

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Санкт-Петербургский горный университет»

*На правах рукописи*

Сокол Денис Геннадьевич



РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕНСИВНОЙ  
ОТРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ДЛИННЫМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ  
В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ

Специальность 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Зубов В.П.

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ДЛИННЫМИ СТОЛБАМИ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Технологические схемы с валовой выемкой слоёв .....	13
1.2 Технологические схемы с селективной выемкой слоёв.....	22
1.3 Технологические схемы с разделением пласта на наклонные слои.....	28
1.4 Выводы по Главе 1.....	38
<b>ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.....</b>	<b>41</b>
2.1 Тепловой режим калийных рудников.....	41
2.2 Нормирование микроклиматических условий в рудниках Старобинского месторождения.....	44
2.3 Теплотехнические способы регулирования теплового режима.....	47
2.3.1 Шахтные установки кондиционирования воздуха и перспективы их широкого внедрения.....	50
2.4 Горнотехнические способы регулирования теплового режима.....	51
2.5 Выводы по Главе 2.....	54
<b>ГЛАВА 3 ШАХТНЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБАХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ .....</b>	<b>55</b>
3.1 Методика проведения замеров температуры воздуха в очистных забоях....	55
3.2 Описание горнотехнических и горно-геологических условий на исследованных выемочных участках и результатов осуществленных замеров в выемочных столбах Старобинского месторождения.....	58
3.3 Концепция обособленного проветривания лавы и энергопоезда.....	68
3.4 Выводы по Главе 3.....	72
<b>ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ .....</b>	<b>74</b>

4.1	Шахтные исследования состояния участка подготовительных выработок, расположенного за линией очистного забоя лавы.....	74
4.2	Определение минимально необходимой длины поддерживаемого участка по фактору допустимой температуры воздушной струи, подаваемой в лаву.....	80
4.3	Определение области рационального применения разработанной технологии с учётом возможностей охраны выработок и глубины ведения очистных работ...	85
4.4	Технико-экономическая оценка разработанных технологий.....	88
4.5	Выводы по Главе 4.....	92
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>95</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>97</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования и степень ее разработанности**

На современном этапе развития соледобывающие предприятия, в связи с истощением запасов на обрабатываемых шахтных полях, сталкиваются с необходимостью вовлечения в отработку новых, глубокозалегающих и труднодоступных пластов полезного ископаемого. Сложившаяся ситуация накладывает определенные ограничения на возможности наращивания производственных мощностей рудников. Можно отметить, что ресурсы технического перевооружения на сегодняшний день во многом исчерпаны и одним из основных путей улучшения технико-экономических показателей производства является усовершенствование используемых технологий добычи, основанных на использовании бесцеликовых систем разработки длинными столбами.

К числу основных тенденций, определяющих направления совершенствования ресурсосберегающих технологий отработки калийных пластов на рудниках ОАО «Беларуськалий», относятся: постоянный рост энерговооруженности очистного оборудования; увеличение глубины горных работ и связанное с этим увеличение температуры вмещающих пород; повышение концентрации горных работ; актуализация социальных вопросов, связанных с обеспечением условий труда в соответствии с санитарными нормами и правилами безопасности.

Существенный вклад в совершенствование технологий отработки калийных пластов длинными очистными забоями, с учетом изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условий, внесли Санкт-Петербургский горный университет, ОАО «Белгорхимпром», ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Горный институт УрО РАН и другие организации. На современное состояние и перспективы совершенствования технологий отработки калийных пластов на рудниках Старобинского месторождения значительное влияние оказали результаты исследований С.Г. Губанова, Ю.Д. Дядькина, В.П. Зубова, А.В. Зайцева, П.А. Калугина, О.В. Ковалева, А.Е. Красноштейна, Б.И. Петровского, В.Я. Прушака,

Ю.Г. Сиренко, А.Д. Смычника. Практический опыт отработки Старобинского месторождения убедительно подтвердил правильность выдвинутой в 2002–2003 гг. сотрудниками Горного университета и ОАО «Белгорхимпром» концепции о перспективных направлениях совершенствования технологий отработки основных продуктивных пластов Старобинского месторождения. Основой данной концепции является положение «...о необходимости ведения очистных работ без оставления целиков полезного ископаемого между выемочными столбами или с оставлением между столбами податливых целиков с размерами, при которых происходит их разрушение горным давлением в выработанном пространстве» [13]. Ресурсосберегающие технологии, разработанные с учетом указанной концепции, при проектировании горных работ на рудниках ОАО «Беларуськалий» относятся к числу наиболее перспективных.

Переход на использование в лавах высокопроизводительных комбайнов с установленной мощностью электродвигателей 480–550 кВт и более позволяет добывать из одного очистного забоя до 2 млн. т руды в год. Вместе с тем высокая энерговооруженность очистного оборудования в сочетании с достигнутой глубиной ведения очистных работ является одной из основных причин повышенной температуры воздуха в очистных забоях. Практически во всех панелях при глубинах разработки продуктивных пластов 500–600 м и более температура воздушных струй в комплексно механизированных лавах превышает предельно допустимые значения ( $+26^{\circ}\text{C}$ ), определенные с учетом обеспечения условий для безопасного и производительного труда горнорабочих и регламентируемые действующими нормативными документами [10]. Известные подземные системы кондиционирования для снижения температуры воздуха в лавах не нашли широкого применения на рудниках ОАО «Беларуськалий» из-за существенных экономических затрат и сложности адаптации этих систем к применяемым ресурсосберегающим технологиям. Фактическое превышение температур в лавах достигает 5–9 °C.

## **Цели и задачи**

Цель работы – разработка ресурсосберегающих технологий отработки калийных пластов длинными очистными забоями в условиях глубоких горизонтов, обеспечивающих снижение температуры воздуха в лавах, характеризующихся высокой энерговооруженностью очистного оборудования, без применения подземных систем кондиционирования воздуха.

Основные задачи исследований:

1. Установление основных направлений совершенствования известных технологий разработки калийных пластов длинными очистными забоями с учетом увеличения глубины горных работ.

2. Оценка эффективности известных способов снижения температуры воздуха в лавах при отработке пластов полезных ископаемых на больших глубинах длинными очистными забоями с использованием высокопроизводительных очистных механизированных комплексов.

3. Исследование влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на температуру воздуха на различных участках по длине лавы.

4. Определение параметров разработанной ресурсосберегающей технологии отработки калийных пластов, характеризующихся высокой энерговооруженностью очистного оборудования.

## **Научная новизна:**

1. Установлены зависимости температуры воздуха, поступающего в лаву при использовании рекомендуемой бесцеликовой технологии интенсивной отработки калийных пластов, от длины поддерживаемого за лавой участка воздухоподающей выработки и температуры вмещающих пород.

2. Установлены факторы, влияющие на закономерности изменения температуры воздушной струи в пределах выемочного участка при использовании бесцеликовых технологий интенсивной отработки калийных пластов лавами, характеризующимися высокой энерговооруженностью очистного оборудования.

### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Разработаны экономически эффективные технологии выемки калийных пластов, позволяющие в условиях глубоких горизонтов снизить температуру воздуха в лаве без применения подземных систем кондиционирования воздуха.
2. Определены параметры бесцеликовых технологий разработки калийных пластов лавами, оборудованными высокопроизводительными очистными механизированными комплексами с высокой энерговооруженностью.

### **Методология и методы исследований**

Для решения поставленных задач использован комплексный метод исследований, включающий системный анализ применяемых технологий разработки калийных пластов длинными столбами; шахтные исследования влияния горнотехнических факторов на формирование температурного режима в подготовительных выработках и очистных забоях; технико-экономическую оценку разработанных технологий.

### **Основные защищаемые положения:**

1. При использовании известных технологий отработки калийных пластов длинными очистными забоями с использованием высокопроизводительных очистных механизированных комплексов определяющее влияние на температуру воздушной струи на входе в лаву оказывают место расположения энергопоезда лавы, глубина горных работ, температура пород в выработанном пространстве, расстояние от лавы до магистральной воздухоподающей выработки. В условиях рудников ОАО «Беларуськалий» при расположении энергопоезда в конвейерном штреке впереди забоя лавы температура струи воздуха на входе в лаву превышает ее предельно допустимые значения, регламентируемые санитарными нормами, на 6-9°C.
2. При отработке калийных пластов лавами, характеризующимися высокой энерговооруженностью очистного оборудования, снижение температуры воздуха в призабойном пространстве лав без применения подземных систем кондиционирования воздуха достигается при использовании разработанной

технологии, включающей подачу воздуха в лаву по выработке определенной длины, поддерживаемой за лавой и обеспечивающей возможность обособленного проветривания лавы и энергопоезда, а также охлаждение поступающей в лаву струи воздуха за счёт теплообмена с вмещающими породами.

3. Использование разработанных ресурсосберегающих технологий отработки калийных пластов длинными очистными забоями позволяет снизить температуру струи воздуха на входе в лаву без применения подземных систем кондиционирования воздуха на 4-9°C при глубинах ведения очистных работ до 850-900м.

**Степень достоверности и апробация результатов** обеспечивается представительным объемом проанализированных данных шахтных исследований; использованием современных методов и инструментов анализа; применением апробированных способов обработки результатов и удовлетворительной сходимостью результатов натурных исследований и выполненных вычислений.

Основные результаты выполненных исследований обсуждались на международных и всероссийских конференциях, в том числе: XXVIII Международный научный симпозиум «Неделя горняка - 2020» (г. Москва, 2020 г.); XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых учёных «Россия молодая» (г. Кемерово, 2020 г.); X Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.).

### **Публикации**

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе: в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК); в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получены 2 патента.



### **Структура диссертации**

Диссертация состоит из оглавления, введения, четырёх глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 51 наименование. Диссертация изложена на 102 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков и 4 таблицы.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Зубову Владимиру Павловичу за помощь, оказанную при работе над диссертацией, сотрудникам кафедры РМПИ Санкт-Петербургского Горного университета, а также сотрудникам ОАО «Беларуськалий» за помощь в организации шахтных исследований и предоставленные информационные материалы.

## **ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОТРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ДЛИННЫМИ СТОЛБАМИ**

При отработке соляных месторождений на сегодняшний день применяются следующие системы разработки:

- камерная система разработки;
- система разработки длинными столбами;
- комбинированная система разработки.

Камерная система разработки, как правило, применяется на отдельных участках со сложной геометрией контура шахтного поля, в краевых зонах пласта, а также в тех случаях, когда не обеспечивается достаточная и эффективная мощность водозащитной толщи при применении иных систем разработки.

При использовании камерной системы разработки в выработанном пространстве оставляют целики. Целики могут быть жесткими с высокой несущей способностью, а также податливые, разрушающиеся под влиянием горного давлением. В зависимости от типа целиков данный вид системы разработки может применяться на различных глубинах.

Следующий тип системы разработки – с использованием длинных очистных забоев, предполагает разделение процесса выемки во времени на очистные и подготовительные работы. Подготовительные выработки оконтуривают границы выемочного столба и проводятся до начала очистных работ. Непосредственно выемочный столб отрабатывается при использовании механизированных очистных комплексов в прямом или, чаще, обратном порядке. Такая система может применяться при любых углах падения пластов. Нашла широкое применение на пластах мощностью от 1м до 3,5м. Управление горным давлением в лаве осуществляется полным обрушением, кроме того, иногда применяется частичная или, реже, полная закладка выработанного пространства пустой породой.

На соляных месторождениях для системы разработки длинными столбами характерна возвратноточная схема проветривания выемочного участка, при

которой создается разнонаправленное движение свежей и исходящей струй воздуха. Длина выемочных столбов, как правило, составляет 1500-3500м, а длина лавы – 150-300м.

Основными преимуществами системы разработки длинными столбами в сравнении с существующими аналогами являются более высокая сменная производительность, рост качественных показателей выдаваемой руды и безопасная эксплуатация подрабатываемых объектов при сохранении максимально возможного коэффициента извлечения полезного ископаемого [49].

При использовании системы разработки длинными столбами применяются различные технологические схемы, которые можно условно поделить на группы по признаку ведения очистной выемки в пласте:

- технологические схемы с валовой выемкой слоев пласта;
- технологические схемы с селективной выемкой слоёв пласта;
- технологические схемы с разделением пласта на технологические слои и последующей их поочередной выемкой.

В данной главе будут рассмотрены все три группы технологических схем, которые на сегодняшний день применяются на Старобинском месторождении калийных солей.

Отдельного упоминания заслуживают бесцеликовые технологические схемы выемки – это технологические схемы, при которых выемка полезного ископаемого осуществляется без оставления целиков между выемочными столбами или с оставлением податливых целиков, размеры которых обеспечивают их разрушение в выработанном пространстве в результате влияния горного давления в зоне ведения очистных работ [13].

Бесцеликовые технологические схемы являются одним из наиболее перспективных решений, которые применяются при отработке соляных месторождений, где используется система разработки длинными столбами [12,39,19]. Эти схемы позволяют существенно увеличить коэффициент извлечения полезного ископаемого (с 60-70% до 85-90%) [12], снижают вероятность внезапных выбросов соли и газа из почвы в выработанном пространстве очистных забоев,

осуществляющих выемку нижнего технологического слоя. Кроме того, при использовании бесцеликовых технологий обеспечивается безопасность горных работ и сокращение невосполнимых потерь добычи, связанных с динамическими обрушениями пород кровли в выработанном пространстве лав нижнего технологического слоя [13,9]. До недавнего времени охрана не менее 90% от общей протяжённости подготовительных выработок осуществлялась посредством оставления в выработанном пространстве межстолбовых целиков. К существенным недостаткам данного способа охраны подготовительных выработок можно отнести: неизбежное увеличение потерь полезного ископаемого при увеличении размеров межстолбовых целиков; при разработке пластов сложного строения оставляемые по верхнему технологическому слою целики оказывают отрицательное влияние на геомеханические условия ведения горных работ в наработанном нижнем технологическом слое. Поэтому с 2010 года началось внедрение бесцеликовых технологий для охраны подготовительных выработок, которые подразумевают оставление межстолбовых целиков полезного ископаемого и их последующую выемку тупиковой частью забоя лавы отстающего смежного очистного забоя. При этом в зависимости от конкретных горно-геологических условий извлечение охранного целика в данном случае может осуществляться как на всю его величину, так и частично с оставлением в выработанном пространстве полезного ископаемого. Следует отметить, что согласно действующих «Правилами по обеспечению промышленной безопасности...» величина извлекаемого при таком способе выемки охранного целика или его части не может превышать 25 метров. Это связано с требованиями к параметрам проветривания тупиковой части выемочного столба и накладывает определённые ограничения на применение подобных технологических схем, в особенности в тех случаях, когда охранный целик извлекается на всю его величину [34].

Существует также комбинированная система разработки, которая применяется для отработки пластов на глубинах, не превышающих 700 метров. Сущность такой системы состоит в том, что при отработке пластов одновременно

применяются, как система разработки длинными столбами, так и камерная система разработки.

Комбинированная система разработки предполагает извлечение надработанных длинными очистными забоями нижних слоев пласта камерной системой. При этом работы по верхнему и нижнему технологическому слоям могут осуществляться как последовательно, так и параллельно. Данная система разработки находит применение в тех случаях, когда валовая или селективная отработка нижнего технологического слоя длинными столбами экономически нецелесообразна ввиду особенностей геологического строения пласта, например, при наличии на обрабатываемом участке зон замещения.

### **1.1 Технологические схемы с валовой выемкой слоёв**

Использование технологических схем с валовой выемкой предусматривает извлечение сильвинитовых слоев вместе с прослоями пустой породы. Основными недостатками подобной технологии являются увеличение затрат на конвейерное транспортирование отбитой руды из очистного забоя на поверхность, рост затрат на флотационное обогащение этой руды, а также увеличение объемов отходов процесса обогащения, а следовательно, и увеличение площадей земельных угодий, используемых для создания солеотвалов на поверхности.

На Рисунок 1.1 представлена технологическая схема с валовой выемкой слоёв и обратным порядком отработки выемочных столбов. Подготовка столба осуществляется при использовании штреков 1, 2, 3 и вспомогательных выработок 6. Вспомогательные выработки также используются для проведения разгружающего 5 и транспортного 4 штреков. Схема вентиляции очистных и подготовительных забоев предполагает подачу свежей струи воздуха по штрекам 1, 2, 4, при этом исходящая струя воздуха отводится по штреку 3. Транспорт руды в период подготовки столба осуществляется по штреку 1, а в период очистной выемки - по штреку 2.

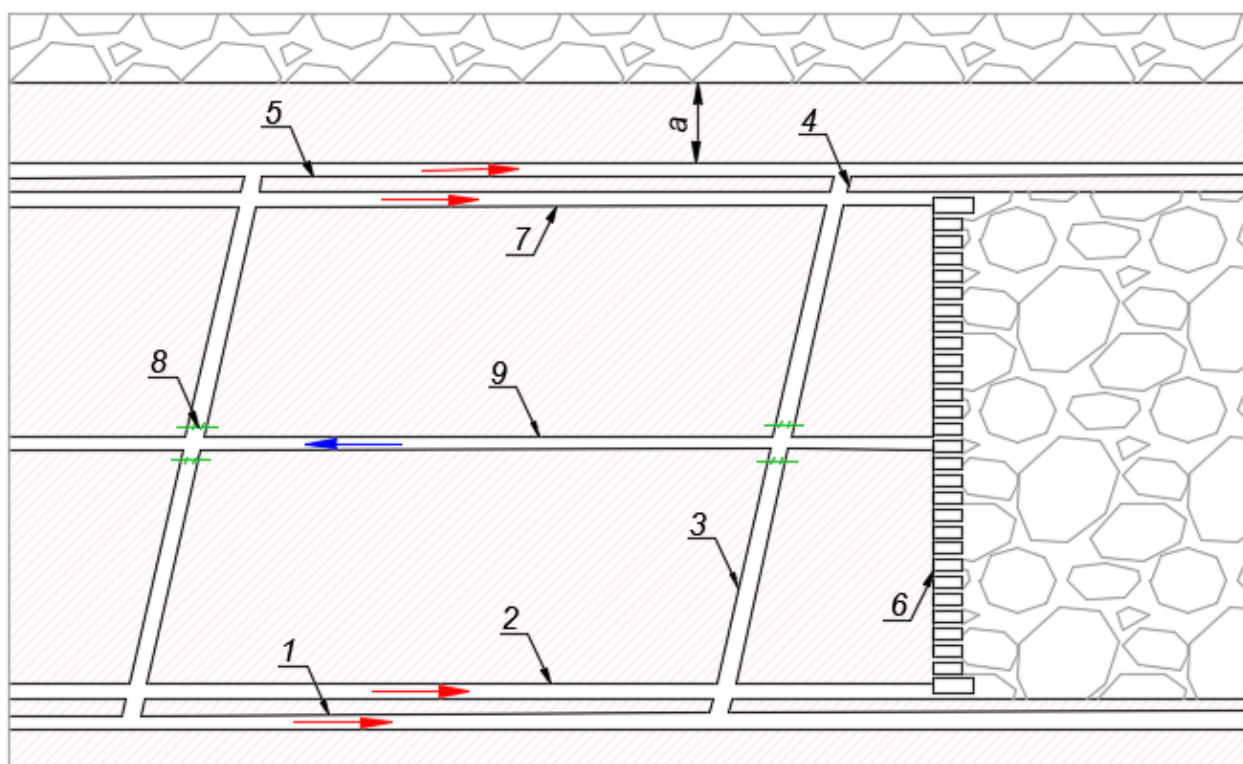


Рисунок 1.1 – Технологическая схема валовой выемки с обратным порядком обработки выемочных столбов

Удельная протяжённость подготовительных выработок в данной технологической схеме выше на 25% выше, чем в схемах с вентиляционным штреком, расположенным в концевом участке выемочного столба. Оставление межстолбовых «а» и межштрековых целиков обуславливает дополнительные потери полезного ископаемого – до 30% по обрабатываемому участку. Данная технологическая схема может быть реализована без штрека 3, тогда штрек 4 выполняет функцию вентиляционного. Это позволяет снизить удельную протяжённость подготовительных выработок, однако в этом случае отработка столба может быть осуществлена только однокомбайновой лавой, что в свою очередь ведёт к снижению нагрузки на очистной забой.

Вспомогательные выработки 6 необходимы для проведения вентиляционного штрека 3 в период подготовки выемочного столба, также по ним осуществляется транспорт руды на конвейерный штрек 1 в период проходки штреков 4 и 5. Но следует отметить, что необходимость проведения вспомогательных выработок 6 в поле лавы приводит не только к росту удельной протяжённости подготовительных выработок и разубоживанию выдаваемой на-гора руды (проходческим комбайном

осуществляется валовая выемка руды при подготовке штрека высотой 3,0 метра), но также усложняет процесс очистной выемки руды в лаве в период перехода забоем лавы вспомогательных выработок 6. Эта технологическая схема ввиду своей простоты получила широкое распространение в рудниках ОАО «Беларуськалий».

На Рисунок 1.2 представлена технологическая схема с валовой выемкой и одновременной отработкой межстолбового целика очистным забоем смежной лавы.

Подготовка панели осуществляется трёхштрековой группой 1, 2, 3, при этом вентиляционный штрек 3 проводится со стороны массива с оставлением временного целика «а», размер которого определяется из условия необходимости поддержания вентиляционного штрека в безопасном состоянии при отработке следующего выемочного столба. При проведении подготовительных работ исходящая струя воздуха движется по штреку 3. Схема вентиляции для очистных работ отражена на графической схеме. К недостаткам данной технологической схемы можно отнести необходимость заполнения рудой технологических сбоек 4 в процессе подготовительных работ по мере исключения их из технологического процесса при подвигании фронта подготовительных работ и для обеспечения изоляции рабочей зоны от проникновения туда горючих газов.

Временный целик извлекается частично тупиковым забоем или полностью с выходом шнека комбайна на транспортный штрек лавы отработанного столба. Следует отметить, что в случае частичного извлечения целика между штреками 2' и 3' максимальная длина тупикового забоя лавы не может превышать 25 метров, что определяется «Правилами по обеспечению промышленной безопасности...» [6]. Частичное извлечение целика между штреками 2' и 3' обуславливает рост потерь полезного ископаемого, но при этом исключает возможность проникновения горючих газов из выработанного пространства соседнего столба в рабочую зону.

Данная технологическая схема допускает возможность полного извлечение временного межстолбового целика с выходом шнека очистного комбайна на штрек 2', преимущество такого варианта исполнения состоит в том, что делает

возможным оставление межстолбового целика с размерами, превышающими 25 метров. При этом вентиляция на участке лавы между штреками 2' и 3' осуществляется через штрек 2', откуда струя воздуха по технологическим сбойкам 4 попадает в вентиляционный штрек 3'. При полном извлечении межстолбового целика расстояние между штреками 1' и 2' увеличивают до 8-10 метров с целью обеспечения устойчивости повторно используемого для проветривания лавы штрека 2'.

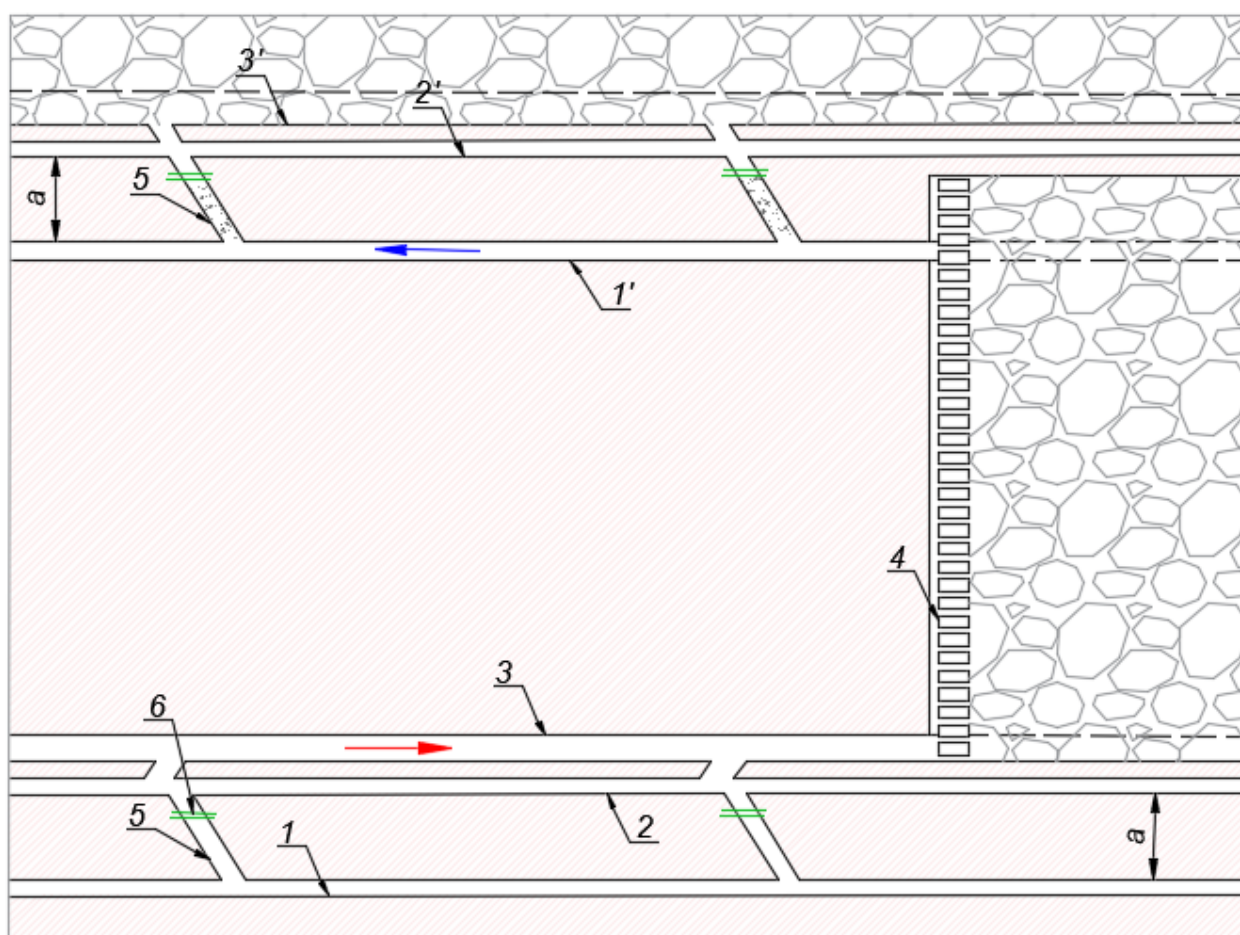


Рисунок 1.2 – Технологическая схема валовой выемки с одновременной отработкой межстолбового целика очистным забоем смежной лавы

Такая технологическая схема с одновременной отработкой межстолбового целика очистным забоем смежной лавы является достаточно универсальной ввиду того, что в зависимости от сложившихся горно-геологических условий она может быть применена в вариантах, как с перспективной бесцеликовой, так и традиционной с оставлением межстолбовых целиков, технологиями.



На Рисунок 1.3 представлена технологическая схема с валовой выемкой пластов и комбинированным порядком обработки выемочных столбов.

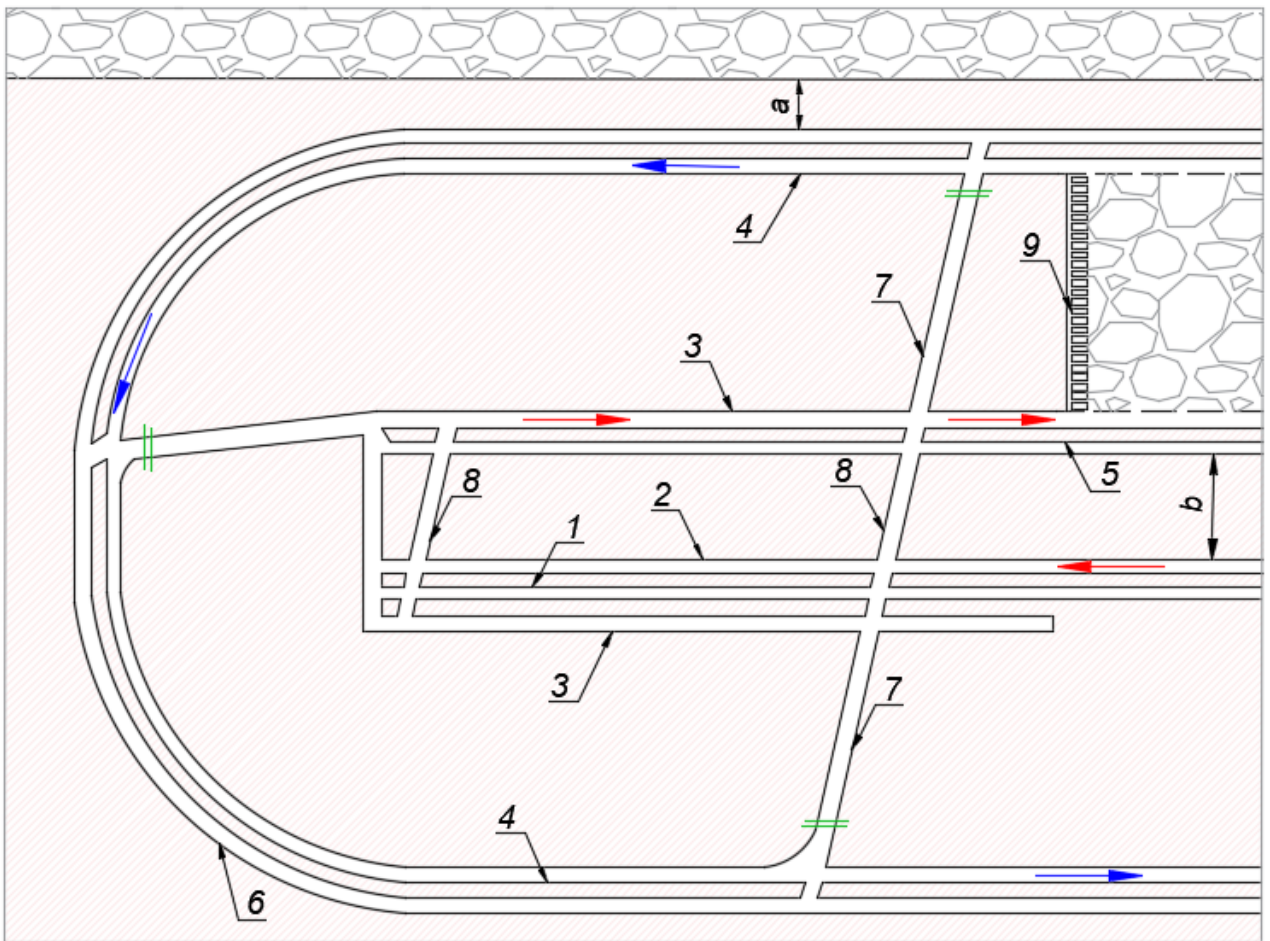


Рисунок 1.3 – Технологическая схема валовой выемки с комбинированным порядком обработки выемочных столбов

Подготовка столба начинается с проведения парных конвейерного 1 и транспортного 2 штреков, а также конвейерного 3, вентиляционного 4 и транспортного 5 штреков, затем осуществляется подготовка вентиляционного штрека 4 столба обратного порядка с использованием вспомогательных выработок 7 для организации проветривания при запуске лавы в столбе прямого порядка отработки.

Область применения такой технологической схемы ограничивается участками пласта, размеры которых позволяют вести отработку только короткими очистными забоями. При этом подобные технологические схемы, с разворотом лавы, позволяют вести отработку участков с ограниченными размерами и увеличить скорость отработки участка за счёт сокращения срока ввода в эксплуатацию

очистного комплекса лавы прямого порядка. Это возможно за счёт того, что монтаж очистного комплекса осуществляется уже после проведения монтажных выработок при завершении подготовки первого короткого столба прямого порядка отработки и исключает необходимость ввода в эксплуатацию очистного комплекса лавы обратного порядка [43]. Но следует отметить, что общие потери полезного ископаемого в описываемой технологической схеме складываются из потерь в межстолбовых целиках а и б, а также потерь на участках, ограниченных краевой зоной пласта, выработанным пространством и радиусом разворота лавы. Таким образом, к недостаткам можно отнести неизбежные дополнительные потери полезного ископаемого, либо необходимость доизвлечения запасов в краевых зонах пласта, что повлечет за собой дополнительные издержки. Сократить потери полезного ископаемого при использовании технологических схем с комбинированным порядком отработки столбов в панели можно за счёт выемки временного целика между столбами тупиковым забоем из лавы прямого или обратного порядка отработки, как показано на Рисунок 1.4.

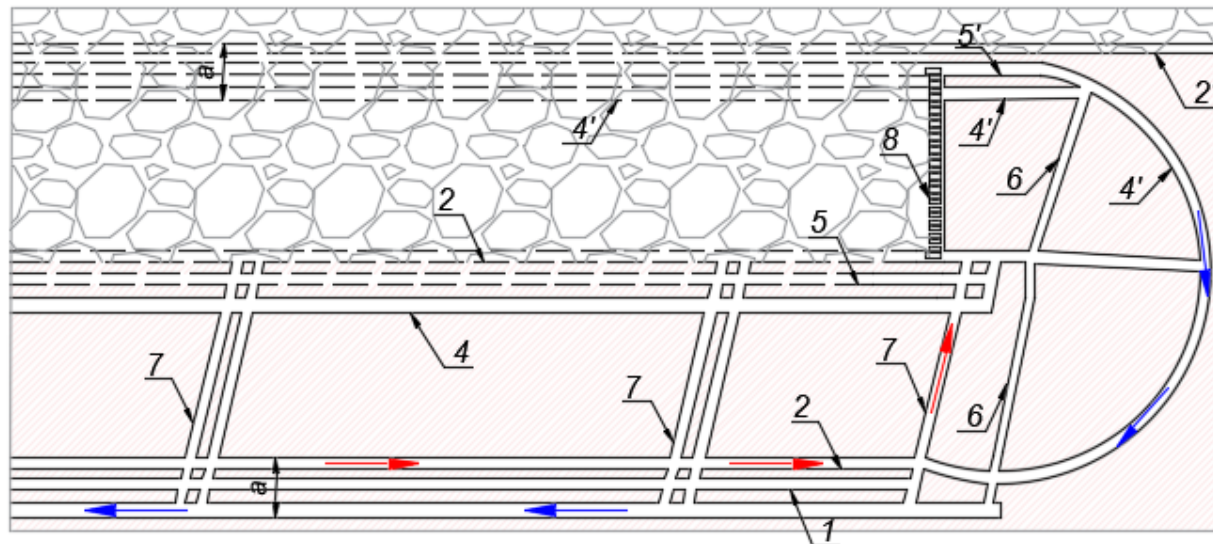


Рисунок 1.4 – Технологическая схема валовой выемки с комбинированным порядком отработки выемочных столбов с извлечением межстолбового целика

Удельная протяжённость подготовительных выработок в приведённой технологической схеме выше на 30%, чем в схемах с подготовкой трёхштрековой группой. Ещё одним недостатком является необходимость подготовки не только

панельного конвейерного штрека, но также отдельных конвейерных штреков лавы и установки в них конвейерных линий для столбов прямого и обратного порядков.

Технологическая схема предусматривает разворот лавы на 180 градусов. Важно, что в схеме с оставлением межстолбового целика разворот осуществляется не вокруг одной точки, а предполагает умеренно-интенсивное движение забоя лавы в нижней его части вокруг подготовительных выработок и охранного целика в. Эта особенность в некоторой степени снижает риск возникновения проблем с поддержанием кровли в крайней части очистного забоя, прилегающей к внутрипанельному охранному целику в, и позволяет исключить необходимость остановки забоя лавы на период перемонтажа штрековых конвейеров.

Зависимость схем вентиляции столбов прямого и обратного порядков обуславливает высокую технологическую сложность вентиляции в целом, что может привести к недостаточно эффективному проветриванию выработок. Перспектива совершенствования технологической схемы с разворотом лавы и извлечением межстолбового целика состоит в поиске технического решения для обеспечения повторного использования конвейерного штрека 2 лавы столба прямого порядка отработки для осуществления транспорта руды при очистной выемке руды в лаве столба обратного порядка. Это позволит полностью исключить потери полезного ископаемого в межстолбовых целиках. Извлечение межпанельного целика между штреками 5' и 2' также возможно очистным комбайном в концевом участке лавы, проветриваемом вентилятором местного проветривания. Однако в этом случае потребуется обязательная предварительная закладка штрека 2'.

Существуют различные варианты технологических схем с комбинированным порядком отработки – так, например, конвейерный 4 штрек может быть расположен не в центре панели, а вдоль ее внешней границы Рисунок 1.5. Как правило, технологические схемы с разворотом очистного комплекса на 180° могут также быть реализованы в варианте исполнения с неоднократным разворотом очистного комплекса.

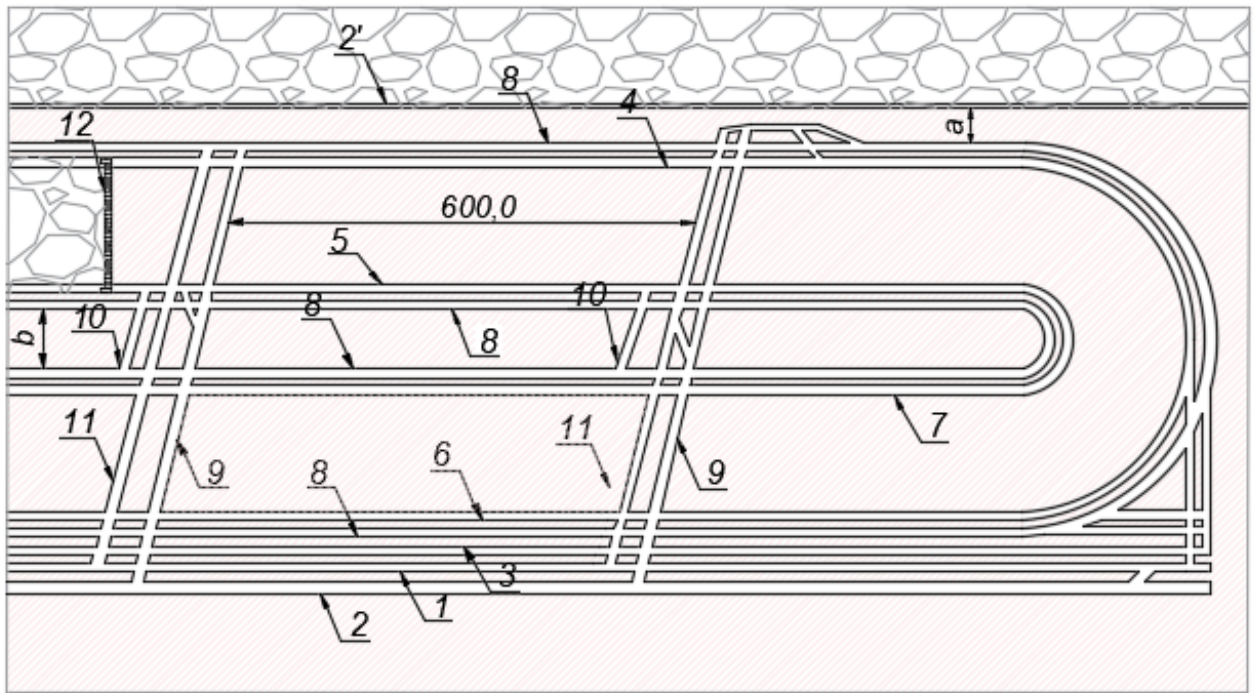


Рисунок 1.5 – Технологическая схема валовой выемки с комбинированным порядком отработки выемочных столбов

На Рисунок 1.6 представлена технологическая схема с валовой выемки слоев пласта и проведением вентиляционного штрека лавы от монтажных выработок в сторону выработок главного направления вплотную к конвейерному штреку соседнего столба.

Подготовительные работы начинаются с проведения на всю длину панели штреков 1, 2, 3, после чего осуществляется последовательная проходка технологических сбоек 5 от монтажных выработок в сторону выработок лавных направлений. Важно, что данная технологическая схема позволяет начать отработку столба сразу после оконтуривания первого участка выемочного столба с четырёх сторон – монтажным, конвейерным, вентиляционным штреками и технологической сбойкой. Длина такого участка выемочного столба может составлять порядка 400-800 метров. Данная особенность технологической схемы позволяет упростить поддержание штрека 4 в безопасном состоянии путём сокращения срока его эксплуатации и начать очистные работы, не дожидаясь окончания подготовки вентиляционного штрека 4.

Между вентиляционным штреком 4 и выработанным пространством смежного выемочного столба остается охранный целик величиной от 3-4м. Сущность осуществления вентиляции поясняется на графической схеме.

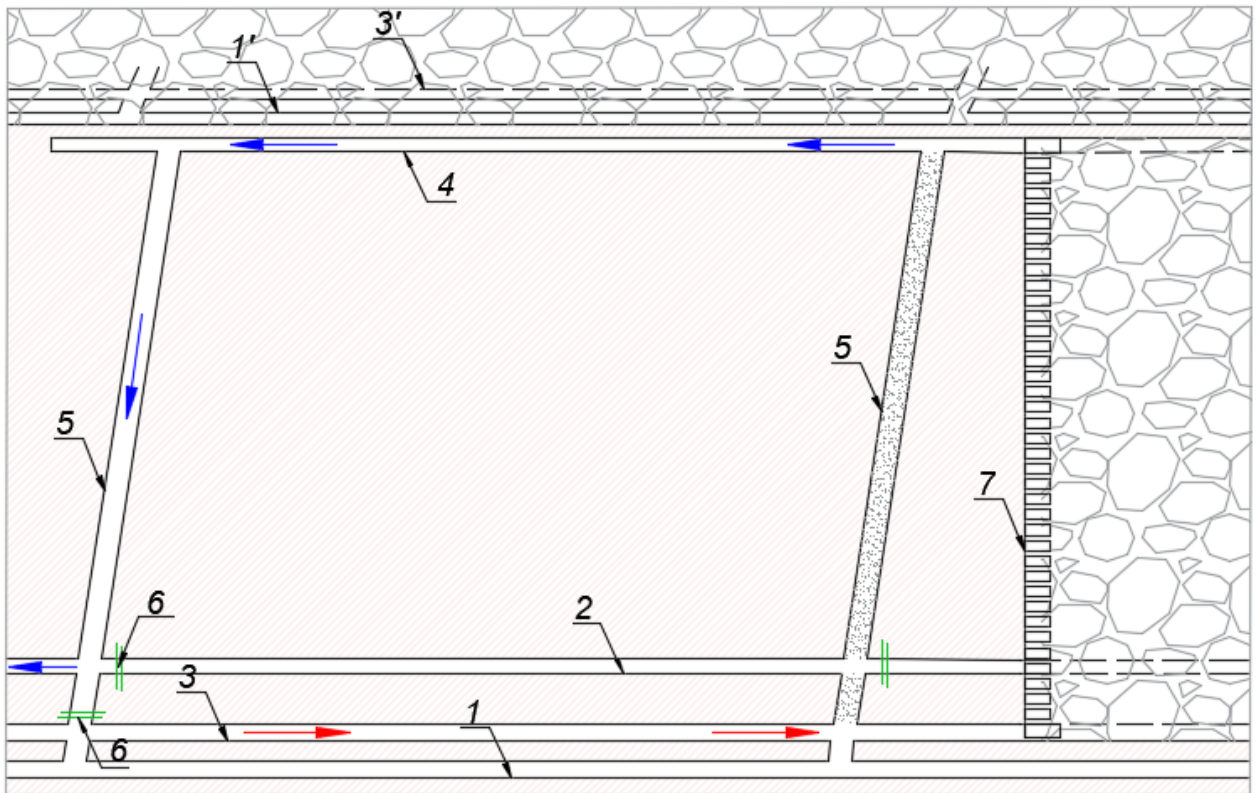


Рисунок 1.6 – Технологическая схема валовой выемки с проведением вентиляционного штрека лавы вплотную к конвейерному штреку соседнего столба

Широкое применение данной технологической схемы ограничивается зависимостью очистных работ в забое лавы от проходческих работ на подготавливаемом участке штрека 4. Транспорт руды от проходки вентиляционного штрека 4 возможно вести только на забойный конвейер или на штрековый конвейер через вентиляционные перемычки 6 - это, в свою очередь, требует установки дополнительного горно-шахтного оборудования. Проветривание забоя в штреке 4 возможно только путём проведения става вентиляционных труб от проходческого комбайна до штрека 3 через вентиляционную перемычку 6. Принимая во внимание высокую удалённость забоя от свежей струи воздуха (до 1000 метров) и присутствие изгибов в вентиляционном ставе, следует отметить сложность проветривания рабочей зоны. Отработка столба при использовании технологической схемы валовой выемки пластов с



проведением вентиляционного штрека лавы от монтажных выработок в сторону выработок главного направления вплотную к конвейерному штреку соседнего столба допускает при необходимости закладку вспомогательных выработок 5 рудой, получаемой при проходке штрека 4 и нарезке компенсационных щелей.

## **1.2 Технологические схемы с селективной выемкой слоёв**

При использовании технологических схем с селективной выемкой сильвинитовые слои извлекаются отдельно от прослоя пустой породы, которая в свою очередь используется для частичной закладки выработанного пространства. При этом количество возводимых в выработанном пространстве породных полос и их габариты определяются из условия мощности отрабатываемого пласта и в частности, породных слоев. Это связано с тем, что используемые закладочные установки имеют определенные ограничения по дальности метания закладываемой породы, таким образом, при заданной длине очистного забоя и существующих высоте выработанного пространства, а также объеме отбитой пустой породы производительность закладочной установки должна обеспечивать возможность свободного размещения всего объема отбитой горной массы, предназначенной для закладки выработанного пространства, в пределах дальности ее метания. В случае, когда это технически не осуществимо, количество закладочных установок, а следовательно, и закладочных штреков должно быть увеличено [17]. При раздельном извлечении слоев полезного ископаемого и пустой породы содержание полезного компонента в добываемой руде повышается 23-28% до 30–35 % в сравнении с валовой выемкой [32]. Кроме повышения качества извлекаемой руды селективная выемка с частичной закладкой выработанного пространства является одним из способов управления кровлей и позволяет обеспечить условия для поддержания выработок в безопасном состоянии или для повторного их использования.

На Рисунок 1.7 представлена технологическая схема селективной выемки слоёв пласта на полную мощность.

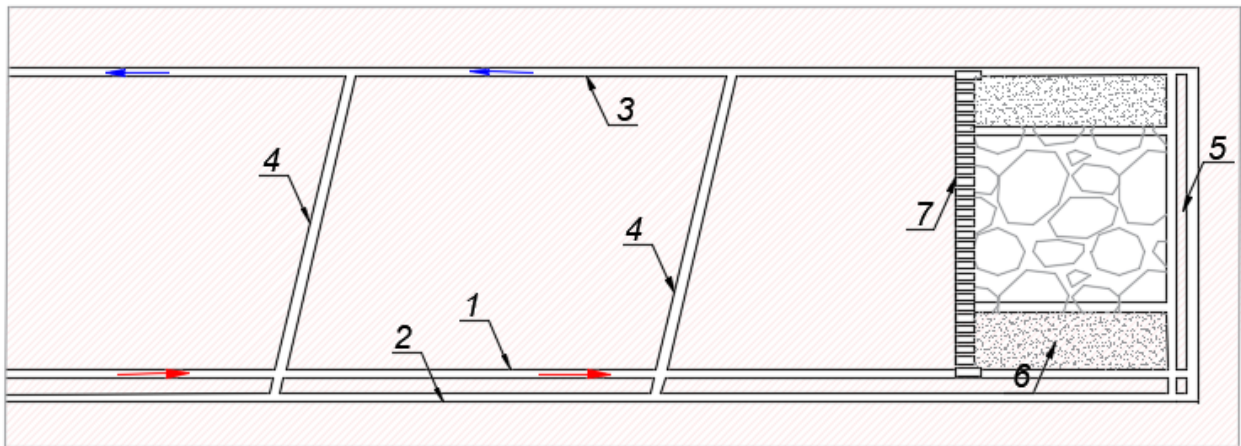


Рисунок 1.7 – Технологическая схема с селективной выемкой слоёв пласта на полную мощность

Подготовка выемочного столба осуществляется штреками 1, 2, 3 с использованием вспомогательных выработок 4. Схема вентиляции изображена на рисунке. Применяется для отработки пласта полезного ископаемого на полную мощность на участках с неустойчивой кровлей, расположенных на глубине не более 900 метров. Возможно применение такой схемы в других диапазонах глубин при селективной выемке отдельных слоев пласта.

Селективная выемка пласта осуществляется с возведением в выработанном пространстве двух породных полос из разрушенного галита установками механической закладки с роторными метателями. Вспомогательные выработки 4 необходимы для проведения вентиляционного штрека 3 в период подготовки выемочного столба, также по ним осуществляется транспорт руды на конвейерный штрек 1 в период проходки штрека 3.

На Рисунок 1.8 представлена технологическая схема селективной выемки слоёв пласта на полную мощность с прямым порядком отработки столба. Такая технологическая схема является аналогом схемы, изображенной на Рисунок 1.7, основное отличие состоит в том, что столб отрабатывается в прямом порядке. Такая особенность позволяет применять ее для отработки пластов полезного ископаемого на полную мощность на участках шахтного поля, которые характеризуются наиболее сложными горно-геологическими условиями, и на глубинах залегания свыше 900 м. Это достигается за счет того, что транспортный

штрек лавы проходится с опережением забоя лавы на величину не менее зоны временного опорного давления, а конвейерный и вентиляционный штреки лавы проходятся в непосредственной близости перед очистным забоем. Охрана панельных выработок 4, 5, 6 осуществляется на протяжении всего периода отработки столба. В качестве дополнительной меры охраны является возведение в выработанном пространстве двух породных полос, возводимых из пустой породы, полученной при селективной выемке слоев пласта.

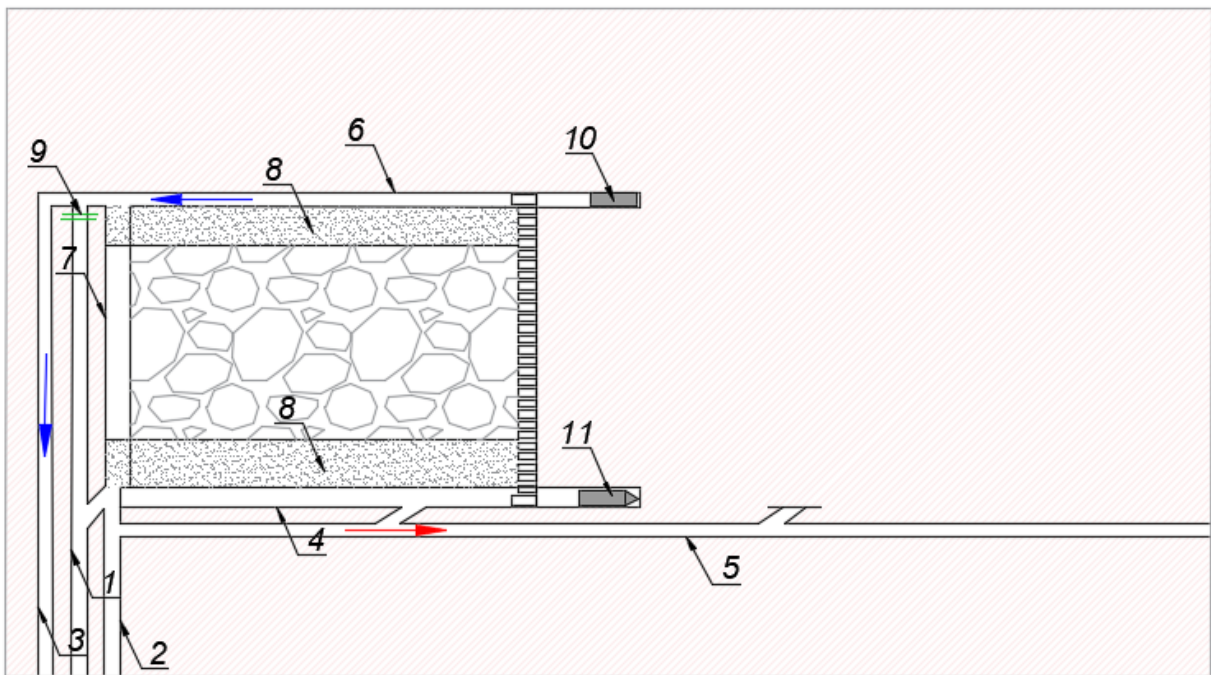


Рисунок 1.8 – Технологическая схема с селективной выемкой слоёв пласта на полную мощность и прямым порядком отработки столба

Подготовка выемочного столба осуществляется штреками 4, 5, 6. Схема вентиляции изображена на графической схеме. Транспортный штрек лавы может быть использован в качестве вентиляционного при отработке следующего столба.

На Рисунок 1.9 представлена технологическая схема селективной выемки слоёв пласта с повторным использованием двух штреков смежного выемочного столба.

Подготовительные работы в панели начинаются с проходки транспортного 1, конвейерного 2 и вентиляционного 3 штреков. Последний располагается в центральной части столба, его проходка осуществляется при помощи технологических сбоек 4. Данная схема проветривания позволяет настроить



вентиляцию в лаве таким образом, чтобы выемка руды могла осуществляться двумя очистными комбайнами.

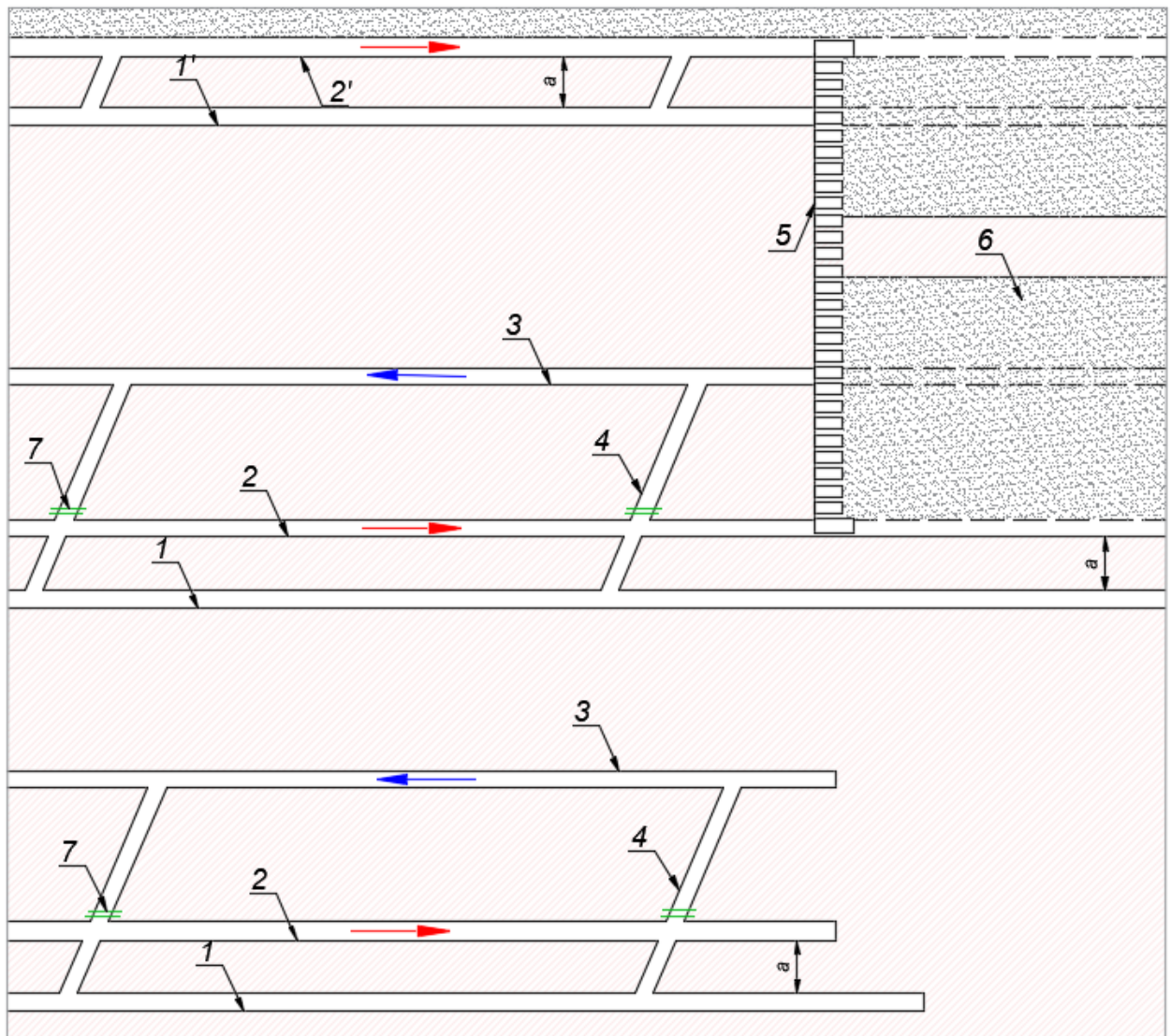


Рисунок 1.9 – Технологическая схема с селективной выемкой слоёв пласта и повторным использованием двух штреков смежного выемочного столба.

Штрек 1 проходится со стороны массива с оставлением временного охранного целика, который позднее вынимается очистным комбайном смежной лавы. Данная технологическая схема предусматривает повторное использование штрека 1' смежного столба в качестве закладочного и повторное использование конвейерного штрека 2' только для проветривания лавы. Данная технологическая схема является бесцеликовой и отличается от своих аналогов отсутствием потерь полезного ископаемого в межстолбовых и межштрековых целиках, удельная протяжённость подготовительных выработок на 40% ниже, чем в аналогичных

технологических схемах с оставлением межстолбового целика, которые предусматривают выемку руды двумя очистными комбайнами.

При отработке выемочного столба по данной технологической схемы главной сложностью становится вопрос поддержания в безопасном состоянии штрека 2', который используется повторно и при этом является воздухоподающим. Риски обрушения кровли в этой выработке, что приведет к нарушению проветривание забоя лавы, отчасти компенсируются наличием повторно используемого штрека 1'. Технологический процесс возведения породной полосы требует установки на секциях крепи сопряжения дополнительного горно-шахтного оборудования для обеспечения требуемого сечения поддерживаемого в выработанном пространстве штрека.

Вспомогательные выработки 4 и технологические сбойки между штреками 1', 2' используются для обеспечения проветривания забоя при осуществлении подготовительных работ, также по ним осуществляется транспорт руды на конвейерный штрек 2 в период проходки штреков 1, 2, 3.

Одним из недостатков описанной схемы является ограничение по возможности отработки смежного выемочного столба с некоторым отставанием во времени, что определяется в свою очередь технической сложностью поддержания кровли и стенок повторно используемого штрека 2'.

На Рисунок 1.10 представлена технологическая схема селективной выемки слоёв пласта с повторным использованием конвейерного штрека смежного выемочного столба.

Технологическая схема во многом схожа с предыдущей, принципиальное отличие состоит в том, что для подачи свежей струи воздуха в верхнюю часть забоя лавы повторно используется только один штрек лавы смежного выемочного столба.

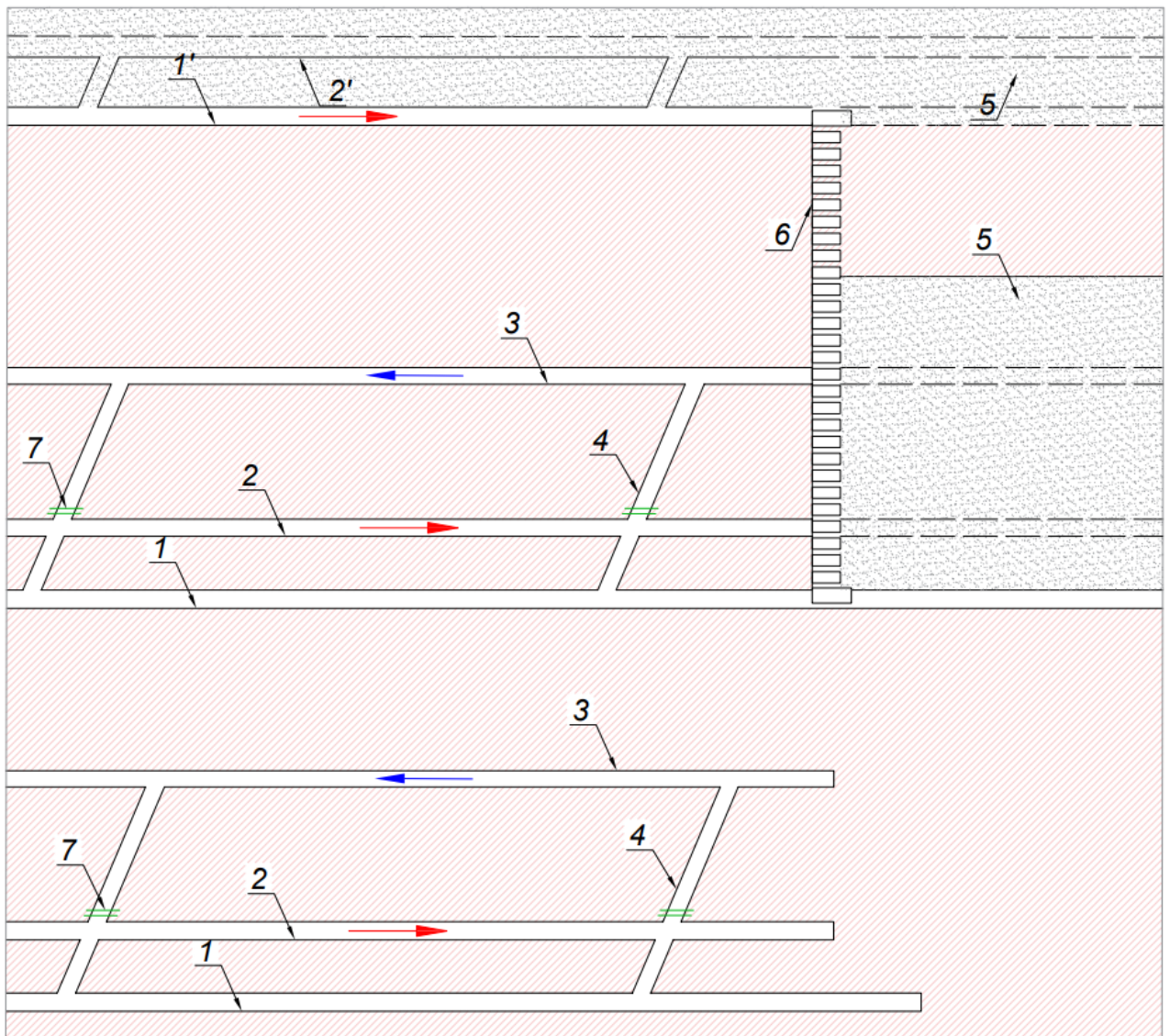


Рисунок 1.10 – Технологическая схема с селективной выемкой слоёв пласта и повторным использованием конвейерного штрека смежного выемочного столба

Также как и в предыдущей технологической схеме, для обеспечения безопасного состояния штрека 1' и сохранения требуемого сечения выработки, по которой в забой лавы подаётся свежий воздух, крайняя секция крепи на сопряжении штрека 1 и забоя лавы оборудуется специальным отбойным щитом, который позволяет формировать границу породной полосы и препятствует заполнению повторно используемого штрека пустой породой. Эта схема также является бесцеликовой, а ее основным недостатком в сравнении с вариантом, в котором повторно используются два штрека соседнего выемочного столба, является невозможность оперативного восстановления схемы проветривания лавы в случае обрушения кровли в повторно используемой выработке. Очевидные

преимущества схемы с повторным использованием одного штрека перед схемой с повторным использованием двух штреков отсутствуют [19].

Описанные выше технологические схемы с селективной выемкой слоев пласта являются наиболее прогрессивными в части ресурсосбережения – удельная протяженность подготовительных выработок ниже, чем у применяемых аналогов, при этом достигается полное отсутствие потерь полезного ископаемого в межстолбовых целиках.

### **1.3 Технологические схемы с разделением пласта на наклонные слои**

В основе развития современной технологии слоевой выемки калийных пластов можно выделить следующие определяющие элементы [32]:

- разделение вынимаемого пласта на два технологических слоя – верхний и нижний;
- возможность осуществления как отдельной, так и совместной подготовки технологических слоев;
- последовательная и одновременная отработкой верхнего и нижнего технологических слоев;
- отработка технологических слоев осуществляется в обратном порядке с опережением очистных работ в слоях;
- была установлена возможность отработки слоев как в обратном, так и в прямом порядках, а также с опережением очистных работ в лаве верхнего технологического слоя;
- выемка пласта лавами переменной вынимаемой мощности.

В сущности, все технологические схемы со слоевой выемкой пласта могут быть рассмотрены как комбинации технологических схем с селективной и валовой выемкой верхнего и нижнего технологических слоев. В стадии освоения технологии слоевой выемки на месторождениях калийных солей применялись три варианта: с последовательной отработкой слоёв, с большим (свыше 400 м) и с малым (80-400 м) опережением очистных работ лавы верхнего и нижнего

технологического слоев. При этом ведение очистных работ с малым опережением может вызывать сложности с поддержанием кровли наработанного конвейерного штрека нижней лавы.

На Рисунок 1.11 представлена технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и их последовательной обработкой.

Первым обрабатывается верхний технологический слой, после чего с некоторым отставанием во времени обрабатывают нижний технологический слой. По верхнему и нижнему технологическим слоям осуществляется валовая выемка, а подготовка лав происходит отдельно. Для лавы верхнего технологического слоя проходят штреки 1,2, а также при помощи вспомогательных выработок 6 осуществляется проходка штреков 3, 4 и 5. После обработки верхнего технологического слоя осуществляется подготовка лавы нижнего технологического слоя: штреки 7, 8, 9 проходят с использованием вспомогательных выработок 10. Схема проветривания очистного забоя приведена на схеме. Существующие аналоги описанной технологической схемы допускают проведение вентиляционного штрека лавы верхнего технологического слоя не в центре выемочного столба, а по флангу, аналогично тому, как выполнена подготовка в лаве нижнего технологического слоя. При этом обработка всех технологических слоев осуществляется обратным порядком во всех описанных случаях.

Основным недостатком данной технологической схемы является высокий процент эксплуатационных потерь полезного ископаемого в межстолбовых целиках. При этом следует отметить, что потери полезного ископаемого по нижнему технологическому слою выше на 15-20%, в сравнении с потерями полезного ископаемого по верхнему технологическому слою. Это обусловлено невозможностью размещения подготовительных выработок верхнего технологического слоя над подготовительными выработками нижнего технологического слоя.



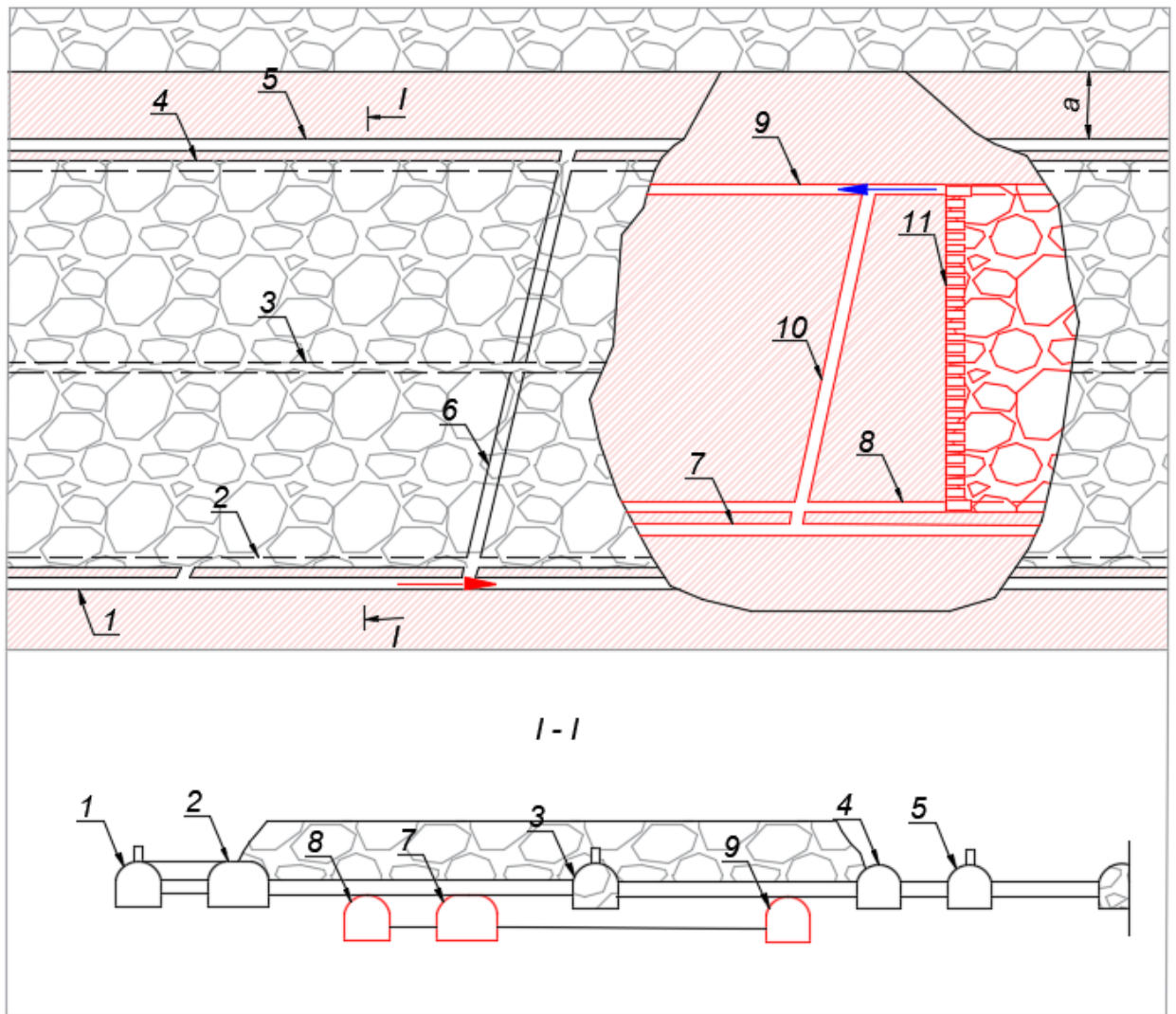


Рисунок 1.11 – Технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и их последовательной отработкой

На Рисунок 1.12 представлена технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и их последовательной отработкой, а также повторным использованием транспортных штреков.

По данной технологической схеме подготовка столбов лавы верхнего и нижнего технологических слоев осуществляется группами штреков 1, 2, 3 и 4, 5, 6. Почва подготовительных выработок лавы верхнего технологического слоя располагается выше кровли лавы нижнего технологического слоя. Минимальный удельный объем горно-подготовительных работ достигается за счет повторного использования транспортных штреков 1' и 4' ранее отработанного столба. Эти выработки используются для проветривания лав, где очистные работы ведутся с отставанием.

Технологическая схема применяется на участках шахтного поля с устойчивой кровлей. Следует отметить, что данная технологическая схема не исключает межстолбовые целики, размеры которых могут достигать 6-8 метров. По аналогичной

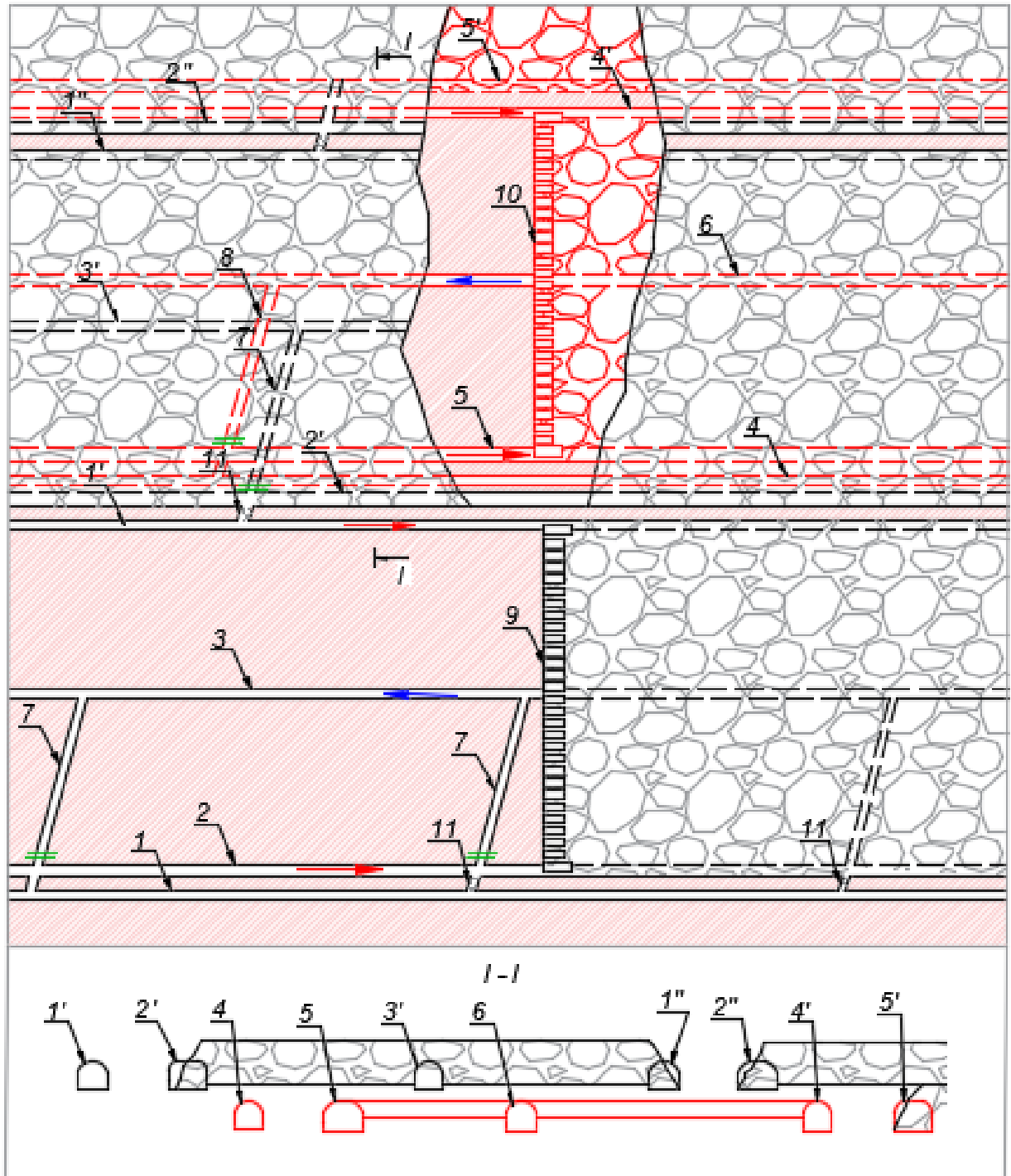


Рисунок 1.12 – Технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и их последовательной отработкой, а также повторным использованием транспортных штреков

технологии допускается извлечение данного целика концевым тупиковым участком забоя, однако, реализация такой технологической схемы возможна лишь при осуществлении закладки выработанного пространства между конвейерным 5' и транспортным 4' штреками. На Рисунок 1.13 представлена технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и их последовательной опережении очистных работ в слоях свыше 400 метров, при этом подготовительные выработки проходят в ненадработанном массиве.

Несмотря на большие потери запасов в межстолбовых целиках, данный вариант является одним из наиболее распространенных типов технологических схем с разделением пласта на слои. Кроме больших потерь, оставление широких целиков способствует образованию опасных зависаний пород при труднообрушаемой кровле с последующим их динамическим воздействием на призабойное пространство и крепь нижних лав. Применение охранных мероприятий требует дополнительных затрат, что снижает эффективность технологии в целом. Недостатками схемы является также высокая удельная протяженность подготовительных выработок в сравнении со схемами аналогами.

Данная технология отличается тем, что позволяет увеличить производительность за счёт одновременной работы механизированных комплексов верхнего и нижнего технологических слоев. К преимуществам можно отнести возможность использования общих подготовительных выработок в лавах верхнего и нижнего технологических слоев.

Проходка подготовительных выработок 4, 5, 6 верхней лавы осуществляется с помощью вспомогательных выработок 10. Существует разновидность технологической схемы, представленной на Рисунок 1.13, при которой вентиляционный штрек лавы нижнего технологического слоя располагается в центре выемочного столба. На сопряжениях лавы и центрального вентиляционного штрека, а также лавы и оконтуривающих выработок столба по нижнему технологическому слою могут располагаться роторные метатели для возведения породных полос. При таком варианте исполнения технологической схемы ширина



охранного целика между выработками 7 и 3 может быть уменьшена до 8-10 м за счет возведения породной полосы в штреке 9.

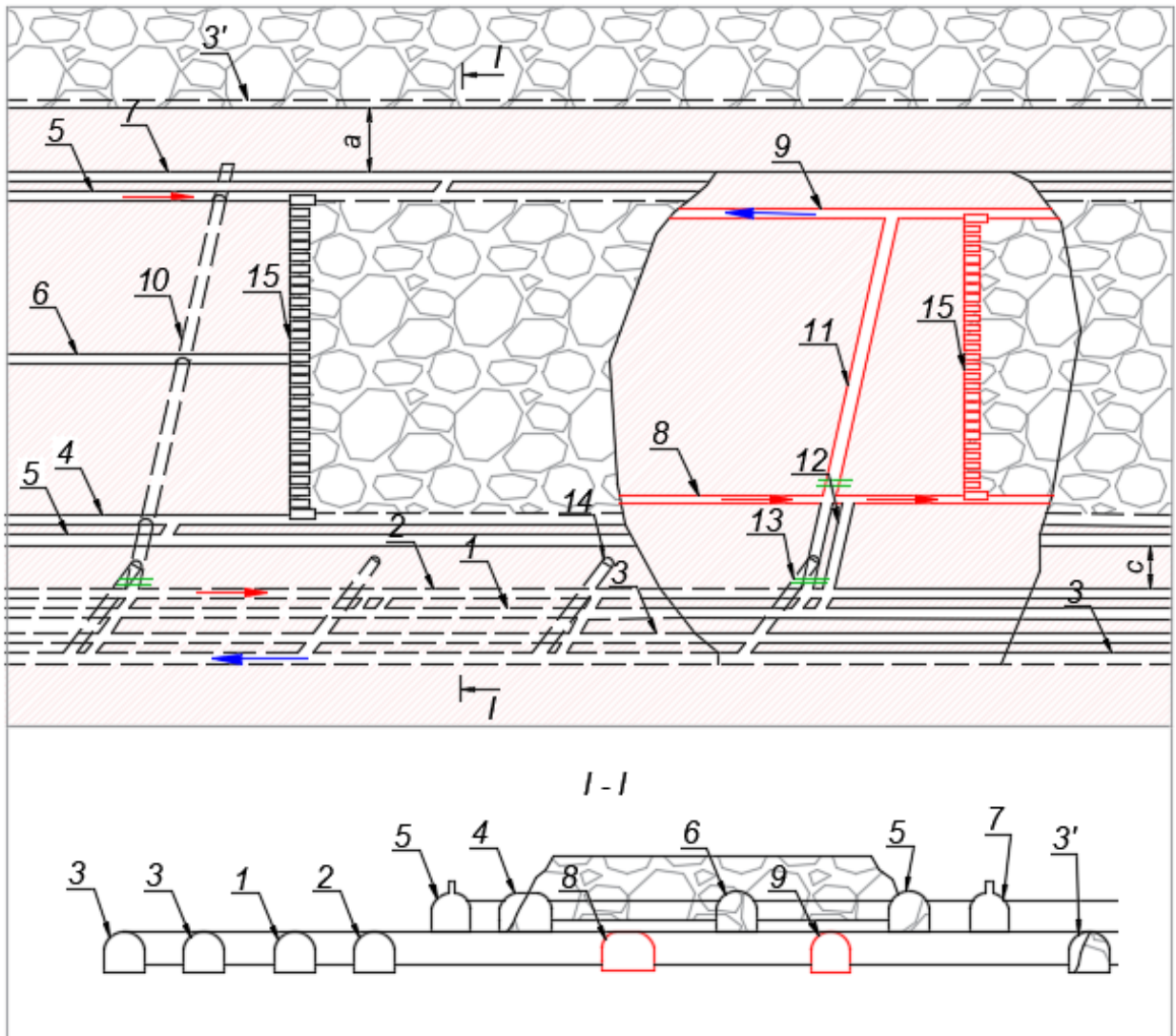


Рисунок 1.13 – Технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и их последовательной отработкой с опережением очистных работ в слоях

На Рисунок 1.14 представлена технологическая схема с разделением пласта на технологические слои с использованием общего панельного конвейерного штрека.

При использовании такой технологической схемы осуществляется одновременная подготовка двух лав на всю выемочного столба с использованием общего панельного конвейера в конвейерном штреке лавы нижнего технологического слоя. Подготовка лав верхнего и нижнего технологических слоев осуществляется тремя штреками для каждой из лав.

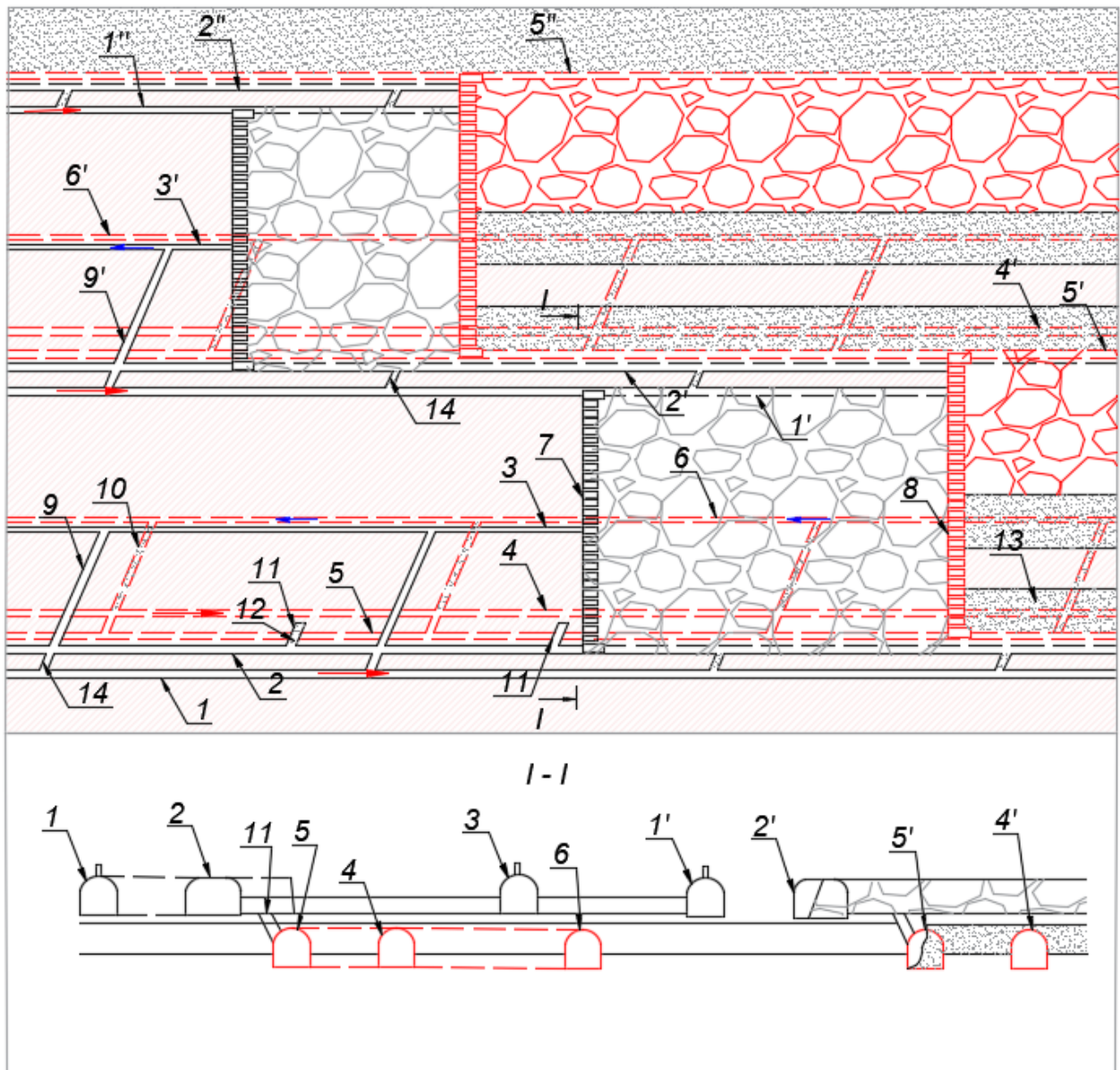


Рисунок 1.14 – Технологическая схема с разделением пласта на технологические слои с использованием общего панельного конвейерного штрека

При использовании этой технологической схемы осуществляется повторное использование штреков 1' и 5' с целью проветривания прилегающих к ним частей очистных забоев. Предусматривается оставление целика между транспортным 1 и конвейерным 2 штреками в лаве верхнего технологического слоя, ширина такого целика составляет 6-8 метров [18].

Применение данной технологической схемы позволяет осуществлять совместную выемку верхнего и нижнего технологических слоев пласта на общий панельный конвейер. Это даёт возможность усреднять качество подаваемой на

обогащительную фабрику руды на тех участках, где это необходимо в связи с большой разницей качества руды в технологических слоях.

Кроме повышения качества извлекаемой руды селективная выемка с частичной закладкой выработанного пространства является одним из способов борьбы с интенсивными динамическими обрушениями кровли при использовании в лавах нижнего технологического слоя, которые иногда приводят к посадкам забойной крепи нажестко.

На Рисунок 1.15 представлена технологическая схема с разделением пласта на технологические слои с использованием очистных забоев переменной вынимаемой мощности.

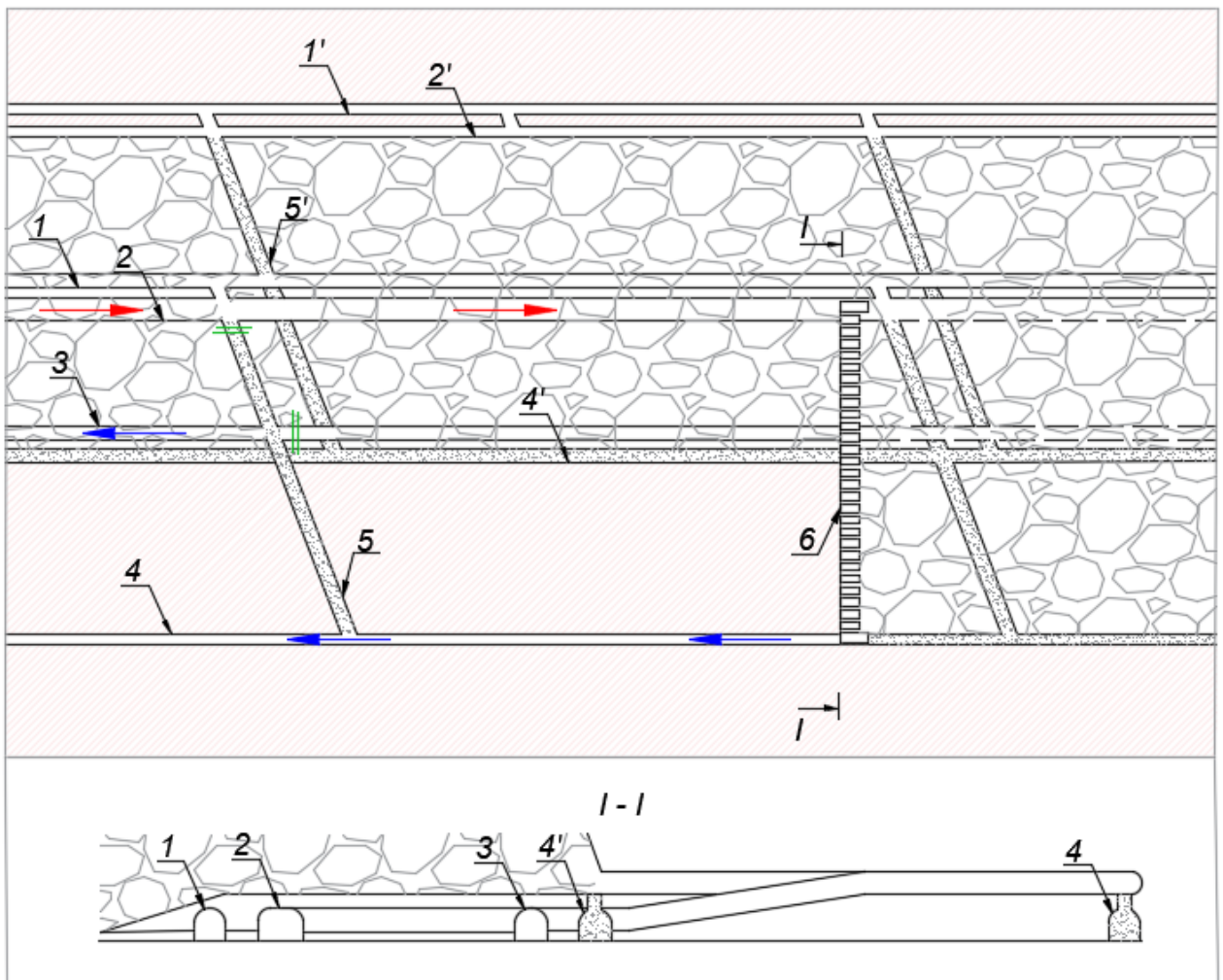


Рисунок 1.15 – Технологическая схема с разделением пласта на технологические слои с использованием очистных забоев переменной вынимаемой мощности

Особенность данной технологической схемы состоит в том, что в центральной части выемочного столба угол уклона лавы составляет  $6-7^\circ$  на дистанции 30 м – на

этом участке осуществляется переход забоя с нижнего технологического слоя на верхний. Таким образом, одна половина лавы обрабатываемого столба располагается под опережающей лавой смежного столба, а вторая половина – над лавой смежного проектируемого столба.

Подготовка выемочного столба, в котором ведутся очистные работы с опережением, осуществляется при помощи транспортного 1', конвейерного 2' и вентиляционного 4' штреков. Вспомогательные выработки используются для проветривания вентиляционного штрека лавы в период его подготовки. Отличительной особенностью данной технологии является также нестандартная схема вентиляции – в кровле вентиляционного штрека оформляется полость, через которую осуществляется проветривание очистного забоя при отработке выемочного столба.

На Рисунок 1.16 представлена технологическая схема с разделением пласта на технологические слои и выемкой сближенными лавами на общие панельные штреки. Подготовка панели осуществляется четырехштрековой группой с проведением панельного вентиляционного штрека 4 со стороны массива с оставлением временного охранного целика. Заполнение сбоек 5 производится по мере их выхода из технологического процесса подготовительных работ и только между панельным вентиляционным 4 и конвейерным 3 штреками.

В кровле общего для слоевых лав вентиляционного штрека проводится сплошная полость с опережением не менее ширины зоны временного опорного давления. Она оформляется комбайном или щеленарезной машиной и при необходимости крепится. За крепью верхней лавы полость перекрывается с учетом величины опережения очистных работ в слоях в пределах 6-12м. Временный межстолбовой целик между штреками 3' и 4' предполагает частичное извлечение очистными комбайнами в концевых частях лав верхнего и нижнего технологических слоев.



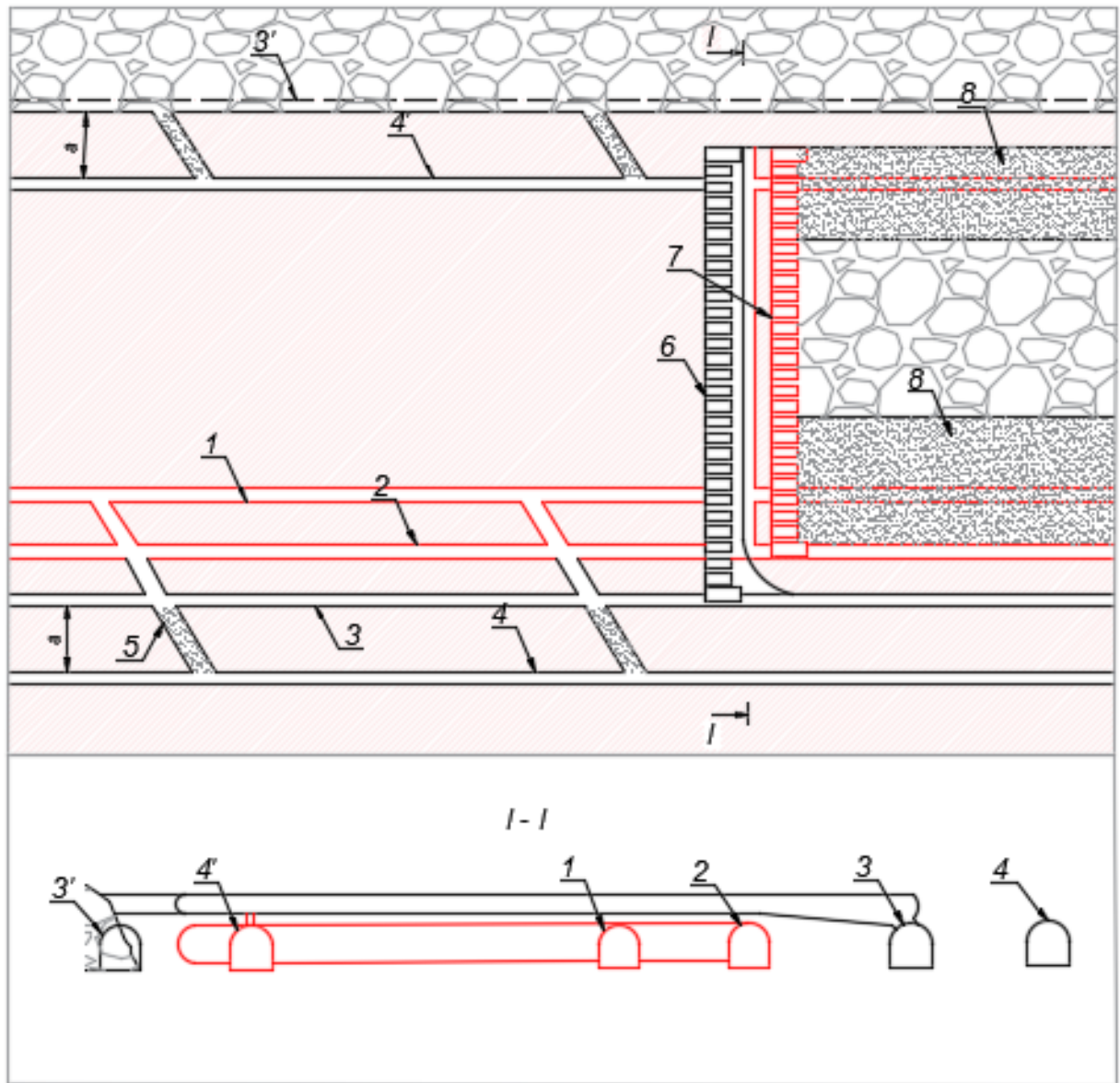


Рисунок 1.16 – Технологическая схема с разделением пласта на технологические слои сближенными лавами на общие выемочные штреки

Отдельно следует выделить группу схем с разделением пласта на технологические слои, при которых извлечение верхнего технологического слоя осуществляется после его подработки лавой по нижнему технологическому слою с большим отставанием во времени. Подобные схемы применяются лишь на участках шахтных полей, где из-за отсутствия соответствующей технологии ведения горных работ и современных мер охраны подготовительных выработок уже была осуществлена выемка нижнего технологического слоя в прошлом. Если запасы полезного ископаемого в нетронутых вышележащих пластах являются

существенными, то допускается обработка технологических слоев в обратном порядке – вначале обрабатывается нижний, а затем верхний [31].

#### 1.4 Выводы по Главе 1

На Старобинском месторождении калийных солей наибольшее распространение получила система разработки длинными столбами, с её использованием связывают перспективы обработки данного месторождения более чем на 85% его площади. Эта система разработки обеспечивает высокое качество выдаваемой на-гора руды, сокращение эксплуатационных потерь полезного ископаемого, высокую производительность и безопасную эксплуатацию подрабатываемых объектов.

Наибольшее распространение получили технологические схемы слоевой выемки, которые характеризуются высокими показателями экономической эффективности при существующих особенностях геологического строения месторождения. При этом типовой является схема, согласно которой осуществляется последовательная слоевая выемка обратным порядком с отдельной подготовкой лав по верхнему и нижнему технологическим слоям. После обработки верхнего технологического слоя осуществляется подготовка выработок лавы нижнего технологического слоя и обрабатываются слои нижней лавой; последние могут выниматься с прослоем каменной соли или селективно. Не менее 80% запасов по Третьему калийному пласту Старобинского месторождения обрабатываются именно по такой технологии. Однако следует отметить, что на некоторых участках шахтного поля применяются также и другие варианты технологических схем слоевой выемки отличные от типовой. К числу наиболее перспективных можно отнести технологии с комбинированным порядком обработки слоев, когда верхний технологический слой обрабатывается в прямом порядке, а нижний – в обратном порядке, а также бесцеликовые технологии выемки. Технологии, при которых размер межстолбовых целиков не превышает 3 метра, также относят к бесцеликовым. Бесцеликовая выемка на некоторых

участках шахтного поля осуществляется не только по верхнему или нижнему технологическому слою, но и одновременно по обоим слоям.

Технологические схемы валовой выемки слоёв 2 и 3 нижнего пласта Третьего калийного горизонта с оставлением слоя 4 или только слоёв 3 и 4 с оставлением слоя 2, так же как и технологические схемы выемки нижнего пласта Третьего калийного горизонта на полную мощность применяются, как правило, в исключительных случаях, когда применение технологических схем слоевой выемки невозможно ввиду особенностей горно-геологических и горнотехнических условий. На отдельных участках шахтного поля Стробинского месторождения калийных солей применяются технологии слоевой выемки, при которых извлечение верхнего технологического слоя осуществляется после его подработки лавой по нижнему технологическому слою, однако, такую комбинацию отработки слоёв нельзя выделить в самостоятельную схему – область применения этой технологии ограничена участками шахтного поля, где в период с 1980-х по 2000-е в Третьем калийном пласте были оставлены запасы полезного ископаемого, подработанного по слоям 2-3.

Перспективными являются технологические схемы бесцеликовой выемки с повторным использованием штреков и частичной закладкой выработанного пространства [30]. Данные технологические схемы позволяют не только существенно сократить объём эксплуатационных потерь, но также уменьшить удельную протяжённость подготовительных выработок за счёт повторного использования отдельных штреков и, следовательно, увеличить скорость подготовки выемочного столба. Однако на сегодняшний день применение таких схем в некоторой степени ограничено по причине того, что они применимы преимущественно в благоприятных горно-геологических условиях, когда с помощью имеющихся технических мероприятий обеспечивается безопасное состояние выработок без увеличения объемов работ по их поддержанию, на пластах мощностью до 3,5 м, если их угол падения не превышает 35°.

В целом можно отметить, что в условиях динамичного роста производственных мощностей, увеличивается доля добычи с использованием

ресурсосберегающих бесцеликовых технологий. Вместе с тем одним из основных факторов, определяющих дальнейшее развитие таких технологий, является прогрессирующая интенсивная отработка основных продуктивных пластов и переход горных работ на более глубокие горизонты.



## ГЛАВА 2 АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

### 2.1 Тепловой режим калийных рудников.

Тепловой режим калийных рудников является одним из наиболее важных производственных факторов. Он обеспечивает безопасность ведения горных и оказывает влияние на состояние здоровья рабочих.

Контролируемыми показателями микроклиматических условий, которые должны учитываться при проектировании и эксплуатации горных выработок в калийных рудниках, являются: температура воздуха и окружающих пород; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха [39].

Верхние пределы значений температуры воздуха в рабочих зонах при отработке пластов в условиях повышенных температур вмещающих пород и больших тепловыделений от очистного оборудования определяются из условий обеспечения сохранения нормального теплового состояния организма работников без напряжения механизмов терморегуляции, обеспечения теплового комфорта и, как следствие, высокого уровня производительности при выполнении ими работ заданной степени тяжести. По требованиям действующих санитарных норм и правил «Гигиенические требования к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников ...» температура воздуха на рабочих местах в рудниках не должна превышать +26 °С [39].

Нарушение температурного режима в подземных рабочих зонах не только оказывает отрицательное влияние на здоровье работников, увеличивает риски травмирования и снижает производительность труда, но также увеличивает простой оборудования, входящего в состав механизированных комплексов, по причине его перегрева [9].

Практический опыт отработки месторождений полезных ископаемых на глубинах, где наблюдается нарушение микроклиматических условий в рабочих зонах, показывает, что обеспечение нормального температурного режима

позволяет снизить риск производственного травматизма и увеличить производительность труда на предприятиях [22, 5].

К числу основных факторов, оказывающих влияние на формирование температурного режима в подземных рабочих зонах, относится теплообмен между вмещающими породами и подаваемой воздушной струей. Выполненные исследования показывают, что разница между температурой вмещающих пород и температурой рудничного воздуха практически полностью отсутствует уже на расстоянии 1,5-2 км от околоствольного двора.

Установившаяся тенденция роста интенсивности отработки пластов полезного ископаемого и роста глубины ведения очистных работ приведет дальнейшему обострению проблемы управления температурным режимом в подземных рабочих зонах рудников [16].

Реализация любых теплотехнических мероприятий для снижения температуры воздуха в очистных забоях влечет за собой существенные эксплуатационные и капитальные затраты [8]. Внедрение таких мероприятий неизбежно приводит к снижению конкурентоспособности горнодобывающих предприятий, а в ряде случаев делает экономически нецелесообразным отработку запасов полезного ископаемого. Все это накладывает дополнительные требования к разрабатываемым техническим решениям для нормализации микроклиматических условий – они должны обеспечивать требования норм безопасности и в то же время отличаться минимальными затратами на их реализацию.

На современное состояние и перспективы совершенствования технологий отработки калийных пластов на рудниках Старобинского месторождения значительное влияние оказали результаты исследований С.Г. Губанова, В.П. Зубова, А.В. Зайцева, П.А. Калугина, Б.И. Петровского, В.Я. Прушака, А.Д. Смычника, Практический опыт отработки Старобинского месторождения убедительно подтвердил правильность выдвинутой в 2002–2003 гг. сотрудниками Санкт-Петербургского горного университета и ОАО «Белгорхимпром» концепции о перспективных направлениях совершенствования технологий отработки

основных продуктивных пластов Старобинского месторождения, которая заключается в необходимости ведения очистных работ без оставления целиков полезного ископаемого между выемочными столбами [13,39].

Ресурсосберегающие технологические схемы, разработанные с учетом указанной концепции, при проектировании горных работ на рудниках ОАО «Беларуськалий» относятся к числу наиболее перспективных.

Переход на использование в лавах высокопроизводительных комбайнов с установленной мощностью электродвигателей 480–550 кВт и более позволяет добывать из одного очистного забоя до 2 млн. т руды в год. Вместе с тем высокая энерговооруженность очистного оборудования в сочетании с достигнутой глубиной ведения очистных работ является одной из основных причин повышенной температуры воздуха в очистных забоях. Практически во всех панелях при глубинах разработки продуктивных пластов 500–600 м и более температура воздушных струй в комплексно механизированных лавах превышает предельно допустимые значения (+26 °С), определенные с учетом обеспечения условий для безопасного и производительного труда горнорабочих и регламентируемые действующими нормативными документами [10]. Известные подземные системы кондиционирования воздуха для снижения температуры воздуха в лавах не нашли широкого применения на рудниках ОАО «Беларуськалий» из-за существенных экономических затрат и сложности адаптации этих систем к применяемым ресурсосберегающим технологиям. Фактическое превышение температур в лавах достигает 5–9°С.

На пути своего движения от поверхности до непосредственно очистного забоя воздушная струя нагревается на различных участках. Первое нагревание воздушной струи происходит уже при её движении по стволу в результате действия силы тяжести. Воздух сжимается под собственным весом по мере опускания, при этом сжатии происходит увеличение его внутренней энергии, что в свою очередь приводит к увеличению температуры на 0,01 К/м. Преодолев путь длиной в 1 км по вертикальной выработке температура воздушной струи за счёт роста внутренней энергии увеличится примерно на 10 градусов. Важно отметить, что это

утверждение справедливо для случая, когда воздух является абсолютно сухим. На практике из-за процессов теплообмена со стенками выработки и расположенным в ней оборудованием изменение температуры воздуха не столь существенно. Следует отметить, что при движении воздуха из шахты на поверхность происходит обратный процесс, при котором воздушная струя охлаждается.

К источникам тепловыделений, которые способствуют увеличению температуры воздушной струи, относятся: работающая погрузочно-доставочная техника, различные машины и механизмы, очистные и проходческие комбайны, вентиляторы местного проветривания, вентиляторные шахтные установки, трансформаторные подстанции, конвейерные линии, электрические кабели и многое другое. Например, от проходческого комбайна температура воздуха увеличивается на 10-12°C, вентилятор местного проветривания увеличивает температуру воздушной струи ещё на 2-6 °С. Каждые 5% мощности трансформаторных подстанций преобразуются в тепловую энергию. Температура сыпучей среды в отбитой горной массе на конвейерных линиях только на 3-5°C ниже её температуры в нетронутым массиве [22,8].

Регулирование теплового режима в длинных очистных забоях может осуществляться как с использованием средств охлаждения воздуха, так и без них. Существует две основные группы способов регулирования теплового режима: теплотехнические и горнотехнические.

В ходе исследований был выполнен детальный анализ состояния вопроса управления температурным режимом в очистных забоях соляных рудников. Были рассмотрены существующие стандарты нормирования: микроклиматических условий в рудниках Старобинского месторождения, а также теплотехнические и горнотехнические способы регулирования теплового режима.

## **2.2 Нормирование микроклиматических условий в рудниках Старобинского месторождения.**

На калийных рудниках ОАО «Беларуськалий» нормирование температуры воздуха в очистных забоях осуществляется на основании документов:

- Правила технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь [34];
- Санитарные нормы, правила и гигиенические требования к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников [39].

Требования к температуре воздуха в «Правилах технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь» указывают на то, что температура воздуха в подготовительных, очистных и других действующих выработках не должна превышать +26 °С. При температуре свыше +26 °С должны приниматься меры по ее снижению или улучшению микроклимата на рабочих местах.

Допустимые нормативные сочетания температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на рабочих местах описаны в «Санитарных нормах, правилах и гигиенических требованиях к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников» и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые нормативные сочетания температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на рабочих местах в калийных рудниках

Показатели	Сочетания параметров		
	1	2	3
Температура воздуха, °С	16-19	20-23	24-26
Относительная влажность воздуха, %	75-30	75-30	65-30
Скорость движения воздуха, м/с	0,15-0,25	0,3-0,5	0,6-1,0

Следует отметить, что сочетания параметров температуры воздуха и относительной влажности допускают превышение верхних пределов температуры воздуха при условии ограничения времени пребывания в рабочей зоне в зависимости от категории выполняемых работ. Время пребывания на рабочих местах при температурах воздуха выше допустимых величин приведено в таблице 2. Допустимые величины показателей микроклимата для категорий работ Па, Пб устанавливаются на рабочих местах в случаях, когда по технологическим особенностям, техническим и экономическим причинам обеспечить оптимальные нормы не представляется возможным. Ведущим показателем в сочетании

параметров микроклимата является температура воздуха, которая определяет величины относительной влажности и скорости движения воздуха. При выполнении тяжелых работ - категория III, интенсивность энергозатрат – более 250 ккал/час (290 Вт), температура воздуха в подземных выработках должна быть на 2° ниже величины, указанной в таблице. Скорость движения воздуха определяется интерполяцией.

Таблица 2 – Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категории работ, ч		
	Ia-Iб	IIa - IIб	III
32,5	1	-	-
32,0	2	-	-
31,5	2,5	1	-
31,0	3	2	-
30,5	4	2,5	1
30,0	5	3	2
29,5	5,5	4	2,5
29,0	6	5	3
28,5	7	5,5	4
28,0	8	6	5
27,5	-	7	5,5
27,0	-	8	6
26,5	-	-	7
26,0	-	-	8

Категории устанавливаются для разграничения работ по тяжести на основе общих энергозатрат организма следующим образом:

- легкие физические работы (категории Ia, Iб) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет 120-150 ккал/час (130-174 Вт) и не требуют либо сопровождаются некоторым физическим напряжением;
- физические работы средней тяжести (категории IIa, IIб) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет от 151 до 250 ккал/час (от 175 до 290 Вт) и сопровождаются умеренным физическим напряжением;
- тяжелые физические работы (категория III) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии превышает 250 ккал/час (290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных

(массой свыше 10 кг) грузов и требующие больших физических усилий, пребыванием в вынужденном положении тела свыше 50% времени смены;

Действующий нормативный документ «Санитарные нормы, правила и гигиенические требования ...» регламентирует микроклиматические параметры воздуха с учетом защиты работников временем от влияния теплового фактора. Вероятнее всего, «Санитарные нормы, правила и гигиенические требования к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников» разработаны Министерством здравоохранения Республики Беларусь на основе Санитарных норм и правил «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях» [38]. Данный документ используется для нормирования микроклиматических параметров воздуха в производственных помещениях поверхностных сооружений. В силу статуса этого документа можно предположить, что приведенные в нем требования научно обоснованы значительным объемом медицинских исследований. При этом документ нормирует все три основных микроклиматических параметра — температуру, относительную влажность и скорость. Практически все используемые системы нормирования микроклиматических условий в горных выработках учитывают комплексное влияние скорости движения и относительной влажности воздуха. Кроме того, при превышении допустимых норм применяются дополнительные мероприятия, такие как ограничение времени работ, организация перерывов, обеспечение рабочих водой и т.д. [9,7].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что при разработке новых решений по управлению температурным режимом в подземных рабочих зонах оценку эффективности таких решений необходимо осуществлять с учётом существующих организационных мероприятий по сокращению времени пребывания в рабочей зоне.

### **2.3 Теплотехнические способы регулирования теплового режима.**

Основным отличием теплотехнических способов регулирования является то, для снижения температуры рудничного воздуха применяются особые технические средства, а также специальные системы охлаждения. Теплотехнические способы

получили широкое распространение, в особенности на тех рудниках, где глубина ведения работ определяет тяжёлые тепловые условия и, соответственно, отсутствие возможности регулирования температуры в рабочих зонах горнотехническими способами. Преимущество теплотехнических способов состоит в том, что они позволяют изменять значения температуры в широком диапазоне условий. Основным недостатком же является то, что вышеназванные способы регулирования температурного режима влекут за собой существенные капитальные и эксплуатационные затраты. Охлаждение воздушной среды происходит посредством теплообмена, при этом теплообмен может происходить как естественно, так и принудительно. В первом случае процесс протекает с использованием природных или вторичных тепловых ресурсов, а во втором – имеют место трансформируемые энергетические ресурсы.

Эксплуатация средств нормализации микроклимата не должна сопровождаться появлением дополнительных вредных и опасных факторов производственной среды (пыль, шум, вибрация и другие), превышающих в сумме их предельно допустимые уровни на рабочих местах.

На сегодняшний день уже накоплен существенный опыт регулирования теплового режима, в т.ч. при отработке залежей полезных ископаемых на больших глубинах. Реализация всевозможных мероприятий по созданию комфортных микроклиматических условий в шахтах требует существенных капитальных и эксплуатационных затрат, что в некоторых случаях делает нецелесообразным отработку перспективных глубокозалегающих запасов полезных ископаемых. В связи с этим при выборе оптимальных способов регулирования температурного режима высокую важность приобретает уже не только техническая, но и экономически эффективных предложенных мероприятий.

К числу перспективных способов снижения температуры в забоях лав относят способ охлаждения, при котором предварительно осушенный воздух, обладающий высокой теплоаккумулирующей способностью, распределяется по всей длине лавы. Сдерживающими фактором в распространении данной



технологии являются высокая техническая сложность и невысокая производительность средств охлаждения воздуха при применении такого способа.

Для ряда угледобывающих рудников была экспериментально подтверждена целесообразность использования теплообменных устройств на перекрытиях механизированной крепи для локализации тепловыделений горного массива. Однако, например, в соляных рудниках Старобинского месторождения экспериментально было установлено, что при ведении очистных работ по Второму калийному пласту температура воздуха, поступающего в забой лавы из выработанного пространства, ниже температуры воздуха, поступающего в забой лавы по воздухоподающим выработкам.

Локализация тепловыделений от работы выемочного комбайна обеспечивается хладоносителем, циркулирующим между холодильной установкой и непосредственно комбайном.

В 1980 г. на угольных шахтах Донбасса широкое применение получили подземные холодильные машины производства ОАО «Холодмаш», обеспечивавшие возможность охлаждения воздуха на высокотемпературных участках всей шахты или отдельного блока, крыла. Также использовались передвижные кондиционеры – более 200 рабочих зон были оборудованы такого рода техникой. Глубина ведения горных работ на 30 рудниках в Украине превышала 1 км. Высокая температура массива горных пород и высокий уровень механизации в очистных забоях, при котором использовалось оборудование с большой теплоотдачей, обусловили существенный рост температуры в рабочих зонах. Каждая третья шахта Донбасса, в которой не принимаются меры по борьбе с высокими температурами воздуха, эксплуатируется с отступлением от требований Правил безопасности по температурному фактору [24].

Применение теплотехнических способов управления тепловым режимом в рудниках Донбасса привело к существенному увеличению себестоимости добычи на одну тонну руды. В условиях сложной рыночной экономики в качестве меры увеличения конкурентоспособности продукции началось постепенное сокращение числа применяемых подземных установок кондиционирования воздуха.

На рудниках ЮАР для нормализации температуры воздуха используются также охлаждающие установки поверхностного и подземного типа. Следует отметить невысокую эффективность поверхностных установок в данном регионе в условиях сверхглубоких рудников. Наиболее эффективным способом для рудников глубиной свыше 2500 метров является технология «ice slurry» (ледяная гидросмесь), ледяная гидросмесь представляет собой смесь льда в виде частиц с размером не более 450 мкм и 25 процентов воды, которая вырабатывается в вакуумном ледогенераторе и обогащается в ледоконцентраторе. Полученная смесь подается в трубопровод, проложенный в стволе, под действием силы тяжести смесь поступает в подземные резервуары, откуда подается потребителям холода. Растаявший лёд, собирается в виде воды и насосами выдвигается на-гора [9]. Основным недостатком описанной технологии считается высокая сложность оборудования и его значительные габаритные размеры, а также большие эксплуатационные и капитальные затраты.

В ряде других стран, таких как Индия, Бразилия, Канада, Польша и Германия, теплотехнические способы управления температурным режимом также применяются на отдельных месторождениях. Таким образом можно говорить о том, что именно теплотехнические способы являются одним из основных способов регулирования микроклимата в забоях на сегодняшний день.

### **2.3.1 Шахтные установки кондиционирования воздуха и перспективы их широкого внедрения**

Подземная мобильная установка охлаждения воздуха в лавах была разработана и испытана в ОАО «Беларуськалий». Необходимость разработки подобной системы была вызвана нарушением теплового режима в очистных забоях на отдельных участках шахтного поля.

Данное решение представляет собой подземную систему охлаждения воздуха в очистном забое на основе парокомпрессионной холодильной машины. Оборудование было размещено в ближайшей технологической сбойке, расположенной в поле лавы, что определяет необходимость регулярных ремонтных работ части оборудования, входящего в состав данной системы, по мере

подвигания линии очистного забоя. Подача охлажденного воздуха в очистной забой лавы осуществлялась по гибкому воздуховоду. Описываемая система кондиционирования воздуха располагалась на участке, удаленность от околоствольного двора которого составляла более 10 км. В состав системы кондиционирования входит градирня, охлаждающая горячий теплоноситель холодильной машины. Тепловыделения от градирни отводятся вместе с исходящей вентиляционной струей. При использовании описанной подземной системы кондиционирования обеспечивается снижение температуры воздуха в лаве до 26°C [21].

Однако такие установки пока не получили широкого применения в силу ряда объективных причин, а именно: высокой стоимости, низкой эксплуатационной надежности, сложности использования, обслуживания и демонтажа. Подобная система в существующем исполнении предполагает необходимость осуществления регулярных ее ремонтов из одной сбойки в другую по мере подвигания очистного забоя лавы и подхода к технологическим сбойкам, где установлена система охлаждения. Это в свою очередь приводит к снижению производительности забоя, поскольку из-за больших габаритов и технологической сложности самого процесса такие ремонты могут занимать до нескольких часов. Отдельно следует отметить ограниченную техническую надежность самой установки, что отчасти обусловлено тяжелыми условиями эксплуатации оборудования в подземных выработках.

#### **2.4 Горнотехнические способы регулирования теплового режима**

Горнотехнические способы регулирования теплового режима подразумевают использование разнообразных технологических решений, например, применение рациональных технологических схем выемки и вскрытия, снижение тепловыделений из массива горных пород, изменение геометрических параметров выработок, модернизация схем вентиляции и т.д. С точки зрения технической и технологической применимости, а также внедряемости горнотехнические способы являются более простыми и не влекут за собой столь существенных капитальных и эксплуатационных затрат. Такие способы

управления тепловым режимом чаще применяются, как самостоятельный метод регулирования температуры в переходном интервале глубин, когда уже существует проблема нормализации температуры рудничного воздуха, при этом ещё сохраняется возможность обеспечения требуемых микроклиматических условий без применения теплотехнических способов. Также горнотехнические способы регулирования теплового режима могут применяться в качестве дополнения к теплотехническим способам, когда обеспечить требуемую температуру в рабочей зоне посредством только первых уже не представляется возможным. К недостаткам горнотехнических методов регулирования теплового режима можно отнести их низкую эффективность в определенных диапазонах глубин, где температура вмещающих пород превышает предельно допустимые значения температуры воздуха в рабочих зонах.

Среди горнотехнических способов регулирования теплового режима в рудниках можно выделить:

- применение технологических схем, обеспечивающих снижение температуры воздуха на участках;
- применение рациональных по тепловому фактору схем проветривания столбов, позволяющих сократить протяжённость пути движения воздуха до забоев, сохранение высокой скорости движения воздуха в подготовительных выработках, упразднение схем проветривания, при которых вентиляция забоев в выемочных столбах осуществляется последовательно с проветриванием подготовительных забоев на соседних участках;
- ограничение тепловыделений, излучаемых массивом горных пород (теплоизоляция стенок и кровли выработок);
- контроль окислительных процессов, провоцирующих тепловыделения (снижение пылеобразования на стенках и кровле горных выработок посредством нанесения на их поверхности специальных покрытий; замена деревянного крепления на альтернативные виды крепи; орошение транспортируемой отбитой руды, транспортируемой);

- сокращение тепловыделений от расположенных в выработках локальных источников теплоты (экранирование тепловыделяющего оборудования или размещение его на воздухоотводящих выработках, сокращение времени присутствия отбитой руды в выработках);
- увеличение концентрации горных работ, за счёт сокращения времени отставания между смежными выемочными столбами;
- обособленное проветривание конвейерных штреков;
- применение оптимальной протяжённости выемочных столбов, определяемой с учётом теплового фактора для конкретных условий и на основе технико-экономической оценки [23].

Несмотря на широкое распространение шахтной холодильной техники на современном этапе развития горнодобывающей отрасли передовые предприятия осознают существующую необходимость в поиске альтернативных способов снижения температуры в рудниках.

Ниже представлены основные горнотехнические способы управления тепловым режимом, которые в том или ином виде и совокупности реализованы на глубоких шахтах им. В.М. Бажанова ГП “Макеевуголь”, им. А.Ф. Засядько, “Глубокая” ш/у “Донбасс” и им. Челюскинцев ГП “Донецкуголь”, им. Я.М. Свердлова ГП “Свердловантрацит” и др.:

- применение рациональных по тепловому фактору технологических схем;
- применение рациональных по тепловому фактору схем проветривания столбов;
- теплоизоляция стенок и кровли выработок;
- контроль окислительных процессов, провоцирующих тепловыделения;
- увеличение концентрации горных работ;
- обособленное проветривание конвейерных штреков [23];

Технологические схемы, при которых свежая струя воздуха поступает в забой лавы в обход конвейерного штрека, в условиях рудников Донбасса хорошо зарекомендовали себя. В сравнении с видами технологических схем,

применявшихся в аналогичных условиях, данная технология обеспечивает разницу в температурных экстремумах примерно на 2-3 °С в меньшую сторону.

## **2.5 Выводы по Главе 2**

Одной из основных мер обеспечения теплового режима в длинных очистных забоях является интенсификация вентиляции горных выработок, которая ограничивается допустимыми технико-экономическими показателями. При работе в условиях микроклимата с температурой воздуха выше допустимых величин допускается ограничение продолжительности рабочей смены.

В настоящее время в рудниках ОАО «Беларуськалий» основная роль в регулировании температуры воздуха в лавах отводится теплотехническим мероприятиям. Для выемочных участков с наиболее неблагоприятными микроклиматическими условиями была испытана дорогостоящая подземная система кондиционирования воздуха. Подобные установки пока не получили широкого применения на рудниках Старобинского месторождения из-за своей высокой стоимости, низкой эксплуатационной надежности, сложности использования, обслуживания и демонтажа.

К числу перспективных способов нормализации микроклиматических условий в длинных очистных забоях рудников ОАО «Беларуськалий» можно отнести внедрение рациональных с учетом теплового фактора технологических схем, обеспечивающих наименьший нагрев свежей струи воздуха, которая подаётся для проветривания длинного очистного забоя, в условиях формирования естественного теплового режима на участке движения воздушного потока.

## ГЛАВА 3 ШАХТНЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБАХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

### 3.1 Методика проведения замеров температуры воздуха в очистных забоях.

Исследования проведены для типовых вариантов системы разработки длинными столбами [32,15], представленных на Рисунок 3.17 Рисунок 3.17 – . Подготовка столба осуществляется при проведении транспортного 1 и конвейерного 2 штреков и подаче по ним свежей струи воздуха в лаву или в нижнюю половину лавы, при проходке вентиляционного штрека 3 в средней части выемочного столба. Реализация типовых вариантов технологических схем возможна без оставления целиков полезного ископаемого или с оставлением между выемочными столбами целиков шириной  $Z_0$ , при которой происходит их разрушение в выработанном пространстве под воздействием горного давления [13].

Ширину целика определяют из условия обеспечения технологически удовлетворительного состояния вентиляционного штрека 3, а длину тупиковой части лавы 1 – из условия обеспечения ее проветривания.

При проведении шахтных исследований измерялись следующие величины:

- температура воздуха по всей длине конвейерного штрека через каждые 30-50 м;
- температура воздуха по всей длине транспортного штрека через каждые 30-50 м;
- температура воздуха по всей длине очистного забоя на каждой пятой секции забойной крепи;
- температура воздуха в выработанном пространстве лавы в 1,5 м за оградительными элементами забойной крепи на каждой пятой секции;
- температура поверхностей оборудования, входящего в состав энергопоезда;



- температура пород, обрушившихся в выработанном пространстве лавы;
- температура массива полезного ископаемого впереди забоя лавы.

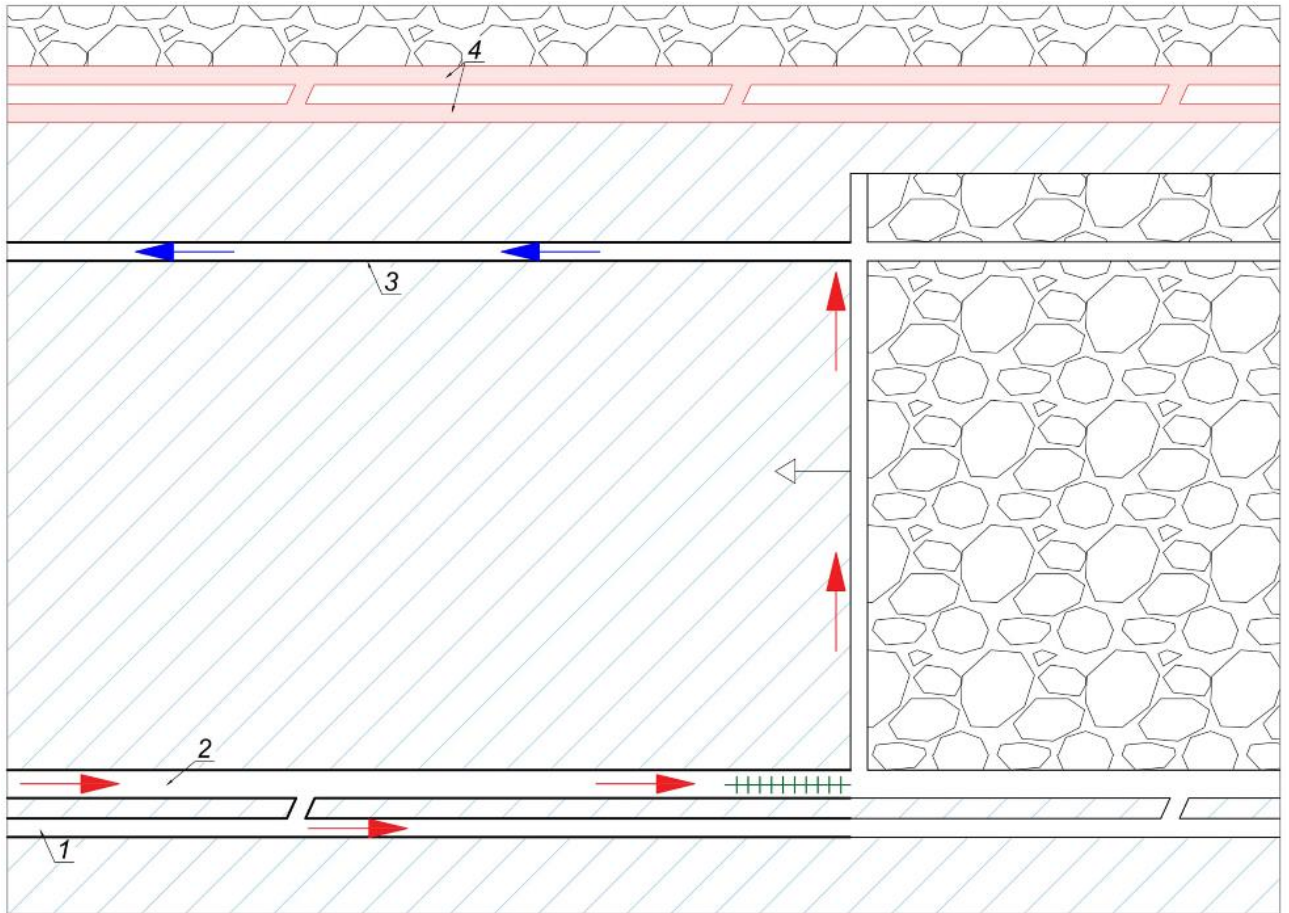


Рисунок 3.17 – Типовая технологическая схема системы разработки длинными столбами

Измерения температуры породных массивов, воздуха и оборудования, входящего в состав энергопоезда, производились с использованием термометра контактного цифрового ТК-5.06 – изображен на Рисунок 3.18. Электронный термометр ТК-5.06 включает электронный блок и сменные зонды, предназначенные для измерения температуры жидких, сыпучих и газообразных сред, поверхностей твердых тел и относительной влажности газообразных сред. В качестве термочувствительных элементов в зондах используются преобразователи термоэлектрические с номинальными статистическими характеристиками по ГОСТ Р 8.585 [37]. Электронный блок термометра осуществляет преобразование сигнала, поступающего с выхода зонда, в сигнал измерительной информации, которая выводится на жидкокристаллический дисплей. Погрешность измерений

прибора составляет  $\pm 0,5$  °С при измерении температур в диапазоне от  $-40$  °С до  $+100$  °С.



Рисунок 3.18 – Электронный термометр ТК-5.06

Шахтные исследования проводились в период с 2019 года по 2020 год в пяти очистных забоях на трёх рудниках ОАО «Беларуськалий». Данное предприятие осуществляет разработку Старобинского месторождения калийных солей, расположенного на территории Республики Беларусь. Преимущественно применяется система разработки длинными столбами. Наименование лав; типы комбайнов, входящих в состав механизированных комплексов; длины очистных забоев; глубина ведения очистных работ и наименование калийного горизонта представлены в таблице 3.

Результаты замеров температуры, соответствующие им контрольные точки и время были зафиксированы для каждой контрольной точки. В дальнейшем был выполнен анализ полученных результатов и построены диаграммы для каждого исследованного участка.

Замеры осуществлялись в добычной смене при работающем оборудовании очистного механизированного комплекса на полную мощность, включая очистной комбайн, а также забойный и штрековый конвейеры.

Таблица 3 – Характеристика участков производственных исследований

Номер лавы, рудник	Очистной комбайн	Длина лавы, м	Глубина работ, м	Горизонт
Лавы №94, 1 РУ	Eickhoff SL-300/480	234	680-700	III калийный горизонт
Лавы №5-1, 4 РУ	Eickhoff SL-300/550	291	617-732	II калийный горизонт
Лавы №104, 1 РУ	Eickhoff SL-300/480	236	538-613	III калийный горизонт
Лавы №8-н-4, 3 РУ	Eickhoff SL-300/480	174	764-802	III калийный горизонт
Лавы №4-в-4, 3РУ	Eickhoff SL-300NE	250	733-764	III калийный горизонт

Основные задачи шахтных исследований:

- Исследование влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на температуру воздуха, поступающего в лаву, а также на температуру воздуха на различных участках по длине лавы.
- Исследование процесса теплообмена между струей воздуха и вмещающими породами при перемещении струи по выработке, поддерживаемой за лавой, или по выработке с параметрами и в условиях, соответствующими выработке, поддерживаемой за лавой.
- Установление основных направлений совершенствования известных технологий разработки калийных пластов длинными очистными забоями с учетом увеличения глубины горных работ, а соответственно, и температуры вмещающих пород.

### **3.2 Описание горнотехнических и горно-геологических условий на исследованных выемочных участках и результатов осуществленных замеров в выемочных столбах Старобинского месторождения.**

На всех исследованных участках лавы были оборудованы механизированными комплексами с очистными комбайнами Eickhoff, суммарная

установленная мощность электродвигателей которых составляла от 690 кВт до 1158 кВт. Использование электродвигателей резания высокой мощности на очистных комбайнах позволяет достигать высоких среднесуточных нагрузок забой, обеспечивает высокую эффективность механизированных комплексов и снижает себестоимость добычи.

Диапазон глубин ведения горных работ от поверхности, на котором проводились экспериментальные производственные исследования, составлял 400-850м. Основной продуктивный нижний сильвинитовый пласт Третьего калийного горизонта («Третий калийный пласт») включает шесть слоев сильвинита, как показано на Рисунок 3.19. Промышленное значение имеют слои 2, 3 и 4. При выемке продуктивный пласт делят на два технологических слоя, обрабатываемых в нисходящем порядке. Верхний технологический слой включает 4-ый сильвинитовый слой мощностью 1,2м; нижний - 2-ой и 3-ий сильвинитовые слои, а также промежуточный слой галита 2-3 суммарной мощностью около 2,0м [13]. Мощность пачки пород между верхним и нижним технологическими слоями составляет 0,9-1,1м.

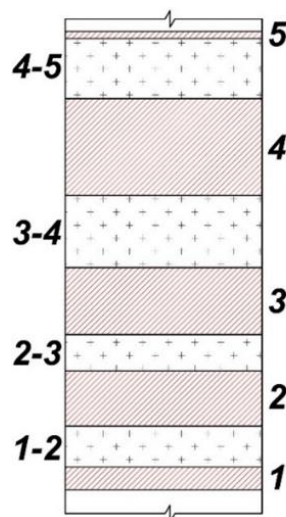


Рисунок 3.19 – Строение нижнего калийного пласта Третьего горизонта Старобинского месторождения: 1,2,3,4,5 – сильвинитовые слои; 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 – прослой каменной соли

Длина лав составляла 174-291м, длина выемочных столбов достигала 4000м. Во всех исследованных случаях энергопоезд лавы 6 располагался в конвейерном штреке в непосредственной близости от лавы. Длина участка штрека, на котором

расположен энергопоезд, составляет 80-100м. Следует отметить, что данную схему расположения энергопоезда относительно забоя лавы применяют на всех рудниках ОАО «Беларуськалий».

В качестве конкретного примера ниже описаны подробно описаны геологические и горно-технические условия во 2-й Северной панели рудника 1 РУ, где осуществляется отработка нижнего технологического слоя лавой №104.

Третий калийный горизонт в районе лавы №104 сложен верхним сильвинитовым, средним глинисто-карналлитовым и нижним сильвинитовым пластами. Промышленным является нижний сильвинитовый пласт в состав которого входят: шесть сильвинитовых слоёв, разделённых между собой слоями каменной соли, выдержанными по мощности и по содержанию в них KCL. К балансовым относятся слои со второго по четвертый сильвинитовый слой. Вынимаемая мощность (высота) лавы №104 составляет 2,04-2,21 м (с учетом присечки 0,05-0,07 м слоя 3-4 и 0,02 м - слоя 1-2), средняя высота - 2,10 м. Характеристика слоёв приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика слоев на участке, обрабатываемом лавой №104

Слои пласта	Мощность (м)			Содержание (%)	
	Мин.	Макс.	Ср.	KCL	Н.О.
6 сильвинитовый слой	0,26	0,40	0,34	44,79	10,52
Галитовый слой 5-6	0,68	1,10	0,82	5,99	15,03
5 сильвинитовый слой	0,17	0,22	0,20	47,15	4,63
Галитовый слой 4-5	0,66	0,87	0,71	4,78	12,07
4 сильвинитовый слой (Б)	1,04	1,35	1,22	29,90	5,53
Галитовый слой 3-4 (Б)	1,03	1,36	1,16	2,25	6,52
3 сильвинитовый слой (Б)	0,79	0,86	0,82	32,89	3,31
Галитовый слой 2-3 (Б)	0,53	0,63	0,56	6,02	6,07
2 сильвинитовый слой (Б)	0,63	0,66	0,64	49,12	1,53
Галитовый слой 1-2	0,60	0,66	0,63	3,44	4,99
1 сильвинитовый слой	0,1	0,20	0,18	39,33	0,73
Подстил. кам. соль 0-1	-	-	-	1,00	3,41
Балансовые слои (Б)			4,40	22,92	4,86

Глубина залегания III горизонта в пределах исследуемого участка составляет 536,5-611,4 м. Выше глинисто-карналлитового пласта залегают породы верхнего сильвинитового пласта мощностью от 1.55 м до 3.37 м. Верхний сильвинитовый пласт представлен переслаиванием каменной соли светло-серой среднезернистой,

глин темно-серых аргиллитоподобных и сильвинита светло-красного мелкозернистого. Мощность глинистых прослоев изменяется от 1 мм до 5 см. В нижней части разреза встречаются вкрапленности карналлита.

Третий калийный горизонт отнесён к выбросоопасным и опасным по газу метану (Приказ №4/9 от 09.01.2020 г. «Об отнесении пластов на Старобинском месторождении к выбросоопасным и опасным по газу метану»). Содержание метана в атмосфере подземных выработок должно соответствовать следующим нормам: исходящая струя из лавы - не более 1.0%; местные скопления метана - не более 1.0%.

Согласно проекту УГР-1РУ-III-л104-08.00-ОВ отработка сильвинитовых слоев 2-3 производится механизированным комплексом с очистным комбайном «SL-300/480». Для поддержания рабочего пространства в лаве применяется забойная крепь «К4» в количестве 127 секций (№№ 1÷119, 122÷129), забойная крепь «МХП-16/25 К-16.25.002.00.00.-01» в количестве 1 секции (№130), забойная крепь «МХП-16/25 К-16.25.002.00.00.-04» в количестве 1 секции (№131). На вентиляционном штреке лавы применяется крепь сопряжения «МХП КС-16.25.001.00.000» в количестве 2 секций (№ 120÷121). На конвейерном штреке лавы применяется крепь сопряжения «КС-19/34» в количестве 2 секций.

Количество рабочих смен в сутки – 4: одна смена ремонтная, три – добычные. Продолжительность смены в забое – 6 часов. В добычную смену в лаве работает звено не менее двух работников. Рабочим местом машиниста горных выемочных машин (МГВМ), горнорабочего очистного забоя (ГРОЗ) является: лава №104, участки сопряжения лавы с конвейерным и вентиляционным штреками, участок конвейерного штрека вдоль энергопоезда.

По прибытию на свои рабочие места машинист горных выемочных машин и горнорабочий очистного забоя должны получить информацию от предыдущей смены о состоянии рабочих мест. Это может быть выполнено при непосредственном общении рабочих двух смен или через оперативный журнал. Перед началом работы МГВМ и ГРОЗ обязаны:

- ознакомиться с записями в «Журнале записи результатов осмотра, приема и сдачи смены» и оперативном журнале;
- привести в безопасное состояние кровлю, борта и почву выработок, при необходимости установить рудстойки;
- проверить исправность реле утечки на трансформаторных подстанциях, питающих оборудование комплекса, с отметкой в журнале;
- произвести замер концентрации горючих газов, занести результат в «Журнал замеров концентрации горючих газов» и на доски замеров (старший звена);
- произвести осмотр комбайнов, забойного и штрековых конвейеров, механизированной крепи с заполнением «Журнала записи результатов осмотра, приема и сдачи смены»;
- проверить систему мониторинга горного давления очистного забоя (ТСК-ОК).

Важно отметить, что перечисленные выше операции повторяются в начале каждой из смен, таким образом, продолжительность выполнения всех предсменных операций зависит от количества смен в сутках. Технологическая схема выемки предусматривает последовательный отгон комбайна и выемку полос с захватом 0,8 м в направлении от тупиковой части к конвейерному штреку лавы №104. Согласно пояснительной записке к «Паспорту крепления и управления кровлей...» техническое обслуживание комбайна производится на сопряжении забоя лавы с конвейерным штреком лавы, а основными вредными производственными факторами при ведении очистной выемки в лаве являются:

- повышенная запылённость;
- производственный шум;
- повышенная температура (свыше 26°C) окружающей среды.

Кроме этого, из «Паспорта крепления и управления кровлей...» следует, что для обеспечения температурного режима в забое лавы №104 необходимо:

- подавать в выработки лавы количество воздуха не менее расчетного, при этом скорость движения струи воздуха в очистном забое лавы при



очистной выемке должна быть не ниже 0.5 м/с, а во время осмотра (ремонта) оборудования – не ниже 0.2 м/с.

- ежедневно следить за состоянием вентиляционных сооружений панели с целью исключения утечек воздуха.

Отбитая руда с забойного скребкового конвейера «СПЗ-2-228-Универсал» перегружается на штрековые скребковые конвейеры «СПШ-1-228-Универсал» №2, №1, работающие по телескопической схеме: первый скребковый конвейер, который расположен ближе к магистральным выработкам, является неподвижным, а второй конвейер, который расположен ближе к сопряжению лавы и конвейерного штрека, перемещается вдоль первого в процессе подвигания забоя лавы. При этом став скребкового конвейера, расположенного ближе к очистному забою лавы является основанием энергопоезда, на котором размещено технологическое оборудование, входящее в механизированного комплекса. Передвижка штрекового конвейера осуществляется при помощи гидравлического шагающего устройства. При приближении линии очистного забоя лавы к первому конвейеру осуществляется его перемонтаж на 70÷80м с помощью гидравлического шагающего устройства. Далее руда перегружается на ленточные конвейеры КЛ-600, смонтированные на конвейерном штреке лавы №104, и следует по ним до конвейерного штрека 2-й северной панели.

На Рисунки 3.20-3.24 представлены результаты выполненных измерений для пяти исследованных участков.

Установлено, что для всех рассмотренных горнотехнических ситуаций и вариантов систем разработки длинными столбами основными факторами, влияющими на температуру воздушной струи в лаве, являются: тепловыделения от энергопоезда; длина транспортного и конвейерного штреков; температура пласта впереди забоя лавы и вмещающих пород; температура воздуха в выработанном пространстве лавы. При этом первые два из указанных факторов являются главными причинами формирования высоких температур на сопряжении лавы с конвейерным штреком. Температура оборудования, входящего в состав энергопоезда, достигает в периоды добычных смен 100 °С и более. В результате

влияния тепловыделений от оборудования, входящего в состав энергопоезда, увеличение температуры струи воздуха составляет 10-15°C.

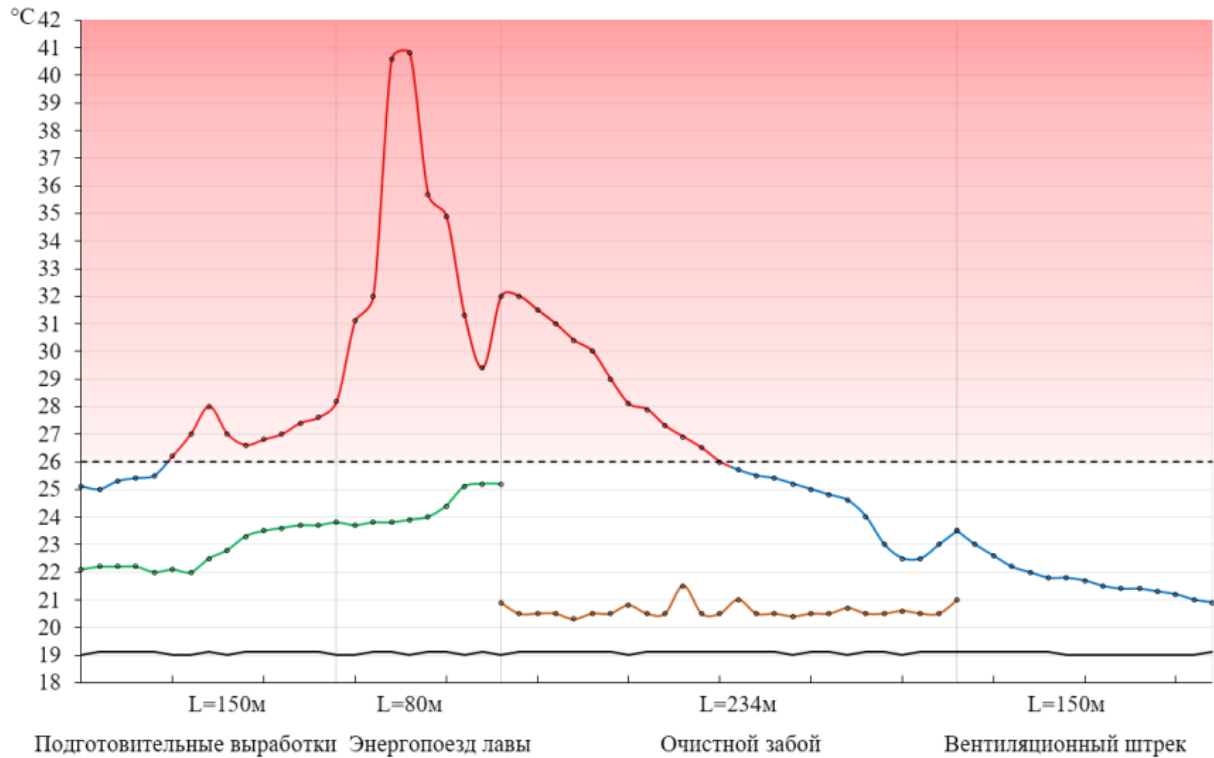


Рисунок 3.20 – Диаграмма изменения температуры воздуха при его движении по 2 северной панели 1 РУ, лава №94

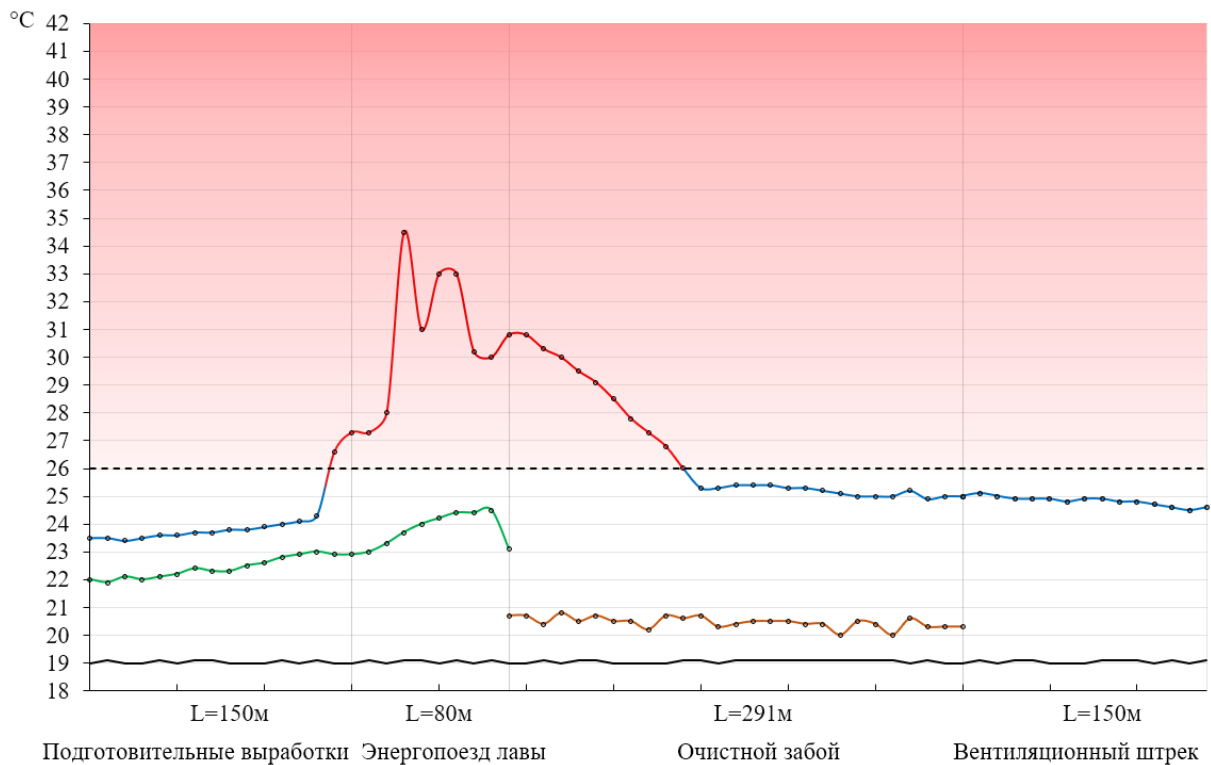


Рисунок 3.21 – Диаграмма изменения температуры воздуха при его движении по 5 северной панели 4 РУ, лава №5-1

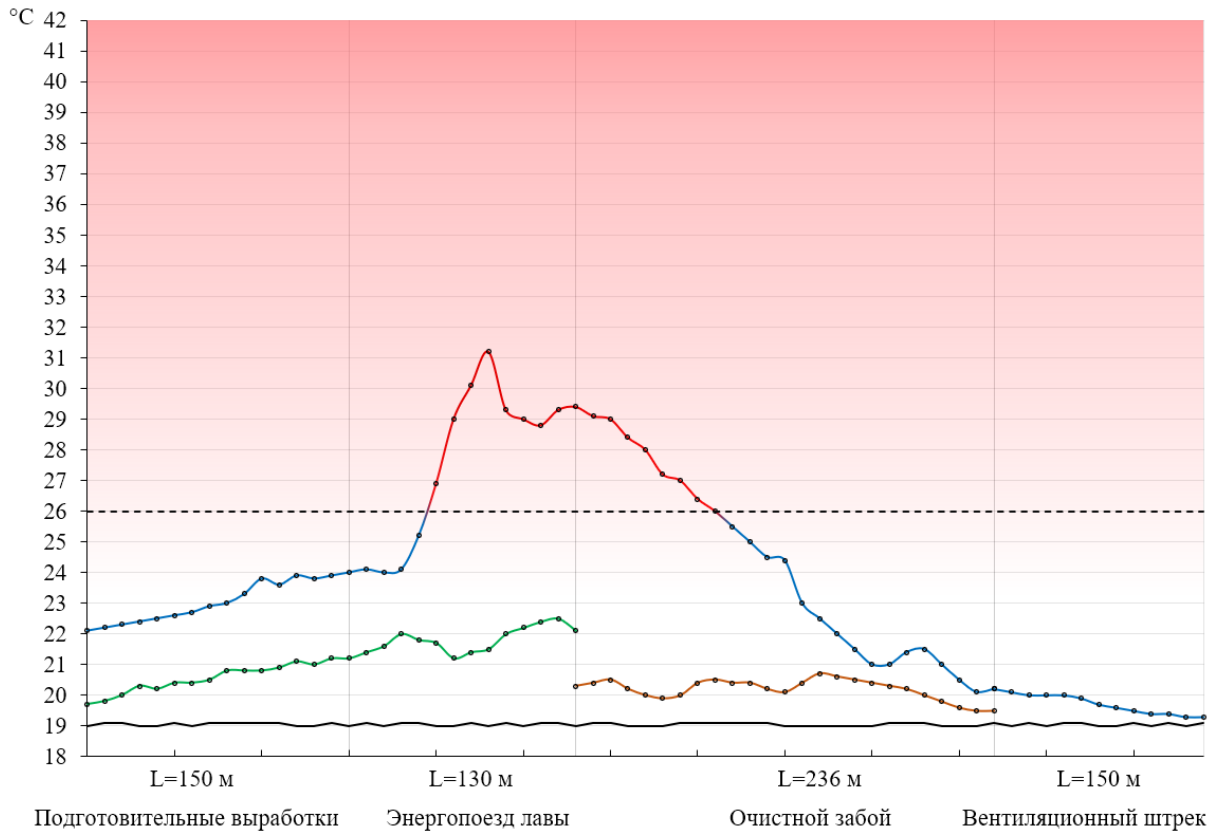


Рисунок 3.22 – Диаграмма изменения температуры воздуха при его движении по 2 северной панели 1 РУ, лава №104

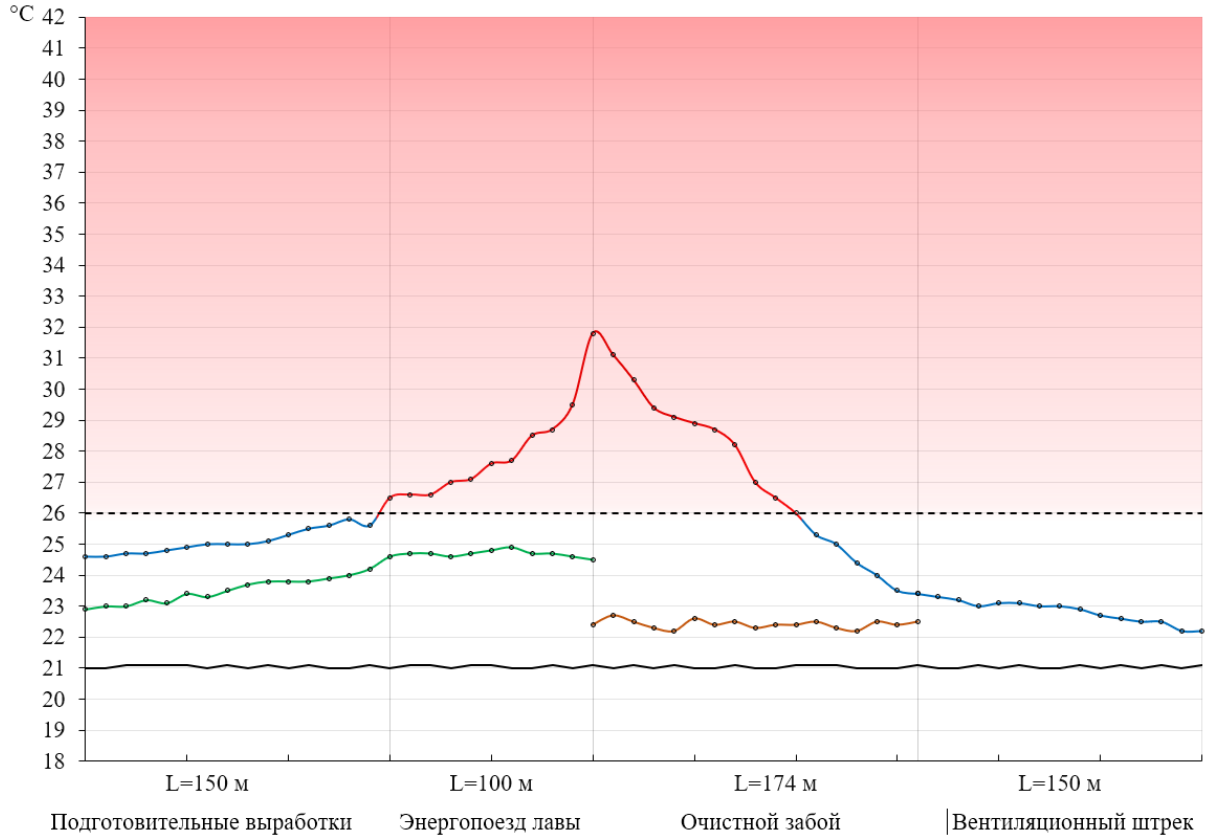


Рисунок 3.23 – Диаграмма изменения температуры воздуха при его движении по 3 восточной панели 3 РУ, лава №8-н-4

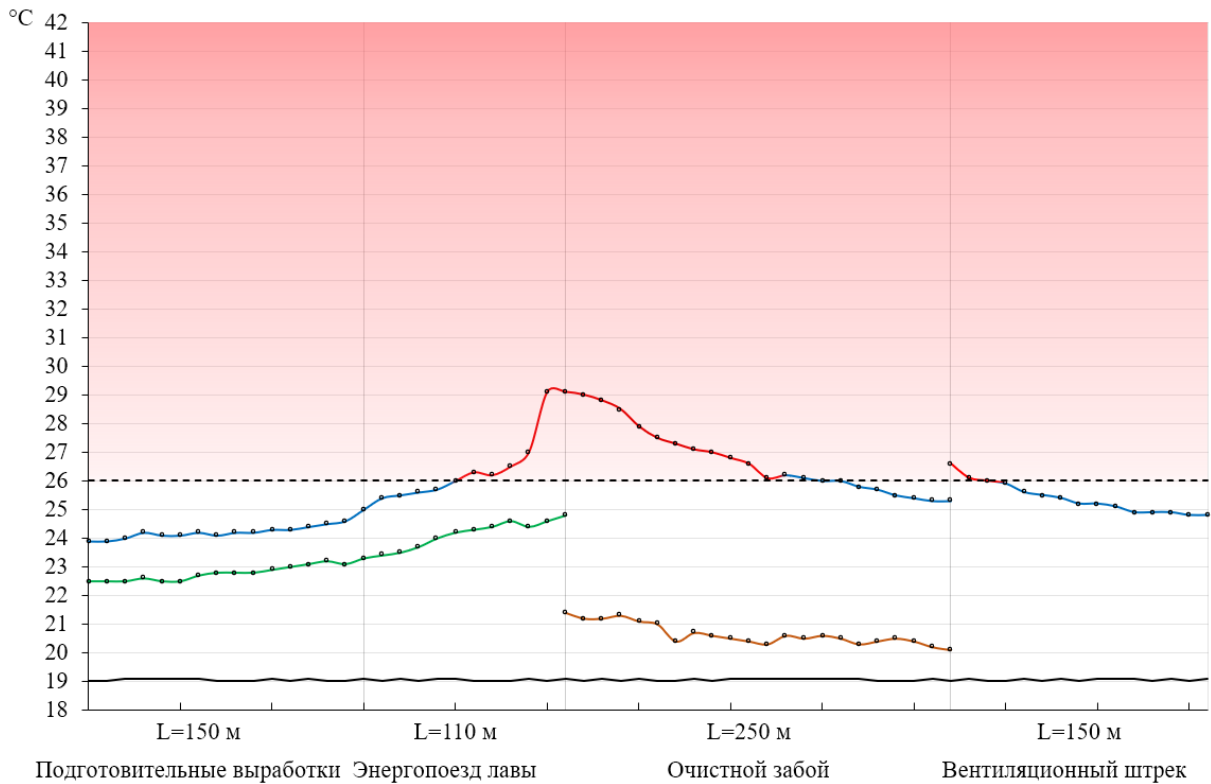


Рисунок 3.24 – Диаграмма изменения температуры воздуха при его движении по 8 восточной панели 3 РУ, лава №4-в-4

При этом наиболее существенное влияние на увеличение температуры струи воздуха, поступающего в лаву, оборудование энергопоезда оказывает на участке расположения установки для охлаждения электродвигателей и редукторов комбайна, а также на участке расположения трансформаторных подстанций. На этих участках температура воздуха достигает 40-41°C - Рисунок 3.25 Рисунок 3.26.

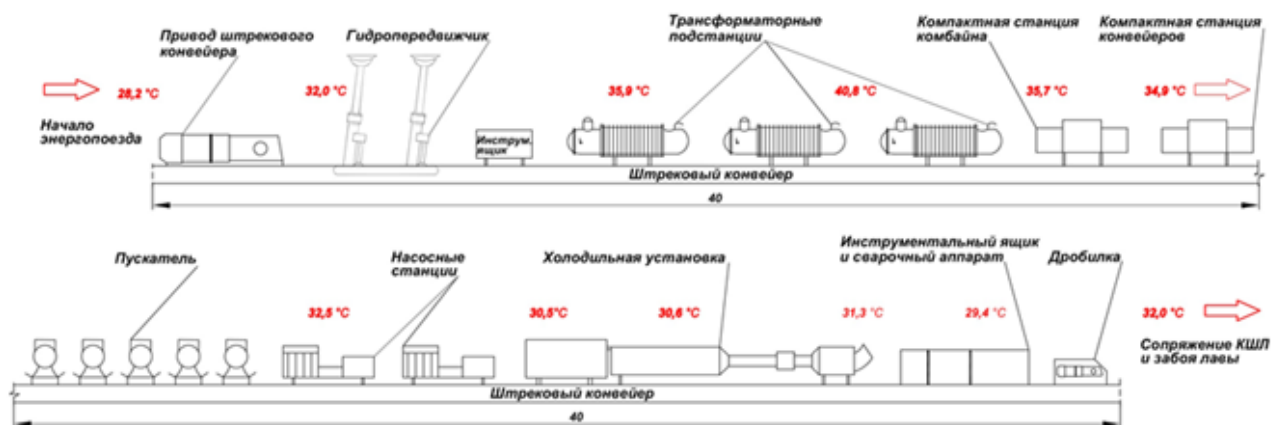


Рисунок 3.25 – Результаты замеров температуры воздуха по длине энергопоезда лавы №94

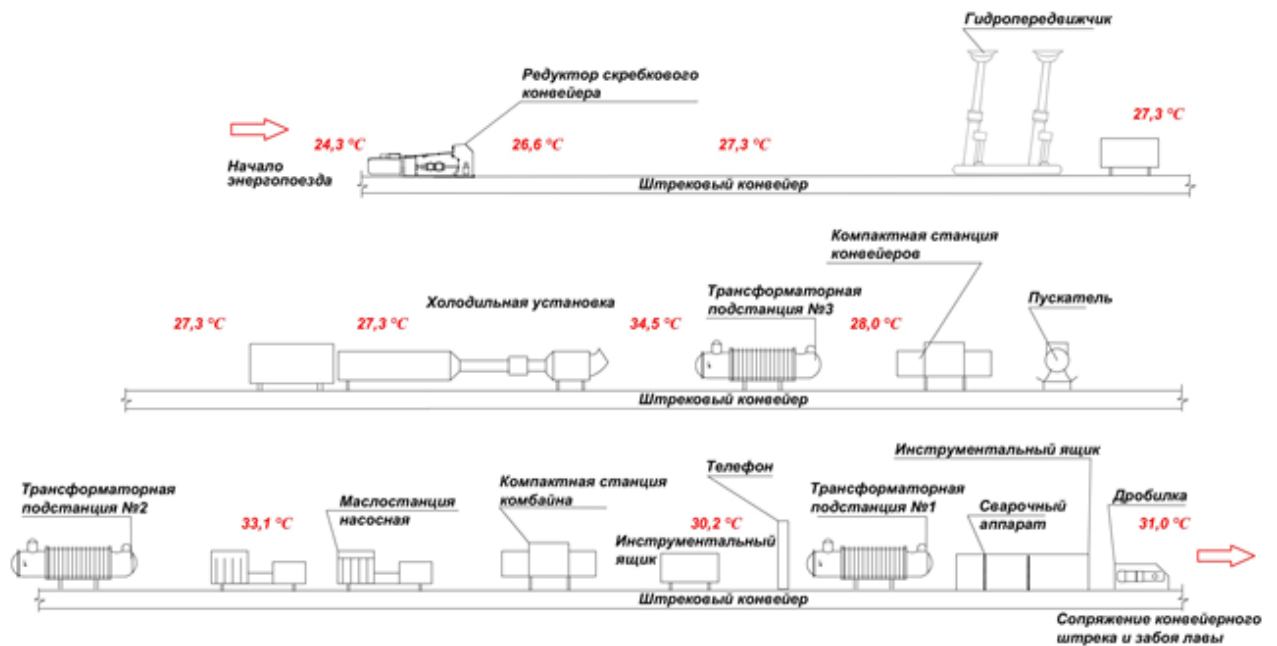


Рисунок 3.26 – Результаты замеров температуры воздуха по длине энергопоезда лавы №5-1

Разница между температурой воздуха на участке с максимальными значениями и температурой воздуха, поступающего в лаву, составляет 7-9°C. Температура струи, входящей в лаву, достигает 32-34°C и более.

Температура воздуха в транспортном штреке главным образом зависит от температуры породного массива, определяемой глубиной горных работ, длиной транспортного штрека. На входе в транспортный штрек (сопряжение штрека с магистральными выработками) температура струи примерно равна температуре породного массива. На исследуемых панелях температура породного массива составляла 19-21°C. При движении струи по транспортному штреку ее температура постепенно увеличивается, что связано с тепловыделениями конвейерных линий и поступлением воздуха из конвейерного 1 в транспортный штрек 2 (Рисунок 3.17) через сбойки. Максимальные значения приращений температуры в транспортном штреке зависят, в основном, от расстояния между лавой и сопряжением транспортного штрека 1 с магистральными выработками. Данные приращения температуры в рассматриваемых горнотехнических условиях не превышали 1-2 °C на каждый километр выработки.

В ряде случаев на участке транспортного штрека, отделенного от энергопоезда целиком шириной 3-4 м, зафиксировано возрастание температуры

воздуха на 2-3 °С, при этом во всех исследованных ситуациях температура воздуха в транспортном штреке находилась в пределах 22-27 °С.

После входа струи в лаву и при последующем движении по лаве температура воздуха постоянно снижается. Снижение температуры происходит по закону, зависящему главным образом от температуры пласта полезного ископаемого, температуры воздуха и обрушившихся пород в выработанном пространстве лавы, а также температуры воздушной струи, поступающей в лаву. Охлаждение струи воздуха, проходящей по лаве, происходит за счет поступления из выработанного пространства в лаву воздуха с более низкой температурой. Более низкую температуру, чем проходящая по лаве струя воздуха, имеет также массив полезного ископаемого. Разность температур струи воздуха на входе в лаву и на выходе из лавы составляет 6-10°С.

### **3.3 Концепция обособленного проветривания лавы и энергопоезда.**

Основой предлагаемой концепции, которая определяет направления совершенствования технологий отработки калийных пластов с учётом теплового фактора, является необходимость организации обособленного проветривания энергопоезда лавы и конвейерных линий на участке примыкания конвейерного штрека лавы к очистному забою. Это осуществляется посредством изоляции вентиляционными перемычками участка конвейерного штрека лавы, на котором происходит интенсивный нагрев температуры воздушного потока, и направления свежей струи воздуха по транспортному штреку до ближайшей сбойки между транспортным и конвейерным штреками за линией очистного забоя.

В забой лавы свежая струя воздуха с температурой от +23°С до +26°С поступает из вспомогательной выработки по конвейерному штреку, причем требуемое поперечное сечение последнего в процессе возведения закладочного массива сохраняется путем установки на крайней секции крепи сопряжения отбойного щита, который предотвращает полную закладку штрека породой. При этом часть воздушного потока, движущаяся вдоль конвейерных линий и энергопоезда, отводится непосредственно на вентиляционный штрек лавы. При

подвигании фронта очистных работ предлагаемая концепция предполагает возможность сокращения величины рабочего контура и поэтапный перемонтаж вентиляционных перемычек по мере отработки выемочного столба.

Основная идея заключается в разработке пространственно-планировочных решений, включающих подачу воздуха в лаву по участку конвейерного штрека определенной длины, поддерживаемого за лавой на границе с выработанным пространством, что обеспечивает возможность:

- обособленного проветривания лавы и энергопоезда, а следовательно, исключает влияние энергопоезда на температуру струи воздуха, поступающего в лаву;

- снижение температуры воздуха, поступающего в лаву, за счет теплообмена с вмещающими породами на участке штрека, поддерживаемого за лавой.

При реализации данной идеи возможность регулирования температуры воздуха, поступающего в лаву, до требуемой величины обеспечивается изменением длины поддерживаемого за лавой участка штрека. Минимально необходимая длина данного участка принимается из условия обеспечения температуры воздуха на входе в лаву равной  $26^{\circ}\text{C}$  [10].

На Рисунок 3.27 и Рисунок 3.28 представлены рекомендуемые варианты ресурсосберегающей системы разработки калийных пластов в условиях глубоких горизонтов, обеспечивающие снижение температуры воздуха в лавах, характеризующихся высокой энерговооруженностью очистного оборудования, без применения подземных систем кондиционирования воздуха. Основным является первый вариант. Вторым из вариантов, Рисунок 3.28, рекомендуется использовать при невозможности реализации первого решения.

При применении варианта, представленного на Рисунок 3.27, струю воздуха для проветривания лавы и энергопоезда подают по транспортному штреку 1 до сбойки 4, которая расположена на расстоянии  $L$  от лавы, как показано на Рисунок 3.29. В дальнейшем свежая струя следует по участку конвейерного штрека 2, расположенному между сбойкой 4 и лавой [29]. На сопряжении лавы и конвейерного штрека происходит разделение струи воздуха. Основная часть



воздуха поступает в забой лавы 5 и далее в вентиляционный штрек 1', оставшаяся часть - к месту расположения энергопоезда 6. От энергопоезда струя воздуха с повышенной температурой отводится к вентиляционному штреку 1' по вспомогательной диагональной выработке 8. Для регулирования объема воздуха, поступающего к энергопоезду, во вспомогательной диагональной выработке 8 устанавливаются соответствующие регулирующие устройства 10, например, временные перегородки с окнами.

При применении варианта, представленного на Рисунок 3.28 Рисунок 3.27 обеспечивается менее существенное снижение температуры воздуха, поступающего в лаву. Это происходит из-за смешивания охлажденной и нагретой струй воздуха на сопряжении конвейерного штрека и лавы. При этом рекомендуемая технология с последовательным проветриванием энергопоезда и лавы позволяет подавать максимальное количество воздуха в забой за счёт того, что исключается необходимость отвода некоторого объема воздуха по вспомогательной диагональной выработке 8 на вентиляционный штрек в обход очистного забоя.

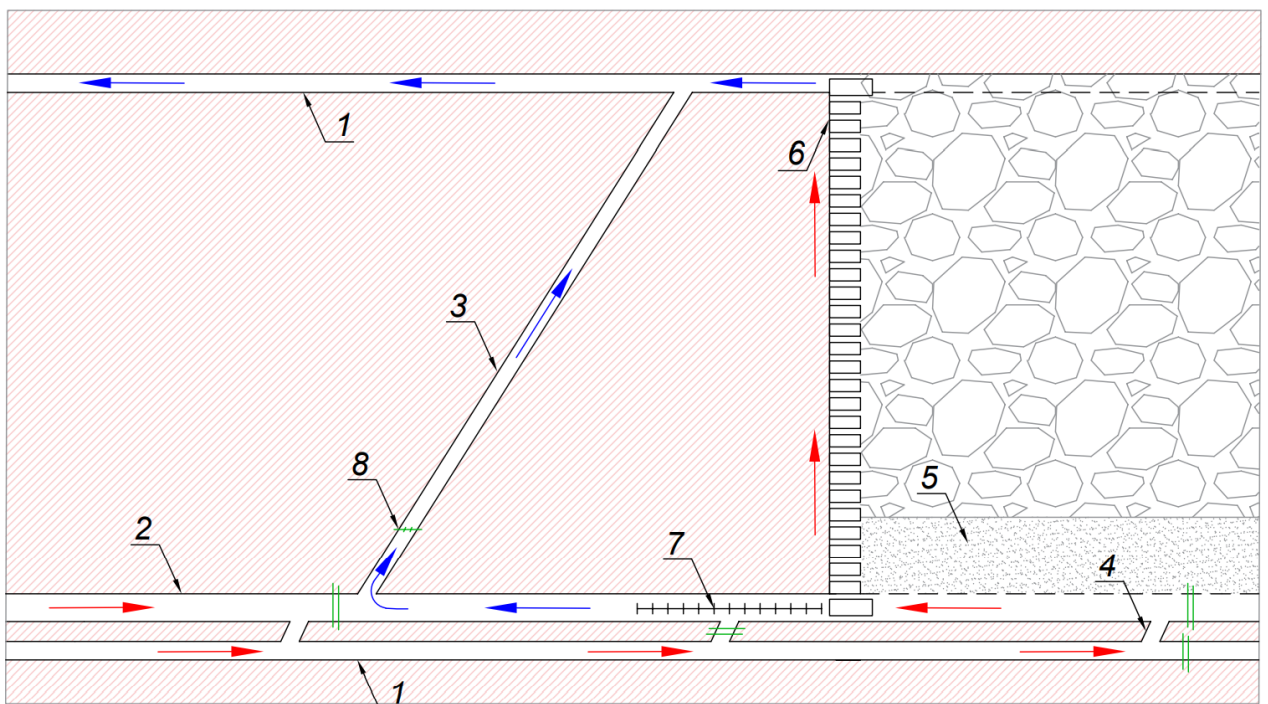


Рисунок 3.27 – Ресурсосберегающая технологическая схема с обособленным проветриванием энергопоезда и лавы, рекомендуемая для использования при высокой энерговооруженности очистного оборудования

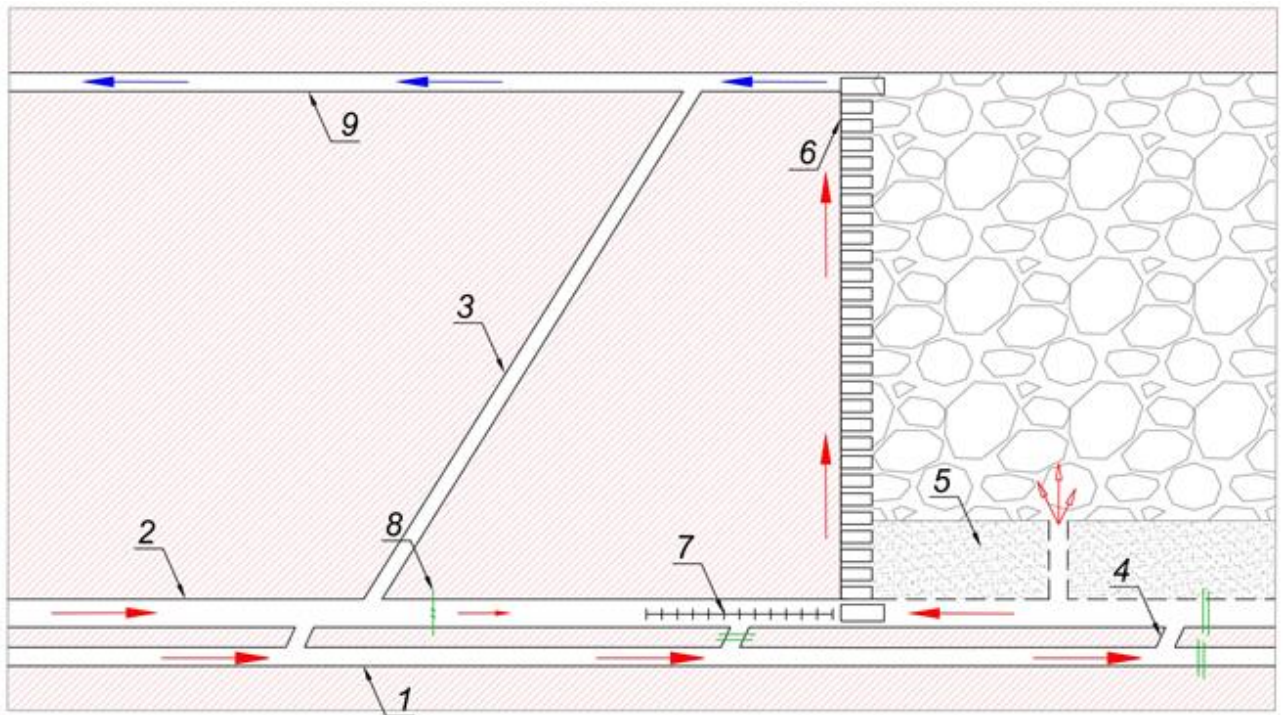


Рисунок 3.28 – Ресурсосберегающая технологическая схема с последовательным проветриванием лавы и энергопоезда, рекомендуемая для использования при высокой энерговооруженности очистного оборудования

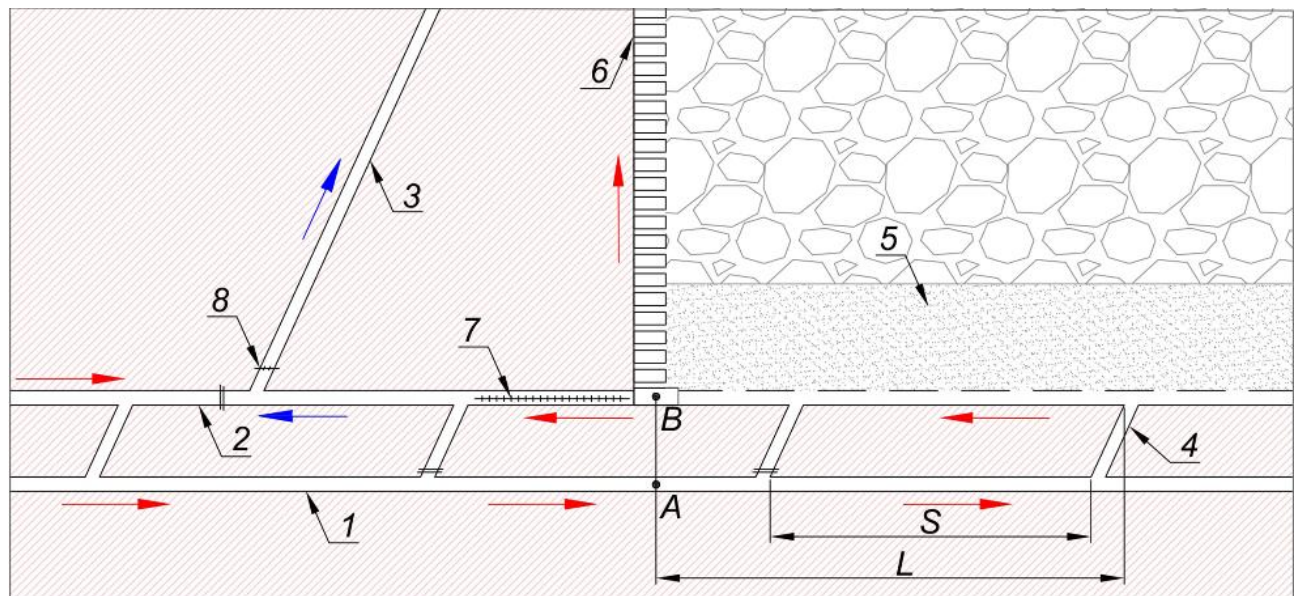


Рисунок 3.29 – Узел сопряжения конвейерного штрека и забоя лавы для вариантов рекомендуемой технологии

Как показали результаты выполненных исследований, температура воздуха, поступающего из транспортного штрека 1 в сбойку 3 на глубинах ведения очистных работ до 900 метров в самых неблагоприятных ситуациях, связанных с поступлением воздуха из конвейерного штрека в транспортный, не превышает 29°C. Снижение температуры струи воздуха, поступающей в лаву, обеспечивается

за счет теплообмена между данной струей и вмещающими породами при ее движении на участке  $L$  конвейерного штрека 2, поддерживаемого за линией очистного забоя. С учетом характера изменения температуры воздуха по длине лавы, при величине расстояния  $L=100-120$  м снижение температуры воздуха на участке конвейерного штрека, поддерживаемого за лавой, составит не менее  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Т.е. при использовании варианта системы разработки с обособленным проветриванием энергопоезда и лавы температура струи воздуха на входе в очистной забой на глубинах до 900 м может быть снижена за счёт применения рекомендуемых технологий.

### **3.4 Выводы по Главе 3**

Применяемые на рудниках ОАО «Беларуськалий» системы разработки длинными столбами с использованием в лавах высокопроизводительного очистного оборудования с высокой энерговооруженностью не обеспечивают создание в лавах температурного режима в соответствии с действующими нормативными документами. Температура воздуха в призабойном пространстве лав, работающих на глубинах более 500м, как правило, превышает предельно допустимое значение ( $26^{\circ}\text{C}$ ). В условиях рудников ОАО «Беларуськалий» при расположении энергопоезда в конвейерном штреке впереди забоя лавы температура струи воздуха на входе в лаву превышает ее предельно допустимые значения, регламентируемые санитарными нормами, на  $6-9^{\circ}\text{C}$ . Длины участков лав, прилегающих к воздухоподающему конвейерному штреку, с температурой свыше предельно допустимых  $26^{\circ}\text{C}$  составляют не менее 50% общей длины лавы.

В ближайшие годы продолжится увеличение глубины отработки залегающих пластов и энерговооруженности механизированных комплексов, что неизбежно приведет к дальнейшему росту температуры воздуха в очистных забоях. Ввиду высокой себестоимости, технической сложности, а также недостаточной эксплуатационной надежности шахтные системы кондиционирования не нашли широкого применения на действующих калийных рудниках. Применение подземных систем кондиционирования воздуха рационально и экономически

целесообразно на глубинах, при которых температура вмещающих пород превышает 25-26 °С.

Было установлено, что при использовании известных технологий отработки калийных пластов длинными очистными забоями с последовательным проветриванием энергопоезда и лавы определяющее влияние на температуру струи воздуха, поступающего в лаву, а следовательно, и на тепловой режим в лаве, оказывают тепловыделения на участке расположения энергопоезда лавы, а также глубина горных работ и расстояние от лавы до магистральной воздухоподающей выработки.

При отработке калийных пластов длинными очистными забоями на больших глубинах с использованием высокопроизводительных очистных механизированных комплексов обеспечение температуры воздуха в лавах в соответствии с требованиями нормативных документов может быть достигнуто при использовании разработанных технологий, включающих подачу в очистной забой лавы свежей струи воздуха по участку воздухоподающей выработки, поддерживаемому за лавой. Это обеспечивает возможность обособленного проветривания лавы и энергопоезда, а также снижение температуры воздуха, поступающего в лаву за счет теплообмена между данной струей и вмещающими породами.

Использование рекомендуемой технологии выемки делает возможным поддержание удовлетворительного температурного режима в лаве, а также исключить необходимость применения шахтных систем кондиционирования, изменения принципиальной схемы проветривания и транспортирования [10].

## ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ

### 4.1 Шахтные исследования состояния участка подготовительных выработок, расположенного за линией очистного забоя лавы.

С увеличением глубины ведения очистной выемки при разработке соляных месторождений особенную актуальность приобретает проблема поддержания в устойчивом и безопасном состоянии подготовительных выработок. Современные технологические решения зачастую предполагают повторное использование подготовительных выработок при отработке смежных выемочных столбов [47,26,27,28].

Анализ опыта отработки пластовых месторождений показал, что одной из наиболее сложных технологических задач при внедрении перспективных бесцеликовых технологий является поддержание штреков на границе с выработанным [3,2,42]. Однако для рекомендуемых технологий отработки калийных пластов не менее важным является вопрос охраны этих штреков на границе с выработанным пространством на участках от линии забоя лавы до ближайшей технологической сбойки в сторону выработанного пространства [39].

С целью определения необходимости использования дополнительных мер охраны поддерживаемого за лавой участка воздухоподающей выработки были проведены шахтные исследования в условиях рудников Старобинского месторождения калийных солей. Осуществлена оценка характера деформирования контура исследуемых выработок и проведены замеры их поперечного сечения в свету за линией очистного забоя лавы. Выполнены физические замеры геометрических параметров выработок, а также проведены дистанционные наблюдения на участках штреков, где нахождение людей представлялось небезопасным.

Методика проведения исследований основывалась на осуществлении шахтных наблюдений за характером деформирования контура исследуемых выработок и изменением их поперечного сечения в свету: на участке



транспортного штрека лавы от точки, расположенной в 20 метрах перед линией очистного забоя лавы, до точки, расположенной в 40 метрах за линией очистного забоя лавы. На данном участке были осуществлены физические замеры геометрических параметров выработки через каждые 10 метров на различных этапах ведения очистных работ с разницей во времени от нескольких часов до четырёх суток. Также были проведены дистанционные наблюдения на участке транспортного штрека лавы от точки, расположенной в 40 метрах за линией очистного забоя лавы, на расстоянии 60 метров в сторону выработанного пространства. Отсутствие возможности проведения физических замеров на данном участке лавы объясняется неудовлетворительным состоянием кровли и стенок выработки на данном участке, нахождение там людей представлялось рискованным и небезопасным. На Рисунок 4.30 приведена схема расположения контрольных точек, в которых были осуществлены соответствующие замеры.

Наблюдения проводились в подготовительных выработках, пройденных по нижнему сильвинитовому пласту третьего калийного горизонта – Рисунок 3.19. Этот пласт является основным промышленным пластом Старобинского месторождения калийных солей, простирается по всей его площади и состоит из чередующихся прослоев сильвинита и каменной соли. Исследуемые выработки имеют сводчатую форму поперечного сечения. Высота, ширина и площадь сечения транспортного штрека составляли 3 метра, 3 метра и 8 метров квадратных. Высота, ширина и площадь сечения конвейерного составляли 3 метра, 4,3 метра и 11,9 метров квадратных. Размер междуштрекового целика составлял 3 метра. Длина выемочного столба 2300 метров, на момент проведения наблюдений линия очистного забоя лавы находилась на расстоянии 500 метров до границы остановки очистного комплекса на демонтаж.

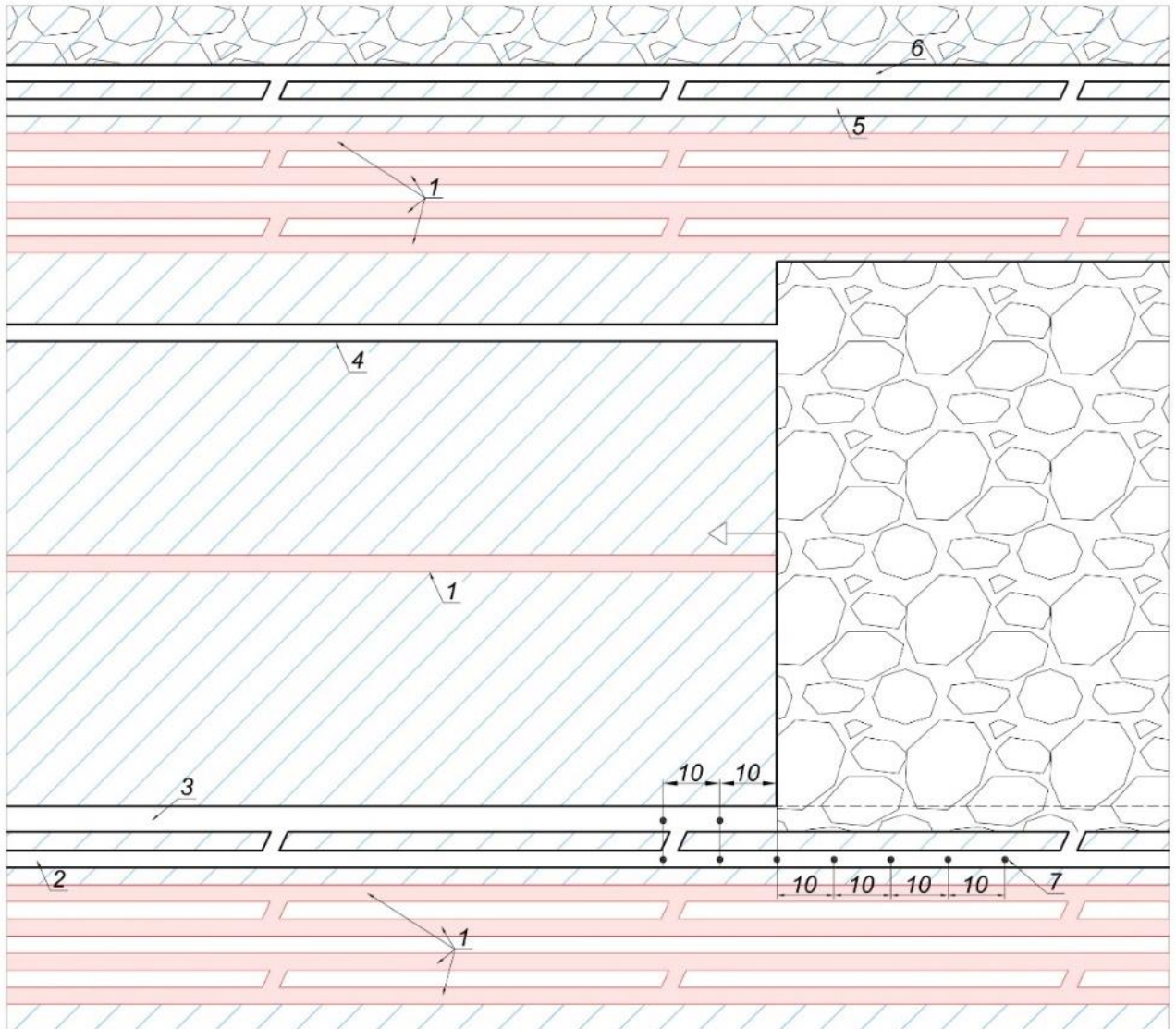


Рисунок 4.30 – Схема расположения контрольных точек замера

Действующие на момент проведения исследований меры охраны выработок:

- компенсационная щель в кровле транспортного штрека;
- винтовое анкерное крепление кровли конвейерного штрека в два ряда с шагом 1,5 метра, длина анкеров – 1,2 метра.

На Рисунок 4.31 представлены фотографии, демонстрирующие состояние транспортного штрека лавы на расстоянии 20 метров до линии очистного забоя лавы. Как видно на фотографиях, данный участок выработки находится в удовлетворительном и безопасном состоянии. Наблюдается небольшое сужение компенсационной щели – до 10 мм, конвергенция стенок горной выработки не превышает 15 мм, при этом полностью отсутствуют признаки пучения почвы штрека.



Рисунок 4.31 – Фотографии транспортного штрека лавы

Как видно из Рисунок 4.32, на следующем участке от точки +20 м до точки -10 м состояние подготовительной выработки остаётся практически неизменным.

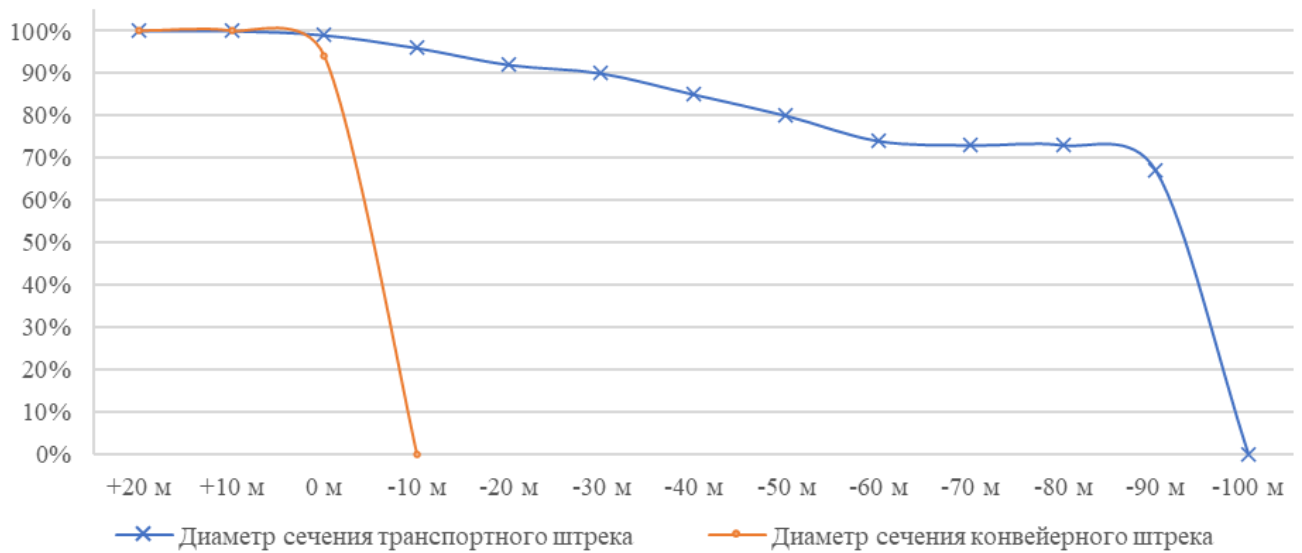


Рисунок 4.32 – График изменения размера сечения в свету транспортного штрека на исследуемом участке

Уже за линией очистного забоя лавы начинают развиваться существенные деформации, которые приводят к тому, что в точке -40 м состояние



подготовительной выработки уже можно охарактеризовать как неудовлетворительное и небезопасное - Рисунок 4.33.

Величина сужения компенсационной щели здесь достигает 50 мм, а конвергенция стенок горной выработки составляет 150-200 мм, что в некоторых местах уже приводит к их обрушению. Присутствует несущественное пучение почвы в этой точке – 40 мм. При этом на расстоянии 50-60 метров за точкой -40 м ещё сохраняется более 70% диаметра выработки, однако перемещение по этому участку людей небезопасно по причине возможных вывалов кусков породы из, преимущественно, стенок, а также кровли выработки.



Рисунок 4.33 – Фотографии транспортного штрека лавы

Конвейерный штрек лавы благодаря установленному винтовому анкерному креплению на участке до линии очистного забоя сохраняется в безопасном состоянии. Но при этом участок конвейерного штрека, находящийся на границе с выработанным пространством за линией очистного забоя лавы, погашается мгновенно по мере передвижки секций крепи сопряжения, поддерживаемый только с одной стороны податливым трёхметровым целиком.

Результаты проведённых шахтных исследований демонстрируют, что повторное использование парных подготовительных выработок, а также поддержание участков этих выработок за линией очистного забоя возможно только при использовании дополнительных мер [40]. Например, на угольных шахтах Донбасса существует положительный опыт возведения двойных односторонних породных полос, предназначенных для поддержания подготовительных выработок за лавой. Данная технология заключается в том, что по одной из сторон штрека выкладываются две породные полосы. Первая – опорная, её ширина составляет 5-7 метров, она располагается в 6-8 метрах от охраняемой подготовительной выработки. Вторая – ограждающая, возводится в непосредственной близости от штрека, и её ширина составляет 2-3 метра. Оставленное расстояние между этими двумя породными полосами выполняет роль накопителя для выдавливаемых кусков породы. Подобное расположение в пространстве бутовых полос позволяет обеспечить более плавное и контролируемое опускание пород кровли за счёт управления габаритными размерами этих полос и изменения расстояния между ними. Также для предотвращения неравномерного распределения напряжений, причиной которого может стать несоответствие компрессионных характеристик породной полосы или полос с одной стороны выработки и нетронутого породного массива с другой, возможно за счёт искусственного ослабления массива, например, буровзрывным способом или компенсационными щелями. Так, например, на Рисунок 4.33 можно наблюдать, что вывалы в пространство выработки происходят именно со стороны податливого трёхметрового целика, что объясняется разностью компрессионных характеристик этого целика и нетронутого массива. При этом следует принимать во внимание, что использование породных полос с шириной, обеспечивающей практически полное отсутствие их податливости, может отрицательно отразиться при последующей выемке надработанного нижнего технологического слоя – породная полоса с такими характеристиками фактически будет выполнять роль жёсткого межстолбового целика, концентрируя вокруг себя опорное давление [42,41,33].

Согласно действующей Инструкции по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении повторное использование выработок допускается только на глубинах до 900 метров, при этом в кровле повторно используемой выработки требуется оставлять монолитный слой сильвинита или каменной соли мощностью не менее 0,2 метра [14]. Существует также важное требование по ширине повторно используемых выработок - она не должна превышать 3,5 метра, что важно учитывать при проектировании технологических схем с повторным использованием парных подготовительных выработок.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что при использовании рекомендуемых технологий отработки калийных пластов, которые предполагают поддержание за линией очистного забоя участков конвейерного и транспортного штреков, необходимо обеспечивать дополнительную охрану этих выработок [48,50,6]. Длина поддерживаемого за линией очистного забоя участка выработки определяется из условия обеспечения допустимой температуры воздушной струи, подаваемой в лаву. В качестве дополнительной меры охраны могут быть использованы крепи различных конструкций или породные полосы [35,47,51], возводимые в выработанном пространстве, при селективной выемке слоев пласта. Срок службы поддерживаемых участков зависит от их длины и скорости подвигания очистного забоя – для рассматриваемых диапазонов глубин составляет от 1 до 6 месяцев.

#### **4.2 Определение минимально необходимой длины поддерживаемого участка по фактору допустимой температуры воздушной струи, подаваемой в лаву**

При использовании рекомендуемых технологий снижение температуры струи воздуха, поступающей в лаву, обеспечивается за счет теплообмена между данной струей и вмещающими породами, как показано на Рисунок 4.34, при ее движении на участке L транспортного штрека 1 и конвейерного штрека 2, поддерживаемых за линией очистного забоя. Для исключения полного заполнения

штрека породой в процессе возведения закладочного массива на крайней секции крепи сопряжения устанавливается отбойный щит.

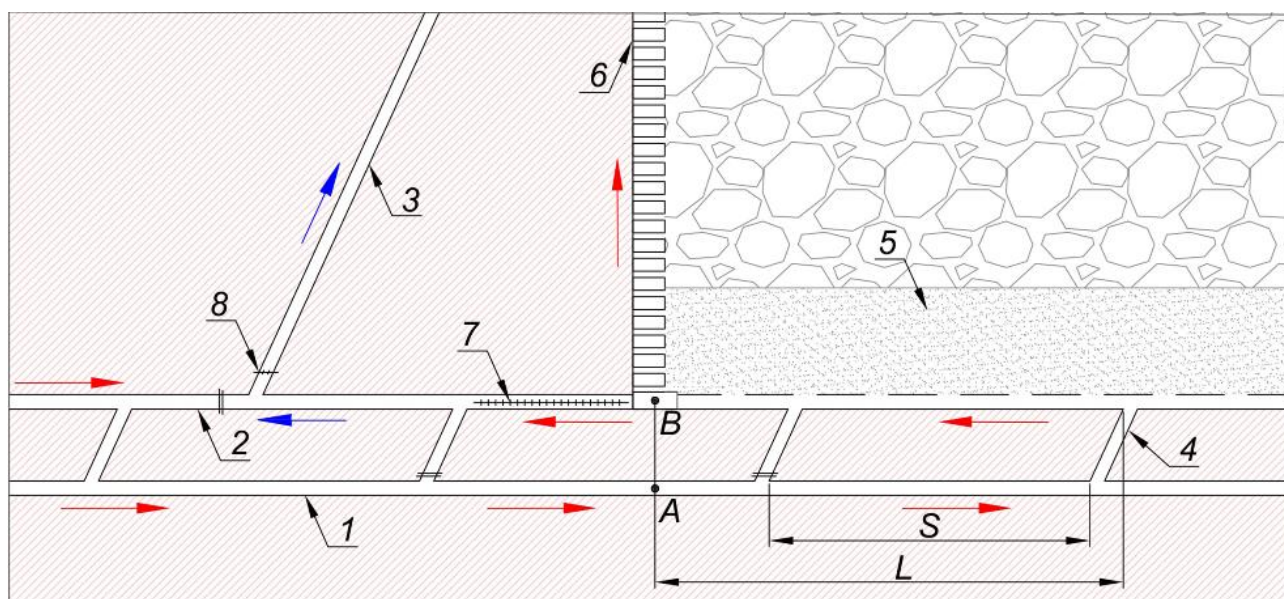


Рисунок 4.34 – Узел сопряжения конвейерного штрека и забоя лавы для вариантов рекомендуемой технологии

Параметр  $L$  является технически легко регулируемым в период отработки столба, что позволяет рассматривать увеличение  $L$  как реально осуществимый способ снижения температуры воздуха, поступающего в лаву, не только при использовании схемы с обособленным проветриванием лавы и энергопоезда, но и при последовательном проветривании энергопоезда и лавы.

В основу изучения теплоотдачи конвекцией положена закономерность охлаждения или нагревания тел, установленная Ньютоном [45,46]. По закону Ньютона количество тепла, теряемое поверхностью тела в единицу времени рассчитывается по формуле 1.

$$q = \alpha(T_{\text{ст}} - T_{\text{в}})S, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$T_{\text{ст}}$  – температура поверхности стенки, с которой соприкасается газ или жидкость, °С;

$T_{\text{в}}$  – температура движущейся среды, °С;

$S$  – площадь соприкосновения газа со стенкой, м<sup>2</sup>.

Удельный тепловой поток рассчитывается по формуле 2:

$$q_0 = \alpha(T_{\text{ст}} - T_{\text{в}}). \quad (2)$$

Большинство расчётов в шахтной теплофизике основано на использовании введенного О.А. Кремневым коэффициента нестационарного теплообмена – формула 3.

$$k_t = (T_{\Pi} - T_{\text{В}})^{-1} q(P, t) = a \left( \frac{T_{\text{ст}}(t) - T_{\text{В}}}{T_{\Pi} - T_{\text{В}}} \right), \quad (3)$$

где  $T_{\text{ст}}(t) = T(P, t)$ ;

$T_{\text{В}}$  - средняя температура воздуха, °С;

$T_{\text{ст}}(t)$  - температура на стенке выработки, °С;

$T_{\Pi}$  - температура породного массива, °С;

$T_{\text{В}}$  - температура воздуха, °С;

$a$  - коэффициент теплообмена стенки с воздухом.

В шахтных условиях обычно экспериментально определяют  $T_{\text{ст}}(t)$ , а потом  $k_t$  с целью проверки формул, выводимых для  $k_t$  на отдельных участках.

Конечная часть массива, примыкающая к стенке выработки, температура в которой монотонно изменяется от  $T_{\text{ст}}$  до  $T_{\Pi}$  (определяемой с точностью в  $0,05 \div 0,1$  °С), называется охлажденной зоной породного массива [44].

Для расчета температуры воздуха в выработке необходимо определить тепловыделение в любой расчетный момент времени, отнесенное к единице времени. Такое тепловыделение может быть получено из уравнения для нестационарной температуры стенки массива (7,16). В шахтной теплофизике теплопритоки из массива к вентиляционному воздуху принято определять через коэффициент нестационарного теплообмена  $k_t$  – формула 4.

$$\Delta Q_{\text{М}} = k_t PL(T_{\Pi} - T_{\text{В}}), \quad (4)$$

где  $P$  и  $L$  - периметр и длина выработки (или её участка);

$T_{\Pi}$  - температура породного массива, °С;

$T_{\text{В}}$  - температура воздуха, °С [44].

В этом равенстве коэффициент  $k_t$  представляет собой количество тепла, отнесенного к единице времени [Вт] и выделяемого породным массивом с 1 м<sup>2</sup> стенок выработки в расчетный момент времени при разности между естественной температурой пород и воздушной струей в 1°К. Этот коэффициент назвали

коэффициентом нестационарного теплообмена. Такое представление  $\Delta Q_M$ , отчасти облегчает пользование полученными зависимостями, однако не упрощает аналитического решения задачи. В этом случае сложная функциональная зависимость тепловыделения от различных факторов будет отнесена не к  $\Delta Q_M$ , а к  $k_t$ . Значение  $k_t$  можно найти из этого выражения, используя формулу 5.

Все известные формулы для  $k_t$  можно объединить в 4 группы:

- 1)  $k_t$  на основе точных решений базисных задач теплопереноса в массивах;
- 2)  $k_t$ , полученные на основе приближенных, численных или аналоговых решений базисных задач;
- 3)  $k_t$ , следующие из решений вспомогательных задач;
- 4)  $k_t$ , найденные эмпирико-статистическими методами (путём нахождения "поправочных коэффициентов" к  $k_t$  трёх первых групп и путём установления для  $k_t$  корреляционных связей) [44,20].

$$k_t = \frac{\Delta Q_M}{PL(T_{\Pi} - T_B)} \quad (5)$$

Альтернативным способом расчёта теплообмена со стенками выработок является вычисление коэффициента нестационарного теплообмена. Для этого необходимо иметь данные о фактическом перепаде температуры воздуха в выработке при определённом расходе, а также о температуре нетронутого массива породы рядом с выработкой [36]. В таком случае коэффициент нестационарного теплообмена  $k_t$  вычисляется по формуле 6.

$$k_t = \frac{P_{air} C_{air} Q}{PL} \ln \left| \frac{T_A - T_{\Pi}}{T_B - T_{\Pi}} \right| \quad (6)$$

Температура породного массива для заданной глубины ведения работ рассчитывается по формуле 7:

$$T_{\Pi} = 5,5 + 0,021Z, \quad (7)$$

где  $Z$  = глубина сопряжения точки рабочей зоны с воздухоподающей выработкой относительно земной поверхности, выраженная в метрах.

На Рисунок 4.35 представлен график зависимости температуры вмещающих пород от глубины ведения очистных работ на Старобинском месторождении калийных солей.



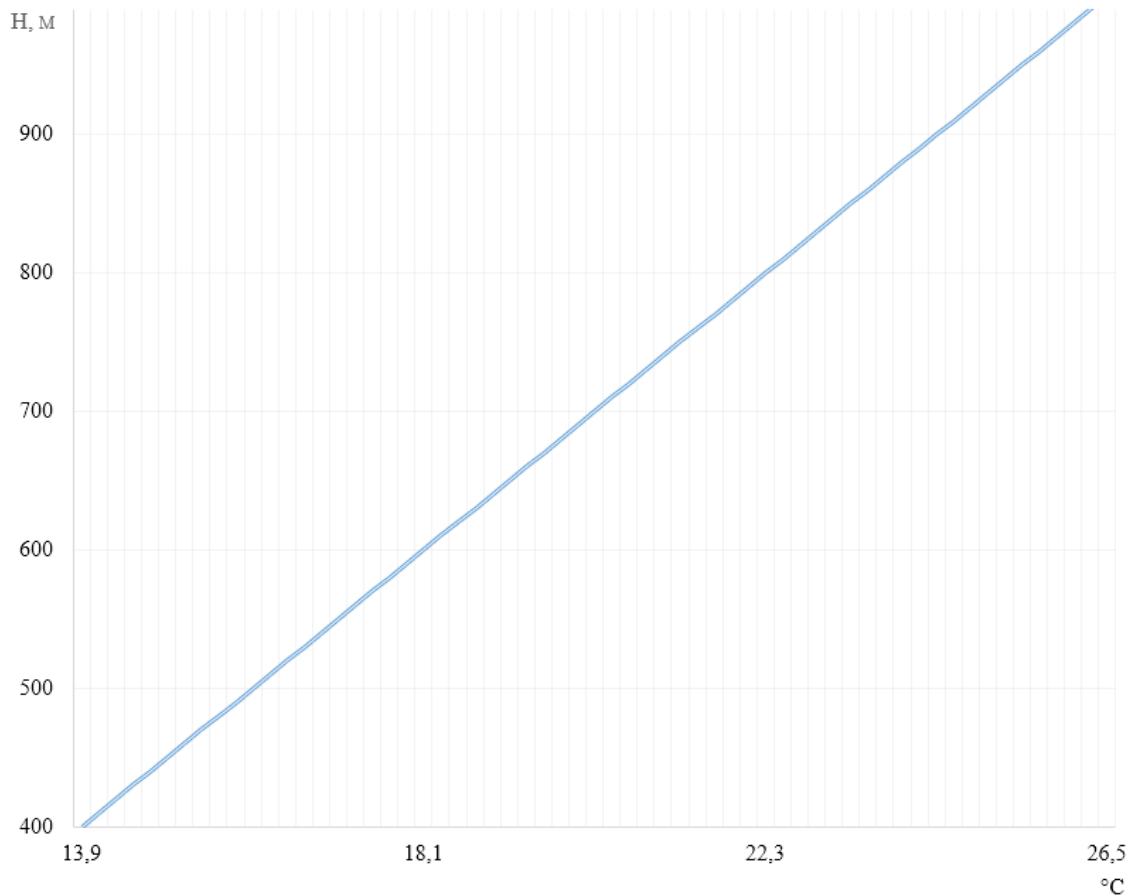


Рисунок 4.35 – Зависимость температуры вмещающих пород от глубины ведения очистных работ для Старобинского месторождения калийных солей

Температура воздушной струи в транспортном штреке на линии очистного забоя, как правило, на 4-6°C выше температуры вмещающих пород на данном участке. Также было отмечено, что температура воздуха увеличивается примерно на 1°C каждые 1000 метров своего пути по панельным выработкам – нагрев струи воздуха происходит из-за тепловыделений от оборудования, размещенного в конвейерном штреке лавы. Температура воздуха в транспортном штреке может быть рассчитана по формуле 8.

$$T_A = T_{\text{п}} + 6 + \frac{L_{\text{столба}}}{1000} \quad (8)$$

Когда значение  $k_t$  вычислено для исследуемой выработки, пересчёт температуры воздуха на участках происходит при помощи формулы, приведенной ниже. Таким образом, коэффициент нестационарного теплообмена позволяет предсказывать перепад температуры для расходов воздуха  $Q$ , для которого  $k_t$  был вычислен. А зная существующую температуру воздуха на  $i$ -ом участке до

теплообмена со стенками выработки и зная требуемую температуру воздуха на  $i$ -ом участке после теплообмена со стенками выработки, можно найти протяжённость данного участка, при которой будет обеспечено снижение температуры воздуха до заданной величины.

Применительно к рассматриваемой задаче минимально необходимая длина  $L$  поддерживаемых за лавой участков транспортного штрека 1 и конвейерного штрека 2, как показано на Рисунке 4.34, с достаточной для практических целей точностью может быть определена из выражения 9.

$$L = \frac{P_{air} C_{air} Q}{P k_t} \ln \left( \left| \frac{T_A - T_{\Pi}}{T_B - T_{\Pi}} \right| \right), \quad (9)$$

где  $P_{air}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{air}$  – удельная теплоёмкость воздуха, кДж/(кг\*К);

$Q$  – текущий расход воздуха в транспортном штреке, для которого указано изменение температуры, м<sup>3</sup>/с;

$P$  – периметр поперечного сечения транспортного штрека, м;

$k_t$  – коэффициент нестационарного теплообмена, Вт/м<sup>2</sup>;

$T_A$  – температура воздуха на сопряжении в транспортном штреке на линии с очистным забоем лавы, °С;

$T_{\Pi}$  – температура породного массива, °С;

$T_B$  – температура воздуха на сопряжении лавы с конвейерным штреком после теплообмена со стенками, °С.

Таким образом, были рассчитаны значения минимально необходимой длины участка  $L$ , которая обеспечивает температуру поступающей в лаву струи воздуха ниже 26 °С.

### **4.3 Определение области рационального применения разработанной технологии с учётом возможностей охраны выработок и глубины ведения очистных работ.**

Выполненные исследования показали, что температура воздуха, поступающего в выработку 4, а следовательно, и минимально необходимая длина  $L$



(Рисунок 4.34), поддерживаемых за лавой участков конвейерного и транспортного штреков, существенно зависит от расстояния между лавой и магистральным воздухоподающим штреком. С учётом этого фактора была рассчитана зависимость минимально необходимой длины поддерживаемого за лавой участка воздухоподающей выработки от глубины ведения очистных работ для различных условий, а именно, при расстоянии между лавой и магистральным воздухоподающим штреком равном 1000м, 2000м, 3000м и 4000м. Результаты выполненных вычислений представлены на Рисунок 4.36.

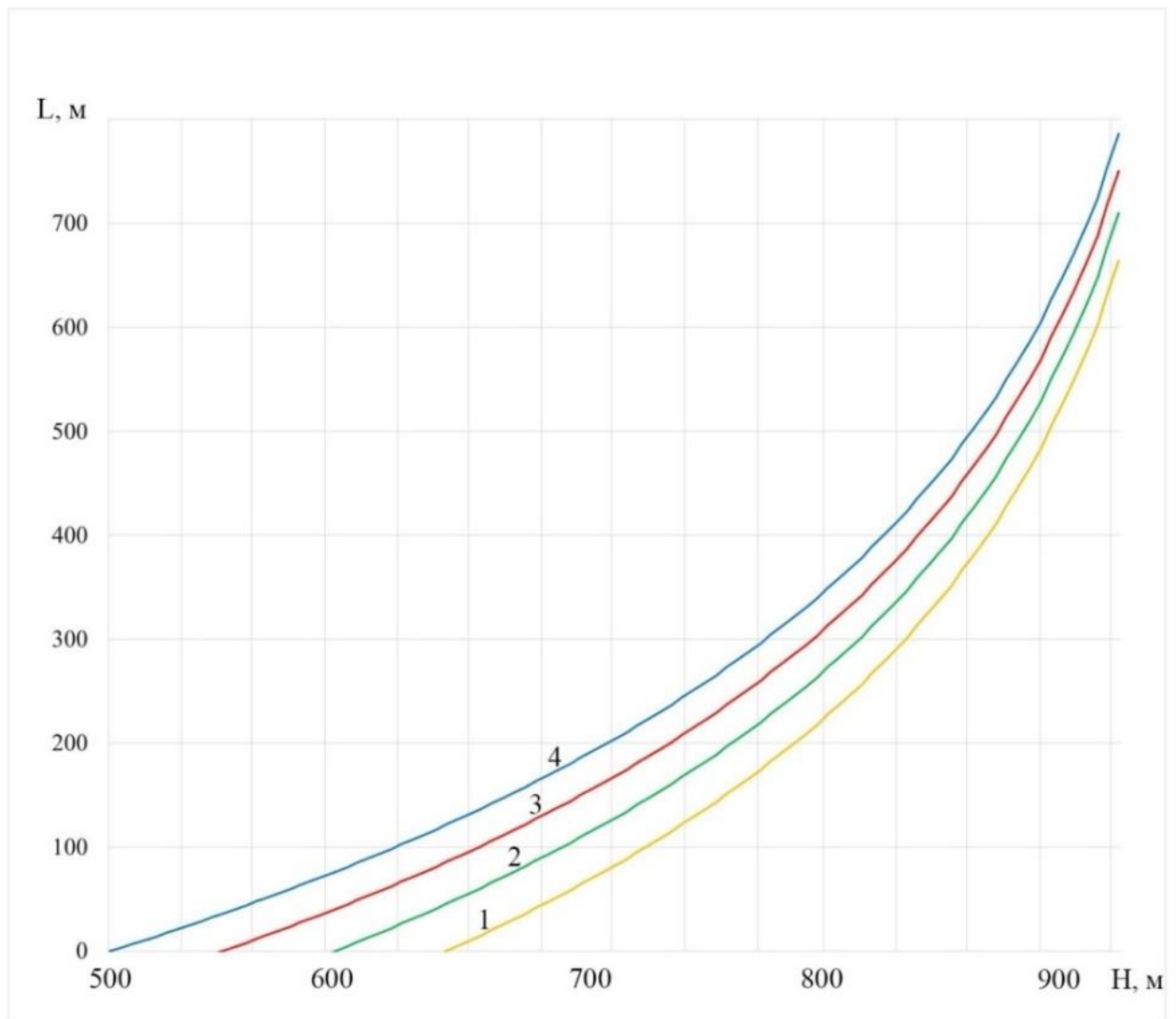


Рисунок 4.36 – Зависимость минимально необходимой длины поддерживаемого за лавой участка воздухоподающей выработки от глубины ведения очистных работ при расстоянии между лавой и магистральным воздухоподающим штреком равном: 1000м – 1, 2000м – 2, 3000м – 3 и 4000м

Для оценки влияния ширины выработок на участке, поддерживаемом за линией очистного забоя, был построен график зависимости минимально необходимой длины поддерживаемого за лавой участка воздухоподающей выработки от ширины выработок на данном участке для условий, когда минимально необходимая длина составляет 300 метров, а ширина выработок 3 метра. Этот график представлен на Рисунок 4.37.

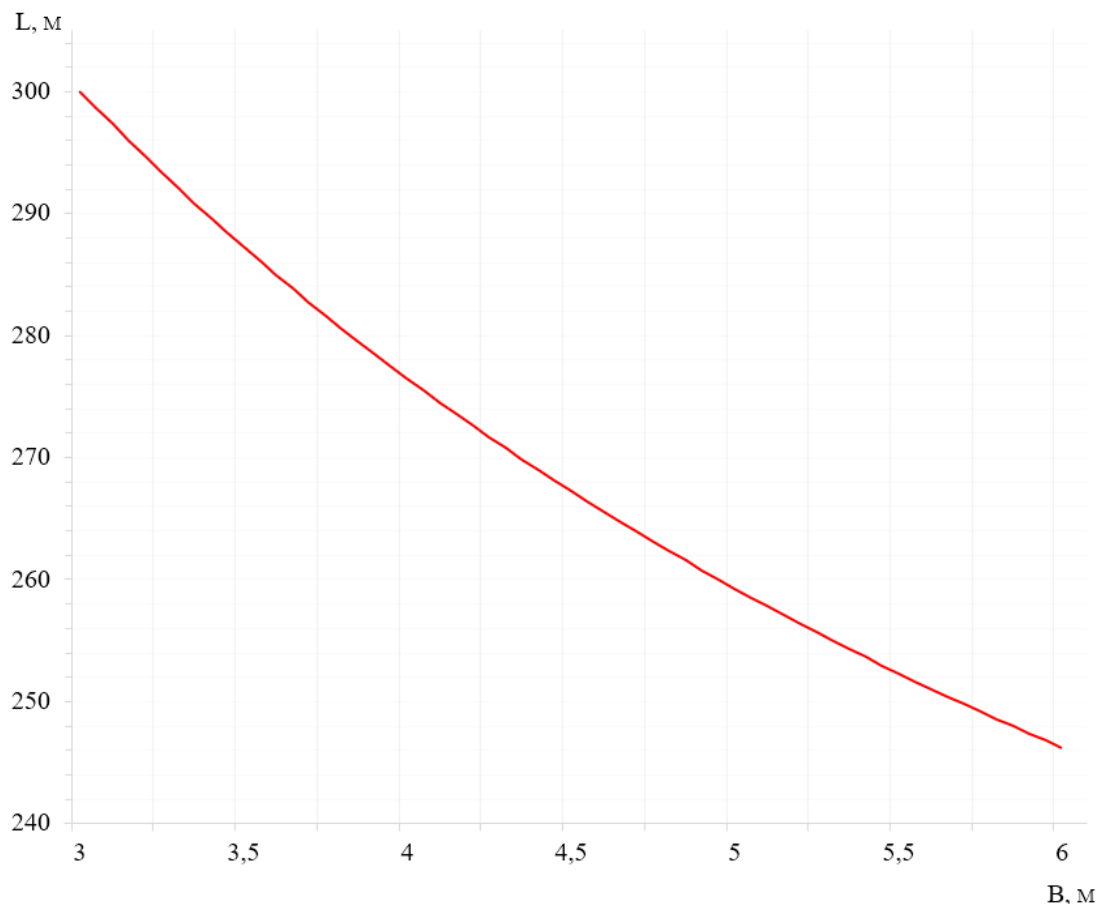


Рисунок 4.37 – Зависимость минимально необходимой длины поддерживаемого за лавой участка воздухоподающей выработки от ширины выработок на данном участке.

Выполненный анализ показал, что при увеличении ширины выработок в два раза протяженность участка сокращается не более, чем на 20%; таким образом, оказываемое влияние можно считать несущественным, а разработку решений для снижения температуры воздуха в очистном забое за счёт ширины воздухоподающих выработок – нецелесообразной.

На основании шахтных исследований и выполненных расчётов, а также с учётом опыта повторного использования выработок на Старобинском

месторождении была определена область рационального применения разработанной технологии при существующих возможностях охраны выработок и глубине ведения очистных работ [1]. Применение разработанных технологий рационально и экономически целесообразно на глубинах до 800-900 метров, при которых температура вмещающих пород не превышает 25 °С, а длина поддерживаемого участка не превышает 600, при этом срок службы охраняемых выработок составляет не более 6-7 месяцев.

На глубинах свыше 900 метров температура вмещающих пород стремится и превышает 26°С, что делает затруднительным охлаждение подаваемой в забой лавы струи воздуха за счёт теплообмена с вмещающими породами, т.к. протяженность поддерживаемого участка становится слишком большой. На таких глубинах рационально применение подземных систем кондиционирования воздуха, как основного способа управления температурным режимом в очистном забое, а разработанные технологии могут быть использованы в качестве дополнительного инструмента снижения температуры воздушной струи.

#### **4.4 Техничко-экономическая оценка разработанных технологий**

При технико-экономической оценке альтернативных способов обеспечения требуемого теплового режима в лавах необходимо учитывать, что рекомендуемые варианты систем разработки длинными забоями легко адаптируются к фактически сложившимся технологическим схемам, применяемым в настоящее время на рудниках ОАО «Беларуськалий»; характеризуются минимальными энергетическими затратами; могут быть использованы как при проектировании новых горизонтов, так и в отработываемых панелях.

Оценка экономической эффективности рекомендуемых технологий выполнена на основании требований санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Гигиенические требования к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников», а также действующих инструкций по охране труда и коллективного договора. Согласно установленного разграничения работ по тяжести на основе общих энергозатрат организма, работы в очистном забое лавы

относятся к категории тяжелых физических работ (категория III), при которых расход энергии превышает 250 ккал/час (290 Вт), такие работы связаны с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных, массой свыше 10 кг, грузов и требуют больших физических усилий, пребывания в вынужденном положении тела свыше 50% времени смены [38].

Температура воздуха на постоянных рабочих местах в подготовительных, очистных и других выработках не должна превышать допустимую +26°C. При температуре выше регламентируемой должны применяться меры по увеличению воздухообмена в забое, охлаждению воздуха рабочей зоны, экранированию и теплоизоляции нагретых поверхностей горного оборудования, а также необходимо сокращать время пребывания на рабочих местах, что является одним из наиболее важных факторов при оценке технологий, позволяющих снизить температуру воздуха на рабочих местах в очистных забоях.

С целью регламентации времени работы в пределах рабочей смены в условиях микроклимата с температурой воздуха на рабочих местах выше допустимых величин следует руководствоваться таблицей 4.

Таблица 4 – Время пребывания на рабочих местах при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категории работ, ч		
	Ia-Iб	IIa - IIб	III
32,5	1	-	-
32,0	2	-	-
31,5	2,5	1	-
31,0	3	2	-
30,5	4	2,5	1
30,0	5	3	2
29,5	5,5	4	2,5
29,0	6	5	3
28,5	7	5,5	4
28,0	8	6	5
27,5	-	7	5,5
27,0	-	8	6
26,5	-	-	7
26,0	-	-	8

Если измеренные параметры не соответствуют гигиеническим нормативам, то условия труда относятся к вредным в целях защиты работников от возможного перегревания. При температуре воздуха на рабочих местах выше допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено величинами, указанными в таблице.

Особенность процесса выемки калийных пластов длинными очистными забоями состоит в том, что рабочие не имеют постоянного рабочего места и в течение смены перемещаются вдоль конвейерного штрека и очистного забоя лавы. Постоянным рабочим местом считается тот участок, на котором работник находится большую часть (более 50% или более 2 ч непрерывно) своего рабочего времени. Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона. А среднесменная температура воздуха  $T_B$  рассчитывается по формуле:

$$T_B = \frac{T_{B1} \times P_1 + T_{B2} \times P_2 + \dots + T_{Bn} \times P_n}{8} \quad (11)$$

где  $T_{B1}$ ,  $T_{B2}$ ,  $T_{Bn}$  – температура воздуха на соответствующих участках рабочего места, °С;

$P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_n$  – время выполнения работы на соответствующих участках рабочего места, ч;

8 – продолжительность рабочей смены, ч.

Выполненные расчёты показали, что для большинства исследованных участков среднесменная температура воздуха превышала допустимые значения и находилась в пределах 26-30°С. Продолжительность рабочей смены шахтеров составляет 7 часов, при этом непосредственно на своих рабочих местах они проводят в среднем около 6 часов, таким образом, с учётом сложившейся продолжительности смены допустимая температура воздуха составляет 27°С [39].

В условиях, когда среднесменная температура воздуха превышает допустимую, возникает необходимость сокращения продолжительности рабочей смены: например, при температуре 28 °С время пребывания на рабочем месте следует сокращать до 5 часов, при температуре 29 °С время пребывания на рабочем месте необходимо сократить в два раза до 3 часов, а при температуре 30 °С время

пребывания сокращается до 2 часов. Столь существенное сокращение продолжительности рабочей смены является абсолютно недопустимым, поскольку повлечет за собой необходимость увеличения количества смен по меньшей мере в два раза. Сокращение рабочей смены и времени пребывания на рабочем месте с 6 до 5 часов возможно при условии увеличения общего количества смен с 4 до 5, что в свою очередь увеличивает предельное значение допустимой температуры воздуха с 27 °С до 28 °С. Переход с 4 на 5 сменный график работы это очень сложный организационно-технический процесс, который потребует изменения не только графика работы множества структурных подразделений, но и регламентирующих документов, в том числе коллективного договора и последующего его согласования с профсоюзом. Более того, увеличение количества смен повлечет за собой дополнительные издержки, связанные с ростом фонда оплаты труда и социальных выплат. Такие изменения приведут к снижению производительности очистного забоя не менее, чем на 5% в связи с сокращением оперативного времени, затрачиваемого непосредственно на выполнение основной работы, и увеличением:

- времени выполнения подготовительно-заключительных операций (получение материалов, инструментов, ознакомление с техникой, документацией, подготовка и уборка рабочего места и др.);
- времени приема-сдачи смены; прием-сдача предусмотрены инструкциями, утвержденными в установленном порядке;
- времени доставки от нулевой площадки ствола к месту работы под землю и обратно;
- перерыва для приема пищи, перерывов, предусмотренных технологией ведения работ на участке, порядком организации труда, правилами промышленной безопасности и требованиями по охране труда;
- времени предсменного медицинского осмотра (освидетельствования);
- иных периодов в соответствии с законодательством.

Также следует отметить, что сокращение продолжительности рабочей смены на 1 час не решает полностью проблему управления температурным режимом в

очистном забое, а лишь увеличивает на 1 °С предельно допустимую значение температуры воздуха в лаве.

Основное преимущество разработанных технологий заключается в том, что они не требуют дополнительных затрат. Для случаев, ограниченных областью рационального применения разработанной технологии, и на участках, где выемка слоев осуществляется селективно с возведением в выработанном пространстве породной полосы, дополнительные издержки отсутствуют.

В то же время стоимость шахтных систем кондиционирования воздуха в лавах может достигать нескольких сотен тысяч долларов, регулярное обслуживание установок типа СКВ-250 требует существенных материальных затрат и постоянных работ по ремонту отдельных элементов системы по мере движения лавы, кроме этого возникает необходимость поддержания требуемой тепловой мощности градирни за счет подачи значительного объема воздуха и орошения теплообменного оборудования водой.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что применения шахтных систем кондиционирования воздуха является целесообразным на глубинах, при которых применение технологии с обособленным проветриванием энергопоезда и лавы не дает требуемого эффекта и не позволяет снизить температуру воздуха в лаве до величин, регламентируемых санитарными нормами. К числу основных факторов, влияющих на экономическую эффективность применения рекомендуемых технологий, являются – производительность очистного забоя, дополнительные расходы на внедрение и эксплуатацию разработанной технологической схемы, а также установленная стоимость шахтных систем кондиционирования воздуха и потери оперативного рабочего времени, вызванные сокращением продолжительности рабочей смены [44,25].

#### **4.5 Выводы по Главе 4**

В настоящее время к числу основных направлений совершенствования ресурсосберегающих технологий бесцеликовой интенсивной отработки калийных пластов на рудниках Старобинского месторождения относится их модернизация,

обеспечивающая установление нормального температурного режима в очистных забоях в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

При использовании высокопроизводительных очистных механизированных комплексов для рассмотренных горнотехнических ситуаций и вариантов систем разработки длинными столбами основными факторами, влияющими на температуру воздушной струи в лаве, являются: тепловыделения энергопоезда лавы, приводящие к увеличению температуры воздуха на входе в лаву на 6-9°C и более; температура пород в выработанном пространстве лавы; температура массива полезного ископаемого впереди забоя лавы; расстояние от лавы до магистральных выработок (выработок главных направлений).

На современном этапе в качестве альтернативного решения при решении проблемы нормализации теплового режима в лавах рекомендуются разработанные технологии, основанные на идее обособленного проветривания лавы и энергопоезда. При использовании данной технологии, которая не влечет за собой дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат, температура воздуха в лаве на глубинах до 800-900м не превышает 24-26°C по всей ее длине.

При использовании рекомендуемых технологий отработки необходимо обеспечивать дополнительную охрану участков (L) транспортного и конвейерного штрека за линией очистного забоя в течение 1-6 месяцев. При селективной отработке пластов для поддержания этих выработок в течение заданного периода времени могут быть использованы породные полосы с параметрами, обеспечивающими их безопасное состояние. Была установлена зависимость минимально необходимой длины участка L, которая обеспечивает температуру поступающей в лаву струи воздуха ниже 26 °C, от глубины ведения очистных работ и расстояния между лавой магистральными выработками. Область рационального применения разработанных технологий ограничена глубинами 800-900 метров, где температура вмещающих пород не превышает 25°C.

Сравнение разработанной технологии с вариантом, предусматривающим сокращение продолжительности добычной смены при температуре воздуха в лаве, превышающей 26°C, показало, что увеличение среднесуточной добычи из лавы



составит не менее 15-17%, а снижение участковой себестоимости добычи составит 12-15%.

Сравнение разработанной технологии с вариантом, предусматривающим сокращение продолжительности добычной смены при температуре воздуха в лаве, превышающей 26°C, и увеличения количества смен в сутках показало, что увеличение среднесуточной добычи из лавы составит не менее 5%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных экспериментальных и теоретических исследований разработаны технологии разработки калийных пластов лавами, позволяющими в условиях глубоких горизонтов обеспечить температуру воздуха в лавах, оборудованных высокопроизводительными очистными механизированными комплексами с высокой энерговооруженностью, в соответствии с требованиями нормативных документов, регламентирующих максимально допустимую температуру в лавах.

Основные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

Применяемые на рудниках ОАО «Беларуськалий» системы разработки длинными столбами с использованием в лавах высокопроизводительного очистного оборудования с высокой энерговооруженностью не обеспечивают создание в лавах теплового режима в соответствии с требованиями «Санитарных норм...» и «Правил по обеспечению промышленной безопасности...». Температура воздуха в призабойном пространстве лав, работающих на глубинах более 500м, как правило, превышает предельно допустимое значение (26°C).

При использовании известных технологий отработки калийных пластов длинными очистными забоями с использованием высокопроизводительных очистных механизированных комплексов определяющее влияние на температуру поступающего в лаву воздуха оказывают глубина горных работ, расстояние от лавы до магистральной воздухоподающей выработки и место расположения энергопоезда лавы. В условиях рудников ОАО «Беларуськалий» при расположении энергопоезда в конвейерном штреке впереди забоя лавы температура струи воздуха на входе в лаву превышает ее предельно допустимые значения, регламентируемые санитарными нормами, на 6-9°C.

При движении воздушной струи в призабойном пространстве лавы происходит уменьшение ее температуры от максимальных значений на входе струи в лаву до минимальных значений - на выходе струи из лавы. Разность

минимальных и максимальных значений температур в исследованных условиях составляет 6-10°C. Основное влияние на закономерность изменения температуры при движении струи от конвейерного штрека к вентиляционному штреку оказывают температура пород в выработанном пространстве лавы и температура массива полезного ископаемого впереди забоя лавы.

При отработке калийных пластов на глубинах до 800-900м лавами, характеризующимися высокой энерговооруженностью очистного оборудования, снижение температуры воздуха в призабойном пространстве лав без применения подземных систем кондиционирования воздуха достигается при использовании разработанной патентоспособной технологии [37], включающей подачу воздуха к лаве по поддерживаемому за лавой участку конвейерного штрека определенной длины и обособленное проветривание лавы и энергопоезда. При использовании данной технологии, которая не влечет за собой дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат, температура воздуха в лаве на глубинах до 800-900м не превышает 24-26°C по всей ее длине.

Применение разработанной технологии в горно-геологических условиях отработки Третьего калийного пласта на рудниках ОАО «Беларуськалий» по сравнению с использованием вариантов организации работ в лавах, предусматривающих снижение продолжительности добычной смены при температуре воздуха в лаве, превышающей 26°C, позволяет: увеличить среднесуточную добычу из лавы не менее, чем на 15-17% и снизить участковую себестоимость добычи на 12-15%.

Перспективы дальнейшего развития темы диссертации состоят в определении области рационального использования варианта технологии с последовательным проветриванием лавы и энергопоезда, а также подачей ограниченного объема воздуха в лаву по участку конвейерного штрека определенной длины, поддерживаемого за линией очистного забоя, через выработанное пространство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980.
2. Демин, В. Ф. Оценка эффективности применения технологических схем проведения горных выработок для повышения устойчивости их контуров/ Демин В. Ф., Демина Т. В., Кайназаров А. С., Кайназарова А. С. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 606-617. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-4-606-616
3. Демин, В. Ф. Исследование деформированного состояния приконтурного углепородного массива вокруг горной выработки с анкерным креплением / Демин В. Ф., Портнов В. С., Демина Т. В., Жумабекова А. Е. // Уголь. – 2019. – №7. – С. 72-77. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-72-77
4. Дешковский, В. Н. Сдвигения массива горных пород в результате его подработки столбовой системой разработки в условиях Старобинского месторождения калийных солей / Дешковский В. Н., Данилова А.Ф., Новокшенов В.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 11. – С. 80–86.
5. Дядькин, Ю.Д. Борьба с высокими температурами в глубоких шахтах и рудниках. – М.: Углетехиздат, 1957. 80 С.
6. Еременко, А.А. Оценка влияния геометрических параметров традиционно применяемых и природоподобных систем подземной разработки рудных месторождений на исходное поле напряжений / А.А. Еременко, Ю. П. Галченко, М. А. Косырева // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. №3, 2020, С. 98-108.
7. Зайцев, А.В. Исследование критериев нормирования микроклиматических условий в горных выработках / А.В. Зайцев, М.А. Семин, Ю.А. Клюкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – МГГУ, 2015. – № 12. – С. 151-156.
8. Зайцев, А.В. Научные основы расчета и управления тепловым режимом подземных рудников. Дисс-ция на соиск. уч. степени доктора техн. наук. — Пермь, 2019. — 247 с.

9. Зайцев, А.В. Разработка способов нормализации микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников // Дисс-ция на соиск. уч. степени кандидата техн. наук. – Пермь, 2013. – 168 с.
10. Зубов, В. П. Влияние температурного фактора на направления совершенствования систем разработки калийных пластов на рудниках Старобинского месторождения / В.П.Зубов, Д.Г.Сокол // Горный журнал. – 2020. – №10. – С.74-79.
11. Зубов, В.П. Внезапные выбросы соли и газа в калийных рудниках и их предупреждение / А.Д. Смычник // Горный журнал, – 1998, – №11-12, – С. 85-87.
12. Зубов, В.П. Концепция отработки Третьего калийного пласта на рудниках РУП ПО «Беларуськалий» / А.Д. Смычник, В.М. Кириенко, Н.А. Дакуко // Горная механика и машиностроение. Научно-технический журнал. – 2005. – №4. – С. 66-71.
13. Зубов, В.П. Совершенствования систем разработки Третьего калийного пласта на рудниках по «Беларуськалий» / А.Д. Смычник, В.М. Кириенко // Записки Горного института. – 2006. – С. 15-18.
14. Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении / ОАО «Беларуськалий», Унитарное предприятие «Институт горного дела». – Солигорск, 2018. – 196 с.
15. Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении // Научно-производственное унитарное предприятие «Институт горного дела», ОАО «Беларуськалий» / Солигорск, 2018. – 146 С.
16. Карелин, В.Н. Особенности формирования микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников / В.Н. Карелин, А.В. Кравченко, Л.Ю. Левин, Б.П. Казаков, А.В. Зайцев // Горный журнал. – Москва, 2013, №6. – С. 65-68.
17. Ковалев, О.В. Разработка технологических схем селективной выемки калийных пластов сложного строения в условиях Старобинского месторождения / О.В. Ковалев, Е.Р. Ковальский, Ю.Г. Сиренко, И.Ю. Тхорики // Записки Горного института. – 2011. – Т. 190. – С. 16-21.

18. Кологривко, А. А. Снижение геоэкологических последствий при подземной разработке калийных месторождений / А. А. Кологривко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Прикладные науки. Строительство. – 2014. – № 16. – С. 101-110.
19. Кологривко, А.А Технологические схемы бесцеликовой отработки калийных пластов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях / С.Н. Дауко // Горная механика. – 2009. – № 4. – С. 48–59. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-33-43.
20. Красноштейн, А.Е. Моделирование процессов нестационарного теплообмена между рудничным воздухом и массивом горных пород / Б.П. Казаков, А.В. Шалимов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – Новосибирск. – 2007. – № 5. – С. 77-85.
21. Левин, Л.Ю. Нормализация микроклиматических условий горных выработок при отработке глубокозалегающих запасов калийных рудников / Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Бутаков С.В., Семин М.А. // Горный журнал. – 2018. – №8. – С. 97-102.
22. Луговский, С.И. Проветривание глубоких рудников. – Госгортехиздат. – 1962. – 324 с.
23. Мартынов, А.А. Комплексный подход в регулировании температуры воздуха в горных выработках глубоких угольных шахт / А. А. Мартынов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 5. – С. 264-268.
24. Мартынов, А.А. Об улучшении температурного режима шахт. – Уголь Украины. – 1999. – № 1. – С. 30-34.
25. ОАО «Беларуськалий» : технология ведения горных работ : сайт. – Солигорск, 2020 – Режим доступа: URL [https://kali.by/production/technology/technology\\_of\\_mining/](https://kali.by/production/technology/technology_of_mining/) (дата обращения: 05.06.2021). – Текст: электронный.
26. Патент РБ № 9409, 30.06.2007. Зубов В. П., Смычник А. Д., Кириенко В. М., Плескунов В. Н. Открытое акционерное общество "Белгорхимпром"; Зубов Владимир Павлович. 2007. Бюл. № 1.

27. Патент РБ № 17776, 30.12.2013. Калиниченко П. И., Петровский Б. И., Тараканов В. А., Петровский А. Б., Петровский Ю. Б. Открытое акционерное общество "Беларуськалий". 2013. Бюл. № 6.

28. Патент РБ № 18033, 28.02.2014. Прушак В. Я., Щерба В. Я., Карабань Д. Т., Калиниченко П. И., Петровский Б. И., Петровский А. Б., Петровский Ю. Б., Мисников В. А., Калиниченко И. Н. Закрытое акционерное общество "Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством". 2014. Бюл. № 1.

29. Патент № 2723412 Российская Федерация, МПК E21C 41/16 (2006.01) E21F 1/00 (2006.01). Способ интенсивной бесцеликовой разработки пластов полезных ископаемых на больших глубинах : № 2019134787 : заявлено 29.10.2019 : опубликовано 11.06.2020 / Зубов В.П., **Сокол Д.Г.**; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". – 11 с. : ил.

30. Патент № 2736107 Российская Федерация, МПК E21C 41/16 (2006.01). Способ подземной разработки пластов полезных ископаемых : № 2020121406 : заявл. 29.06.20120 : опубл. 11.11.2020 / Зубов В.П., **Сокол Д.Г.**; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". – 9 с. : ил.

31. Петровский, А.Б. Технология выемки оставленных и подработанных запасов по IV сильвинитовому слою на руднике Третьего рудоуправления ОАО «Беларуськалий» / И.И. Головатый, В.А. Губанов, А.Л. Поляков // Горный журнал. – 2018. – №8. – С. 64-69.

32. Подлесный, И.А. Технологии слоевой выемки при разработке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения / В.Н. Гетманов, Б.И. Петровский, И.Е. Носуля // Горный журнал. – 2018. – №8. – С. 59-63.

33. Поляков, А.Л. Обоснование возможности повторного использования подготовительных выработок Старобинского калийного месторождения, пройденных более 20 лет назад / А.Л. Поляков, Д.А. Пузанов, Мозговенко М.С. // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2014. №13.

34. Правила по обеспечению промышленной безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь: утв. Постановлением МЧС Республики Беларусь №45 от 30.08.12. – Минск, 2012.

35. Прушак, В.Я. Деформирование контура горных выработок Старобинского месторождения калийных солей при различных глубинах заложения // Докл. НАН Беларуси. 2016. № 2, с. 97-101.

36. Руководство пользователя Аналитический комплекс «АэроСеть». Решение вентиляционных и теплофизических задач: ООО НПО Аэросфера, – Пермь, 2017. – 134 С.

37. Руководство по эксплуатации. Паспорт. Термометр контактный цифровой ТК-5.06: ООО Техно-АС, – Коломна, 2019. – 32 С.

38. Санитарные нормы и правила "Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях" утверждены Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30 апреля 2013 г. № 33.

39. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к микроклимату при проектировании и эксплуатации калийных рудников», утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 5 от 13.01.2009 – Минск, 2009.

40. **Сокол, Д.Г.** Актуальные проблемы и перспективы совершенствования охраны повторно используемых подготовительных выработок при отработке калийных пластов / Ле Куанг Фук, Тхан Ван Зуи // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 33–43. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-33-43.

41. **Сокол, Д.Г.** Направления совершенствования бесцеликовых технологических схем отработки калийных пластов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 93–94. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-93-98

42. Терещук, Р.Н. Обеспечение устойчивости подготовительных выработок глубоких угольных шахт: Монография / Терещук Р.Н., Наумович А.В. – М.: Национальный горный университет, 2015. – 133 с.



43. Уразов, Д.В. Обоснование ресурсосберегающих технологических схем отработки калийных пластов на участках с ограниченными размерами / Д.В. Уразов // Записки Горного института. – 2006. – С. 117-120.
44. Шалимов, А.В. Теоретические основы прогнозирования, профилактики и борьбы с аварийными нарушениями проветривания рудников. Дисс-ция на соиск. уч. степени доктора техн. наук. — Пермь, 2012. — 329 с.
45. Щербань, А.Н. Руководство по регулированию теплового режима шахт: Изд-во 3-е, переработанное и дополненное / Щербань А.Н., Кремнев О.А., Журавленко В.Я. – М.: Недра, 1977. – 359 С.
46. Щербань, А.Н. Научные основы расчёта и регулирования теплового режима глубоких шахт: в 2-х томах / Щербань А.Н., Кремнев О.А. – Киев: Изд-во АН УССР, 1960. – т. 2 – 347 С.
47. Feng, G.R. A new gob-side entry layout for longwall top coal caving / Feng G.R., Wang P.F., Chugh Y.P. // Energies. - 2018. - Vol. 11, No. 5. - P. 1292.
48. Jie, C. An experimental study of strain and damage recovery of salt rock under confining pressures / Jie C., Liu J.-X., Jiang D.-Y., Fan J.-Y., Ren S. // Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics. - 2016. - Vol. 37, No. 1. - PP. 105-112.
49. Kovalsky, E.R. Research of the influence of the goaf stowing on the height of the water-conducting discontinuities during the development of the potash-magnesium fields / E.R. Kovalsky, K.V. Gromtsev, **D.G. Sokol**, Y.V. Popova // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. - 2020. - № 5(11). - PP. 116-121. DOI: 10.34218/IJARET.11.5.2020.013
50. Litvinenko, V. Advancement of geomechanics and geodynamics at the mineral ore mining and underground space development. Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. International European Rock Mechanics Symposium. EUROCK 2018. Saint Petersburg, Russian Federation, 22 May 2018. Taylor and Francis Group, London, UK, 2018. - Vol. 1. - PP. 3-16.
51. Tian, Z. Gob-side entry retained with soft roof, floor, and seam in thin coal seams: a case study / Tian Z., Zhang Z., Deng. M., Yan S., Bai J. // Sustainability. - 12(3). – P. 1197. <https://doi.org/10.3390/su12031197>.