

Системный подход, принципы формирования и критерии оценки перегрузочных систем с гибкими свойствами

Аркадий Васильевич ЮДИН
Виктор Степанович ШЕСТАКОВ*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена тем, что с увеличением глубины карьеров эффективность стационарных транспортно-перегрузочных систем (ТПС) снижается. Повышение эффективности комплексов основано на развитии технологии с гибкими свойствами.

Цель работы: развитие теории, обоснование методики формирования и оценки ТПС с гибкими свойствами в глубоких карьерах.

Методология исследования: обобщение, системный подход, анализ принципов формирования и оценки ТПС, синтез технических решений перегрузочных систем (ПС).

Результаты. В рамках системного подхода разработана структурная модель, выявлены функции, рассмотрены основные параметры, указаны целевые функции оценки ТПС. Сделано обоснование целесообразности ввода ТПС с гибкими свойствами, разработана методика оценки и характеристики свойств систем, сформированы принципы и структурные признаки модульных ПС. Приведено техническое решение ПС с гибкими свойствами из конструктивных модулей на примере ПС при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте (АЖТ).

Выводы. Недостаточное развитие теории, ограниченность области применения стационарных ТПС в значительной мере обусловили тенденции к снижению эффективности комбинированного транспорта в глубоких карьерах. Создание ТПС нового поколения на основе технологий с гибкими свойствами, модульных концепций, разработка методики и критериев их оценки являются актуальными научными и практическими направлениями.

Ключевые слова: система, транспорт, перегрузка, оценка свойства, гибкость, модуль, показатель, техническое решение, грузопоток, целевая функция.

Введение
Транспортно-перегрузочные системы (ТПС) карьеров в полной мере могут быть отнесены по терминологии к «большим техническим системам (БТС)» или к сложным системам. Основными характеристиками, которые определяют БТС, являются: структура; связи – внутренние в самой системе и внешние – с окружающей средой; вид управления по каналам внешних и внутренних связей; характеристика неопределенностей, связанных с функционированием (поведением) системы [1–4].

При системном подходе двух- и трехзвенный комбинированный транспорт, включающий сборочный транспорт с коммуникациями (СТ), перегрузочные системы (ПС), магистральный транспорт с коммуникациями из карьера (МТ) и на поверхности (ТП), системологически рассматриваются как большие технические ТПС. Такие системы представляют совокупность транспортных, технологических и перегрузочных средств с единым целевым назначением и с присущими им особенностями: по структуре, связям, управлению и поведению.

В строгой постановке под карьерной ТПС понимается определенное в пространстве карьера и времени множество подсистем (СТ, ПС1, МТ, ПС2, ТП) с известными свойствами и упорядоченными между собой связями, технологически объединенных единым грузопотоком и ориентированных на выполнение главной задачи системы. Структурная модель ТПС применительно к комбинированному транспорту изображена на рис. 1, а.

Карьерные ТПС могут быть охарактеризованы как разомкнутые, сложные, материальные, технические системы искусственного образования, комплексные по составу и подчиняющиеся функциональной декомпозиции.

В зависимости от целевой функции, а также характера связей с внешней средой карьерные ТПС выполняют следующие функции: прием, аккумуляцию, передачу внутри системы с разделением или без разделения горной массы (ГМ), с изменением или без изменения свойств и качеств системообразующего грузопотока и передачу его на выходе с параметрами, регламентированными целевой функцией. В зависимости от полноты выполняемых функций ТПС дополнительно классифицируются как полные или неполные, а подсистемы – с замкнутым или разомкнутым циклами.

В карьерной ТПС основным системообразующим компонентом является материальный объект процесса – грузопоток транспортируемой и перегружаемой горной массы. Грузопоток определяет основные параметры и характеристики ТПС: вход, процесс, выход, управление с помощью обратных связей и ограничений. Вход ТПС укрупненно может быть представлен характеристиками: годовым Q_r и часовым Q грузопотоками, грузоподъемностью СТ q_a , закономерностью (в дискретном и вероятностном описании) интенсивности поступления грузопотока, свойствами и крупностью поступающей в систему горной массы и др.

Объекты и свойства в системном процессе соединяются различными связями: связи 1-го порядка (прямые) функционально необходимы для выполнения основных транспортно-перегрузочных операций. К прямым связям можно отнести связи технологические, количественно определяющие степень технологического соответствия характеристик смежных подсистем; связи 2-го порядка – дополнительные.

Системный процесс способствует получению заданного результата взаимодействия объектов системы с использованием их свойств и связей. В целях упрощения анализа и на стадии – создания ТПС целесообразно принимать условия, что структура процессора каждой подсистемы оптимизирована по одной из целевых функций

$$F(y) \rightarrow \min S;$$

$$F(y_i) \rightarrow \min T_{\text{в}} \text{ при } S_i \neq \min S;$$

$$F(y_i) \rightarrow \max \Pi_r \text{ при } T_{\text{в}} \neq \min T_{\text{в}},$$

где S – затраты на ТПС (ПС); $T_{\text{в}}$ – время ввода ТПС (ПС); Π_r – показатель гибкости ТПС (ПС).

* shestakov.v.s@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9468-6696>

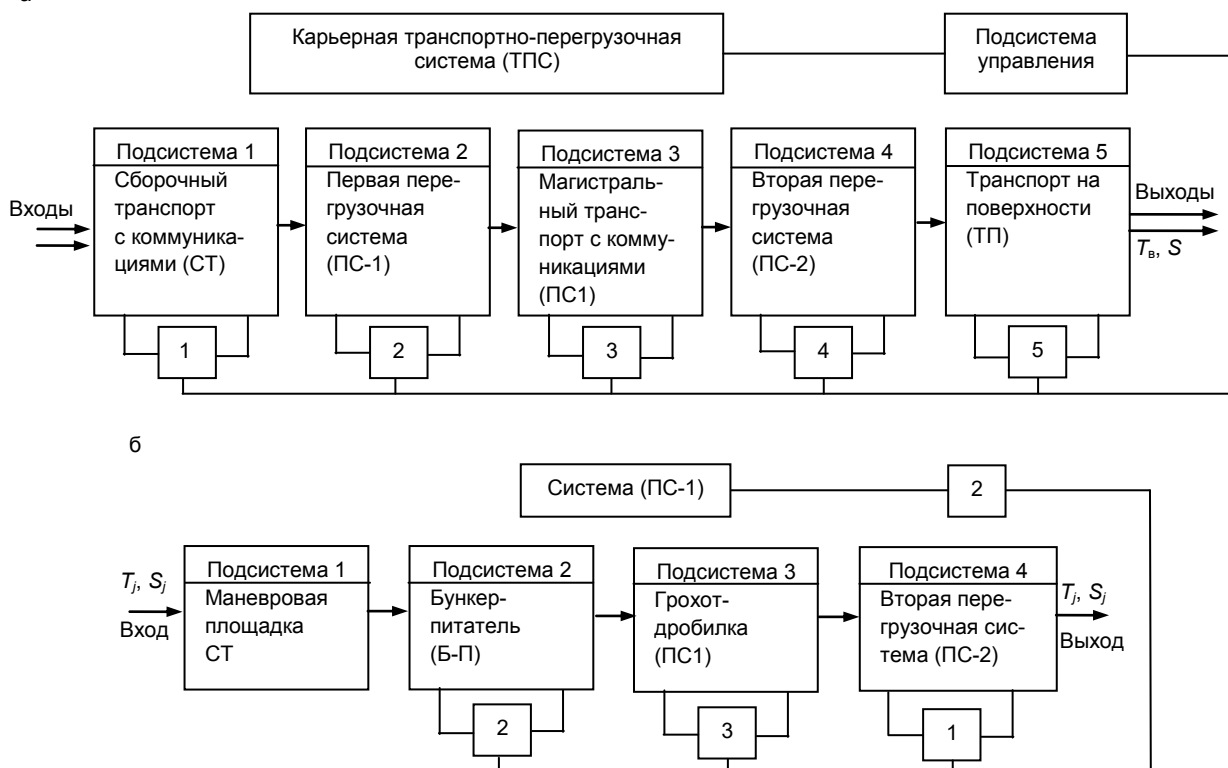


Рисунок 1. Структурная модель транспортно-перегрузочной системы при комбинированном транспорте. а – структура при двух- и трехзвенном комбинированном транспорте; б – пример декомпозиции перегрузочной системы (РС-1) при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте.

Figure 1. Structural model of the transport and reloading system for combined transport. a – structure for two- and three-link combined transport; b – the example of decomposition of a reloading system (RS-1) in combined automobile-conveyor transport.

Последняя целевая функция характеризуется свойствами гибкости ПС (наличие запаса производственной мощности, аккумулирующая способность, наличие в элементах встроенной гибкости для самонастройки и адаптации, потенциальной гибкости, универсальность и приспособляемость, нечувствительность и др.).

Процессы искусственно созданных карьерных ПС так или иначе связаны с приемом, аккумулированием, преобразованием, передачей грузопотока, который в целом стабилизирован между элементами подсистемы и подчиняется балансу:

$$Q_{\text{вх}} \rightarrow |Q_{\text{вх}} \leq Q_{\text{ПС1}} \leq Q_{\text{МТ}} \leq Q_{\text{ПС2}} \leq Q_{\text{ТП}}| \rightarrow Q_{\text{вых}}.$$

Функционирование карьерной ТПС рассматривается, прежде всего, как последовательность транспортно-перегрузочных операций. В системе высшего порядка (суперсистеме) функционируют подсистемы СТ, МТ, ПС, ТП, реализующие отдельные операции при соблюдении целостности для каждой подсистемы, и выход из каждой подсистемы является входом в другую подсистему.

Описание общих свойств карьерных ТПС в процессе их исследования представляет значительные трудности. Возникает необходимость в изучении системы по частям – подсистемам, а затем на основании свойств подсистем и связей между ними формируется вывод об общих свойствах карьерной ТПС в целом. При исследовании сложных систем возникают задачи анализа и синтеза. Пример декомпозиции подсистемы ПС1 приведен на рис. 1, б применительно к ТПС при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте.

Перегрузочные системы являются подсистемами (элементами) большой карьерной ТПС. ПС по отношению к подсистемам СТ, МТ, ТП являются внутренними и сами включают в себя несколько самостоятельных элементов.

Под карьерной ПС будем подразумевать определенную в пространстве и времени совокупность функциональных элементов с известными свойствами и упорядоченными между собой связями, которые конструктивно, технологически и управлением связаны единым грузопотоком и наделены свойствами изменять или сохранять качественное состояние перегружаемой горной массы.

В практике машиностроения, судостроения высокую экономическую эффективность показывают гибкие производственные системы. По своей природе комбинированный транспорт обладает свойствами гибких систем. Дальнейшее совершенствование технологии в глубоких карьерах целесообразно проводить на основе транспортно-перегрузочных систем с гибкими свойствами. Такая постановка вопроса созвучна основным направлениям инновационного подхода к развитию технологии и опирается на опережающие темпы ввода непрерывных видов транспорта, компьютерных технологий, робототехнических комплексов (РТК), модульных концепций при проектировании сложных инженерных объектов.

Определение и понятия о свойствах гибкости ТПС и отдельных подсистем комбинированного транспорта были сформулированы и раскрыты в работах [5–9]. Принцип подхода к проектированию ПС из конструктивных модулей изложен в работах [10–12].

Одна из причин недостаточно высокой эффективности действующих линий циклично-поточной технологии (ЦПТ) – применение стационарных комплексов оборудования, что противоречит требованиям отработки глубоких горизонтов на карьерах. Около 60 % затрат при сооружении стационарных ТПС приходится на строительные-монтажные работы и на проходку выработок. Ввод ЦПТ занимает до трех-четырех лет. ЦПТ при стационарных объектах не обладает свойствами гибкости.

Существующие стационарные ПС лишают комплексы ЦПТ мобильности и гибкости в работе, не способствуют максимальному снижению объема перевозок СТ. Пространственное расположение рудного тела в границах карьеров вызывает необходимость разработки новой техники, обладающей мобильностью. К такой технике следует отнести переносные конвейерные установки, передвижные дробильные ПС, специальные подъемники, объединенные общим названием – «гибкие технологические модули» [6].

Одно из фундаментальных положений комбинированного транспорта и обоснования применения модульных ПС – это сокращение расстояния транспортирования СТ. В некоторых работах требования предписывают иметь расстояние транспортирования до 1,0 км, по данным других работ – до 1,5–2,0 км. Поддержание оптимальной длины транспортирования СТ достигается только при своевременном вводе ПС и КТ с понижением горных работ. Эксплуатация КМТ в карьерах показала, что при стационарных ПС расстояние транспортирования АТ в ходе от-работки увеличивается, а себестоимость единицы ГМ растет. При магистральных перевозках на железорудных карьерах работа АТ характеризуется значительной высотой подъема (от 80–100 до 120–160 м) и расстоянием транспортирования (от 2,2–2,6 до 4,2–4,8 км).

Основой для совершенствования ЦПТ должно стать создание мобильных модулей, способных быстро перемещаться в рабочей зоне. Развитие исследований в данном направлении создает предпосылку перехода к гибким производственным системам.

Убедительное технико-экономическое обоснование применения ТПС, включающей передвижной модульный дробильный ПП, систему КНК по сравнению с АТ, выполнено в работе [13]. Исследованы карьеры различного типа. Для меднорудного карьера приведенные затраты по сравниваемым системам составили 457 и 370 млн долл. соответственно. В карьере железистых кварцитов себестоимость руды соответственно составила 1,238 и 1,244 долл./т, а срок окупаемости инвестиций – 8 лет. В фосфатном карьере себестоимость руды при АТ – 2,711 долл./т, при гибкой ТПС – 2,61 долл./т. С ростом глубины карьеров и объемов грузопотока экономический эффект от гибкой ТПС растет за счет снижения затрат на АТ. На Ковдорском карьере при увеличении глубины карьера до 240 м расстояние транспортирования АТ возросло в 1,5 раза, а сменная производительность автосамосвала НД-1200 снизилась в 2 раза [14]. В алмазодобывающих карьерах Якутии с увеличением глубины разработки с 100 до 400 м расстояние перевозок АТ возросло от 3,0 до 7,4 км. При этом производительность автосамосвалов грузоподъемностью 40 т снизилась более чем в 2 раза, а грузоподъемностью 110–120 т – в 2,9 раза [15]. Усложнение условий эксплуатации с глубиной разработки приводит к резкому снижению производительности АТ. Доля АТ в себестоимости ГМ глубоких карьеров достигает 55–70 % (Карагайский ГОК, Ковдорский ГОК, алмазодобывающие карьеры Якутии). Оптимальным решением повышения эффективности АТ является переход на комбинированный транспорт на основе ТПС с гибкими свойствами.

В ухудшающихся горнотехнических условиях отработки глубоких карьеров традиционные методы проектирования и технические решения ТПС входят в противоречие с требованиями интенсификации транспортных процессов. Свойства гибкости транспортных систем могут быть повышены за счет модульных концепций построения структур как ПС, так и подсистем СТ и МТ. При синтезе гибких технологий в стадии разработки оборудования и в стадии проектирования ТПС необходимо учитывать факторы, определяющие гибкость систем:

- возможность попеременного приема и перегрузки скальной горной массы и полезного ископаемого (принцип замещения);
- возможность перераспределения грузопотоков между ПС, установленных на нескольких концентрационных горизонтах (принцип перераспределения);
- ввод секции ПС с заданной единичной мощностью на новом горизонте с минимальным временем;
- возможность занимать минимальные размеры площадок;
- возможность максимального снижения объемов горно-подготовительных, строительных и специальных работ в карьере;
- возможность снижения объемов консервируемых бортов карьера и целиков под размещение вводимых ПС и КНК;
- возможность поддержания оптимальной длины транспортирования СТ.

При этом следует учитывать, что дальность транспортирования, профиль трассы АТ, тип КТ и его исполнение в модульных концепциях выбираются таким образом, чтобы в глубоких карьерах основную тяжесть работы по транспортированию горной массы переложить на КТ.

К основным принципам эффективной эксплуатации ТПС относится соответствие параметров взаимодействующих транспортных и перегрузочных подсистем, их согласованность по производительности и времени работы. Технологическая связь подсистем общей ТПС осуществляется из условия

$$\sum Q_s \leq \sum Q_{CT} \leq \sum Q_{ПС} \leq \sum Q_{MT}, \quad (1)$$

где Q_s , Q_{CT} , $Q_{ПС}$, Q_{MT} – суммарная производительность экскаваторов СТ, ПС, МТ соответственно.

На практике даже при соблюдении условия (2) взаимодействие подсистем осложнено несогласованностью их работы по грузопотокам и по времени. Причины несогласованности самые различные: принцип действия и надежность сопрягаемых подсистем; стохастическая природа транспортных процессов; изменчивость свойств грузопотока; отсутствие необходимых свойств гибкости и др. В глубоких карьерах, в условиях стесненной рабочей зоны, как правило, не удается эффективно использовать качества и достоинства комбинированного транспорта, если структура ТПС принята на основе стационарных комплексов. Такие системы не обладают свойствами гибкости, не способны адаптироваться к условиям разработки.

Сформулируем определение понятия гибкости ТПС (ПС). Под гибкостью системы будем понимать комплекс ее свойств, обеспечивающих ввод комбинированного транспорта заданной мощности с заданной относительной скоростью, а также адаптацию и перенастройку системы при изменении внешней среды с целью достижения максимального эффекта. В таблице приведены характеристики свойств гибкости ТПС. Гибкость – это новое качественное изменение фундаментальных основ комбинированного транспорта. Основным качеством гибких ТПС, в отличие от жестких (фиксированных) систем, является возможность поочередного ввода в действие необходимого количества секций ПС и КТ заданной единичной мощности. В таких условиях оценку ТПС и ПС предлагается проводить с помощью комплексного показателя гибкости системы Π_r и вводить его для оценки проектов и технологии наряду с основными нормативными и натуральными показателями. Смысл показателя сводится:

- к оценке темпов ввода АКТ (перераспределение объемов грузопотоков с циклических видов транспорта на непрерывный), учитываемых коэффициентом гибкости системы K_r ;
 - к оценке относительной скорости ввода или перенастройки технологии, учитываемой коэффициентом скорости v_r .
- Величины K_r и v_r могут быть получены путем соотношения с эталонными нормативными показателями, а при их отсутствии – с показателями «жесткой» технологии со стационарными ПС и КТ.

Значения показателей определяются по формулам:

$$K_r = \frac{Q_r}{Q_n} < 1; v_r = \frac{T_r}{T_n} < 1; \Pi_r = \frac{K_r}{v_r} > 1,$$

где Q_r, Q_n – объемы ГМ с применением гибкой системы и нормативный заданный объем системы соответственно; T_r, T_n – время ввода гибкой системы и нормативное время ввода на заданную мощность соответственно.

Чем больше значение K_r и чем меньше значение v_r , тем выше свойства гибкости системы и тем эффективнее ТПС. Показатель Π_r получен путем деления коэффициентов гибкости. При этом лучшие свойства системы определяет более высокий показатель гибкости. В нашем случае Π_r – безразмерная величина.

Далее приведена методика оценки свойств гибкости отдельных подсистем ТПС:

- автомобильного сборочного транспорта [3]

$$K_{ГАТ} = \frac{L_{MT}}{L_{CT}}; K_{ГАТ} = \frac{L_{MPC}}{L_{CTPC}}; \tag{2}$$

- перегрузочной системы

$$K_{ГПС} = \frac{T_{MPC}}{T_{CTPC}}; \tag{3}$$

- конвейерного магистрального транспорта

$$K_{ГКТ} = \frac{T_{MKT}}{T_{CTKT}}; K_{ГКТ} = \frac{Q_{MKC}}{Q_{CTKC}}. \tag{4}$$

В формулах (2)–(4) приняты следующие обозначения: L_{MT}, L_{CT} – расстояние транспортирования АТ в магистральном и сборочном режимах движения; L_{MPC}, L_{CTPC} – расстояние транспортирования АТ при применении модульных ПС и стационарных ПС; T_{MPC}, T_{CTPC} – время ввода в действие в рабочей зоне глубоких горизонтов модульных секций ПС заданной единичной мощности и стационарных ПС; T_{MKT}, T_{CTKT} – время ввода КТ в рабочей зоне на глубоких горизонтах специальными и стационарными конвейерами; Q_{MKT}, Q_{CTKT} – объемы ГМ, транспортируемой специальными и стационарными конвейерами.

Можно рассматривать три аспекта при освоении и проектировании гибких ТПС и ПС в карьерах. Во-первых, при проектировании технологии в проектных организациях горнодобывающих отраслей. При этом сущность состоит в том, что разработку сложных ТПС нужно вести на основе САПР и синтеза их из типовых технических решений модульных ПС, модульных КНК-перегрузателей, типовых площадок под ПС и секций КТ и др.

Характеристика свойств гибкости транспортно-перегрузочных систем.
Characterization of adaptable properties of transport and reloading systems.

Свойства и качества гибкости	Сущность реализации свойств и качеств гибкости
Наличие запаса производственной мощности	Полная гибкость может быть достигнута за счет наличия в системе и возможности размещения дополнительных секций ПС и КТ в зависимости от возможных изменений горнотехнических условий, физико-механических свойств горной массы и конъюнктуры производства
Аккумулирующая способность	Гибкость повышается за счет наличия в системе аккумулирующей емкости. Величина емкости влияет на качество гибкости системы и определяет вероятностные характеристики простоя сопрягаемого транспорта
Наличие в системе встроенной гибкости для выполнения самонастройки	Способность адаптации ко всякого рода внутренним и внешним изменениям без вмешательства оператора
Наличие в системе потенциальной гибкости	Способность системы предвидеть будущие изменения в технологии, задаваемые извне и устранить их путем вмешательства со стороны обслуживающего персонала и перенастройки системы
Универсальность и приспособляемость	Способность системы перегружать различные объемы с различными физико-механическими свойствами горной массы посредством введения надлежащих изменений извне или путем самонастраивания
Нечувствительность	Способность системы адаптироваться к качественным и количественным изменениям входного грузопотока без возникновения собственных нарушений в системе

Во-вторых, при освоении в горном машиностроении. Задача модульного конструирования предполагает освоение такого количества транспортных модулей и модулей перегрузочных систем, из которых можно синтезировать необходимое количество ТПС с заданными свойствами гибкости, обеспечивающих выполнение операций по перегрузке и транспортированию в различных отраслях горного производства. На стадии разработки модулей в них встраивается несколько свойств гибкости, сколько необходимо для достижения высокой эксплуатационной производительности ТПС с коэффициентом готовности не менее 0,9; максимально возможной массы транспортируемых и монтируемых модулей при минимальном времени их стыковки; благоприятных условий работы человека; сохранения окружающей среды и других качеств.

В-третьих, гибкие ТПС предусматривают возможность изменения их структуры в период эксплуатации. При изменившихся условиях могут быть введены новые модули технологического оборудования (например, при изменении физико-механических свойств горной массы), дополнительные секции ПС и КНК-перегрузателей с учетом более детального планирования горных работ.

При экономической оценке ТПС с гибкими свойствами за критерий оптимизации были приняты приведенные затраты на ТПС при сохранении заданного показателя гибкости системы. Целевая функция общих приведенных затрат с учетом ввода АКТ в эксплуатацию и при отработке зоны за период оптимизации T_o имеет вид:

$$S_{об} = S_{ПС} + S_{АТ} + S_{КТ} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $S_{ПС}$, $S_{АТ}$, $S_{КТ}$ – приведенные затраты на ПС, АТ, КТ за период оптимизации.

Обозначим T_b – время ввода единичной мощности ПС, мес. Из имеющегося опыта принято, что мощность стационарных ПС производительностью 5 млн т в год вводится за период $T_b = 12$ мес, 10 млн т в год – 24 мес, 15 млн т в год – 36 мес. Затраты $S_{ПС}$ и $S_{АТ}$ в формуле (5) зависят от показателя T_b . За время ввода системы в эксплуатацию АТ работает в режиме магистрального транспорта и транспортирует весь объем ГМ, эксплуатационные расходы на содержание ПС не учитываются. С учетом сказанного целевая функция затрат, приведенных к одному месяцу эксплуатации, принимает вид:

$$S_{об} = \frac{1}{12} [T_o K_{ПС} K_n + T_b C_{АТМ} + (T_o - T_b)(C_{ПС} + C_{АТС} + C_{к.т})],$$

где $K_{ПС}$ – инвестиционные вложения на оборудование КМ, ТМ, АМ модулей, доставку и монтаж оборудования, вложения, связанные со строительными и планировочными работами при вводе ПС; $C_{АТМ}$, $C_{АТС}$ – затраты на автотранспорт при транспортировании ГМ в магистральном и сборочном режимах соответственно; $C_{к.т}$ – затраты на конвейерный транспорт; $C_{ПС}$ – эксплуатационные затраты на содержание ПС.

Перегрузочные системы с гибкими свойствами могут быть спроектированы на основе модульных концепций с использованием модулей (М) различного назначения, уровня сложности и полноты насыщения. Выбор типа М диктуется спецификой требований, связанных с монтажом и переносом ПС в карьере, с уровнем развития грузоподъемной и транспортной техники, с требуемым количеством свойств гибкости, закладываемых в систему.

Применительно к гибким ПС под термином «модуль» должны обозначаться те части элементов ПС, которые повторяются в совокупности систем различного назначения и мощности. Это могут быть элементы подъездных площадок, бункеров, технологического оборудования, части оснований, законченные помещения, технологические установки законченной заводской готовности и др.

Внедрение модульных принципов в практику ТПС предопределяет доработку их классификации. Классификационно будем рассматривать следующие М для гибких ТПС: конструктивные (КМ) – плоскостные или объемные, конструктивно и технологически законченные сборочные единицы; сборочные (СМ) – объемные или весовые единицы как результат расчленения крупногабаритного или массивного технологического оборудования; агрегат-модули (АМ) и помещения-модули (ПМ) – самостоятельные изделия для функций обеспечения, законченной заводской готовности, оформленные в виде стандартных контейнеризированных унифицированных изделий; технологические модули (ТМ) – конструктивно и технологически законченные функциональные единицы как самостоятельные части ПС с насыщением; транспортные модули (ТрМ). Условимся перечисленные М объединить в три группы: КМ и СМ, АМ и ПМ, ТМ и ТрМ. В дальнейшем для краткости изложения соответственно будем их обозначать: КМ, АМ, ТМ, ТрМ. Таким образом, при проектировании любая секция ПС может быть скомпонована из

$$\begin{aligned} N_c [n_1 (КМ) + n_2 (АМ)]; \\ N_c [n_1 (КМ) + n_2 (АМ) + n_3 (ТМ)] + ТрМ; \\ N_c [n_2 (АМ) + n_3 (ТМ)] + ТрМ; \\ N_c n_3 (ТМ) + ТрМ, \end{aligned}$$

где N_c – количество вводимых секций; n_i – количество модулей в группе.

В ТПС с гибкими свойствами заданная мощность ПС разбита на несколько секций с оптимальной для технологии единичной мощностью, которые вводятся очередями на одном горизонте или располагаются каскадно на нескольких смежных горизонтах. Гибкость ТПС повышается также за счет динамичной связи ПС с конвейерным подъемником, который вводится не на всю проектную длину, а очередями. Система отличается от стационарной повышением свойств гибкости. Для примера на рис. 2 изображены схемы размещения ПС с гибкими свойствами на рабочих площадках глубоких карьеров при АКТ.

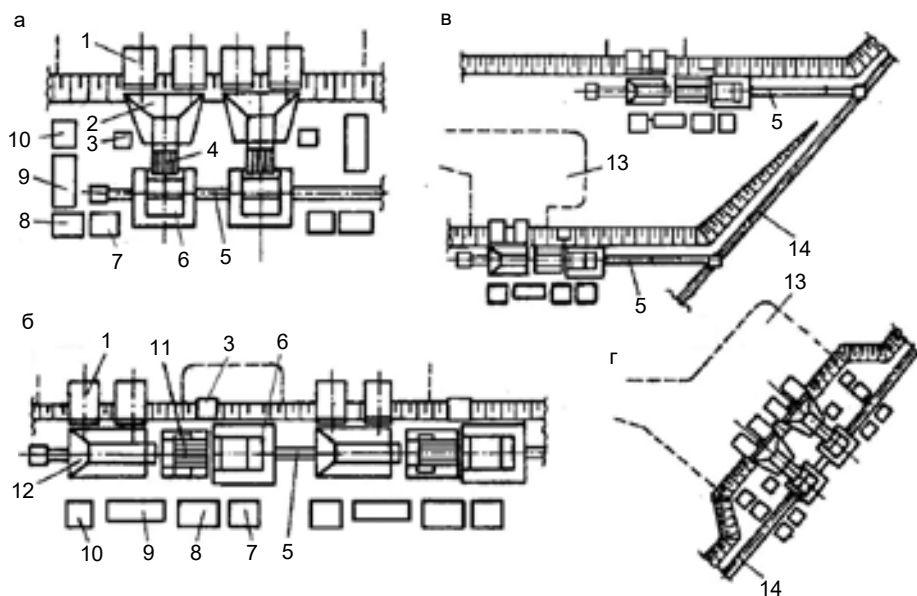


Рисунок 2. Схемы комплектования и размещения модульных РС на рабочих площадках при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте. 1 – подъездная эстакада (КМ); 2 – бункер (ТМ); 3 – пункт управления (АМ); 4 – вибропитатель-грохот (ТМ); 5 – передаточный конвейер (ТМ); 6 – дробилка (ТМ); 7 – маслостанция (АМ); 8 – пункт обогрева рабочих (АМ); 9 – электрооборудование (АМ); 10 – система вентиляции (АМ); 11 – виброгрохот (ТМ); 12 – бункер-питатель (ТМ); 13 – маневровая площадка автотранспорта; 14 – конвейерный подъемник (остальные обозначения в тексте).

Figure 2. Schemes for completing and placement of modular RS at work sites with combined automobile and conveyor transport. 1 – approach trestle (КМ); 2 – bunker (ТМ); 3 – control point (АМ); 4 –vibration feeder-screen (ТМ); 5 – transfer conveyor (ТМ); 6 – crusher (ТМ); 7 – high-pressure pump station (АМ); 8 – workers warming centre (АМ); 9 – electrical equipment (АМ); 10 – ventilation system (АМ); 11– vibration screen (ТМ); 12 – bunker-feeder (ТМ); 13 – reversing area of vehicles; 14 – conveyor lift (other symbols are in the text).

По расположению на рабочей площадке и по отношению к конвейерному подъемнику модульные РС могут проектироваться по нескольким схемам: с параллельным расположением секций на одном уступе, когда их продольные оси перпендикулярны уступу, и с погрузкой горной массы на общий передаточный конвейер (рис. 2, а); с последовательным расположением секций на одном уступе, когда их продольные оси совпадают с осью передаточного конвейера (рис. 2, б); с каскадным расположением секций на смежных уступах или через уступ с индивидуальными передаточными конвейерами (рис. 2, в), с параллельным расположением секций непосредственно над конвейерным подъемником.

Рассмотрим возможность использования изложенных в статье принципов применительно к введению РС с гибкими свойствами при комбинированном АЖТ. На рис. 3 показана упрощенная технологическая схема ввода переносной РС в рабочей зоне карьера.

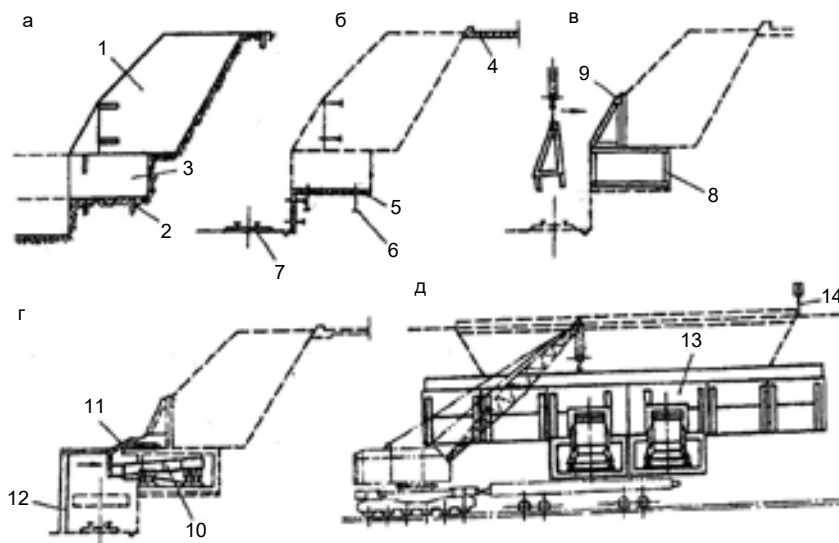


Рисунок 3. Упрощенная технологическая схема ввода переносной перегрузочной системы. а – подготовительные горные работы; б – строительные работы; в–д – монтажные работы; 1, 3 – выемка под бункер и нишу корпуса; 2 – шпурсы под анкеры; 4, 5 – бетонные работы под оголовок и корпус; 6 – установка анкера; 7 – укладка погрузочного пути; 8–14 – монтируемые конструкционные модули.

Figure 3. Simplified process diagram for the initiation of a portable reloading system. а – preparatory mining; б – construction work; в - е – installation works; 1, 3 – the hollow space for a bunker and a housing assembly recess; 2 – holes for bolts; 4, 5 – concrete works for a cap sill and housing assembly; 6 – erection of the bolt; 7 – laying of the leading track; 8-14 – assembled structural modules.

Подготовительные и горные работы. В объем работ входят: подготовка площадки; контурное взрывание по профилю бункера; бурение отверстий под анкерные крепления.

Строительные работы. В объем работ входят: устройство оголовка бункера; укладка железобетонного основания под конструкции и вибропитатель; прокладывается железнодорожный путь на заданной отметке.

Монтажные и транспортные работы. Транспортирование конструкций осуществляется по внутрикарьерным железнодорожным путям. Подвоз оборудования и его монтаж осуществляются отдельными модулями с массой 10–15 т каждый. Складирование оборудования не предусматривается. Все соединения конструкций сборно-разборные. Монтаж осуществляется железнодорожными кранами.

Порядок монтажа. Вначале устанавливается несущий элемент конструкции – корпус, сверху устанавливается вибропитатель с приводом, далее закрепляется днище бункера, устанавливается вертикальная рама выпускного отверстия, закрепляются боковые передние стенки бункера. Далее подвешивается наклонный лоток с приводом, устанавливаются пульт управления, другое оборудование и агрегатированные модули. Структура и операции монтажа модулей показаны на рис. 4. Оборудование монтируют в следующем порядке. В нише на анкерах закрепляют основание, на основании закрепляют вибропитатель с приводом. Затем над вибропитателем устанавливают корпус и закрепляют его на основании. В собранном виде корпус является базой для монтажа остальных модулей ПС. Сверху корпуса устанавливают две откидные плиты (стрелка l на рис. 4). В плане обе плиты имеют общий вырез в форме «ласточкин хвост». Далее на корпусе устанавливают и закрепляют шарнирно-вертикальную раму (стрелка d). В нижней части рамы между стойками образуется проем шириной b (ширина выпускного отверстия). По сторонам рамы закрепляются на шарнирах откилки (стрелка f). Свободные концы откилков закрепляют к уступу анкерами. Далее проводится монтаж остальных элементов ПС. Способ извлечения вибропитателя из корпуса показан на рис. 5.

На рис. 6 приведен пример технического решения модульной переносной ПС при комбинированном АЖТ с вибропитателем ГПТ производительностью 2000 т/ч. В основу решения заложены принципы, предъявляемые к ПС с гибкими свойствами. Система включает конструктивные модули, изготавливаемые в заводских условиях.

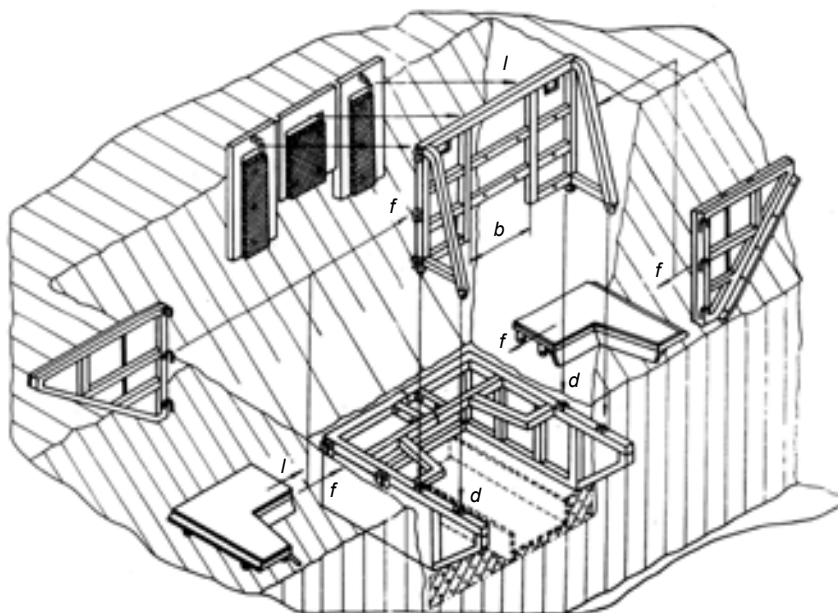


Рисунок 4. Структура и последовательность монтажа переносной перегрузочной системы (а. с. 1418232).
Figure 4. The structure and erection sequence of the portable transfer system (Patent RF 1418232).

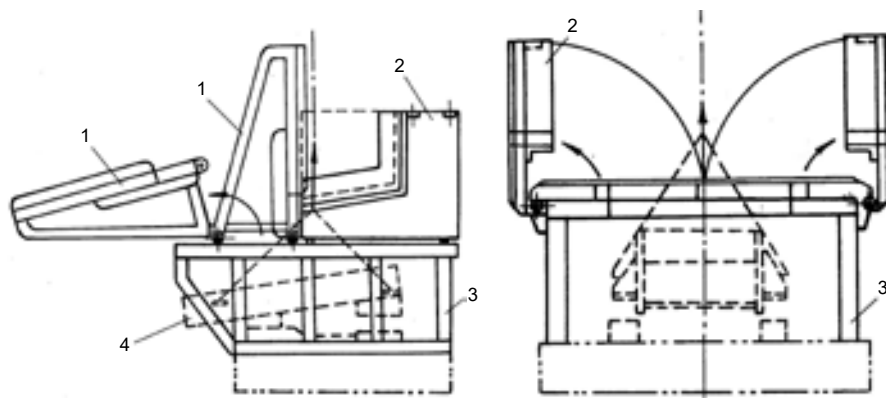


Рисунок 5. Способ демонтажа вибропитателя ГПТ из корпуса перегрузочной системы. 1 – откидная передняя стенка; 2 – откидные плиты; 3 – корпус; 4 – вибропитатели ГПТ.

Figure 5. The method of dismantling the vibration feeder GPT from the body of the reloading system. 1 – throw-back front wall; 2 – throw-back plates; 3 – body; 4 – vibratory feeders GPT.

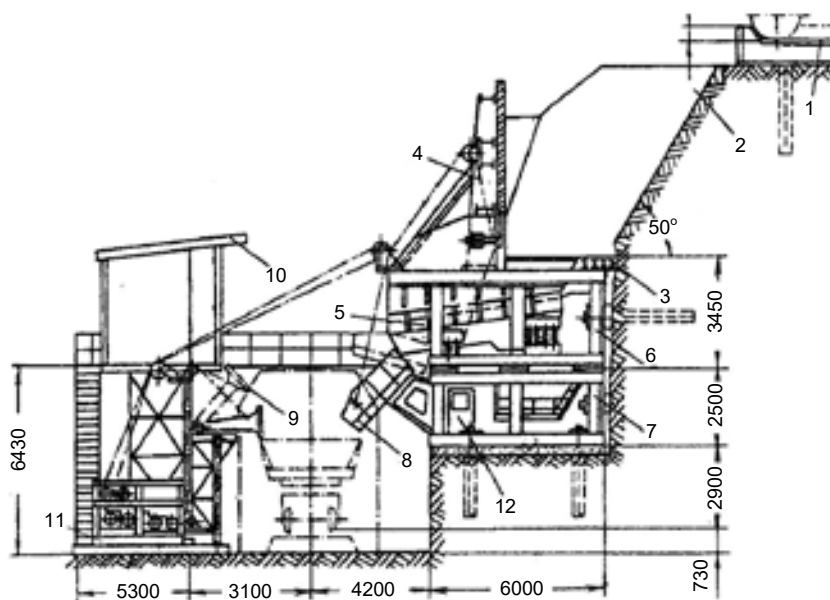


Рисунок 6. Принципиальная схема переносной РС с вибропитателем при автомобильно-железнодорожном транспорте. 1 – подъездная площадка; 2 – бункер в теле уступа; 3 – переходная площадка; 4 – передняя стенка; 5 – вибропитатель ГПТ; 6 – корпус питателя; 7 – корпус опорный; 8 – подъемный лоток; 9 – отбойный щит; 10 – пункт управления; 11 – блок лебедок; 12 – блок электрооборудования.
Figure 6. Schematic diagram of a portable RS with a vibratory feeder for automobile-railway transport. 1 – incoming yard; 2 – the bunker in the body of the pit bank; 3 – transitional area; 4 – front wall; 5 – vibration feeder GPT; 6 – feeder housing; 7 – support housing; 8 – lifting tray; 9 – baffle; 10 – control unit; 11 – block of winding machines; 12 – block of electrical equipment.

Заключение

В рамках системного анализа разработана структурная модель, определены функции, выявлены классификационные признаки, основные параметры и характеристики, указаны целевые функции и методика оценки ТПС. Сделано обоснование целесообразности ввода ТПС с гибкими свойствами, дано определение понятия о «гибкости» ТПС и РС, разработаны методика оценки и характеристики свойств гибкости систем, сформулированы принципы и структурные признаки модульных РС. Приведено техническое решение РС с гибкими свойствами из конструктивных модулей на примере РС при комбинированном АЖТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хубка В. Теория технических систем: пер. с нем. М.: Мир, 1987. 208 с.
2. Сагинов А. С., Даниеров А. И., Акашев З. Т. Основы проектирования и расчета карьерных пластинчатых конвейеров. Алма-Ата: Наука, 1984. 328 с.
3. Кулешов А. А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.: Недра, 1980. 317 с.
4. Юдин А. В. Тяжелые вибрационные питатели и питатели-грохоты для горных перегрузочных систем. Екатеринбург: Типография УЦАО УрО РАН, 2009. 400 с.
5. Юдин А. В. Применение гибких транспортно-перегрузочных систем – путь интенсификации комбинированного транспорта в глубоких карьерах // Изв. вузов. Горный журнал. 1989. № 1. С. 75–82.
6. Астафьев Ю. П. Комплексному освоению минеральных ресурсов – гибкие технологические модули // Технология и техника открытых горных разработок при извлечении полезных ископаемых. М.: Изд-во МГИ, 1988. 128 с.
7. Усынин В. И. Повышение эффективности использования ЦПТ в карьерах для обеспечения мощных грузопотоков // Технология и техника открытых горных разработок при извлечении полезных ископаемых. М.: Изд-во МГИ, 1988. 128 с.
8. Яковлев В. Л., Смирнов В. П., Кармаев Г. Д. и др. Условия применения в карьерах комплексов ЦПТ с крутонаклонным конвейерным подъемом // Карьерный транспорт, проблемы и решения. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. 165 с.
9. Решетняк С. П. Формирование рабочих зон глубоких карьеров при исследовании передвижных дробильно-перегрузочных комплексов // Ресурсосберегающая технология разработки недр. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1986. С. 20–24.
10. Юдин А. В., Линева В. П. Перспективность применения типовых решений переносных перегрузочных пунктов // Изв. вузов. Горный журнал. 1982. № 5. С. 21–25.
11. Шакиров А. Ш., Супрун В. И. Перегрузочные устройства, используемые при комбинированном транспорте // Черная металлургия. 1982. № 11. С. 24–30.
12. Рубан А. Д., Шендеров А. И. Перспективные направления научно-технического развития поточной и ЦПТ // Тяжелое машиностроение. 2003. № 7. С. 17–21.
13. Rukavina M. S. Mobile crushinghandles 3000tph/Rock Produkts. 1985. № 5. С. 37–40.
14. Смирнов В. П., Лель Ю. И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. 285 с.
15. Разживин В. М., Попов В. М., Марков Н. Г. Проблемы транспорта в карьерах ПО «Якутнипроалмаз» // Проблемы разработки глубоких карьеров и пути их решения: Всесоюз. науч.-практ. конф. Кривой Рог, 1987. С. 54–55.
16. Ржевский В. В., Истомин В. В., Супрун В. Н. Комплексы оборудования и вскрытие рабочих горизонтов мощных глубоких карьеров // Горный журнал. 1982. № 11. С. 27–31.

Статья поступила в редакцию 28 мая 2019 года

Systems approach, principles of formation and evaluation criteria for reloading systems with adaptable properties

Arkadiy Vasil'evich YUDIN
Viktor Stepanovich SHESTAKOV

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is due to the fact that with an increase in the depth of quarries, the efficiency of stationary transport and reloading systems (TRS) decreases. Improving the efficiency of complexes is based on the development of technology with adaptable properties.

Purpose of the work: development of the theory, substantiation of the methodology for the formation and evaluation of TRS with adaptable properties in deep quarries.

Research methodology: generalization, systematizing, analysis of principles of formation and evaluation of TRS, synthesis of technical solutions of reloading systems (RS).

Results. Within the framework of the systematic approach, the structural model is developed, functions are identified, the main parameters are considered, the target functions for assessing TRS are indicated. Substantiation of expediency of introduction of TRS with adoptable properties is made, method of estimation and characteristics of properties of systems is developed, principles and structural features of modular RS are formed. The technical solution of substations with adaptable properties from structural modules is given using RS in combined automobile-railway transport (ART) as an example.

Conclusions. The insufficient development of the theory and the limited scope of stationary TRS have led to a decrease in the efficiency of combined transport in deep quarries. Creation of a new generation of TRS on the basis of technologies with adaptable properties, modular concepts, development of methods and criteria for their evaluation are relevant scientific and practical directions.

Keywords: system, transport, overload, property estimation, adaptability, module, indicator, technical solution, cargo flow, objective function.

REFERENCES

1. Khubka V. 1987, *Teoriya tekhnicheskikh sistem* [Theory of technical systems], transl. from German Moscow, 208 p.
2. Saginov A. S., Danierov A. I., Akashev Z. T. 1984, *Osnovy proyektirovaniya i rascheta kar'yernykh plastinchatnykh konveyerov* [Fundamentals of design and calculation of quarry slat-type conveyers]. Alma-Ata: 328 p.
3. Kuleshov A. A. 1980, *Moshchnyye ekskavatoro-avtomobil'nyye komplekсы kar'yerov* [Powerful excavator and automotive complexes of quarries]. Moscow, 317 p.
4. Yudin A. V. 2009, *Tyazhelye vibratsionnyye pitateli i pitateli-grokhoty dlya gornykh peregruzochnykh sistem* [Heavy vibrating feeders and screen feeders for rock reloading systems]. Yekaterinburg, 400 p.
5. Yudin A. V. 1989, The use of flexible transport and reloading systems is a way to intensify combined transport in deep quarries. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 1, pp. 75—82. (In Russ.)
6. Astafiev Yu. P. 1988, *Kompleksnomu osvoyeniyu mineral'nykh resursov – gibkiye tekhnologicheskkiye moduli. Tekhnologiya i tekhnika otkrytykh gornykh razrabotok pri izvlechenii poleznykh iskopayemykh* [Flexible technological modules for the integrated development of mineral resources. Technology and machines of open cast mining in the extraction of minerals]. Moscow, 128 p.
7. Usynin V. I. 1988, *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya TSPT v kar'yerakh dlya obespecheniya moshchnykh gruzopotokov. Tekhnologiya i tekhnika otkrytykh gornykh razrabotok pri izvlechenii poleznykh iskopayemykh* [Improving the efficiency of the use of In-pit [Crushing and Conveying in quarries to ensure powerful cargo flows. Technology and machines of open cast mining in the extraction of minerals]. Moscow, 128 p.
8. Yakovlev V. L., Smirnov V. P., Karmaev G. D. et al. 2001, *Usloviya primeneniya v kar'yerakh kompleksov TSPT s krutonaklonnym konveyernym pod'yemom. Kar'yernyy transport, problemy i resheniya* [Conditions of use in open pit complexes of In-pit Crushing and Conveying with a steeply inclined conveyor lift. Quarry transport, problems and solutions]. Ekaterinburg, 165 p.
9. Reshetnyak S. C. 1986, *Formirovaniye rabochnykh zon glubokikh kar'yerov pri issledovanii peredvizhnykh drobil'no-peregruzochnykh kompleksov* [Formation of working zones of deep quarries in the study of mobile crushing and reloading complexes]. Resource-saving technology of subsoil development. Apatites, P. 20—24.
10. Yudin A. V., Linev V. P. 1982, *Perspektive of use of standard solutions of portable reloading facilities]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 5, P. 21—25. (In Russ.)
11. Shakirov A. Sh., Suprun V. I. 1982, Reloading devices used in combined transport. *Chernaya metallurgiya* [Ferrous metallurgy], No 11, P. 24—30. (In Russ.)
12. Ruban A. D., Shenderov A. I. 2003, Promising areas of scientific and technological development of in-line and In-pit Crushing and Conveying. *Tyazheloye mashinostroyeniye* [Heavy engineering], P. 17—21. (In Russ.)
13. Rukavina M. C. 1985, Mobile crushing handles 3000tph/Rock Produkts. No 5. P. 37-40.
14. Smirnov V. P., Lel Yu. I. 2002, *Teoriya kar'yernogo bol'shegruznogo avtotransporta* [Theory of quarry heavy-duty vehicles]. Yekaterinburg, 285 p.
15. Razzhivin V. M., Popov V. M., Markov N. G. 1987, Problems of transport in the quarries of the Yakutniiproalmaz PO. Problems of developing deep quarries and ways to solve them: All-Russian research-to-practice conference. P. 54—55.
16. Rzhavsky V. V., Istomin V. V., Suprun V. N. 1982, Complexes of equipment and opening of producing levels of powerful deep quarries. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], No 11, P. 27—31. (In Russ.)

The article was received on May 28, 2019