

УДК 622.817: 622.235

**А.Ю. Прокопов, В.Л. Склепчук**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОХОДКИ И КРЕПЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ НА УЧАСТКАХ НЕФТЕГАЗОПРОЯВЛЕНИЙ**

*На основании хронометражных наблюдений исследована структура затрат времени на выполнение отдельных операций проходческого цикла при сооружении скипового ствола подземного рудника «Мир». Доказано влияние нефтегазопроявлений на перераспределение затрат времени. Предложены меры по повышению безопасности и технико-экономической эффективности проходки стволов в условиях нефтегазопроявлений.*

*Ключевые слова: вертикальный ствол, буровзрывные работы, вентиляция, нефтегазопроявления.*

---

**В**ертикальные стволы шахт и рудников проходятся в самых разнообразных горно-геологических условиях. Стволы, как главные вскрывающие выработки, пересекают многочисленные слои горных пород, имеющие различное происхождение, механические и физико-химические свойства, водообильность, газонасыщенность, нефтеносность, битуминозность и другие характеристики, оказывающие существенное влияние на темпы проходки и другие технико-экономические показатели.

Увеличение глубин разработки связано с ухудшением горно-геологических условий. В ряде случаев проходка глубоких вертикальных стволов ведется с пересечением газоносных пластов, при этом в забое и по всей глубине ствола могут образовываться взрывоопасные смеси воздуха с метаном, его гомологами (этаном, пропаном, бутаном и более высокими) и другими взрывоопасными газами. Такие условия имели место при проходке вертикальных стволов подземных рудников «Мир» и «Удачный» АК «Ал-

роса», при пересечении газоносных пластов ряда сверхкатегорийных шахт Кузбасса (ш. «Юбилейная», г. Новокузнецк, и др.), украинского Донбасса (ш. им А.Ф. Засядько, «Красноармейская-Западная» и др.).

В практике отечественного шахтного строительства неоднократно возникали аварии, связанные со взрывами и вспышками газозоносных смесей (ГВС), нефти и битумов, а также пожарами в проходимых и эксплуатируемых вертикальных стволах. Такие аварии происходили при проходке вентиляционно-вспомогательного и скипового стволов рудника «Удачный» в 2006 и 07 гг. [1], в стволе ш. им. 50-летия СССР ГУП «Краснодонец» в 2004 г., в стволе рудника «Вершино-Дарасунский» компании «Руссдрагмет» в 2006 г. и др. [2].

В условиях нефтегазопроявлений и высокоминерализованных газонасыщенных подземных вод будет сооружаться и клетевой ствол подземного рудника «Удачный», проходка которого запланирована АК «Алроса» на 2011-13 гг.

Исходя из вышесказанного следует, что повышение безопасности и улучшение технико-экономических показателей проходки стволов на участках нефтегазопроявлений, дальнейшее совершенствование технологии сооружения, а также методов и средств взрывозащиты вертикальных стволов, проходимых в указанных условиях, является актуальной задачей шахтного строительства.

Целью настоящей статьи является обработка результатов хронометражных наблюдений за выполнениями отдельных операций проходческого цикла при сооружении скипового ствола подземного рудника «Мир» АК «Алроса» с целью определения структуры затрат времени и выявления резервов для повышения темпов проходки и безопасности работ.

Проходка и крепление скипового ствола подземного рудника «Мир» велась силами ОАО «Ростовшахтострой» по заказу АК «Алроса» в 2003 – 08 гг.

Основные характеристики ствола: назначение – скиповой (выдача горной массы); назначение по вентиляции – воздуховыдающий; проектная глубина – 1036,9 м; диаметр в свету – 8,0 м; крепь – комбинированная (монолитная бетонная, тюбинговая); площадь сечения: в свету – 50,24 м<sup>2</sup>, в проходке – 69,40 м<sup>2</sup>.

При проходке ствола ниже отметки 627,6 м наблюдается несколько участков, характеризующихся наличием газонасыщенных пород и нефтепроявлений:

– в пределах отложений Чарской свиты в интервале 627,6-786,0 м залегает одноименный слабогазонасыщенный комплекс, в состав которого входит четыре коллектора. Породы слабопроницаемые, низкопористые, размер пор 0,1-0,5 мм заполненные нефтебитумами (60%) и минерализованной водой (40%). По химическому

составу газы относятся к углеводородам нефтяного ряда и составляют 95% от общего объема газа. Основным компонентом является метан, его содержание колеблется от 71 до 88%. Содержание углекислого газа не превышает десятых долей процента;

– в интервале 861,2-1036,9 м проходка ствола велась по карбонатным породам Олёкминской свиты. Характерны трещины с зеркалами скольжения на поверхности которых глина, битум, нефть. По трещинам происходит нефтевыделение с дегазацией. Пористое пространство на 68-82% заполнено нефтебитумами, остальное минерализованными рассолами. Общая газоносность пород колеблется от 2 до 5,2 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Химический состав газов идентичен вышеописанным в Чарском газонасыщенном горизонте.

С целью изучения опыта проходки стволов в условиях нефтегазопроявлений и разработки мероприятий по взрывозащите выработок, проходимых в аналогичных условиях, сотрудниками кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и строительные материалы» Шахтинского института (филиала) ЮРГТУ(НПИ) проводились хронометражные наблюдения за выполнением всех процессов проходческого цикла [3].

К основным технологическим процессам, исследуемым с помощью хронометражных замеров, относятся: бурение шпуров перфораторами ПП-54В, зарядание шпуров, подъем проходческого оборудования, взрывание и проветривание, приведение забоя в безопасное состояние, спуск проходческого оборудования, погрузка породы погрузочной машиной 2КС-2у/40 с выдачей проходческими бадьями БПС-3,0, установка тюбинговых колец, разборка забоя.

Таблица 1

**Значения показателей вариации исследуемых выборок**

Показатель вариации	Исследуемый признак								
	Величина заходки, м	Продолжительность, мин							
		бурения	заряжания	взрыв., проветривания	спуска-подъема полка	привед. забоя в безоп.	погрузки породы	крепл. тубингами	разборки забоя
Min – max	0,6 – 2,5	335 – 710	40 – 125	30 – 210	20 – 80	15 – 60	310 – 980	150 – 365	175 – 700
Размах вариации	1,9	375	85	180	60	45	670	215	525
Среднее арифметическое	1,69	458	77	101	44	32	577	244	416
Дисперсия	0,32	8317	524,4	1621	200	189	29019	3293	18048
Стандартное отклонение	0,55	91,2	22,9	40,3	14,1	13,8	170,4	57,4	134,3
К-т вариации, %	32,5	19,9	29,7	40,0	31,8	42,9	29,5	23,5	32,3

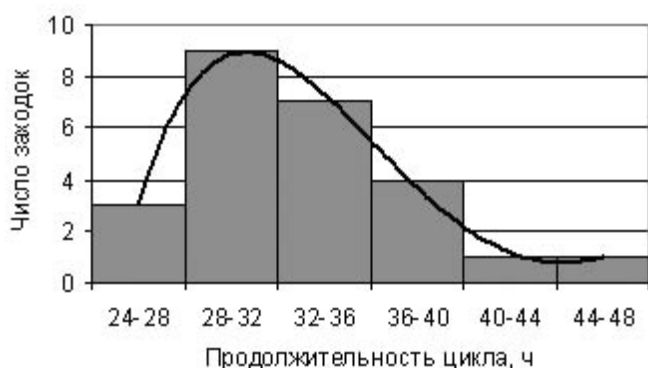
Так как участок ствола характеризовался наличием нефтегазопроявлений, особое внимание при исследованиях уделялось ведению буровзрывных работ, проветриванию и соблюдению мероприятий по взрывозащите ствола.

Одним из мероприятий по снижению вероятности воспламенения и взрыва нефти, битумов и газа, являлось ограничение величины заходки. Паспорт БВР на исследуемом участке ствола предусматривал бурение 155 шпуров, в т.ч. 6 врубовых (расположенных на окружности диаметром 2,5 м), 87 отбойных (на 4 окружностях диаметрами 3,7; 5,0; 6,4; 7,6 м), 60 оконтуривающих (на окружности диаметром 8,8 м). Глубина комплекта шпуров составляла 2,2 м, врубовых – 2,4 м.

В результате хронометражных наблюдений было изучено 24 проходче-

ских цикла, приходящихся на участки ствола с нефтегазопроявлениями, величина заходки колебалась от 0,6 до 2,5 м. Основные показатели вариации исследуемой выборки приведены в табл. 1. Наибольший относительный разброс значений характерен для приведения забоя в безопасное состояние, зарядание и проветривание ствола, наименьший – для бурения шпуров и крепления тубингами.

Статистический анализ результатов хронометражных наблюдений свидетельствует о высокой дисперсии по всем исследуемым признакам. Большой разброс значений величины заходки вызван изменяющимися горногеологическими условиями проходки. В 9 случаях из 24 заходка составляла от 2 до 2,5 м, таким образом, КИШ был близок к 1, а в нескольких случаях превышал ее. Эти результаты при-  
ходятся на участки с максимальными



**Рис. 1. Гистограмма и теоретическая кривая распределения величины продолжительности проходческого цикла**



**Рис. 2. Структура затрат времени на выполнение отдельных процессов проходческого цикла**

нефтегазопрооявлениями, что свидетельствует об их влиянии на величину заходки вследствие повышения мощности взрыва за счет горючих свойств нефти и битумов [4].

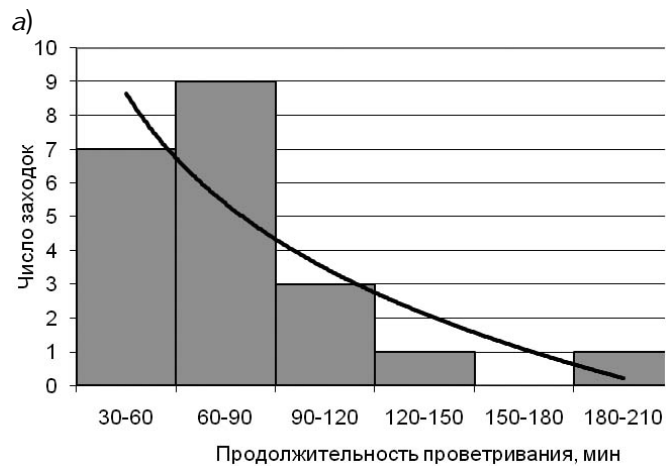
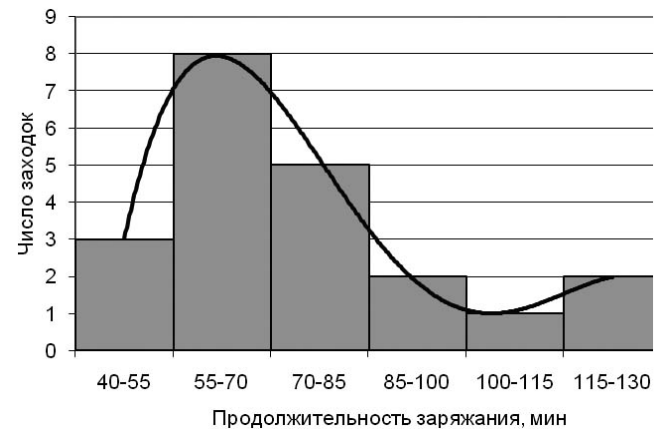
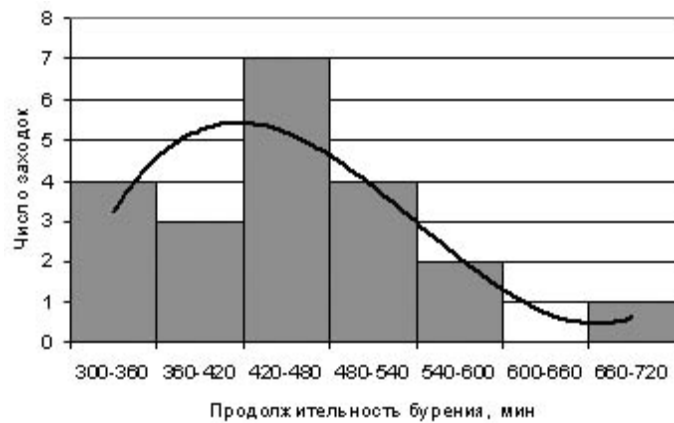
Продолжительность проходческого цикла изменялась в период наблюдений от 24 до 48 ч. Значительный разброс значений вызван существенным отличием величин заходки, и соответственно объемов работ по погрузке породы и креплению тюбингами (1 или 2 кольца). Кроме того, в ряде

случаев продолжительность цикла увеличивалась из-за аварий, связанных с воспламенением нефти и газа, и увеличением времени на проветривание после взрывных работ.

Распределение продолжительности проходческого цикла (рис. 1) близко к нормальному с некоторой асимметрией в сторону меньших значений относительно среднего арифметического.

На рис. 2. приведена структура затрат времени на выполнение отдельных процессов проходческого цикла при проведении ствола на участке активных нефтегазопрооявлений, из которой следует, что около 51% времени занимает погрузка породы и разборка забоя, нарушенного взрывом вследствие влияния нефтегазопрооявлений, 23,6% – бурение шпуров, 12,5% – крепление тюбингами.

Среднее значение продолжительности цикла (рис. 1) составляет 34 ч, в то время, как средняя суммарная продолжительность всех проходческих процессов (табл. 1) – 1949 мин., т.е. около 32,5 ч. Полученная разница – 1,5 ч. (около 4,4% от продолжительности цикла) характеризует подготовительно-заключительные операции, спуск-подъем смены, непроизводительные затраты времени, обусловленные выходом из строя оборудования и организационно-техническими причинами [5].



б)

в)

**Рис. 3. Гистограммы и теоретические кривые распределения продолжительности:**

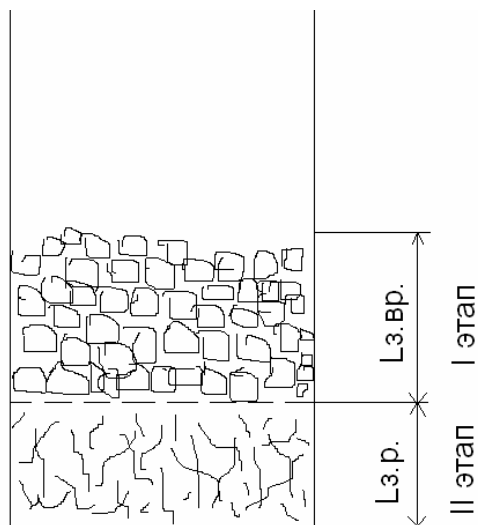
*а* – бурения шпуров, *б* – зарядания, *в* – проветривания

Теоретическое распределение продолжительности бурения и заряжения (рис. 3, а, б) близко к нормальному. Более чем двукратное отличие продолжительности бурения в разных циклах объясняется резким изменением горно-геологических условий проходки. Увеличение времени на заряжение связано с прохождением зоны нефтегазопроявлений, необходимостью сбора нефти и перебуривания части шпуров.

Анализ продолжительности проветривания свидетельствует, что в 22 случаях из 24 наблюдаемых заходов (92%), допускалось нарушение Правил безопасности [6], согласно которым «разжижение воздуха до предельно допустимых концентраций вредных газов и пыли должно достигаться в течение не более 30 мин». Однако, как следует из табл. 1, время проветривания колебалось от 30 до 210 мин, в среднем же составляло около 100 мин, что более чем втрое превышает норму.

Теоретическое распределение продолжительности проветривания (рис. 3, в) близко к экспоненциальному. Значительное превышение времени проветривания относительно допустимого было вызвано возгоранием нефти и битумов. Нефтепроявления наблюдались в виде локального капеза, подтёков на породных стенках. Активное выделение взрывоопасных газов было незначительным. После взрывания, в случае пожара в забое, ляды оставались открытыми, и в исходящей струе наблюдался густой чёрный дым с резким запахом, выделявшийся в течение 1,5-3 ч до полного выгорания нефти и битума.

Анализ результатов хронометража процесса погрузки позволяет разделить его на 2 основных этапа (рис. 4). Вследствие наличия нефтегазопроявлений при ведении взрывных работ



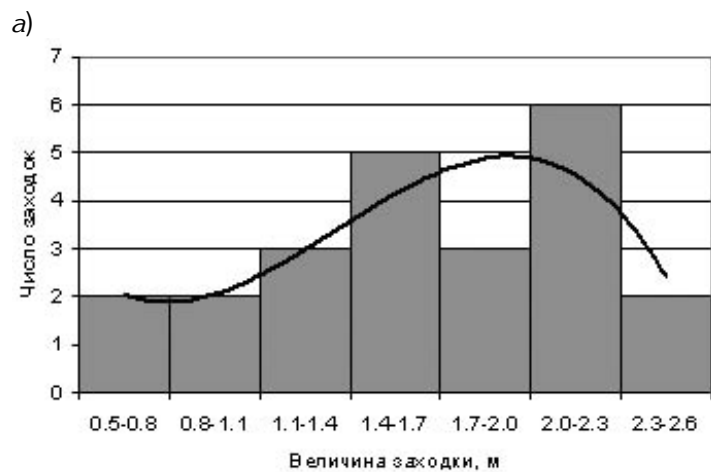
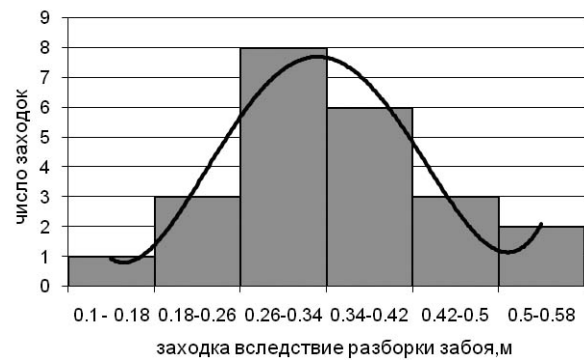
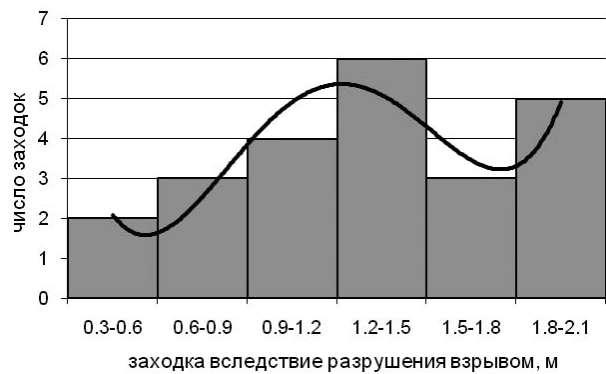
**Рис. 4. Этапы проходки ствола за один цикл:** I – вследствие взрывных работ; II – за счет разборки забоя

происходило разрушение породы на  $L_{з.вр} = 0,4 - 2,1$  м и растрескивание нижележащих слоев породы и возгорание находящихся в трещинах нефти и битумов.

После окончания их выгорания производилась погрузка породы на величину  $L_{з.вр}$ . Бурить нижележащую породу вследствие ее сильной трещиноватости не представлялось возможным, поэтому приступали к разборке слоя породы, толщина которого колебалась в пределах  $L_{з.р.} = 0,1 - 0,55$  м.

Гистограмма распределения величины заходки вследствие взрывных работ приведена на рис. 5, а, дополнительной заходки, обусловленной разборкой растрескавшихся пород – на рис. 5, б, а суммарной заходки (от взрыва и разборки забоя) – на рис. 5, в.

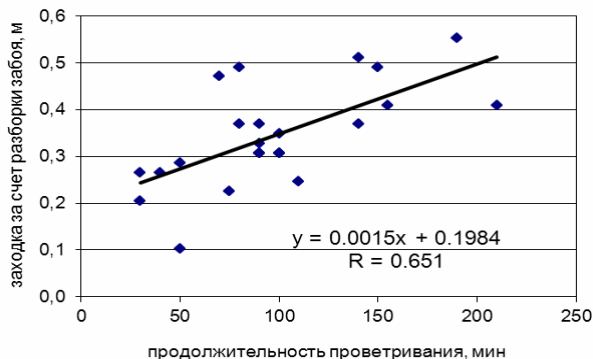
В результате наблюдений выявлена слабо выраженная (коэффициент корреляции  $r = 0,65$ ) линейная зависимость между дополнительной заходкой вследствие разборки забоя и



б)

**Рис. 5. Гистограммы и теоретические кривые распределения величины заходки: а – обеспечиваемой взрывными работами; б – обеспечиваемой разборкой растрескавшихся пород; в – суммарной**

в)



**Рис. 6. Влияние увеличения продолжительности проветривания вследствие выгорания нефти и битумов на величину дополнительной заходки от разборки забоя**

продолжительностью проветривания, которая увеличивалась из-за выгорания нефтепродуктов и была связана с интенсивностью их выделения (рис. 6).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- при средней продолжительности проходческого цикла 34 ч и средней величине заходки 1,7 м средние темпы проходки скипового ствола подземного рудника «Мир» на участках, опасных по нефтегазопроявлениям и закрепленных тубингами, составили около 36 м/мес.;

- наличие нефтегазопроявлений существенно сказывается на продолжительности бурения, зарядания, проветривания ствола и в особенности на времени разборки забоя после 2-й фазы погрузки, что в конечном итоге существенно снижает темпы проведения и безопасность работ;

- нефтегазопроявления оказывают влияние на величину заходки, повышая мощность взрыва и КИШ вследствие горючих свойств нефти, газа и битума, но снижая при этом взрыво- и пожаробезопасность;

- в результате нефтегазопроявлений происходит существенное нару-

шение сплошности (растрескивание) пород в зоне, находящейся ниже взрываемого участка, что существенно затрудняет бурение шпуров следующей заходки, требует дополнительного объема работ по их разборке, тем самым снижается производительность труда проходчиков и увеличивается продолжительность цикла;

- возникновение аварийных ситуаций, связанных с возгоранием нефти и битумов, приводит к превышению допустимого

времени проветривания в среднем в 2-2,5 раза, а в нескольких случаях – в 4-7 раз;

- резервом повышения темпов проведения ствола является оптимизация продолжительности буровзрывных работ и проветривания путем обеспечения требуемых концентраций вредных газов и пыли не более, чем за 30 мин.;

- для повышения эффективности и безопасности проходки ствола в рассматриваемых условиях требуются дополнительные организационные и технические мероприятия по взрыво- и пожаробезопасности, к которым относится применение по всей глубине ствола, в особенности на участках активных нефтегазопроявлений пламе- и взрывогасящих завес, использование пенной защиты в призабойном пространстве ствола, предварительная дегазация и сбор нефти и битумов, специальные параметры и режим взрывных работ, специальный режим проветривания ствола после взрывных работ и др.

- разработанная авторами концепция взрывозащиты вертикальных стволов при их проведении на участках, опас-



ных по нефтегазопроявлениям [7 – 9], призвана обеспечить безопасность проходки и повысить темпы сооружения ствола на опасных участках на

15-20 % относительно фактически достигнутых при проходке стволов рудника «Мир» и проанализированных в настоящей работе.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопов А.Ю., Тимофеев Д.Н., Склепчук В.Л. Анализ причин и последствий аварии при проходке вентиляционно-вспомогательного ствола рудника «Удачный» // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Сб. науч. тр. – Донецк: Норд-пресс, вып. 15, 2009. – С. 78 – 80.

2. Манец И.Г., Грядущий Б.А., Левит В.В. Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов: Научно-производственное издание/ Под общ. ред. Сторчака С.А. – Донецк: «Юго-Восток, Лтд», 2008. – 586 с.

3. Прокопов А.Ю., Масленников С.А., Склепчук В.Л. О результатах хронометражных наблюдений за ведением буровзрывных работ и проветриванием при проходке скипового ствола подземного рудника «Мир» АК «Алроса»// Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Сб. науч. тр. – Донецк: Норд-пресс, вып. 16, 2010. – С. 86 – 88.

4. Прокопов А.Ю., Лабинский К.Н., Решетняк М.А. О влиянии нефтегазопроявлений на технологию проходки вертикальных стволов// Донбас-2020: перспективы розвитку очима молодих вчених: Матеріали V науково-практичної конференції. м. Донецьк, 25-27 травня 2010 р. – Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2010. – С. 79 – 83.

5. Прокопов А.Ю., Масленников С.А., Склепчук В.Л. О структуре затрат времени при сооружении скипового ствола подземного рудника «Мир» на участке нефтегазопроявлений// Збірник наукових праць НГУ № 34,

Том 1 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2010. – С. 75 – 81.

6. ПБ 03-428-02. Правила безопасности при строительстве подземных сооружений. Утв. постановлением Госгортехнадзора России от 01.11.01 № 49. Введены в действие с 01.07.02 постановлением Госгортехнадзора России от 16.01.02 № 2.

7. Страданченко С.Г., Прокопов А.Ю., Склепчук В.Л. Обоснование методов обеспечения взрывозащиты при проходке вертикальных стволов подземного рудника «Удачный»// Строительная геотехнология: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: Горная книга, 2009. – №ОВ9. – С. 206 – 213.

8. Прокопов А.Ю., Склепчук В.Л. Опыт использования пенной защиты при проходке вертикальных стволов по газонасыщенным породам// Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. IV междунар. науч.-практ. конф. (14-15 мая 2009 г., г. Антрацит) – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2009. – С. 193 – 197.

9. Прокопов А.Ю., Склепчук В.Л., Тимофеев Д.Н. Организационно-технические мероприятия по обеспечению безопасности при проходке вертикальных стволов рудника «Удачный» в зоне нефтегазопроявлений// Материалы 3-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Перспективы освоения подземного пространства» – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С. 38 – 40.

■/IAS

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Прокопов Альберт Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и производство строительных материалов», заместитель директора Шахтинского института (филиала) ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», prokоров72@rambler.ru,

Склепчук Вячеслав Леонидович – горный инженер, начальник производственно-технического отдела ОАО «Ростовшахтострой», ассистент кафедры «Подземное, промышленное, гражданское строительство и производство строительных материалов» ШИ(ф) ГОУ ВПО ЮРГТУ(НПИ).