

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ КОВШЕЙ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ КАРЬЕРНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭКСКВАТОРОВ<sup>1</sup>

*Леонид Владимирович Городилов*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, доктор технических наук, заведующий лабораторией моделирования импульсных систем, тел. (383)205-30-30 доб. 118, e-mail: gor@misd.ru

*Александр Николаевич Коровин*

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, инженер, тел. (383)205-30-30 доб. 154, e-mail: alexh523vt@mail.ru

Подвергнуты анализу конструкции ковшей активного действия. Выявлено, что динамическое воздействие ковшей на разрабатываемый породный массив может быть вибрационное или ударное. Динамическим исполнительным органом может служить весь ковш, его передняя стенка или отдельные виброударные устройства, вмонтированные в переднюю стенку. Привод активных органов может быть электромагнитным, гидромеханическим, пневматический или гидравлический. Отмечается, что наиболее удачное исполнение ковша активного действия – это встроенные в ковш ударные зубья с пневматическим приводом. Делается вывод, что наиболее продуктивной идеей является ковш активного действия со встроенными ударными устройствами и гидравлическим приводом.

**Ключевые слова:** экскаватор, ковш активного действия, удар, вибрация, ударное устройство, породный массив, рыхление

## ANALYSIS OF ACTIVE BUCKET DESIGNS OF OPEN-PIT AND CONSTRUCTION EXCAVATORS

*Leonid V. Gorodilov*

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, office: +7 (383)205-30-30, ext. 118, e-mail: gor@misd.ru

*Alexander N. Korovin*

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russia, Engineer, office: +7 (383) 205-30-30 ext.154, e-mail: alexh523vt@mail.ru

The designs of active buckets are analyzed. It is revealed that dynamic impact of buckets on the rock mass can be vibrational or impact. The entire bucket, its front wall, or individual vibration impact devices mounted in the front wall can serve as a dynamic actuator. The drive of the active elements can be electromagnetic, hydromechanical, pneumatic or hydraulic. It is noted that the most successful design of the active bucket is the impact teeth built into the bucket with a pneumatic drive. It is concluded that the most productive idea is an active bucket with built-in impact devices and a hydraulic drive.

**Keywords:** excavator, active bucket, impact, vibration, impact device, rock mass, rock ripping

---

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № кода (шифр) научной темы FWNZ-2021-0003

## ***Введение***

Идея совмещения процессов отбойки и погрузки горных пород и других твердых материалов (в случае экскаваторов – при помощи ковша активного действия) сейчас представляется очевидной. В СССР впервые она была предложена в 1938 г. Ю.С. Верниковским [1]. Зарегистрированы десятки изобретений возможных конструкций ковша активного действия (КАД), в которых различался как характер и способ приложения виброударной нагрузки, так и вид, геометрия и расположение активных исполнительных органов. Имеется опыт создания КАД и даже серийного производства оснащенных ими экскаваторов [2]. Однако к настоящему времени это в прошлом и такое оборудование не выпускается и не используется. Несколько угас и интерес к этому вопросу. Вместе с тем имеется уверенность, что на современном этапе развития машиноведения и, в частности теории и практики ударных машин, возможно создание ковшей активного действия, которые могут занять определенную нишу при разработке горных пород и других твердых материалов в горной промышленности и в городском хозяйстве. Очевидно, что новый этап разработки и создания такого оборудования требует анализа предыдущего опыта, принципов и источников создания динамической нагрузки и конструкций ковшей активного действия, выбора наиболее подходящей схемы КАД.

### ***Анализ конструктивных исполнений ковшей активного действия***

Значительная часть конструкций активных исполнительных органов рассматривает вибрационный способ воздействия на породный массив. Хотя такое воздействия для целей разрушения больших объемов твердого материала представляется недостаточным, приведем примеры конструкций вибрирующего ковша, ковшей с вибрирующей передней кромкой и вибрирующими зубьями.

На рис. 1 показан один из вариантов вибрирующего ковша [2]. Колебания его корпусу (и передней режущей кромке) сообщаются гидроцилиндром 1, соединенным с гидровибратором 2, питаемым от гидронасоса 3. Дополнительные нагрузки, возникающие от колебаний ковша с породой, воспринимаются рабочим оборудованием экскаватора.

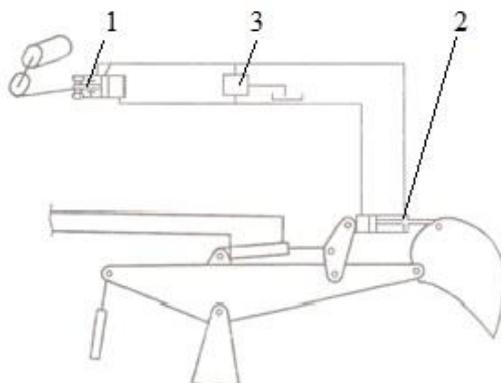


Рис. 1. Принципиальная схема виброковша по патенту № 2092564 Франция

Следующие 3-и разработки рассматривают составные ковши с подвижной передней кромкой или передней стенкой. У ковша с вибрирующей кромкой (рис. 2) U-образная режущая кромка 1 соединена с корпусом ковша 2 шарниром 3. Ковш имеет двойное дно 4, 5, в котором расположен гидроцилиндр 6 с вращающимся золотником управления. Поршень гидроцилиндра через шарнирные соединения 7, палец 8 и траверсу 9 воздействует на зубья 10.

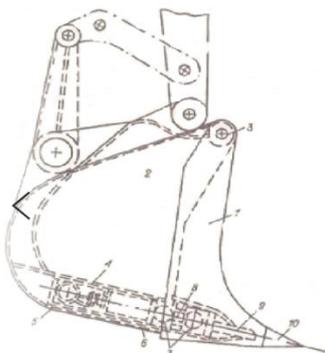


Рис. 2. Ковш с вибрирующей режущей кромкой по патенту № 33228426 ФРГ

Ковш с вибрирующей передней стенкой, приводимой магнитоэлектрическим вибратором, жестко соединенным со стенкой и смонтированным в специальной полости, приведен на рис. 3а. Между передней 3 и задней 2 стенками ковша установлены амортизационные прокладки 5.

Привод вибрирующей передней стенки 1 (рис. 3б), подвешенной вместе с закрепленными на ее козырьке зубьями к боковым стенкам 2 с помощью шарниров 3, выполнен в виде шатунно-эксцентриковых механизмов 4, приводимых во вращение от электродвигателя 5, установленного на рукояти 6. Шатунно-эксцентриковые механизмы преобразуют вращательное движение трансмиссионного вала 7 в возвратно-поступательное движение головок шатунов 8. Последние, будучи шарнирно соединенными с передней стенкой, сообщают ей вынужденные колебательные движения.

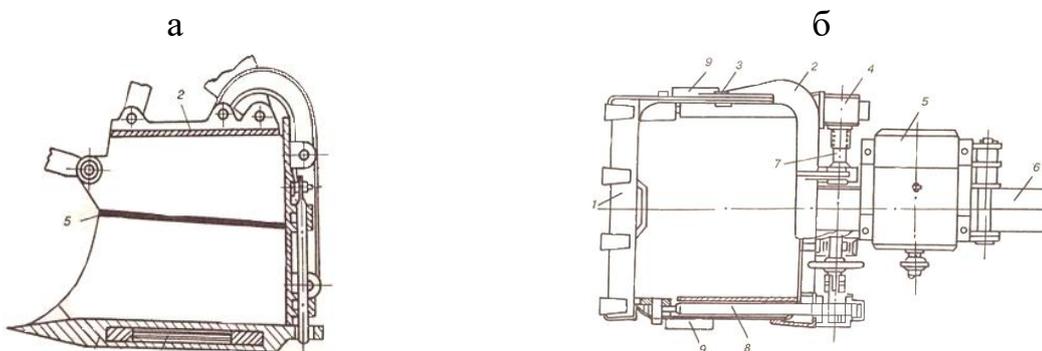


Рис. 3. Ковши с вибрирующей передней стенкой:

а – с магнитоэлектрическим вибратором (а.с. № 333253 СССР), б – с электромеханическим приводом (а.с. № 167192 СССР)

На рис. 4, 5 представлены ковши с вибрирующими зубьями. В качестве источников вибрации зубьев в ковше (рис. 4а) предлагается использовать магнито-стрикторы, кулачковые валики или коленчатые валы с приводом от гидро- или электродвигателя, гидровибраторы различных конструкций, дебалансные вибраторы. Вибрирующие зубья 1 крепятся к стенке 2 через упругую прокладку 3 гибкой шпилькой 4 таким образом, чтобы вибратор 5 мог сообщать зубьям колебания в направлении резания или перпендикулярно ему.



Рис. 4. Ковши с вибрирующими зубьями: а) патент № 2317424 Франция [2], б) с приводом от гидровибратора (патенту № 2082069 Франция)

В патенте № 3550960 (рис. 5) предлагается оснастить ковши роторного экскаватора обычными зубьями и зубьями с виброприводом. При возникновении большого сопротивления копания обычные зубья сдвигаются назад и в работу вступают вибрирующие зубья.

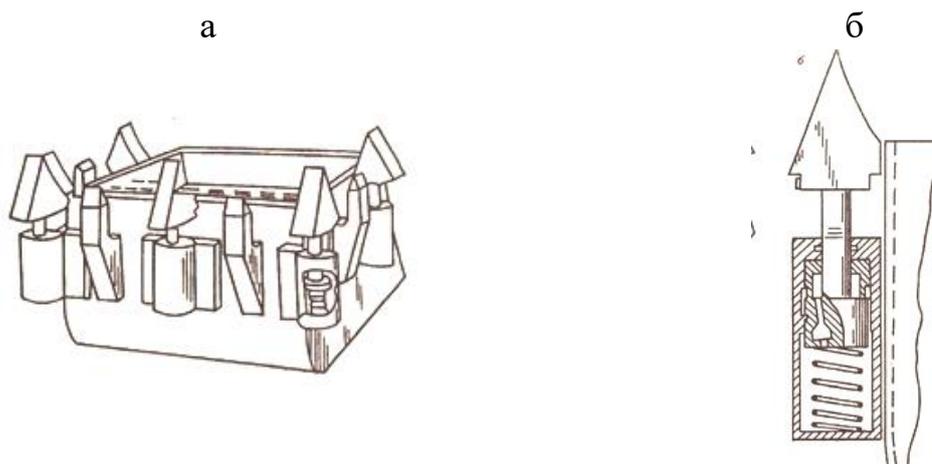


Рис. 5. Ковш роторного экскаватора с виброзубьями (патенту № 3550960 США) а – общий вид, б – виброзуб

Ряд конструкций КАД (рис. 6, 7) основан на принципе перераспределения нагрузки между зубьями. В ковше по а.с. № 616371 СССР (рис. 6) зубья

установлены в сообщающихся гnezдах с возможностью возвратно-поступательного перемещения под действием жидкости и пружин. Наиболее нагруженные зубья сдвигаются назад, и в работу вступают зубья, где сопротивление меньше. Таким образом, выравниваются нагрузка и износ зубьев.

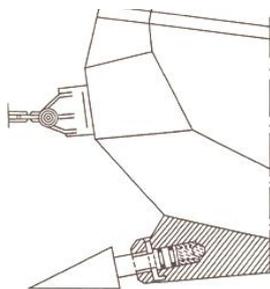


Рис. 6. Ковш экскаватора с подвижными зубьями (а.с. № 616371 СССР)

В японском патенте (рис. 7) зуб 1 выдвигается гидроцилиндром вперед и на нем концентрируются усилия копания экскаватора. Условия работы остальных зубьев облегчаются, что позволяет разрабатывать более прочные породы.

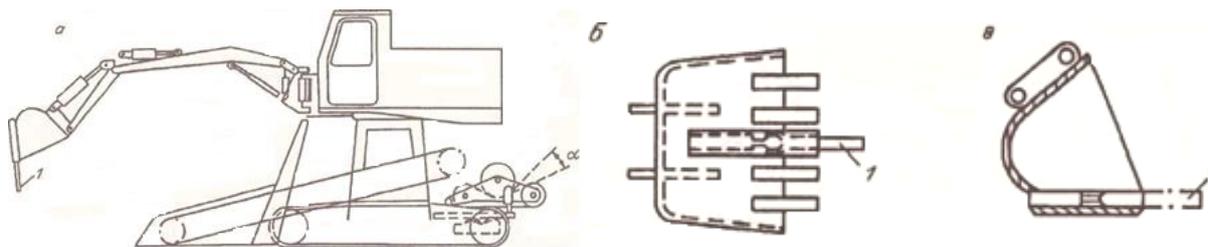


Рис. 7. Ковш с выдвигающимся зубом по патенту № 5743703 Япония:  
а — общий вид экскаватора; б — вид ковша снизу, в — вид ковша сбоку

Имеются предложения об оснащении ковшей экскаваторов подвижными зубьями с приводом от гидродвигателя, совершающими благодаря подвеске сложное движение, за счет чего зубья врезаются в породу и отламывают стружку (рис. 8). Внедрение зубьев происходит под действием удара, вибрации или вдавливания.

Экспериментальные образцы ковшей, активное действие которых основано на вибрации, прошли испытания при разработке мерзлых грунтов и слабых горных пород [3][4][5], однако сведений об их дальнейшем практическом применении нет. Основная причина этого – трудность реализации усилий, достаточных для их эффективной работы в породном массиве. Кроме того большинства предложенных конструктивных схем вызывают значительную вибрацию, воздействующую также и на привод и конструкцию базового экскаватора.

Более предпочтительными для работы по прочным горным породам (до 60-80 МПа) представляются КАД, в которых в качестве активных применяются ударные зубья. Они, в связи с особенностями явления удара, могут создать нагрузку на

породный массив, достаточную для его предварительного рыхления с последующей экскавацией ковшом. Об этом свидетельствует и имеющийся у Института горного дела СО РАН положительный опыт испытаний и исследований разработки мерзлых грунтов и горных пород с пределом прочности до 60 МПа КАД экскаваторов ЭО-4121 и ЭКГ-5В с пневматическим приводом зубьев [2][6][7][8][9].

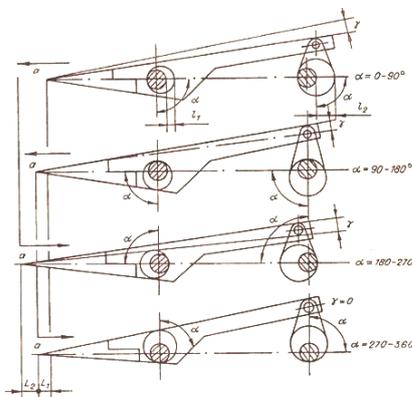


Рис. 8. Схема подвески подвижных зубьев экскаваторного ковша (а.с. № 1071710 СССР)

Приведем несколько примеров конструктивного исполнения таких ковшей, активные зубья которых включаются при появлении на них повышенных сил сопротивления копанию. На рис. 8 показан ковши активного действия с ударными зубьями, пневмомолотами (рис. 8а) и с механическим приводом (рис. 8б). В последнем случае боек, наносящий удары по хвостовику зуба, соединен с подпружиненным рычагом, который взводится канатом, соединенным с шатуном своеобразного кривошипного механизма, установленного на платформе экскаватора.

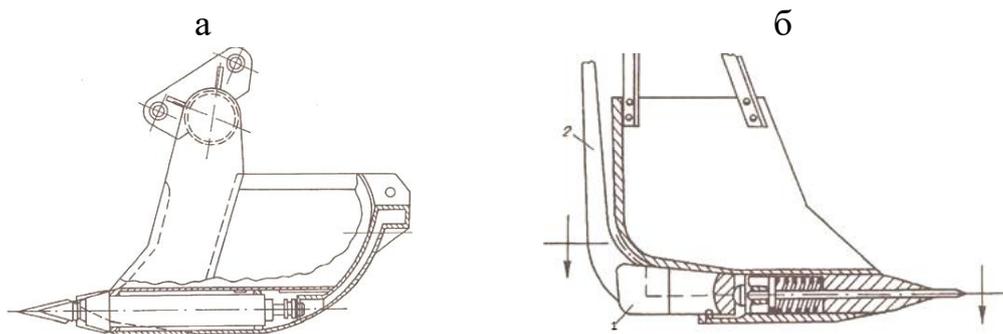


Рис. 8. Ковши с ударными зубьями: а) с пневматическим приводом (а.с.№ 207809 СССР), б) с механическим приводом (патенту № 3293778 США)

Активный ковш вместимостью 0.11 м<sup>3</sup> с ударным устройством на режущей кромке (рис. 9) предназначался для рыхления и погрузки мерзлого грунта. Ударное устройство состоит из гидродвигателя 1, питаемого от гидросистемы экскаватора, передаточной цепи 2, диска-эксцентрика 3, многопластинчатой рессоры

4, цилиндрического ударника 5 и ударного зуба 6. Эксцентрик заставляет колебаться рессору и укрепленный на ее конце ударник, который наносит удары по хвостовику зуба с частотой 8-10 Гц и энергией 400 Дж.

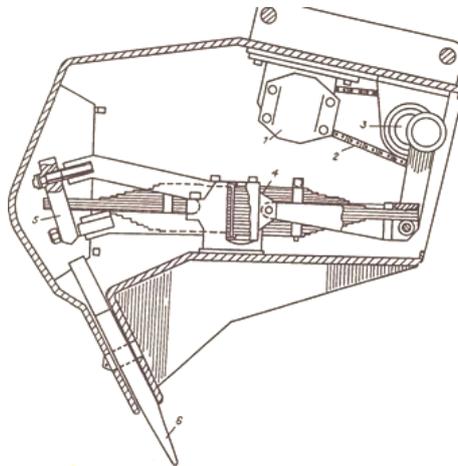


Рис. 9. Ковш с ударными зубьями (патент № 396107 Швеция)

В некоторых конструкциях рассматриваются разнообразные навесные устройства для рыхления мерзлых грунтов и горных пород. Это навесные пневмо- и гидромолоты, рыхлительные зубья. На рис. 10 приведена схема навески пневмомолота 1 на рабочее оборудование обратной лопаты. В рабочее положение пневмомолот приводится гидродомкратом 2.

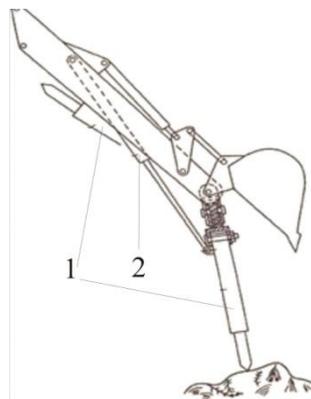


Рис. 10. Рабочее оборудование экскаватора с навесным пневмомолотом (патент № 2194849 Франция)

Ряд конструкции КАД для строительных экскаваторов ЭО-3322 разработан в СибАДИ [10] (рис. 11), в них в качестве активных зубьев применяется гидромолоты.

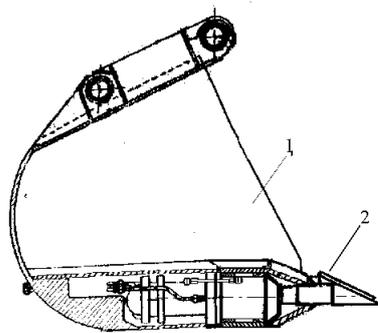


Рис. 11. Конструкция ковша активного действия экскаватора экскаватора ЭО-4121 разработки СибАДИ: 1 - корпус ковша; 2 - ударные зубья

В 80-90-х годах прошлого века в ИГД СО РАН были созданы ковши активного действия к строительным и карьерным экскаваторам соответственно ЭО-4121 и ЭКГ-5В, фотографии которых представлены на рис. 12. Передняя стенка их ковшей оснащена тремя ударными зубьями, размещенными в индивидуальных трубчатых кожухах. У КАД ЭКГ-5В наряду с динамическими оставлены и статические зубья. Приводом зубьев являлись пневмомолоты, каждый из которых имел свой автомат пуска. Испытания и доводка ковшей производились при выемке крепкого угля, цементированного галечника, алевро-литов, песчаников, свинцово-цинковой руды, кварцитов, разработке мерзлых грунтов.



Рис. 12. Общий вид ковша с ударными зубьями экскаваторов ЭКГ-5В (а) и ЭО-4121

Приведенный обзор лишь в небольшой степени отражает многообразие вариантов исполнения активных ковшей. В работах [9][11][12] обсуждается возможность создание ковша с использованием активных ударных зубьев - гидроударных устройств. На примере гидравлических строительных экскаваторов показано, что маслостанции строительных экскаваторов достаточно для обеспечения их эффективной работы по прочным горным породам и мерзлым грунтам

## *Заключение*

Исходя из него можно сделать вывод, что наиболее удачным конструктивным исполнением такого ковша является встраивание в его переднюю стенку активных зубьев, в качестве привода которых следует использовать ударные устройства. Гидравлически привод ударных устройств представляются наиболее приемлемыми для этой цели, так как позволяют, во-первых, в качестве источника рабочего тела ГУ применять штатную маслостанцию гидравлического экскаватора и, во-вторых, по ударной мощности ГУ превосходят все остальные типы ударных устройств и могут обеспечить эффективное разрушение твердых материалов с пределом прочности на сжатие до 80 МПа и выше.

*Работа выполнена в рамках проекта ФНИ № кода (шифр) научной темы FWNZ-2021-0003*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верниковский Ю.С. Ковш экскаватора. Опубл. 25.05.1954, Бюл. № 11: Пат. 99240 СССР, 1954. С. 4.
2. Маттис А.Р. и др. Экскаваторы с ковшом активного действия: опыт создания, перспективы применения. Новосибирск: Наука, Сиб. издат. фирма РАН, 1996. 174 р.
3. Ветров Ю.А., Баландинский В.Л., Баранников В.Ф. Разрушение прочных грунтов. Киев: Будивельник, 1973. 352 р.
4. Шкуренко Н.С., Рахлин А.Б., Спектор М.Д. Виброметод разработки мерзлых грунтов. Москва: Стройиздат, 1965. 185 р.
5. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Москва: Машиностроение, 1968. 376 р.
6. Шишаев С.В., Федулов А.И., Маттис А.Р. Расчет и создание ковша активного действия. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1989. 115 р.
7. Маттис А.Р. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых: моногр. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 335 р.
8. Маттис А.Р., Лабутин В.Н. К созданию ковшей активного действия гидравлических строительных экскаваторов/Материалы Международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» т. III, г. Новосибирск, 2010 г. с.152-159. Новосибирск, 2010. Р. 152–159.
9. Городилов Л.В., Лабутин В.Н. Ковш активного действия к строительным экскаваторам // Машиноведение. 2016. № 2(4). Р. 45–53.
10. Галдин Н.С., Бедрина Е.А. Ковши активного действия для экскаваторов: Учеб. пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. 53 р.
11. Городилов Л.В., Лабутин В.Н. Перспективы создания ковшей активного действия к гидравлическим строительным экскаваторам ОрелГТУ, 2013. С. 112-119 // Материалы V междунар. науч. симп. «Ударно-вибрационные системы, машины и технологии» (23-25 апреля 2013 г., Орел). Орел: ОрелГТУ, 2013. Р. 112–119.
12. Городилов Л.В., Маслов Н., Коровин А.Н. Оценка параметров системы гидроударных устройств ковша активного действия при прямом подключении к гидросистеме экскаватора 2 размерной группы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Vol. 2. Р. 45–51.

© Л. В. Городилов, А. Н. Коровин, 2021