

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Горные машины»

Е. К. Костюкевич
Н. И. Березовский

ГОРНОЕ ДЕЛО

Учебно-методическое пособие для студентов специальности
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области горнодобывающей промышленности*

Минск
БНТУ
2022

УДК 622.002.5.001.63
ББК 33.16я7
К72

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Теоретическая механика и теория машин и механизмов»
УО «Белорусский государственный аграрно-технический университет»
(заведующий кафедрой, д-р техн. наук, профессор *А. Н. Орда*);
главный специалист управления торфяной промышленности государственного
объединения по топливу и газификации «Белтопгаз» *Д. Б. Джелилов*

Костюкевич, Е. К.

К72 Горное дело : учебно-методическое пособие для студентов специальности
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)» / Е. К. Костю-
кевич, Н. И. Березовский. – Минск : БНТУ, 2022. – 50 с.
ISBN 978-985-583-813-6.

В пособии представлены краткие теоретические сведения о системах разработки рудных месторождений. Приводятся иллюстрации и описание технологий и технических схем систем разработок, применяемых при подземной разработке калийных руд. Пособие содержит примеры, дающие представление о компоновке основных узлов горных выработок и параметрах технологии применительно к горно-геологическим условиям Старобинского месторождения калийных солей.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)».

УДК 622.002.5.001.63
ББК 33.16я7

ISBN 978-985-583-813-6

© Костюкевич Е. К., Березовский Н. И., 2022
© Белорусский национальный
технический университет, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Для совершенствования подземной разработки месторождений калийных руд и повышения качества выдаваемой горнодобывающими предприятиями продукции является необходимым изучение накопленного отечественного и зарубежного опыта и установление эффективных областей применения способов вскрытия, подготовки и добычи.

Выбор оптимальной системы разработки – это самый ответственный шаг при проектировании добычи руды. От системы разработки зависят экономические показатели работы рудника, безопасность труда, применение определенного горного оборудования.

Каждую систему разработки можно применять только в определенных горно-геологических условиях. На выбор системы разработки наиболее существенное влияние оказывают постоянные (мощность рудного тела, угол падения, устойчивость руды и вмещающих пород) и переменные (размеры рудного тела по простиранию и падению, морфология тела, ценность руды, характер распределения в ней полезного компонента, глубина разработки, склонность руды к слеживанию, гидрогеологические условия, необходимость сохранения земной поверхности и др.) факторы.

Технологические схемы, представленные в данном учебно-методическом пособии, принципиально характеризуют тот или иной вариант системы разработки без детального отражения отдельных узлов и не исключают разработку и применение других схем. При этом каждая технологическая схема в общих чертах дает понятие о способах выполнения и взаимной увязке во времени и пространстве процессов выемки полезного ископаемого и их комплексной механизации, включая транспортирование горной массы и проветривание очистных забоев, а также о способах управления кровлей – полном обрушении или частичной закладке выработанного пространства лав породой при селективной выемке пластов.

Учебное пособие разработано с учетом того, что студенты знакомы с общими вопросами горного дела и имеют представление о практическом осуществлении горных работ и характере горнорудных предприятий. Оно может быть использовано студентами в качестве справочного материала при курсовом и дипломном проектировании, а также для более углубленного изучения отдельных вопросов.

СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Система разработки – это порядок ведения подготовительных и очистных выработок, увязанный во времени и пространстве, который обеспечивает безопасность ведения горных работ, высокую концентрацию производства, экономичность и минимальные потери полезного ископаемого, надежную изоляцию горных выработок от проникновения в них подземных и поверхностных вод.

Важнейшими характеристиками различных видов систем разработок являются: нарезка панелей, форма очистных выработок, способ управления кровлей, способ выемки и транспортирования полезного ископаемого от забоя до поверхности и т. д.

Все системы разработки являются совокупностями горных выработок с определенным порядком и технологией их проведения, увязанными во времени и пространстве, что может быть основой для их классифицирования, т. е. разделения и систематизации.

Подготовительные выработки – это выработки, проводимые в процессе подготовки шахтного поля к очистной выемке.

Очистное пространство – это горная выработка, при создании которой осуществляется добыча полезного ископаемого в промышленных масштабах, т. е. очистная выемка.

Рабочее очистное пространство – это часть очистного пространства или все очистное пространство, где находится работающий человек, участник того или иного технологического процесса очистной выемки (или всех трех).

Очистная выемка – комплекс работ по извлечению полезного ископаемого из очистных забоев. Очистная выемка включает отбойку, погрузку, доставку отбитого полезного ископаемого из забоя до конвейерного штрека лавы, поддержание призабойного пространства и управление кровлей. Различают совместную (валовую) и отдельную (селективную) очистные выемки. Валовая очистная выемка производится без выделения прослоек породы, а селективная – с отдельным извлечением породных прослоек и полезного ископаемого.

Очистные выработки – выработки, проводимые по пласту или залежи полезного ископаемого (как правило, без подрывки боковых пород), в которых осуществляется выемка.

Призабойное пространство – пространство, образованное выемкой полезного ископаемого (как правило, комбайном) и расположенное между забоем и завальным концом перекрытия забойной крепи, имеющим контакт с кровлей.

Последовательная классификация систем разработки представлена в табл. 1.

Эффективность системы во многом определяется и наличием деления на стадийные элементы, и подготовкой выемочного участка, и исполнением технологических комплексов очистной выемки.

Сущность комбинированных систем рассматривается с позиции сочетания двух способов управления горным давлением при разделении выемочного

участка на структурно связанные элементы (камера и целик), обрабатываемые в первую и вторую очередь.

Таблица 1

Последовательная классификация систем разработки рудных месторождений [5]

I. Системы разработки рудных месторождений с сохранением статически равновесного состояния окружающего массива	
Системы с естественным поддержанием окружающего массива в статически равновесном состоянии	Системы без разделения функций целиков по поддержанию очистного и рабочего пространства
	Системы с разделением функций целиков по поддержанию очистного и рабочего пространства
Системы с искусственным поддержанием окружающего массива в статически равновесном состоянии	Системы с горной крепью конструктивно различного исполнения
	С искусственными массивами: временными или постоянными, из отбитой руды или закладки с различной прочностной характеристикой
II. Системы разработки рудных месторождений с обрушением окружающего массива	
Системы с обрушением вмещающих пород	Системы слоевого обрушения с выемкой лавами или заходками и с различными типами крепления рабочего очистного пространства
	Системы с обрушением без разделения на слои и с различными типами крепления рабочего очистного пространства
	Системы принудительного (этажного или подэтажного) обрушения руды и вмещающих пород
Системы с обрушением руды и вмещающих пород	Системы этажного принудительного обрушения руды и вмещающих пород
	Системы подэтажного обрушения руды и вмещающих пород
III. Комбинированные системы разработки рудных месторождений	
Комбинации: I + II I – для выемки камерных запасов; II – для выемки целиковых запасов	

Принято считать, что применение комбинированных систем при валовом способе очистной выемки характерно для отработки мощных рудных тел в сложных горно-геологических условиях там, где рациональная разработка одним способом затруднена.

СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минеральные удобрения являются одним из основных источников повышения плодородия почв и увеличения производства сельскохозяйственной продукции.

Начиная с XIV в. в качестве удобрений стал применяться древесный поташ (зола). Расцвет производства удобрений из золы пришелся на конец XVIII – середину XIX в., что было связано с расчисткой и освоением земель в Америке и Канаде. Но во второй половине XIX в. этап массового изготовления различных видов золы завершился полным упадком. Причиной стало зарождение и развитие в Германии калийной горнодобывающей промышленности.

В 1839 г. в Штасфурте началось бурение разведочной скважины на каменную соль. На глубине 247,5 м в 1843 г. был вскрыт калийный горизонт, впоследствии названный «Flöz Staßfurt». В декабре 1851 г. здесь были построены две шахты для добычи каменной соли: «von der Heydt» и «von Manteuffel». Именно они и стали первыми в мире калийными рудниками. При проходке калийного горизонта 600 т калийных пород были направлены в отвал. Анализы, проведенные немецкими химиками Г. Роузом и Р. Ф. Маршандом, показали наличие в складированной породе значительного количества хлористого калия. В это же время в Штрасфурте химиком Адольфом Франком, работающим на свекольном заводе, были выполнены исследования калийных отходов, результаты которых подтвердили эффективность их использования в качестве удобрений. В 1860 г. Франком получен патент на производство калийных удобрений и начато строительство небольшого завода. 1 ноября 1861 г. завод доктора Франка выпустил первую партию калийных удобрений. Эту дату по праву можно считать днем основания мировой калийной промышленности.

Условия разработки соляных руд существенно отличаются от выемки большинства пластовых месторождений полезных ископаемых. Забой характеризуется высоким сопротивлением резанию вынимаемых пластов (до 450 кН/м) и повышенной вязкостью. Существенно отличается характер проявления в забоях горного давления. Необходимо считаться с опасностью обводнения горных выработок и возможным проявлением газодинамических явлений.

За основу классификации систем разработки калийных месторождений принимают различные признаки.

По горнотехническим условиям их разработки все калийные месторождения разделяют на четыре группы:

I группа – месторождения, представленные горизонтальными или пологими пластами с небольшими геологическими нарушениями. Непосредственная и основная кровля пластов сложена прочной каменной солью. Большая мощность водозащитной толщи позволяет использовать камерную систему разработки, не допускающую значительных сдвижений пород кровли.

II группа – месторождения, представленные горизонтальными или пологими пластами. Мощная толща покровных пород допускает плавное опускание кровли, что предполагает возможность применения камерной и камерно-столбовой систем разработки.

III группа – месторождения, при разработке которых исходят из допущения, что в вышележащих породах отсутствуют водоносные горизонты. Такие месторождения могут разрабатываться сплошной, столбовой или комбинированной системами разработки. Способ управления породами кровли – полное обрушение.

IV группа – месторождения, представленные наклонными и крутыми пластами, на которых могут применяться системы разработки, типичные для рудных месторождений.

На практике наибольший удельный вес в добыче калийных солей имеют рудники, разрабатывающие месторождения I и II групп.

В зависимости от способности отдельных слоев пород кровли к самообрушению, а также от расположения их по отношению к пласту различают ложную, непосредственную и основную кровлю.

Ложная кровля – слой или несколько слоев слабых пород кровли незначительной мощности, залегающих непосредственно над пластом и обрушающихся при выемке полезного ископаемого.

Непосредственная кровля – толща пород, находящихся непосредственно над залежью полезного ископаемого.

Основная кровля – толща пород, залегающая над непосредственной кровлей и обрушающаяся при выемке полезного ископаемого на значительной площади.

Закладка – процесс заполнения выработанного пространства закладочным материалом при разработке полезного ископаемого подземным способом.

Обрушаемость горных пород – свойство пород обрушаться при их обнажении.

Камерные системы разработки – системы разработки с поддержанием очистного пространства чередующимися (регулярными) целиками, как рудными (отрабатываемыми и не отрабатываемыми), так и искусственными. Такие системы применяют на пластах средней мощности с углом падения до 10°.

Системы разработки с короткими очистными забоями подразделяются на камерные и камерно-столбовые, в основу деления которых положена конфигурация целиков (целики ленточного типа при камерной и столбчатого – при камерно-столбовой системе разработки).

К камерным относят системы разработки с короткими (до 8 м) очистными забоями, движущимися по направлению от транспортного штрека, с оставлением охранных целиков для управления кровлей.

Камерные системы разработки могут иметь или не иметь рабочее очистное пространство. Рабочее очистное пространство принимается равным по размерам очистному пространству, отграниченному охранными целиками. Таким образом, оно зависит от устойчивости руд и пород и определяется размерами технологического оборудования. При этом у целиков может быть или не быть разделение функций по поддержанию всего очистного пространства и рабочего очистного пространства.

К основному достоинству камерных систем разработки относится возможность применения как для очистных работ, так и для проведения подготовительных выработок одного и того же недорогостоящего комплекса оборудова-

ния, а к основным недостаткам следует отнести значительные потери полезного ископаемого в целиках, а также высокую температуру и запыленность воздуха из-за ведения очистных работ в тупиковом забое.

По способу поддержания горных выработок (управления кровлей) камерные системы разработки подразделяются на системы с жесткими и податливыми целиками.

Сплошные системы – системы разработки без предварительного деления участка на выемочные единицы, с совмещением во времени подготовки и очистной выемки.

При сплошной системе разработки выемочные столбы отрабатываются в прямом порядке, а подготовительные выработки в этаже (панели, ярусе) проводятся одновременно с осуществлением в них очистных работ с небольшим (5–10 м) опережением очистного забоя и затем поддерживаются в выработанном пространстве с использованием усиленного крепления или бутовых полос, выкладываемых вдоль выработок.

Областью применения сплошной системы разработки являются пласты мощностью до 2 м с любым углом падения. Очистной забой при сплошной системе может подвигаться как по простиранию, так и по падению (восстанию).

Столбовая система – система разработки, которая предполагает разделение в пространстве и во времени очистных и подготовительных работ. При классическом варианте столбовой системы все подготовительные выработки в выемочном столбе проводят до начала очистной выемки. Столб отрабатывается в обратном порядке. В некоторых случаях для ускорения начала отработки столба очистные работы в нем начинают в прямом порядке короткими столбами.

Столбовая система применяется при любых углах падения пластов.

Основные преимущества столбовой системы разработки по сравнению со сплошной:

- забои подготовительных и очистных выработок разобщены, что устраняет взаимную помеху при работе в этих выработках;

- проведение подготовительных выработок дает ценные разведочные данные для очистных работ;

- уменьшение загазованности поступающего в очистной забой воздуха, так как он подается по выработкам, поддерживаемым в массиве;

- погашение подготовительных выработок по мере подвигания очистных забоев позволяет извлекать крепь погашаемых штреков, что очень важно при дорогостоящей металлической крепи;

- возможность предварительной дегазации отрабатываемого столба через скважины, пробуренные из подготовительных выработок.

Основные недостатки столбовой системы разработки по сравнению со сплошной:

- большой объем проведения подготовительных выработок до начала очистных работ, что увеличивает срок окупаемости капиталовложений;

- сложность проветривания длинных подготовительных выработок, что усложняет вентиляционную сеть рудника (шахты).

Благодаря указанным выше преимуществам в настоящее время столбовая система является основной при разработке пластовых месторождений.

Комбинированная система разработки предполагает применение в пределах этажа (панели, яруса) двух систем, сочетающихся между собой в определенной последовательности. В практике наибольшее распространение получила камерно-столбовая система разработки, при которой подготовку панели производят длинным столбом по простиранию, а отработку ведут камерной системой с оставлением целиков.

Систему применяют при устойчивых и средней устойчивости вмещающих породах с мощностью пластов от 1,5 до 3,0 м и углами падения до 15°. Основное достоинство – возможность применения как для очистных работ, так и для проходки подготовительных выработок одного и того же недорогостоящего комплекса оборудования. Основной недостаток – большие потери полезного ископаемого в целиках, а также высокая температура и запыленность воздуха из-за ведения очистных работ в тупиковом забое.

В *слоевых системах* рабочее очистное пространство, прирастает поступательно в одном или двух (редко – в трех) направлениях, уступами или с поддержанием сплошного забоя.

Одним из возможных классификационных признаков систем разработки является соотношение между полной и вынимаемой мощностью пласта, другим – длина очистных забоев.

По первому признаку выделяют системы разработки с выемкой пласта на полную мощность и с разделением на слои, по второму – системы разработки с длинными и короткими очистными забоями (табл. 2).

Таблица 2

Классификация систем разработки, применяемых на калийных рудниках, по длине очистных забоев

Наименование системы	Область применения		Метод управления кровлей		
	Падение пластов	Мощность пластов			
Система разработки с короткими очистными забоями					
Камерная	Пологое	От тонких до мощных	С открытым выработанным пространством	С закладкой	–
Камерная, с почвоуступной выемкой	Пологое и крутое	Средние и мощные	С открытым выработанным пространством	–	–
Камерная, с потолкоуступной выемкой	Пологое и крутое	Средние и мощные	–	С закладкой	–

Наименование системы	Область применения		Метод управления кровлей		
	Падение пластов	Мощность пластов			
Камерно-столбовая	Пологое	Тонкие и средние	С открытым выработанным пространством	–	С обрушением
Система разработки с длинными очистными забоями					
Столбовая	Пологое	Тонкие и средние	–	С закладкой	С обрушением
Сплошная	Пологое	Тонкие и средние	–	С закладкой	С обрушением
Комбинированная	Пологое	Тонкие и средние	–	С закладкой	С обрушением

Выбор системы разработки осуществляют на основании технико-экономических расчетов, в результате которых определяют основные параметры: производительность труда, потери полезного ископаемого, разубоживание, расход материалов и др.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ РУД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В недрах Республики Беларусь сосредоточены большие запасы минеральных солей. Они представлены Старобинским, Петриковским и Октябрьским месторождениями. Залегают калийные соли в Припятском прогибе на глубинах от 350 до 4000 м.

Промышленные запасы калийных солей Старобинского и Петриковского месторождений составляют 7,46 млрд т, прогнозные – свыше 80 млрд т.

Старобинское месторождение расположено в северо-западной части Припятского прогиба. Площадь месторождения – около 350 км². Падение пластов – северо-восточное (угол падения 6°).

Строение Старобинского месторождения калийных солей представлено на рис. 1. Калийная залежь включает четыре пласта (горизонта). Нумерация пластов – сверху вниз. Расстояние между пластами в разрезе соленосной толщи изменяется от 50 до 200 м. Суммарная мощность соляных пачек составляет 182 м.

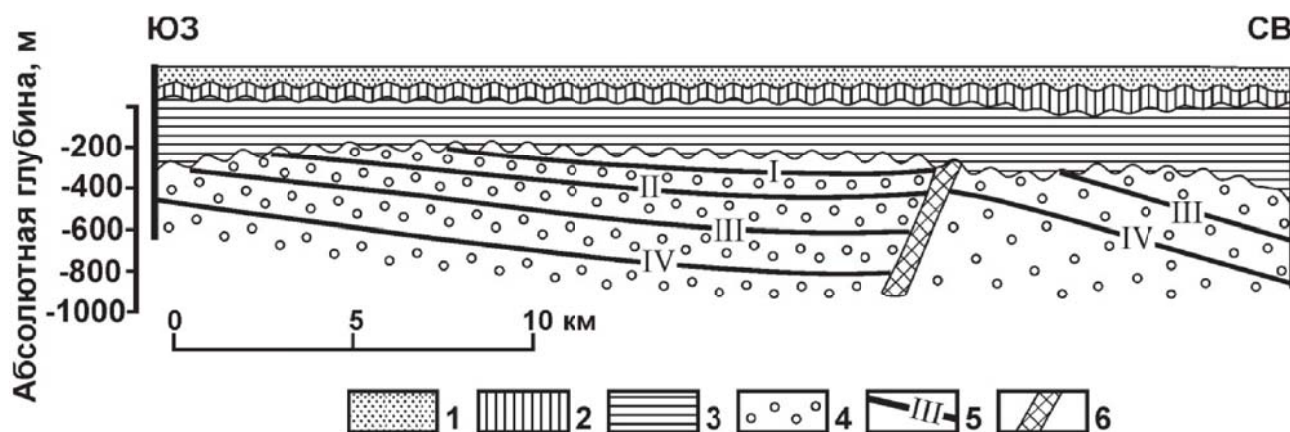


Рис. 1. Строение Старобинского месторождения калийных солей
(по Э. А. Высоцкому, В. З. Кислику). Отложения:

- 1 – кайнозойские; 2 – мезозойские; 3 – девонские надсолевые; 4 – верхнесолевые;
5 – калийные горизонты и их номера; 6 – разлом

Разрез соленосной толщи Старобинского месторождения представлен на рис. 2. Первый горизонт в основном расположен в центре месторождения. Глубина залегания – 350–620 м, мощность калийного пласта – 2–5 м, содержание КС1 – 15,9–23,7 %, нерастворимого остатка – до 9–21 %.

Второй горизонт распространен на значительно большей площади. Представлен двумя (верхним и нижним) слоями сильвинита и одним (средним) слоем каменной соли. Глубина залегания пород – 380–700 м. Мощность верхнего слоя – 0,6–0,9 м, содержание хлористого калия – до 40 %. Средний слой мощностью 0,4–1,0 м (содержание КС1 2–5 %) залегает непосредственно над нижним сильвинитовым слоем мощностью 0,7–1,0 м, содержащим 31–33 % хлористого калия. Общая мощность второго горизонта 2,1–2,7 м, содержание КС1 – 27–32 %, нерастворимого остатка – 3–8 %.

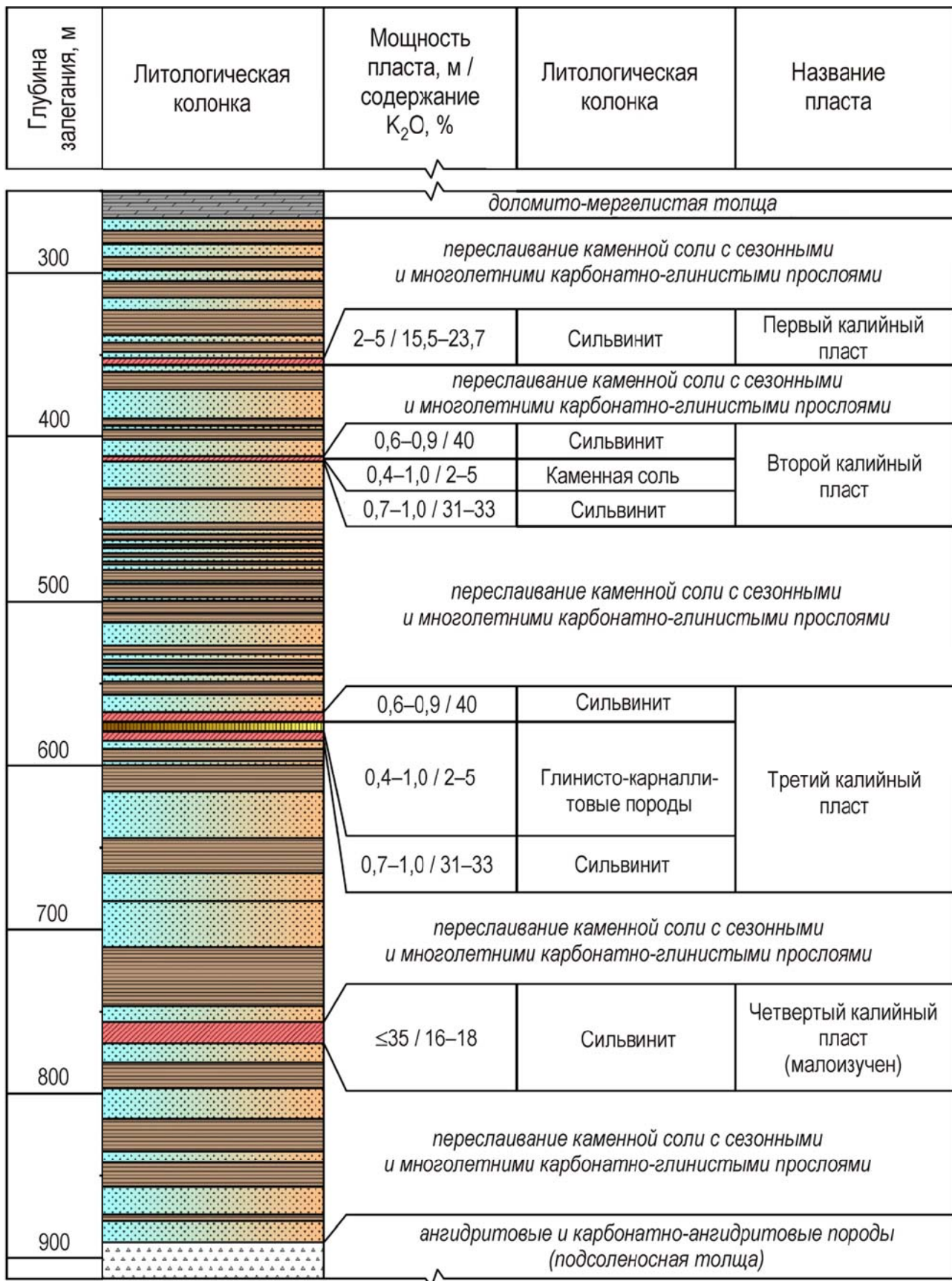


Рис. 2. Разрез соленосной толщи Старобинского месторождения калийных солей

Третий горизонт залегает на глубине 450–1200 м и представлен тремя пластами: верхним сильвинитовым, средним глинисто-карналлитовым и нижним сильвинитовым. Мощность пластов сверху вниз: 13–16 м; 4,5–17,0 м и 7–8 м. Продуктивным является только нижний пласт, состоящий из шести (сверху вниз) сильвинитовых слоев каменной соли мощностью 0,1–1,3 м. Из сильвинитовых слоев промышленное значение имеют только второй, третий и четвертый слои суммарной мощностью 4,0–4,5 м с содержанием хлористого калия 21–24 %, нерастворимого остатка – 2–10 %.

Четвертый горизонт находится на глубине 600–1350 м. Геологическое строение этого горизонта мало изучено. В средней части залегает мощный пласт сильвинита (25–35 м) с содержанием КС1 16–18 %.

Петриковское месторождение расположено на западе центральной зоны Припятского прогиба. Прогнозные запасы калийных солей в нем – 2,2 млрд т. Промышленное значение имеет только один из горизонтов, залегающий на глубине 520–1200 м. Мощность его варьируется от 3 до 25 м. В его разрезе, в свою очередь, промышленное значение имеет нижний пласт с содержанием КС1, достигающим 40–55 %.

Петриковское месторождение, как и Старобинское, относится к пластовым пологозалегающим месторождениям с углом падения пластов от 0° до 18°, имеет более сложные горно-геологические условия залегания калийных горизонтов. Промышленный горизонт залегает глубже и углы падения более крутые. Структура калийных пластов, мощность сильвинитовых слоев и межслоевых слоев каменной соли существенным образом отличаются от Старобинского месторождения. Предел прочности на одноосное сжатие для сильвинитовых пород Старобинского месторождения составляет 28–32 МПа, в то время как для Петриковского месторождения – 15–18 МПа. Предел прочности пород каменной соли на одноосное сжатие для Старобинского месторождения составляет 24–26 МПа, для Петриковского – 18–22 МПа. В промышленных пластах Старобинского месторождения встречаются глинистые прослойки с содержанием от 3–4 % до 16–18 % нерастворимого осадка (Н.О.). На Петриковском месторождении содержание глинистых прослоев в промышленных слоях не превышает 1,0 %. В то же время, в пластах (слоях) Петриковского месторождения отмечается наличие карналлита с содержанием до 5,0 %, который существенным образом отрицательно влияет на устойчивость контура горных выработок из-за высокой гигроскопичности.

Уровень современного развития технологических схем отработки пластов и применяемого горнодобывающего оборудования позволяет осуществить экономически эффективную выемку калийных пластов и слоев мощностью от 1,0 м традиционным шахтным методом.

Для отработки запасов Петриковского месторождения применяется столбовая система разработки, обеспечивающая наилучшие показатели в области рационального использования недр и наиболее эффективного производства конечного продукта.

СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА УЧАСТКАХ И ГОРИЗОНТАХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУД

При разработке калийных месторождений применяют в основном системы разработки с короткими и длинными очистными забоями. Обе системы предусматривают валовую или селективную выемку пластов с породными прослоями.

Селективная выемка применительно к разработке калийных месторождений предусматривает отдельную выемку в забое слоев полезного ископаемого (сильвинита) и породных прослоев (галита) с закладкой последних в выработанное пространство.

Валовая выемка пласта ведется без разделения на слои. Системы разработки с короткими очистными забоями подразделяются на камерные и камерно-столбовые в зависимости от конфигурации междуканальных целиков: целики ленточного типа при камерной и столбчатой – при камерно-столбовой системе разработки.

Применительно к разработке калийных месторождений различают следующие основные варианты столбовой системы:

- валовая выемка пласта на полную мощность (без разделения на слои);
- селективная выемка пласта на полную мощность (с разделением на слои и общей подготовкой лав по всем слоям).

На Старобинском месторождении по результатам изучения геологического строения и прочностных свойств пород кровли Второго и Третьего калийных горизонтов (пластов), а также характера обрушения кровли при выемке пластов введены следующие понятия непосредственной и основной кровли:

– *непосредственная кровля* – одна или несколько пачек (слоев) пород мощностью до 10 м, залегающих непосредственно над отработываемым пластом, не способных (как правило) образовывать больших завесаний и обрушающихся при передвижке крепи лав. Шаг ее самопроизвольного обрушения составляет, как правило, 3–5 м;

– *основная кровля* – одна или несколько пачек (слоев) пород, залегающих над непосредственной кровлей на высоте 10–20 м и имеющих в своем составе более прочные, чем в непосредственной кровле, пачки (слои) пород. Шаг ее самопроизвольного обрушения в несколько раз больше шага обрушения непосредственной кровли, преимущественно 10–25 м.

В зависимости от конкретных горно-геологических и горно-технических условий при столбовой системе разработки могут применяться различные технологические схемы с разделением пластов на слои (слоевая выемка) с общей и отдельной подготовкой слоевых лав и без разделения на слои (валовая, селективная и частично селективная выемка одной лавой на всю мощность пластов) с управлением кровлей полным обрушением и частичной закладкой выработанного пространства разрушенной породой, попутно добываемой при селективной (частично селективной) выемке пластов.

Технологические схемы при столбовой системе разработки пластов Первого, Второго и Третьего калийных горизонтов Старобинского месторождения могут быть разделены на классы, приведенные в табл. 3.

Классификация основных технологических схем столбовой системы разработки Старобинского месторождения, разрабатываемых рудниками ОАО «Беларуськалий»

Класс системы	Выемка	Калийный горизонт (пластов)	Отрабатываемые сильвинитовые слои ¹	Подготовка лав	Управление кровлей
1	2	3	4	5	6
1	Валовая	Первый	4, 4-5, 5 слоев (без отработки сильвинитового слоя 3)	-	Полное обрушение
		Второй	1-2		
		Третий	2, 2-3 и 3 слоев (без отработки сильвинитового слоя 4) или 3, 3-4 и 4 слоев (без отработки сильвинитового слоя 2)		
2	Селективная	Первый	3, 4, 5	-	С закладкой разрушенного галита в выработанное пространство лав в виде породных полос
		Второй	1, 2		
		Третий	2, 2-3 и 3 слоев (без отработки сильвинитового слоя 4) или 3, 3-4 и 4 слоев (без отработки сильвинитового слоя 2)		
3	Слоевая селективная	Второй	1 и 2 (сближенные на 4,5-6,1 м лавы) 4 за ним 2-3 последовательно или с отставанием не менее 400 м (слоевая выемка пласта Третьего калийного горизонта с валовой отработкой слоев 2, 2-3 и 3 нижней лавой)	Общая	Полное обрушение
4	Слоевая валовая	Третий	4 за ним 2, 3 последовательно или с отставанием не менее 400 м (слоевая выемка пласта Третьего калийного горизонта с валовой отработкой слоев 2, 2-3 и 3 нижней лавой)	Раздельная	Полное обрушение
5	Слоевая селективная	Третий	4 за ним 2, 3 последовательно или с отставанием не менее 400 м (слоевая выемка пласта Третьего калийного горизонта с селективной отработкой слоев 2, 2-3 и 3 нижней лавой)	Раздельная	Полное обрушение и частичная закладка
6	Слоевая совместная	Третий	4+3-2 лавами переменной вынимаемой мощности (лава-ступенька)	-	Полное обрушение

1	2	3	4	5	6
7	Слоевая селективная или частично селективная	Третий	4+3, 2 (сближенные на 6–12 м лавы)	Общая	Частичная закладка
8	Селективная или частично селективная	Третий	2, 3, 4 (выемка на полную мощность)	–	Частичная закладка
9	Одного слоя (при недостаточной мощности водозащитной толщи, выклинивании пластов или замещении сильвинита в слоях галитом)	Второй	1 или 2 слой		
		Третий	2 или 3 или 4 слой	–	Полное обрушение
10	Слоевая с подработкой через длительный (не менее 25 лет) промежуток времени после его подработки лавой по слоям 2, 2-3 и 3	Третий	4 слоя после отработки 2-3	Раздельная	Полное обрушение

¹ Значение знаков между вынимаемыми сильвинитовыми слоями:

« - » – валовая с выемкой промежуточного слоя каменной соли;

« , » – селективная выемка со складированием промежуточного слоя каменной соли;

« + » – совместная выемка верхнего и нижних сильвинитовых слоев

Лава – подземная очистная выработка большой протяженности (от 30–40 до 200–300 м), один бок которой образован массивом полезного ископаемого (забоем лавы), а другой – обрушенными породами выработанного пространства или закладочным материалом. Лава имеет выход на конвейерный (транспортный) и вентиляционный штреки.

В настоящее время калийные пласты столбовой системой (лавами) отрабатываются только на Старобинском месторождении (ранее – в Испании и Франции), все остальные месторождения в мире – камерной системой.

В отличие от отечественных, зарубежные калийные месторождения отличаются большей мощностью продуктивных пластов (до 10 м и более) и менее благоприятными условиями водозащиты (в основном из-за меньшей мощности водозащитной толщи), о чем свидетельствует большое количество случаев затопления калийных рудников в мировой практике.

Системы разработки на Старобинском калийном месторождении можно разделить на камерные, комбинированные, столбовые.

В камерной системе разработки можно выделить два класса:

- с оставлением жестких целиков (междуходовых – 3 м – и междукамерных – 5 м) при ширине и высоте очистных ходов 3 м;
- с оставлением податливых целиков шириной 1,2–2,0 м при ширине очистных ходов 4,1 м и высоте 2,1–2,6 м.

Основными параметрами камерной системы разработки являются ширина и высота очистной камеры, размеры междукамерного и междуходового целика, длина камеры. Все указанные параметры определяются в основном горно-геологическими и горнотехническими условиями, а также типом очистного комбайна и используемыми транспортными средствами для доставки руды от очистного комбайна до места ее разгрузки. В силу широкого диапазона горно-геологических условий ширина камеры (очистного хода) изменяется от 9 до 18 м при длине 150–200 м, а ширина целиков от – 3 до 18 м.

Выработанное пространство камер закладывается отходами обогащения, подаваемыми с поверхности гидравлическим способом, а также породой от проходки подготовительных выработок. Применение закладки вызвано недостаточной мощностью водозащитной толщи.

Комбинированная система получила свое название вследствие того, что верхний и нижний слои Третьего пласта отрабатывались различными системами. Верхний 4 сильвинитовый слой – столбовой системой, а нижний (слои 2, 2-3, 3) слой – камерной системой под защитой межслоевой пачки соли III–IV и с подготовкой панелей по панельной и панельно-блоковой схемам.

При столбовой системе разработки выделено несколько классов технологических схем. В основу классификации положены следующие признаки:

- способ выемки в лаве (валовой, селективный, частично селективный, слоевой);
- количество отрабатываемых лавой сильвинитовых слоев (от одного до трех);
- подготовка лав (общая или отдельная);

– способ управления кровлей в лаве (полное обрушение или частичная закладка).

ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Камерные системы разработки

Камерной системой была начата разработка Старобинского месторождения калийных руд, которая нашла повсеместное распространение для отработки пластов Первого, Второго и Третьего калийных горизонтов.

В настоящее время применяется в основном для доработки охранных целиков, при работе в краевых и тектонических зонах и в местах, где невозможно применить столбовую систему разработки.

Используются следующие варианты камерной системы:

- с оставлением податливых целиков (междукамерный целик 1,2–2,0 м, предполагает такой характер деформирования очистного хода, при котором обеспечивается его безопасное состояние в течение заданного периода времени);
- с оставлением жестких целиков.

Вариант камерной системы разработки с оставлением податливых целиков шириной не более 1,5 м (рис. 3) предполагает такой характер деформирования очистной выработки, при котором обеспечивается ее безопасное состояние лишь в течение заданного периода. По его истечении податливые целики, набрав критические деформации, разрушаются.

Вариант камерной системы разработки с плавным опусканием кровли на податливых целиках позволяет достичь высокого (до 65–70 %) извлечения запасов из недр, однако отличается сложностью поддержания подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ. Он может применяться на большинстве участков месторождения, где имеется достаточная мощность водозащитной пачки.

Ширина междуходовых целиков, оставляемых по технологическим соображениям для обеспечения эффективной работы комбайна и повышения устойчивости кровли, принимается равной 0,6–1,6 м. Ширина междукамерного целика зависит от ширины камеры, мощности пласта, состава и свойств руды, глубины разработки и положения целиков относительно границ шахтного поля. Поскольку целики при наличии в пластах глинистых прослоек не обеспечивают жесткого поддержания покрывающей толщи и допускают ее значительные (до 2 м) оседания, то для предотвращения разрыва сплошности водозащитной толщи у границ шахтных полей, околоствольных и околоскважинных целиков предусматриваются так называемые «зоны смягчения», способствующие плавному прогибу покрывающей толщи в районе указанных границ. В зонах смягчения у границы с неподработанным массивом ширина междукамерного целика принимается максимальной и по мере отхода от этой границы уменьша-

ется до проектных размеров. Потери руды в таких зонах смягчения достигают наибольшей величины. При работе с податливыми целиками также предусматриваются зоны смягчения, но ширина целиков в зонах «нормальной выемки» уменьшается до 1,5–2 м.

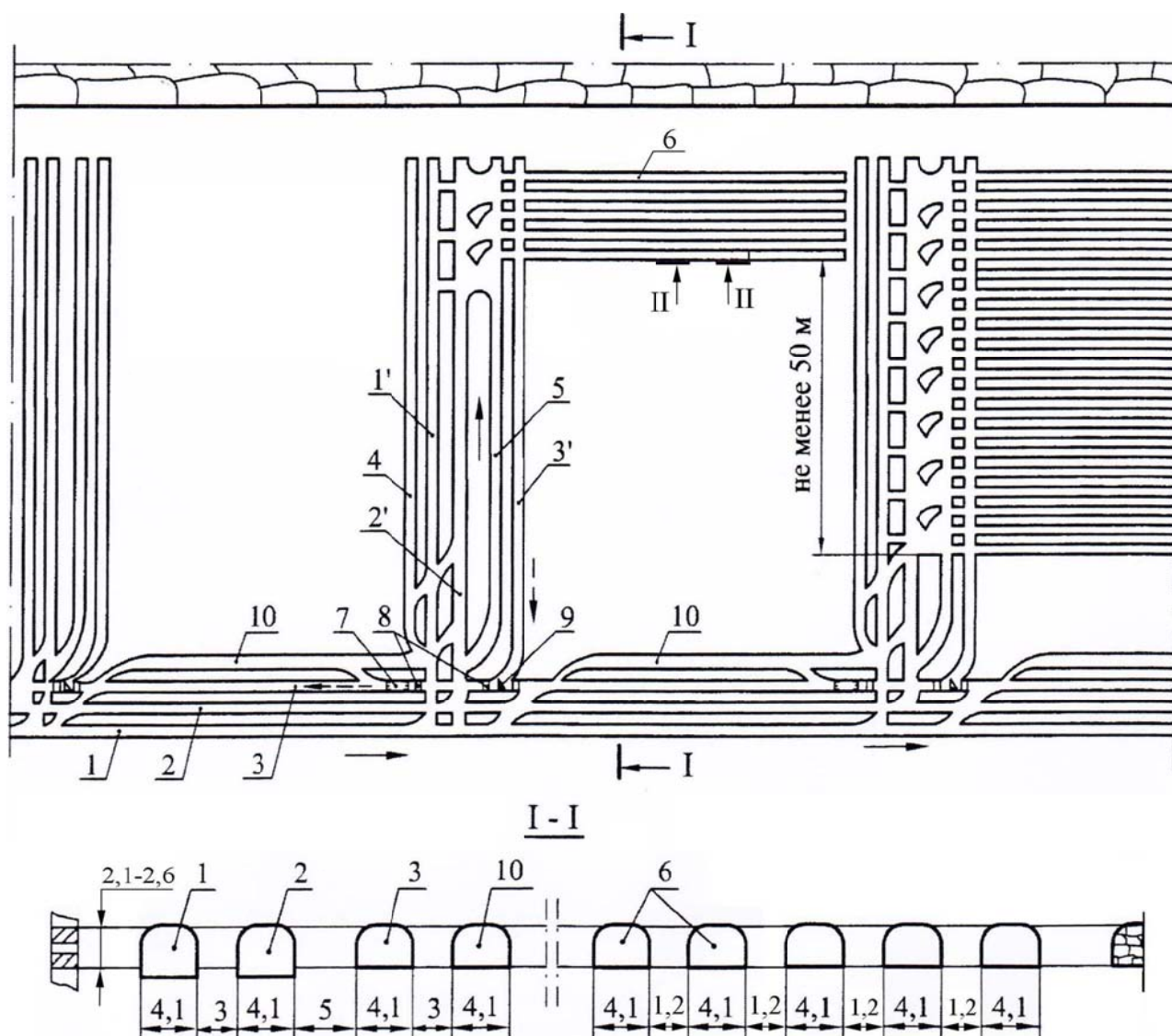


Рис. 3. Камерная система разработки с податливыми целиками:

- 1, 2, 3 и 1', 2', 3' – панельные и блоковые конвейерные, транспортные и вентиляционные штреки; 4 – разгружающая выработка; 5 – стартовый штрек; 6 – очистные камеры; 7 – полукроссинги; 8 – вентиляционные переемы; 9 – вентиляционные восстающие; 10 – выработки складирования породы; II – проходческо-очистной комбайн

На рис. 4 представлена схема камерной системы разработки с оставлением столбчатых целиков и применением самоходного оборудования на Карлсбадском месторождении. Карлсбадское месторождение – крупнейшее месторождение калийных солей в США – расположено на юго-востоке штата Нью-Мексико и содержит свиту из 35 пластов. Разрабатываются горизонтально залегающие пласты: сильвинитовый на глубине 244–457 м мощностью 1,5–4,0 м

с содержанием K_2O 16–28 % и лангбейнитовой мощностью 1,2–3,5 м с содержанием K_2O 8,4–15,5 %. Промышленные запасы K_2O – около 100 млн т. Добыча калийных солей ведется подземным способом камерной, камерно-столбовой системами разработки и столбовой системой с длинными очистными забоями и обрушением кровли.

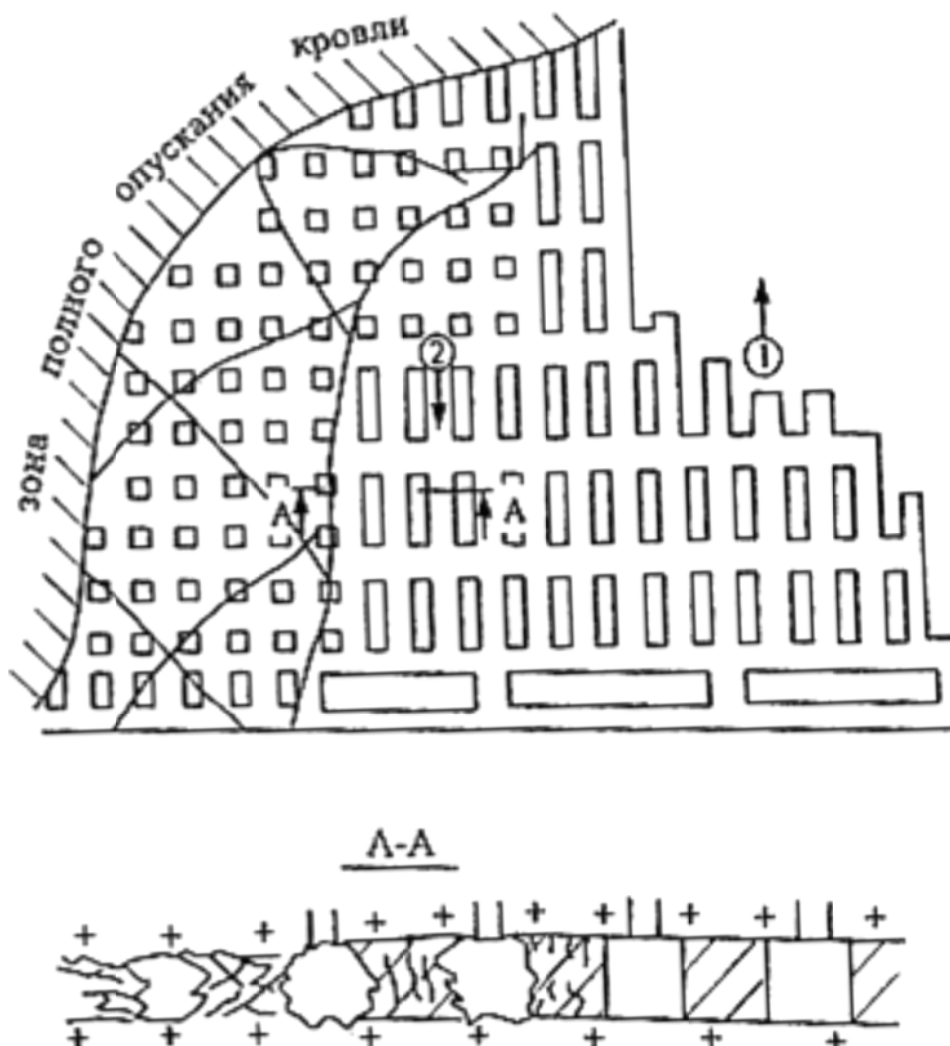


Рис. 4. Камерная система разработки с оставлением столбчатых целиков и применением самоходного оборудования на Карлсбадском месторождении:

- 1 – направление очистных работ на первой стадии;
- 2 – направление очистных работ на второй стадии

Применяются комбайновый и буровзрывной способы отбойки руды. Доставка руды из забоев осуществляется самоходными вагонами и ленточными конвейерами. Благоприятная гидрогеологическая обстановка позволяет осуществлять выемку руды из пластов на уровне 92 %.

При камерных системах отсутствует технологический процесс управления кровлей, а процесс крепления сведен к минимуму. Главные функции по поддержанию кровли при этих системах выполняют конструкции из природного

материала – целики, а трудоемкость работ по креплению и управлению кровлей почти в двадцать раз ниже, чем при системах разработки длинными очистными забоями, поэтому производительность труда рабочего при камерных системах значительно выше.

Малый расход крепежных материалов, отсутствие поддерживающих и оградительных крепей в очистных и подготовительных выработках при камерных системах, наряду с высокой производительностью труда, обуславливают и низкую себестоимость добычи.

На рис. 5 представлен вариант разработки сильвинитовых пластов в Канаде, осуществляемый камерной системой разработки с регулярным оставлением технологических целиков шириной от 6 до 18 м и мощных опорных целиков (от 45 до 90 м) на группу очистных камер.

Вследствие сложных горно-геологических условий и горнотехнических факторов, коэффициент извлечения запасов из пластов составляет 20–40 %. Руда из забоя транспортируется одним из трех способов:

- с использованием телескопических раздвижных конвейеров в очистных камерах (рис. 5, а, д);

- с использованием самоходных вагонов в очистных камерах и конвейеров постоянной длины, устанавливаемых в панельных выработках (рис. 5, б–г) (устанавливается линия из конвейеров постоянной длины, на которые подается самоходными вагонами руда от комбайнов);

- с использованием самоходных вагонов.

На рис. 6 показана технология ведения очистных работ на калийных рудниках Франции.

Столбовые системы разработки с длинными очистными забоями

На рудниках Старобинского месторождения система разработки длинными столбами с одно- или двухслоевой выемкой пласта мощностью 2,3–2,5 м с обрушением кровли применяется на Втором калийном горизонте и в меньшей степени на Третьем. При общей панельной схеме подготовки шахтного поля подготовка при данной системе разработки осуществляется путем проведения панельных вентиляционных, транспортных и конвейерного штреков от главных штреков (перпендикулярно к ним) до границы шахтного поля. Панель отрабатывается блоками длиной 400 м или выемочными участками длиной до 1500 м.

Представленные ниже технологические схемы принципиально характеризуют тот или иной вариант системы разработки без детального отражения отдельных узлов и не исключают разработку и применение других схем. При этом каждая технологическая схема в общих чертах дает понятие о способах выполнения и взаимной увязке во времени и пространстве процессов выемки полезного ископаемого и их комплексной механизации, включая транспортирование горной массы и проветривание очистных забоев, а также способах управления кровлей – полным обрушением или частичной закладкой выработанного пространства лав породой при селективной выемке пластов.

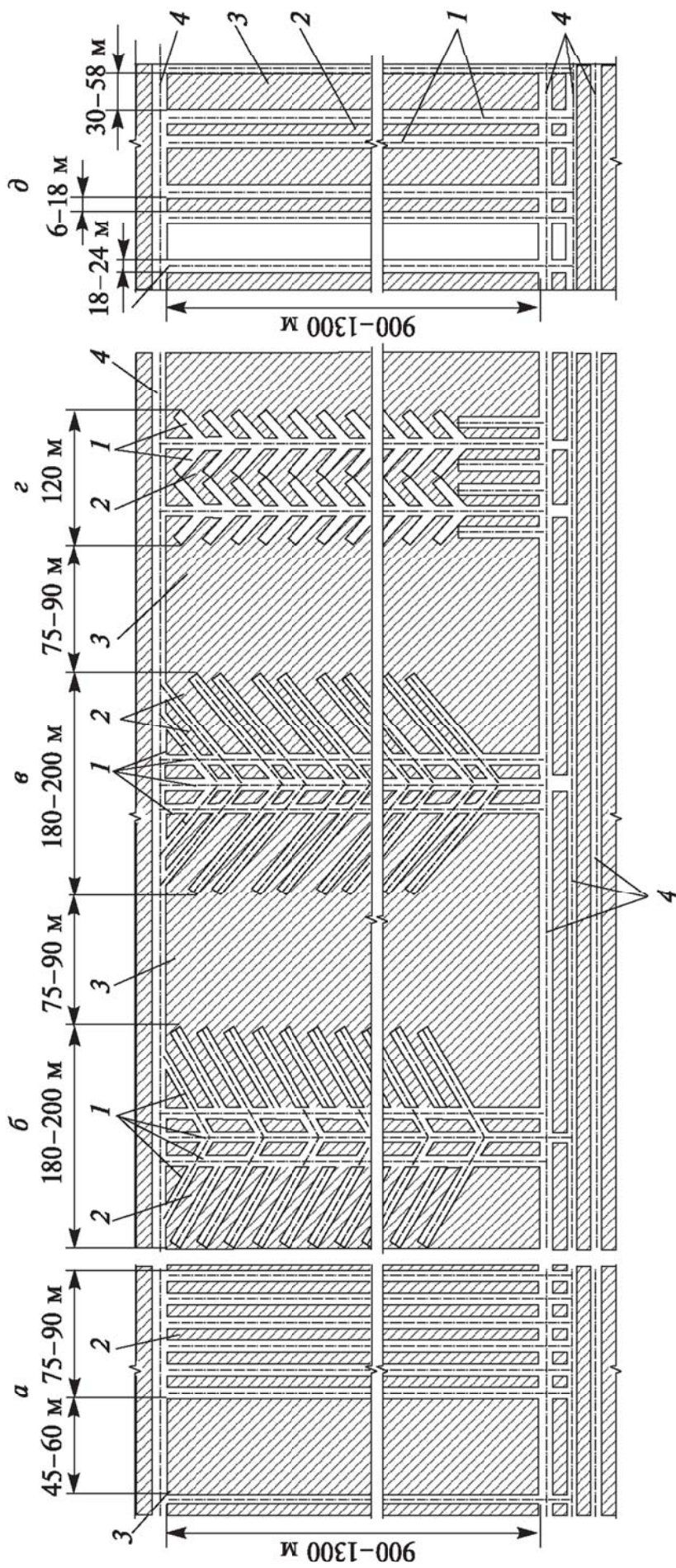


Рис. 5. Схема ведения добычных работ на канадских рудниках:

a – схема очистных работ с доставкой руды при помощи телескопических конвейеров; *б-г* – очистная выемка с доставкой отбитой руды при помощи самоходных вагонов и/или конвейеров постоянной длины;

д – схема ведения очистных работ для рудников месторождения Эстерхези;

1 – очистная камера; *2* – междукамерный целик; *3* – опорный целик; *4* – панельные выработки

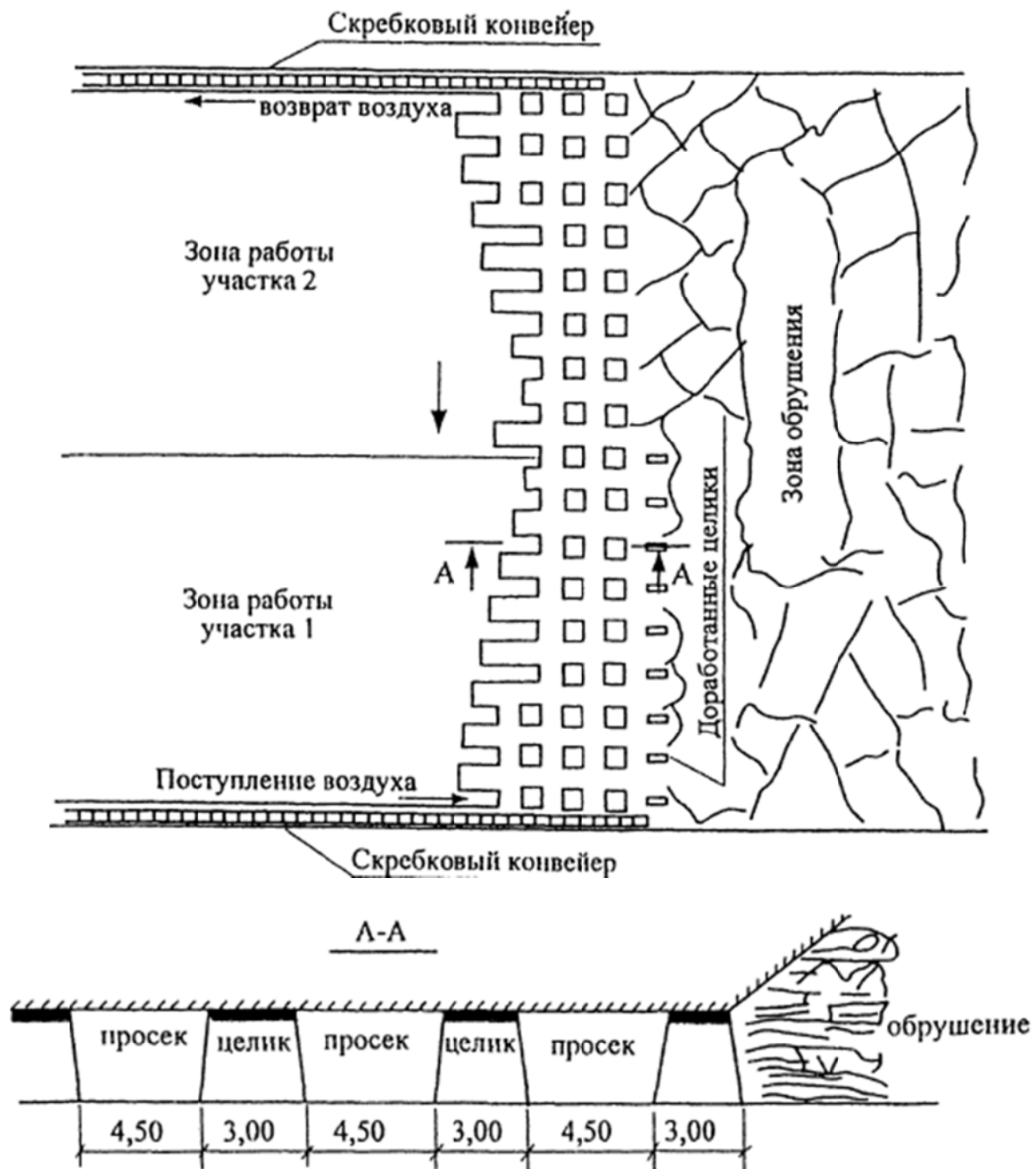


Рис. 6. Технология ведения очистных работ на калийных рудниках Франции

Валовая выемка пластов Первого, Второго калийных горизонтов и слоев 2, 2-3, 3 пласта Третьего калийного горизонта (без отработки 4 сальвинитового слоя) Старобинского месторождения калийных солей с полным обрушением кровли

Подготовка панели при валовой выемке пластов с обратным порядком отработки выемочных столбов (рис. 7) ведется в следующей последовательности: проводятся панельный конвейерный штрек 1, конвейерный 2 и вентиляционный 3 штреки лавы. При этом для проведения вентиляционного 3 штрека проводятся вспомогательные выработки б, которые используются в дальнейшем для проходки разгружающего 5 и транспортного 4 штреков лавы.

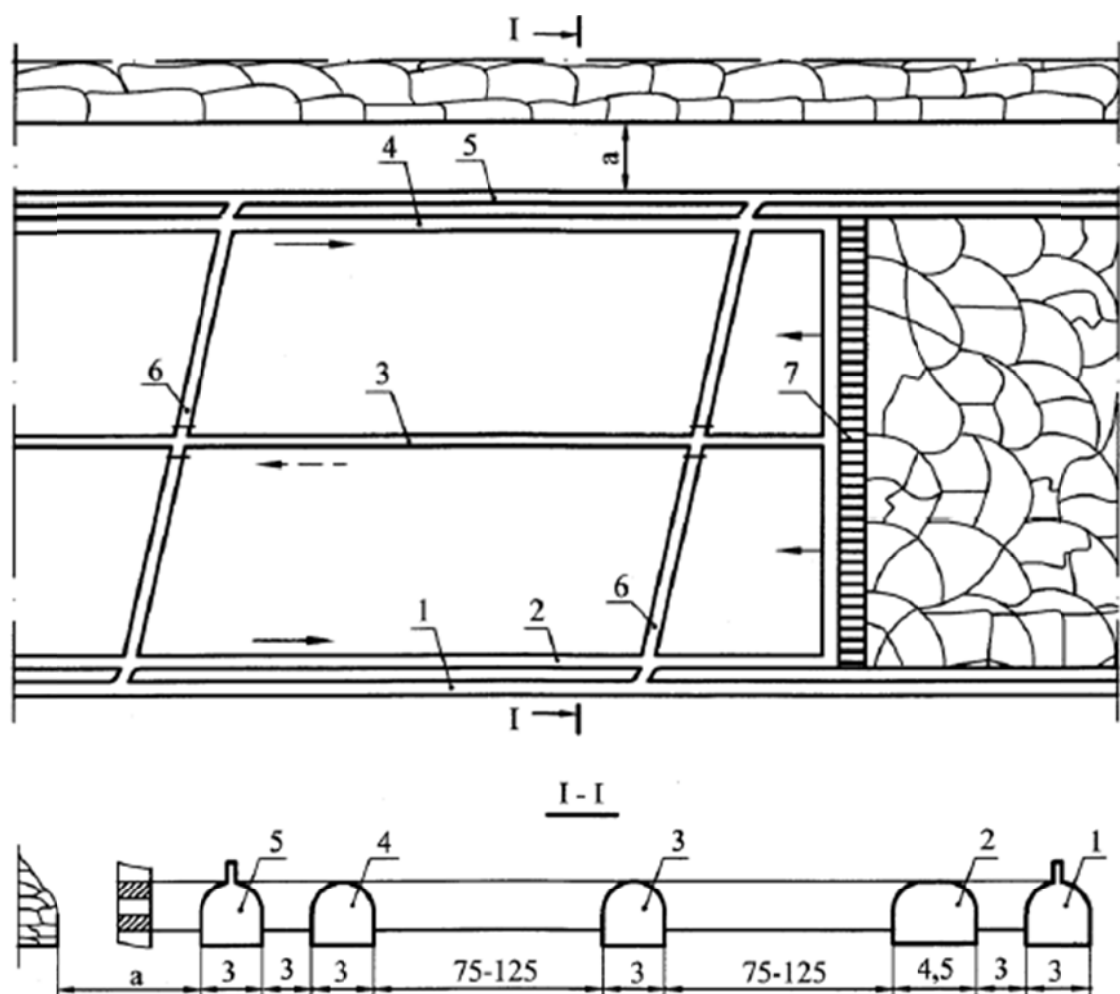


Рис. 7. Технологическая схема валовой выемки пластов с обратным порядком отработки выемочных столбов:
 1 – панельный конвейерный штрек; 2, 3 и 4 – конвейерный, вентиляционный и транспортный штрек; 5 – разгружающий штрек;
 6 – вспомогательные выработки; 7 – забойная крепь

Для проветривания подготовительных и очистных забоев свежая струя воздуха поступает по панельному конвейерному 1 штреку, транспортному 4 и конвейерному 2 штрекам лавы, а исходящая струя воздуха уходит по вентиляционному 3 штреку лавы, который в процессе подготовки панели изолируется от свежей струи вентиляционными перемычками. Оработка панели ведется двухкомбайновой лавой, а в случае исключения из подготовки вентиляционного штрека – однокомбайновой лавой.

Подготовка панели при валовой выемке пластов с одновременной отработкой межстолбового целика очистным забоем смежной лавы (рис. 8) ведется трехштрековой 1, 2, 3 группой с проведением вентиляционного 3' штрека смежного столба со стороны массива с оставлением временного целика *a* размером, обеспечивающим сохранение устойчивости вентиляционного штрека при повторном его использовании для смежной лавы. Временный целик частично извлекается очистным комбайном в концевом участке лавы длиной до 25,0 м или полностью с выходом шнека комбайна на транспортный штрек

смежной опережающей лавы с использованием транспортного штрека этой лавы только для проветривания прилегающей к нему части очистного забоя отстающей лавы (без передвижения по нему людей и оборудования очистного комплекса). В данном случае сбойки между конвейерным 1' и транспортным 2' штреками опережающей лавы изолируются перемычками, исключая проникновение горючих газов в рабочую зону отстающей лавы, а ширина целика между конвейерным 1' и транспортным 2' штреками при этом должна быть увеличена с 3 до 8–10 м.

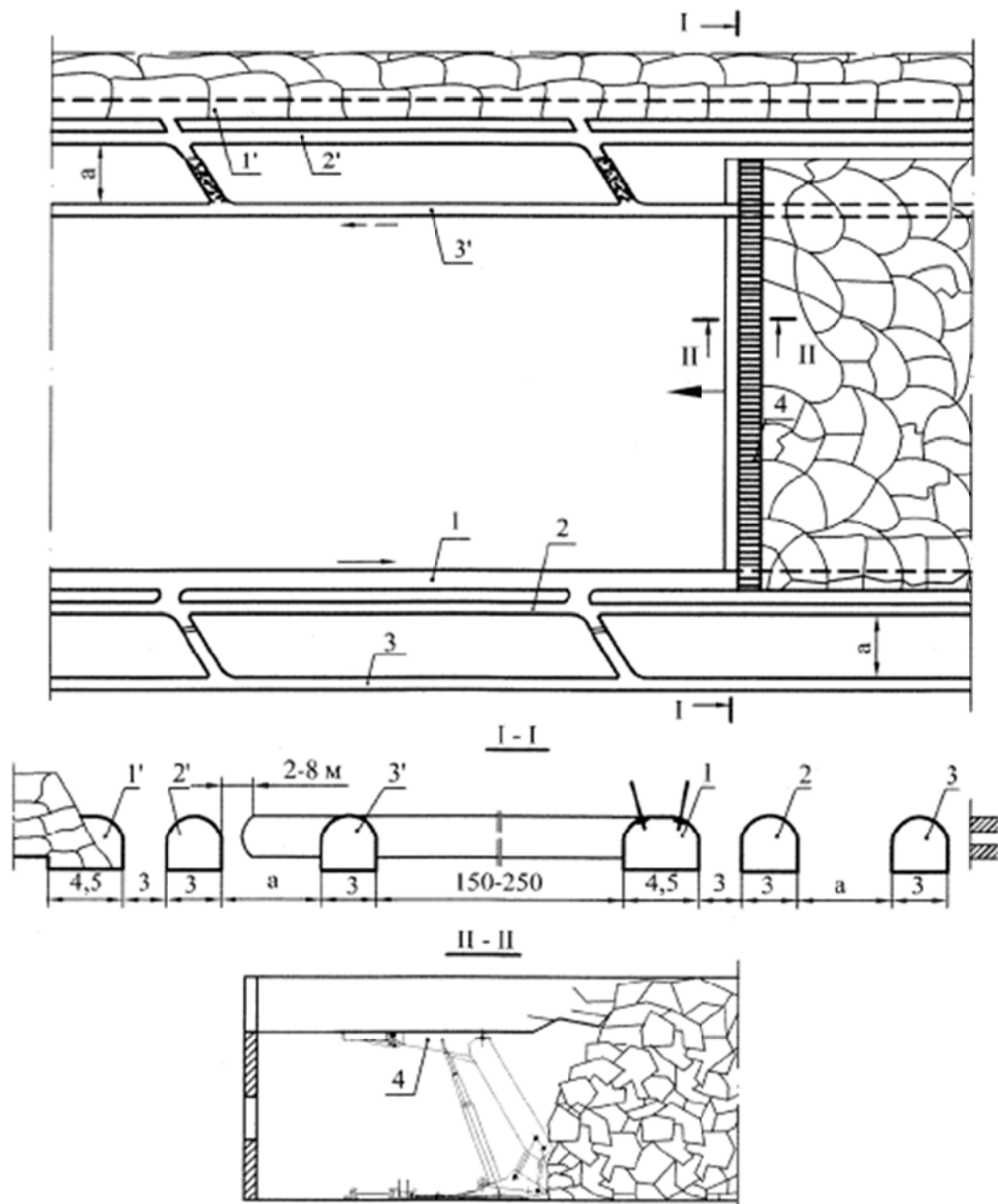


Рис. 8. Технологическая схема валовой выемки пластов с одновременной обработкой межстолбового целика очистным забоем смежной лавы:

1, 2 – конвейерный, транспортный штреки лавы;

3 – вентиляционный штрек смежного столба; 4 – забойная крепь;

1', 2', 3' – конвейерный, транспортный, вентиляционный штреки опережающей лавы

На рис. 9–10 приведены технологические схемы с комбинированным порядком отработки выемочных столбов в панелях и разворотом очистного комплекса на границе панели. Комбинированный порядок отработки целесообразно применять на участках с ограниченными размерами шахтного поля, а также когда необходимо сократить срок ввода очистного комплекса в эксплуатацию. С этой целью подготовка панели осуществляется короткими столбами.

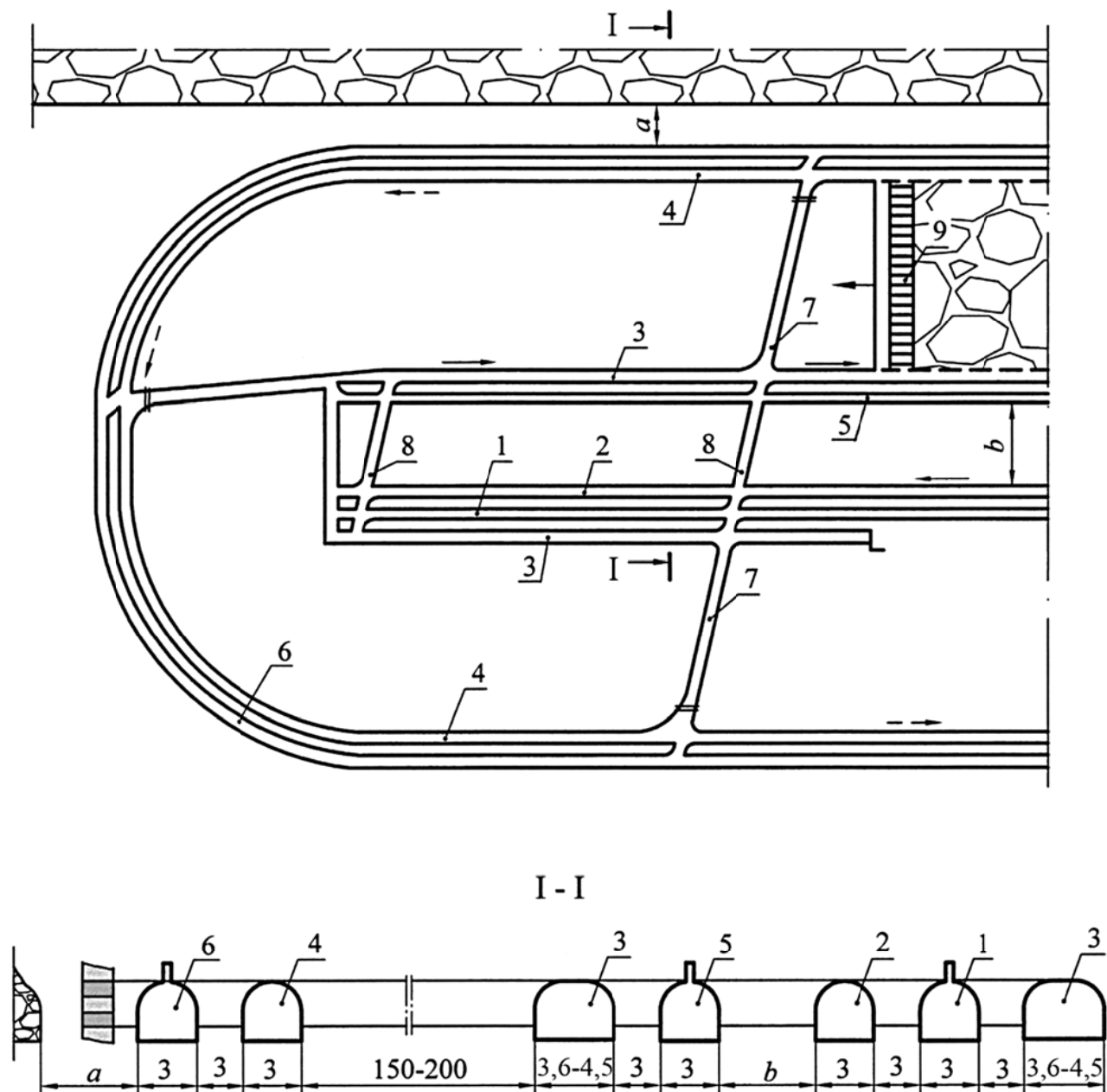


Рис. 9. Технологическая схема валовой выемки пластов с комбинированным порядком отработки выемочных столбов и конвейерного штрека в центре панели: 1, 2 – панельные конвейерный и транспортный штреки; 3, 4, 5 – конвейерный, вентиляционный и транспортные штреки лавы; 6 – разгружающая выработка; 7 – вспомогательные выработки; 8 – конвейерные сбойки; 9 – забойная крепь

Подготовка панели при валовой выемке пластов с комбинированным порядком отработки выемочных столбов и конвейерного штрека в центре панели (см. рис. 9) начинается с проведения панельных конвейерного 1 и транспортного 2 штреков, конвейерного 3, вентиляционного 4 и транспортного 5 штреков лавы столба прямого порядка, а также вентиляционного 4 штрека столба обратного порядка с использованием вспомогательных выработок 7 для организации проветривания при запуске лавы в первом коротком столбе прямого порядка отработки. С учетом применения апробированных способов охраны и крепления подготовительных выработок в данной технологической схеме допускается не проводить разгружающую выработку 6.

Технологическая схема валовой выемки пластов с комбинированным порядком отработки выемочных столбов и расположением конвейерного штрека лавы по внешнему контуру панели (см. рис. 10) применяется как для отработки обособленных панелей с одним разворотом на 180° очистного комплекса, так и при неоднократном его развороте на 180° . Подготовка панели осуществляется путем проведения панельных конвейерного 1 вентиляционного 2 и транспортного 3 штреков, конвейерного 4 и вентиляционного 5 штреков лавы столба прямого порядка, а также вентиляционного 7 штрека столба обратного порядка отработки, разгружающих 8 и вспомогательных конвейерных 9, вентиляционных 10 и транспортных 11 выработок.

При этом монтаж очистного комплекса может начинаться после проведения монтажных выработок при завершении подготовки первого короткого столба прямого порядка отработки. Ширина межпанельных целиков a в технологических схемах рис. 9–10, а также ширина целика b для охраны панельных выработок в технологической схеме рис. 9 выбирается согласно «Инструкции по охране и креплению горных выработок».

Ширина целика b в технологической схеме рис. 10 определяется проектом в зависимости от срока службы вентиляционного штрека 7. Необходимо отметить, что технологические схемы, приведенные на рис. 3–4, характеризуются высокими потерями полезного ископаемого в охранных целиках, большим удельным объемом подготовки, сложной схемой проветривания и характерной для схемы на рис. 10 большой протяженностью конвейерных линий с соответствующим этому объемом монтажно-демонтажных работ.

На рис. 11 приведена технологическая схема с комбинированным порядком отработки столбов в панели и одновременной выемкой временного целика между столбами прямого и обратного порядка отработки. От приведенных на рис. 9–10 технологических схем данная схема отличается меньшим удельным объемом подготовки и более высоким извлечением запасов полезного ископаемого. Подготовка выемочных столбов прямого и обратного порядка отработки осуществляется группой из трех выработок, которая предусматривает проведение со стороны массива вентиляционных 3 и 4 штреков с оставлением временного охранного целика.

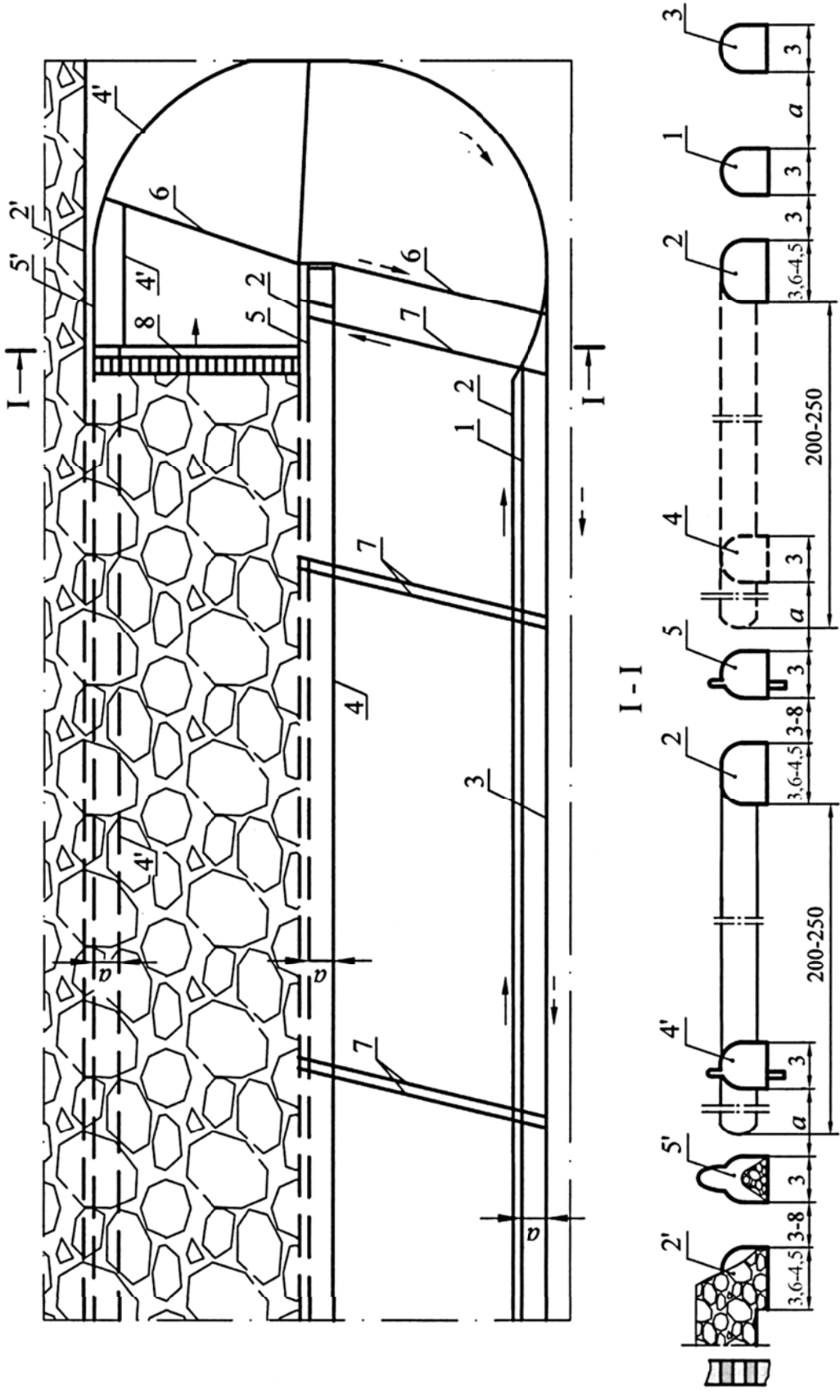


Рис. 11. Технологическая схема валовой выемки пластов с комбинированным порядком отработки выемочных столбов в панели и одновременной выемкой межстолбового целика очистным забоем:

- 1, 3 – панельные транспортный и вентиляционный штреки; 2, 4 – конвейерный и вентиляционный штреки лавы;
- 5 – транспортный штрек лавы; 2', 4', 5' – конвейерный, вентиляционный, транспортный штреки смежной лавы;
- 6 – вентиляционная сбойка; 7 – технологические выработки; 8 – забойная крепь

Временный целик может частично извлекаться очистным комбайном в конечном участке лавы как в столбе прямого, так и в столбе обратного порядка отработки с использованием для проветривания вентилятора местного проветривания, установленного в районе последней секции крепи и осуществляющего сброс отработанного воздуха через закрепное пространство на вентиляционный штрек лавы.

В зависимости от длины лавы, панели и срока ввода комплекса в эксплуатацию, подготовка лав может вестись поэтапно или на всю длину панели. В последнем случае подготовительные выработки 1, 2, 3 и 4, 5 выемочных столбов (см. рис. 11) проводятся до границы разворота очистного комплекса и сбиваются между собой одной или двумя парами технологических выработок 7 (транспортная и конвейерная). Проветривание лавы прямого столба на первом этапе осуществляется с использованием одной вентиляционной сбойки 6 между вентиляционными 3 и 4 штреками столбов.

После завершения проходки вентиляционного штрека 4 на участке разворота комплекса проветривание лавы до окончания ее разворота на 180° осуществляется на панельный вентиляционный штрек 3. После разворота комплекса и перемонтажа штрековых скребковых конвейеров с энергопоездом на конвейерный штрек 2 столба обратного порядка исходящая струя воздуха направляется по вентиляционному штреку 4, а свежая струя идет по транспортному 1 и конвейерному 2 штрекам столба обратного порядка.

Особенностью осуществления разворота очистного комплекса в данной схеме является размещение штрековых конвейеров в конвейерном штреке, делящим участок разворота на два по 90° каждый. При подходе лавы к развороту штрековые конвейеры перемещаются в данный штрек, откуда стационарный конвейер в реверсивном режиме транспортирует руду на перегружатель и далее на конвейерную линию в панельном транспортном штреке. Перед началом разворота штрековые конвейеры по технологической сбойке 6 перемещают на конвейерный штрек 2 лавы столба обратного порядка и приступают к отработке участков с двумя разворотами комплекса на 90°. Приведенные особенности данной технологической схемы с перемонтажем конвейеров на конвейерный штрек столба обратного порядка требуют остановки забоя лавы на период перемонтажа. Эта остановка забоя компенсируется более высокой производительностью лавы за счет сокращения участка разворота комплекса при бесцеликовой схеме отработки панели.

Селективная выемка пластов Первого и Второго калийных горизонтов и слоев 2, 2-3 и 3 пласта Третьего калийного горизонта (без отработки 4 сильвинитового слоя) Старобинского месторождения калийных солей с закладкой разрушенного галита в выработанное пространство лав в виде породных полос

Подготовка выемочного столба при бесцеликовой селективной выемке пластов с повторным использованием двух выемочных штреков смежной лавы

(рис. 12) осуществляется группой из трех штреков лавы: панельного транспортного 1, конвейерного 2 и вентиляционного 3. При этом вентиляционный штрек 3 лавы проводится в центральной части столба на расстоянии от границы выработанного пространства опережающей смежной лавы не менее ширины зоны бокового опорного давления с использованием вспомогательных выработок 4. Ширина зоны бокового опорного давления составляет 0,7 ширины зоны временного опорного давления. Транспортный штрек 1 проходится со стороны массива с оставлением временного охранного целика шириной a , который вынимается очистным комбайном отстающей смежной лавы. Данная технологическая схема предусматривает повторное использование охраняемого временным целиком a транспортного штрека 1' смежного столба в качестве закладочного и повторное использование конвейерного штрека 2' только для проветривания лавы. Ширина целика a определяется согласно «Инструкции по охране и креплению горных выработок». На сопряжениях лавы с выемочными штреками используется не менее трех закладочных установок с роторными метателями, что позволяет в зависимости от мощности породных прослоев и пласта увеличить длину лавы до 250 м.

Подготовка выемочного столба бесцеликовой селективной выемки пластов с повторным использованием конвейерного штрека смежной лавы (рис. 13) ведется тремя штреками, а также повторно используется конвейерный штрек 1' смежной лавы для проветривания прилегающей части очистного забоя. Вентиляционный штрек 3 лавы, как и в предыдущей технологической схеме, проводится вне зоны влияния бокового опорного давления, что обеспечивает минимальные затраты на его поддержание. Для обеспечения необходимого для вентиляции сечения штрека 1' в технологических схемах рис. 12–13 на крайней секции крепи сопряжений навешивается отбойный щит 7, который препятствует полному заполнению штрека закладываемой породой.

Приведенные на рис. 12–13 технологические схемы характеризуются минимальным удельным объемом подготовительных работ и предусматривают бесцеликовую выемку пластов с повторным использованием выемочных штреков лав. Они могут также использоваться для отработки участков пласта Третьего калийного горизонта на полную мощность с устойчивой непосредственной кровлей (II и III типы), где мощность 4 сильвинитового слоя менее 1,0 м, а также в перспективе 6, 7, 8 сильвинитовых слоев пласта Четвертого калийного горизонта.

Данные схемы ведения очистных работ отличаются друг от друга расположением породных полос в выработанном пространстве лав и их количеством. Количество породных полос и их ширина определяются мощностью породных прослоев, длиной очистного забоя, вынимаемой мощностью пласта и дальностью метания породы закладочными установками при возведении породных полос.

При относительно маломощных породных прослоях целесообразнее применять технологическую схему, представленную на рис. 13, в которой предусматривается возведение одной сплошной или двух сосредоточенных породных полос со стороны неотработанного массива.

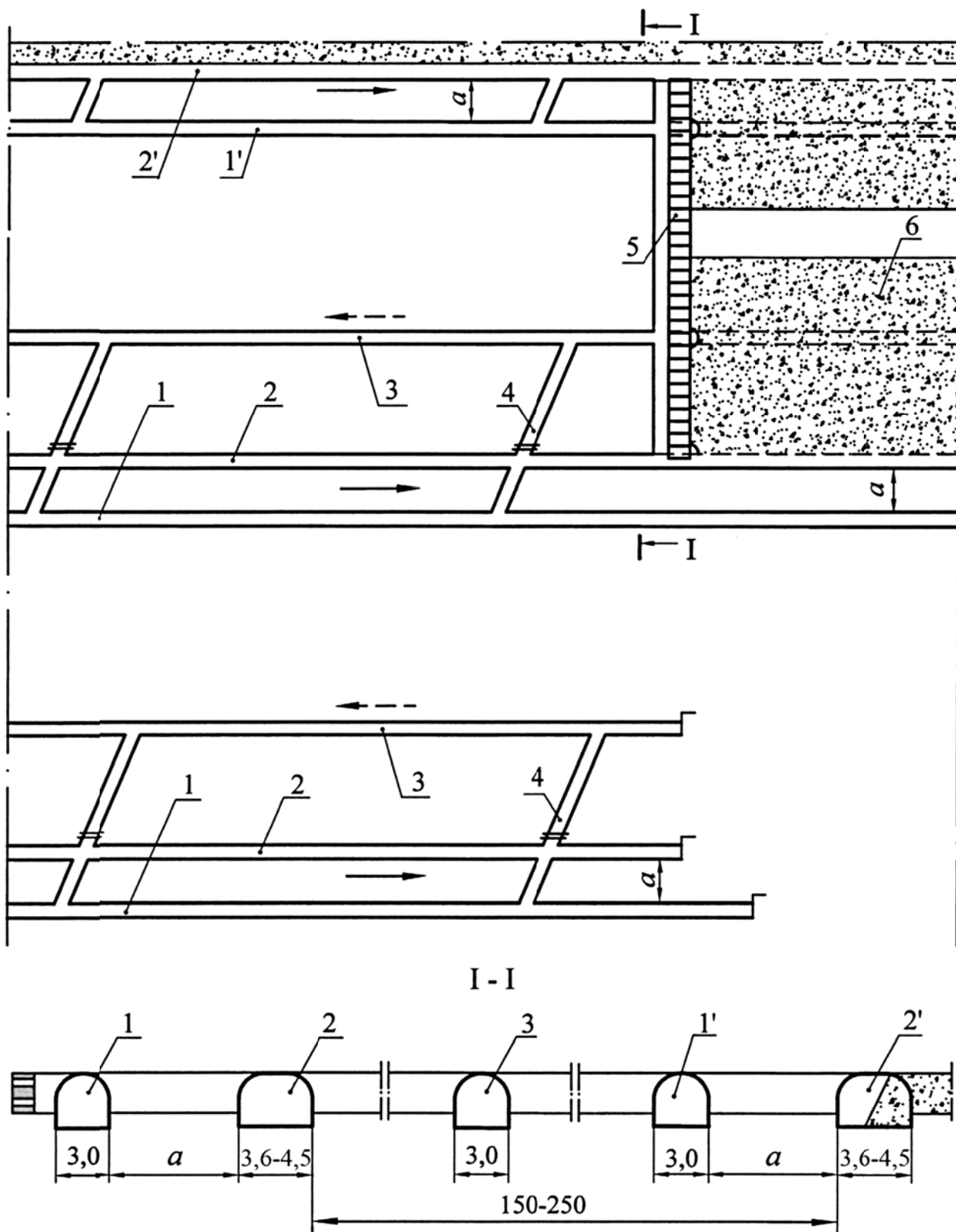


Рис. 12. Технологическая схема бесцеликовой селективной выемки пластов с повторным использованием двух выемочных штреков смежной лавы:
 1 – панельный транспортный штрек; 1', 2, 3 – транспортный (повторно используемый), конвейерный и вентиляционный штреки лавы; 2' – конвейерный штрек (повторно используемый для проветривания лавы); 4 – вспомогательные выработки; 5 – забойная крепь; 6 – породные полосы

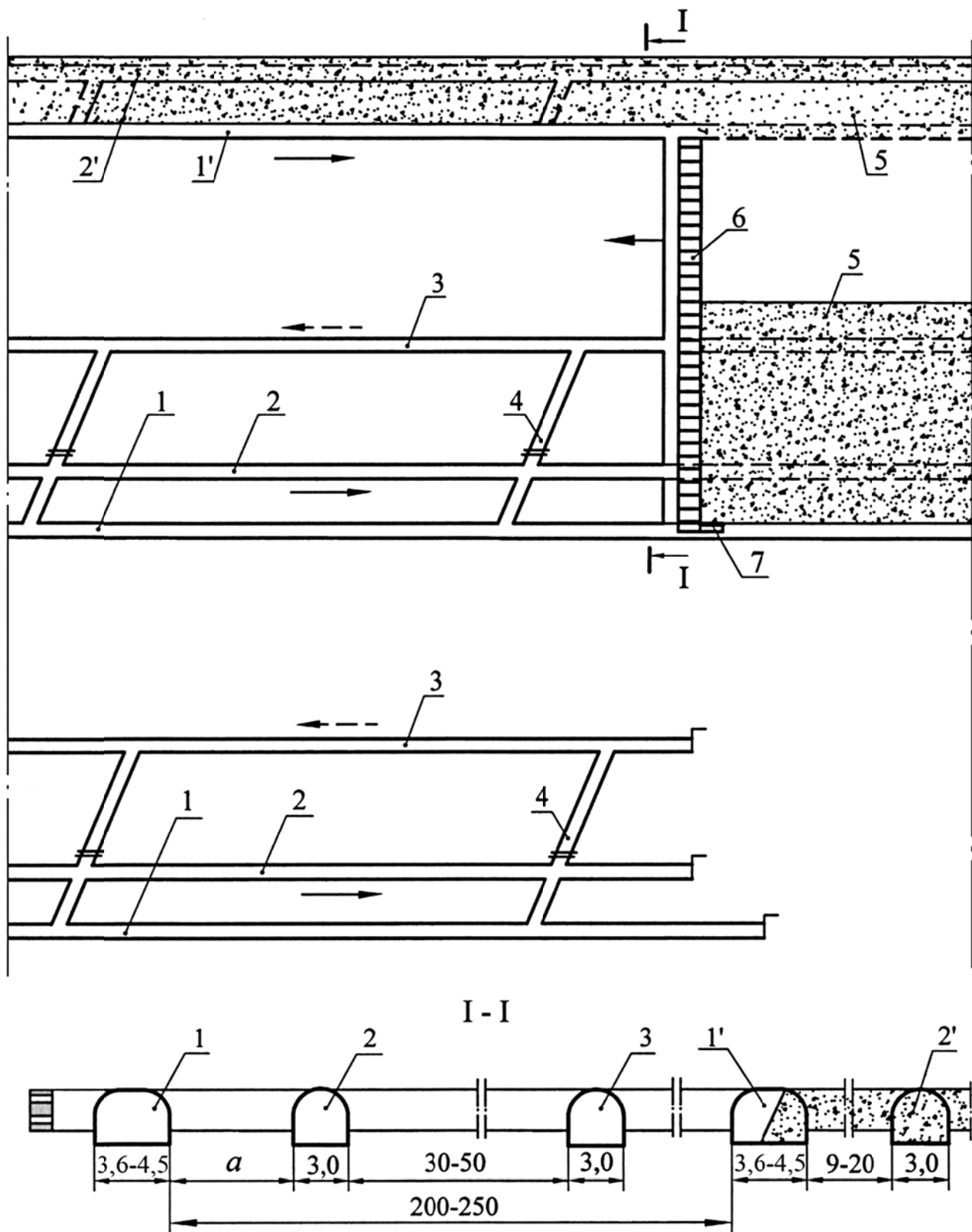


Рис. 13. Технологическая схема бесцеликовой селективной выемки пластов с повторным использованием конвейерного штрека смежной лавы:
 1, 2, 3 – конвейерный, закладочный (транспортный) и вентиляционный штреки лавы;
 1' – транспортный (конвейерный смежной лавы) штрек;
 4 – вспомогательные выработки; 5 – породная полоса;
 6 – забойная крепь; 7 – отбойный щит

Слоевая селективная выемка пласта Второго калийного горизонта Старобинского месторождения калийных солей с полным обрушением кровли при общей подготовке слоевых лав

На рис. 14 представлена технологическая схема и параметры слоевой селективной выемки пласта Второго калийного горизонта с общей подготовкой слоевых лав. Особенностью данной схемы является проходка вентиляционного 3 и транспортного штреков 4 лавы с использованием полевых вспомогательных выработок 6, которые после их выхода из процесса подготовки заполняются породой от проведения каждой последующей полевой выработки или при подготовке соседней панели. Проветривание подготовительных забоев осуществляется с помощью вспомогательных выработок, а проветривание очистных забоев показано на схеме.

При проведении транспортного штрека 4 вприсечку к выработанному пространству, в зависимости от устойчивости непосредственной кровли, ширина его выбирается в пределах 3,5–4,0 м, а наклонные заезды в него из полевых вспомогательных выработок 6 могут располагаться под заполненным породой панельным вентиляционным штреком смежного столба. Охрана транспортного штрека разгружающей выработкой осуществляется в случаях оставления широких межстолбовых целиков. Вспомогательные выработки проводятся с панельного вентиляционного штрека 7 и располагаются под пластом с оставлением потолочины не менее 0,6 м при условии заполнения их породой после исключения поочередно из технологического процесса подготовки панели.

Данная технологическая схема характеризуется минимальным удельным объемом горно-подготовительных работ и относительно высокой производительностью лавы с четырьмя комбайнами.

К отличительным особенностям технологии слоевой выемки пласта Второго калийного горизонта можно отнести неудобства обслуживания очистного комплекса при вынимаемой мощности 0,9–1,0 м, а также необходимость выдерживания прямолинейности очистных забоев и расстояния между ними не более 6,1 м.

Очистная выемка пласта Второго калийного горизонта с общей подготовкой слоевых лав применяется в настоящее время только на шахтном поле рудника 3 рудоуправления. Она может найти применение и на других участках пласта, где мощности сильвинитовых слоев не менее 0,9 м, а породного прослоя – не менее 0,6 м.

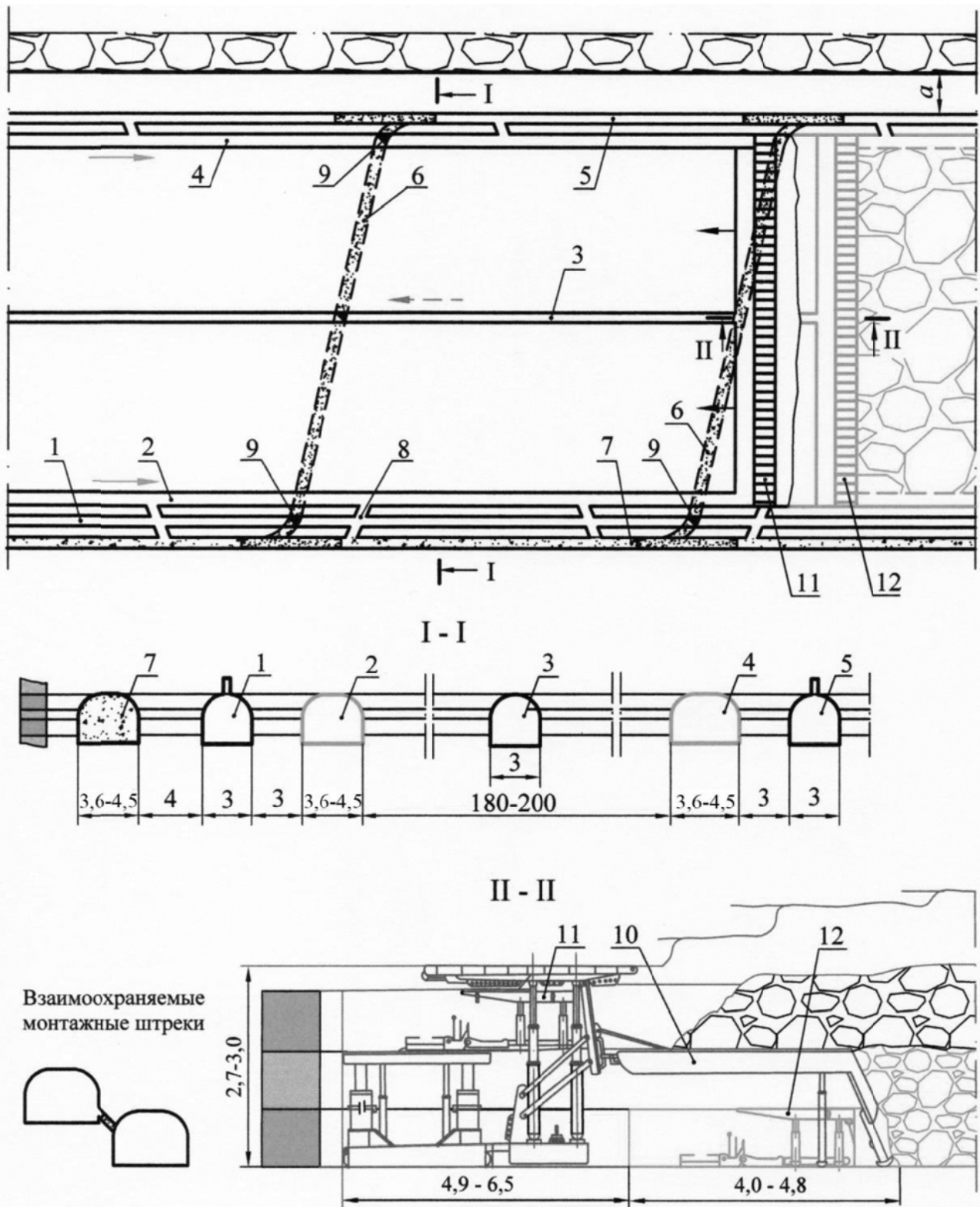


Рис. 14. Технологическая схема слоевой селективной выемки пласта Второго калийного горизонта с полным обрушением кровли при общей подготовке слоевых лав:
 1 – панельный конвейерный штрек; 2, 3 – конвейерный и вентиляционный штреки лавы;
 4 – транспортный штрек лавы; 5, 6 – разгружающая и полевая вспомогательная выработки;
 7 – панельный вентиляционный штрек; 8 – конвейерная сбойка; 9 – рудоспуск;
 10 – траверсная (двухъярусная) крепь сопряжения; 11 – забойная крепь верхней лавы;
 12 – забойная крепь нижней лавы

Раздельная подготовка слоевых лав осуществляется путем проведения для верхней лавы панельного транспортного 1 штрека и конвейерного 2 штрека лавы, с которых проводятся вспомогательные 6 выработки под углом 60–80° к продольной оси выемочного столба и которые служат для проведения центрального вентиляционного 3 и транспортного 4 штреков с разгружающей выработкой 5. После отработки 4 сивьинитового слоя осуществляется подготовка нижней лавы путем проходки транспортного 8 и конвейерного 7 штреков, а также и вентиляционного 9 штрека с использованием вспомогательных выработок 10.

При невозможности безопасного поддержания подготовительных выработок с оставлением в кровле защитной пачки 4 сивьинитового слоя мощностью 0,10–0,15 м (рис. 15) рекомендуется мощность защитной пачки над выработками верхней лавы увеличить до 0,85–0,90 м или проводить их под 4 сивьинитовым слоем (рис. 16).

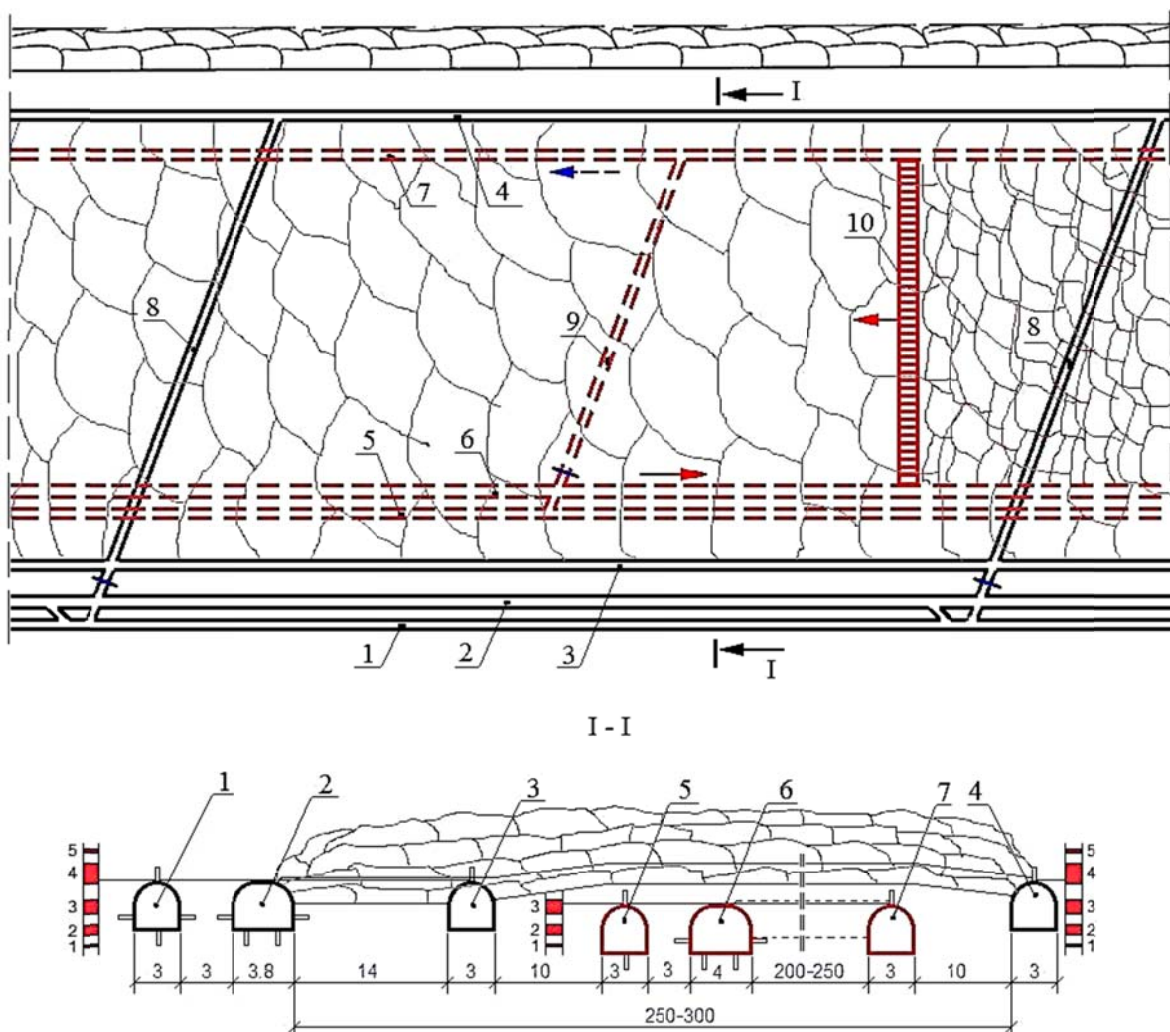


Рис. 16. Технологическая схема слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с последовательной отработкой слоев для сложных условий поддержания выработок верхней лавы:
 1, 2, 3, 4 – транспортный, конвейерный и вентиляционные штреки верхней лавы;
 5, 6, 7 – транспортный, конвейерный и вентиляционный штреки нижней лавы;
 8, 9 – технологические сбойки; 10 – забой нижней лавы

В данной технологической схеме с последовательной отработкой слоев подготовка выемочного столба для верхней лавы ведется группой из трех сближенных штреков: транспортного 1, конвейерного 2 и вентиляционного 3.

После проходки указанных выработок на всю длину в обратном порядке через технологические сбойки 8 производится оконтуривание выемочного столба проходкой бортового вентиляционного штрека 4, необходимого для проветривания лавы. Отработка сильвинитового слоя 4 верхней лавой осуществляется в обратном порядке с подъемом-опусканием забоя лавы на участках длиной 10 м у вентиляционных штреков 3 и 4.

Подготовка нижней лавы начинается после отработки 4 сильвинитового слоя путем проходки на всю длину панели транспортного 5, конвейерного 6 и вентиляционного 7 штреков с использованием вспомогательных выработок 9.

В настоящее время слоевая выемка ведется по двум вариантам – с последовательной отработкой слоев в панели и с большим (свыше 400 м) опережением очистных работ в слоях. От варианта с малым (80–400 м) опережением очистных работ в слоях пришлось временно отказаться из-за осложнений с поддержанием надработанных верхней лавой широких (4,3 м) выемочных штреков нижней лавы.

На рис. 17 приведена технологическая схема слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с последовательной отработкой слоев на участках с устойчивой непосредственной кровлей и повторным использованием транспортных штреков слоевых лав. По данной технологии подготовка слоевых лав осуществляется трехштрековыми 1, 2, 3 и 4, 5, 6 группами с расположением почвы подготовительных выработок верхней лавы выше кровли нижней лавы.

Минимальный удельный объем горно-подготовительных работ достигается за счет повторного использования транспортных 1' и 4' штреков слоевых смежных лав только для проветривания прилегающих к этим выработкам частей очистных забоев отстающих смежных лав.

Применение данной технологической схемы на участке пласта с менее устойчивой кровлей возможно при уменьшении до 3,6–3,8 м ширины конвейерных штреков в смежных верхних лавах при использовании более совершенных телескопических конвейерных линий.

На рис. 18 приведена технологическая схема слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с последовательной отработкой слоев и повторным использованием транспортного штрека верхней лавы, поддерживаемого за забоем лавы с охраной узким (до 10 м) целиком, разгружающей выработкой и компенсационными щелями или целиком и компенсационными щелями.

Подготовка каждой верхней лавы осуществляется путем проведения спаренных выемочных штреков: конвейерного 2, транспортного 1 и через целик шириной 10 м разгружающего 5 и транспортного 4 штреков для проектируемой смежной панели. По мере проведения спаренных штреков в центральной части подготавливаемой верхней лавы проходится вентиляционный штрек 3 с использованием вспомогательных выработок 9.

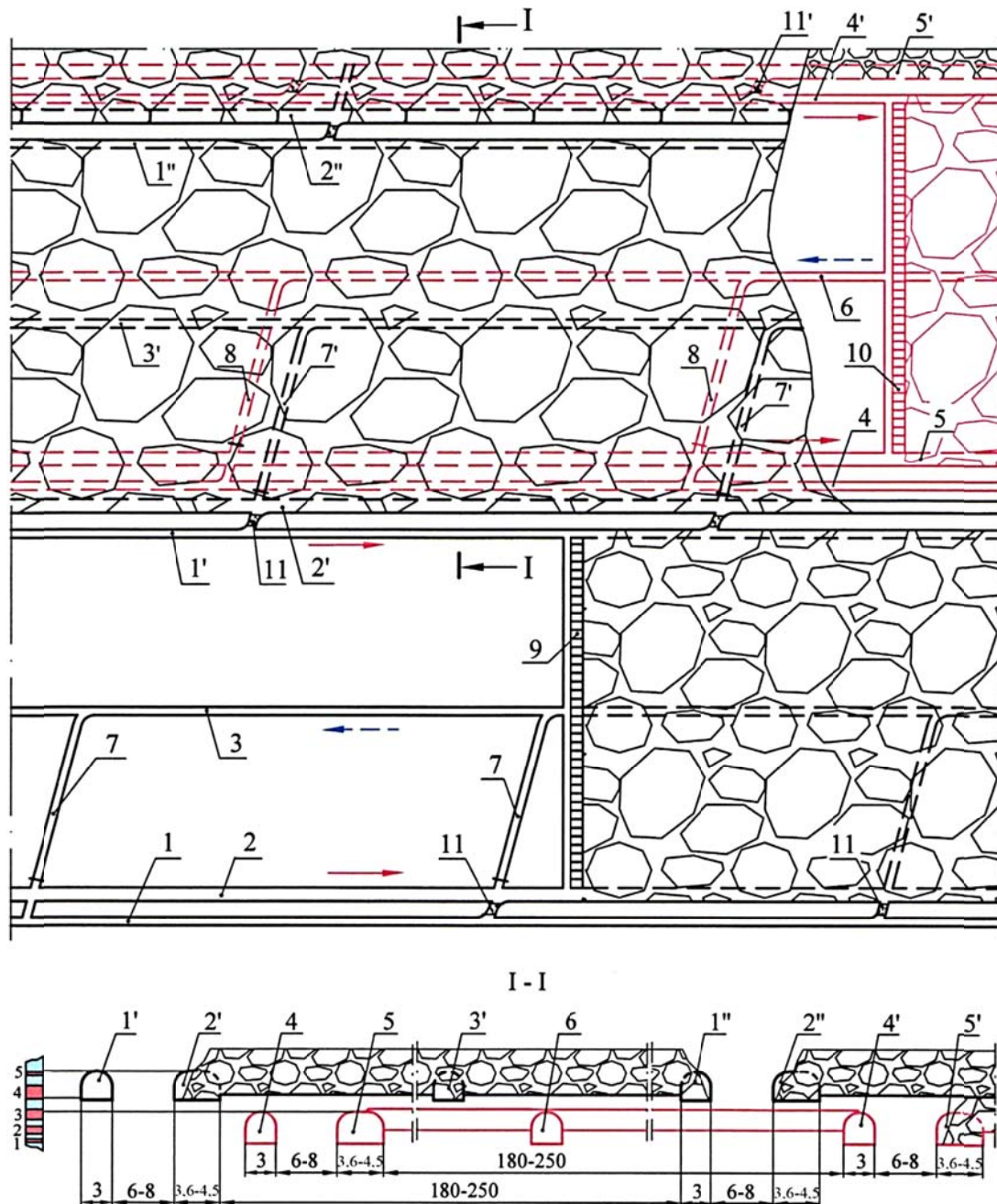


Рис. 17. Технологическая схема слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с последовательной обработкой слоев на участках с устойчивой непосредственной кровлей и повторным использованием транспортных штреков слоевых лав:

1, 4 – панельные транспортные штреки; 1'', 2'' – транспортный и конвейерный штреки отстающей верхней смежной лавы; 1', 4' – повторно используемые транспортные штреки только для проветривания очистных забоев; 2, 3 – конвейерный и вентиляционный штреки верхней лавы; 2', 3' – конвейерный, вентиляционный штреки слоевых смежных лав; 5, 6 – конвейерный и вентиляционный штреки нижней лавы; 5' – конвейерный штрек смежной нижней лавы; 7, 8 – слоевые вспомогательные выработки; 7' – вспомогательные выработки смежной верхней лавы; 9, 10 – забойная крепь верхней и нижней лав; 11 – изолирующие перемычки; 11' – изолирующая перемычка смежной лавы

Подготовка нижней лавы для валовой выемки слоев осуществляется тремя штреками: транспортным 6, конвейерным 7 и вентиляционным 8 с использова-

нием вспомогательных выработок 10. Вентиляционный штрек 8 в зависимости от конкретных условий примыкания к выработанному пространству может проводиться или вприсечку к выработанному пространству, или с оставлением широкого охранного целика. В последнем случае широкий целик частично извлекается очистным комбайном в конечном участке лавы (рис. 18).

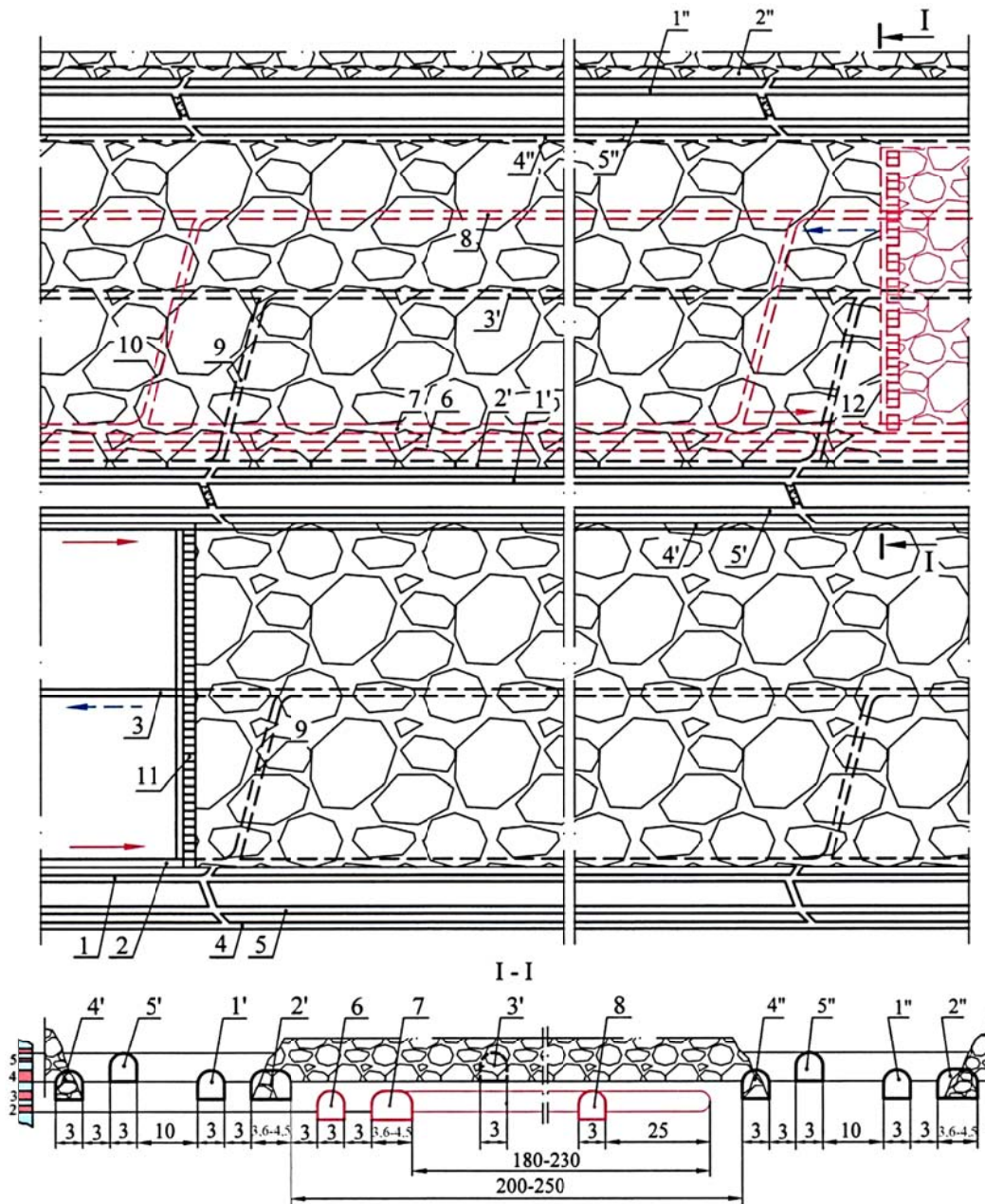


Рис. 18. Технологическая схема слоевой выемки пласта

Третьего калийного горизонта с последовательной отработкой слоев и повторным использованием транспортного штрека верхней лавы:

1, 1' – панельные транспортные штреки; 1'', 2'' – транспортный, конвейерный штреки смежной лавы; 2, 2', 3, 4, 4' – конвейерные, вентиляционный и транспортные штреки верхней лавы; 3' – вентиляционный штрек; 4'' – транспортный штрек; 5, 5' – разгружающие штреки; 5'' – разгружающий штрек; 6, 7, 8 – транспортный, конвейерный и вентиляционный штреки нижней лавы; 9, 10 – вспомогательные выработки верхней и нижней лав; 11, 12 – забойная крепь верхней и нижней лав

На рис. 19 приведена технологическая схема слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с большим (свыше 400 м) опережением очистных работ в слоях и расположением панельных выработок в ненадработанном массиве.

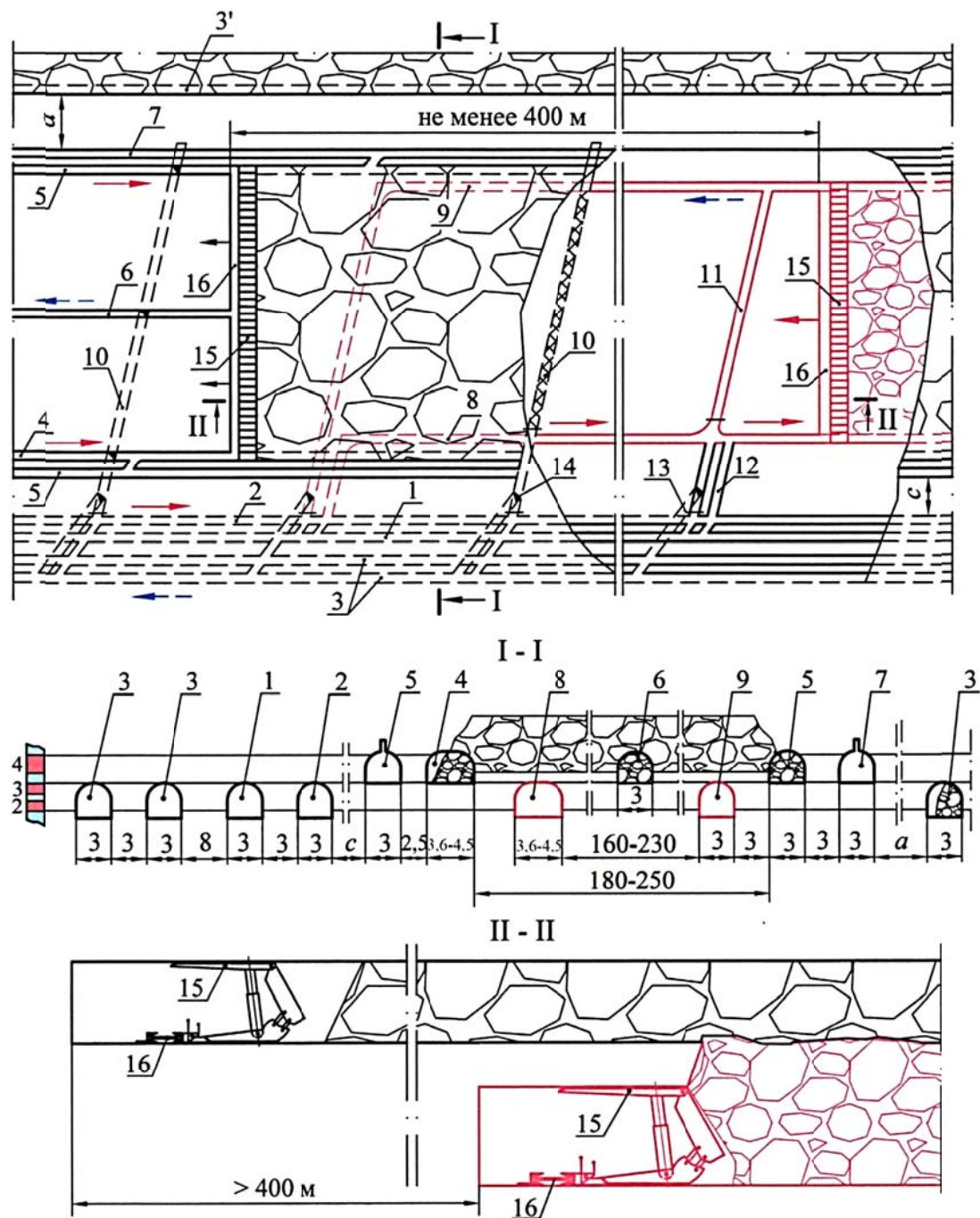


Рис. 19. Технологическая схема слоевой выемки пласта Третьего калийного горизонта с большим (не менее 400 м) опережением очистных работ в слоях и расположением панельных выработок в ненадработанном массиве:

1, 2, 3 – панельные конвейерный, транспортный и вентиляционный штреки; 3' – вентиляционный штрек смежной лавы; 4, 5, 6, 7 – конвейерный, транспортные, вентиляционный и разгружающий штреки верхней лавы; 8, 9 – конвейерный и вентиляционный штреки нижней лавы; 10, 11 – вспомогательные выработки для верхней и нижней лав; 12 – конвейерные сбойки; 13, 14 – вентиляционные кроссинги и рудоспуски; 15, 16 – забойная крепь и конвейер

Отличительной особенностью данной технологической схемы по сравнению с последовательной отработкой слоев являются возможность повышения производительности панели при одновременной работе лав, а также использование для верхней и нижней лав общих панельных выработок.

Несмотря на большие потери запасов в междупанельных целиках данный вариант нашел наиболее широкое применение на рудниках месторождения. Кроме больших потерь оставление широких междупанельных целиков способствует образованию опасных зависаний пород при труднообрушаемой кровле с последующим их динамическим воздействием на призабойное пространство и крепь нижних лав.

Применение защитных мероприятий (разупрочнение пород кровли, создание зон «смягчения») требует дополнительных затрат и своевременного тщательного их выполнения, что снижает эффективность технологии в целом. Недостатками схемы является также большой удельный объем горно-подготовительных работ.

Проходка транспортных 5, конвейерного 4 и вентиляционного 6 штреков верхней лавы осуществляется с использованием вспомогательных выработок 10 и оставлением целика с для охраны выработок 1, 2, 3 панельного направления. После подготовки верхнего выемочного столба и отхода верхней лавы от монтажного штрека на 400 м и более проводятся выемочные штреки 8, 9 нижней лавы под выработанным пространством верхней лавы с использованием вспомогательных выработок 11, вентиляционных кроссингов 13 и рудоспусков 14. Отставание забоев подготовительных выработок нижней лавы от очистного забоя верхней лавы должно быть не менее 100 м.

***Слоевая выемка пласта Третьего калийного горизонта
с селективной отработкой слоев 2, 2-3 и 3 нижней лавой
и закладкой разрушенного галита в выработанное пространство
в виде породных полос при отдельной подготовке слоевых лав***

На рис. 20 приведена технологическая схема слоевой селективной выемки с последовательной отработкой слоев пласта Третьего калийного горизонта. Как и в схеме, приведенной на рис. 17, данная технологическая схема предназначена для участков пласта, где подготовительные выработки верхней лавы представляется возможным проводить выше кровли нижней лавы и где возможно поддержание конвейерного штрека 2 верхней лавы с уменьшенной до 3,2–3,8 м шириной при использовании более совершенных телескопических конвейерных линий в панели.

От приведенной на рис. 17 технологической схемы данная схема отличается расположением транспортного штрека 4 в поле нижней лавы и размещением на его сопряжении с лавой закладочной установки с роторным метателем. При этом длина очистных забоев определяется в основном длиной забойного конвейера как в верхней, так и в нижней лавах при условии размещения модернизированного привода в концевой части лавы с возможностью выхода шнека комбайна на транспортный штрек, в котором на сопряжении с лавой отсутствует

механизированная крепь сопряжения. При использовании не более трех закладочных установок с роторными метателями для селективной выемки слоев 2, 2-3 и 3 длина лав по условиям размещения породы в породные полосы не должна превышать 250 м. Причем в процессе возведения породных полос оставляется часть поперечного сечения конвейерного штрека нижней лавы для проветривания прилегающей части очистного забоя отстоящей смежной лавы путем установки в конвейерном штреке отбойных щитов 10.

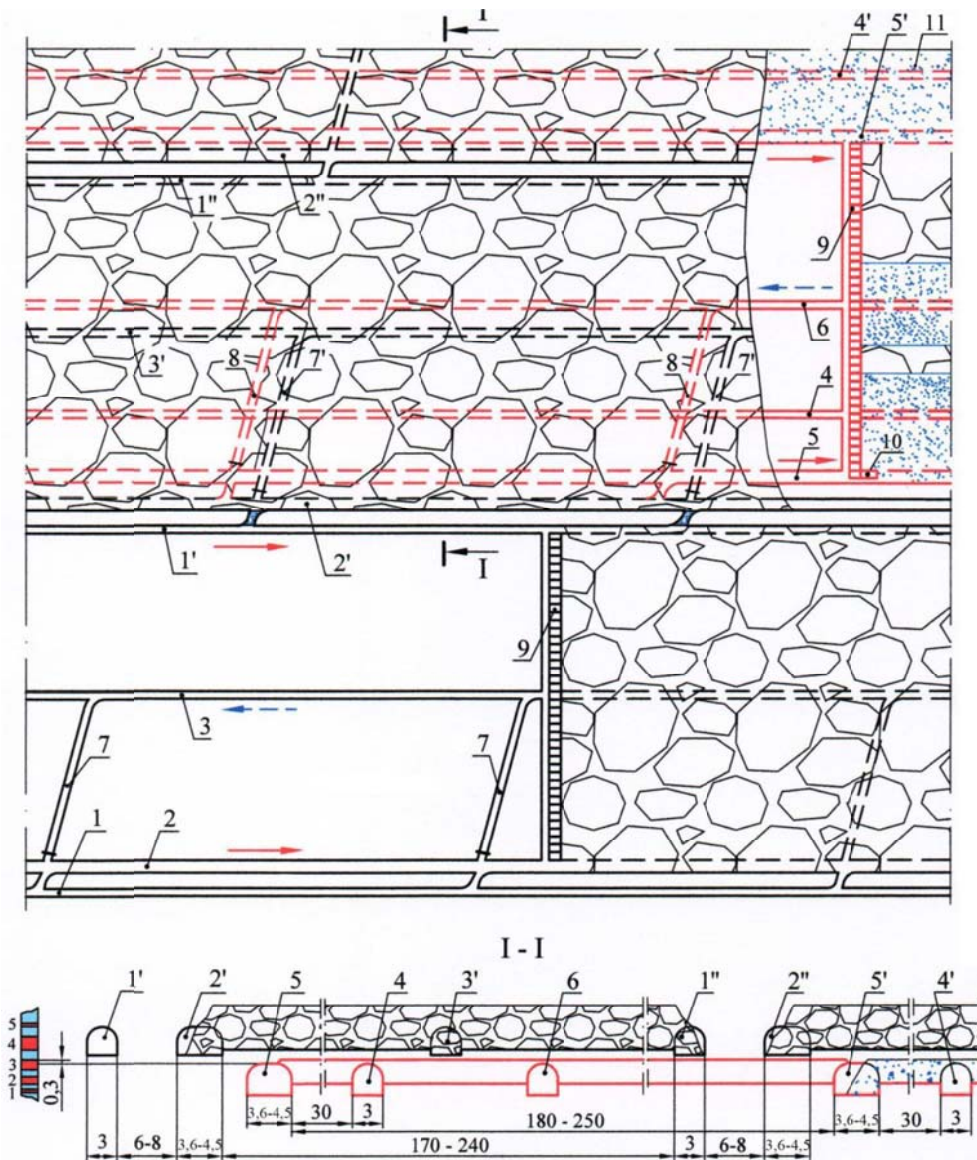


Рис. 20. Технологическая схема слоевой селективной выемки пласта
Третьего калийного горизонта с последовательной обработкой слоев:

- 1, 4 – панельные транспортные штреки; 1' – повторно используемый транспортный штрек верхней лавы; 1'', 2'' – транспортный и конвейерный штреки верхней смежной лавы;
2, 3 – конвейерный и вентиляционный штреки верхней лавы; 2', 3' – конвейерный, вентиляционный штреки верхней лавы; 4' – транспортный штрек нижней смежной лавы;
5, 6 – конвейерный и вентиляционный штреки нижней лавы; 5' – повторно используемый конвейерный штрек нижней лавы только для проветривания прилегающей к нему части очистного забоя; 7, 8 – слоевые вспомогательные выработки; 9 – забойная крепь;
10 – отбойный щит; 11 – породные полосы

Комбинированные системы разработки пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения калийных солей

На рис. 21 представлена технологическая схема комбинированной системы разработки пласта Третьего калийного горизонта с блоковой схемой отработки нижних слоев 2, 2-3 и 3. Система разработки применяется в благоприятных горно-геологических условиях: глубина залегания не более 700 м, наличие в кровле устойчивых 5 и 6 сильвинитовых слоев, к которым осуществляется привязка подготовительных выработок лавы. Подготовка панели начинается с проведения панельных (транспортного 1, конвейерного 2, вентиляционных 3) штреков и вентиляционных кроссингов 9. По мере проходки выработок панельного направления проводятся конвейерный 4, вентиляционный 5, транспортный 6 и разгружающие 7 штреки верхней лавы. Отгрузка руды из выработок верхнего слоя осуществляется через рудоспуски 13 на вспомогательные выработки 12 и далее на панельный конвейер. Подготовка нижних слоев для камерной системы начинается при достижении пролета отработки верхней лавы не менее 400 м. Проходятся блоковые (транспортный 1', конвейерный 2', вентиляционный 3', стартовый 10) штреки и выработка 11 для складирования породы, образовавшейся от поддира почвы транспортных выработок. Как и при камерной системе, очистная выемка по нижним слоям пласта может вестись в 2–3 блоках одновременно в зависимости от организации очистных работ.

Проветривание забоев осуществляется следующим образом. Свежая струя воздуха в лаву поступает по конвейерному 4 и транспортному 6 штрекам, а исходящая из лавы выходит по вентиляционному 5 штреку и уходит далее к стволу. Свежая струя воздуха в очистные блоки поступает по панельным и блоковым (транспортным 1', конвейерным 2') штрекам, омывает с помощью вентиляторов местного проветривания забои очистных камер и по блоковому вентиляционному 3' штреку, кроссингам 9 уходит на панельный вентиляционный 3 штрек и далее к стволу.

На участках с неустойчивой кровлей, а также в условиях больших глубин подготовительные выработки лавы по 4 сильвинитовому слою проводятся с оставлением в кровле пачки 4 сильвинитового слоя. В связи с этим подготовку панели рекомендуется осуществлять для ее отработки по панельно-блоковой схеме, которая представлена на рис. 22. В данном варианте комбинированной системы разработки кроме основных панельных выработок 1, 2, 3 предусматривается проведение под выработанным пространством лавы дублирующих панельных штреков 11, 12, 13 и стартового штрека 10. Панельные штреки 11, 12, 13 выполняют одновременно функции блоковых штреков и используются для оформления камер разворота комбайна, с которых ведется отработка нижних слоев в надработанном лавой массиве камерной системой по панельной схеме с расположением очистных ходов перпендикулярно или под углом к продольной оси панели.

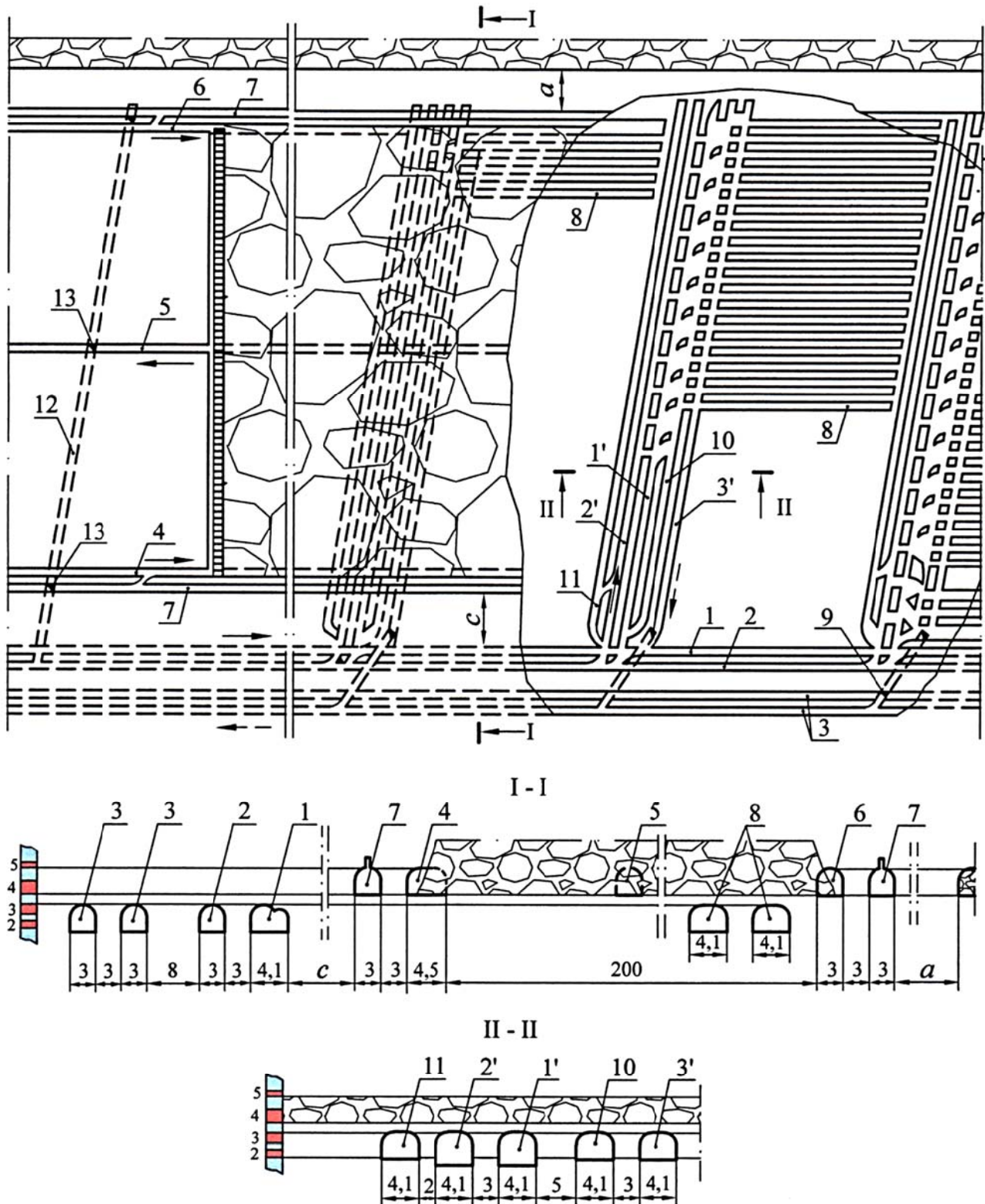


Рис. 21. Комбинированная система разработки с блоковой схемой подготовки и обработки нижних слоев пласта:

1, 2, 3, 1', 2', 3' – панельные и блоковые транспортные, конвейерные и вентиляционные штреки; 4, 5, 6, 7 – конвейерный, вентиляционный, транспортный и разгружающие штреки лавы 4 сальвинитового слоя; 8 – очистные камеры; 9 – вентиляционные кроссинги; 10 – стартовый штрек; 11 – выработка складирования породы; 12 – вспомогательная выработка; 13 – рудоспуск

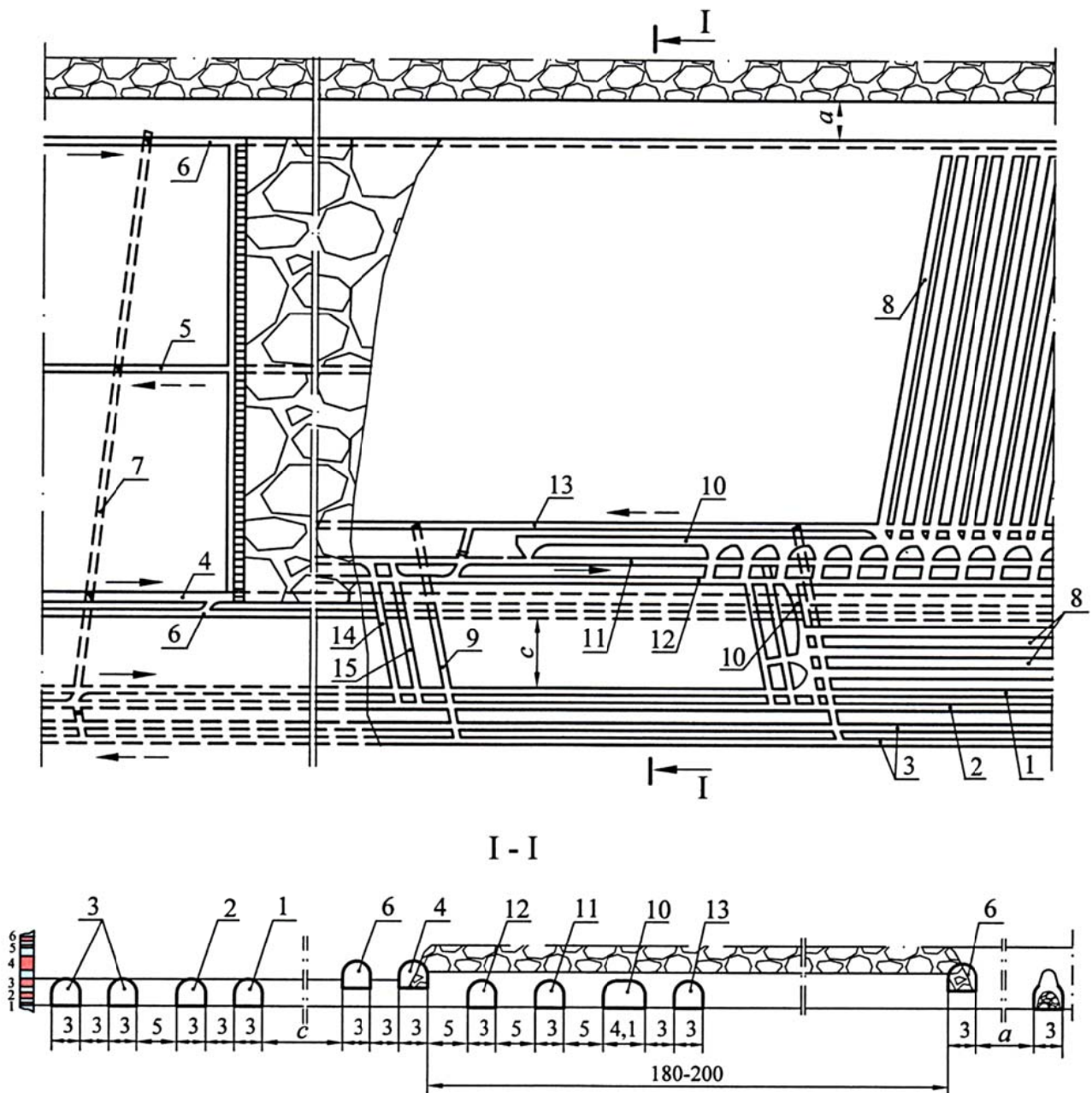


Рис. 22. Комбинированная система разработки с панельно-блоковой схемой подготовки и отработки нижних слоев пласта:

- 1, 2, 3 – панельные транспортный, конвейерный и вентиляционные штреки;
 4, 5, 6 – конвейерный, вентиляционный и транспортные штреки лавы;
 7 – вспомогательные выработки; 8 – очистные камеры; 9 – вентиляционные кроссинги;
 10 – стартовые штреки; 11, 12, 13 – блоковые транспортный, конвейерный и вентиляционный штреки; 14, 15 – конвейерные и транспортные сбойки

Отработка нижних слоев во внутрипанельном целике ведется по блоковой схеме с использованием в качестве блоковых штреков технологических сбоек 14, 15 и вентиляционных кроссингов 9 с проходкой между ними стартовых штреков 10. При этом после проходки каждого очередного стартового штрека отгрузка руды из очистных работ панельной схемы переводится на следующую конвейерную сбойку. Это позволяет вести независимую очистную выемку

нижних слоев под выработанным пространством и во внутрипанельном целике с опережающей отработкой основных запасов в надработанной части панели. Проветривание забоя лавы осуществляется так же, как и в приведенной на рис. 21 схеме: в камеры под выработанным пространством свежая струя воздуха подается по панельным штрекам 1, 2 и транспортным сбойкам 14, 15 на дублирующие панельные транспортный 11 и конвейерный 12 штреки, омывает с помощью вентиляторов местного проветривания забои очистных камер и по дублирующему панельному вентиляционному штреку 13, кроссингу 9 уходит на панельный вентиляционный штрек 3. В блоки внутрипанельного целика свежая струя воздуха поступает по панельным транспортному 1 и конвейерному 2 штрекам, транспортным сбойкам 14, 15, омывает с помощью вентиляторов местного проветривания забои очистных камер и уходит по кроссингу 9 на панельный вентиляционный штрек 3 и далее к стволу.

Приведенные на рис. 21–22 технологические схемы характеризуются большим объемом горно-подготовительных работ по нижним слоям и недостаточным извлечением запасов полезного ископаемого из-за необходимости оставления широких внутри- и междупанельных целиков.

Указанные недостатки устраняются в технологической схеме комбинированной системы разработки, представленной на рис. 23. Подготовка панели по данной схеме начинается с проведения в нижних слоях панельных (транспортного 1, конвейерного 2 и вентиляционного 3) штреков, которые располагаются в пределах выемочного столба лавы. По мере проведения панельных выработок проходятся выемочные (транспортный 4, конвейерный 5 и вентиляционный 6) штреки лавы по 4 сильвинитовому слою с использованием вспомогательных выработок 8 и рудоспусков 11 с оставлением между транспортным и конвейерным штреками целика шириной до 10 м. Транспортный штрек 4 (4') предусматривается использовать повторно в смежной лаве только для подачи в нее свежего воздуха без доставки оборудования и передвижения людей.

Очистная выемка нижних слоев камерной системой ведется по панельной схеме двумя комбайнами, один из которых проводит участками стартовый штрек 7 между панельными транспортным 1 и вентиляционным 3 штреками и разделяет камеры разворота, а другой комбайн ведет очистную выемку с расположением очистных ходов перпендикулярно или под углом к продольной оси панели. Панельные штреки 11, 12, 13 выполняют одновременно функции блоковых штреков и используются для оформления камер разворота комбайна, с которых ведется отработка нижних слоев в надработанном лавой массиве камерной системой по панельной схеме с расположением очистных ходов перпендикулярно или под углом к продольной оси панели. Стартовый штрек проводится с отставанием от забоя лавы не менее 80 м и после окончания проведения каждого из его участков сбивается с транспортным штреком. Затем комбайн отгоняется и продолжает опережающую разделку камер разворота с оформлением сбоек с панельным конвейерным штреком 2.

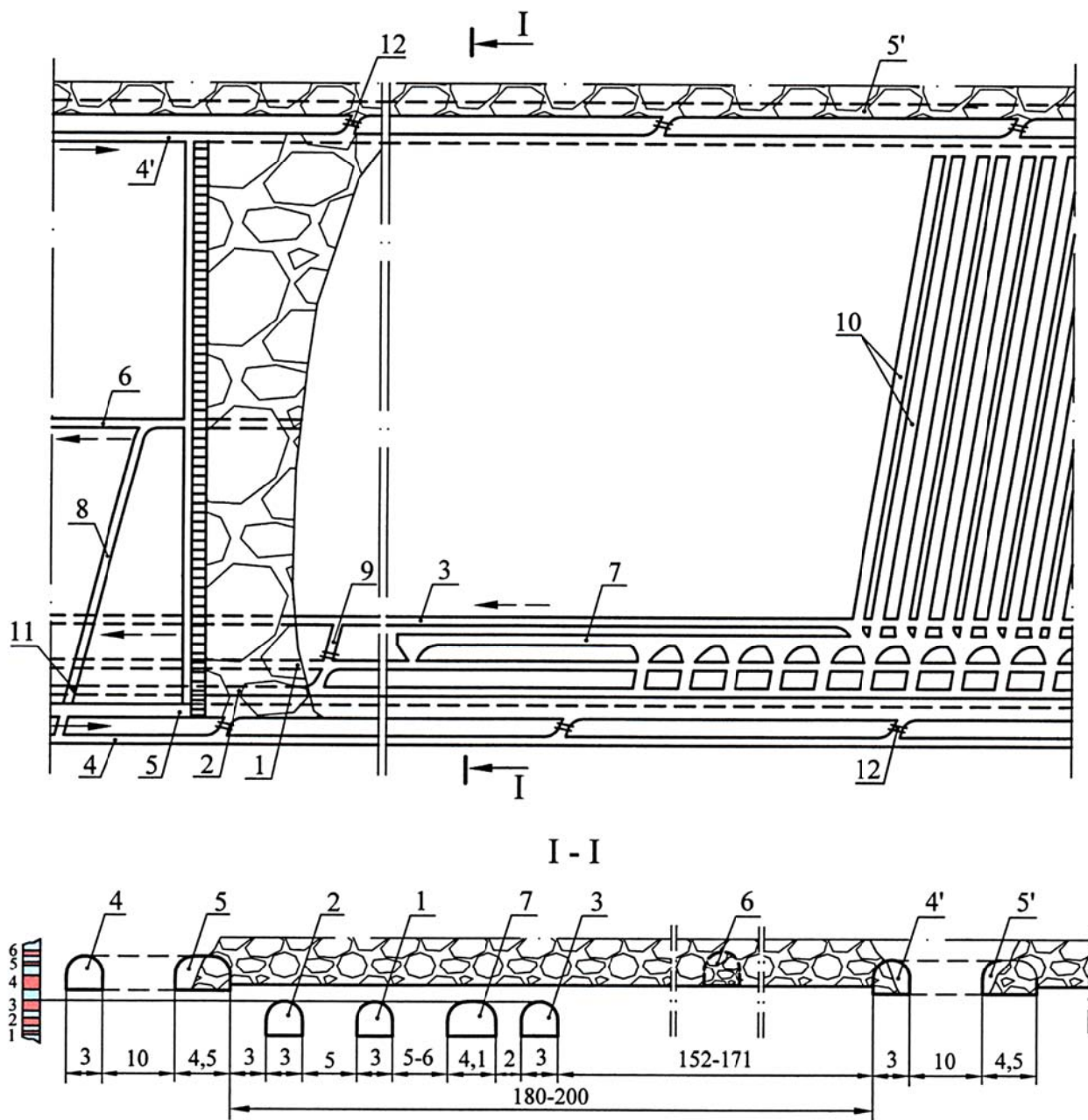


Рис. 23. Комбинированная система разработки с панельной схемой подготовки и отработки нижних слоев пласта:

1, 2, 3 – панельные транспортный, конвейерный и вентиляционный штреки, надрабатываемые лавой; 4, 4', 5, 5', 6 – транспортные, конвейерные и вентиляционный штреки лавы; 7 – стартовый штрек, 8, 9 – вспомогательные выработки; 10 – очистные камеры; 11 – рудоспуск; 12 – изолирующие вентиляционные перемычки

Проветривание забоев осуществляется следующим образом. Свежая струя воздуха в лаву поступает по транспортным 4 и 4' и конвейерному 5 штрекам, а исходящая из очистного забоя идет по вентиляционному штреку 6 лавы. Свежая струя воздуха в очистные камеры поступает по панельным транспортному, конвейерному и стартовому штрекам, омывает с помощью вентилятора местного проветривания забои очистных камер и по панельному вентиляционному штреку уходит на главный вентиляционный штрек.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Emons, H.-H. Die Kaliindustrie: Geschichte eines deutschen Wirtschaftszweiges / H.-H. Emons // Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät / Leibniz-Sozietät, Trafo-Verlag. – Berlin, 2002. – 140 p.
2. Опыт применения автоматизированных систем мониторинга горного давления с программным обеспечением ПрОК в слоевых лавах пласта Третьего калийного горизонта / И. И. Головатый [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 5–14.
3. Головатый, И. И. Особенности разработки Петриковского месторождения калийных солей / И. И. Головатый, А. Б. Петровский, А. П. Дворник // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 2. – С. 5–15.
4. Горное дело. Выработки горные. Термины и определения: ГОСТ Р 57719-2017. – Введ. 26.09.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 20 с.
5. Горное дело : практикум для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)» / сост.: Н. И. Березовский, Е. К. Костюкевич. – Минск : БНТУ, 2019. – 39 с.
6. Горное дело : практикум для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)» / сост.: Е. К. Костюкевич, Н. И. Березовский. – Минск : БНТУ, 2020. – 46 с.
7. Иванцов, В. М. Основы подземной разработки рудных месторождений: учеб. пособие / В. М. Иванцов, Б. А. Ахпашев. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019. – 258 с.
8. Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении. – Солигорск, 2018. – 204 с.
9. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении. – Солигорск, 2018. – 146 с.
10. Петровский, Б. И. Подземные горные работы : учебное пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений Полезных ископаемых» / Б. И. Петровский. – Солигорск : БНТУ, 2019 – 150 с.
11. Соловьев, В. А. Поддержание горных выработок в породах соленосной толщи: Теория и практика / В. А. Соловьев, В. Н. Аптуков, И. Б. Ваулина. – Новосибирск : Наука, 2017. – 264 с.
12. Подземная разработка рудных месторождений : техн. альбом / сост. В. А. Соловьев. – Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 209 с.
13. Технология подземной разработки калийных руд / В. Г. Зильбершмидт [и др.]. – М. : Недра, 1977. – 287 с.
14. Шахтное и подземное строительство. Модуль 1 – Строительство горизонтальных выработок : конспект лекций / сост. Ю. П. Требуш. – Красноярск : ИГДГиГ СФУ, 2018. – 379 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Системы разработки рудных месторождений и их классификация	4
Системы разработки калийных месторождений.....	6
Характеристики месторождений калийных руд Республики Беларусь	11
Системы разработки на участках и горизонтах Старобинского месторождения калийных руд.....	14
Примеры технологических схем систем разработки калийных месторождений	18
Список использованных источников	49

Учебное издание

КОСТЮКЕВИЧ Елена Казимировна
БЕРЕЗОВСКИЙ Николай Иванович

ГОРНОЕ ДЕЛО

Учебно-методическое пособие для студентов специальности
1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)»

Редактор *Н. Ю. Казакова*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 27.12.2022. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 5,92. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 100. Заказ 592.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.