

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ КОМБАЙНОВ ДЛЯ БЕЗВЗРЫВНОЙ ПОСЛОЙНОЙ ВЫЕМКИ ПРОЧНЫХ ПОРОД

**Аннотация.** Одной из важнейших задач при разработке сложноструктурных месторождений полезных ископаемых является обеспечение минимальных значений потерь и разубоживания полезного ископаемого. При применении традиционной технологии разработки таких месторождений с предварительным рыхлением пород буровзрывным способом обеспечить выполнение данного условия достаточно проблематично. Помимо этого, при разработке месторождений могут выдвигаться требования, ограничивающие применение буровзрывного способа подготовки пород к выемке по экологическим условиям либо ввиду нахождения вблизи месторождения охраняемых зданий и сооружений. Карьерные комбайны, в отличие от роторных и одноковшовых экскаваторов, представляют собой мобильные машины с высокой скоростью передвижки. Исходя из опыта их использования, наибольшую эффективность показали стреловые карьерные комбайны, позволяющие вести выемку прочных пород.

**Ключевые слова:** карьерный комбайн, буровзрывные работы, выемочное оборудование, полезное ископаемое, безвзрывное разрушение пород, комбайны непрерывного действия, производительность.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128

Технология выемки полезных ископаемых на современных карьерах основана на применении вскрышных и добычных машин большой единичной мощности. Производительность этих машин постоянно наращивают путем увеличения конструктивных элементов без изменения их принципа работы. Например, производительность экскаваторов, основного выемочного оборудования карьеров, наращивают путем увеличения вместимости ковшей, длин рукоятей и стрел при нелинейном увлечении их габаритов, массы и энерговооруженности. Однако в настоящее время эти машины достигли такого технического уровня, при котором возможности их дальнейшего развития стали близки к предельным.

При разработке месторождений полезных ископаемых, представленных скальными и полускальными породами, традиционным является буровзрывной способ подготовки пород к выемочно-погрузочным работам. Наряду с определенными преимуществами, буровзрывные работы имеют ряд недостатков. Важнейшими из них являются значительная опасность ведения горных работ как по сейсмике, повышенному пыле- и газовыделению, так и по разлету осколков. Одновременно при разработке разнопрочностных массивов качество взрывания низкое и высок выход негабарита, что приводит к высоким затратам на подготовку горной массы к выемочно-погрузочным работам.

Невозможность обеспечить традиционной техникой послойную выемку при-

водит к тому, что в настоящее время значительные по мощности (0,5–3,0 м – в зависимости от горно-геологических условий) пропластки с худшим качеством полезного ископаемого или вообще пустые породы включаются в полезную толщу.

Одновременно, при отработке полезного ископаемого выемка без потери качества невозможна, в результате чего при традиционной технологии в процессе подсчета запасов слои потенциально полезного ископаемого относятся к низшему сорту или вообще считаются некондиционными. При этом ограниченные возможности раздельной выемки тонких породных слоев приводят к валовой отработке сложных в структурном отношении месторождений или отработке с невысокой глубиной селекции, сопровождающейся значительным повышением потерь и разобуживанием.

В конце 1970-х, начале 80-х годов за рубежом заметно возрос интерес к оборудованию, позволяющему достичь высокой производительности и поточности, базирующемуся на принципах безвзрывного разрушения массива пород, обеспечивающему технологические процессы отделения от массива, дробления и погрузки горной массы. В результате исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведенных рядом машиностроительных фирм США, Германии и Австрии, были разработаны и изготовлены промышленные образцы карьерных комбайнов различных типов для открытых горных работ.

На основе опыта проектирования и эксплуатации шахтных добычных и проходческих комбайнов, а также оборудования для дорожного и аэродромного строительства был разработан ряд образцов комбайнов непрерывного действия для открытой разработки месторождений методом послойного фрезерования (такие комбайны получили название «Con-

tinuous Surface Miner», или сокращенно CSM) и многослойного фрезерования (стреловые комбайны).

Первые комбайны CSM появились на рынке в начале 1980-х годов прошлого столетия [1, 2]. Несколько позже были созданы комбайны с роторным рабочим органом ковшового типа (серия «Satterwhite Wheel») и струговым рабочим органом. Накоплен достаточно большой опыт практического применения различных моделей комбайнов на угольных, фосфоритовых, бокситовых, гипсовых карьерах и карьерах строительных материалов, при разработке вскрышных пород в США, Австралии, Канаде, Бразилии, ЮАР, Франции, Испании, Италии.

Карьерные комбайны, помимо высокой мобильности и селективной отработки забоев, обеспечивают высокий уровень поточности горного производства в сочетании с автоматизацией выемочных, погрузочных и транспортных операции с использованием дистанционного управления.

Технология отработки породного массива формирует целый комплекс предпосылок для достижения экологической чистоты и повышения экономической эффективности открытых работ, что обосновывается следующими факторами:

- возможностью управления параметрами обрабатываемых уступов в изменяющейся горнотехнической обстановке, поскольку при послойно-полосовой технологии производства горных работ высота уступа и ширина заходки не зависят от линейных параметров экскавационной машины типа «Surface Miner» (SM);

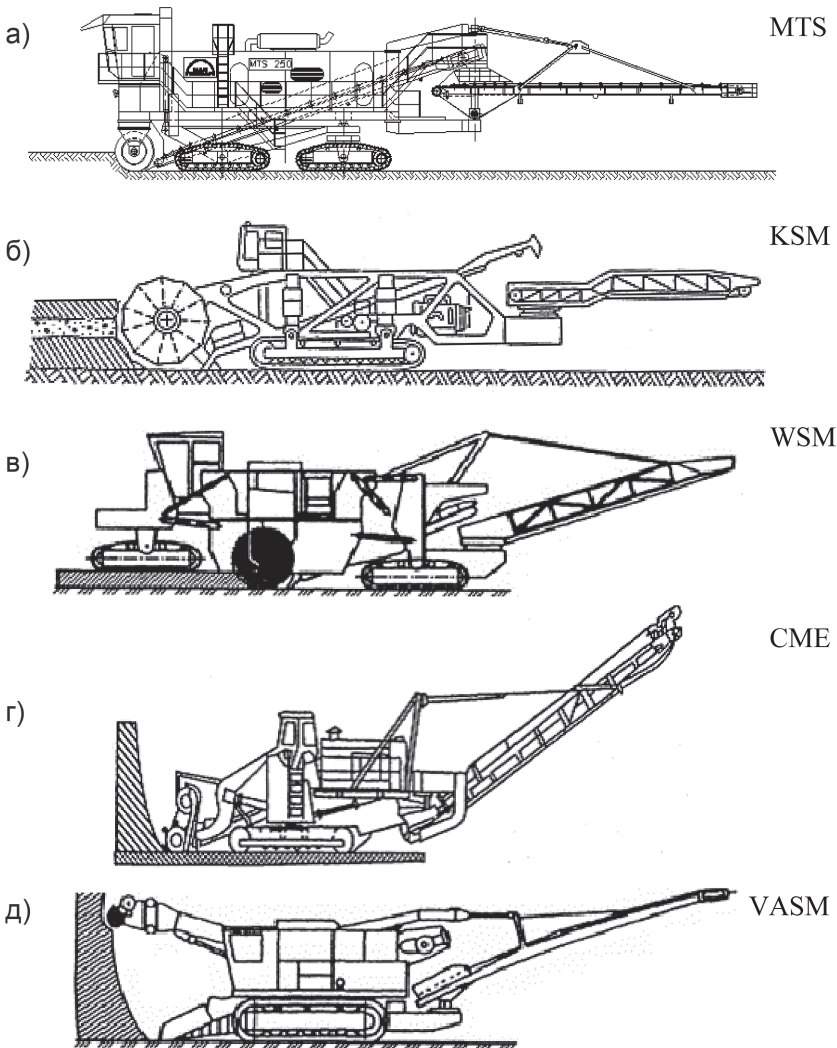
- возможностью безвзрывной отработки горного массива, представленного весьма крепкими породами, позволяющей сократить эксплуатационные издержки, обусловленные необходимостью проведения буровзрывных работ при использовании традиционной выемочно-

погрузочной техники, и минимизировать вредное воздействие на окружающую среду;

- отказом от проведения буровзрывных работ в совокупности с широкими технологическими возможностями машин типа SM при селективной выемке сложноструктурных и маломощных пластов полезного ископаемого;
- созданием необходимых предпосылок для уменьшения потерь и разубо-

живания полезного ископаемого, что повышает товарные свойства добываемого сырья.

В настоящее время подобная техника производится только зарубежными фирмами на машиностроительных заводах Германии, США, Англии, Австрии, Японии, Швеции. Принципиальные компоновочные схемы карьерных комбайнов предусматривают несколько вариантов расположения рабочего органа (рисунок):



Принципиальные компоновочные схемы карьерных комбайнов  
Principal layout diagrams of surface miners

- в передней части машины (типа SM — модель MTS, изготовитель фирма «MAN TAKRAF» — а и типа CSM — модель KSM, изготовитель фирма «Krupp» — б);
- на раме по центру (типа SM — модель SM, изготовитель фирма «Wirtgen» — в);
- с консольным расположением рабочего органа на раме, вынесенного на стрелу совместно (модель SME, изготовитель фирма «RANCO» — г);
- отдельно от приемного конвейера (модель VASM, изготовитель фирма «Voest Alpine» — д).

При работе карьерных комбайнов всех выше перечисленных типов забоем является поверхность площадки уступа, в отличие от роторных и одноковшовых экскаваторов, которые при выемке блоков работают почти стационарно. Комбайн послойной выемки породы представляет собой мобильное устройство с высокой скоростью передвижения. Эти машины рационально применять на любых относительно больших по площади месторождениях. При небольшой площади отработки производительность комбайна снижается из-за потерь времени на маневровые операции (разворот и переезд к следующей заходке). Наибольшую эффективность показали карьерные комбайны непрерывного действия с центральным и передним расположением рабочего органа (рисунок), обеспечивающие послойную выемку пород прочностью до 150 МПа.

Пути поиска новых инженерных решений, направленных на повышение эффективности эксплуатации карьерных

комбайнов при выемке породы различной мощности дискретными порциями, сопряжены с установлением рациональных параметров гидроимпульсного привода шнеко-фрезерного рабочего органа карьерного комбайна.

С повышением энерговооруженности и динамической нагруженности приводов карьерного комбайна возрастают энергетические потери в системе, обусловленные увеличением сил сопротивления трению при выемке слоя породы, в частности шнеко-фрезерным органом, задача снижения которых заслуживает особого внимания. Так, в работе А.С. Григорьева [3] рекомендовано для эффективного осуществления процесса внедрения стальной цилиндрической оболочки в грунт, применять импульсную систему подачи, т.е. систему, оснащенную импульсатором давления (расхода), что дает возможность при одной и той же установленной мощности продавливающей установки при ее работе с одного места стояния существенно увеличить длину или диаметр инженерной коммуникации за счет виброреологического эффекта в зоне фрикционного контакта стальной оболочки с грунтом.

Таким образом, создание и внедрение на открытых разработках нового поколения машин [5–15], обеспечивающих замену традиционной технологии с применением БВР при разработке скальных и полускальных пород на безвзрывную, является прогрессивным направлением в совершенствовании выемочно-погрузочных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Супрун В. И. Перспективная техника и технология для производства открытых горных работ: монография. — М.: МГУ, 1996. — 221 с.
2. Штейнцайг Р. М. Фрезерные комбайны — эффективное оборудование для открытой разработки скальных пород. Мировая горная промышленность 2004—2005: история достижения, перспективы. — М.: НТЦ Горное дело, 2005. — С. 296—318.
3. Григорьев А. С. Обоснование и выбор параметров продавливающих установок для бесшпандельной технологии строительства подземных инженерных коммуникаций. Автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: МГУ, 2005. — 23 с.

4. Кузиев Д. А. Обоснование и выбор параметров гидроимпульсного привода шнеко-фрезерного рабочего органа карьерного комбайна. Автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: МГУ, 2007. — 24 с.

5. Грабский А. А. Карьерный комбайн как динамическая система с обратной связью // Уголь. — 2012. — № 9 (1038). — С. 43–44.

6. Origliasso C., Cardu M., Kecojevic V. Surface miners: Evaluation of the production rate and cutting performance based on rock properties and specific energy // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2014, 47(2), pp. 757–770.

7. Prakash, A., Sita Ramachandra Murthy V. M., Bahadur Singh K. A new rock cuttability index for predicting key performance indicators of surface miners // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2015, 77, pp. 339–347.

8. Чебан А. Ю. Автоматизированный загрузочный комплекс для работы в комплекте с карьерными комбайнами и автосамосвалами // Механика XXI века. — 2015. — № 14. — С. 265–268.

9. Шемакин С. А., Матвеев Д. Н., Чебан А. Ю. Экономическое обоснование эффективности безвзрывной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород с использованием технико-технологических комплексов на основе фрезерных комбайнов // Горный журнал. — 2015. — № 2. — С. 43–46.

10. Volk H.-J. Wirtgen Drives the Development of Surface Mining // Procedia Engineering, 2016, 138, pp. 30–39.

11. Бурдонов А., Чебан А., Хрунина Н., Прохоров К. Улучшение качества минерального сырья при разработке сложноструктурных месторождений посредством модернизации рабочего оборудования карьерных комбайнов // Экология и промышленность России. — 2017. — 21(11). — С. 4–9.

12. Khoreshok A., Kantovich L., Kuznetsov V., Preis E., Kuziev D. The results of cutting disks testing for rock destruction // E3S Web Of Conferences, 2017, no 03004.

13. Кузиев Д. А., Клементьева И. Н., Горбикова Д. Ю. Исследование параметров нагружения приводов шнековых исполнительных органов очистного комбайна // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 2. — С. 93–101.

14. Liu P., Zhou W., Cai Q., Shi X., Xu G. The Thin Coal Seam (TCS) Mining Technology for Open Pit Mines in China // Geotechnical and Geological Engineering 2018, vol. 36, pp. 1–11.

15. Грабский А. А., Плеханов Ф. И., Кантович Л. И., Пушкарев И. А. Исследование нагруженности и деформативности элементов многосателлитной планетарной передачи карьерного комбайна // Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 82–86. **ПМАС**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Клементьева Инна Николаевна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, ведущий инженер,

Кузиев Дильшад Алишерович<sup>1</sup> — кандидат технических наук,

доцент, e-mail: aka\_black@list.ru,

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. No. 2, pp. 123–128.

## Actual status and prospects for future development of surface miners, designed for for blastless lit-by-lit excavation of solid rock

Klement'eva I.N.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,

Kuziev D.A.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: aka\_black@list.ru,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

**Abstract.** Technology of minerals dredging is based on application of overburden and mining cars of high single power. Nowadays these cars reached such a technological level, that possibilities of its development became close to limit. Drilling-and-blasting way is a traditional way of fields development. This way minerals are prepared to extraction and loading operations. The biggest disadvantage of traditional technology is that at the process of stocks calculation layers of potential minerals can be carried to the lowest grade. Many samples of continuously working combines were developed as a result of researches, which American, German and Austrian companies conducted. These machines are used for fields open-

cast mining by the way of layer-by-layer milling — «Continuous Surface Miner» (CSM), and multilayered milling — jib harvester. Pit harvesters possess high mobility and faces selective working off. Also these combines provide high level of mining threading in combination with automation of extraction, loading and transporting operations with application of remote control. In contrast to rotor and one-ladle excavator, harvester of layer-by-layer extraction of rock represents transportable device high moving speed. These machines are the best variant for fields of big areas. Thus, creation and implementation of new generation cars into open-pit mining is progressive direction at the improvement of extraction and loading operations.

**Key words:** surface miner, drilling and blasting operations, extracting equipment, useful mineral, blastless rock breakdown, continuous miners, efficiency.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-123-128

## REFERENCES

1. Suprun V.I. *Perspektivnaya tekhnika i tekhnologiya dlya proizvodstva otkrytykh gornykh rabot: monografiya* [Perspective technology and technology for the production of open mining: monograph], Moscow, MGGU, 1996, 221 p.
2. Shteyntsayg R. M. Frezernye kombayny — effektivnoe oborudovanie dlya otkrytoy razrabotki skal'nykh porod. *Mirovaya gornaya promyshlennost' 2004–2005: istoriya dostizheniya, perspektivy* [Milling combines — the effective equipment for open-cast mining of rocky breeds. World mining industry of 2004–2005: history of achievement, prospect], Moscow, NNTS Gornoe delo, 2005, pp. 296–318.
3. Grigor'ev A. S. *Obosnovanie i vybor parametrov prodavlivayushchikh ustanovok dlya bestransheyroy tekhnologii stroitel'stva podzemnykh inzhenernykh kommunikatsiy* [Justification and the choice of parameters of the pressing-through installations for trenchless technology of underground utilities construction], Candidate's thesis, Moscow, MGGU, 2005, 23 p.
4. Kuziev D. A. *Obosnovanie i vybor parametrov gidroimpul'snogo privoda shneko-frezernogo rabocheho organa kar'ernogo kombayna* [Justification and choice of parameters of the hydropulse drive of screw milling working body of the career combine], Candidate's thesis, Moscow, MGGU, 2007, 24 p.
5. Grabskiy A. A. *Kar'ernyy kombayn kak dinamicheskaya sistema s obratnoy svyaz'yu* [The career combine as a dynamic system with feedback], *Ugol'*, 2012, no 9 (1038), pp. 43–44. [In Russ].
6. Origliasso C., Cardu M., Kecojevic V. Surface miners: Evaluation of the production rate and cutting performance based on rock properties and specific energy. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2014, 47(2), pp. 757–770.
7. Prakash, A., Sita Ramachandra Murthy V. M., Bahadur Singh K. A new rock cuttability index for predicting key performance indicators of surface miners. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2015, 77, pp. 339–347.
8. Cheban A. Yu. *Avtomatizirovanny zagruzochnyy kompleks dlya raboty v komplekte s kar'ernymi kombaynami i avtosamosvalami* [Automated loading complex for work complete with quarry harvesters and dump trucks], *Mekhanika XXI veka*. 2015, no 14, pp. 265–268. [In Russ].
9. Shemyakin S. A., Matveev D. N., Cheban A. Yu. *Ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti bezvzryvnoy selektivnoy vyemki poleznogo iskopaemogo i vmeshchayushchikh porod s ispol'zovaniem tekhniko-tekhnologicheskikh kompleksov na osnove frezernykh kombaynov* [Economic justification of efficiency of non-explosive selective dredging of mineral and the containing breeds with use of technical and technological complexes on the basis of milling combines], *Gornyy zhurnal*. 2015, no 2, pp. 43–46. [In Russ].
10. Volk H.-J. Wirtgen Drives the Development of Surface Mining. *Procedia Engineering*, 2016, 138, pp. 30–39.
11. Burdonov A., Cheban A., Khrunina N., Prokhorov K. *Uluchshenie kachestva mineral'nogo syr'ya pri razrabotke slozhnostrukturnykh mestorozhdeniy posredstvom modernizatsii rabocheho oborudovaniya kar'ernykh kombaynov* [Improvement of quality of mineral raw materials when developing complex structured fields by means of modernization of the working equipment of career combines], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2017. 21(11), pp. 4–9. [In Russ].
12. Khoreshok A., Kantovich L., Kuznetsov V., Preis E., Kuziev D. *The results of cutting disks testing for rock destruction*. E3S Web Of Conferences, 2017, no 03004.
13. Kuziev D. A., Klement'eva I. N., Gorbikova D. Yu. *Issledovanie parametrov nagruzheniya privodov shnekovykh ispolnitel'nykh organov ochistnogo kombayna* [Research of loading parameters of screw drives executive bodies of the clearing combine], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 2, pp. 93–101. [In Russ].
14. Liu P., Zhou W., Cai Q., Shi X., Xu G. *The Thin Coal Seam (TCS) Mining Technology for Open Pit Mines in China*. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2018, vol. 36, pp. 1–11.
15. Grabskiy A. A., Plekhanov F. I., Kantovich L. I., Pushkarev I. A. *Issledovanie nagruzhenosti i diformativnosti elementov mnogosatellitnoy planetarnoy peredachi kar'ernogo kombayna* [Research of loading and deformability of multisatellite planetary transfer elements of the career combine], *Gornyy zhurnal*. 2018, no 4, pp. 82–86. [In Russ].