

На правах рукописи

ЧАН Динь Бао



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СХЕМ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕМЕНТНОГО СЫРЬЯ ВЬЕТНАМА**

*Специальность 25.00.22 – Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург - 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор

Фомин Сергей Игоревич

Официальные оппоненты:

Гавришев Сергей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Разработки месторождений полезных ископаемых» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»

Ларин Николай Сергеевич

кандидат технических наук, Генеральный директор ОАО «Гипронеруд».

Ведущая организация - ООО «СПб-Гипрошахт»

Защита состоится 27 сентября 2019 года в 13 ч 00 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21-я линия, д. 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 25 июля 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ДЕМЕНКОВ
Петр Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Согласно программе развития цементной отрасли до 2025 года планируется полностью обеспечить промышленность Вьетнама цементным сырьем. Программа оценивает потребность национальной экономики в готовой цементной продукции в объёме 110 млн. т к 2020 году. В связи с ростом требования к производству цемента актуальным становится развитие исследований в области технологии открытой разработки месторождений и переработки минерального сырья для высокоэффективного производства цемента.

Необходимым условием для обеспечения устойчивой работы цементного завода является гарантированный источник сырья, отвечающий требованиям по количеству и качеству оксидов: CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, определяемым кондициями. Карбонатные месторождения, обрабатываемые открытым способом, являются основным источником сырья для производства цемента.

Обоснование и разработка технических решений, планирование направления развития открытых горных работ, должно осуществляться с учетом требований к качеству и количеству видов минерального сырья, поступающего на цементный завод.

Создание модели для оптимизации планирования развития открытых горных работ для карьеров по добыче цементного сырья, с использованием целевой функции и технологических ограничений, с учетом горно-технических условий отработки месторождения Та Тьет - Бинь Фуок (Вьетнам), позволит повысить эффективность производства цемента.

Пространственное изменение качества на месторождениях цементного сырья Вьетнама вызывает необходимость, при разработке этих месторождений карьерами, проводить планирование развития горных работ с учётом требований цементного производства.

Значительный вклад в разработку методов определения параметров технологий открытой разработки месторождений полезных ископаемых внесли такие ученые как М.И. Агошков, Ю.И. Анистратов, А.И. Арсентьев, П.П. Бастан, Ж.В. Бунин, С.Е. Гавришев, В.А. Галкин, А.В. Гальянов, Ф.Г. Грачев, П.И. Городецкий, С.А. Ильин, Ю.Е. Капутин, Ю.Г. Карасев, В.В. Квитка, В.С. Коваленко,

С.В. Корнилков, В.Ф. Колесников, А.Н. Косолапов, Н.А. Мацко, Н.В. Мельников, Н.Н. Мельников, М.Г. Новожилов, В.В. Ржевский, С.П. Решетняк, О.Н. Салманов, П.И. Томаков, К.Н. Трубецкой, С.И. Фомин, Г.А. Холодняков, В.С. Хохряков, В.Г. Шитарев, О.В. Шпанский, Н.Н. Чаплыгин, Б.П. Юматов, В.Л. Яковлев и др.

Однако, существующие методы определения параметров технологических схем открытой разработки месторождений цементного сырья не учитывают горнотехнических и горногеологических условий карьеров Вьетнама, а предложенные рекомендации, как правило, имеют ограниченную область применения.

Поэтому теоретическое обоснование и разработка методов определения параметров технологических схем добычи минерального сырья для производства цемента с учетом требований к качеству и допустимому содержанию вредных примесей в конечном продукте, а также охраны окружающей среды является актуальной задачей горной науки и цементного производства.

Цель работы. Теоретическое обоснование и разработка методов определения параметров технологических схем добычи цементного сырья, с учетом рационального направления развития горных работ при открытой разработке месторождения Та Тьет - Бинь Фуок (Вьетнам), обеспечивающего необходимое качество цемента, повышение эффективности цементного производства.

Идея работы. Определение параметров технологических схем открытой разработки месторождений цементного сырья должно базироваться на разработанных методах, с учетом рационального направления развития горных работ, обеспечивающего необходимое качество цемента для горнотехнических условий отработки месторождения Та Тьет - Бинь Фуок (Вьетнам), повышение эффективности цементного производства.

Основными задачами работы являются:

- анализ теории и практики разработки цементного сырья во взаимосвязи с перерабатывающими предприятиями при производстве цемента;

- краткая горно-геологическая характеристика месторождений цементного сырья Вьетнама и современное состояние открытых горных работ;

- обоснование совершенствования и развития методов определения параметров и показателей технологических схем добычи цементного сырья;

- обоснование рационального направления развития открытых горных работ с учётом требований к качеству цементного сырья;

- реализация модели оптимизации отработки блоков месторождения Та Тьет - Бинь Фуок с учётом обеспечения требуемого качества цементного сырья;

- оценка экономической эффективности разработанного варианта добычи цементного сырья для горно-геологических и горнотехнических условий отработки месторождения Та Тьет- Бинь Фуок;

- обоснование и разработка технологических схем открытой разработки цементного сырья для горнотехнических условий месторождений Вьетнама.

Научная новизна:

1. Получена аналитическая зависимость для определения высоты уступа, для горнотехнических и горногеологических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама, по условиям обеспечения эффективного использования выемочно-погрузочного оборудования, с учётом физико-механических свойств горных пород, параметров системы разработки.

2. Установлена эмпирическая зависимость ширины развала взорванной горной массы от высоты уступа для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама.

3. Установлена эмпирическая зависимость длины экскаваторного блока от ёмкости ковша экскаватора-мехлопаты, при транспортировании горной массы карьерными автосамосвалами, для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама.

4. Предложен критериальный показатель и создана детерминированная модель для долгосрочного планирования развития горных

работ для карьеров по добыче цементного сырья во Вьетнаме с использованием эвристической техники в среде Matlab.

Основные защищаемые положения:

1. Определение параметров и показателей технологических схем открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья следует проводить согласно разработанным методикам, с учётом горно-геологических и горнотехнических условий месторождений Вьетнама, обеспечивающим рациональное использование минеральных ресурсов, повышение эффективности ведения открытых горных работ.

2. Определение последовательности добычи разнокачественных блоков известняка должно осуществляться при реализации разработанной детерминированной модели МПР для долгосрочного планирования развития горных работ по добыче цементного сырья, с учётом горнотехнических условий карьеров Вьетнама, обеспечивающей выполнение требований цементного завода по усреднению качества, повышение экономической эффективности.

3. Отработка сложноструктурных месторождений цементного сырья Вьетнама должна проводиться по разработанным технологическим схемам, с многостадийной перевалкой сырья с верхних уступов на нижний транспортный горизонт, учитывающим требования к усреднению качества сырья, обеспечивающими сокращение потерь полезного ископаемого и повышение экономической эффективности разработки.

Методы исследований: Применен комплекс методов исследований, включающий анализ теории и практики разработки месторождений полезных ископаемых для производства цемента, анализ технико-экономических показателей отработки карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама, оценку эффективности недропользования, статистическую обработку исходных данных, экономико-математическое моделирование при планировании развития горных работ.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций
Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

подтверждается корректным применением фундаментальных положений теории и практики открытой разработки месторождений цементного сырья, применением математического моделирования с использованием современных персональных компьютеров; обширным привлечением проектной документации и фактических баз данных о результатах разработки карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама.

Практическое значение работы заключается в разработке экономико-математической модели и метода определения рационального направления развития горных работ при открытой разработке месторождений цементного сырья Вьетнама, обосновании технологических схем добычи полезных ископаемых для производства цемента, обеспечивающих повышение экономической эффективности эксплуатации карьеров и предприятий перерабатывающих цементное сырье.

Апробация работы. Основные положения диссертации в целом и отдельные ее положения докладывались, обсуждались и получили одобрение на международной конференции «International Conference on Advances in Mining and Tunnelling (ICAMT)», 2016, г. Ханой, Вьетнам, на научных конференциях (кафедра разработки месторождений полезных ископаемых, Санкт-Петербургский горный университет, 2016, 2017, 2018, 2019), международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (Санкт-Петербург, 2017), международной конференции «17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2017» (Австрия, г. Вена, 2017), IV международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке (Санкт-Петербург, 2018).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 2 в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 1 - в издании, индексированном международной базой данных SCOPUS, 3 - в зарубежном издательстве.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений, содержит 208 страниц, 36 таблиц, 68 рисунков и список литературы из 100 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведён анализ существующих технологических схем добычи минерального сырья для производства цемента, обоснование совершенствования и развития методов определения параметров технологических схем добычи минерального сырья для производства цемента, а также краткая горно-геологическая характеристика месторождений цементного сырья и современное состояние горных работ в Вьетнаме.

Во второй главе предложены методики определения параметров и показателей технологии для горнотехнических условий открытой разработки месторождений цементного сырья Вьетнама: высота уступа, ширина рабочей площадки, длина фронта горных работ, угол откоса рабочего борта карьера и длина экскаваторного блока, потеря и разубоживания руды при открытой разработке месторождений цементного сырья и объёмов готовых к выемке запасов при открытой разработке месторождений «Та Тьет - Бинь Фуок - Вьетнам».

В третьей главе представлен метод определения рационального направления развития горных работ, с учётом требований к качеству цементного сырья, на основе блочной модели месторождения известняка. Разработана модель оптимизации отработки блоков с учётом обеспечения требований к качеству цементного сырья и реализация модели планирования последовательности отработки блоков для горно-геологических и горнотехнических условий карьера по добыче цементного сырья. Проведена оценка экономической эффективности разработанного варианта технологической схемы добычи минерального сырья для горно-геологических и горнотехнических условий отработки месторождения «Та Тьет – Бинь Фуок (Вьетнам)».

В четвертой главе проведён анализ систем разработки известняков для горнотехнических условий месторождений цементного сырья Вьетнама. Рассмотрены и систематизированы технологические схемы разработки нагорных месторождений цементного сырья Вьетнама. Разработаны рекомендации по определению параметров и конструкций берм безопасности карьеров по добыче цементного сырья.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Определение параметров и показателей технологических схем открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья следует проводить согласно разработанным методикам, с учётом горно-геологических и горнотехнических условий месторождений Вьетнама, обеспечивающим рациональное использование минеральных ресурсов, повышение эффективности ведения открытых горных работ.

На основе статистической обработки данных по длине фронта работ карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама, методом интерполяции установлены значения длины фронта работ при различной производительности карьеров, высоте уступов и ёмкости ковша экскаваторов (рисунок 1).

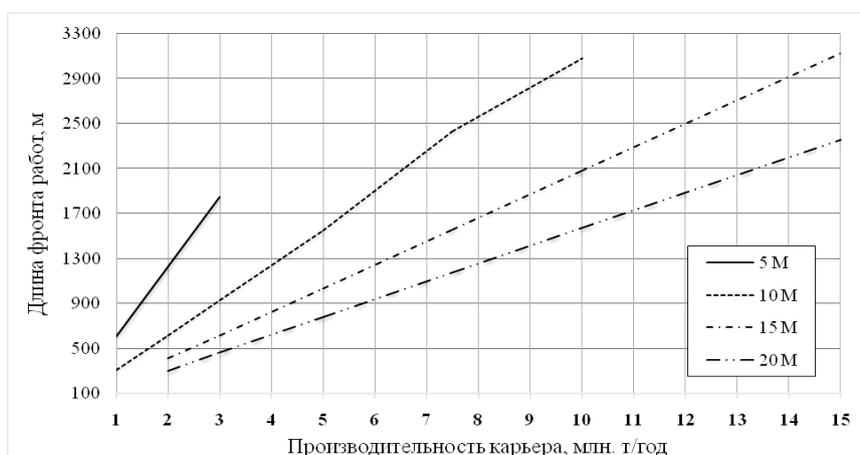


Рисунок 1 – График зависимости длины фронта горных работ от производительности карьера, при использовании экскаватора с ёмкостью ковша $E = 8 \text{ м}^3$, для различной высоты уступа

Определение оптимальной длины блока проведено с учетом обеспечения заданной производительности экскаватора, соблюдением

принятой технологии ведения горных работ и обеспечения минимума себестоимости добычи, для различных видов транспорта полезного ископаемого. Оптимальная длина экскаваторного блока для горно-технических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама при автомобильном транспорте

$$L_B = \sqrt{\frac{2 \cdot Q_{\text{э}} \cdot [C_{\text{м.с.}} \cdot Q_{\text{э}} \cdot n_{\text{э}} + G_a \cdot g_{\text{сп}} \cdot T_{\text{см}} \cdot (C'_{\text{с.м.}} + 0,5 \cdot C'_{\text{п.м.}})]}{n_{\text{э}} \cdot h \cdot \gamma_p (2Q_{\text{э}} \cdot C_{\text{м.с.}} + G_a \cdot g_{\text{сп}} \cdot T_{\text{см}} \cdot C'_{\text{п.з.}})}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{э}}$ – эксплуатационная производительность экскаватора, м³/год; h – высота уступов в карьере, м; $n_{\text{э}}$ – количество экскаваторов, шт.; G_a – грузоподъемность автосамосвала, т; $v_{\text{сп}}$ – средняя скорость движения автосамосвала, м/ч; $C_{\text{мс}}$ – стоимость машино-смены автосамосвала, донг./смен.; $T_{\text{см}}$ – продолжительность работы автотранспорта в течение смены, ч; γ_p – плотность известняка, т/м³; донг./смен.; $C'_{\text{сз}}$ – эксплуатационные затраты на строительство 1 м забойной автодороги, донг.; $C'_{\text{см}}$ – эксплуатационные затраты на строительство 1 м магистральной автодороги, донг.; $C'_{\text{пз}}$ – затраты на поддержание 1 м забойной автодороги, донг.; $C'_{\text{пм}}$ – затраты на поддержание 1 м магистральной автодороги, донг.

Результаты расчёта показывают, что оптимальное значение длины экскаваторного блока при автомобильном транспорте для горнотехнических условий карьеров, обрабатывающих месторождения цементного сырья Вьетнама составит 280÷360 м.

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы: общие удельные затраты при увеличении высоты уступа снижаются; общие удельные затраты с увеличением длины фронта работ сокращаются до достижения оптимума, а затем постепенно возрастают; оптимальная длина фронта горных работ при уменьшении высоты уступа возрастает.

Сложноструктурные месторождения цементного сырья имеют особенности, которые необходимо учитывать при определении надежности работы горнотехнической системы-карьер и объемов готовых к выемке запасов.

Готовые к выемке запасы (ГВЗ) – часть подготовленных на каждом горизонте запасов, которые можно добыть без выполнения горных работ на лежащем выше уступе с сохранением минимальной рабочей площадки. Распределение объемов ГВЗ по горизонтам карьера определяет надежность работы горно-технической системы-карьер. Под надежностью понимается свойство системы выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой выработки. Горнотехническая система-карьер в данном случае является системой со смешанным соединением звеньев, надежность которой может определяться как средневзвешенная величина

$$P_{hk} = \frac{P_{1e} V_{1e} + \sum_1^{nD} P_{iD} V_{iD}}{V_{1e} + \sum_1^{nD} V_{iD}}, \quad (2)$$

где V_{iD} – годовые объемы добычи руды на i -м горизонте, m^3 ; V_{1e} – годовые объемы вскрыши на вскрышном горизонте, m^3 ; nD – количество добычных уступов; P_{iD} – надежность работы i -го добычного уступа ($i = 1, 2, 3, \dots, n$);

Величина готовых к выемке запасов определяется шириной резервной полосы рабочих площадок (ΔB_{Di}) и длиной фронта работ (L_{Di}) на уступах. Объем готовых к выемке запасов в рассматриваемый период времени для карьера в целом

$$\Delta P = \sum_1^{nD} \Delta B_{Di} L_{Di} h_{Di}, \quad (3)$$

где ΔB_{Di} – ширина резервной полосы рабочих площадок i -го добычного уступа, м; L_{Di} – длина фронта работ по руде i -го уступа, м; nD – количество добычных уступов.

От распределения готовых к выемке запасов цементного сырья по горизонтам карьера изменяется вероятность достижения заданной производительности карьера. Необходимо максимально возможные объемы ГВЗ располагать на верхних уступах по добыче известняка для формирования выпуклой формы рабочего борта карьера, обеспечивающей повышение надежности работы системы-карьер.

2. Определение последовательности добычи разнокачественных блоков известняка должно осуществляться при реализации разработанной детерминированной модели МЛР для долгосрочного планирования развития горных работ по добыче цементного сырья, с учётом горнотехнических условий карьеров Вьетнама, обеспечивающей выполнение требований цементного завода по усреднению качества, повышение экономической эффективности.

Определение последовательности добычи разнокачественных блоков цементного сырья, обеспечивающей выполнение требований цементного завода (усреднение качества), достигается при реализации разработанной модели планирования. Для блоков составляющих месторождение цементного сырья извлекаемая ценность определяется содержанием нескольких химических компонентов, необходимых для производства цемента.

Разработана детерминированная модель МЛР для долгосрочного планирования развития горных работ карьеров по добыче цементного сырья во Вьетнаме с использованием эвристической техники в среде Matlab. В качестве критерия в модели принят минимум затрат на получение сырьевой смеси для производства цемента. Существуют ограничения в модели, связанные с требованиями к химическому составу известняка в добываемых блоках.

Критериальный показатель модели и принятые ограничения:

$$\sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk} B_{ijk} C_{ijk} + \sum_{a=1}^A C_{at} Y_{at} \right), \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{ijk} \leq 1, \forall i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K,$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=k+1}^K \sum_{i=i-k}^{i+k-k} X_{i'jk't} - N_{ijk} X_{ijk} \geq 0, \\ \forall i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K; i' > 0,$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=k+1}^K \sum_{j=j+1}^{j+k-k} \sum_{i=i-(k-k+j-j)}^{i+(k-k+j-j)} X_{i'j'k't} - N_{ijk} X_{ijk} \geq 0, \\ \forall i = 1, 2, \dots, I; k = 1, 2, \dots, K; i' > 0, j \in [1, J]$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=k+1}^K \sum_{j=j-k+1}^{j-1} \sum_{i'=i-(k-k+j-j)}^{i+(k-k+j-j)} X_{i'jk't} - N_{ijk}^+ X_{ijk} \geq 0,$$

$$\forall i = 1, 2, \dots, I; k = 1, 2, \dots, K; i' > 0, j \in [1, J)$$

$$\min P_t \leq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk} \leq \max P_t, \forall t = 1, 2, \dots, T,$$

$$\min Q_{at} \leq Y_{at} \leq \max Q_{at}, \forall a = 1, 2, \dots, A; t = 1, 2, \dots, T,$$

$$\min G_c \leq \frac{\left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K g_{cijk} X_{ijk} B_{ijk} + \sum_a^A g_{cat} Y_{at} \right]}{\left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk} B_{ijk} + \sum_a^A Y_{at} \right]} \leq \max G_c, \forall a = 1, 2, \dots, A; t = 1, 2, \dots, T, \quad (5)$$

где t – индекс периода времени, $t = 1, 2, \dots, T$; i – расположение блоков по оси – x , где $i = 1, \dots, X$; j – расположение блоков по оси – y , где $j = 1, \dots, Y$; k – расположение блоков по оси – z , где $k = 1, \dots, Z$; a – аддитивный индекс, где $a = 1, \dots, A$, учитывающий добавки в цементное сырьё, в т.ч. глину, сланцевый камень, сланцы, латериты и т. д.; c – химический индекс, где $c = 1, \dots, C$, включая CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, LOI, K₂O, Na₂O, и LS, SR, IM, C₂S, C₃S, C₃A, LSF, и т.д.; B_{ijk} – тоннаж блока i, j, k ; C_{ijkt} – себестоимость добычи (дол./т) сырья из карьера блоков x, y, z в период t ; C_{at} – удельные затраты на закупку (дол. /т) добавки a в период t ; $\min P_t, \max P_t$ – минимальная и максимальная производственная мощность (т) карьера в период t ; $\min Q_{at}, \max Q_{at}$ – минимальное и максимальное количество (т) добавки a доступное в период t ; $\min G_c, \max G_c$ – минимальный и максимальный химический процент c ; g_{cijk} – химический процент c в блоке i, j, k ; g_{cat} – химический процент c добавки a в периоде t ; $N_{ijk}^-, N_{ijk}^+, N_{ijk}^-$ – количество блоков должно удаляться перед блоком ijk для удовлетворения ограничения приоритета извлечения блока на плоскости j и плоскостях, которые расположены за плоскостью j и перпендикулярны оси – y , соответственно.

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если блок } ijk \text{ извлекается в период } t \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Y_{at} – количество (т) добавки, используемой в период t

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i = 1, 2, \dots, I; \forall j = 1, 2, \dots, J; \forall k = 1, 2, \dots, K; \forall t = 1, 2, \dots, T,$$

$$Y_{at} \geq 0, \forall a = 1, 2, \dots, A; \forall t = 1, 2, \dots, T;$$

Реализация модели планирования последовательности отработки блоков проведена для горно-геологических и горнотехнических условий карьера по добыче известняка Та Тьет.

Результаты статистической обработки исходных данных по месторождению Та Тьет представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты статистической обработки исходных данных по месторождению Та Тьет

Компонент	Среднее	Медиана	Стандарт отклонения	Дисперсия	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экцесс
Al ₂ O ₃	12,39	12,48	3,54	12,53	0,28	0,31	4,70
Fe ₂ O ₃	24,33	21,81	17,71	313,64	0,73	0,30	1,70
SiO ₂	44,25	38,36	20,95	438,90	0,47	0,69	2,42
CaO	45,19	49,21	11,32	128,14	0,25	-2,28	7,86
MgO	1,88	1,66	0,88	0,77	0,49	1,17	3,95
LOI	37,29	40,49	7,9	62,41	0,21	-2,48	9,05

Реализация модели оптимизации отработки блоков с учётом обеспечения требуемого качества цементного сырья проведена для 21-летнего долгосрочного плана по производству цемента. В операции используется минимум 200 и максимум 1000 блоков сырья для производства цемента в год. Годовые затраты на поставку сырья из 1000 блоков на цементный завод, за 21-летний период, представлены в таблице 2. Предложенная модель была реализована в среде Matlab R2015a на ПК Intel Core i7. В каждом периоде существует набор блоков, подлежащих извлечению в рамках реализации модели планирования горных работ.

На рисунке 2 представлен результат реализации оптимального плана развития горных работ для горнотехнических условий карьера по добыче известняка Та Тьет.

Таблица 2 – Годовые затраты на поставку сырья из 1000 блоков на цементный завод за 21-летний период

Периоды	Количество блоков	Стоимость, дол.	Периоды	Количество блоков	Стоимость, дол.
1	800	13592233,21	12	1000	332403205,5
2	1000	38581877,03	13	1000	363618337,9
3	1000	67231072,68	14	1000	394793795
4	1000	96578361,28	15	1000	426746165,9
5	1000	125882771,1	16	1000	459202959,3
6	1000	154864557,3	17	1000	492358947,7
7	1000	184140634,3	18	1000	526440175,1
8	1000	212913383,5	19	1000	561628861,8
9	1000	241924199,4	20	1000	597088262,6
10	1000	271806748,8	21	200	123815283
11	1000	302169296,1			

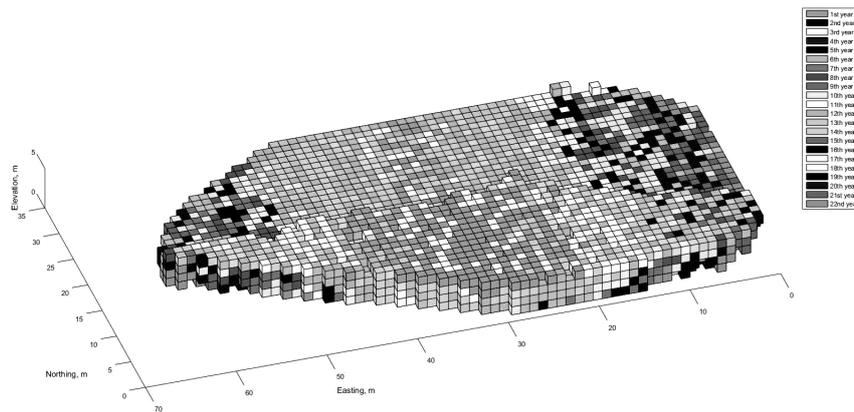


Рисунок 2 - Результат реализации оптимального плана развития горных работ для горнотехнических условий карьера по добыче известняка Та Тьет

3. Отработка сложноструктурных месторождений цементного сырья Вьетнама должна проводиться по разработанным технологическим схемам, с многостадийной перевалкой сырья с верхних уступов на нижний транспортный горизонт, учитывающим требования к усреднению качества сырья, обеспечивающими сокращение потерь полезного ископаемого и повышение экономической эффективности разработки.

Месторождения цементного сырья во Вьетнаме расположены на территориях, рельеф которых имеет сложный и разнообразный характер: нагорные месторождения, расположенные выше окружающих топографических отметок местности; месторождения, расположенные ниже окружающих топографических отметок местности; месторождения, расположенные одновременно выше и ниже топографических отметок местности. Для каждого типа рельефа местности необходимо применять соответствующую систему разработки. Нагорные месторождения известняка, расположенные выше окружающих топографических отметок местности, имеют крутопадающее залегание с углами падения $40 - 60^{\circ}$. На рисунке 3 представлена предлагаемая технологическая схема отработки нагорного месторождения известняка при взрывной перевалке горной массы по борту карьера с узкими рабочими площадками.

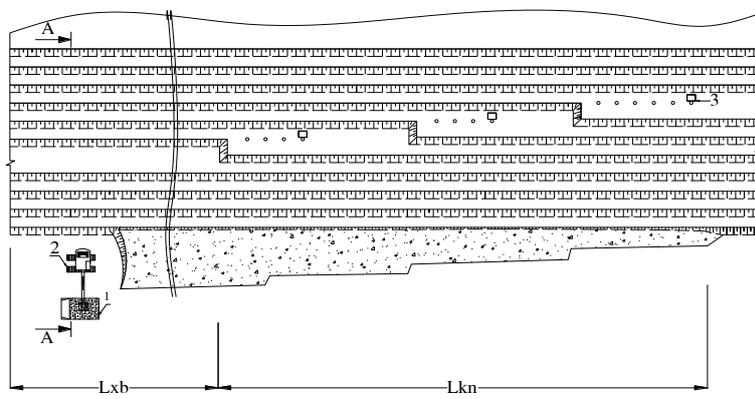


Рисунок 3 - Технологическая схема отработки нагорного месторождения известняка при взрывной перевалке горной массы по борту карьера с узкими рабочими площадками

Технологией предлагается одновременное взрывание одного ряда скважин. Перевалка горных пород ведётся с помощью взрыва на сброс. Отбитая взрывом порода перемещается энергией взрыва на нижнюю площадку карьера, обрабатывающего нагорное месторождение известняка, где горная масса грузится экскаватором в автосамосвалы и доставляется к

агрегатам первичного дробления, находящихся на расстоянии 1,5 - 3,3 км от месторождения. Для нагорных карьеров с годовой производительностью по руде более 500 тыс.т, для горно-геологических условий месторождений цементного сырья Вьетнама, целесообразно применять технологическую схему с механизированной перевалкой горной массы бульдо-зерами по борту на дно карьера с широкими рабочими площадками. Оработка уступов должна проводиться сверху вниз на всех уступах последовательно.

Технологическая схема с механизированной перевалкой горной массы гидравлическими экскаваторами по борту на дно карьера, с широкими рабочими площадками, представлена на рисунке 4.

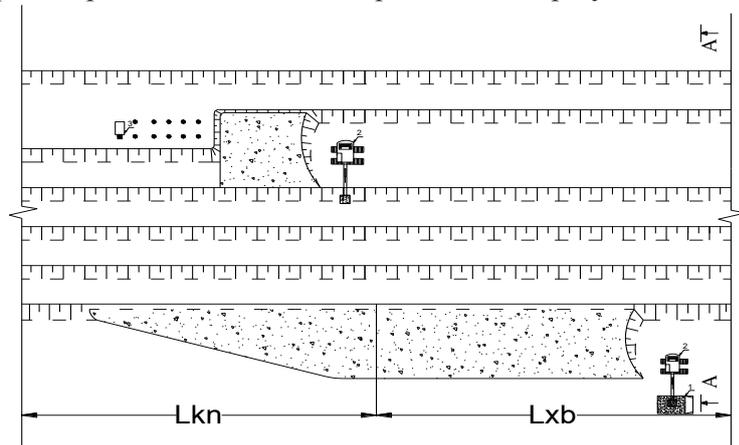


Рисунок 4 - Технологическая схема отработки нагорного месторождения известняка с механизированной перевалкой горной массы экскаватором по борту карьера с широкими рабочими площадками

Применение раздельной выемки из массива разнотипных и разносортных горных пород позволяет снизить содержание вредных окислов в сырьевой смеси в результате удаления карстового материала, доломитизированных и высокощелочных пород, кремнистых включений; обеспечить поставку на цементные заводы однородного по качеству сырья; регулировать химический состав сырья в процессе добычных работ; снизить затраты на производство цемента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические выводы:

1. Доказано, что значения высоты уступа в зависимости от сцепления пород, в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама, обеспечивают безопасность ведения горных работ для применяемых моделей экскаваторов.

2. Получена аналитическая зависимость для определения высоты уступа, для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама, по условиям обеспечения эффективного использования выемочно-погрузочного горного оборудования, с учётом физико-механических свойств горных пород, параметров системы разработки, требований правил безопасности ведения горных работ.

3. Установлена эмпирическая зависимость ширины развала взорванной горной массы от высоты уступа для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама.

4. Установлена эмпирическая зависимость длины экскаваторного блока от ёмкости ковша экскаватора-мехлопаты, при транспортировании горной массы автосамосвалами, для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама.

5. Рациональное значение длины экскаваторного блока, при использовании для транспортирования горных пород карьерных автосамосвалов, для горнотехнических условий карьеров, отрабатывающих месторождения цементного сырья Вьетнама, составит 280-360 м.

6. Разработана методика определения оптимальных нормативных потерь и разубоживания руды по критерию максимум чистого дисконтированного дохода (ЧДД) от разработки, для горнотехнических условий открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья Вьетнама.

7. Установлено, что от распределения готовых к выемке запасов по рабочим горизонтам, для горнотехнических условий карьеров по добыче цементного сырья Вьетнама, изменяется вероятность достижения установленной производительности карьера по полезному ископаемому, поэтому необходимо максимально возможные объёмы готовых к выемке запасов располагать на верхних добычных уступах, обеспечивающего повышение безопасности горных работ и надёжность работы технологической системы.

8. Доказано, что определение последовательности добычи разнокачественных блоков известняка должно проводиться при реализации

разработанной детерминированной модели МПР для долгосрочного планирования развития горных работ по добыче цементного сырья, с учётом горнотехнических условий карьеров Вьетнама, обеспечивающей выполнение требований цементного завода по усреднению качества, повышение экономической эффективности.

9. Разработана классификация систем открытой разработки месторождений цементного сырья Вьетнама, с учётом рельефа местности, горнотехнических и горно-геологических особенностей отработки.

10. Предложены технологические схемы разработки месторождения Та Тьет - Бинь Фуок, с учётом направления развития горных работ, требований к качеству и количеству видов минерального сырья, поступающего на цементный завод.

11. Установлено, что создание рациональной структуры откоса борта карьера, обеспечивающей предотвращение явления падения кусков горных пород на известняковом карьере, связано с учётом факторов, влияющих на явление падения кусков горной породы - угол откоса уступа, ширина бермы, форма поверхности и конструкция бермы безопасности.

12. На основе моделирования с использованием программного обеспечения ROCFALL, проведено определение ширины бермы безопасности для горнотехнических условий карьера цементного сырья Вьетнама, в зависимости от высоты уступа, угла откоса уступа, конструкции бермы безопасности, обеспечивающей сохранение максимального процента кусков падающей горной породы на берме безопасности.

13. Ожидаемый экономический эффект от реализации модели предлагаемой последовательности отработки блоков месторождения цементного сырья Та Тьет - Бинь Фуок за период отработки карьеров первой очереди (21 год) составит 336318,9 млн.донг.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России:

1. Чан Динь Бао. Оптимизация потерь и разубоживания руды при открытой разработке сложноструктурных карбонатных месторождений / С.И. Фомин, Чан Динь Бао // Маркшейдерия и Недропользование. – № 2 (82), март-апрель 2016, – с. 58–62.

2. Чан Динь Бао. Нормирование запасов руды по степени подготовленности к выемке при проектировании открытой разработки

месторождений / С.И. Фомин, Чан Динь Бао, Е.И. Базарова // Маркшейдерия и Недропользование. – № 2 (88), март-апрель 2017, – с. 53–66.

Публикации в международной базе цитирования Scopus:

3. Tran Dinh Bao, Ordinary kriging comparison and inverse distance weighting for quality assessment of Vietnam cement limestone deposits / Vu Dinh Trong, Tran Dinh Bao, Fomin S.I. // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017, SGEM 2017. Vienna GREEN Conference Proceedings, Issue 63, Vol. 17, 2018. pp. 61 - 68. (Scopus).

В прочих изданиях:

4. Чан Динь Бао. Оптимизация потерь и разубоживания ценных минералов при разработке сложноструктурных карбонатных месторождений / С.И. Фомин, Чан Динь Бао, Ву Динь Чонг // Тезисы докладов международной научно-практической конференции (ICAMT): - Ханой, 14-15 ноября 2016, (на английском языке). (ISSN: 978-604-76-1171-3) с.128 -131.

5. Tran Dinh Bao. Loss and Dilution Optimization of Valuable Minerals in Mining Complex Structured Limestone Deposits / Fomin S. I., Tran Dinh Bao // IOSR Journal Of Pharmacy, (e)-ISSN: 2250-3013, (p)-ISSN: 2319-4219 – Volume 7, Issue 9 Version. II (September 2017), PP. 42-46.

6. Чан Динь Бао. Определение длины фронта работ для горно-технических условий открытой разработки месторождений цементного сырья Вьетнама / Чан Динь Бао // Горное дело в XXI: технологии, наука, образование: Тезисы докладов международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию кафедры Горное искусство. РИЦ Горного университета, СПб., 2017, – с. 76.

7. Tran Dinh Bao. Comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting interpolation methods: A case Study at Ta Thiet deposit of cement limestone deposits, Binh Phuoc province, Vietnam / Tran Dinh Bao, Vu Dinh Trong, Nguyen Dinh An, Fomin S. I. // National Conference of Earth sciences and Natural resource for sustainable development EASD. 2018, EASD 2018. Vietnam Conference Proceedings, ISBN 978-604-76-1753-1, 07 – 12 December 2018, pp. 1-2.

8. Чан Динь Бао. Определение параметров берм безопасности для горнотехнических условий карьеров Вьетнама / С.И. Фомин, До Нгок Хоан // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Том 2. Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2019. - № 4 (специальный выпуск 7). - М.: Издательство «Горная книга». – с. 345-359.