

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS**

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250

**Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор)**

 Ермаков А. Ю.<sup>1</sup>, Сенкус В. В.<sup>2</sup>, Фам Дык Тхань<sup>3</sup>, Сенкус Вал. В.<sup>4</sup>,  
 Абрамкин Н. И.<sup>5</sup>, Ермаков Е. А.<sup>6</sup>
<sup>1</sup>ООО НПП «ЭкоКузбасс», Новокузнецк, Россия<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия<sup>3</sup>Промышленный Университет Куанг Нинь, Куанг Нинь, Вьетнам<sup>4</sup>ООО «Проектгидроуголь-Н», г. Новокузнецк, Россия<sup>5</sup>НИТУ «МИСиС», Москва, Россия<sup>6</sup>ООО «СУЭК», Москва, Россия

**Аннотация:** В статье рассматриваются основные недостатки открытого и подземного способов, ликвидации которых можно добиться при внедрении комбинированной технологии разработки угольных месторождений. Под комбинированной технологией понимают такой способ освоения угольных месторождений, который включает в себя элементы нескольких геотехнологий, например подземной и открытой, а также, возможно, подводной добычи, скважинной и других способов разработки месторождений. При комбинированной технологии разработки угольных месторождений предусматривается единая схема вскрытия, подготовки, добычи и переработки запасов на весь период освоения месторождения на основе принятых заранее общих технологических решений. Комплексное решение аспектов вскрытия и подготовки запасов полей в рамках открытых и подземных горных работ позволяет минимизировать объем вскрываемых выработок и сократить сроки введения в эксплуатацию, снизить инвестиционные затраты, а также сократить расходы на вентиляцию, водоотлив, транспортировку горной массы и рекультивацию земель. Обосновывая варианты вскрытия месторождения, необходимо комплексно учитывать технические, организационные и экономические факторы [34–37]. Анализ вариантов на примере разработки Макарьевского угольного месторождения в Кузбассе позволяет сделать вывод о том, что комбинированный способ является перспективным и позволяет нарастить оптимальные объемы добычи угля, при этом сократить срок освоения месторождения ориентировочно на 15 %, а чистый дисконтированный доход увеличить по сравнению с подземным и открытым способами более чем в 5 раз.

**Ключевые слова:** добыча угля, открытая и подземная разработка, комбинированная технология, Макарьевское месторождение.

**Для цитирования:** Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Фам Дык Тхань, Сенкус Вал. В., Абрамкин Н. И., Ермаков Е. А. Комбинированные технологии разработки угольных месторождений (обзор). *Горные науки и технологии*. 2019;4(4):230-250. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250.

**Combined Mining Technologies for Coal Deposits (Review)**

 A. Yu. Ermakov<sup>1</sup>, V. V. Senkus<sup>2</sup>, Duc Thang Pham<sup>3</sup>, Val. V. Sencus<sup>4</sup>,  
 N. I. Abramkin<sup>5</sup>, E. A. Ermakov<sup>6</sup>
<sup>1</sup>NPP EcoKuzbass LLC, Novokuznetsk, Russia<sup>2</sup>"SibGIU" FSBEI of Higher Education, Novokuznetsk, Russia<sup>3</sup>Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Vietnam<sup>4</sup>Projectgidrougol'-N LLC, Novokuznetsk, Russia<sup>5</sup>NITU "MISiS", Moscow, Russia<sup>6</sup>Siberian Coal Energy Company JSC, Moscow, Russia

**Abstract:** The paper discusses the main disadvantages of strip and underground mining methods and possibilities of eliminating the disadvantages through introducing a combined technology of coal deposit mining. Combined coal mining technology is the method comprising elements of several geotechnologies, for example, underground



and strip mining, as well as, possibly, underwater mining, borehole and other techniques of deposit mining. The combined coal mining technology provides for unified layout for opening, development, production and processing of reserves for the whole LoM on the basis of general technological solutions made in advance. Such complex solutions for opening and development of deposit reserves within the opencast and underground mining contour allows minimizing the volume of openings and reducing the time for commissioning, investment costs, as well as decreasing the costs for aeration, drainage, rock mass hauling and land reclamation. Substantiation of deposit opening options should comprehensively take into account technical, organizational, and economic factors [34–37]. Analysis of the options as exemplified by the Makar'evskoe coal deposit development in Kuzbass allows to conclude that the combined method is promising and promotes increasing optimal volumes of coal production, while reducing the deposit development time by about 15 %, and increase the net present value compared to underground and opencast mining options more than 5 times.

**Keywords:** coal mining, strip and underground mining, combined method, Makar'evskoe deposit.

**For citation:** Ermakov A. Yu., Senkus V. V., Pham Duc Thang, Sencus Val. V., Abramkin N. I., Ermakov E. A. Combined mining technologies for coal deposits (review). *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(4):230-250. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-4-230-250.

### Обзор условий использования комбинированной технологии разработки угольных месторождений

Мировая угольная промышленность находится на стадии интенсивного развития, и большинство угледобывающих стран, наращивая добычу угля, создают условия для технического перевооружения и внедрения прогрессивных технологий [1–9]. Многообразие технологических решений добычи угля, безусловно, определяется индивидуальностью месторождений, но в последнее время все чаще возникают задачи применять более сложные технологические решения, позволяющие наиболее эффективно использовать ресурсы месторождения, реализуя безопасную его отработку [10–21]. Комплекс задач, связанный с необходимостью поиска решений в разных областях деятельности горного предприятия, подразумевает принятие стратегических решений на самых ранних стадиях освоения месторождений [8–9, 11–32, 34, 35].

Под комбинированной технологией понимают такой способ освоения угольного месторождения, который включает в себя элементы нескольких геотехнологий, например подземной и открытой, а также, возможно, подводной добычи, скважинной и других способов разработки месторождений. При комбинированной технологии разработки угольных

месторождений предусматривается единая схема вскрытия, подготовки, добычи и переработки запасов на весь период освоения месторождения на основе принятых заранее общих технологических решений.

Обосновывая варианты вскрытия месторождения, необходимо комплексно учитывать технические, организационные и экономические факторы [34–37].

В зависимости от принятой схемы вскрытия месторождения определяют технологические схемы вентиляции подземных выработок, системы шахтного водоотлива и транспорта. Так, для обеспечения проветривания горных выработок при значительных размерах синклинали нижней свиты пластов сохраняют спаренные выработки верхних пластов, оставляя предохранительные целики по бортам и почве выработок. Проводят сбойку этих выработок с нижними вентиляционными выработками [34–36].

Особенностью вентиляции комбинированной технологии является обеспечение этапности перехода проветривания горных выработок от вентиляторов местного проветривания при подготовке и отработке запасов верхнего горизонта к стационарным вентиляторам для проветривания горных выработок нижних горизонтов, устанавливаемым на фланговых скважинах или стволах.

Исследования проявлений горного давления при комбинированной разработке угольных месторождений позволяют прогнозировать опасные зоны в приконтурной зоне горного массива разреза, оценивая скорость смещения пород под влиянием взрывных работ.

На стадии проектирования важной становится задача оптимизации глубины открытых работ, от которой зависят распределение запасов по видам открытых и подземных работ на протяжении отработки угольного месторождения, затраты на рекультивацию земель и многие другие технико-экономические показатели. Критерием оптимизации служит чистый дисконтированный доход за время разработки месторождения [31–36].

В качестве примера развития комбинированной технологии разработки угольных месторождений в статье рассматриваются условия Макарьевского месторождения в Кузбассе (Россия).

### **Основы комбинированной разработки угольных месторождений**

Исторически сложилось, что основным способом добычи угля является подземный. К середине XX в., когда была создана машиностроительная база для угольной промышленности, разработаны мощные экскаваторы, драглаины и другая горная техника для открытых работ. Это способствовало постепенному вытеснению подземного способа добычи угля открытым как наиболее эффективным. В настоящее время, например, в российском Кузбассе открытым способом добывается 65 % угля с производительностью 2–6 млн т в год [34–36].

В последние три десятилетия подземными разработчиками были созданы механизированные комплексы, струги и другие агрегаты для подземной добычи угля, имеющие сопоставимые по производительности показатели с техникой открытых работ от 1,5 до 6,0 млн т в год в зависимости от мощности пластов и горно-геологических условий залегания угольного месторождения [10].

Присущие открытому способу недостатки – малая глубина разработки (100–120 м), загрязнение окружающей среды, вывод больших площадей из землепользования, а также практическое отсутствие рекультивации нарушенных земель – не встречают поддержку населения при получении горных отводов, что вызывает социальную напряженность в обществе, требующем благоприятной окружающей среды для проживания.

Высокая стоимость строительства угольных шахт, опасность производства и другие недостатки, присущие подземному способу не привлекают инвесторов, поэтому направление разработки месторождений комбинированным способом является перспективным.

Широкое распространение комбинированные технологии получили при разработке рудных месторождений, но в угольной промышленности подобная технология применяется единичных случаях, в основном при доработке запасов в бортах разрезов. Комплексное освоение угольных месторождений комбинированными технологиями в угольной промышленности не проводилось.

Особенность комбинированной технологии заключается в формировании единого технологического пространства участков или этапов с разными геотехнологиями, например разреза и шахты, находящихся в непосредственной близости, взаимовлияния разреза и шахты [36].

Анализ существующих способов комбинированной разработки угольных месторождений демонстрирует, что технологические решения, технические средства и подходы при вскрытии и подготовке месторождения, создание систем водоотлива и проветривания горных выработок, непосредственно добычи угля, а также используемые при выполнении производственных процессов и операций, остаются аналогичными при реализации открытой и подземной добычи.

Вскрытие угольного месторождения при комбинированной технологии характеризуется следующими особенностями:

- наличие пространств открытых и подземных горных работ;
- увеличенные размеры зон нарушенных, вовлекаемых в процесс деформирования массива под влиянием горных работ;
- зависимость распределения запасов по способам разработки от принятого порядка освоения месторождения [37–45].

При комплексном освоении запасов угольных месторождений комбинированными технологиями проектные решения должны быть гармонизированы со способами, системами разработки и выемки угля, в том числе:

- размещение вскрывающих выработок с учетом перспектив развития горных работ, разреза и шахты с точки зрения их функционирования на всех этапах разработки месторождения с учетом углов падения пластов;
- обоснование параметров технологических схем совместного водоотлива, транспорта и вентиляции;
- обоснование глубины разреза, что обеспечивает снижение затрат на рекультивацию земель, сокращение срока эксплуатации предприятия;
- обоснование безопасного расстояния ухода открытых работ от подземных, что позволяет совместить во времени открытые, подземные и рекультивационные работы, разделив их в пространстве.

### **Вскрытие угольных месторождений при комбинированной системе разработки**

Месторождения в зависимости от гипсометрии принципиально могут быть вскрыты тремя комбинированными способами, представленными на рис. 1–3.

Комплексная разработка свит пологих, наклонных и крутых пластов месторождения включает в себя:

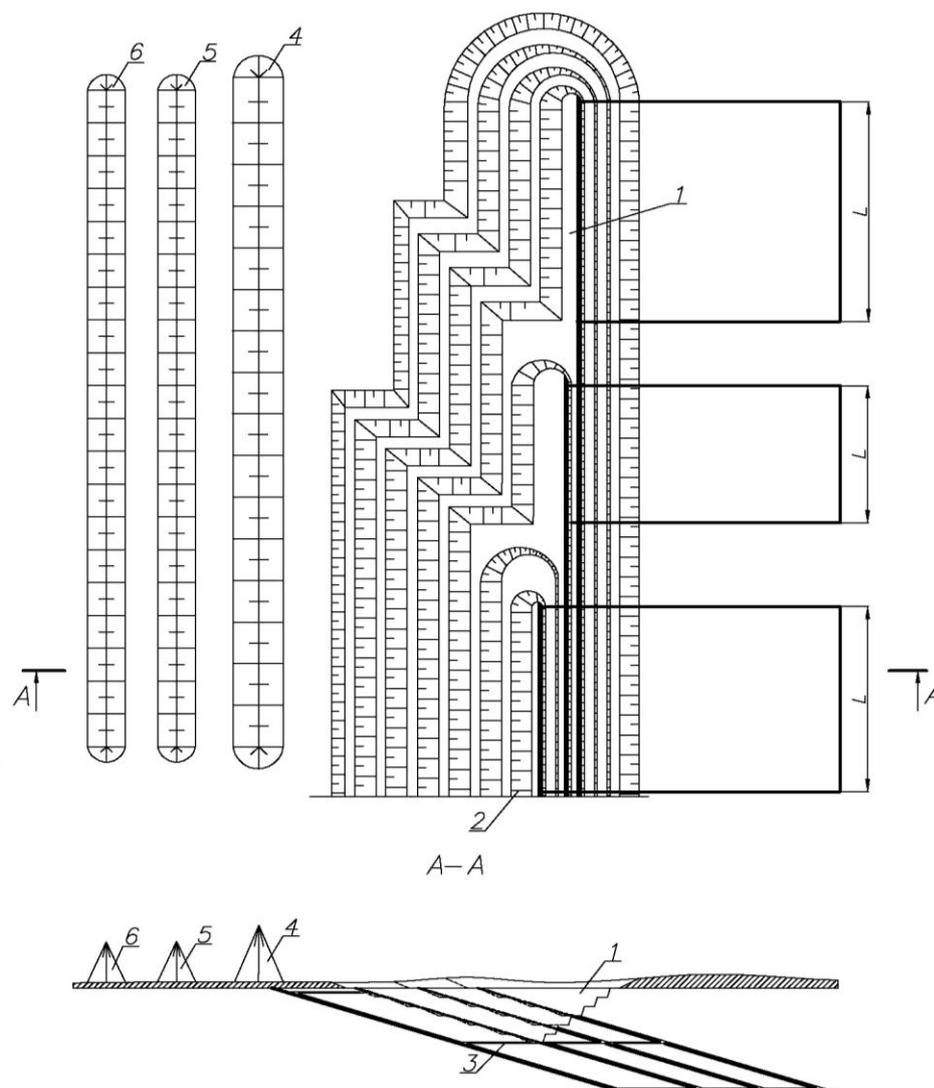
- вскрытие пластов продольной разрезной траншеей по простиранию и их отработку;

- вскрытие и подготовку пластов подземными горными выработками и их отработку;
- рекультивацию открытых горных выработок;
- отработку мощного пласта до границы горного отвода;
- вскрытие нижележащих пластов дополнительной разрезной траншеей и (или) штольнями со дна разрезной траншеи мощного пласта [34–37, 43].

Рекультивацию открытых горных выработок производят поэтапно путем возврата в обратном порядке вскрывных пород и плодородного слоя после выполаживания бортов разрезной траншеи по мере отработки месторождения.

Комплексный способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений заключается в следующем:

- вскрытие пластов проводят разрезной траншеей по линии перегиба антиклинали до глубины залегания нижнего пласта;
- вскрытие свиты пластов осуществляют по обе стороны антиклинали спаренными наклонными стволами, проводимыми из разрезной траншеи по пластам;
- при отработке пластов подземным способом используют панельную и (или) погоризонтную (при пологом залегании пластов), этажную и подэтажную (при крутом залегании пластов) системы разработки с механизированной выемкой угля на пологих и гидравлической и (или) слоевой механизированной на крутых пластах с полным обрушением кровли;
- водосборники шахтного водоотлива обустраивают в нижних точках стволов по обе стороны антиклинали и оснащают устройствами для обезвоживания горной массы при гидравлической и (или) механогидравлической выемке угля [41–42].



**Рис. 1. Комплексный способ разработки свит пологих и крутых пластов месторождения:**

1 – разрезная траншея; 2 – дополнительная разрезная траншея; 3 – штольня;  
 4 – коренные породы; 5 – наносы; 6 – плодородный слой

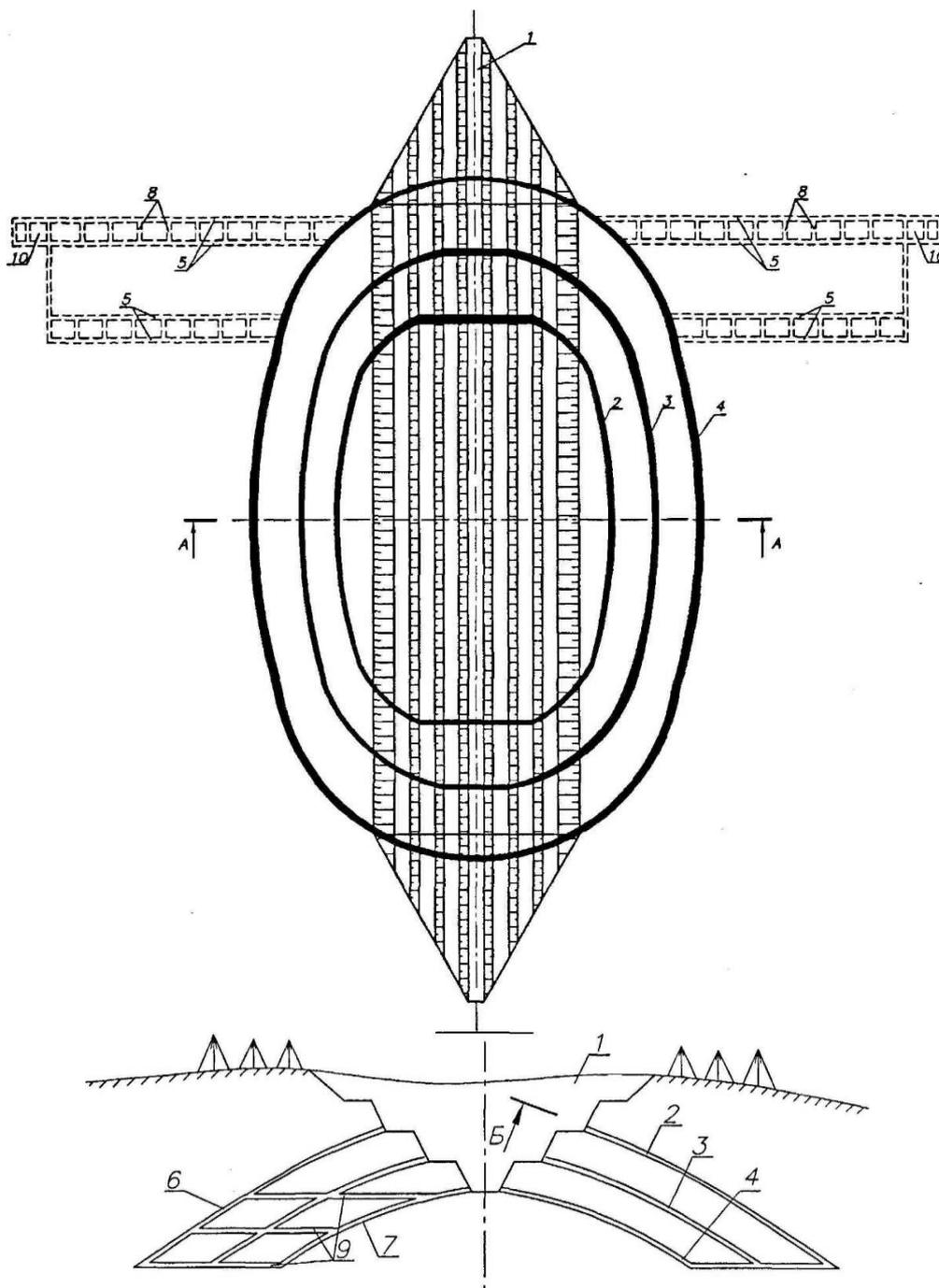
**Fig. 1. Complex method for extraction of gently sloping and steeply dipping coal seams of the deposit:**

1 – working trench; 2 – additional working trench; 3 – adit; 4 – bedrock; 5 – sediment; 6 – fertile soil layer

Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклинальных и брахисинклинальных месторождений включает в себя разработку синклинального и (или) брахисинклинального месторождения. Вскрытие и подготовку свиты пластов проводят двумя разрезными траншеями и сбивают спаренными подземными горными выработками. Выработки проводятся по пластам через нижние точки мульд синклиналей пластов и (или) близко к ним. Для улучшения проветривания, доставки материалов и перепуска шахтного притока в нижнюю точку последнего пласта проходят

дополнительные выработки или бурят специальные скважины [42].

Подготовку пластов осуществляют по горизонтной и (или) панельной схеме, разработку пластов подземным способом ведут длинными столбами. В зависимости от угла падения по простиранию и (или) падению механизированным способом с полным обрушением кровли. Выемку угля в зонах нарушений, предохранительных и барьерных целиках производят короткими забоями механическим, механогидравлическим и (или) гидравлическим способами.

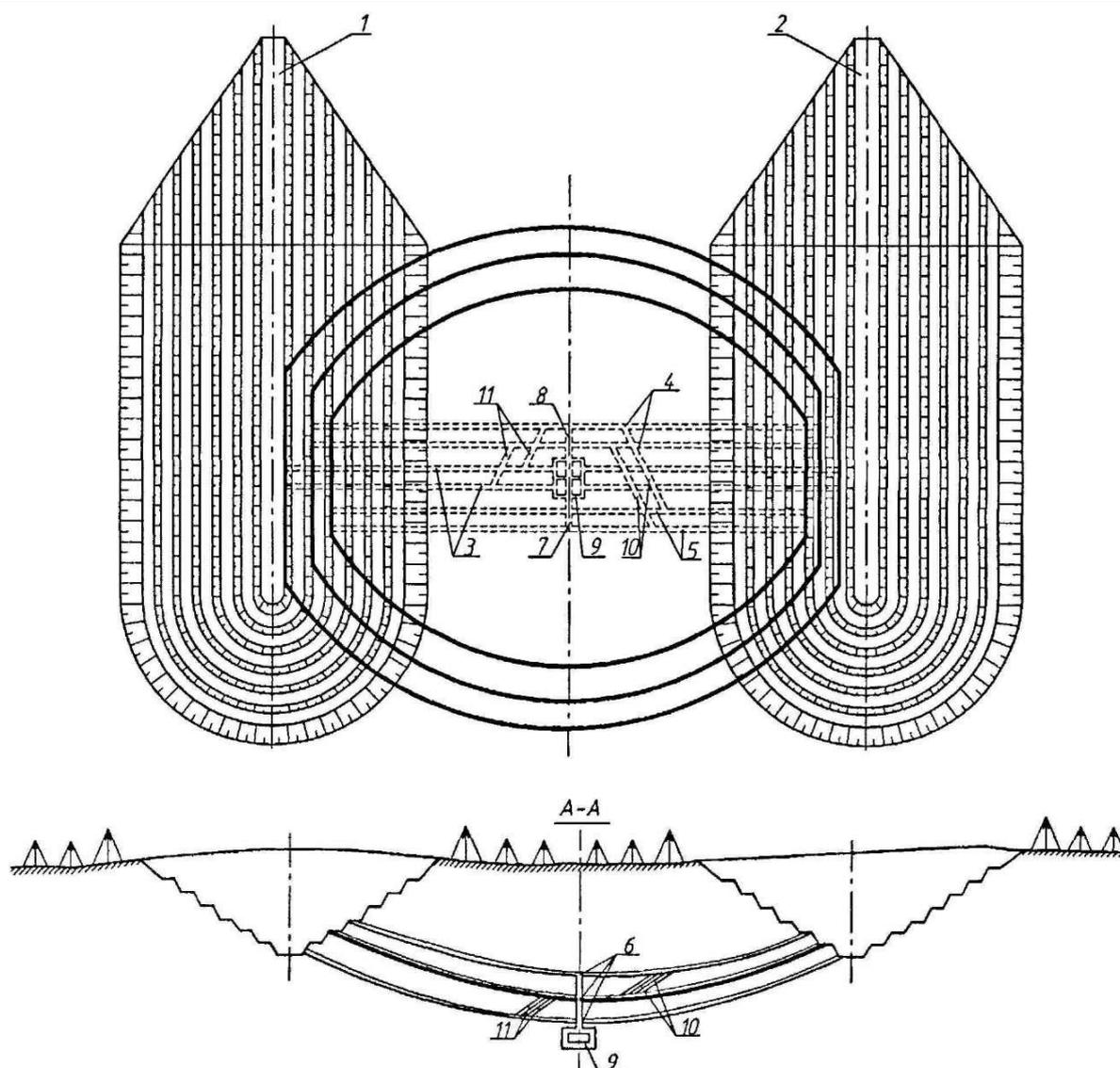


**Рис. 2. Комплексный способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений:**

1 – продольная разрезная траншея; 2, 3, 4 – пласты угля; 5 – спаренные наклонные стволы; 6 – верхний пласт (при крутом падении); 7 – нижний пласт (при крутом падении); 8 – сбойки; 9 – квершлаг; 10 – водосборник шахтного водоотлива

**Fig. 2. Complex method for extraction of coal seams of anticlinal deposits:**

1 – longitudinal working trench; 2, 3, 4 – coal seams; 5 – paired incline shafts; 6 – upper seam (at steep dip); 7 – lower seam (at steep dip); 8 – cross headings; 9 – cross drift; 10 – mine drainage drain sump



**Рис. 3. Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклиналичных и брахисинклиналичных месторождений:**

1, 2 – разрезные траншеи; 3, 4, 5 – спаренные подземные горные выработки;  
 6 – нижняя точка синклинали пластов; 7, 8 – скважины; 9 – водосборник; 10, 11 – вентиляционные выработки

**Fig. 3. Complex method for extraction of gently sloping coal seams of synclinal and brachysynclinal deposits:**

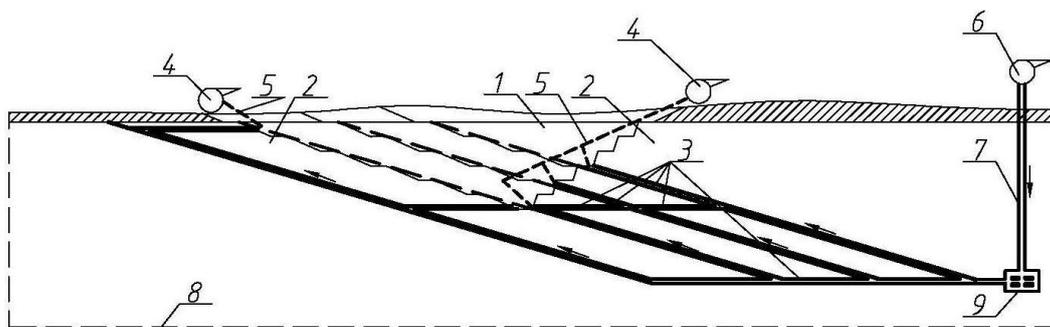
1, 2 – working trenches; 3, 4, 5 – paired underground mine workings; 6 – lower point of the seam syncline;  
 7, 8 – boreholes; 9 – drain sump; 10, 11 – air courses

Для обеспечения проветривания при больших размерах синклинали нижних пластов спаренные выработки верхних пластов сохраняют путем оставления предохранительных целиков по бортам и почве выработок, сбивают их с нижними вентиляционными выработками и используют как фланговые вентиляционные стволы [48–53].

**Системы проветривания подземных выработок при комбинированной системе разработки угольных месторождений**

В зависимости от принятой схемы вскрытия месторождения принимаются технологические схемы проветривания подземных выработок, шахтного водоотлива и транспорта.

Схемы проветривания при комбинированном способе разработки месторождений [35, 52, 53] представлены на рис. 4–6.

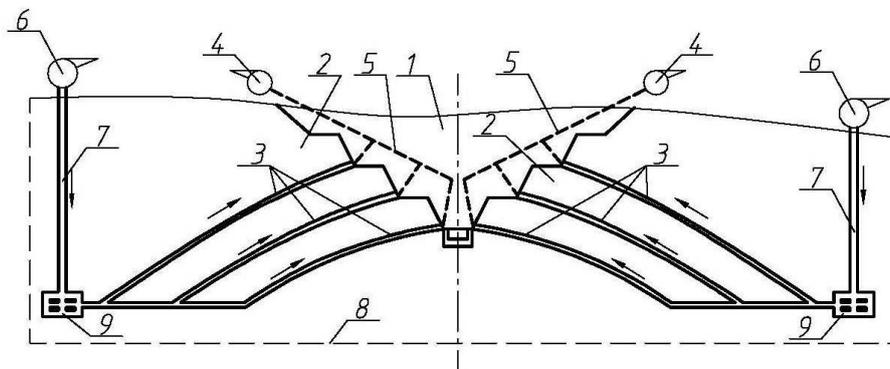


**Рис. 4. Вентиляция подземных горных выработок при комбинированном способе разработки месторождений пологих, наклонных и крутых пластов угля:**

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – горные выработки; 4 – вспомогательный вентилятор; 5 – вентиляционные выработки; 6 – вентилятор главного проветривания; 7 – вентиляционный ствол (скважина); 8, 10 – граница горного отвода; 9 – распределительная камера

**Fig. 4. Aeration of underground mine workings for the combined method for extraction of gently sloping and steeply dipping coal seams of the deposit:**

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – mine workings; 4 – auxiliary fan; 5 – air courses; 6 – main fan; 7 – air shaft (borehole); 8, 10 – mining lease boundary; 9 – air plenum

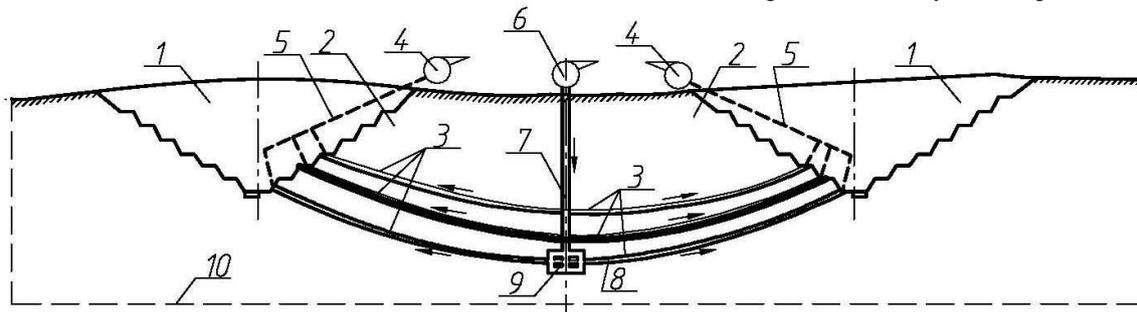


**Рис. 5. Вентиляция подземных горных выработок при комбинированном способе разработки антиклинальных угольных месторождений:**

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – горные выработки; 4 – вспомогательный вентилятор; 5 – вентиляционные выработки; 6 – вентилятор главного проветривания; 7 – вентиляционный ствол (скважина); 8, 10 – граница горного отвода; 9 – распределительная камера

**Fig. 5. Aeration of underground mine workings for the combined method for extraction of coal seams of anticlinal deposits:**

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – mine workings; 4 – auxiliary fan; 5 – air courses; 6 – main fan; 7 – air shaft (borehole); 8, 10 – mining lease boundary; 9 – air plenum



**Рис. 6. Вентиляция подземных горных выработок при комбинированном способе разработки синклиналичных угольных месторождений:**

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – горные выработки; 4 – вспомогательный вентилятор; 5 – вентиляционные выработки; 6 – вентилятор главного проветривания; 7 – вентиляционный ствол (скважина); 8, 10 – граница горного отвода; 9 – распределительная камера

**Fig. 6. Aeration of underground mine workings for the combined method for extraction of coal seams of synclinal deposits:**

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – mine workings; 4 – auxiliary fan; 5 – air courses; 6 – main fan; 7 – air shaft (borehole); 8, 10 – mining lease boundary; 9 – air plenum

Особенностями вентиляции при комбинированной технологии являются этапы перехода проветривания от вентиляторов местного проветривания при подготовке и отработке запасов верхнего горизонта к стационарным для проветривания горных выработок нижних горизонтов, устанавливаемым на фланговых скважинах или стволах.

Стволы (скважины) проходятся рядом с водоотливными выработками, которые находятся ниже основных на 5–10 м, где обустраивается распределительная камера, обеспечивающая с помощью перемычек, сбоек раздачу воздуха в основные выработки. Исходящая струя выбрасывается в рабочую зону разреза.

При проветривании горных выработок следует соблюдать следующие правила.

1. Необходимо располагать главную вентиляционную установку вне зоны влияния атмосферы разреза. Целесообразно использование воздухоподающих скважин (так как скорость воздуха не ограничена требованиями правил безопасности), которые снижают эндогенную пожароопасность пластов, склонных к самовозгоранию.

2. При проектировании вентиляции следует обеспечивать бремсберговую схему проветривания свежей струей воздуха с подачей его в нижнюю точку шахтного поля.

3. При размещении главной вентиляционной установки в открытых горных выработках ее следует максимально удалять от открытых горных работ, а место установки должно быть выбрано с учетом розы ветров и климатических условий района строительства.

4. Необходимо осуществлять мониторинг ширины целика между открытыми и подземными горными работами по условию аэродинамической проницаемости.

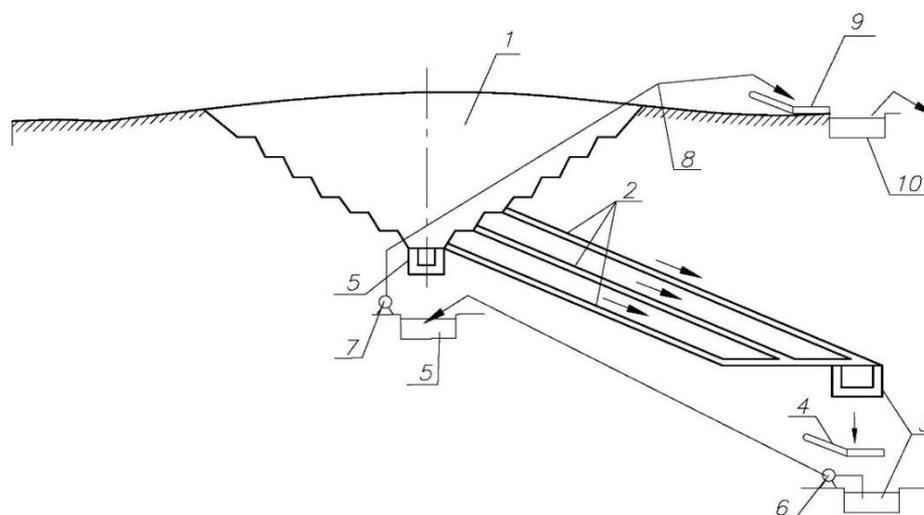
5. При проектировании вентиляции следует учесть возможность направления исходящей струи воздуха из шахты для проветривания выработанного пространства разреза и создания благоприятных аэрологических условий в рабочей зоне разреза.

**Системы шахтного водоотлива при комбинированной технологии разработки угольных месторождений**

Схемы шахтного водоотлива при разработке угольных месторождений представлены на рис. 7–9.

Шахтный водоотлив при разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений [49, 51] заключается в организации подземных водосборников, размещенных на нижних горизонтах горных выработок. В эти водосборники самотеком поступают притоки подземных шахтных вод из сточных каналов подземных горных выработок через подземные комплексы предварительной очистки воды, которые служат для отделения крупных и взвешенных частиц. Насосные установки далее подают воду в водосборник, расположенный на нижнем горизонте разреза, где они смешиваются с шахтным притоком открытых горных выработок, и насосными установками, расположенными на бортах разреза или плавающем понтоне, вода далее подается в комплекс глубокой очистки на поверхности, откуда она после очистки и обеззараживания с использованием механических, физических и химических способов стекает в поверхностный водосборник и после отстоя сбрасывается во внешние водоемы.

Подземный комплекс предварительной очистки воды, имеющий обезвоживающий конвейер и набор устройств очистки воды, располагается перед подземным водосборником, который разбит на четыре секции водонепроницаемыми перемычками. Первая перемычка позволяет перепускать воду у дна комплекса, все последующие служат разделителями секций, где располагаются последовательно устройства очистки воды: тонкослойный осветлитель воды типа «жалюзи» для интенсификации осаждения взвешенных частиц; продольные тонкослойные осветлители воды для осаждения тонкодисперсных частиц; устройство электрофизической обработки. Подземный водосборник имеет футерованное скользящим в воде материалом (резиной, пластиком и др.) дно, уклон которого более 0,03 в сторону всасывающих коллекторов.



**Рис. 7. Технологическая схема шахтного водоотлива при комбинированной разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений:**

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – подземный водосборник; 4 – комплекс предварительной очистки воды; 5 – водосборник разреза; 6 – насосные установки шахты; 7 – насосные установки разреза; 8 – трубопровод; 9 – комплекс глубокой очистки воды; 10 – водосборник на поверхности

**Fig. 7. Mine drainage flow sheet for the combined method for extraction of gently sloping and steeply dipping coal seams of deposits.**

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – underground drain sump; 4 – preliminary water treatment facility; 5 – opencast coal mine drain sump; 6 – underground mine pumps; 7 – opencast coal mine pumps; 8 – pipeline; 9 – water fining facility; 10 – drain sump on the surface

Работа технологической схемы шахтного водоотлива при комбинированной разработке антиклинальных угольных месторождений заключается в следующем:

– подземные водосборники обоих крыльев антиклинального залегания угля размещаются на нижних горизонтах горных выработок;

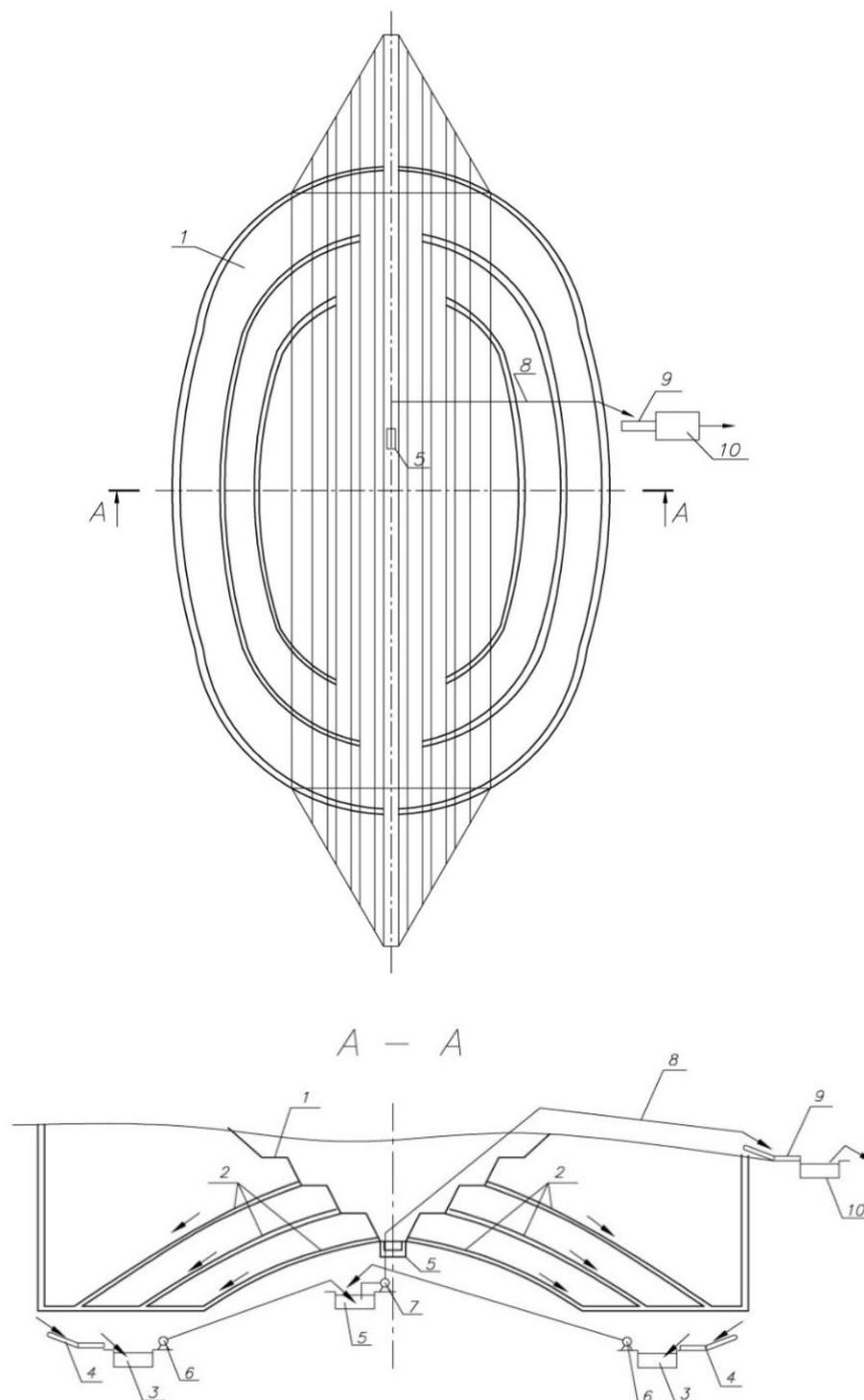
– притоки подземных шахтных вод из сточных каналов подземных горных выработок поступают через комплексы предварительной очистки;

– насосными установками притоки подземных шахтных вод выдаются в водосборник, расположенный на нижнем горизонте разреза, где они смешиваются с шахтным притоком открытых горных выработок;

– насосными установками, расположенными на бортах разреза или плавающем понтоне, притоки выдаются в комплекс глубокой очистки воды на поверхности, откуда она после очистки и обеззараживания выдается в поверхностный водосборник и после отстоя сбрасывается во внешние водоемы.

Технологическая схема шахтного водоотлива при разработке синклиналиных

угольных месторождений отличается тем, что в подземный водосборник, размещенный на нижнем горизонте последнего отрабатываемого пласта в мульде синклиналиного месторождения, самотеком поступают притоки подземных шахтных вод из сточных каналов подземных горных выработок через комплекс предварительной очистки. С верхних горизонтов шахтные притоки перепускаются по скважине, пробуренной в мульде синклиналиного месторождения. Далее шахтные притоки насосными установками выдаются двумя потоками в водосборники, расположенные на нижних горизонтах разрезных траншей, вскрывающих выходы пластов, под наносы на противоположных сторонах месторождения, где они смешиваются с шахтными притоками открытых горных выработок и насосными установками, расположенными на бортах разрезных траншей или плавающих понтонах. После очистки и обеззараживания с использованием механических, физических и химических способов шахтные притоки стекают в поверхностные водосборники, а после отстоя сбрасываются во внешние водоемы [48–53].

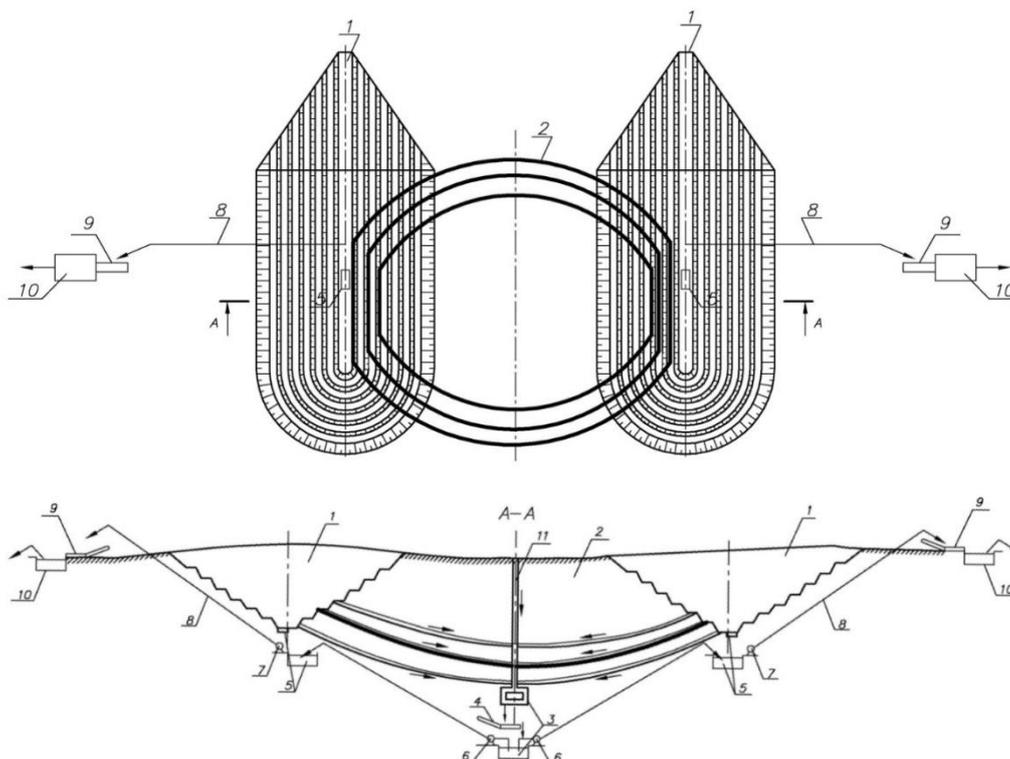


**Рис. 8. Технологическая схема шахтного водоотлива при комбинированной разработке антиклинального угольного месторождения:**

1 – разрез (открытые работы); 2 – шахта (подземные работы); 3 – подземный водосборник; 4 – комплекс предварительной очистки воды; 5 – водосборник разреза; 6 – насосные установки шахты; 7 – насосные установки разреза; 8 – трубопровод; 9 – комплекс глубокой очистки воды; 10 – водосборник на поверхности;

**Fig. 8. Mine drainage flow sheet for the combined method for extraction of coal seams of anticlinal deposit:**

1 – opencast coal mine (open-casting); 2 – underground mine (underground mining); 3 – underground drain sump; 4 – preliminary water treatment facility; 5 – opencast coal mine drain sump; 6 – underground mine pumps; 7 – opencast coal mine pumps; 8 – pipeline; 9 – water fining facility; 10 – drain sump on the surface

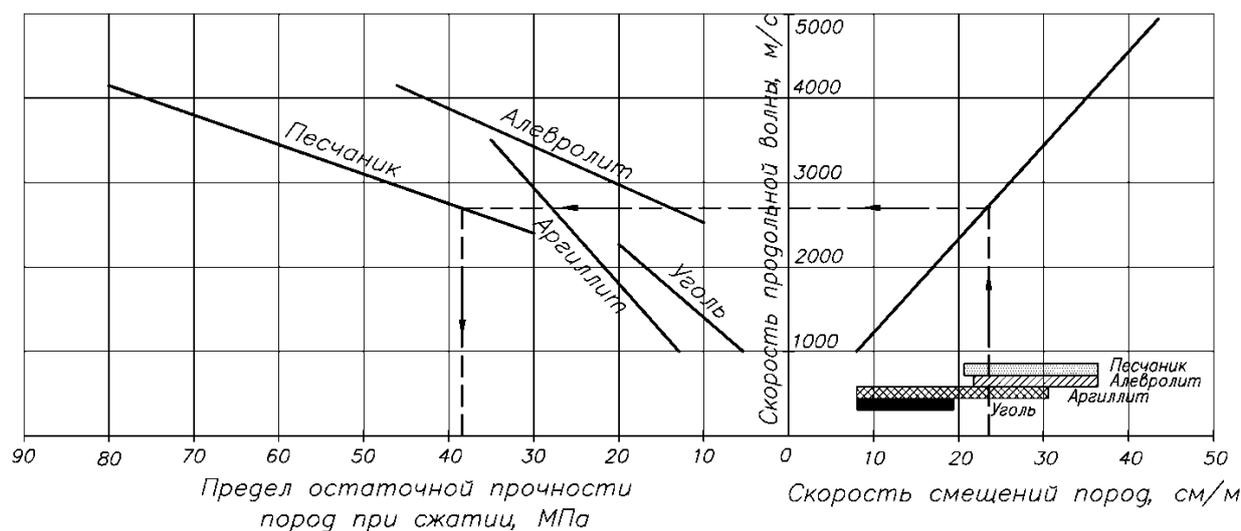


**Рис. 9. Технологическая схема шахтного водоотлива при комбинированном способе разработки синклинального угольного месторождения:**

1 – разрезная траншея на выходах пластов; 2 – шахта с подземными горными выработками; 3 – подземный водосборник; 4 – подземный комплекс предварительной очистки воды; 5 – водосборник разрезной траншеи; 6 – насосные установки шахты; 7 – насосные установки разреза; 8 – трубопровод; 9 – комплекс глубокой очистки воды; 10 – водосборник на поверхности; 11 – скважина

**Fig. 9. Mine drainage flow sheet for the combined method for extraction of coal seams of synclinal deposit:**

1 – working trench at seam outcrops; 2 – underground mine with underground workings; 3 – underground drain sump; 4 – preliminary water treatment facility; 5 – working trench drain sump; 6 – underground mine pumps; 7 – opencast coal mine pumps; 8 – pipeline; 9 – water fining facility; 10 – drain sump on the surface; 11 – borehole



**Рис. 10. Номограмма для определения предела остаточной прочности пород при сжатии от скорости сейсмических смещений пород**

**Fig. 10. Nomogram for determining the limit of residual rock strength under compression from the speed of rock seismic displacements**

## Управление массивом горных пород

Исследования проявлений горного давления при комбинированной разработке угольных месторождений позволили разработать методику прогноза опасных зон в горном массиве в приконтурной зоне разреза, которая основана на определении скорости смещений пород под влиянием взрывных работ. Область применения методики: угольные месторождения, разрабатываемые комбинированным способом.

Исходными данными для прогноза опасных зон служат параметры, взятые из следующих документов: стратиграфический разрез горного массива с указанием мощности и предела прочности угольных и породных слоев; паспорта буровзрывных работ; планы горных работ.

Величины скоростей смещений по исходным данным определяются по номограмме, представленной на рис. 10.

Значение скорости продольной волны по номограмме определяет предел остаточной прочности пород при сжатии после буровзрывных работ, на основании которого в установленном порядке разрабатываются и утверждаются мероприятия для безопасности ведения горных работ, реализация которых обеспечивает безопасную и эффективную отработку пласта и проведение подготовительных горных выработок. Удаление открытых работ от подземных, как показала практика, составляет 90–120 м в зависимости от крепости пород горного массива.

Наиболее важной на стадии проектирования является задача оптимизации глубины открытых работ, от которой зависят распределение запасов по видам открытых и подземных работ на протяжении отработки угольного месторождения, затраты на рекультивацию земель и многие другие технико-экономические показатели. Критерием оптимизации служит чистый дисконтированный доход за время разработки месторождения.

**Транспорт и доставка материалов при комбинированной разработке угольных месторождений**

Транспорт и доставка материалов при комбинированной разработке угольных месторождений практически для подземных и открытых работ не изменяется, отличительной особенностью является бункеризация горной массы открытых и подземных горных работ при раздельной транспортировке горной массы.

**Примеры обоснования комбинированной технологии разработки угольных месторождений**

Пример обоснования выбора комбинированной технологии разработки угольного месторождения производился на основе геологических данных и характеристик Макарьевского месторождения Кузбасса.

На рис. 11–13 представлены результаты расчетов выбранных технологических схем горнодобывающего предприятия.

Для совместной отработки участков Макарьевский Северный и Макарьевский Южный предлагается рассмотреть три варианта: вариант 1 – отработка запасов участка подземным способом; вариант 2 – последовательная отработка запасов участка открытым способом, а затем подземным; вариант 3 – одновременная открыто-подземная отработка запасов участка.

Вариант 1 реализуется строительством двух шахт с суммарной производственной мощностью 3,5 млн т угля в год.

На основании принятых технико-технологических решений проведен технико-экономический расчет по варианту 1 отработки выделенных участков Макарьевского каменноугольного месторождения.

Денежный поток за весь период отработки составляет 78,5 млрд руб., чистый дисконтированный доход составляет 4,5 млрд руб.

Вариант 2 реализуется строительством разреза с производственной мощностью 7 млн т угля в год до достижения конечной глубины открытых горных работ и с последующей подземной доработкой запасов выделенных участков.

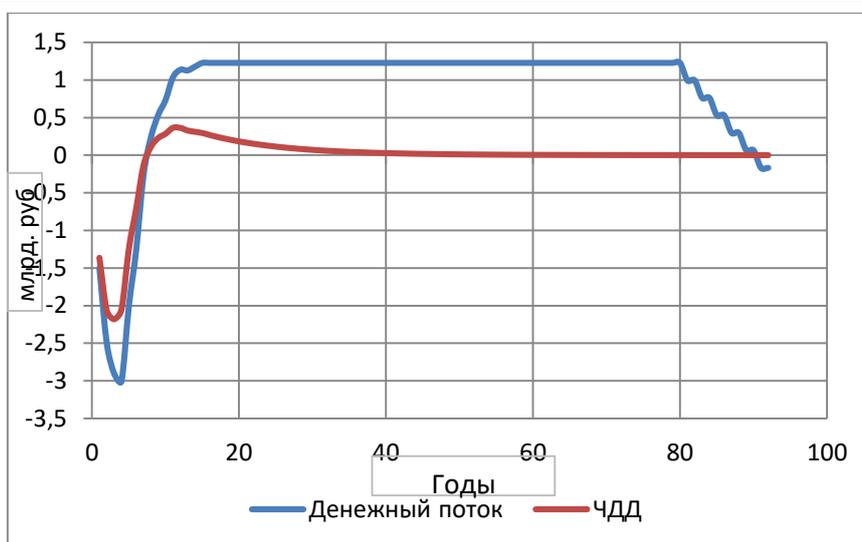


Рис. 11. Денежные потоки и чистый дисконтированный доход (ЧДД) при подземной разработке угольного месторождения с традиционной рекультивацией земель

Fig. 11. Cash flows and net present value (NPV) for underground mining of coal deposit with traditional land reclamation

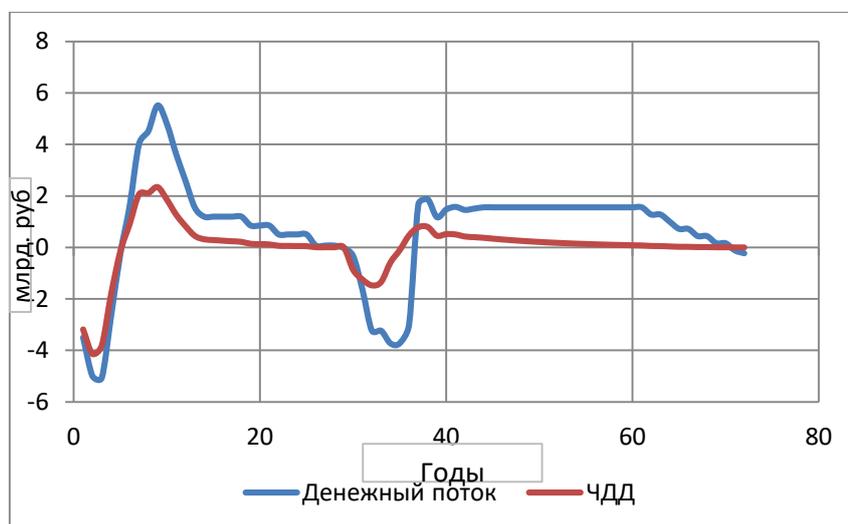


Рис. 12. Денежные потоки и чистый дисконтированный доход (ЧДД) при последовательной открытой и подземной разработке месторождения на полную глубину с традиционной рекультивацией земель

Fig. 12. Cash flows and net present value (NPV) for consecutive opencast and underground mining of a coal deposit to its full depth with traditional land reclamation

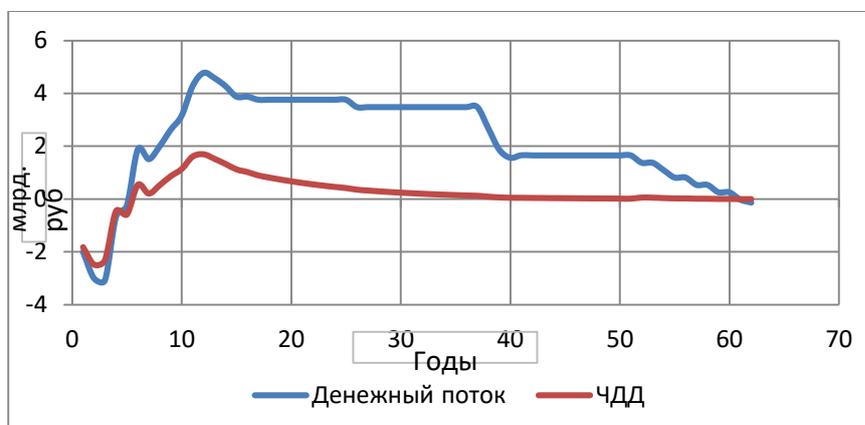


Рис. 13. Денежные потоки и чистый дисконтированный доход (ЧДД) при комбинированной разработке месторождения на полную глубину с новыми вариантами рекультивации земель

Fig. 13. Cash flows and net present value (NPV) for combined mining of a coal deposit to its full depth with new land reclamation options

На основании принятых технико-технологических решений проведен технико-экономический расчет по варианту 2 отработки выделенных участков Макарьевского месторождения.

Особенностью данного варианта является учет в экономической эффективности проекта затрат на рекультивацию нарушенных земель.

Денежный поток за весь период отработки составляет 47,9 млрд руб., чистый дисконтированный доход составляет 2,8 млрд руб.

Сравнение первого и второго вариантов с учетом рационального природопользования указывает на низкую эффективность открытого способа угледобычи.

На первый взгляд, второй вариант более предпочтительный по срокам освоения месторождения и объему добычи – 7 млн т в год, однако прибыль предприятия уходит на рекультивацию земель, площадь которой многократно больше из-за рабочей глубины разреза более 100 м. Возврат породы автотранспортом в выработанное пространство составляет 90–130 руб./т, а в перерасчете на коэффициент вскрыши будет составлять 1–2 млрд руб, поэтому лучше объявить себя банкротом и не проводить рекультивацию или провести рекультивацию отвалов.

Вариант 3 реализуется строительством разреза с производственной мощностью 4,5 млн т угля в год и одновременной подземной отработкой запасов выделенных участков. Данный вариант позволяет совместить преимущества открытого и подземного способов угледобычи на разных этапах отработки месторождения. В варианте учитываются затраты на рекультивацию, при этом выбирается оптимальная глубина разреза по критерию экологической безопасности отработки и с учетом затрат на рациональное природопользование.

На основании принятых технико-технологических решений проведен технико-экономический расчет по варианту 3 отработки выделенных участков Макарьевского месторождения Кузбасса.

Денежный поток за весь период отработки составляет 143,4 млрд руб., чистый дисконтированный доход составляет 20,1 млрд руб.

Сокращение срока эксплуатации месторождения при себестоимости тонны угля 2000 руб. дает условный экономический эффект 94, 6 млрд руб. Снижение потерь на 30 % дает приращение условного эффекта на 28,37 млрд руб. с учетом предотвращенного экологического ущерба.

### Выводы

При комплексном проектировании и освоении запасов комбинированными технологиями проектные решения должны быть увязаны по способам, системам разработки и выемки угля, в том числе:

- размещение вскрывающих выработок с учетом перспектив развития горных работ, разреза и шахты с точки зрения их функционирования на всех этапах разработки месторождения;

- обоснование параметров технологических схем совместного водоотлива, транспорта и вентиляции;

- обоснование глубины разреза, что обеспечивает снижение затрат на рекультивацию земель, сокращение срока эксплуатации предприятия;

- гармонизация безопасного расстояния между открытыми и подземными горными работами, что позволяет совместить во времени открытые, подземные и рекультивационные работы, разделив их в пространстве.

Анализ вариантов разработки Макарьевского угольного месторождения позволяет сделать следующие выводы.

Совместное решение вопросов вскрытия и подготовки запасов полей разреза и шахты позволяет нарастить объем добычи на горнодобывающем предприятии до 5–9 млн т в год, уменьшить объем вскрывающих выработок и сократить срок строительства, снизить размеры инвестиций, а также уменьшить затраты на вентиляцию, водоотлив, транспортировку горной массы и рекультивацию земель в процессе эксплуатации предприятия.

## Библиографический список

1. Kelly M. Developing coal mining technology for the 21st century. *Mining Science and Technology*'99. 2002;3–7.
2. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А. Мировые тенденции развития угольной отрасли. *Горная промышленность*. 2017;(1(143)):24–29. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-1-143-24-29.
3. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А. *Угольная промышленность мира и России: анализ, тенденции и перспективы развития*. М.: ЛИТЕРРА; 2017. 373 с.
4. Joe G. Baker Technological Change in US Coal Mining: Issues and Evidence. *Energy Exploration & Exploitation*. 1983;2(3):233–241.
5. Winschel Richard US Coal – An Industry in Transition. In: *International Pittsburg Coal Conference*. 2015.
6. IEA. *Coal*. [Online]. 2016. URL: <http://www.iea.org/topics/coal>.
7. Osborne D. (ed.) *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. DOI: 10.1533/9780857097309.
8. McDowell Chatman Jay. *County Coal and Rail*. Arcadia Publishing; 2014.
9. Bondarenko V., Kovalevs'ka I., Ganushevych K. (eds.) *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining*. London: CRC Press; 2014. DOI: 10.1201/b17547.
10. Mukhopadhyay Manas K., Suvomoy A., Banerjee Palash, Skaria Vishal, Bhattacharjee P.K. *Advances in Coal Mining Technology to Meet the Requirements of Environmental and Social Needs*. URL: [http://www.meconlimited.co.in/Writereaddata/pub/Adv\\_coal\\_mining\\_env\\_social\\_needs%20.pdf](http://www.meconlimited.co.in/Writereaddata/pub/Adv_coal_mining_env_social_needs%20.pdf).
11. *Coal of the future (supply prospects for thermal coal by 2030–2050)*. Prepared for the European Commission – DG JRC Institute for Energy by Energy Edge Limited. 2007. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC36060/6060%20-%20EUR%2022644%20EN.pdf>.
12. Yuan L. Scientific conception of precision coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2017;42(1):1–7. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.1661.
13. Lien L. Advances in coal mining technology. In: *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Osborne D. (ed.) Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. P. 193–225. DOI: 10.1533/9780857097309.2.193.
14. Lien L. Mining's new future: How the industry will change in the next decade. *Mining Engineering*. 2011;63(2):40–46.
15. Fedorin V. A., Shakhmatov V., Anferov B. A., Kuznetsova L. V. Hybrid opencast/underground process to mine Kuzbass coal deposits. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 262. Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry 1–5 October 2018, Novosibirsk, Russian Federation*. IOP Publishing Ltd; 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012015.
16. Федорин В. А., Шахматов В. Я, Михайлов А. Ю. Комбинированный способ разработки угольных пластов кузбасса на основе синтеза процессов ведения открытых и подземных горных работ. *Вестник научного центра ВОСТНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2018;(1):32–40.
17. Wang G.-F. Development of China's coal mining technology and equipment. In: *30th Annual International Pittsburgh Coal Conference*. 2013;(3):1855–1884.
18. Yuan L. Strategic thinking of simultaneous exploitation of coal and gas in deep mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2016;41(1):1–6. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.9027.
19. Yuan L. The technique of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2008;33(8):898–902.
20. Yuan L. Scientific problem and countermeasure for precision mining of coal and associated resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(1):1–9. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2018.5048
21. Yuan L., Zhang P. Development status and prospect of geological guarantee technology for precise coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(8):2277–2284. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.KJ19.0571.
22. Zhang J., Zhang Q., Ju F., Zhou N., Li M., Sun Q. Theory and technique of greening mining integrating mining, separating and backfilling in deep coal resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2018;43(2):377–389. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2017.4102.
23. Diering D. H. Ultra-deep level mining – future requirements. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1997;97(6):249–255.
24. Li H., Guo G., Zhai S.C. Mining scheme design for super-high water backfill strip mining under buildings: a Chinese case study. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(12):1017. DOI: 10.1007/s12665-016-5837-5.
25. Zhang S.-H., Cai Q.-X., Chen K.-Y. Dynamic mining and excavating succession for the combined mining of coal seam group in coal and gas outburst mine. *Zhongguo Kuangye Daxue Xuebao. Journal of China University of Mining and Technology*. 2011;40(6):912–916.

26. Luo Xiao, Zhang Wenjun. Research on combined coal mining technology under highway. *View Affiliations AIP Conference Proceedings*. 2017;1839(1):020027. DOI: 10.1063/1.4982392.
27. Xie H.-P., Zhou H.-W., Xue D.-J., Wang H.-W., Zhang R., Gao F. Research and consideration on deep coal mining and critical mining depth. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2012;37(4):535–542.
28. He M.-C. Conception system and evaluation indexes for deep engineering. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(16):2854–2858.
29. Skousen J., Zipper C.E. Post-mining policies and practices in the Eastern USA coal region. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(2):135–151. DOI: 10.1007/s40789-014-0021-6.
30. Sun J., Wang S. Rock mechanics and rock engineering in China: Developments and current state-of-the-art. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2000.;37(3):447–465. DOI: 10.1016/S1365-1609(99)00072-6.
31. Dychkovskiy R., Vladyko O., Maltsev D., Cáceres Cabana E. Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*. 2018;33(4):73–82. DOI: 10.17794/rgn.2018.4.7.
32. Petlovanyi M. V., Lozynskiy V. H., Saik P. B., Sai K. S. Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(6):917–923. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.05.014.
33. Ордин А. А., Клишин В. И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. Новосибирск: Наука; 2009. 164 с.
34. Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В., Кочурин Н. М., Сенкус В. В. *Комбинированная разработка угольных месторождений с рекультивацией нарушенных земель*. Кемерово: «Кузбассвуиздат»; 2017. 267 с.
35. Качурин Н. М., Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. *Аэрогазодинамика очистных и подготовительных участков при отработке мощных пологих пластов*. Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат»; 2017. 288 с.
36. Каплунов Д. Р., Качурин Н. М., Сенкус В. В., Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. Комбинированная технология системной разработки угольных месторождений. Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат»; 2018. 454 с.
37. Абрамкин Н. И., Фам Дик Тханг Обоснование рациональных вариантов комплексно-механизированной отработки наклонных угольных пластов средней мощности в горно-геологических условиях на шахте «Куангхань». *Горные науки и технологии*. 2016;(3):55–60. DOI: 10.17073/2500-0632-2016-3-55-60.
38. Патент РФ № 2295036 *Комплексный способ разработки пластовых месторождений*; МПК E21/C 40/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Фомичев С. Г., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 23.05.2005. Оpubл. 10.03.2007. Бюл. № 7.
39. Патент РФ № 2297533 *Способ рекультивации открытых горных выработок*. Заявит. и авт.: Сенкус Вал. В., Сенкус В. В., Фомичев С. Г., Сенкус Вас. В.; Заявл. 26.08.2005. Оpubл. 20.04.2007. Бюл. № 11.
40. Патент РФ № 2388911 *Комплексный способ разработки пластов опасных по газу и пыли, склонных к горным ударам и внезапным выбросам*; МПК E21F 7/00. Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Фрянов В. Н., Фомичев С. Г. и др.; Заявл. 05.08.2008. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. № 13.
41. Патент РФ № 2391510 *Способ разработки мощных угольных пластов и устройство для его реализации*. Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Фрянов В. Н., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 02.12.2008. Оpubл. 10.06.2010. Бюл. № 16.
42. Патент РФ № 2418168. *Комплексный способ разработки свит пологих пластов*; МПК E21C 40/06. Заявит. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Фрянов В. Н. и др.; Заявл. 17.11.2009. Оpubл. 10.05.2011. Бюл. № 13.
43. Патент РФ № 2422638 *Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклиналильных и брахисинклиналильных месторождений*; МПК E21/C 41/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 27.06.2011. Бюл. № 18.
44. Патент РФ № 2425216 *Комплексный способ разработки свит пластов антиклиналильных месторождений с пологим и (или) крутым залеганием пластов*; МПК E21/C 41/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 27.07.2011. Бюл. № 21.
45. Патент РФ № 2425216 *Комплексный способ разработки свит пластов антиклиналильных месторождений с пологим и (или) крутым залеганием пластов*; МПК E21/C 41/00 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Стефанюк Б. М., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 27.07.2011. Бюл. № 21.
46. Патент РФ № 2477793 *Способ комбинированной разработки свиты пластов месторождений*; МПК E21/C 41/02 (2006.01). Патентообл. и авт.: Сенкус Вал. В., Мельник В. В., Сенкус В. В. и др.; Заявл. 20.09.2011. Оpubл. 20.03.2013. Бюл. № 8.
47. Патент РФ № 2563003 *Способ разработки мощных пологих угольных пластов*; МПК E21C 41/32. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Ермаков А. Ю., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 10.09.2015. Бюл. № 25.

48. Патент РФ № 2569145 *Комплекс механогидравлической рекультивации нарушенных земель*; МПК E21C 41/32. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Мельник В. В., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.
49. Патент РФ № 2569146 *Способ механогидравлической рекультивации нарушенных земель*; МПК E21C 41/18. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Сенкус Вас. В., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.
50. Патент РФ № 2569145 *Комплекс механогидравлической рекультивации нарушенных земель*; МПК E21C 41/32. Патентообл.: ФГБОУ ВПО «КемГУ». Авт.: Сенкус Вал. В., Мельник В. В., Стефанюк Б. М. и др.; Заявл. 06.08.2014. Оpubл. 20.11.2015. Бюл. № 32.
51. Патент РФ № 2622972 *Шахтный водоотлив при разработке антиклинальных угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E02D 19/00 (2006.01). Патентообл.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 21.06.2017. Бюл. № 18.
52. Патент РФ № 2627504 *Шахтный водоотлив при разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E02D 19/06 (2006.01). Патентообл.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 08.08.2017. Бюл. № 22.
53. Патент РФ № 2655548 *Способ рекультивации открытых горных выработок*; МПК E21C 41/32, A01B 79/02. Патентообл.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В. Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вас. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 26.06.2017. Оpubл. 28.05.2018. Бюл. № 16.
54. Патент РФ № 2679003 *Способ проветривания подземных горных выработок при комбинированной разработке синклинальных угольных месторождений*; МПК E21F 1/00. Патентообл.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В. Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 17.10.2017. Оpubл. 05.02.2019. Бюл. № 4.
55. Патент РФ № 2679015 *Способ проветривания подземных горных выработок при комбинированной разработке антиклинальных угольных месторождений*; МПК E21F 1/08 (2006.01). Патентообл.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В. Авт.: Ермаков А. Ю., Сенкус В. В., Сенкус Вал. В. и др.; Заявл. 17.10.2017. Оpubл. 05.02.2019. Бюл. № 4.
56. Патент РФ № 2016104259 *Шахтный водоотлив при разработке синклинальных угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E 02 D19/00. Заявит.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Сенкус Вал. В., Ермаков А. Ю., Сенкус Вас. В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 21.06.2017. Бюл. № 18.
57. Патент РФ № 2016104262 *Шахтный водоотлив при разработке пологих и крутых пластов угольных месторождений комбинированным способом*; МПК E 02 D19/00. Заявит.: ООО «Сибниинуглеобогащение». Авт.: Сенкус Вал. В., Ермаков А.Ю., Сенкус Вас.В. и др.; Заявл. 09.02.2016. Оpubл. 21.06.2017. Бюл. № 18.

## References

1. Kelly M. Developing coal mining technology for the 21st century. *Mining Science and Technology*'99. 2002;3–7.
2. Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A. Global trends in coal industry development. *Mining Industry*. 2017;(1(143)):24–29. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-1-143-24-29. (In Russ.).
3. Plakitkina LS, Plakitkin Yu.A. World and Russian Coal Industry: Review, Trends and Development Prospects. Moscow: LITERRA PUBL.; 2017. 373 p. (In Russ.).
4. Joe G. Baker Technological Change in US Coal Mining: Issues and Evidence. *Energy Exploration&Exploitation*. 1983;2(3):233–241.
5. Winschel Richard US Coal – An Industry in Transition. In: *International Pittsburg Coal Conference*. 2015.
6. IEA. *Coal*. [Online]. 2016. URL: <http://www.iea.org/topics/coal>.
7. Osborne D. (ed.) *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. DOI: 10.1533/9780857097309.
8. McDowell Chatman Jay. *County Coal and Rail*. Arcadia Publishing; 2014.
9. Bondarenko V., Kovalevs'ka I., Ganushevych K. (eds.) *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining*. London: CRC Press; 2014. DOI: 10.1201/b17547.
10. Mukhopadhyay Manas K., Suvomoy A., Banerjee Palash, Skaria Vishal, Bhattacharjee P.K. *Advances in Coal Mining Technology to Meet the Requirements of Environmental and Social Needs*. URL: [http://www.mecon-limited.co.in/Writereaddata/pub/Adv\\_coal\\_mining\\_env\\_social\\_needs%20.pdf](http://www.mecon-limited.co.in/Writereaddata/pub/Adv_coal_mining_env_social_needs%20.pdf).

11. *Coal of the future (supply prospects for thermal coal by 2030–2050)*. Prepared for the European Commission – DG JRC Institute for Energy by Energy Edge Limited. 2007. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC36060/6060%20-%20EUR%2022644%20EN.pdf>.
12. Yuan L. Scientific conception of precision coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2017;42(1):1–7. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.1661.
13. Lien L. Advances in coal mining technology. In: *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Osborne D. (ed.) Vol. 1 in Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing; 2013. P. 193–225. DOI: 10.1533/9780857097309.2.193.
14. Lien L. Mining's new future: How the industry will change in the next decade. *Mining Engineering*. 2011;63(2):40–46.
15. Fedorin V. A., Shakhmatov V., Anferov B. A., Kuznetsova L. V. Hybrid opencast/underground process to mine Kuzbass coal deposits. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 262. *Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry 1–5 October 2018, Novosibirsk, Russian Federation*. IOP Publishing Ltd; 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012015.
16. Fedorin V. A., Shakhmatov V. Ya., Mikhaylov A. Yu. Combined method of development of coal seams of Kuzbass using opencast and underground mining systems. *Vestn. Nauch. Tsentra VostNII Po Prom. Ekol. Bezop.* 2018;(1):32–40. (In Russ.).
17. Wang G.-F. Development of China's coal mining technology and equipment. In: *30th Annual International Pittsburgh Coal Conference*. 2013;(3):1855–1884.
18. Yuan L. Strategic thinking of simultaneous exploitation of coal and gas in deep mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2016;41(1):1–6. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2015.9027.
19. Yuan L. The technique of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2008;33(8):898–902.
20. Yuan L. Scientific problem and countermeasure for precision mining of coal and associated resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(1):1–9. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2018.5048
21. Yuan L., Zhang P. Development status and prospect of geological guarantee technology for precise coal mining. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2019;44(8):2277–2284. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.KJ19.0571.
22. Zhang J., Zhang Q., Ju F., Zhou N., Li M., Sun Q. Theory and technique of greening mining integrating mining, separating and backfilling in deep coal resources. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2018;43(2):377–389. DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.2017.4102.
23. Diering D. H. Ultra-deep level mining – future requirements. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 1997;97(6):249–255.
24. Li H., Guo G., Zhai S.C. Mining scheme design for super-high water backfill strip mining under buildings: a Chinese case study. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(12):1017. DOI: 10.1007/s12665-016-5837-5.
25. Zhang S.-H., Cai Q.-X., Chen K.-Y. Dynamic mining and excavating succession for the combined mining of coal seam group in coal and gas outburst mine. *Zhongguo Kuangye Daxue Xuebao. Journal of China University of Mining and Technology*. 2011;40(6):912–916.
26. Luo Xiao, Zhang Wenjun. Research on combined coal mining technology under highway. *View Affiliations AIP Conference Proceedings*. 2017;1839(1):020027. DOI: 10.1063/1.4982392.
27. Xie H.-P., Zhou H.-W., Xue D.-J., Wang H.-W., Zhang R., Gao F. Research and consideration on deep coal mining and critical mining depth. *Meitan Xuebao. Journal of the China Coal Society*. 2012;37(4):535–542.
28. He M.-C. Conception system and evaluation indexes for deep engineering. *Yanshilixue Yu Gongcheng Xuebao. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2005;24(16):2854–2858.
29. Skousen J., Zipper C.E. Post-mining policies and practices in the Eastern USA coal region. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2014;1(2):135–151. DOI: 10.1007/s40789-014-0021-6.
30. Sun J., Wang S. Rock mechanics and rock engineering in China: Developments and current state-of-the-art. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2000.;37(3):447–465. DOI: 10.1016/S1365-1609(99)00072-6.
31. Dychkovskiy R., Vladyko O., Maltsev D., Cáceres Cabana E. Some aspects of the compatibility of mineral mining technologies. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*. 2018;33(4):73–82. DOI: 10.17794/rgn.2018.4.7.
32. Petlovanyi M. V., Lozynskiy V. H., Saik P. B., Sai K. S. Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(6):917–923. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.05.014.
33. Ordin A. A., Klishin V. I. *Optimization of Technological Parameters of Mines Based on Lagged Models*. Novosibirsk: Nauka; 2009. 164 p. (In Russ.).

34. Ermakov A. Yu., Sencus Val. V., Kochurin N. M., Sencus V. V. *Combined development of coal deposits with recultivation of disturbed*. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat Publ.; 2017. 267 p.
35. Kachurin N. M., Ermakov A. Yu., Sencus Val. V. *Gas dynamics of stopes and developing sections when extracting thick flat seams*. Kemerovo: JSC "Kuzbassvuzizdat Publ."; 2017. 288 p. (In Russ.).
36. Kaplunov D. R., Kachurin N. M., Senkus V. V., Ermakov A. Yu., Sencus Val. V. *Combined technology of coal deposit systematic development*. Kemerovo: JSC "Kuzbassvuzizdat Publ."; 2018. 454 p. (In Russ.).
37. Abramkin N. I., Fam Dick Thang. Substantiation of sustainable options for complex mechanized mining of inclined medium-thick coal seams in mining and geological conditions of the Kuang Han mine. *Gornyye nauki i tehnologii = Mining Sciences and Technologies (Russia)*. 2016;(3):55–60. DOI: 10.17073/2500-0632-2016-3-55-60. (In Russ.).
38. Senkus Val. V., Fomichev S. G., Senkus Vas. V. et. al. *An integrated method for mining of flat coal deposits*; RF patent No. 2295036, IPC E21/C 40/00 (2006.01); Submitted 05/23/2005, Publ. 03/10/2007, Bulletin No. 7. (In Russ.).
39. Senkus Val. V., Senkus V. V., Fomichev S. G., Senkus Vas. V. *Method of reclamation of open pit mines*; RF patent No. 2297533, Submitted 08/26/2005, Publ. 04/20/2007, Bulletin No. 11. (In Russ.).
40. Senkus Val. V., Fryanov V. N., Fomichev S. G. et. al. *Combined method for extraction of coal seams prone to sudden coal-and-gas outburst*; IPC E21F 7/00. RF patent No. 2388911; Submitted 08/05/2008, Publ. 05/10/2010, Bulletin No. 13. (In Russ.).
41. Senkus Val. V., Fryanov V. N., Stefanyuk B. M. et. al. *Method for extraction of thick coal seams and facility for its implementation*. RF patent No. 2391510, Submitted 12/02/2008, Publ. 06/10/2010, Bulletin No. 16. (In Russ.).
42. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Fryanov V. N. et. al. *Combined method for extraction of flat coal measures*; IPC E21C 40/06. RF patent No. 2418168, Submitted 11.17.2009, Publ. 05/10/2011, Bulletin No. 13.
43. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Fryanov V. N. et. al. *Combined method for extraction of flat coal measures of synclinal and brachysynclinal deposits*; IPC E21/C 40/06 (2006.01). RF patent No. 2422638, Submitted 12/28/2009, Publ. 06/27/2011, Bulletin No. 18. (In Russ.).
44. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Senkus V. V., Senkus Vas. V. et. al. *Combined method for extraction of flat and/or steep coal measures of anticlinal deposits*; IPC E21/C 41/00 (2006.01). RF patent No. 2425216, Submitted 12/28/2009, Publ. 07/27/2011, Bulletin No. 21. (In Russ.).
45. Senkus Val. V., Stefanyuk B. M., Senkus V. V., Senkus Vas. V. et. al. *Combined method for extraction of flat and/or steep coal measures of anticlinal deposits*; IPC E21/C 41/00 (2006.01). RF patent No. 2425216, Submitted 12/28/2009, Publ. 07/27/2011, Bulletin No. 21. (In Russ.).
46. Senkus Val. V., Melnik B. V., Senkus V. V. et. al. *Combined method for extraction of coal measures*; IPC E21/C 40/02 (2006.01). RF patent No. 2477793, Submitted 09/20/2011, Publ. 03/20/2013, Bulletin No. 8. (In Russ.).
47. Senkus Val. V., Ermakov A. Yu., Stefanyuk B. M. et. al. *Method for extraction of thick flat coal seams*. IPC E21/C 41/32, RF patent No. 2563003, Submitted 08/06/2014, Publ. 09/10/2015, Bulletin No. 25. (In Russ.). (In Russ.).
48. Senkus Val. V., Melnik B. V., Stefanyuk B. M. et. al. (Patent holder FSBEI HPE "KemSU"). *Complex for mechanical-hydraulic reclamation of disturbed lands*; IPC E21C 41/32, RF patent No. 2569145, Submitted 08/06/2014, Publ. 11/20/2015, Bulletin No. 32. (In Russ.). (In Russ.).
49. Senkus Val. V., Senkus Vas. V., Stefanyuk B. M. et. al. (Patent holder FSBEI HPE "KemSU"). *Technique of mechanical-hydraulic reclamation of disturbed lands*; IPC E21C 41/18, RF patent No. 2569146, Submitted 08/06/2014, Publ. 11/20/2015, Bulletin No. 32. (In Russ.). (In Russ.).
50. Senkus Val. V., Melnik B. V., Stefanyuk B. M. et. al. (Patent holder FSBEI HPE "KemSU"). *Complex for mechanical-hydraulic reclamation of disturbed lands*; IPC E21C 41/32, RF patent No. 2569145, Submitted 08/06/2014, Publ. 11/20/2015, Bulletin No. 32. (In Russ.). (In Russ.).
51. Ermakov A. Yu., Senkus V. V., Senkus Val. V. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of anticlinal coal deposits using combined system*; IPC E02D 19/00 (2006.01). RF patent No. 2622972; Submitted 02/09/2016, Publ. 06/21/2017, Bulletin No. 18. (In Russ.).
52. Ermakov A. Yu., Senkus Val. V. et. al. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of flat and steep coal seams using combined system*; IPC E02D 19/06 (2006.01). RF patent No. 2627504; Submitted 02/09/2016, Publ. 08/08/2017, Bulletin No. 22. (In Russ.).
53. Ermakov A. Yu., Senkus V. V. *Method of reclamation of open pit mines*; IPC 41/32, A01B 79/02. RF patent No. 2655548, Submitted 06/26/2017, Publ. 05/28/2018, Bulletin No. 16. (In Russ.).
54. Ermakov A. Yu., Senkus V. V. *A method of airing underground mine workings for combined mining of synclinal coal deposits*; IPC E21F 1/00. RF patent No. 2679003, Submitted 10/17/2017, Publ. 02/05/2019, Bulletin No. 4. (In Russ.).
55. Ermakov A. Yu., Senkus V. V. *A method of airing underground mine workings for combined mining of synclinal coal deposits*; IPC E21F 1/08 (2006.01). RF patent No. 2679015, Submitted 10/17/2017, Publ. 02/05/2019, Bulletin No. 4. (In Russ.).

56. Senkus Val. V., Ermakov A. Yu., Senkus Vas. V. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of synclinal coal deposits using combined system*; IPC E02D19/00. RF patent No. 2016104259; Submitted 02/09/2016, Publ. 06/21/2017, Bulletin No. 18. (In Russ.).

57. Senkus Val. V., Ermakov A. Yu., Senkus Vas.V. (Patent holder: SibNIIugleobogashenie LLC). *Mine drainage for extraction of of flat and steep coal seams using combined*; IPC E02D19/00. RF patent No. 2016104262; Submitted 02/09/2016, Publ. 06/21/2017, Bulletin No. 18. (In Russ.).