

of the gas-drainage pipeline with condensate accumulations, it is proposed to assume the same value of absolute equivalent surface roughness of the pipeline inner surface as of the pipe after a long period of operation. The article describes character of changes in the absolute pressure of the gas mixture along the length of unpressurized pipe with local sediments, as well as interdependence between turbulent component of aerodynamic resistance of the pipeline and absolute equivalent roughness of the pipeline inner surface.

**Keywords:** gas mixture, gas-drainage pipeline, gas pipeline network, aerodynamic drag, condensate accumulation.

*Статья поступила в редакцию 24.04. 2016*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько*

УДК 622.28.04: 622.81

**Халимендик Ю.М.**, д-р техн. наук, профессор,

**Барышников А.С.**, канд. техн. наук,

**Халимендик В.Ю.**, магистр

(ГВУЗ «НГУ»)

### **БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРОЧНОЙ ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ**

**Халимендик Ю.М.**, д-р техн. наук, профессор,

**Барышников А.С.**, канд. техн. наук,

**Халимендик В.Ю.**, инженер

(ДВНЗ «НГУ»)

### **БЕЗПЕЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ АРКОВОГО ПОДАТЛИВОГО КРІПЛЕННЯ**

**Khalimendik Yu.M.**, D. Sc. (Tech.), Professor,

**Baryshnikov A.S.**, Ph.D. (Tech.),

**Khalimendik V.Yu**, M.S (Tech)

(SHEI "NMU")

### **SAFE USAGE OF JOINT CLAMPS FOR THE ARCH YIELDING SUP- PORTS**

**Аннотация.** Целью исследований является изучение работы замковых соединений арочной податливой крепи из спецпрофиля. Проанализированы деформации замковых соединений в шахтных условиях в виде их перекоса и отрыва. Для углубления понимания работы замковых соединений проведены стендовые испытания. Они заключались в нагружении на прессе прямолинейного отрезка крепи из спецпрофиля СВП с узлом податливости. Установлено, что при работе замкового соединения чередуется взаимное сцепление и скольжение элементов податливого узла с перекосом скоб. Резкий переход из сцепления в скольжение сопровождается скачком скоб с искрообразованием. Теоретические исследования показали, что температура и время жизни искр достаточны для воспламенения метановоздушной смеси. Таким образом, впервые практически доказано, что арочная податливая крепь может послужить источником аварии в горной выработке.

Для исключения искрообразования предложена усовершенствованная конструкция замка податливости, устраняющая его перекося. Новая конструкция включает в себя фиксирующую планку, устанавливаемую между скобой и элементом крепи. Результаты испытаний замков с фиксирующей планкой подтвердили эффективность предложенного решения – достигнута плавная рабочая характеристика крепи без резких смещений скоб и искрообразования.

**Ключевые слова:** замковое соединение, узел податливости, спецпрофиль, метановоздушная смесь, воспламенение, искра, взрывобезопасность.

**Введение.** Соединение элементов арочной металлической крепи из специального взаимозаменяемого профиля (СВП) производится с помощью замковых устройств с использованием скоб с винтовой резьбой. Взаимодействие поверхностей спецпрофилей при соединении их внахлестку с прижатием скобами характеризуется взаимным внедрением контактирующих неровностей на малую глубину и образованием адгезионных связей между элементами крепи. Процесс повторяется многократно, образуя периодические изменения тонких слоев трущихся поверхностей. Эти фрикционные контакты имеют весьма малую толщину.

При смещении элементов крепи происходит перекося соединительных хомутов, а, при наличии изгибающих моментов, усиливается деформация планки и скобы. В таких условиях сила удара оторванных элементов замкового соединения достаточна для травмирования людей (рис. 1).



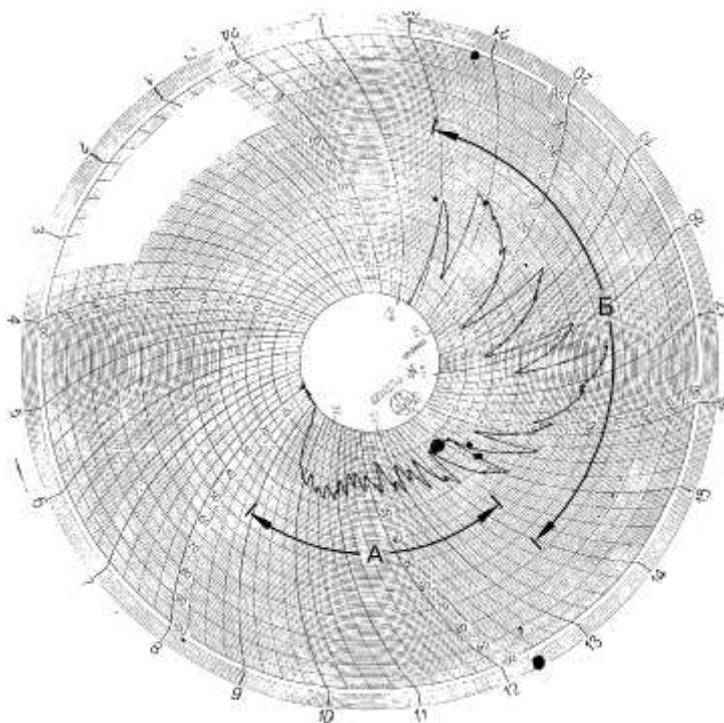
Рисунок 1 – Деформация и отрыв планок замковых соединений АПЗ-030

Перекося скоб возникает под действием тангенциальных сил, что временно увеличивает натяжку профилей в узле податливости. Дальнейшее взаимное перемещение элементов крепи приводит к «срыву» (резкому смещению) скоб и ослаблению силы натяжки (рис. 2).



Рисунок 2 – Перекос скоб и планок замковых соединений ЗПКМ

При анализе результатов испытаний крепи на стенде ДонУГИ на круговой диаграмме видно участок А плавного проскальзывания элементов крепи за счет трения спецпрофиля, и участок Б со скачками нагрузки при перекосе и резком смещении скоб замковых соединений (рис. 3).



А – участок проскальзывания элементов крепи за счет трения спецпрофиля; Б – участок с резкими смещениями скоб при их перекосе

Рисунок 3 – Характерные участки характеристики работы крепи.  
Испытания на стенде ДонУГИ.

**Целью работы** является исследование особенностей работы замковых соединений узла податливости металлической крепи из СВП.

**Материалы и результаты исследования.** Было произведено исследование

работы замковых соединений на гидравлическом прессе ПГ-100А ЗИМ «Армовир» лаборатории строительных конструкций НГУ. Для этого использовались элементы крепи из СВП-27, скоба диаметром 26 мм и планки замков ЗШ-000 или ЗПКм. В процессе испытаний производилась видеосъемка.

Во время испытания элементов крепи на стенде отмечалось периодическое звуковое сопровождение трения в контактах податливого узла. Это являлось признаком перехода трения сцепления в кратковременное скольжение. Частота перехода сцепления в скольжение зависит от проявления усилия сжатия элементов крепи, величины тангенциальных сил и геометрических параметров замков крепи.

Учитывая, что поверхности элементов крепи не имеют необратимых изменений соприкасающихся поверхностей, можно утверждать, что при кратковременном скольжении не возникают сильные локальные нагревы в местах контакта.

Периодическое замедление смещений вызвано изменением силы трения покоя – перед скольжением она становится диссипативной (рассеивающей энергию).

Во время испытаний на прессе периодически происходили резкие смещения хомутов – «срывы», которые сопровождалась локальным пластическим деформированием спецпрофиля с последующим отрывом части металла с высокой температурой (рис. 4, 5).

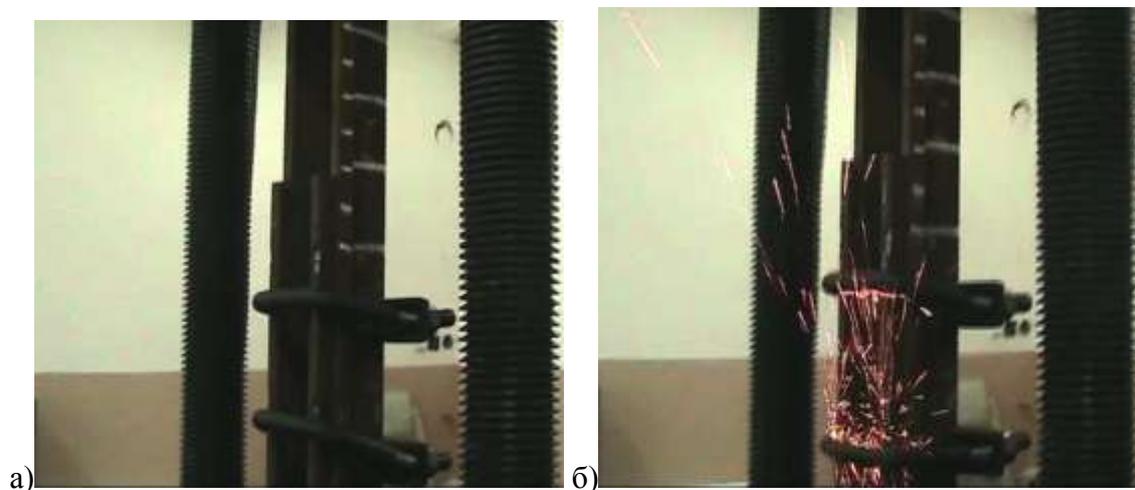


Рисунок 4 – Перекос нижней скобы (а) и искрообразование при ее резком смещении (б)

Радиус разлета искр составлял около 1 м. По их цвету можно определить температуру, которая для белых искр превышает  $1000^{\circ}\text{C}$ . Время «жизни» искр, оцененное по результатам кадровой съемки, составило 0,16–0,3 сек.



Рисунок 5 – Следы деформации спецпрофиля СВП в местах контакта со скобой замкового соединения перед ее срывом

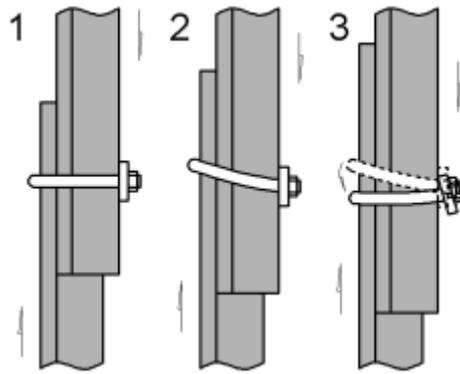
Для температуры источника возгорания  $1000^{\circ}\text{C}$  время индукционного периода метановоздушной смеси составляет около 0,15 секунд [1]. А учитывая, что температура воспламенения метановоздушной смеси составляет  $650-750^{\circ}\text{C}$  [1], то искрообразование при резком смещении скоб может быть источником её взрыва.

Процесс резкого смещения скобы можно сравнить с резанием или ударом [2], когда из металлического тела вырывается его часть в виде искры. При перекосе и натяжении скобы в области ее контакта с профилем СВП концентрируется большое количество тепла, разогревающее участок металла до температуры  $800-1200^{\circ}\text{C}$  с последующим его отрывом.

Подтверждением возможности взрыва могут служить результаты исследований [3,4]. Установлено, что, даже при наличии флегматизирующей концентрации галлонов, энергия источника от 2 до 420 Дж достаточна для воспламенения метановоздушной смеси [3,4]. Расчет теплотворной способности 1 г металла при переходе из твердого состояния в жидкое (в процессе вырывания его скобой из отрезка профиля СВП) показывает около 400 Дж.

При расследовании причин аварии на шахте «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь» было установлено, что произошло образование взрывчатой концентрации метановоздушной смеси над металлической крепью, а резкое сдвижение пород привело к проскальзыванию элементов крепи в узле податливости с последующим возникновением температурного импульса [5].

Таким образом, конструкция замков с использованием скоб имеет нестабильную рабочую характеристику из-за чередования взаимного скольжения элементов крепи и резкого «срыва» скоб замков с последующим искрообразованием с достаточной энергией для воспламенения и взрыва метановоздушной смеси. Схема возникновения резких смещений скоб приведена на рисунке 6.

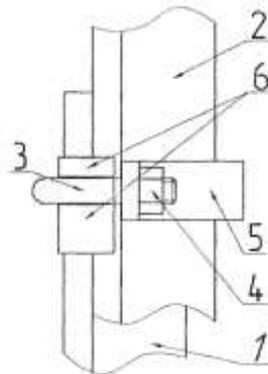


1 – начало взаимного смещения элементов крепи, 2 – деформация скобы в виде перекоса, 3 – резкое смещение скобы с ослаблением затяжки замка

Рисунок 6 – Схема возникновения резких смещений скоб при нагружении элемента крепи с податливым узлом

Для решения проблемы искрообразования необходимо исключить перекося скоб при взаимном перемещении элементов крепи.

Стеновыми испытаниями доказано, что этого можно достичь, применяя фиксирующую планку скобы замка податливости металлического крепления (рис. 7) [6].



1, 2 – элементы спецпрофиля СВП; 3 – скоба; 4 – гайка; 5 – планка замка; 6 – фиксирующая планка

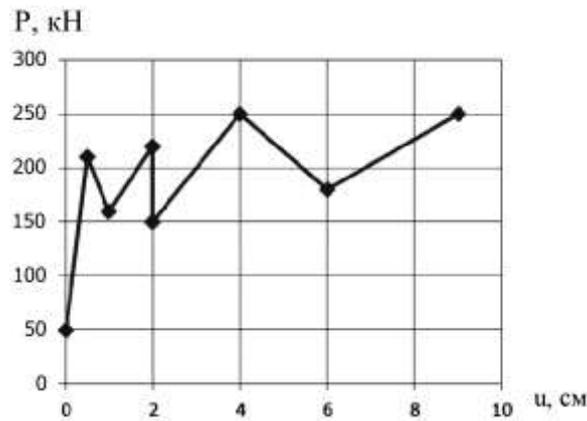
Рисунок 7 – Усовершенствованная конструкция замка податливости

Рабочая характеристика испытания вертикальных стоек из профиля СВП-27 с замками ЗПКм и фиксирующими планками приведена на рис. 8.

Видимого значительного перекося скоб при испытании работы замковых соединений не наблюдалось. Среднее значение верхних пиков нагрузки в податливом режиме составляет 250 кН ( $\approx 25$  т).

Отпор стойки с таким замковым соединением несколько выше, чем при использовании замков ЗЗД-20 [7].

При испытании арочной крепи вертикальными нагрузками [Компанец, В.Д., 1988] с учетом наклонного положения замковых соединений можно ожидать несущую способность крепи не менее 500 кН (50 т/арку).



P – навантаження; u – взаємне сміщення елементів кріпи

Рисунок 8 - Рабочая характеристика испытания вертикальных стоек с применением фиксирующей планки и замка ЗПКМ.

**Выводы.** Стендовыми испытаниями узла податливости крѣпи из СВП доказано появление искр при перекосе и дальнейшем резком смещении скоб замковых соединений. Параметры искры достаточны для инициирования воспламенения и взрыва метановоздушной смеси. Таким образом, в шахтных условиях арочная податливая крѣпь может быть причиной аварии. Для исключения искрообразования и обеспечения взрывобезопасности необходимо исключить явление перекоса и резкого смещения скоб. Разработано техническое решение с применением в конструкции замка фиксирующей планки. Результаты испытаний замков с фиксирующей планкой подтвердили эффективность предложенного решения – достигнута плавная рабочая характеристика крѣпи без резких смещений скоб и искрообразования. Отпор стойки податливой крѣпи из отрезков СВП с применением двух усовершенствованных замков составляет 250 кН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков, К.З. Рудничная аэрология / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, И.И. Медведев. – М.: Недра, 1978. – 440 с.
2. Стручалин, В.Г. Обеспечение пожаровзрывобезопасности котлов железнодорожных цистерн для перевозки легковоспламеняющихся и горючих жидкостей : дис.... канд. техн. наук: 05.26.03 / Стручалин Владимир Гайозович. – Москва: Моск. гос. ун-т путей сообщ., 2016. – 172 с.
3. Ботвенко, Д.В. Разработка методики оценки и классификации фрикционной опасности горных пород : дисс. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Ботвенко Денис Вячеславович. – Кемерово, 2004. – 147 с.
4. Лисочкин, Я.А. Влияние энергии источника зажигания на экспериментально определяемое значение минимальной флегматизирующей концентрации галоидоуглеводородов / Я.А. Лисочкин // Физика горения и взрывов. – 2004. - т.40. – №4 - с. 3-7.
5. Денгис, В.Р. Ликвидация аварии на шахте «Комсомольская» ОАО «Воркутауголь» / В.Р. Денгис // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – №12. – с. 20-25.
6. Пат. № 110404 UA, МПК E21D 11/22 (2006.01). Замок піддатливості металевого кріплення зі спецпрофілю / В.В. Вишневецкий, Ю.М. Халимендик, В.Ю. Халимендик; заявник і патентовласник В.В. Вишневецкий, Ю.М. Халимендик, В.Ю. Халимендик. – а 2014 03573; заявл. 12.10.2015, Бюл.№ 19; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24. – 5 с.
7. Исследование работоспособности узла податливости стойки усиления крѣпи / Э.П. Курченко, Б.Т. Тупиков, А.А. Сытник, А.А. Федористова // Уголь Украины. – 2002. – №9. – с. 26-28.

#### REFERENCES

1. Ushakov, K.Z., Burchakov, A.S. and Medvedev, I.I. (1978), *Rudnichnaya aerologiya* [Mine aerology], Nedra, Moscow, SU.

2. Struchalin, V.G. (2016), «Providing of fire and explosion safety caldrons of railway cisterns for transportation of flammable and combustible liquids», Ph.D. Thesis, 05.26.03, Mosk. gos. un-t putei soobshch., Moscow, RU.

3. Botvenko, D.V. (2004), «Development of method of estimation and classification of friction danger of mine breeds», Ph.D. Thesis, 05.26.03, Kemerovo, RU.

4. Lisochkin, Ia.A. (2004), «Influence energy of source of lighting on the experimentally determined value of minimum phlegmatized concentration of galoid-hydrocarbons», *Physics of burning and explosions*, Vol. 40, no. 4, pp. 3-7.

5. Dengis, V.R. (2007), «Liquidation of failure on a mine «Komsomolskaya» ОАО «Vorkutaugol», *Bezopasnost truda v promyshlennosti*, no. 12, pp. 20-25.

6. Vyshnevetskiy, V.V., Khalimendik, Yu.M. and V.Yu. Khalimendik, V.Yu. (2015), zaiavnyk i patentovlasnyk V.V. Vyshnevetskiy, Yu.M. Khalimendik, V.Yu. Khalimendik, *Zamok piddatlyvosti metalevoho kriplennia zi spetsprofilu* [Lock of pliability of the metallic fastening from the specialtype], Kiev, UA, Pat. # 110404 UA, MPK E21D 11/22 (2006.01).

7. Kurchenko, E.P., Tupikov, B.T., Sytnik, A.A. and Fedoristova, A.A. (2002), «Fasten research of capacity of knot of pliability of bar of strengthening», *Coal of Ukraine*, no. 9, pp. 26-28.

---

### Об авторах

**Халимендик Юрий Михайлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры маркшейдерии ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепр, Украина, khalymendyk@meta.ua

**Барышников Анатолий Сергеевич**, кандидат технических наук, ассистент кафедры маркшейдерии ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепр, Украина, as\_nmu@mail.ru

**Халимендик Владимир Юрьевич**, магистр, инженер лаборатории строительных конструкций ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепр, Украина, khalymendyk@meta.ua

### About the authors

**Khalimendik Yuriy Mikhailovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Professor of Mine Surveying Department of State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, khalymendyk@meta.ua

**Baryshnikov Anatoliy Sergeevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Assistant of Mine Surveying Department of State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, as\_nmu@mail.ru

**Khalimendik Vladimir Yuriyevich**, Master of Science, Engineer of Building Constructions Laboratory of State Higher Educational Institution “National Mining University” (SHEI «NMU»), Dnepr, Ukraine, khalymendyk@meta.ua

---

**Анотація.** Метою досліджень є вивчення роботи замкових з'єднань аркового податливого кріплення зі спецпрофілю СВП. Проаналізовані деформації замкових з'єднань у шахтних умовах у вигляді їх перекосу й відриву. Для поглиблення розуміння роботи замкових з'єднань проведені стендові випробування. Вони полягали в навантаженні на пресі прямолінійного відрізка кріплення зі спецпрофілю СВП з вузлом податливості. Встановлено, що при роботі замкового з'єднання чергується взаємне зчеплення й ковзання елементів податливого вузла з перекосом скоб. Різкий перехід зі зчеплення в ковзання супроводжується стрибком скоб з іскроутворенням. Теоретичні дослідження показали, що температура й час життя іскор достатні для запалення метаноповітряної суміші. Таким чином, уперше практично доведено, що аркове податливе кріплення може послужити джерелом аварії у гірничий виробці. Для виключення іскроутворення запропонована вдосконалена конструкція замка податливості, що усуває його перекоп. Нова конструкція містить у собі фіксуючу планку, що встановлюється між скобою й елементом кріплення. Результати випробувань замків з фіксуючою планкою підтвердили ефективність запропонованого рішення – досягнута плавна робоча характеристика кріплення без різких зміщень скоб і іскроутворення.

**Ключові слова:** замкове з'єднання, вузол податливості, спецпрофіль СВП, метаноповітряна суміш, запалення, іскра, вибухобезпечність.

**Abstract.** The purpose of this research is to investigate operation of joint clamps in the arch

yielding supports made of special V-shape profile SVP. The joint clamps bending deformation and breakaway in the mine conditions are analyzed. On order to better understand operation of the joint clamps, the bench tests were conducted with using hydraulic press for loading a line segment of the v-shape profile support with yielding joint. It is found that when a yielding joint operates, the adhesion and slipping of its elements are interchanged, and the joint clamps are bended. The abrupt transition from the adhesion to the slipping is accompanied by jumping of the bended clamps and spark generation. The theoretical studies have shown that the spark temperature and life-time are enough to ignite a methane-air mixture. Thus, it is practically proved that the arch yielding support can be a source of an accident in the mine. To exclude spark generation, an improved design of the joint clamp is proposed, which prevents the clamp from bending. The new design includes a clamping plate, which is installed between the joint clamp and the support element. Results of bench testing of the joint clamps with a clamping plate confirm effectiveness of the proposed solution: a smooth operating characteristic of support without sudden jump of the clamps and spark formation is achieved.

**Keywords:** joint clamp, yielding joint, special v-shape profile SVP, methane-air mixture, ignition, spark, explosion safety.

*Статья поступила в редакцию 16.05. 2016*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским*