

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 622.363.3: 622.256.752

ДАКУКО  
Сергей Николаевич

**ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ  
КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ  
ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная,  
открытая и строительная)

Минск, 2010

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

**Кологривко Андрей Андреевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
начальник управления подготовки  
научных кадров высшей квалификации  
Белорусского национального  
технического университета

Официальные оппоненты:

**Войтенко Владимир Сергеевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
председатель объединения  
разработчиков ультразвуковой  
техники и технологий;

**Плескунов Владимир Николаевич**,  
кандидат технических наук,  
заместитель главного инженера  
ОАО «Белгорхимпром»

Оппонирующая организация

ЗАО «Солигорский Институт проблем  
ресурсосбережения с Опытным  
производством»

Защита диссертации состоится 21 мая 2010 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.11 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря (8 017) 293 92 34

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета

Автореферат разослан

21 апреля 2010 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



С.А. Федотова

© Дакуко С.Н., 2010  
© БНТУ, 2010

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

На Старобинском месторождении калийных солей преимущественно применяется столбовая система разработки длинными очистными забоями с полным обрушением кровли. Основными недостатками этой технологии являются значительные потери полезного ископаемого в охранных целиках, а также большой объем горно-подготовительных работ, существенно снижающих качество выдаваемой на обогатительную фабрику руды. В последние годы ситуация усугубляется истощением старых шахтных полей и необходимостью разрабатывать более глубокие, свыше 750 м горизонты, в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. Все это ведет к снижению эффективности производства, росту себестоимости добычи руды.

Анализ показывает, что ресурсы технического перевооружения во многом исчерпаны и без изменения технологии добычи, в первую очередь без существенного снижения потерь полезного ископаемого добиться значительного улучшения технико-экономических показателей работы отечественной калийной отрасли невозможно.

Таким образом, задача совершенствования технологии добычи калийной руды, снижения эксплуатационных потерь полезного ископаемого, путем внедрения ресурсосберегающей бесцеликовой выемки пластов, чрезвычайно актуальна и не случайно находится в центре внимания многих отечественных и зарубежных специалистов.

Вместе с тем, эффективное применение технологии бесцеликовой отработки калийных пластов в сложных горно-геологических и горно-технических условиях Старобинского месторождения до сих пор сдерживается тем обстоятельством, что не решен ряд вопросов, связанных с расчетом минимальных размеров целиков, научным обоснованием способов и средств поддержания присечных выработок, особенно на глубоких горизонтах, адаптацией известных технологических схем слоевой выемки к условиям Старобинского месторождения калийных солей с разработкой новых ресурсосберегающих технологических схем очистной выемки.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Диссертационная работа выполнена на основании комплексных исследований, проводимых в БНТУ, РУП «ПО «Беларуськалий» и программы НИР ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», в рамках следующих научно-исследовательских работ: 1) «Совершенствование геотехнологий и процессов обогащения в недропользовании» (ГБ НИР №06-224, 2005-2010 гг.). 2) «Выполнить визуальные обследования капитальных выработок гор.-440 м, инструментальные наблюдения за деформированием их контура, оценить влияние геологических, горнотехнических факторов на характер и интенсивность их разрушений» (договор № 03/08, ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», № ГР 20080941, 2008-2009 гг.). 3) «Разработать

автоматизированную систему инженерно-технического сопровождения горных работ (охрана крепления горных выработок) для выполнения необходимых расчетов и выбора безопасных параметров» (договор № 74/07, ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», № ГР 20072996, 2007-2009 гг.)

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является разработка технологии бесцеликовой отработки калийных пластов Старобинского месторождения столбовой системой с минимальными эксплуатационными потерями полезного ископаемого.

Для решения поставленной цели были определены следующие задачи исследования:

- определить основные тенденции совершенствования технологических схем бесцеликовой отработки пластовых месторождений в мировой калийной и угольной промышленности;

- установить закономерности смещения пород кровли и почвы в подготовительных выработках, поддерживаемых в типовых горнотехнических ситуациях;

- установить компрессионные свойства породных полос и их влияние на деформирование расположенных рядом целиков и выработок;

- разработать методику расчета оптимальных размеров охранного целика подготовительных выработок, а также параметров зон повышенной нарушенности пород непосредственной кровли трещинами эксплуатационного происхождения;

- установить влияние закладки выработанного пространства на напряженно-деформированное состояние породного массива;

- разработать принципиальные технологические схемы бесцеликовой отработки калийных пластов Старобинского месторождения, в т.ч. проведения, охраны и крепления подготовительных выработок.

Объект исследования – отрабатываемые столбы, подготовительные и исследовательские выработки в различных горнотехнических условиях Второго и Третьего пластов Старобинского месторождения.

Предмет исследования – напряженно-деформированное состояние породного массива вблизи лав и подготовительных выработок, методы и способы охраны подготовительных выработок, а также технологические схемы отработки пластовых калийных месторождений.

### **Положения, выносимые на защиту:**

- Закономерности влияния параметров бокового опорного давления и эксплуатационной трещиноватости на устойчивость подготовительных выработок, учет которых позволяет обеспечить удовлетворительное состояние охраняемой выработки на всем протяжении эксплуатации, путем ее размещения в

зоне пониженных напряжений статического опорного давления и за пределами глубины распространения в краевой части массива эксплуатационных трещин.

- Закономерности влияния породной полосы на состояние целика полезного ископаемого, оставленного между выработкой и выработанным пространством лавы, учет которых позволяет уменьшить минимально допустимую ширину целика, рассчитанную по известным методикам.

- Методика расчета размера зон повышенной нарушенности пласта полезного ископаемого и пород непосредственной кровли, позволяющая определить ширину оставляемого целика для охраны присечного штрека с минимальными затратами на его проведение и охрану, отличительной особенностью которой является проведение присечного штрека за пределами зоны эксплуатационной трещиноватости, формирующийся от влияния на массив горных пород подготовительных и очистных работ.

- Геомеханическая модель напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг выработанного пространства лав различной длины при наличии и отсутствии бутовых полос, позволяющая оценить эффективность закладки выработанного пространства при слоевой отработке в зависимости от длины лав.

- Технология бесцеликовой отработки калийных пластов в основу которой положены принципы проведения и поддержания подготовительных выработок на границе с выработанным пространством, в том числе, повторное использование выемочных штреков и проведение их вприсечку к выработанному пространству, отличительной особенностью которых являются низкие эксплуатационные потери полезного ископаемого во всех типовых условиях разработки Старобинского месторождения.

### **Личный вклад соискателя**

Автор диссертационной работы принимал непосредственное творческое участие в формулировании цели, определении задач исследования, в проведении экспериментов и их обработке, подготовке публикаций и докладов на научно-технических конференциях, составлении заявок на патенты.

Автор обеспечивал проведение опытно-промышленных испытаний разработанных технологических схем отработки калийных пластов на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий».

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и выводы диссертационной работы, выносимые на защиту доложены и обсуждены на международных научно-технических конференциях «Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых», Минск, БНТУ, 2008, «Наука – образованию, производству, экономике», Минск, БНТУ, 2009 и 2010, «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики», Тула, ТулГУ, 2009, научном симпозиуме «Неделя горняка – 2010», Москва, МГГУ, 2010.

Прикладные аспекты диссертационной работы, составляющие основу технологии бесцеликовой отработки калийных пластов доложены и обсуждены на семинарах и заседаниях кафедры «Горные работы» БНТУ, Научно-технического совета ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», РУП «ПО «Беларуськалий» и ОАО «Белгорхимпром».

### **Опубликованность результатов диссертации**

Сущность научных положений, выводов, рекомендаций, а также технология бесцеликовой отработки калийных пластов изложены в 15 работах в т. ч. в 6 статьях перечня научных изданий ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, общим объемом 4,3 авторских листа, а также 3 статьи и 2 тезиса в сборниках материалов научных конференций. Поданы 4 заявки на изобретения РБ (№ а 20081665, № а 20090676, № а 20091002, № а 20091140).

### **Структура и объем диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 4 глав, заключения, библиографического списка и приложения. Работа изложена на 188 страницах, в т. ч. 99 страниц машинописного текста, 67 страниц рисунков (139 рис.), 10 страниц таблиц (8 табл.), 11 страниц литературных источников (130 наимен.).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** анализируется опыт применения существующих технологических схем бесцеликовой отработки калийных и угольных пластов длинными очистными забоями.

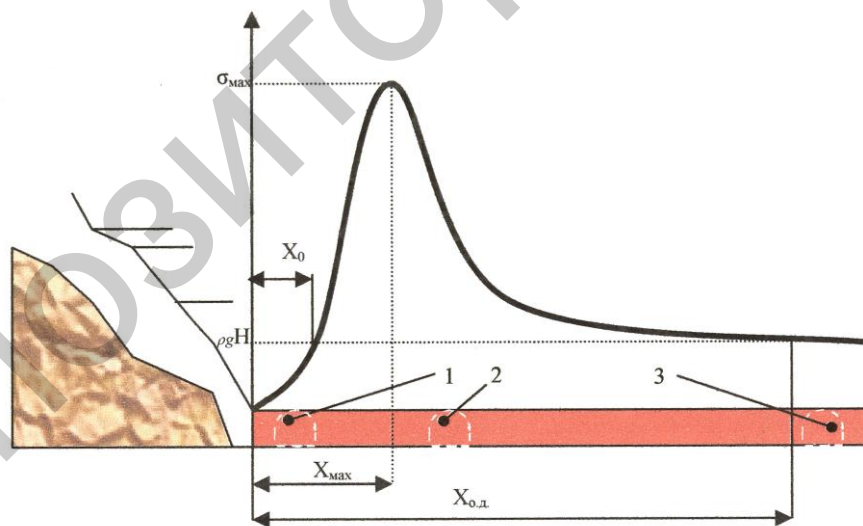
Установлено, что бесцеликовая разработка пологих калийных и угольных пластов на полную мощность и с разделением на слои за рубежом ведется, в основном по технологическим схемам, предусматривающим повторное использование выемочного штрека для отработки следующей панели путем его поддержания различными способами и средствами, а также выемку временно оставляемого межстолбового целика между парными штреками очистным комбайном одновременно с очистными работами в отстающей лаве. При выемке межстолбового целика используется как вариант с выходом очистного комбайна на неподдерживаемую выработку, так и с оформлением комбайном тупиковой части лавы. На угольных шахтах бесцеликовая выемка по технологическим схемам, предусматривающим проведение выработок вприсечку (с целиком 2-4 м) к выработанному пространству, применяется на пластах мощностью 4-6 м со сложными горно-геологическими условиями и преимущественно с шахматным порядком отработки панелей.

На Старобинском месторождении участки шахтных полей, позволяющие осуществлять привязку присечных выработок под устойчивые слои каменной соли или сильвинита могут рассматриваться как перспективные для их

бесцеликовой отработки с использованием присечных выработок. Из разработанных технологических схем бесцеликовой отработки пологих пластовых месторождений, которые при соответствующей проработке могут найти применение на рудниках Старобинского месторождения, в первую очередь, следует отметить вариант столбовой системы с трехштрековой подготовкой панелей и со слоевой выемкой пласта сплошной системой по верхнему слою с использованием для его отработки подготовительных выработок нижнего слоя. Новые технологические схемы слоевой выемки Третьего пласта с использованием парных штреков и погашением межстолбовых целиков очистным комбайном отстающей лавы, размещением в лаве модернизированного привода забойного конвейера, позволяющего выходить шнеку комбайна на штрек, также открывают широкие возможности для совершенствования технологии бесцеликовой отработки калийных пластов на Старобинском месторождении. Как перспективные следует рассматривать и бесцеликовые варианты столбовой системы разработки с поддержанием выемочных штреков бутовыми полосами из разрушенного галита.

**Во второй главе** приводятся результаты шахтных исследований проявления горного давления в участковых подготовительных выработках.

Установлено, что для поддержания выработок позади очистного забоя для их повторного использования при отработке следующего столба необходимо размещение повторно используемой выработки в зоне пониженных напряжений статического опорного давления, возникающего над краевой частью соляного массива. Схема для определения параметров зоны опорного давления, формирующейся над краевой частью соляного массива показана на рисунке 1.



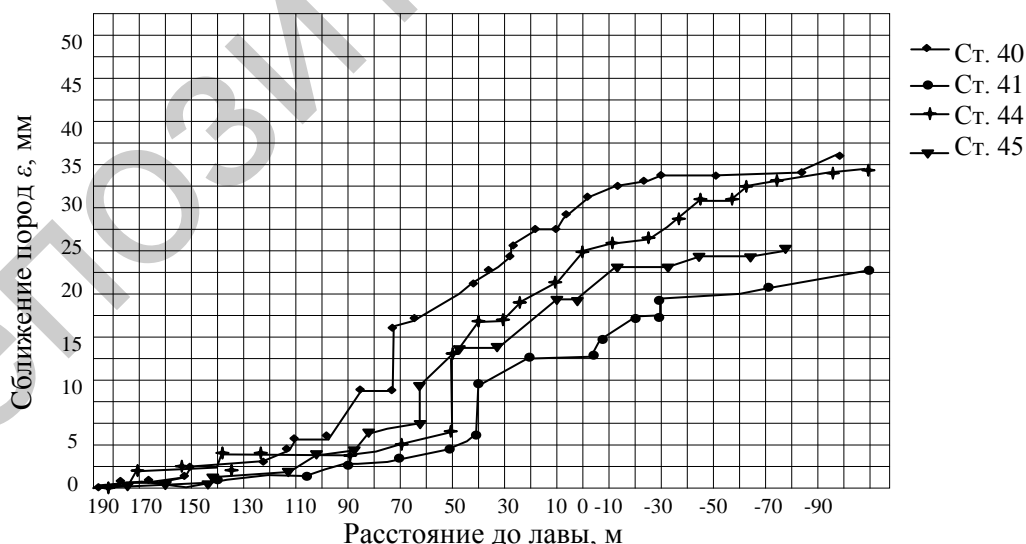
1-3 – варианты размещения горной выработки:  $X_{\max}$  – расстояние от выработанного пространства до максимума опорного давления;  $X_{o.d.}$  – общая ширина зоны бокового опорного давления;  $X_0$  – ширина зоны пониженных напряжений на участке пласта, прилегающем к выработанному пространству

**Рисунок 1 – Схема для определения параметров зон статического бокового опорного давления**

Шахтные инструментальные наблюдения проводились в технологических сбойках, пройденных перпендикулярно (либо под углом около  $75^\circ$ ) к бортовым штрекам лавы в период подготовки панели. Это позволило определить интенсивность смещений пород кровли и почвы выработки на различном расстоянии от краевой части соляного массива для каждого конкретных горнотехнических условий. Из полученных данных следует, что наиболее интенсивно разрушается участок соляного массива длиной 10-15 м, непосредственно прилегающий к выработанному пространству, начиная с расстояния 20 м от краевой части соляного массива, смещения пород происходят с малой интенсивностью (рисунок 2).

В целом параметры зоны статического бокового опорного давления для глубины разработки IV сильвинитового слоя (500-650 м) составляют: ширина зоны – 25-30 м; расстояние от краевой части массива до максимума опорного давления – около 5 м. Для глубины разработки IV сильвинитового слоя (650-850 м): ширина зоны – 35-60 м; расстояние от краевой части массива до максимума опорного давления – около 8-10 м.

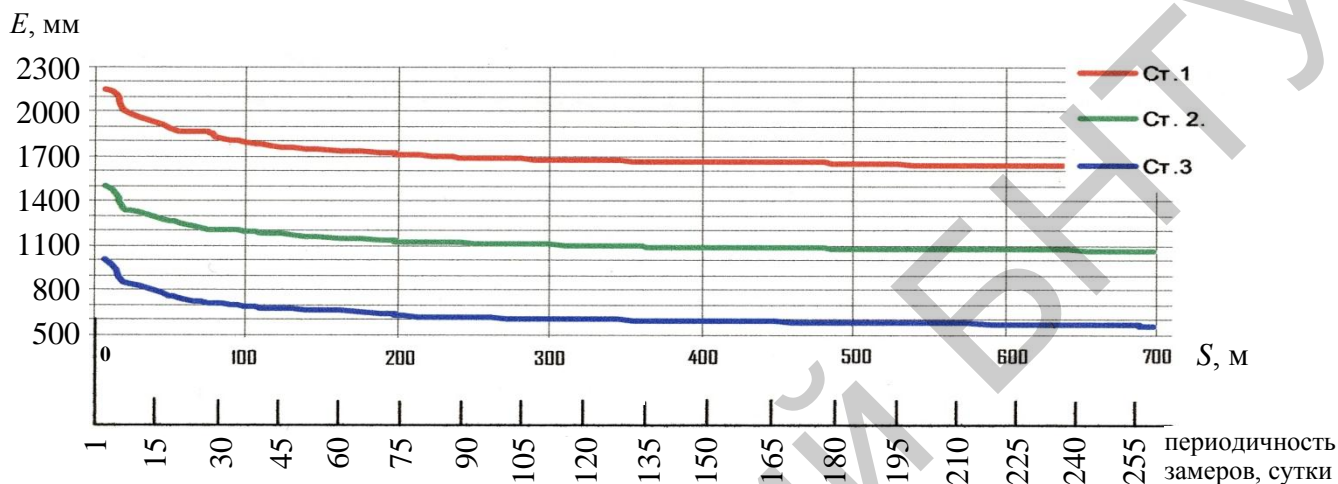
Для правильного размещения выработки необходимо знать кроме параметров бокового опорного давления и параметры эксплуатационной трещиноватости, возникающей в краевых частях массива при очистных работах. Исследование показывает, что трещины, которые могут повлиять на состояние целика или присечной выработки, возникают в зоне влияния лавы на расстоянии 80-100 м впереди забоя. Распространение трещин с шириной раскрытия 50-70 мм происходит в целике на расстояние от 0 до 1 м от краевой части соляного массива. Трещины с шириной раскрытия 3-5 мм возникают на расстоянии 5-6 м от краевой части массива. Трещины ориентированы вертикально.



**Рисунок 2 – Влияние лавы № 31 на величину сближения пород кровли и почвы в конвейерной сбойке № 2 (станции № 40, 41, 44, 45)**



Наблюдения за величиной и интенсивностью уплотнения породной полосы выполнены в исследовательской выработке, которая была пройдена до начала очистных работ в лаве при подготовке нижнего технологического слоя перпендикулярно конвейерному штреку этой лавы (вдоль линии очистного забоя). Из результатов исследований компрессионных свойств породной полосы следует, что эта полоса имеет податливость около 26 %, а время ее интенсивного уплотнения составляет около 2-2,5 месяцев (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Влияние лавы № 21 на величину уплотнения породной полосы в зависимости от расстояния  $S$  и времени  $t$  момента возведения полосы**

Интенсивность и величина уплотнения породной полосы зависит от места возведения ее в поле лавы: наличие целиков значительной ширины или массива полезного ископаемого снижает эти показатели в 2-2,3 раза.

Исследования показали, что породная полоса положительно влияет на условия поддержания выработок шириной 3,0-4,5 м позади забоя лавы; при этом уменьшается интенсивность трещинообразования и разрушения целика и выработки. Целик шириной 3,2 м совместно с породной полосой способен создать условия для поддержания вспомогательного штрека и его повторного использования. Также показано, что при возведении породной полосы за лавой, отрабатывающей IV сальвинитовый слой, можно создать условия для уменьшения минимально допустимой ширины целика, рассчитанной по известным методикам.

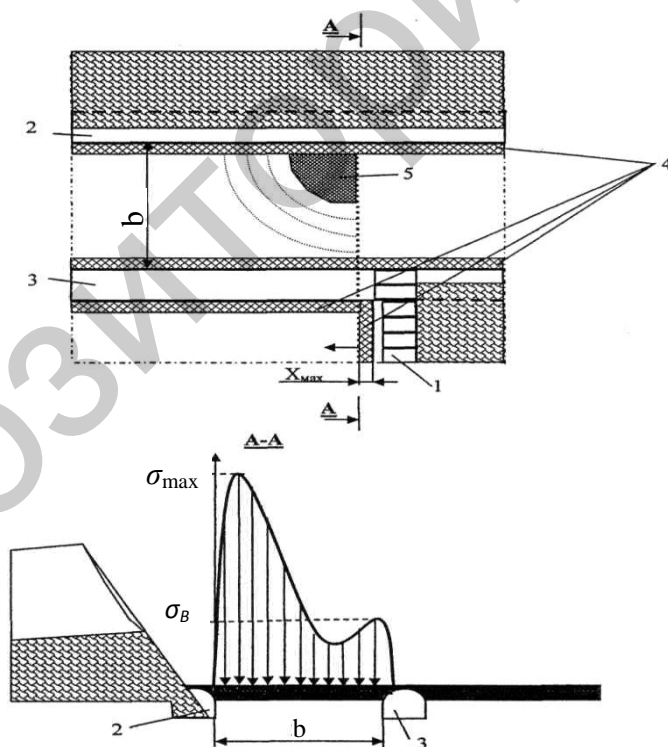
**В третьей главе** приводятся результаты теоретических исследований способов защиты лав и подготовительных выработок охранными целиками и бутовыми полосами.

Принимая во внимание то обстоятельство, что возникновение зон опорного давления происходит возле неподвижных и перемещающихся краевых частей массива полезного ископаемого, допустимым при решении практических задач является суммирование напряжений, определенных для зон статического и динамического опорного давления. После сложения напряжений схема нагружения искомого целика будет выглядеть следующим образом (рисунок 4).

Максимальные напряжения целик будет испытывать в сечении А-А, на расстоянии  $X_{\max}$ , которое равняется расстоянию от забоя лавы до максимума опорного давления, формирующегося у неподвижной границы очистных работ. До начала влияния опорного давления лавы со стороны ранее отработанного столба будет сформирована зона статического опорного давления над краевой частью целика, вокруг выработок 2 и 3 образуются зоны нарушенности 4. Зона максимальных напряжений будет иметь форму сектора 5, причем, нагрузка на целик будет уменьшаться в направлении подвигания лавы.

Для выбора места расположения присечной выработки, проводимой вслед за подвиганием лавы, отработывающей столб до разворота целесообразно использование метода расчета ширины зон эксплуатационной трещиноватости, основанного на проведении присечного штрека за пределами зоны эксплуатационной трещиноватости, формирующейся от влияния на массив горных пород подготовительных и очистных работ.

Была разработана соответствующая методика расчета параметров зон повышенной нарушенности пласта полезного ископаемого и пород непосредственной кровли, позволяющая определять оптимальную ширину целика для охраны присечного штрека при условии проведения его после стабилизации процессов деформирования и обрушения пород кровли, связанных с отработкой пласта лавой отработывающей столб до разворота.



1 – лавы; 2 – конвейерный штрек ранее отработанного столба;

3 – конвейерный штрек отработываемого столба;

4 – зоны эксплуатационной трещиноватости, возникающие в окрестностях выработок;

5 – зона максимальных напряжений, действующих на целик

**Рисунок 4 – Схема формирования нагрузок на целик**

Согласно методики, минимальные затраты на проведение и поддержание присечных штреков будут на расстоянии  $r_n$  (ширина зоны эксплуатационной трещиноватости), от погашаемой выработки, определяемом по формуле:

$$r_n = l_0 + r_{nl} + r_n, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $r_n$  – максимальная глубина распространения трещин в глубину массива, определяется из выражения:

$$r_n = r_{nl} \cdot \left[ \left( \frac{k_2 \cdot g \rho H - \sigma_{сж.пл.} + \sigma_{сж.пл.}^0}{2(1 + \lambda_{пл.})} \right) \cdot \left( \frac{2\lambda_{пл.}}{2\lambda_{пл.} \cdot p_2 + \sigma_{сж.пл.}^0} \right) \right]^{\frac{1}{2\lambda_{пл.}}}, \text{ м}, \quad (2)$$

где  $r_{nl}$  – радиус границы зоны запредельного состояния пласта полезного ископаемого, определяемого из выражения:

$$r_{nl} = l_0 + \eta \cdot r_B \cdot \left[ \left( \frac{k_1 \cdot g \rho H - \sigma_{сж.пл.} + \sigma_{сж.пл.}^0}{2(1 + \lambda_{пл.})} \right) \cdot \left( \frac{2\lambda_{пл.}}{2\lambda_{пл.} \cdot p_1 + \sigma_{сж.пл.}^0} \right) \right]^{\frac{1}{2\lambda_{пл.}}}, \text{ м}, \quad (3)$$

где  $l_0$  – размер зоны повышенной нарушенности пласта, связанной с проходкой выработки, м;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий неоднородность массива вмещающих пород;

$r_B$  – граница распространения трещин в зоне В, м;

$k_1$  – максимальный коэффициент концентрации напряжений в зоне опорного давления;

$\rho$  – плотность пород покрывающей толщи, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – глубина ведения горных работ, м;

$\sigma_{сж.пл.}$  – предел прочности полезного ископаемого на одноосное сжатие, Па;

$\sigma_{сж.пл.}^0$  – остаточная прочность полезного ископаемого после его разрушения, Па;

$$\lambda_{пл.} = \frac{\sin \rho_{пл.}}{1 - \sin \rho_{пл.}}; \quad (4)$$

$\rho_{пл.}$  – угол внутреннего трения полезного ископаемого, градус;

$$p_1 = p_{кр} + p_{пл}, \quad (5)$$

где  $p_{кр}$  – сопротивление крепи штрека;

$p_{пл}$  – боковое давление, действующее на границе зоны А в пласте полезного ископаемого и создаваемое разрушенным полезным ископаемым, находящимся в зоне А;

$k_2$  – максимальная величина коэффициента концентрации напряжений в зоне опорного давления после завершения процесса трещинообразования в пласте полезного ископаемого;

$\sigma_{сж.пл.}$  – предел прочности на одноосное сжатие пород непосредственной кровли, Па;

$\sigma_{сж.п.}^0$  – остаточная прочность пород непосредственной кровли на одноосное сжатие после разрушения, Па.

При выполнении исследований влияния закладки выработанного пространства на напряженно-деформированное состояние породного массива, учет деформационных процессов в бутовых полосах производился путем задания мультилинейного поведения закладочного материала бутовых полос. Для определения параметров использовались исходные данные, согласно которым закон изменения усадки закладочного массива может быть определен следующим выражением:

$$\varepsilon = \varepsilon_0[1 - \exp(-q/q_0)], \quad (6)$$

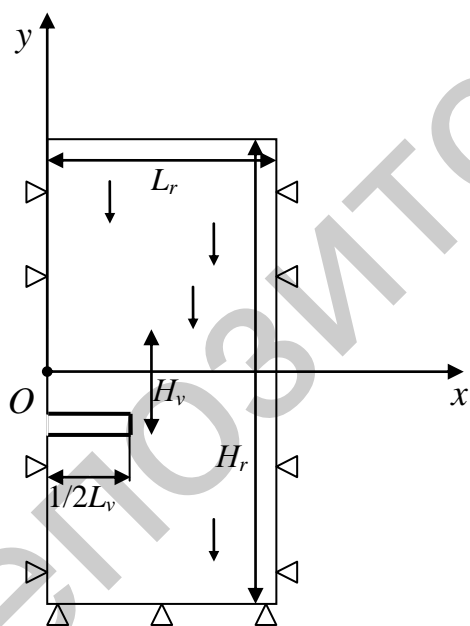
где  $\varepsilon$  – усадка закладочного материала, %;

$\varepsilon_0$  – максимальная усадка закладочного материала, %;

$q$  – прикладываемое давление, МПа;

$q_0$  – компрессионный параметр закладочного материала, МПа.

Для уменьшения объемов вычислений учитывалась симметрия модели (рассматривалась только половина предполагаемой расчетной области). На границах расчетной области принимались соответствующие граничные условия. Учитывалось действие в массиве сил тяжести по глубине породной толщи (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Общая расчетная схема модельных задач**

Строилось несколько типов расчетных схем: с учетом наличия или отсутствия закладочного материала в нижней лаве.

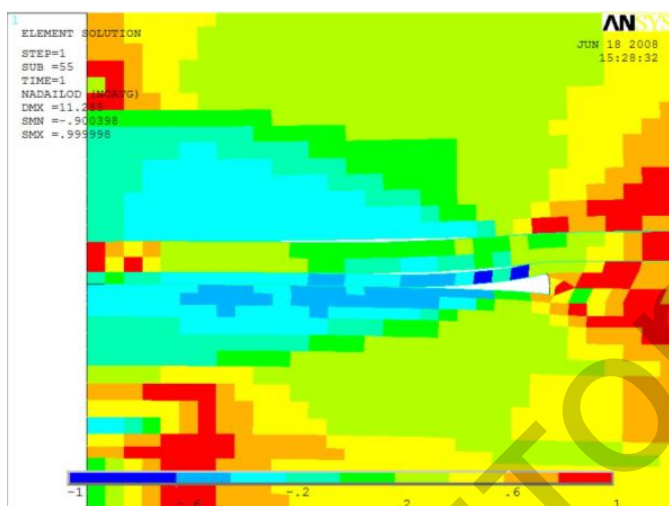
Относительная глубина обрабатываемого пласта составляла 610 м. При расчетах рассматривалась лавы различной ширины: 150 м, 200 м, 250 м и 300 м.

На рисунке 5, вследствие симметрии, представлена половина расчетной области. Характерные размеры расчетной области приняты таковы, чтобы влияние выработанного пространства не сказывалось. На рисунке введены следующие обозначения:  $L_r$  и  $H_r$  - характерные размеры расчетной области;  $L_v$  и  $H_v$  – соответственно размеры выработанного пространства.

При построении расчетных геомеханических моделей учитывалось, что применяется технология слоевой выемки, т. е. часть пород остается в выработанном пространстве. Это учитывается введением эффективной выемочной мощности.

При проведении компьютерного моделирования определялись и зоны нарушения сплошности и разрушения породного массива в окрестности выработанного пространства.

Был выполнен сравнительный анализ геомеханического состояния породного массива по характеристикам напряженно-деформированного состояния массива в окрестности выработанного пространства при варьировании длины лав и в случае использования закладочного материала и без такового в выработанном пространстве нижней лавы. Выполнен анализ распределения компонента напряженно-деформированного состояния в массиве. Найден области нарушения сплошности и разрушения в массиве с выработанным пространством. Получены картины распределения коэффициента Надаи-Лоде в подработанном массиве горных пород, который характеризует тип обобщенного наведенного напряженного состояния, сформированного в массиве вследствие ведения горных работ (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Коэффициент Надаи-Лоде в массиве; длина лавы 150 м, без закладки выработанного пространства**

Анализ результатов компьютерного моделирования показывает, что технологическая схема слоевой отработки с использованием закладки выработанного пространства является более эффективной, чем без использования закладки. Но вместе с тем, эффективность закладки наиболее существенным образом проявляется при длине лав 150 м.

При увеличении длины лав до 250-300 м эффект от предлагаемой схемы закладки выработанного пространства значительно уменьшается. Протяженность и конфигурация

зон нарушения сплошности массива в окрестности выработанного пространства при использовании технологии с закладкой весьма существенно изменяется для лав длиной 150-200 м. При длинах лав 250-300 м существенных изменений в общей картине распределения областей нарушения сплошности в массиве не наблюдается.

В четвертой главе приводится обоснование принципиальных технологических схем бесцеликовой выемки калийных пластов Старобинского месторождения.

В основу разработанных технологических схем бесцеликовой выемки положены два основных принципа проведения и поддержания подготовительных выработок на границе с выработанным пространством:

повторное использование выемочных штреков и проведение их вприсечку к выработанному пространству.

Преимуществом проведения выработок вприсечку является их расположение вне зоны повышенного горного давления, а недостатками – необходимость поэтапной проходки этих выработок для соблюдения нормативного срока их примыкания к выработанному пространству, а также нарезки вспомогательных выработок в поле лав и их поддержания в зоне интенсивного воздействия бокового опорного давления (за зоной разгрузки). Поэтому в данных технологических схемах целесообразно подготовку столба осуществлять с минимальным количеством вспомогательных выработок или предусматривать заполнение этих выработок рудой из присечного штрека в процессе поэтапного его проведения.

При повторном использовании выемочных штреков отпадает необходимость проведения вспомогательных выработок в зоне влияния бокового опорного давления, а протяженность и количество вспомогательных выработок существенно сокращается при схеме подготовки выемочных столбов одной группой из трех-четырех выработок. Такая подготовка столбов с проходкой выработок вне зоны активного влияния очистных работ повышает устойчивость подготовительных выработок, сокращает срок их службы и соответственно срок подготовки выемочных столбов. Однако в некоторых вариантах технологических схем с повторным использованием выработок могут существенно возрасти затраты на их поддержание. В условиях Старобинского месторождения наиболее существенное снижение затрат на поддержание повторно используемых выработок достигается при их использовании только для подвода (отвода) воздуха в лаву (из лавы).

В работе приводятся рекомендации по применению разработанных бесцеликовых технологических схем отработки пластов и рекомендации по поддержанию повторно используемых подготовительных выработок и выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству смежных лав. Предлагаются наиболее характерные схемы проведения присечных и повторно используемых выработок. Для определения ширины целиков в зависимости от глубины разработки получена эмпирическая формула (5) и график (рисунок 7).

$$e = -1,43 + 11 \cdot 10^{-3} H - 3 \cdot 10^{-6} H^2, \text{ м}, \quad (7)$$

при  $400 < H < 900$ ,

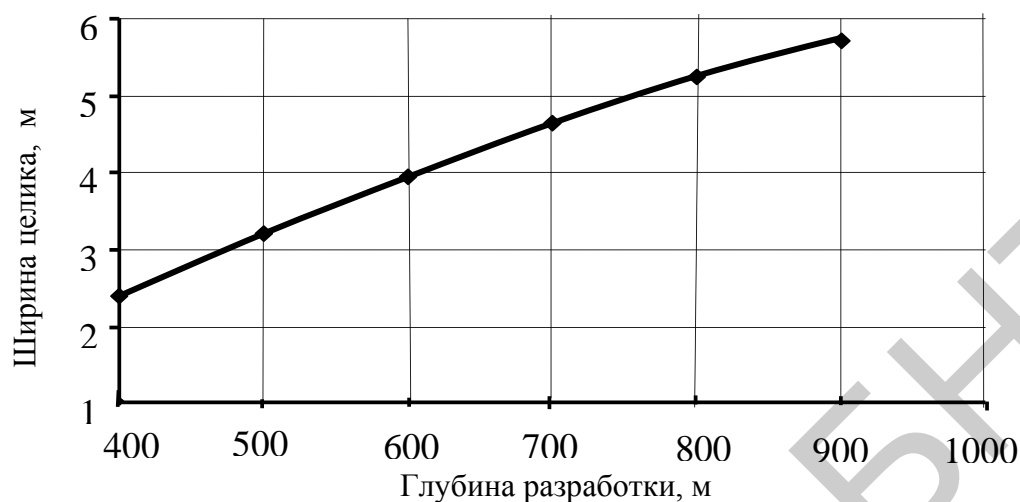
где  $H$  – глубина разработки, м.

Всего разработано семь принципиальных технологических схем.

Выбор технологической схемы для конкретного участка производится, в основном, исходя из мощностей слоев, слагающих пласт, глубины разработки и устойчивости непосредственной кровли пласта.

Участки Второго пласта, где мощность галитового прослоя менее 0,6 м рекомендуется обрабатывать валовым способом. Подготовка выемочного столба осуществляется одной трехштрековой группой, нарезаемой вне зоны влияния

опорного давления смежной лавы с повторным использованием транспортного штрека смежного столба только для проветривания прилегающей к нему части очистного забоя отстающей смежной лавы.



**Рисунок 7 – График для определения ширины целика междуприсечной выработкой и выработками отработанной смежной лавы**

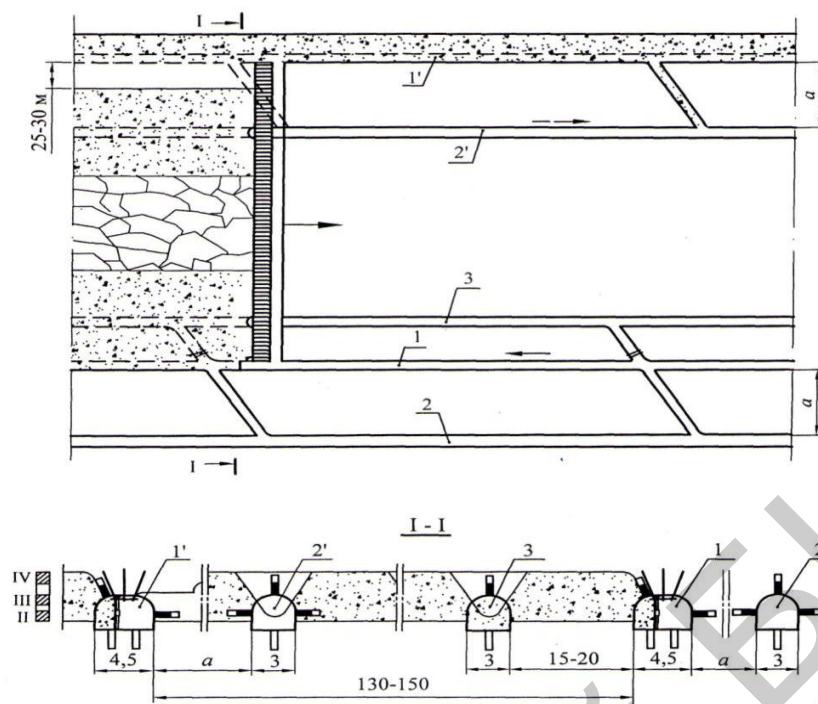
Участки Второго пласта с мощностью галитового прослоя 0,6 м и более, а верхнего сильвинитового слоя менее 0,8 м рекомендуется обрабатывать селективно с возведением за крепью лавы роторными метателями закладочных полос из разрушаемого галитового прослоя.

Выемочный столб для селективной выемки Второго пласта рекомендуется подготавливать одной группой (из трех-четырех) выработок вне зоны влияния очистных работ обрабатываемого смежного столба с последующим повторным использованием части конвейерного штрека смежной лавы только для проветривания прилегающей к нему части очистного забоя отстающей лавы.

Область применения бесцеликовых технологических схем для отработки Третьего пласта определяется возможностью поддержания выемочных штреков лав на границе с выработанным пространством в условиях привязки их кровли выше IV сильвинитового слоя (наличием, либо отсутствием, в кровле V и VI сильвинитовых слоев) и глубиной разработки. В соответствии с вышесказанным:

1. Технологические схемы с последовательной бесцеликовой отработкой Третьего пласта с валовой либо селективной выемкой слоев II, II-III и III, а также технологическая схема с надработкой выработок нижней лавы рекомендуется для применения на глубинах до 800 м при наличии в кровле пласта V и VI сильвинитовых слоев;

2. Технологическая схема с последовательной отработкой слоев Третьего пласта и проведением выемочного штрека вприсечку к выработанному пространству а также технологическая схема бесцеликовой селективной выемки пласта на полную мощность (рисунок 8) рекомендуются для применения на глубинах более 800 м при отсутствии в кровле V и VI сильвинитовых слоев.



$a$  – ширина временного целика (60-70 м); 1, 2 – конвейерный и панельный вентиляционный штреки; 3 – закладочный штрек; 1' - конвейерный штрек обработанного столба; 2' - вентиляционный штрек лавы

**Рисунок 8 – Технологическая схема бесцеликовой селективной выемки Третьего пласта на полную мощность с повторным использованием выработок смежного столба**

Разработанные технологические схемы в целом и их отдельные элементы прошли успешное опытно-промышленное испытание в рудниках РУП «ПО «Беларуськалий».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты выполненных исследований:

1. Выявлены основные тенденции бесцеликовой разработки пологих калийных и угольных пластов за рубежом, которая в основном ведется по технологическим схемам, предусматривающим повторное использование выемочного штрека для отработки следующей панели, выемку временно оставляемого межстолбового целика между парными штреками очистным комбайном, а также проведение выработок вприсечку к выработанному пространству. Показано, что указанные технологии при определенной доработке могут быть применены и на Старобинском месторождении калийных солей, в том числе, и на участках со сложными горно-геологическими и горно-техническими условиями [1, 9, 10].

2. Выявлены закономерности влияния параметров бокового опорного давления и эксплуатационной трещиноватости на устойчивость подготовительных



выработок, учет которых позволяет обеспечить удовлетворительное состояние охраняемой выработки на всем протяжении эксплуатации, путем ее размещения в зоне пониженных напряжений статического опорного давления и за пределами глубины распространения в краевой части массива эксплуатационных трещин.

Основными параметрами зон остаточного бокового опорного давления, знание которых необходимо при определении места расположения панельных выработок, являются расстояния от краевой части массива до максимума опорного давления и ширина опасной зоны опорного давления.

При использовании технологической схемы с разворотом лавы на границе панели повторно используемую подготовительную выработку необходимо располагать в соляном массиве на расстоянии от границы выработанного пространства, превышающем максимальную глубину распространения в массиве состояние эксплуатационных трещин, образование которых обусловлено ведением очистных работ [2-5, 7].

3. Определен механизм влияния породной полосы на состояние целика полезного ископаемого, оставленного между выработкой и выработанным пространством лавы, учет которых позволяет уменьшить минимально допустимую ширину целика, рассчитанную по известным методикам.

При возведении породной полосы выработка и камеры сопряжения сохраняют свое устойчивое состояние на значительной расстоянии (более 700 м) после прохода очистного забоя. Оставление целика шириной 3,2 м совместимо с породной полосой позволяет создать условия для вспомогательного штрека для повторного использования забоя [7, 11].

4. Разработана методика расчета размера зон повышенной нарушенности пласта полезного ископаемого и пород непосредственной кровли, позволяющая определить ширину оставляемого целика для охраны присечного штрека с минимальными затратами на его проведение и охрану, отличительной особенностью которой является проведение присечного штрека за пределами зоны эксплуатационной трещиноватости, формирующийся от влияния на массив горных пород подготовительных и очистных работ [2, 4].

5. Разработана механико-математическая модель напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг выработанного пространства лав различной длины при наличии и отсутствии бутовых полос, позволяющая оценить эффективность закладки выработанного пространства при слоевой отработке в зависимости от длины лав.

Установлено, что технология слоевой отработки с использованием закладки выработанного пространства является более эффективной, чем без использования закладки. При этом эффективность закладки наиболее существенно проявляется при длине лав 150 м. При увеличении длины лав до 300 м эффект от закладки уменьшается [6, 8].

6. Предложены принципиальные технологические схемы бесцеликовой выемки калийных пластов в основу которых положены принципы проведения и поддержания подготовительных выработок на границе с выработанным пространством – повторное использование выемочных штреков и проведение их вприсечку к выработанному пространству, отличительной особенностью

которых являются низкие эксплуатационные потери полезного ископаемого во всех типовых условиях разработки Старобинского месторождения.

Разработано семь технологических схем отработки Второго и Третьего калийного пласта, в которых уменьшение размеров или полное отсутствие межстолбовых целиков достигается за счет:

- проведения выработки на границе с выработанным пространством позади фронта очистных работ опережающей смежной лавы;

- повторного использования выработки путем поддержания ее позади очистного забоя отработываемой лавы или восстановления погашенной выработки для отработки смежного столба отстающей лавой;

- оставления между выемочными столбами временного целика, вынимаемого очистным комбайном отстающей смежной лавы одновременно с ведением очистной выемки в самой лаве [5, 12-15].

7. Разработаны рекомендации по применению бесцеликовых технологических схем отработки калийных пластов длинными очистными забоями в различных горно-геологических и горнотехнических условиях Старобинского месторождения калийных солей. Составной частью вышеуказанных рекомендаций, является раздел, связанный с порядком проведения и поддержания подготовительных выработок лав на границе с выработанным пространством [5, 10].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработанные технологические схемы бесцеликовой выемки калийных пластов прошли успешные опытно-промышленные испытания на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий», которые подтвердили их высокую эффективность.

Указанные технологические схемы, а также разработанные рекомендации по применению бесцеликовых технологических схем отработки калийных пластов длинными очистными забоями рекомендуются к широкому внедрению при разработке Старобинского месторождения. При определенной доработке разработанные технологии могут быть использованы и на других калийных месторождениях.

Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс БНТУ для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых», обучающихся по направлению 1-51 02 01-01 «Подземные горные работы» при изучении дисциплин «Механические процессы в соляных и пластовых месторождениях», «Технология, механизация и электрификация подземной разработки месторождений полезных ископаемых».

Выявленные закономерности влияния параметров бокового опорного давления и эксплуатационной трещиноватости на устойчивость подготовительных выработок, закономерности влияния породной полосы на состояние целика полезного ископаемого, а также методику расчета размера зон повышенной нарушенности пласта рекомендуется использовать в научно-исследовательских организациях при разработке новых технологических схем отработки калийных пластов длинными очистными забоями и охраны горных выработок.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых изданиях

1. Дакуко, С.Н. Перспективы внедрения бесцеликовой системы разработки на Старобинском месторождении калийных солей / С.Н. Дакуко // Горная механика. – 2008. – № 4. – С. 69-74.
2. Смычник, А.Д. Оценка минимально допустимой ширины целиков между штреком и выработанным пространством при разработке калийных месторождений / А.Д. Смычник, В.Я. Прушак, С.Н. Дакуко, Р.В. Ищенко, Д.Н. Уразов // «Вести НАН Беларуси», сер. физико-технических наук. – 2009. № 1. – С. 59-66.
3. Смычник, А.Д. Повышение производительности очистного оборудования при отработке калийных пластов РУП «ПО «Беларуськалий» / А.Д. Смычник, В.Я. Прушак, Р.В. Ищенко, С.Н. Дакуко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 3(8). – С. 80-85.
4. Кологривко, А.А. Отработка калийных пластов Старобинского месторождения на участках шахтных полей с ограниченными размерами / А.А. Кологривко, С.Н. Дакуко // Горная механика. – 2009. – № 3. – С. 24-32.
5. Кологривко, А.А. Технологические схемы бесцеликовой отработки калийных пластов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях / А.А. Кологривко, С.Н. Дакуко // Горная механика. – 2009. – № 4. – С. 48-59.
6. Журавков М.А. Концентрация напряжений в кусочно-однородном ортотропном массиве с произвольно ориентированной трещиной / М.А. Журавков, В.А. Савенков, С.Н. Дакуко // Горная механика и машиностроение. – 2010. – № 1. – С. 20-31.

### Материалы международных научно-технических конференций

7. Башура, А.Н. Выбор места расположения присечной выработки / А.Н. Башура, С.Н. Дакуко // Сб. науч. трудов междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых». - Минск, 2009. – Ч.2. – С. 139-142.
8. Башура, А.Н. Влияние закладки выработанного пространства при слоевой отработке Третьего пласта Старобинского месторождения калийных солей на напряженно-деформированное состояние породного массива / А.Н. Башура, С.Н. Дакуко // Сб. науч. трудов междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых». - Минск, 2009. – Ч.2. – С. 143-148.
9. Кологривко, А.А. Перспективы поддержания производственных мощностей действующих калийных рудников / А.А. Кологривко, С.Н. Дакуко // Сб. науч. трудов 5-ой междунар. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» / Под общ. ред. Р.А. Ковалева. – Тула: ТулГУ, 2009. – С. 151-155.

## Тезисы докладов международных научно-технических конференций

10. Дакуко, С.Н. Ресурсосберегающие технологические системы отработки калийных пластов Старобинского месторождения / С.Н. Дакуко // Тез.докл. VIII междунар. науч.-техн. конф. «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии». – Гродно: ГрГУ, 2009. - С.154-155.

11. Кологривко, А.А. Бесцеликовые схемы подготовки калийных пластов / А.А. Кологривко, С.Н. Дакуко // Сб. науч. трудов VII междунар. науч.-техн. конф. «Наука – образованию, производству, экономике». – Минск: БНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 172.

### Заявки на изобретения

12. Способ бесцеликовой селективной разработки слоев мощного калийного пласта сложного строения/ МПК E21C41/00. – заявка № а 20081665; заявл. 22.12.2008 / Д.Т. Карабань, И.А. Подлесный, П.И. Калиниченко, С.Н. Дакуко, А.Б. Петровский.

13. Способ двухслоевой выемки калийных пластов в сложных условиях сближенными лавами с отдельными конвейерными штреками. МПК E21C41/00. – заявка № а 20090676; заявл. 08.05.2009 / А.В. Шаманин, С.Н. Дакуко, В.Я. Прушак.

14. Способ проведения подготовительной выработки. МПК E21C41/00. – заявка № а 20091002; заявл. 06.07.2009 / В.А. Губанов, Д.Т. Карабань, П.И. Калиниченко, Ю.Б. Петровский, А.Л. Поляков, В.А. Тараканов, С.Н. Дакуко.

15. Способ селективной выемки мощного калийного пласта с двумя породными прослоями. МПК E21C41/00. - заявка № а 20091140; заявл. 28.07.2009 / В.А. Губанов, Д.Т. Карабань, П.И. Калиниченко, Ю.Б. Петровский, С.Н. Дакуко.

620

## РЭЗЮМЕ

Дакука Сяргей Мікалаевіч

### ТЭХНАЛОГІЯ АДПРАЦОЎКІ КАЛІЙНЫХ ПЛАСТОЎ З МІНІМАЛЬНЫМІ СТРАТАМІ КАРЫСНАГА ВЫКАПНЯ

**Ключавыя словы:** бесцэліковая адпрацоўка калійных пластоў, слупавая сістэма распрацоўкі, ахоўныя цэлікі, падрыхтоўчыя выработкі, горны ціск, канвергенцыя, ачысныя забоі.

**Аб’ект даследавання:** адпрацоўваемыя слупы, падрыхтоўчыя і даследчыя выработкі ў розных горна-тэхнічных умовах Другога і Трэцяга пластоў Старобінскага месцанароджання.

**Мэта працы:** распрацоўка тэхналогіі бесцэліковай адпрацоўкі калійных пластоў Старобінскага месцанароджання слупавай сістэмай з мінімальнымі стратамі карыснага выкапня.

**Метады даследавання:** у рабоце выкарыстоўваецца комплексны метады даследаванняў, які ўключае вывучэнне і аналіз айчыннага і замежнага вопыту па бесцэліковай адпрацоўцы калійных пластоў, метады натуральных выпрабаванняў ва ўмовах вытворчасці, кампутэрнае мадэліраванне напружана-дефармаванага стану пароднага масіва паблізу падрыхтоўчых выработак і адпрацоўваемых лаў з выкарыстаннем метадаў матэматычнай статыстыкі.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** устаноўлены заканамернасці ўплыву параметраў бакавога апорнага ціску і эксплуатацыйнай трэшчынаватасці, а таксама пароднай паласы на ўстойлівасць падрыхтоўчых выработак і стан цэліка карыснага выкапня, пакінутага паміж выработкай і выпрацаванай прасторай лавы. Распрацавана метадыка разліку памера зон павышанай парушанасці калійнага пласта і парод непасрэднай кроўлі, дазваляючая вызначыць шырыню пакінутага цэліка для аховы прысечнага штрэка. Распрацаваны тэхналагічныя схемы бесцэліковай адпрацоўкі калійных пластоў, у аснову якіх пакладзены прынцыпы паўторнага выкарыстання выемачных штрэкаў і правядзенне іх упрысечку да выпрацаванай прасторы, характэрнай асаблівасцю якіх з’яўляюцца нізкія страты карыснага выкапня ва ўсіх тыповых умовах распрацоўкі Старобінскага месцанароджання.

**Ступень выкарыстання:** распрацаваныя тэхналагічныя схемы бесцэліковай адпрацоўкі калійных пластоў прайшлі паспяховыя вопытна-прамысловыя выпрабаванні на рудніках РУП «ПА «Беларуськалій», якія пацвердзілі іх высокую эфектыўнасць.

**Галіна выкарыстання:** падземная распрацоўка калійных месцанароджанняў слупавай сістэмай.

## РЕЗЮМЕ

Дакуко Сергей Николаевич

### ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

**Ключевые слова:** бесцеликовая отработка калийных пластов, столбовая система разработки, охранные целики, подготовительные выработки, горное давление, конвергенция, очистные забои.

**Объект исследования:** обрабатываемые столбы, подготовительные и исследовательские выработки в различных горно-технических условиях Второго и Третьего пластов Старобинского месторождения.

**Цель работы:** разработка технологии бесцеликовой отработки калийных пластов Старобинского месторождения столбовой системой с минимальными потерями полезного ископаемого.

**Методы исследования:** в работе используется комплексный метод исследований, включающий изучение и анализ отечественного и зарубежного опыта по бесцеликовой отработке калийных пластов, метод натурных экспериментов в производственных условиях, компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива вблизи подготовительных выработок и обрабатываемых лав с использованием методов математической статистики.

**Полученные результаты и их новизна:** установлены закономерности влияния параметров бокового опорного давления и эксплуатационной трещиноватости, а также породной полосы на устойчивость подготовительных выработок и состояние целика полезного ископаемого, оставленного между выработкой и выработанным пространством лавы. Разработана методика расчета размера зон повышенной нарушенности калийного пласта и пород непосредственной кровли, позволяющая определить ширину оставляемого целика для охраны присечного штрека. Разработаны технологические схемы бесцеликовой отработки калийных пластов, в основу которых положены принципы повторного использования выемочных штреков и проведение их вприсечку к выработанному пространству, отличительной особенностью которых являются низкие потери полезного ископаемого во всех типовых условиях разработки Старобинского месторождения.

**Степень использования:** разработанные технологические схемы бесцеликовой отработки калийных пластов прошли успешные опытно-промышленные испытания на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий», которые подтвердили их высокую эффективность.

**Область применения:** подземная разработка калийных месторождений столбовой системой.

## SUMMARY

**Dakuko Sergey Nikolaevich**

### **TECHNOLOGY OF POTASH SEAMS EXTRACTION WITH THE MINIMUM LOSSES OF A MINERAL**

**Key words:** pillarless working of potash seams, long-pillar mining, protective pillars, development working, rock pressure, convergence, stopes.

**Object of the research:** mining panels, development and research working in various mining conditions of the Second and the Third seams of the Starobin deposit.

**Aim of the work:** development of technology of pillarless working of potash seams of the Starobin deposit by long-pillar mining with the minimum losses of a mineral.

**Research methods:** in this work a complex method of researches is used including study and analysis of domestic and foreign experience on pillarless working of potash seams, a method of natural experiments under the production conditions, computer modelling of a deformation mode of a rock mass near the development working and mining longwalls with the use of mathematical statistics methods.

**Obtained results and their novelty:** laws of influence of the parameters of lateral bearing pressure, operational fracturing and a rock slice on stability of the development working and the condition of the mineral pillar left between the development and the longwall goaf are stated. The design procedure of the size of the areas with the raised disturbance of a potash seam and the immediate roof is developed, allowing to determine the width of the pillar left for protection of the drift. The technological schemes of pillarless working of potash seams, which are based on the principles of entries reuse and their carrying out right up to the goaf, which distinctive feature is low losses of the mineral in all typical conditions of mining of the Starobin deposit are developed.

**Degree of utilization:** the developed technological schemes of pillarless working of potash seams have passed successful trial tests for mines RUE "PA "Belaruskali" which have confirmed their high efficiency.

**Field of application:** underground long-pillar mining of potash deposits.

Научное издание

ДАКУКО  
Сергей Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ  
КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ  
ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная,  
открытая и строительная)

---

Подписано в печать 14.04.2010 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 1,38. Тираж 70 экз. Заказ 288.

---

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения  
с Опытным производством».  
ул. Козлова, 69, г. Солигорск, 223710, Республика Беларусь



Репозиторий БНТУ

Репозиторий БНТУ