

Канд. техн. наук С.В. Дзюба,
науч. сотр. Н.А. Шмелев,
мл. науч. сотр. Н.В. Коваль
(ИГТМ НАН Украины)

**АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ВЕДЕНИИ
ГОРНЫХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Проведено аналіз технологій підземної розробки родовищ корисних копалин з урахуванням особливостей ведення гірничих робіт в складних гірничо-геологічних умовах та сучасних технологічних схем розробки вугільних пластів із застосуванням гідрозакладки виробленого простору. Представлено класифікацію систем доставки породи при гідрозакладці виробленого простору залежно від відстані місця розробки до місця закладки.

**ANALYSIS OF TECHNOLOGY OF UNDERGROUND DEVELOPMENT
OF MINERAL DEPOSITS FOR MINING WORK IN DIFFICULT
GEOLOGICAL CONDITIONS**

The analysis of technology underground mining of minerals with the peculiarities of mining in complex geological conditions and modern technological schemes for the development of coal seams using hidrolaying produced space. Presented classification systems delivery breed with hidrolaying produced space depending on the distance to the location space development laying.

Существенный опыт закладки выработанного пространства породой получен на шахтах Украины и обусловлен поиском эффективных решений охраны объектов на поверхности и способов управления геомеханическими процессами при отработке запасов в сложных горно-геологических условиях, а также необходимостью снижения объемов выдачи породы из шахт и складирования ее на поверхности [1-5]. Обоснованием соответствующих технологических решений занимались отраслевые институты – ИГД им. А.А. Скочинского, ДонУГИ, ВНИМИ, ВостНИИ; проектные – Днепрогипрошахт и Донгипрошахт; академические – ИГТМ НАН Украины и ИПКОН АН СССР; вузы – ДГИ, ДЛИ, МГИ, ЛГИ и другие организации. Одной из основных проблем при подземной разработке месторождений полезных ископаемых является учет влияния геофильтрационных процессов и явлений на межфазной границе на параметры ведения горных работ, что нашло отображение в трудах известных ученых.

При гидравлической закладке для подачи закладочного материала по трубам в выработанное пространство используется энергия воды. Применяется в основном самотечная или напорная технология закладки. При недостаточной разности геодезических отметок для обеспечения подачи закладки на дальние выемочные поля используется комбинированная закладка: самотечная с размещением насосов вдоль трубопровода. Основные недостатки гидрозакладки – подача большого количества воды в шахту, в 2 – 7 раз больше объема подаваемой породы, трудности отвода отработанной воды и водоотлива загрязненных вод, обводнение откаточных выработок, смежных забоев и выработок, расположенных ниже закладываемого пространства [2].

Достоинства гидравлической закладки – высокая плотность и наименьшая

усадка закладочного массива, высокая производительность, непрерывность и полная механизация закладочных работ, надежность и оперативность управления закладочными работами, возможность наибольшей изоляции от проникновения воздуха в выработанное пространство, устранение опасности подземных эндогенных пожаров, горных ударов и других осложняющих технологический процесс горно-геологических факторов.

Дополнительным эффектом применения гидрозакладки в условиях глубоких шахт, в которых температура неохлажденного массива горных пород на глубоких горизонтах может достигать 50°C и более, является формирование благоприятных тепловых режимов. Как показывает опыт, температурный перепад между закладкой и прилегающими к ней массивами угля и породы создает возможность нормализации климатических условий очистных выработок, расположенных на глубине 1000 – 1100 м от поверхности без искусственного охлаждения рудничного воздуха.

Естественно, что эффективность технологий гидрозакладки определяется, прежде всего, выбором средств гидромеханизации, и поэтому существенное внимание уделяется решениям известных задач гидротранспорта, для которых, как правило, рассматриваются стационарные режимы и достаточная однородность транспортируемого материала [3-6]. Основными результатами при этом являются зависимости критической скорости и гидравлического уклона от ряда параметров, характеризующие гидротранспортную систему.

При выемке запасов под охраняемыми объектами наиболее эффективной принято считать гидравлическую и твердеющую закладку, поскольку она обеспечивает наименьшую усадку закладочного массива и деформацию подрабатываемой поверхности. Кроме того, эти виды закладки позволяют управлять параметрами процесса транспортирования и свойствами закладочного массива введением реагентов в жидкую фазу закладочной пульпы. При этом прочность искусственного массива регулируется за счет добавок к пульпе связующих реагентов в соотношении от 1:2 до 1:30 по массе в зависимости от свойств закладочного материала. Это позволяет использовать в качестве закладочного материала отходы обогащения после их частичного обезвоживания. Параметры гидротранспорта закладочной смеси, такие, как критическая скорость, гидравлический уклон, грузопоток и подача пульпы регулируются за счет добавок поверхностно активных (ПАВ) или гидродинамически активных веществ (ГДАВ) [7, 8]. Правильный выбор полимерных добавок позволяет существенно снизить гидравлическое сопротивление трубопроводов и обеспечить флокуляцию закладочного материала непосредственно перед подачей в закладываемое выработанное пространство.

В частности, известно, что гидродинамическое сопротивление при движении раствора, содержащего ГДАВ, зависит от характеристической вязкости [9]

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} (\eta_{y\partial} / c), \quad (1)$$

где $[\eta]$ – характеристическая вязкость раствора; $\eta_{y\partial} = (\eta - \eta_0) / \eta_0$ – удельная вязкость раствора; c – концентрация раствора, моль мономера/л.; η – коэффициент динамической вязкости раствора; η_0 – коэффициент динамической вязкости

растворителя.

Характеристическая вязкость связана с молекулярной массой полимера соотношением Марка – Куна – Хаувинка [9]

$$[\eta] = KM^a, \quad (2)$$

где K и a – постоянные для данного гомологического ряда и растворителя; M – молекулярная масса полимера.

При этом для каждого значения концентрации раствора характерна максимальная величина снижения сопротивления, не зависящая от величины диаметра трубопровода, в котором исследуется течение; для растворов полимера одного вида величина касательного напряжения, характеризующая начало проявления эффекта снижения сопротивления, не зависит от концентрации раствора полимера и диаметра трубопровода; величина наибольшего снижения сопротивления увеличивается с ростом концентрации и при достижении величины 75% дальнейшее нарастание эффекта прекращается. Диапазон касательных напряжений, в котором наблюдается насыщение эффекта снижения сопротивления, зависит от концентрации раствора полимера: чем выше величина концентрации, тем до больших значений касательных напряжений сохраняется максимальная величина эффекта.

Современные технологические схемы разработки угольных пластов с применением гидрозакладки выработанного пространства различны, поскольку учитывают особенности применения технических средств гидрозакладки, особенности залегания пласта и свойства угольного массива [2]. В определенных горно-геологических условиях используется схема выемки пласта двумя слоями (рис. 1). Верхний слой пласта обрабатывается сплошной системой разработки с расположением штреков по нижеледующему нерабочему пласту, обеспечивая этим бесперебойное ведение закладочных работ.

Для крепления очистного забоя применяется специальная индивидуальная металлическая крепь, извлекаемая из закладочного массива нижележащей полосы. Выработанное пространство полосы закладывается после наращивания тубинговой крепи ската и возведения перемычки около ската.

Пульпа с закладочным материалом подается по пульповодам до сопряжения вентиляционного ската с очистным забоем и растекается вдоль забоя. Для закладки рекомендованы пески и мелкодробленый материал крупностью 1 – 6 мм, обеспечивающие намыв закладочного массива под углом 1 – 3°.

Значительное распространение получили камерно-столбовые системы разработки с закладкой выработанного пространства (рис. 2). В этом случае добычные работы начинаются с расширения печи в обе стороны на всю мощность пласта. При подготовке камеры к закладке в просеке и в камерной печи устанавливаются перемычки, монтируются трубопровод для подачи закладки, дренажные перфорированные трубы для отвода отработанной воды, а также дренажный отводящий трубопровод, обеспечивающий подачу воды самотеком в водоприемный бак камеры водоотливных насосов.

Перспективной считается схема выемки наклонного слоя лавой по восстанию с гидравлической закладкой выработанного пространства (рис. 3), характеризующаяся сокращением объема подготовительных и нарезных работ, а также их

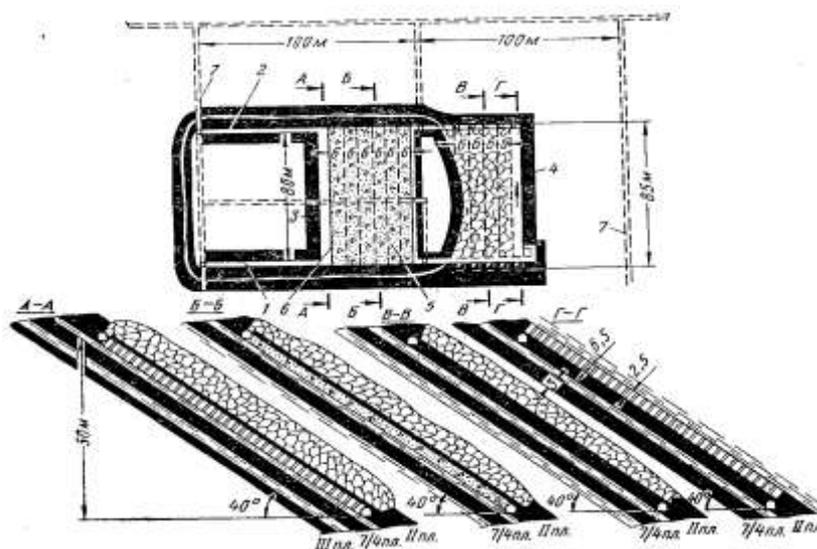
протяженности. При машинной выемке угля с применением комплексов рекомендована сплошная система разработки лавой по простиранию с гидравлической закладкой (рис. 4), которая предусматривает отсутствие угольных целиков между выемочными полями, непрерывность очистных работ у границ полей и отработку угольной толщи в пределах этажа односторонними выемочными полями от центра к периферии шахтного поля.

Кроме перечисленных выше, на шахтах применяют комбинированные системы разработки с гидравлической закладкой выработанного пространства.

Рассматривая выработанное пространство как место закладки породы, необходимо отметить, что внутришахтные источники ее получения располагаются на разном расстоянии. В зависимости от расстояния доставки породы от места получения до места закладки схемы транспортирования закладочного материала подразделяются на 5 групп (табл. 1).

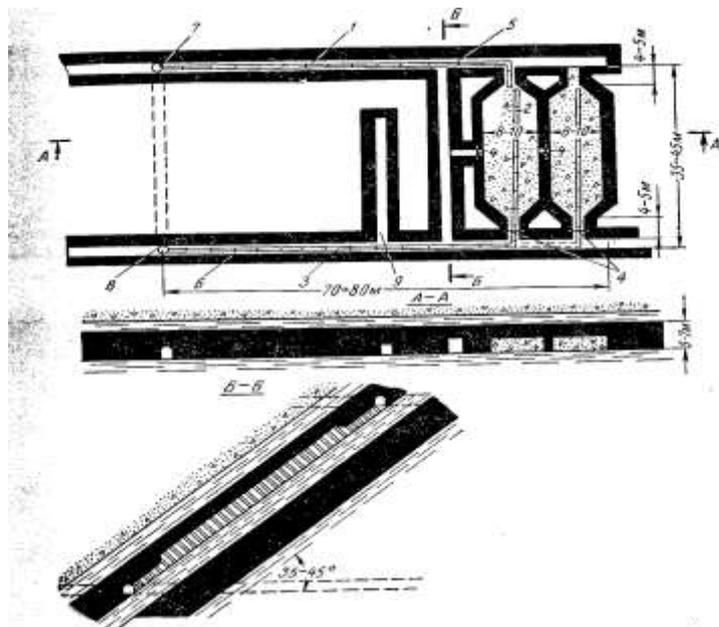
Таблица 1 – Классификация систем доставки породы при закладке выработанного пространства

Группа	Расстояние транспортирования
Первая	до 100 м
Вторая	от 100 до 300 м
Третья	от 300 до 1200 м
Четвертая	от 1200 до 3000 м
Пятая	свыше 3000 м



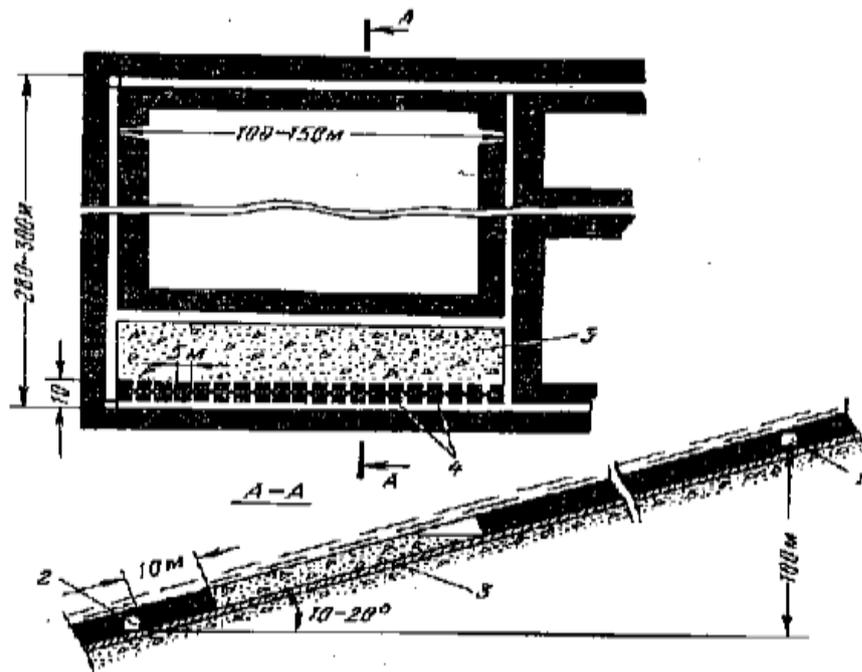
1 – откаточный штрек по пласту, 2 – вентиляционный штрек по пласту, 3 – нижний слой по пласту, 4 – верхний слой по пласту, 5 – закладочный массив, 6 – продольная перемычка, 7 – квершлаг.

Рис. 1 - Схема выемки пласта двумя слоями: верхнего – сплошной системой разработки с обрушением кровли, нижнего – столбовой системой с гидравлической закладкой



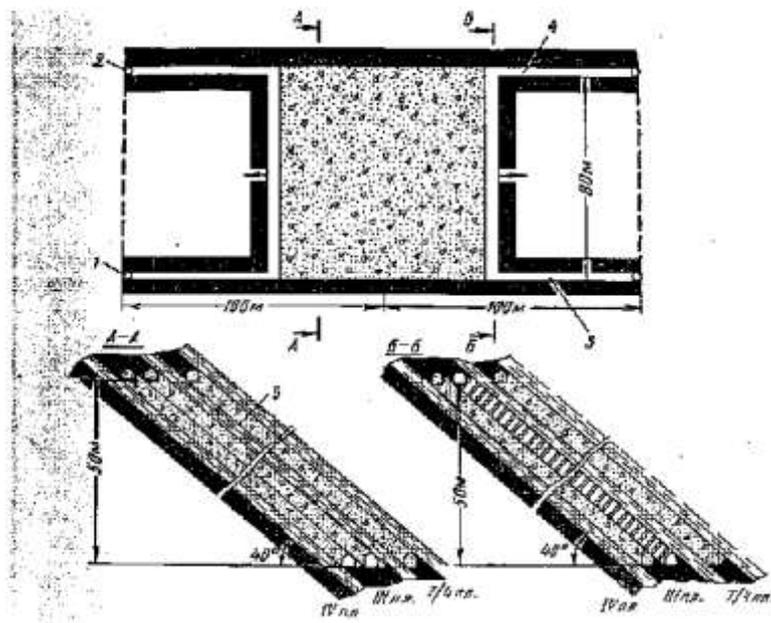
1 – пульпопадающий трубопровод, 2 – трубопровод перфорированный, 3 – трубопровод дренажный водоотводящий, 4 – перемычка, 5 – 8 – вентиляционные и откаточные штреки и квершлагги, 9 – передовая сбойка.

Рис. 2 - Схема выемки наклонного слоя камерно-столбовой системой разработки с гидравлической закладкой выработанного пространства



1 – вентиляционный слоевой штрек, 2 – откаточный слоевой штрек, 3 – закладочный массив, 4 – надштрековые целики.

Рис. 3 - Схема выемки наклонного слоя лавой по восстанию с гидравлической закладкой выработанного пространства



- 1 – откаточный квершлаг, 2– вентиляционный квершлаг,
 3 – откаточный штрек, 4 – вентиляционный штрек,
 5 – закладочный массив.

Рис. 4 - Схема выемки слоя лавами по простиранию с гидравлической закладкой выработанного пространства

Отметим, что при проведении закладочных работ гидравлическим способом существенное значение приобретает определение параметров гидротранспортирования закладочных материалов, которые в зависимости от физико-механических свойств, гранулометрического состава, скорости движения гидро-смеси и диаметра трубопроводов изменяются в широких пределах.

В настоящее время известно достаточно методик расчета параметров гидротранспорта. Однако отсутствуют эффективные методики позволяющие рассчитывать критическую скорость и гидравлический уклон в широком диапазоне дисперсности и плотности транспортируемого материала с учетом наличия в жидкой фазе ПАВ или ГДАВ [5, 10].

В связи с этим особую актуальность приобретают научно обоснованные методы расчета потерь напора при гидротранспортировании различного закладочного материала (дробленных известняков, песчаников, горелых пород, песка, глинистых и твердеющих цементных смесей) в присутствии ПАВ и ГДАВ с учетом требований, предъявляемых к закладочному материалу.

Одной из наиболее известных является зависимость для расчета коэффициента гидравлического сопротивления при течении растворов ГДАВ, которая учитывает тип и концентрацию ГДАВ, а также рекомендована для использования при гидравлических расчетах систем водоснабжения и водоотведения,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_*}} = -2 \lg \left\{ \left[\frac{2.5}{\text{Re} \sqrt{\lambda_*}} + \frac{\Delta}{3.7D} \right] \left[\frac{2.8u_*}{V \sqrt{\lambda_*}} \right]^{\frac{1000C}{5.75}} \right\}, \quad (3)$$

где u_* – пороговая скорость, при достижении которой начинается снижение потерь напора; C – массовая доля ГДАВ, %; Δ – эквивалентная шероховатость стенки трубопровода; D – диаметр трубопровода.

При гидравлическом способе ведения закладочных работ материал должен удовлетворять следующим требованиям [2]:

- легко размываться и содержать минимальное количество плитчатых и удлинено-плитчатых кусков;
- иметь достаточную транспортабельность при напорном и безнапорном гидротранспортировании при минимальном количестве воды;
- пульпа должна легко разделяться на воду и твердые частицы в закладочном выработанном пространстве и быстро отдавать воду из закладочного массива;
- иметь минимальную гидроабразивность, не вызывать большого износа оборудования и труб;
- содержание класса меньше 0,1 мм в исходном материале должно составлять не более 10%;
- необходима плотность материала больше 1,1 т/м³, иначе ухудшаются параметры процесса гидротранспортирования и показатели закладочного массива, так как легкие фракции всплывают в прудке над закладочным массивом;
- гидрозакладочные материалы при давлениях 100 – 150 кгс/см² не должны допускать усадку более 10 – 15%.

Оценивая необходимость совершенствования технологий закладки выработанного пространства, отметим отсутствие эффективных технических решений по предотвращению попадания воды в призабойное пространство и заиливанию прилегающих выработок, совмещению процессов возведения закладочного массива с другими производственными процессами в очистном забое. При этом образование подземных пустот в процессе выемки угля и накопление количества горнопромышленных отходов является экологически значимым фактором, что требует принятия мер по снижению объемов складирования твердых отходов на поверхности и качественному изменению способов закладки выработанного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метаногенерация в угольных пластах / А.Ф. Булат, С.И. Скипочка, Т.А. Паламарчук, В.А. Анциферов. – Дніпропетровськ: Ліра ЛТД, 2010. – 328с.
2. Колоколов О.В. Технология закладки выработанного пространства в шахтах и рудниках / О.В. Колоколов. – Дніпропетровськ: Січ, 1997. – 135 с.
3. Теорія та практика шахтних ерліфтних водовідливних установок: Монографія / В.І. Самуся, В.Б. Малеев, М.Й. Скоринін, А.В. Малеев. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. – 243 с.
4. Воюцкий С. Курс коллоидной химии. Изд. 2-е, перераб. и доп. / С. Воюцкий. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
5. Яковлев В.М. Визначення параметрів гідроелеваторної установки, які забезпечують мінімальні витрати на водовідлив при проведенні похилих виробок / В.М. Яковлев, В.Б. Малеев, А.С. Холоша // Наукові праці Донецького національного технічного університету: Серія Гірничо-електромеханіка. – Донецьк: ДонДТУ, 2010. – Випуск 20(176). – С. 146–157.
6. The calculation procedure of hydrotransport parameters of bulk solids using hydrodynamically active additives solutions / В. Blyuss, Eu. Semenenko, N. Nykyforova // Papers presented at the 14th International Conference on Transport and

Sedimentation of Solid Particles, June 23 – 27, 2008, Saint Petersburg, Russia. – Pp. 41–48.

7. Блюсс Б.А. Влияние добавок полиакриламида к гидросмеси на дезинтеграцию глинистых минералов / Б.А. Блюсс, Н.А. Никифорова // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наукових праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 68. – С. 259–269.

8. Иванов Б.М. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов / Б.М. Иванов, Г.Н. Фейт, М.Ф. Яновская - М.: Наука, 1979. – 195 с.

9. Гидродинамически-активные полимерные композиции в пожаротушении / А.Б. Ступин, А.П. Симоненко, П.В. Асланов, Н.В. Быковская. – Донецк: ДонНУ, 2000. – 198 с.

10. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. – Киев: Минуглепром Украины, 2005. – 225 с.

УДК 622.775

Д-р техн. наук Надутый В.П.,
кандидаты техн. наук Маланчук Е.З., Гринюк Т.Ю.
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ БАЗАЛЬТОВОГО СЫРЬЯ

Приведені результати експериментальних досліджень з використання електростатичного сепаратора при витяганні мідьвмісного концентрату з тонкоподрібнених порід базальту в процесі їх комплексної переробки.

DETERMINATION OF EFFICIENCY OF USE ELECTROSTATIC FIELD AT THE COMPLEX PROCESSING OF BASALT MATERIALS

Results of pilot studies on use of an electrostatic separator at extraction of a copper concentrate from thin crushing breeds of basalt in the course of their complex processing are given.

Многочисленными исследованиями установлено, что все основные породы базальтового месторождения (туф, лавобрекчия и непосредственно базальт) содержат ценные металлы в достаточных количествах для их промышленного извлечения. В настоящее время идет разработка комплексной технологии переработки базальтового сырья с целью извлечения железа, самородной меди, титана [1, 2]. Магнитновосприимчивая часть концентрата (железо, титан) эффективно извлекается на магнитном сепараторе, а самородная медь – на электрическом сепараторе. Учитывая, что во всех трех породах кроме крупных включений меди содержится значительное количество в виде точечных включений, которые могут успешно извлекаться на электростатическом сепараторе. При этом необходимо установить рациональную крупность переработки, влияние сростков на процент извлечения и определение минимально допустимой крупности в процессе рудоподготовки.

Целью исследований, кроме того, являлось определение величины напряжения электрического поля для обеспечения максимального извлечения меди минимальной крупности.

Электрическая сепарация как промышленный метод обогащения в настоящее время широко используется при обогащении руд цветных металлов в процессах доводки гравитационных концентратов и промпродуктов. Для разделения мине-