ узлов податливости из труб 80x80x3 мм, а линии 3, 4 – то же из труб 80x80x4 мм. Шлифовка значительно уменьшила число «задилов» по поверхностям трения, однако полностью их устранить не удалось. В моделях из труб 80x80x3 мм «задилов» практически не наблюдалось, тогда как при испытаниях узлов податливости из труб 80x80x4 мм они возникали. Поэтому сопротивление УП F_{yz} с увеличением величины проскальзывания несущих профилей Δl растет. Особенно ярко это выражено для узлов из труб 80x80x4 мм (линии 3, 4).

Испытания показали, что УП с шлифовкой фасок имеют прогнозируемые и стабильные ДСХ (особенно из труб 80x80x3 мм). Такие УП могут быть рекомендованы к промышленному изготовлению и установке на рамной крепи из коробчатого профиля, но после их улучшения за счет устранения «задилов» путем изменения устройства УП: трение создали не в углах профилей, а по их стенкам и поверхностям деформирующих клиньев, расположенных внутри обоймы УП. Тогда при сжатии стойка крепи смещается внутрь узла податливости и ее стенки обжимаются деформирующими клиньями. Сопротивление возникает за счет смятия стенок профиля и сил трения между ними и деформирующими клиньями. Данная конструкция оказалась проще и надежней за счет отказа от предварительного обжима верхнего несущего профиля и выполнения фасок; при этом вместо двух обойм изготавливается одна основная, в которой установлены клинья.

Существенное влияние на сопротивление F_{yz} УП оказывает угол наклона деформирующих клиньев α ; F_{yz} растет при увеличении этого угла. Однако, как показали эксперименты, увеличивать его более $25...27^\circ$ нельзя из-за появления чрезмерных сил трения и образования «задилов». С другой стороны, при уменьшении угла α менее 20° , сопротивление F_{yz} недостаточно. Таким образом, оптимальный угол наклона деформирующих клиньев α ,

установленных в обойме узла податливости, должен находиться в пределах $\alpha = 23^{\circ} \dots 25^{\circ}$. Геометрические параметры обоймы с деформируемыми клиньями показаны на рис. 4.

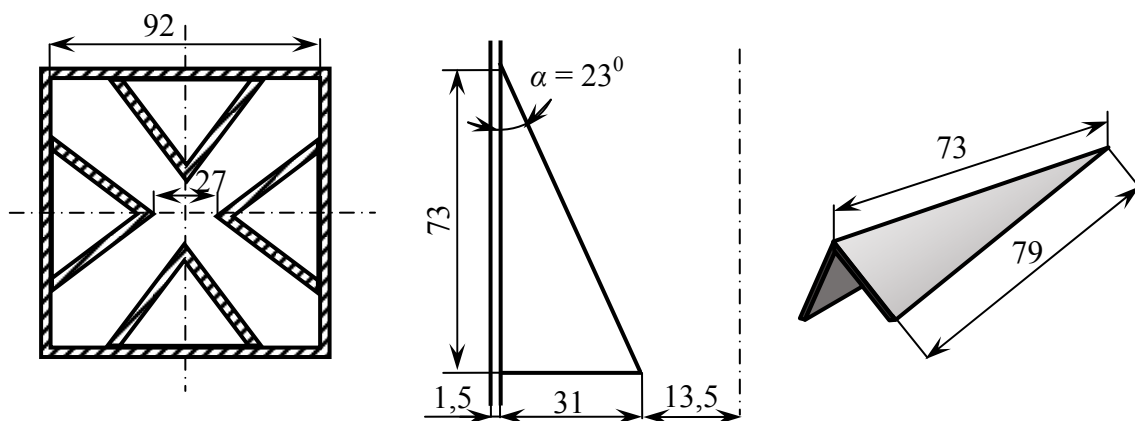


Рис. 4. Конструкция и параметры обоймы с деформируемыми клиньями

Проведено два испытания узла податливости из труб 80x80x3 мм, результаты которых приведены на рис. 5. Воспроизводимость результатов двух проведенных испытаний весьма высокая (рис. 5), что подтверждается стабильной ДСХ.

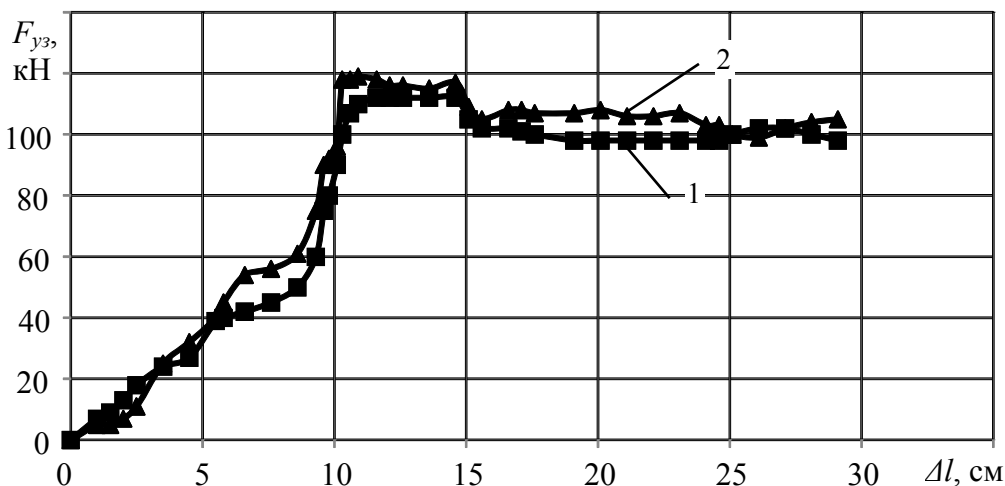


Рис. 5. ДСХ узла податливости из труб 80x80x3 мм

Работу УП под нагрузкой условно можно разделить на три стадии:

1. Обжатия, когда происходит нарастание сопротивления от нуля до максимума $F_{уз\ max} = 110 \dots 120$ кН при величине смещений УП $\Delta l \approx 100$ мм;
2. Максимального сопротивления, $F_{уз\ max} = 110 \dots 120$ кН при смещениях $\Delta l 100 \dots 150$ мм.
3. Рабочего сопротивления при незначительном (на 10%) снижении до $F_{уз} = 100 \dots 105$ кН до постоянного вплоть до полного исчерпания податливости крепи ($\Delta l \geq 150$ мм);

Для устранения первой стадии работы УП его сборку следует производить не в забое выработки при установке крепи, а заранее, на поверхности шахты. При этом обойму с УП устанавливают между двумя элементами стойки и вдавливают их на величину $\Delta l = 100$ мм, когда УП выходит на свою рабочую характеристику. После этого стойка крепи с отрегулированным УП транспортируют в забой выработки для монтажа.

В целом предложенная конструкция УП обладает рядом достоинств, позволяющих рекомендовать ее к промышленному применению путем перехода от обычных конструкций рамной крепи к крепи из коробчатого профиля. Узел обладает достаточно высоким

сопротивлением $F_{уз} = 100...105$ кН в рабочей стадии ДСХ, что соответствует характеристикам современных серийно выпускаемых узлов податливости для крепи из спецпрофиля СВП. При этом, в отличие от последних, предложенный УП обладает стабильным сопротивлением на протяжении всей работы (при любой величине податливости). При необходимости можно повысить или уменьшить сопротивление узла податливости, меняя его параметры: типоразмер несущих профилей, угол наклона деформирующих клиньев. Узел обеспечивает значительную податливость крепи (не менее половины высоты стойки), что особенно важно при работе крепи в условиях больших смещений пород. Кроме того, одним из достоинств конструкции является ее простота, поскольку узел не содержит болтов, гаек, скоб, планок и т.п. Это значительно удешевляет изготовление УП и увеличивает скорость монтажа крепи.

Выводы

1. Установлены параметры наиболее рациональной конструкции УП для рамной крепи из коробчатого профиля, которую можно рекомендовать к промышленному применению. Параметры узла можно регулировать в широких пределах, меняя характеристики несущих профилей и деформирующих ножей.
2. Применение нового УП позволит обеспечить эффективную работу рамной крепи из коробчатого профиля, особенно в зоне влияния очистных работ.
3. Задачи дальнейших исследований состоят в проведении промышленных испытаний предложенных конструкций УП и рамной крепи из коробчатого профиля.

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. Рамная полигональная шарнирно-податливая крепь из коробчатого профиля / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Уголь Украины. 2014. №6. С. 19 – 24.
4. Литвинский Г.Г. Разработка и исследование конструкции рамной трапециевидной усиленной крепи / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2014». Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». 2014. Т.2. С. 121 – 129.
5. Литвинский Г.Г. Исследование предельных состояний рамной крепи / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Науковий вісник НГУ. Дніпропетровськ. 2013. №3. С. 26 – 33.
6. Литвинский Г.Г. Экспериментальные исследования потери устойчивости несущих элементов крепи из коробчатого профиля / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Сб. науч. тр. – Алчевск: ДонГТУ. 2013. Вып. 40. С. 8 – 13.
7. Литвинский Г.Г. Лабораторные испытания элементов крепи из коробчатого профиля / Г.Г. Литвинский, Э.В. Фесенко // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2013». Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». 2013. Т.2. С. 109 – 115.
8. Пат. 88666 Україна, МПК Е 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.