

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ГОРНТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАРЬЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Глебов А.В.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

Ключевые слова: горнотехническая система карьера, циклично-поточная технология, автомобильно-конвейерный транспорт, взаимная адаптация технической и технологической подсистем, динамическое равновесие структуры и параметров, эффективность транспортирования горной массы.

Аннотация. Исследование процессов взаимной адаптации системы автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся с ростом глубины горнотехнической системы карьера с целью управления взаимным соответствием этих систем, является актуальной научной проблемой, решение которой направлено на развитие теории формирования транспортных систем, позволяющее повысить эффективность применения автомобильно-конвейерного транспорта при разработке глубокозалегающих рудных месторождений полезных ископаемых. В статье изложен концептуальный подход к обеспечению динамического равновесия структуры и параметров горнотехнической системы карьера при использовании циклично-поточной технологии. Показано, что уровень динамического равновесия структуры и параметров технологической и технической подсистем горнотехнической системы карьера определяется закономерностью изменения процесса управления этими системами от их адаптивности. Предложены адаптационные мероприятия по достижению эффективности процесса транспортирования горной массы в условиях возрастания значений параметров природных, технологических, технических, экологических, экономических факторов посредством обеспечения динамического равновесия технической и технологической подсистем горнотехнической системы карьера.

DYNAMIC EQUILIBRIUM OF THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF THE MINING TECHNICAL SYSTEM IN A QUARRY WHEN USING CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY

Glebov A.V.

Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

Keywords: mining system of the quarry, cyclic-flow technology, automobile and conveyor transport, mutual adaptation of technical and technological subsystems, dynamic equilibrium of structure and parameters, efficiency of rock mass transportation.

Abstract. The study of the processes of mutual adaptation of the automobile and conveyor transport system and the mining system of the quarry, which develops with increasing depth, in order to manage the mutual correspondence of these systems, is an urgent scientific problem, the solution of which is aimed at developing the theory of the formation of transport systems, which makes it possible to increase the efficiency of the use of automobile and conveyor transport in the development of deep-lying ore deposits of minerals. The article outlines a conceptual approach to ensuring dynamic equilibrium of the structure and parameters of the mining system of a quarry when using cyclic-flow technology. It is shown that the level of dynamic equilibrium of the structure and parameters of the technological and technical subsystems of the mining and technical system of the quarry is determined by the pattern of changes in the process of controlling these systems from their adaptability. Adaptation measures are proposed to achieve the efficiency of the process of transporting rock mass in conditions of increasing values of the parameters of natural, technological, technical, environmental, and economic factors by ensuring a dynamic balance of the technical and technological subsystems of the quarry mining system.

Введение

В настоящее время на действующих месторождениях, разрабатываемых открытым способом, отмечается активизация перехода на конвейерный транспорт [1-5] с одновременным сокращением запасов полезных ископаемых, рентабельных для выемки традиционными открытыми геотехнологиями. Кроме этого, увеличение расстояния транспортирования руды, высоты подъема горной массы, несвоевременная замена

технологий и обновление техники приводит к несоответствию транспортной и горнотехнической систем карьера и, как следствие, к повышению затрат на транспортирование горной массы, снижению эффективности использования комплексов циклично-поточной технологии (ЦПТ) [6].

Рост глубины карьера закономерно приводит к накоплению взаимных несоответствий параметров автомобильно-конвейерного транспорта (АКТ) и горнотехнической системы (ГТС), что усугубляет рост затрат на транспортирование.

Развитие теории формирования и функционирования транспортной и горно-добычной систем карьера во взаимосвязи с темпами развития карьерного пространства с целью исключения их взаимного несоответствия, возникающего при изменении природных, технологических, технических, организационных и экономических факторов, для достижения синхронного развития в динамике сопряжения систем при разработке крутопадающих глубокозалегающих рудных месторождений является актуальной научной проблемой.

Автором предложена идея, заключающаяся в том, что несоответствие технологической и технической подсистем ГТС карьера, усугубляющееся и накапливающееся с изменением природных, технологических, технических и организационно-экономических условий, устраняется взаимной адаптацией их параметров путем приведения в равновесие всех элементов структуры в соответствие с параметрами в расчете ГТС на весь срок эксплуатации карьера.

Исследование

Общепринятые определения ГТС [7, 8] включают в свой состав технологическую подсистему транспортирования. В настоящее время, данное толкование не позволяет объективно с достаточной полнотой, исследовать процесс накопления технических, технологических и других несоответствий транспортной системы условиям её функционирования при увеличении глубины карьера, закономерно приводящий к росту затрат. В связи с этим, для дальнейшего исследования, автор выделил две взаимосвязанных подсистемы ГТС: технологическую и техническую с использованием АКТ.

Технологическая подсистема горнотехнической системы карьера [9, д.т.н. Соколовский А.В.] – совокупность элементов подготовительных, вскрышных и добычных выработок, обеспечивающих доступ к георесурсам, и размещение геотехнических комплексов с целью их извлечения.

Техническая подсистема горнотехнической системы карьера [10, Глебов А.В.] – цепь взаимосвязанных геотехнических комплексов, осуществляющих контролируемый и управляемый людьми процесс перемещения горной массы во времени и пространстве. В данном исследовании технической подсистемой является автомобильно-конвейерный транспорт.

Учитывая то, что провозная способность транспортных коммуникаций ограничивает объем выдаваемой из карьера горной массы и полезного ископаемого, а число грузотранспортных коммуникаций и их расположение зависят от множества взаимоувязанных факторов, при определении производительности карьера по числу и производительности транспортных коммуникаций необходим глубокий анализ транспортных условий и детальный расчет возможного грузооборота с учетом динамики горных работ (рис. 1) [11].

Анализ элементов и параметров ГТС карьера показал, что между технологической и технической подсистемами существует количественная связь, выраженная через производительность карьера, скорость подвигания фронта работ, скорость понижения горных пород и провозную способность транспортных коммуникаций. Оптимальность этих показателей достигается обеспечением взаимного соответствия параметров технологической и технической подсистем, то есть их взаимной адаптацией.

Важнейшее значение имеют факторы, определяющие начальные условия освоения месторождения: годовая производственная мощность предприятия, показатели кондиций, системы вскрытия и разработки месторождения, характеристики социально-производственной инфраструктуры района освоения.

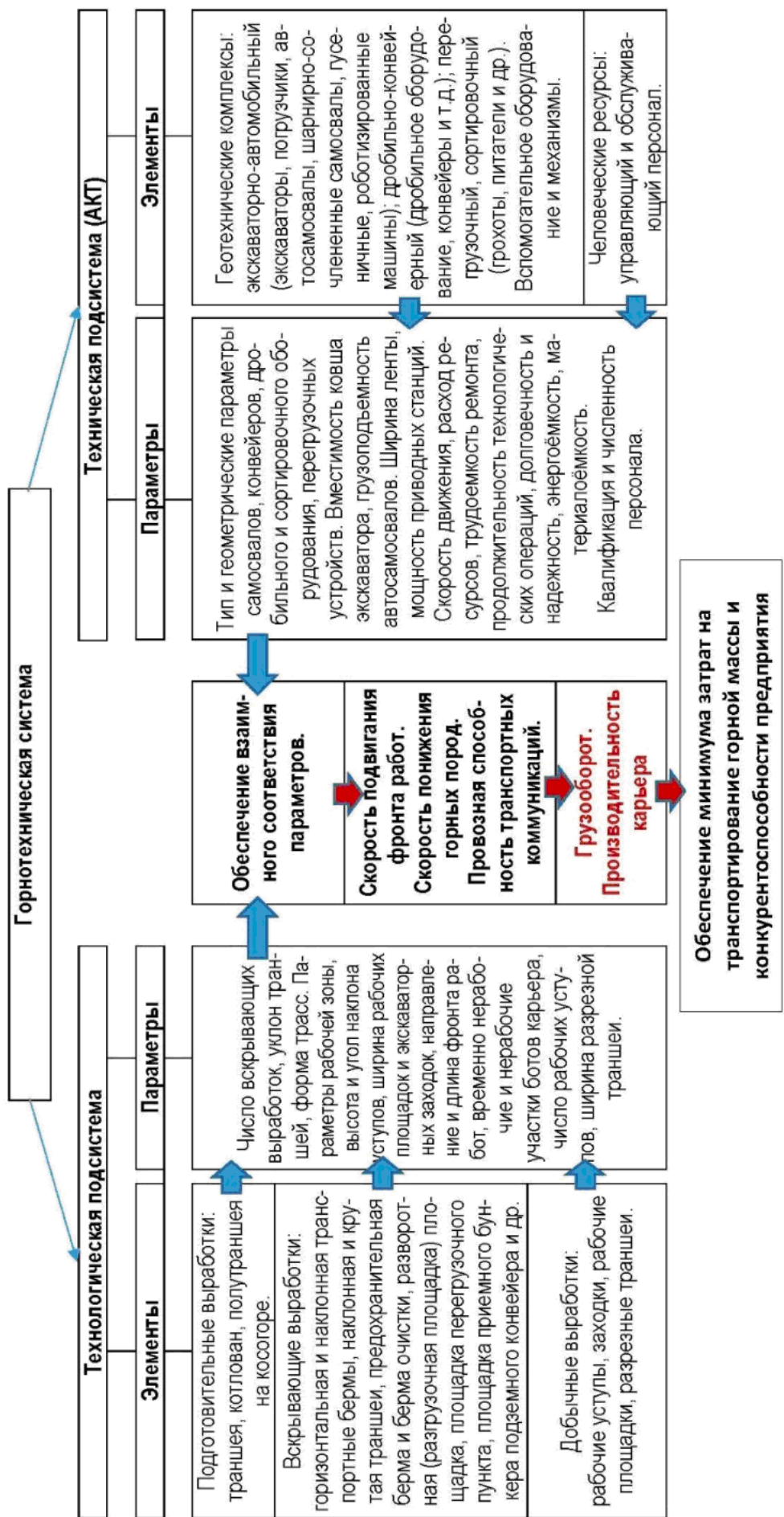


Рис. 1. Элементы и параметры подсистем ГТС и их взаимосвязь

Факторами, определяющими технико-эксплуатационные показатели (ТЭП) процесса транспортирования, являются расстояние и высота подъема горной массы, величина которых по мере развития горных работ зависит не только от роста глубины карьера, но и от принятого режима горных работ, этапности формирования карьерного пространства и параметров АКТ.

Как показали исследования, используемые комплексы АКТ практически исчерпывают свою эффективность на глубине карьера 350-400 м. Тенденция снижения эффективности обусловлена отставанием строительства перегрузочных пунктов от развития и понижения горных работ, в результате чего увеличиваются расстояние и затраты на транспортирование горной массы (ГМ).

Со временем происходит накопление негативного влияния различных факторов и затраты на транспортирование начинают интенсивно нарастать. АКТ становится не эффективным и, как показывает опыт, его останавливают и демонтируют.

Разработанная концепция снижения негативного влияния увеличения глубины карьера на эффективность транспортирования горной массы путём взаимной адаптации систем позволяет отработать карьер до конечной глубины с использованием АКТ не превышая уровень допустимых для собственника затрат (рис. 2, а). На рисунке 2, б показан процесс удержания приемлемого для субъекта уровня затрат, на 15-20% превышающего проектные значения, путем адаптирования только геотехнических комплексов. Из рисунка видно, чем чаще проводятся адаптационные мероприятия, тем ниже затраты на транспортирование ГМ. В этом случае адаптационные мероприятия могут быть долговременными и кратковременными.

На рисунке 2, в показан процесс удержания приемлемого уровня затрат на транспортирование ГМ, путем адаптирования технологической подсистемы ГТС. Сроки таких мероприятий исчисляются годами.

Таким образом концепция управления взаимной адаптацией технологической и технической подсистем ГТС позволяет оптимизировать периоды их адаптирования и поддерживать затраты на транспортирование ГМ на уровне проектных значений до конца отработки месторождения открытым способом (рис. 2, г).

Усиление влияния существа адаптационных воздействий на взаимное соответствие технологической и технической подсистем ГТС по мере наращивания глубины карьера вызывает необходимость периодического обоснования технологических требований к формированию геотехнических комплексов, выбору новых видов транспортных средств и схем транспортирования с изменением управленческих, технических и технологических решений во времени.

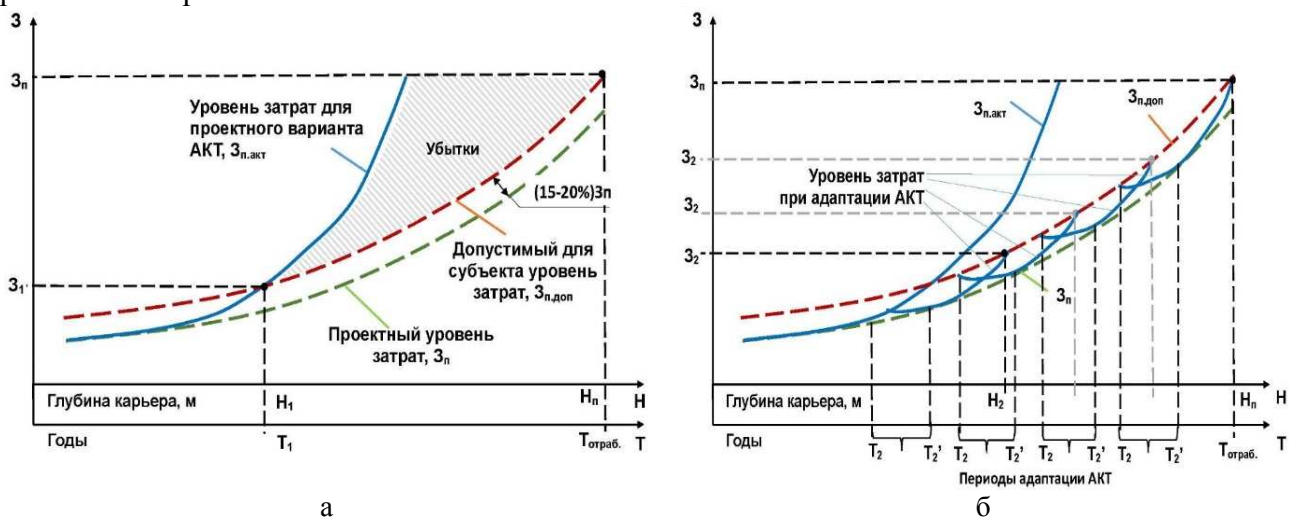


Рис. 2. Концепция снижения влияния глубины карьера на эффективность транспортирования горной массы путём взаимной адаптации технологической и организационно-технической подсистем ГТС: а) эффективная глубина карьера H_1 без адаптации АКТ и ГТС; б) эффективная глубина карьера H_2 при адаптации АКТ

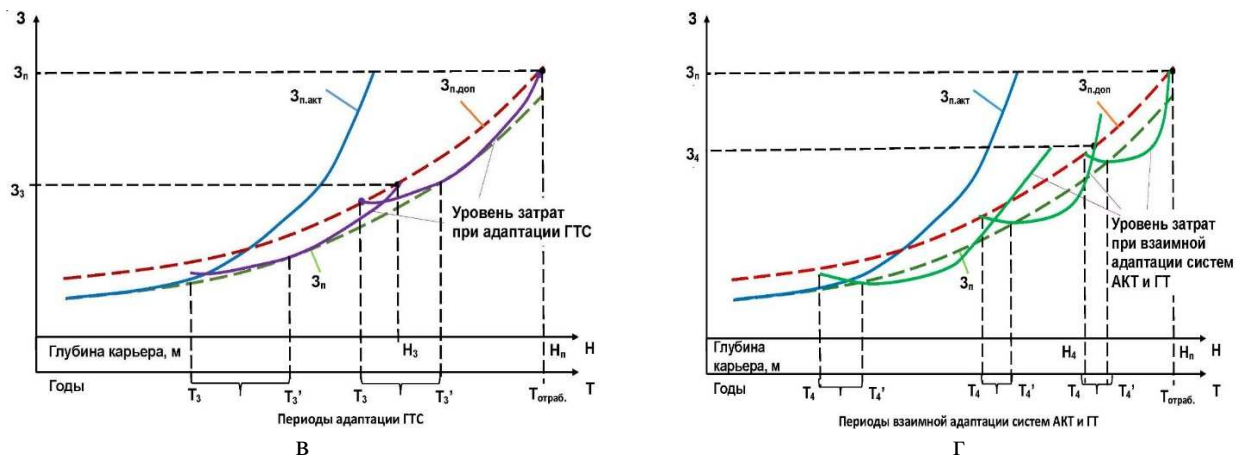


Рис. 2. Концепция снижения влияния глубины карьера на эффективность транспортирования горной массы путём взаимной адаптации технологической и организационно-технической подсистем ГТС: в) эффективная глубина карьера H_3 при адаптации ГТС; г) эффективная глубина карьера H_4 при взаимной адаптации систем АКТ и ГТ в 2 этапа

На рисунке 2 обозначено: T_2, T_3, T_4, T_5 – годы начала адаптационных мероприятий; T'_2, T'_3, T'_4, T'_5 – годы окончания адаптационных мероприятий; Z – затраты на транспортирование горной массы (ГМ); $Z_n, H_n, T_{отраб.}$ – проектные значения затрат (Z), глубины (H) и срока отработки карьера (T); Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 – затраты на транспортирование ГМ, превышение которых неприемлемо для субъекта.

Устойчивое состояние процесса транспортирования, при котором соблюдается сбалансированность технологической и технической подсистем ГТС, находящихся под воздействием внутренних и внешних факторов в течение длительного времени есть ни что иное, как *динамическое равновесие* этих подсистем (рис. 3).

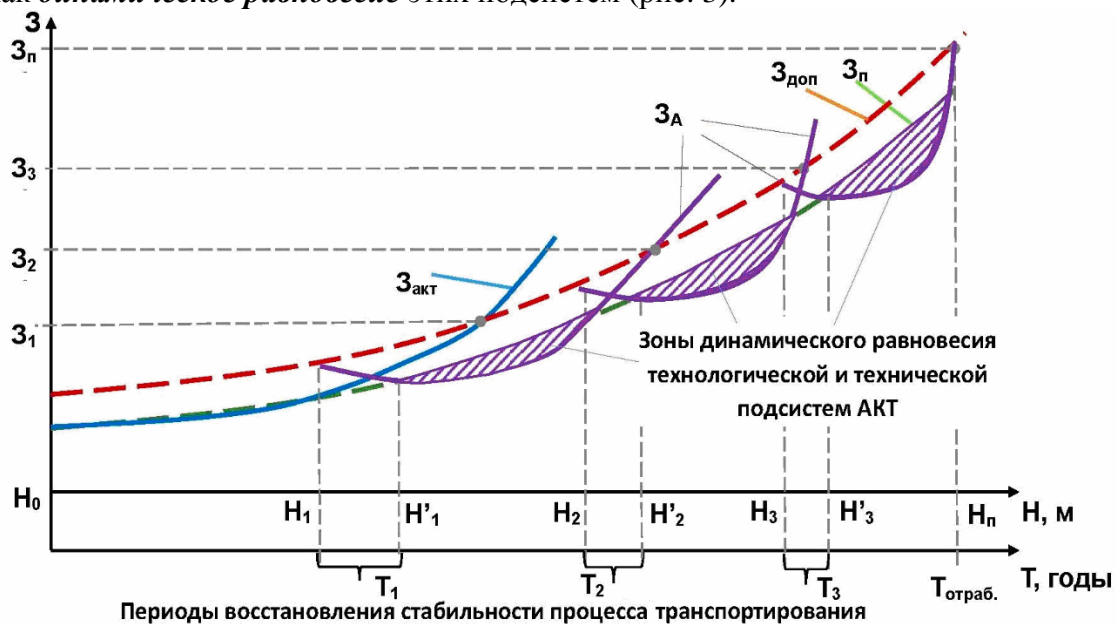


Рис. 3. Логическое доказательство достижения подсистемами ГТС динамического равновесия:

H_1, H_2, H_3 – глубина карьера, соответствующая началу адаптационных мероприятий;
 H'_1, H'_2, H'_3 – глубина карьера, соответствующая окончанию адаптационных мероприятий

Принцип динамического равновесия – заблаговременная взаимная адаптация технологической и технической подсистем ГТС, объем и интенсивность которой превышает проектный уровень. Такое представление горнотехнической системы карьера позволяет работать с ней как с динамичной системой, состояние которой меняется во времени в результате реализации технических, технологических и организационных инноваций.

Для оценки динамического равновесия подсистем ГТС в качестве критериев целесообразно использовать сбалансированность процессов производственной системы и минимум допустимых затрат на транспортирование горной массы. Под сбалансированностью понимается категория, отражающая взаимосоответствие развития производственных процессов на предприятии, то есть такое сочетание их состояний, которое способствует получению дополнительных результатов.

Сбалансированность процессов определяется коэффициентом взаимосоответствия по производительности оборудования ($K_{всн}$):

$$K_{всн} = K_{u1} / K_{u2}, \quad (1)$$

где K_{u1} , K_{u2} – планируемый коэффициент использования оборудования геотехнических комплексов смежных процессов.

Коэффициент адаптивности АКТ к горнотехнической системе карьера по производительности можно оценить через отношение необходимой производительности карьера ($P_{эм}$) к фактической производительности ДКК ($Q_{ДКК}$)

$$K_{А ДКК} = P_{эм} / Q_{ДКК}. \quad (2)$$

При этом важным условием является вероятность того, что фактические затраты не превысят допустимого значения в течении определенного периода времени

$$P (Z_{доп} \leq Z_{ф}) \geq P_{\delta}, \quad (4)$$

где P_{δ} – допустимое значение вероятности, %. Данное значение определяется субъектом исходя из допустимого уровня рентабельности процесса перевозок горной массы.

$$Z_{ф} \leq Z_{доп} \rightarrow \text{Min}, \quad (5)$$

где $Z_{доп}$ – допустимый уровень затрат на транспортирование горной массы, руб/т;

$Z_{ф}$ – фактический уровень затрат на транспортирование горной массы, руб/т.

Взаимная адаптация является реакцией на изменение внешних и внутренних факторов и выражается в тенденции установления приемлемого уровня функционирования, обеспечивающего динамическое равновесие параметров и показателей АКТ и развивающейся горнотехнической системы, а также достижение требуемого уровня эффективности.

Уровень динамического равновесия структуры и параметров технологической и технической подсистем ГТС карьера определяется закономерностью изменения процесса управления этими системами от их адаптивности. При этом критерием управляемости является вероятность того, что время выполнения задач по взаимной адаптации не превысит допустимого значения длительности цикла взаимной адаптации технологической и технической подсистем ГТС.

Эффективное управление возможно лишь тогда, когда система обладает способностью изменять свое состояние в заданных пределах при воздействиях на нее органов управления субъекта в соответствии с изменениями внутренних и внешних факторов, то есть **управляемостью**. Критерием управляемости является вероятность того, что время выполнения задач по взаимной адаптации не превысит допустимого значения длительности цикла восстановления параметров горнотехнической системы:

$$P (T_A \leq T_{доп.ЦА}) \geq P_{\delta}, \%, \quad (6)$$

где $T_{доп.ЦА}$ – допустимая длительность цикла взаимной адаптации параметров технологической и технической подсистем ГТС; $P(T_A \leq T_{доп.ЦА})$ – вероятность того, что время выполнения задач по взаимной адаптации не превысит допустимого значения; P_{δ} – допустимое значение вероятности, %.

Допустимая длительность цикла взаимной адаптации параметров технологической и технической подсистем ГТС складывается из времени восстановления стабильности процесса перемещения горной массы из забоя на дневную поверхность, то есть длительности кратковременных и долговременных воздействий по адаптиванию технологической подсистемы ГТС. Восстановление стабильности процесса транспортирования требует оперативных мер воздействия, представляет собой сумму временных периодов, затрачиваемых на выполнение отдельных операций по эксплуатации, ремонту, обслуживанию оборудования и механизмов геотехнических комплексов.

Уменьшение продолжительности обоснования и принятия решений при одновременном повышении качества управляющих воздействий возможно за счет совершенствования функции регулирования, путем разработки и внедрения средств поддержки, принимаемых управленческим персоналом мер по восстановлению стабильности процесса транспортирования (табл. 1).

Табл. 1. Меры воздействия на подсистемы ГТС

Цель	Адаптационное (управляющее) воздействие	Меры по сокращению циклов принятия решений
Адаптирование оборудования ДПП по мере углубления карьера	Выбор места расположения ДПП по глубине карьера	- автоматизация и роботизация пунктов управления на всех узлах взаимодействия АКТ и ГТС;
	Оптимизация шага переноса ДПП и срока существования на концентрационном горизонте	
Адаптирование карьерного пространства при переходе на АКТ	Формирование участков бортов карьеров для строительства ленточных конвейерных подъемников	- обеспечение надежного функционирования геотехнических комплексов и их взаимодействия с ГТС; - обеспечение высокой профессиональной подготовки персонала управления геотехнологическими комплексами; - мониторинг изменений внутренних и внешних факторов; - своевременное планирование взаимной адаптации структуры и параметров систем;
	Изменение технологических схем ДКК с размещением ДПП на временно нерабочих участках бортов карьеров	
	Изменение технологических схем дробильно-конвейерных комплексов с размещением ДПП на конечных бортах карьеров	
	Формирование карьерного пространства при использовании КНК	
	Обоснование момента перехода на АКТ при разработке глубоких карьеров	
Адаптирование геотехнических комплексов в изменяющемся карьерном пространстве	Оценка эффективности применения и выбор оборудования геотехнических комплексов	- оперативное принятие решений и доведение задач до подчиненных
	Формирование структуры парка технологического автотранспорта в изменяющихся условиях эксплуатации	

Использование вероятности того, что время выполнения задач не должно превышать допустимого значения длительности цикла взаимной адаптации технологической и технической подсистем ГТС, оправдано в качестве критерия оценки управляемости взаимным соответствием параметров подсистем ГТС.

Результаты

1. Разработана научная концепция достижения динамического равновесия параметров транспортной и горнотехнической систем при изменении природных, технологических, технических, организационных и экономических условий разработки крутопадающих глубокозалегающих рудных месторождений твердых полезных ископаемых.

2. Предложены адаптационные мероприятия по достижению долговременной эффективности процесса транспортирования горной массы в условиях возрастания значений параметров природных, технологических, технических, экологических, экономических факторов посредством обеспечения динамического равновесия технической и технологической подсистем горнотехнической системы карьера.

3. Установлено наличие закономерности изменения адаптивности системы карьера к увеличивающейся глубине, что определяет уровень их динамического равновесия.

4. Введено новое понятие «взаимная адаптация» структуры и параметров технической и технологической подсистем горнотехнической системы (ГТС) карьера с автомобильно-конвейерным транспортом, как реакция на изменение исследуемых факторов, которая выражается в установлении их динамического равновесия на протяжении всего срока эксплуатации карьера.

Финансирование

Статья подготовлена в рамках государственного задания №075-00412-22 ПР. Тема 1 (2022-2024). Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.

Список литературы

1. Sandwich Belt High Angle Conveyor for... Mining & In Pit Crushing Conveying. 2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://bevconwayors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/>
2. Dos Santos J.A. Sandwich Belt High Angle Conveyors Coal Mine to Prep Plant and Beyond // Proceedings of the XVIII International Coal Preparation Congress. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – P. 111-118.
3. Федотенко В.С., Власов А.В., Кливер С.Я., Шадрунов А.Г. К обоснованию условий и параметров формирования горнотехнических систем при строительстве и эксплуатации комплекса циклично-поточной геотехнологии в глубоких карьерах // Горная промышленность. – 2020. – № 5. – С. 102-107. – DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-102-107.
4. Кузнецов Д.В., Косолапов А.И. Обоснование параметров горнотехнической системы карьера для разработки Олимпиадинского золоторудного месторождения // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – №4. – С. 5-11. – DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11.
5. Санакулов К.С., Шеметов П.А. Карьер "Мурунтау" на пути к рекордной глубине: основные этапы развития и модернизации горных работ // Горный журнал. – 2009. – №11. – С. 98-102.
6. Шеметов П.А. Повышение эффективности использования георесурсного потенциала при разработке крутопадающих месторождений сложного строения: дисс. ... докт. техн. наук. – Навои: Новойский государственный горный институт, 2005. – 248 с.
7. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Корнеев С.А. Систематизация и типизация горно-технических систем комбинированной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №11. – С. 194-205.
8. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Проектирование формирования и развития горнотехнических систем при комбинированной геотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S(1-1). – С. 229-240.
9. Соколовский А.В. Методология проектирования технологического развития действующих карьеров: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М.: НТЦ НИИОГР, 2009. – 39 с.
10. Глебов А.В. Некоторые аспекты методологии адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы карьера // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1. – С. 158-172. – DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-158-172.
11. Глебов А.В. Управление процессом адаптации автомобильно-конвейерного транспорта к развивающемуся карьерному пространству // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 387-399.

References

1. Sandwich Belt High Angle Conveyor for... Mining & In Pit Crushing Conveying. 2017. [Electronic resource]. – Access mode: URL: <http://bevconwayors.com/product/sandwich-belt-high-angle-conveyor-for-mining-in-pit-crushing-conveying/>
2. Dos Santos J.A. Sandwich Belt High Angle Conveyors Coal Mine to Prep Plant and Beyond // Proceedings of the XVIII International Coal Preparation Congress. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – P. 111-118.
3. Fedotenko V.S., Vlasov A.V., Kliver S.Ya., Shadrinov A.G. On justifying the conditions and parameters of the formation of mining systems during the construction and operation of a complex of cyclic flow geotechnology in deep quarries // Mining industry. 2020, no. 5, pp. 102-107. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-5-102-107.
4. Kuznetsov D.V., Kosolapov A.I. Justification of parameters of the mining and technical system of the quarry for the development of the Olimpiadinsky gold deposit // News of universities. Mining journal. 2019, no. 4, pp. 5-11. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11.
5. Sanakulov K.S., Shemetov P.A. "Muruntau" quarry on the way to record depth: the main stages of development and modernization of mining operations // Mining Journal. 2009, no. 11, pp. 98-102.
6. Shemetov P.A. Increasing the efficiency of using geo-resource potential in the development of steeply dipping deposits of complex structure: diss. ... doct. of tech. sc. – Navoi: Novoi State Mining Institute, 2005. – 248 p.

7. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V., Korneev S.A. Systematization and typification of mining systems of combined geotechnology // Mining information and analytical bulletin. 2009, no. 11, pp. 194-205.
8. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Design of the formation and development of mining systems with combined geotechnology // Mining information and analytical bulletin. 2015, no. S(1-1), pp. 229-240.
9. Sokolovsky A.V. Methodology for designing the technological development of existing quarries: abstract of the diss. ... doct. tech. sc. – M.: STC NIIOGR, 2009. – 39 p.
10. Glebov A.V. Some aspects of the methodology for adapting automobile and conveyor transport and the developing mining and technical system of the quarry // News of the Tula State University. Geosciences. 2023, no. 1, pp. 158-172. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-158-172.
11. Glebov A.V. Managing the process of adaptation of automobile conveyor transport to the developing quarry space // News of the Tula State University. Geosciences. 2023, no. 4, pp. 387-399.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Глебов Андрей Валерьевич – доктор технических наук, заместитель директора по научным вопросам	Glebov Andrey Valeryevich – doctor of technical sciences, deputy director
glebov@igduran.ru	

Получена 28.06.2024