

А.В. Смирнов, В.И. Пилюгин

## **ЭВОЛЮЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ТОНКИХ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ДЛИННЫМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ**

*Приведены основные принципы и направления развития столбовых систем разработки на шахтах компании «ДТЭК Энерго» и результаты эволюции технологических схем обработки пологих тонких угольных пластов в Донбассе.*

---

### **ЕВОЛЮЦІЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РОЗРОБКИ ТОНКИХ ПОЛОГИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ДОВГИМИ ОЧИСНИМИ ВИБОЯМИ**

*Наведено основні принципи й напрями розвитку стовпкової системи розробки на шахтах компанії «ДТЕК Енерго» та результати еволюції технологічних схем відпрацювання пологих тонких вугільних пластів у Донбасі.*

---

### **EVOLUTION OF MODERN MINING SYSTEMS OF LONGWALL THIN FLAT COAL SEAMS**

*The basic principles and directions of breast-and-pillar systems on mines of "DTEK Energy" company and results of evolution of thin flat coal seam mining in Donbas are given.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

История разработки угольных пластов лавами в Донбассе начиналась с выемки запасов прямым ходом, т.е. с так называемых сплошных систем разработки без опережающих, заранее пройденных подготовительных выработок. Отбойка угля в таких забоях, как впрочем и другие технологические операции, производилась практически вручную с применением простейших орудий и средств труда. Небольшие объемы добычи не сдерживались темпами проведения горных выработок, которые также имели низкий уровень механизации.

Впоследствии, с внедрением в практику разработки производительной техники по выемке и транспортированию угля, системы разработки трансформировались в бо-

лее эффективные столбовые схемы, основанные на заблаговременном оконтуривании подлежащих выемке запасов угля горными выработками.

В период, предшествующий формированию внутреннего угольного рынка и бизнеса в Украине, на шахтах Донбасса в основном использовался наиболее простой вариант столбовой системы разработки «лава – штрек». Он предполагал наличие двух параллельных участковых выработок: конвейерную, проводимую в нетронутом горном массиве, и присечную, расположенную вблизи границы выработанного пространства. В лавах применялась возвратноточная схема проветривания. Обе выработки погашались позади лавы. Длина очистных забоев обычно составляла 200 – 250 м, протяженность выемочных столбов – примерно 1000 – 1200 м, месячное подвига-

ние лав при добыче от 1000 до 1200 т/сут составляло около 50 – 60 м. Такая система разработки вполне соответствовала достигнутому уровню механизации очистных работ и обеспечивала вполне достойные технико-экономические показатели добычи.

В последние годы произошел довольно значительный прогресс в совершенствовании средств механизации очистной выемки. Для отработки пологих тонких угольных пластов были созданы новые отечественные высокопроизводительные комбайны, мощные гидравлические крепи второго поколения, лавные конвейеры тяжелого типа. Все это привело к росту нагрузок на очистные забои до 2,0 – 3,0 тыс. т/сут, подвиганиям лав до 200 м/мес. и необходимости быстрого воспроизводства работ очистной линии. При этом проходческая техника изменилась несущественно.

*Опережение и растущий разрыв между возможностями современных технологий добычи по сравнению с возможностями подготовки запасов к выемке стали важнейшим фактором и одновременно стимулом эволюции столбовых систем разработки.*

Основные направления этой эволюции следующие:

– удлинение лав и выемочных полей для увеличения объемов подготавливаемых к выемке запасов и снижения удельной длины проводимых выработок;

– изменение технологий крепления и способов охраны участковых выработок для обеспечения их повторного использования и прямого проветривания забоев;

– изменение схем подготовки очистных забоев для снижения потерь времени на ввод в эксплуатацию новых лав и обеспечения безопасности ведения работ.

## УВЕЛИЧЕНИЕ ДЛИНЫ ЛАВ И ВЫЕМОЧНЫХ ПОЛЕЙ

Достигнутый уровень очистного оборудования позволяет практически без техни-

ческих осложнений увеличивать длины лав до 300 м и более. Основными сдерживающими факторами в этом плане являются технологические:

– ухудшающееся с ростом длины лавы проветривание;

– сложности выполнения ремонтных работ в длинных лавах;

– обеспечение безопасности персонала при возникновении аварийных ситуаций в длинных лавах.

Свою «лепту» на технологию накладывает и человеческий фактор. При ограниченных размерах призабойного пространства, особенно при мощности пластов менее 1 м, процесс выполнения технологических операций горнорабочими усложняется. Удлинение лавы в этих условиях ведет к снижению удельного времени концевых операций, т.е. фактически повышает интенсивность труда. Тем не менее, тенденция постепенного и планомерного роста длины действующих лав является одним из главных принципов стратегического планирования и разработки программ развития горных работ на шахтах ДТЭК (исключение – шахты, обрабатывающие пласты с высокой обводненностью: «Днепровская», «Самарская», им. Н.И. Сташкова и др.).

В настоящее время средняя длина 74-х действующих на шахтах ДТЭК очистных забоев (при среднестатистической вынимаемой мощности пласта 1,16 м) составляет 255,0 м. Средняя длина 10-ти лучших в рейтинге компании очистных забоев – 273,5 м, а 10-ти худших – 249,7 м. Самым длинным является очистной забой 42-й панельной лавы пласта  $K_6$  шахты «Красный партизан» (355 м), а самым коротким – забой 832-й лавы пласта  $C_8$  шахты «Днепровская» (152 м). Практический опыт показал, что при работе в зонах отсутствия горно-геологических осложнений наиболее приемлемым является интервал 285 – 300 м. Дальнейшее увеличение длины лавы, как правило, не приводит к улучшению ее технико-экономических показателей.

Рост нагрузок на лавы и высокая стоимость очистного оборудования (лавокомплектов) делают экономически выгодным также и увеличение длины подготавливаемых выемочных столбов. Очевидно, что если придерживаться старых проектных решений и делать упор на отработку полей длиной около 1000 м, то при подвижки 200 м/мес. запасы участка будут отработаны всего за 5 мес. По истечении этого времени для сохранения стабильного уровня добычи необходимо провести выемочные и нарезные выработки и смонтировать новый комплекс. Если его нет в наличии, то встает вопрос о необходимости перемонтажа эксплуатируемого оборудования в новый забой. Это связано с дополнительными потерями времени и, соответственно, с потерями добычи. Таким образом, рост длины выемочных столбов увеличивает время отработки лав и снижает затраты на монтажно-демонтажные работы.

Наиболее благоприятные условия для увеличения длины выемочных столбов имеют место на шахтах Западного Донбасса, которые характеризуются небольшой глубиной разработки, выдержанными по мощности пластами и небольшими углами их падения. Для иллюстрации этой тенденции на рис. 1 представлена выкопировка из плана горных выработок пласта  $C_9$  блока №2 шахты «Западно-Донбасская» с выемочными полями 1027-й, 1029-й и 1031-й лав. Длина смежных отработанных столбов изменяется от 1140 м (2008 г., 1027-я лава) до 1800 м (2015 г., 1031-я лава) и даже достигает 2840 м (2013 г., 1029-я лава). Несмотря на постоянный рост длины очистных забоев и выемочных столбов на шахтах г. Павлограда в 2014 году для обеспечения планового уровня добычи было введено в эксплуатацию 36 новых лав при 29 действующих, т.е. коэффициент ввода-вывода по объединению составил 1,24.

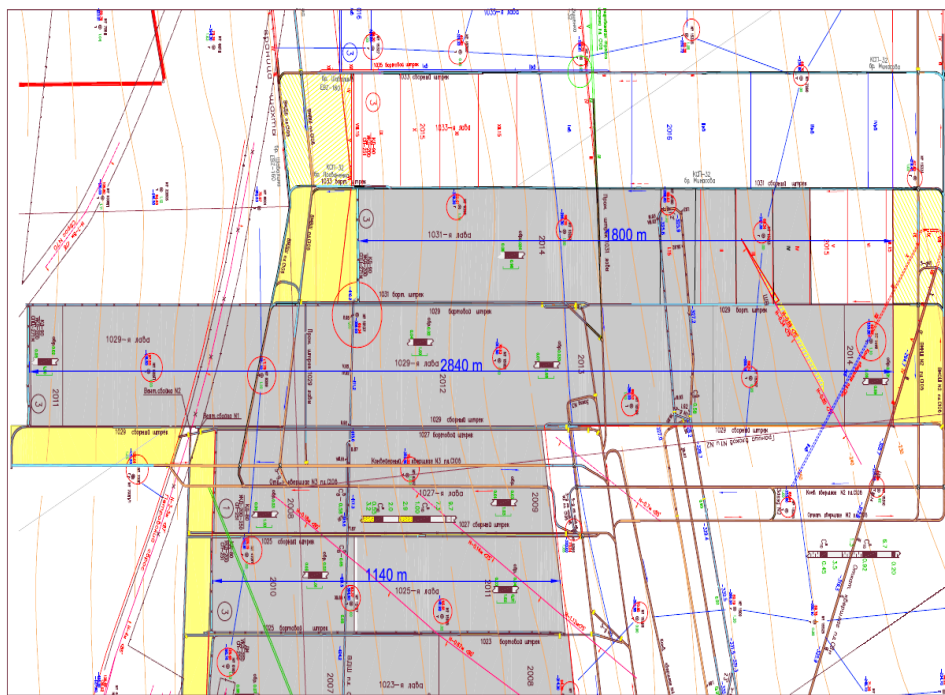


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок пласта  $C_{10}$  блока №2 шахты «Западно-Донбасская»

В целом, реализованная на шахтах ДТЭК тенденция увеличения параметров выемочных столбов действующих лав позволила сбалансировать процесс подготовки и отработки очистных забоев с учетом имеющихся технических и финансовых возможностей, что обеспечило достижение запланированных стратегией развития ДТЭК технико-экономических показателей добычи.

### ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЧАСТКОВЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ ДВУХУРОВНЕВОГО РАМНО-АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕСТКИХ ОКОЛОШТРЕКОВЫХ ПОЛОС

Даже при наличии длинных очистных забоев и выемочных полей проведение двух участковых оконтуривающих выработок является достаточно сложной технической и технологической задачей, решение которой требует немалых затрат, инвестиций и запаса времени. В связи с этим на шахтах ООО «ДТЭК» стратегическим направлением развития горных работ является повторное использование выемочных выработок.

В настоящее время никто из специалистов не подвергает сомнению известное утверждение, что обеспечение устойчивости участковых выработок и особенно их переход на повторное использование возможны только на основе применения рамно-анкерной технологии крепления [1]. Однако процесс перехода на эту технологию довольно сложен как при проектировании, так и в реализации, и требует существенного повышения культуры производства горных работ.

Комбинированные рамно-анкерные крепи являются наиболее универсальным видом крепления. Они применяются в широком диапазоне горно-геологических условий и практически не имеют ограничений по типам и назначению выработок, сроку службы, форме сечения и видам расположения в горном массиве.

Учитывая это, компания ООО «ДТЭК» в 2013 – 2014 гг. осуществила мощный технологический рывок по внедрению технологии **двухуровневого рамно-анкерного крепления** на своих угледобывающих предприятиях.

На рис. 2 приведены гистограммы изменения доли рамно-анкерного крепления в общем объеме выработок, проведенных в течение 2014 года. Ее анализ показывает, что по ряду объединений, которые до начала реализации проекта вообще не применяли анкерную крепь, объемы внедрения достигли 38 – 67% (ООО «ДТЭК Свердловантрацит» и ООО «ДТЭК Ровенькиантрацит»). На шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» доля рамно-анкерных выработок увеличилась на 14% и достигла 72%, а в ШУ «Обуховское» полностью перешли на чисто анкерное крепление.

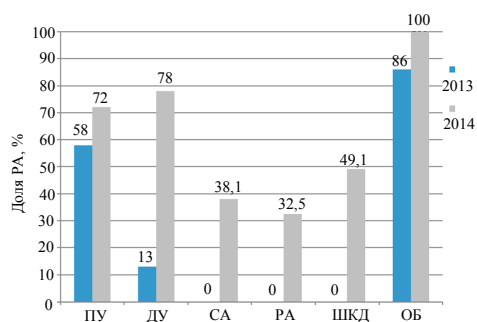


Рис. 2. Динамика изменения доли рамно-анкерного крепления в общем объеме проведения подготовительных выработок на шахтах ООО «ДТЭК»

В качестве эффективно действующего элемента поддержания сопряжений лав с повторно используемыми конвейерными штреками применяются канатные анкеры «второго уровня» длиной от 6 до 8 м. Они устанавливаются практически вертикально в кровлю со стороны действующей лавы под прямолинейный участок спецпрофиля (рис. 3, а). Это позволяет убрать из выработки гидравлическую крепь сопряжения, усиливающие ремонтны и безопасно производить снятие-установку ножки арочной крепи.

а



б

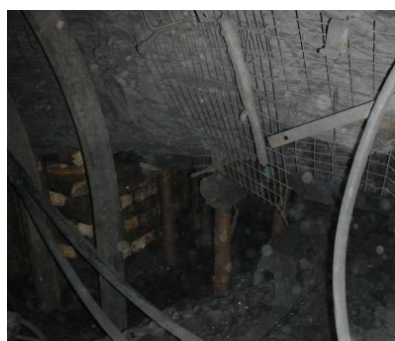


Рис. 3. Средства обеспечения повторного использования участковых выработок: а – канатные анкера глубокого заложения; б – накатный ряд из деревянного бруса

В качестве охранного сооружения при поддержании выработок позади первой лавы, особенно в сложных горно-геологических условиях, наиболее эффективным и технологичным средством оказался накатный ряд из деревянного бруса шириной 1,0 – 1,3 м (рис. 3, б). Такое охранное сооружение выдерживает без разрушения значительные нагрузки и деформации и хорошо «обрезает» породы непосредственной кровли. При этом его стоимость существенно ниже, чем у главных конкурентов – литой полосы из материалов «ТескНард» или «БИ-крепь».

При переходе на повторное использование выработок особенно впечатляют дос-

тижения шахт Добропольского района, где из-за весьма тяжелых горно-геологических условий оно изначально было достаточно проблематичным. В настоящее время в объединении по этой схеме эффективно работают уже 2 высоконагруженные лавы из 7 действующих. При этом вынимаемая мощность пласта в забоях превышает 1,5 м. В ближайшей перспективе доля лав с повторным использованием штреков на шахтах объединения возрастет до 100%.

Благодаря комплексу технологических мероприятий, основанных на применении двухуровневого рамно-анкерного крепления и создании жестких околоштрековых охранных полос в выемочных выработках, доля лав с повторным использованием на шахтах ООО «ДТЭК» в настоящее время превысила 70%, годовая экономия от снижения объемов проведения составила более 300 млн грн, а потребность в инвестициях на проходческое оборудование уменьшилась примерно на 250 млн грн.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

В настоящее время самой высокопроизводительной и безопасной технологией добычи угля длинными очистными забоями является струговая. Мировой опыт доказал, что эта технология в соответствующих условиях и правильной организации труда может обеспечить самые высокие технико-экономические показатели добычи.

Так как серийно производимые импортные струговые установки не предназначены для отработки весьма тонких пластов, выемочный комплекс BUSAIRUS для шахты «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоград-уголь» создавался по специальному заказу. В техническом задании на проектирование закладывались: вынимаемая мощность пласта – 1,05 м, весьма неустойчивая кровля прочностью  $\sigma_{сж} = 20$  МПа, крепкий вязкий уголь марки Г прочностью  $\sigma_{сж} = 20$  МПа, высокая газоносность пласта, длина лавы 300 м, глубина ведения работ – до 400 м.

Изготовленное и поставленное на шахту оборудование имело две важных конструктивных особенности:

– секции механизированной крепи DBT представляют собой массивные трудноразборные конструкции длиной 5,993 м и массой 9,5 т;

– приводные станции скользящего струга GN800 вынесены на штреки и имеют ширину 4,8 м.

Обеспечение нормальной эксплуатации такого стругового комплекса в условиях пласта  $C_6$  при вынимаемой мощности пласта 1,05 м и проектном сечении выемочных ходков 17,2 м<sup>2</sup> потребовало двух достаточно существенных конструктивных изменений столбовой системы разработки.

**Проведение дополнительной выработки – демонтажной камеры.** Демонтаж оборудования из отработанных комбайновых лав на шахте обычно осуществляется без проведения дополнительных выработок. Секции механизированной крепи выдаются из забоя последними, после комбайна и конвейера. При этом для разворота секций в лаве с них предварительно снимаются консольные перекрытия. Призабойное

пространство, освободившееся после демонтажа очередной секции, крепится деревянными стойками под доску. Его ширина в процессе демонтажа не увеличивается. Переход в новую лаву таким способом составляет в среднем 60 суток.

Описанная технология неприменима для демонтажа струговых лав ввиду большой длины секций и невозможности снятия их перекрытий, что не позволяет производить их разворот в лаве при исходной ширине рабочего пространства. В связи с этим принято решение модернизировать применяемую систему разработки. В зоне будущей остановки забоя параллельно очистной линии проводилась дополнительная выработка, имеющая функция демонтажной камеры. При доработке лавы очистное оборудование «выежало» в камеру, где после этого в относительно «комфортных» условиях осуществлялся демонтаж. Для транспортирования комплекса использовался монорельс. Демонтажная камера имела сечение 15,2 м<sup>2</sup> и крепилась двухуровневой рамно-анкерной крепью (рис. 4).

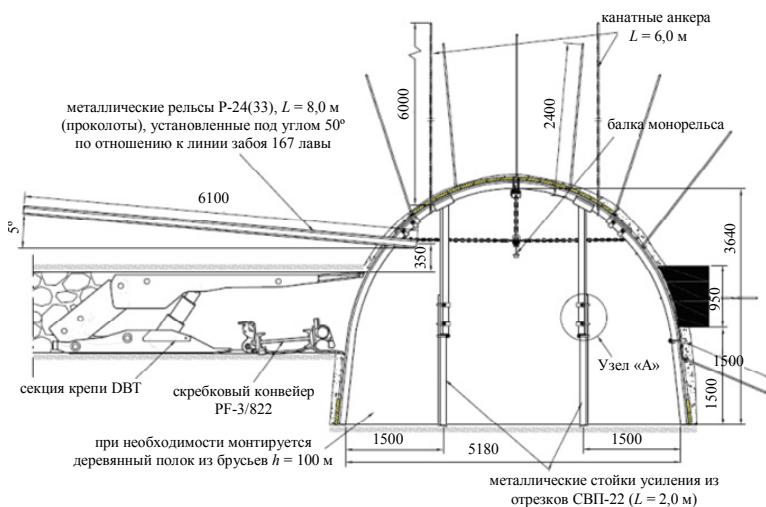


Рис. 4. Крепление демонтажной камеры 167-й лавы пласта  $C_6$  шахты «Степная» крепью КШПУ-15,0 (М 1:50)

Первый демонтаж стругового комплекса BUSAIRUS по описанной технологии был успешно осуществлен в сентябре 2011 года. После этого до настоящего времени были осуществлены переходы еще трех очистных забоев. Их средняя продолжительность составила 49 суток, а экономия, достигнутая только при переходе 167-й лавы при среднесуточной нагрузке 2826 т, составила 17,4 млн грн.

**Проведение спаренных выемочных выработок.** Первоначально при разработке долгосрочных программ развития горных работ на пласте С<sub>6</sub> для минимизации объемов проведения в струговых лавах планировалось повторное использование выработок. Фактически эта технология с большими сложностями была реализована только в одной 163-й лаве. Основная причина – большие габариты вынесенных на штреки приводных станций струговой установки GH800, ограничивающие минимальную ширину выемочных выработок величиной 5,0 м. При проектном сечении ходков в свету 17,7 м<sup>2</sup>, исходной ширине 5,4 м, несмотря на мощное двухуровневое

рамно-анкерное крепление, остаточное сечение выработок после прохода первой лавы и подрывки почвы не превышало 12 м<sup>2</sup>, а его ширина составляла не более 3,5 м. Таким образом, для эффективной отработки второй лавы возникла необходимость дорогостоящего перекрепления ходков, что ставило под сомнение целесообразность их повторного использования.

Для решения возникшей проблемы принята за основу технологическая схема отработки была изменена в пользу применения спаренных выемочных выработок. С нижнего горизонта 490 м спаренная выработка проводилась с отставанием от лавы не менее 200 м. Навстречу ей с горизонта 300 м двигался второй подготовительный забой. Присечной целик между ходками составлял 3 м. Новая схема подготовки и система разработки струговых лав, оборудованных комплексом BUSAIRUS, зарекомендовала себя с лучшей стороны. В таблице даны основные технико-экономические показатели отработки всех 5-ти струговых лав западного крыла блока №2 пласта С<sub>6</sub> шахты «Степная».

ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ И СВОДНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СТРУГОВЫХ ЛАВ В УСЛОВИЯХ ПЛАСТА С<sub>6</sub> ШАХТЫ «СТЕПНАЯ»

Таблица

№	Лавы	Запасы, тыс. т	Длина, м		Суточная добыча, т		Подвигание		Потери при переходе	
			лавы	столба	средняя	max	среднее, м/мес.	max, м/сут	времени, сут	добычи, тыс. т
1	161	752,281	300	2215	1950	4000	106,1	9,2	59	115,1
2	163	738,679	300	2211	2808	4510	181,3	10,3	46	129,2
3	165	745,414	300	2146	2645	5000	155,0	11,5	43	113,7
4	167	739,631	290	2081	2826	4570	174,5	10,5	48	135,6
5	169*	718,124	292	2006	2620	3973	147,3	9,1	в работе	

Примечание: \*169-я лавы начала отработку запасов в марте 2015 г.

Анализ данных таблицы показывает, что в результате модернизации столбовой системы разработки в струговых лавах, работающих в достаточно сложных горно-геологических условиях, в течение 5-ти лет и 3-х месяцев были достигнуты уникальные даже по мировым меркам результаты:

- добыто одним комплектом оборудования более 2 млн 976 тыс. т рядового угля;
- извлечено по площади более 2,57 км<sup>2</sup> пологого тонкого угольного пласта;
- достигнута среднесуточная нагрузка на лаву 2557 т при максимальной более 5000 т/сут;

– достигнуто среднеемесячное подвигание более 154 м/мес. при максимальном суточном 11,5 м.

## ВЫВОДЫ

1. Опережающий рост производительности механизации добычи по отношению к уровню техники для проведения горных выработок в период с 2005 по 2015 гг. привел к необходимости кардинальной эволюции столбовых систем разработки.

2. Практически доказано, что при подготовке к выемке тонких пологих угольных пластов на современном этапе развития механизации оптимальная длина очистных забоев составляет 285 – 300 м, а размеры выемочных столбов вполне могут достигать 2,5 км и более.

3. Снижение затрат на подготовку запасов к выемке за счет уменьшения удельного объема проведения участковых выработок достигается при их повторном использовании. При этом нормальное эксплуатационное состояние выработок обеспечивается комплексом мероприятий, а именно:

– рамно-анкерным креплением при проведении;

– созданием 2-го уровня анкерования при ведении очистных работ;

– возведением жестких околострековых полос позади первого очистного забоя.

4. При эксплуатации струговых комплексов, обеспечивающих суточные нагрузки около 3000 т и подвигание лав более 5 м, снижение затрат на выемку запасов и безопасность работ достигается за счет добавления в систему разработки очистных забоев новых элементов: монтажных камер и спаренных выемочных выработок.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smirnov A. Main directions in roof bolting technology development at DTEK mines / A. Smirnov, V. Pilyugin // Progressive technology of coal, coalbed methane, and ores mining. – The Netherlands: CRC Press/Balkema, 2014. – P. 1 – 4.

## ОБ АВТОРАХ

Смирнов Андрей Викторович – кандидат политических наук, действительный член Академии горных наук РФ, директор по добыче угля ООО «ДТЭК Энерго».

Пилюгин Виталий Иванович – д.т.н., руководитель отдела по науке и инновациям Департамента по техническому развитию ООО «ДТЭК Энерго».