

О.Ж. Рабат<sup>1</sup>, С.В. Ли<sup>1</sup>, А.Н. Салманова<sup>2</sup>, Н.Д. Сайдинбаева<sup>1</sup>,  
К.С. Мусин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Экибастузский инженерно-технический институт им. академика К. Сатпаева,  
г. Экибастуз, Казахстан

## НОВЫЙ РАБОЧИЙ ОРГАН ПОГРУЗЧИКА С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

---

**Аннотация.** Приведена новая (инновационная) конструкция рабочего органа погрузчика разработанная авторами. Конструктивное решение рабочего органа машины получено с применением свойств циклоидальных кривых и циклоидальных тел постоянной ширины, совершающих сложное циклоидальное движение. Применение взаимооггибаемых сателлитных кривых в рабочем органе, который совершает циклоидальное движение, позволяет получить рациональные геометрические формы рабочего органа при минимально возможных удельных энергозатратах рабочего процесса и расширить технологические возможности машины.

**Ключевые слова:** погрузчик, инерционная разгрузка, взаимооггибаемые кривые, планетарный механизм, центральное зубчатое колесо, сателлит, ротор.

...

**Түйіндеме.** Мақалада авторлар әзірлеген жүк салғыштың жұмыс органының жаңа (инновациялық) құрылымы келтірілген. Циклоидалдық қозғалыстарды жүзеге асыратын тұрақты ені бар циклоидалды қисықтардың және циклоидалды денелердің қасиеттерін қолдана отырып, машинаның жұмыс органының конструктивтік шешімі алынды. Циклоидтық қозғалысты жүзеге асыратын жұмыс органында езара икемді спутниктік қисықтарды қолдану жұмысшы органның жұмыс процесінде энергияны аз тұтыну арқылы ұтымды геометриялық фигураларын алуға және машинаның технологиялық мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** тиегіш, инерциялық түсіру, езара икемді қисықтар, гипоцикл, планетарлық механизм, орталық беріліс доңғалақ, спутник, ротор.

• • •

**Abstract.** The article provides a new (innovative) design of the working body of the loader developed by the authors. The constructive solution to the working body of the machine the use of cycloidal curves properties and cycloidal bodies properties—with constant width, performing complex cycloidal motion. The use of mutually flexible satellite curves in a working body that performs cycloidal motion provides rational geometric shapes of the working body with the minimum possible specific energy consumption by the working process and expand the technological capabilities of the machine.

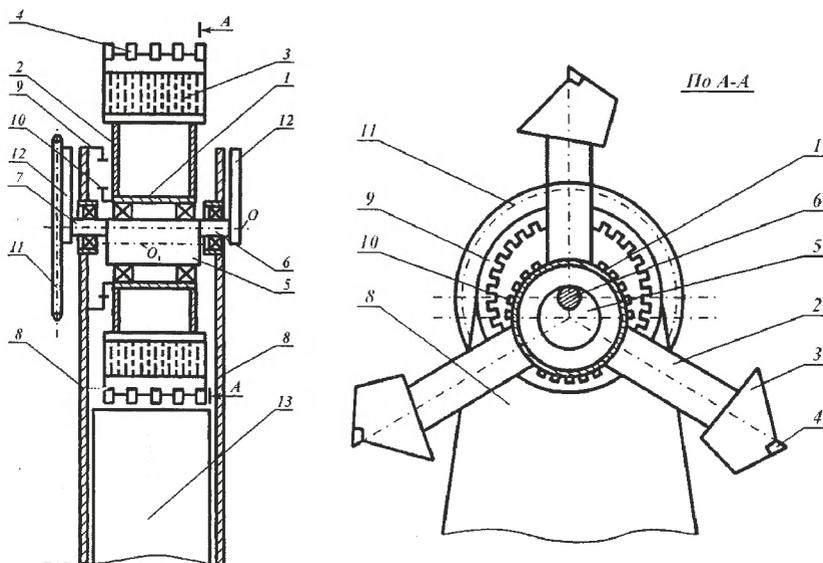
**Key words:** loader, inertial unloading, mutually flexible curves, planetary mechanism, central gear wheel, satellite, rotor.

**Введение.** Многоковшовые погрузчики относятся к самоходным машинам с рабочим органом непрерывного действия. Такие погрузчики состоят из зачерпывающего органа (питателя), транспортирующего органа и ходовой части. Более производительными являются машины с зачерпывающим органом. Погрузчики непрерывного действия применяются преимущественно для погрузки в транспорт щебня, гравия и песка. Они могут быть также использованы для разработки карьеров песка и гравия с одновременной погрузкой его в транспортные средства при небольших объемах работ [1-3]. Погрузчики обычно имеют 6-8 ковшей с режущими козырьками из износостойчивой стали, которые, если погрузчик работает в тяжелых условиях, часто снабжают сменными зубьями. Существующие погрузчики снабжены питателями (роторами) с гравитационной, центробежной и инерционной разгрузкой. Обычно разгрузка ковшей роторных рабочих органов осуществляется гравитационным способом. При этом производительность машины определяется: параметрами роторного колеса, емкостью ковша, числом ковшей и скоростью вращения. Если емкость может быть выбрана в широком диапазоне и теоретически беспредельна, то скорость вращения ротора имеет вполне определенный предел. Этот предел зависит от времени необходимого для разгрузки ковша [4]. Согласно проведенным исследованиям существующие технические решения по устройствам рабочих органов погрузчиков не обеспечивают качественной очистки рабочих поверхностей в угловой части транспортных средств. Скорость роторов питателей погрузчиков ограничивается необходимостью обеспечения гравитационной разгрузки ковшей.

Кроме того, рабочие органы известных погрузочно-разгрузочных машин не обеспечивают сохранность некоторых сельхозпродуктов, таких как, картофель, лук, свекла и др. при производстве погрузочно-разгрузочных работ [5]. Таким образом, проблема разработки новых рабочих органов погрузчиков роторного типа, обеспечивающих сохранность и разгрузку сыпучих грузов из подвижного состава, а также повышение производительности за счет увеличения их частоты вращения, актуальна и требует своего решения.

**Инновационная конструкция предлагаемого роторного рабочего органа (РО) с циклоидальным движением.** Предлагается изобретение – новый рабочий орган погрузчика с циклоидальным движением для получения которого использованы свойства трохоид. В конструкции РО рабочая поверхность ковшей и сами режущие элементы выполнены по взаимогогибаемым циклоидальным кривым (эпитрохоидам). Такое конструктивное решение позволяет получить минимальные удельные энергозатраты рабочего процесса [6-7].

Рабочий орган (рисунок 1), содержит ротор 1, к которому жестко прикреплены рычаги 2 равной длины с ковшами 3, рабочая кромка которых оснащена зубьями 4. На роторе может быть установлено от двух до четырех ковшей. При числе ковшей более двух, их одноименные точки, например, центры тяжести, должны располагаться в углах правильных воображаемых многоугольников. Ковши могут иметь сплошное или цепное днище. Вал ротора, является приводным и имеет центральную эксцентричную шейку 5 и две опорные шейки 6 и 7, посредством которых вал через подшипники опирается на боковины стрелы 8. Ротор 1 на подшипниках установлен на центральной шейке 5 приводного вала. Кинематическая цепь, связывающая ротор с приводным двигателем (не показана) образует планетарную передачу, включающую центральное зубчатое колесо 9, закрепленное на боковине стрелы 8 соосно с опорными шейками 6 и 7 приводного вала, и ротора 1, соосно закрепленного на эксцентричной шейке 5 приводного вала и имеющего зубчатый венец 10, выполняющий роль сателлита. Венец 10 имеет зацепление с центральным зубчатым колесом 9, а ротор 1 с венцом 10 приводится в движение эксцентричной шейкой 5 приводного вала, выполняющей роль водила. На концах вала установлены противовесы 12 и приводная звездочка 11 цепной передачи от двигателя. На стреле расположен приемный конвейер 13.



1 – ротор; 2-ковш; 3-дноще ковш; 4-резец; 5-эксцентриковая шейка вала; 6,7-опорные шейки; 8-стрела; 9-центральное зубчатое колесо; 10-сателлит; 11-ведомая звездочка; 12-противовес; 13-приемный конвейер.

Рисунок 1 – Рабочий орган погрузчика с циклоидальным движением

Рабочий орган работает следующим образом. От двигателя вращение через цепную передачу передается на звездочку 11, а от нее – приводному валу. Центр поперечного сечения эксцентрично расположенной шейки 5 вала совершает круговые движения вокруг центра сечения его опорной шейки 6 или 7. При этом зубчатый венец 10 ротора 1 обкатывается как сателлит внутри зубчатого колеса 9 и ротор совершает планетарное движение – вращательное движение вокруг двух осей: оси  $O$  опорных шеек вала и оси  $O_1$  – эксцентричной шейки вала. Одноимённые точки ковшей при этом перемещаются по траекториям представленными гипотрохоидами, в частности, точки режущих кромок ковшей описывают гипотрохоиду 14 (рисунок 2), а центры тяжести ковшей гипотрохоиду 15.

Перемещаясь по ветвям гипотрохоиды в контакте с грунтом, зубья 4 ковша производят его срез и грунт заполняет ковш. После выхода ковша из контакта с грунтом происходит разгрузка грунта при движении ковша по очередной ветви гипотрохоиды и он попадает на конвейер 13 или непосредственно в отвал.

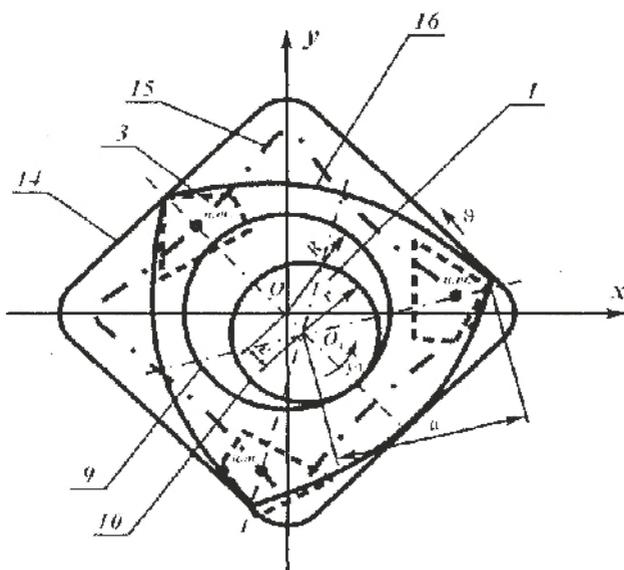


Рисунок 2 – Образование гипотрохоид

Скорость точки, перемещающейся по гипотрохоиде, не остается постоянной. Движение её от вершины до середины ветви гипотрохоиды происходит с ускорением, а от середины ветви до следующей вершины – с замедлением. Поэтому когда грунт находится в ковше, перемещающемся по ветви гипотрохоиды после копания, он на ее середине испытывает дополнительный импульс от сил инерции, появляющихся в результате изменения скорости перемещения, и дальность его выброса увеличивается. Этому способствует и цепное выполнение днища ковша. Цепи также приобретают ускорение и воздействуют на грунт при разгрузке. При перемещении же ковша во время копания движение ковша происходит по восходящей ветви гипотрохоиды и при изменении его скорости возникающая сила инерции гасится силой тяжести грунта. Изменением скорости вращения ротора можно регулировать скорость выброса грунта из ковша и дальность выброса [8-9]. Таким образом, жесткая связь ковшового ротора с сателлитом планетарного редуктора с передаточным отношением от водила к сателлиту, равное  $z$ , обеспечивает планетарное движение ротора и перемещение одноименных точек ковшей по одним и тем же траекториям- гипотрохоидам с ускорением, что позволяет осуществить инерционную

разгрузку ковшей заданной траектории при сравнительно простой их конструкции.

Планетарное движение ковшевого ротора позволяет также реализовать срезание грунта в виде тонкого слоя постоянной толщины, а также разработку котлованов и карьеров с плоской поверхностью забоя с различным углом наклона к горизонту. Взаимодействие режущих элементов ковшей с забоем осуществляется в процессе их перемещения по прямой линии, а не по дуге окружности, что исключает возникновение центробежных сил инерции и их действие на грунт, находящийся в ковшах, а, следовательно, и потери энергии на трение грунта о поверхность забоя. Снижение энергоемкости процесса происходит также и за счет эффекта самообрушения, который проявляется в наибольшей степени при отрицательных (менее  $90^\circ$ ) углах наклона поверхности забоя к горизонту [10-12].

**Выводы.** Производительность роторных РО с гравитационной разгрузкой ковшей ограничена скоростью вращения ротора и имеет предельные значения в зависимости от категории грунта, РО центробежной (с верхней разгрузкой ковшей) и инерционной (с нижней разгрузкой ковшей) скорости которых существенно превышают предельные значения скорости гравитационных роторов. Однако, сложность конструкции, высокая энергоемкость, наличие дополнительных подвижных элементов и шарнирных соединений в зоне экскавации и значительные габаритные размеры ограничивают их использование. Изменением скорости вращения ротора и формой самих ковшей можно регулировать скорость выброса грунта из ковша и дальность выброса. Анализ конструкции РО погрузчиков показал, что важнейшим резервом повышения производительности, снижения энергоемкости и уменьшения диаметра ротора при сохранении основных технологических параметров существующих РО, является интенсификация процесса резания посредством вибровоздействия режущих элементов РО на разрабатываемый материал. Пологие формы ветвей гипоциклоиды дают возможность срезать грунт слоями постоянной толщины, что способствует повышению производительности, а так же производить разработку котлованов и карьеров с плоской поверхностью забоя и с различными углами наклона их бортов. Использование свойств взаимоогibaющих циклоидальных кривых и тел постоянной ширины в погрузчике с циклоидальным движением рабочего органа значительно расширяет технологические возможности машины.

### Список литературы

1 Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. Москва – Алматы, Бастау, 2013. – 444 с.

2 Гаврилов К.А., Забара Н.А. Дорожно-строительные машины: устройство, ремонт, техническое обслуживание. ГУП «Клиновская городская типография», 2011.– 320с.

3 Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.

4 Недорезов И.А. Интенсификация рабочих процессов землеройно-транспортных машин и совершенствование их рабочих органов. Сборник «Исследования машин для земляных работ», М.: Транспорт, 1984. – С. 5-11.

5 Ли С.В., Рабат О.Ж., Салманова А.Н. Дробильная машина со сложным движением рабочих органов. Научный журнал «Znanstvena misel» №13 Vol 1, Ljubljana, Slovenia, 2017. – С. 52-57.

6 Ли С.В. Повышение производительности строительно-дорожных машин за счет совершенствования рабочих органов //Поиск: сб.научных трудов. – Алматы, 2004. – №4. – С. 143-145.

7 Ли С.В., Шин Б.С., Таран М.В., Конысбай С.Б. Геометрия рабочего органа машин с планетарно-роторным движением. // Транспорт Евразии: Взгляд XXI век. Материалы Третьей Международной научно-практической конференции. Том 1. Алматы: КазАТК, 2004. – С. 126-129.

8 Ли С.В., Шин Б.С., Жумабеков А.Г. Роторные рабочие органы – исследования и расчет процесса разгрузки. Железнодорожный транспорт Казахстана: история и перспективы экономического роста. Сб. научных трудов, Выпуск №3, Алматы, КазАТК, 2004. – С. 57-62.

9 Ли С.В., Шин Б.С., Таран М.В., Ахметов Г.М., Бактыбаев А.Н. «Совершенствование роторных рабочих органов землеройных машин». /Вестник КазАТК №3. –Алматы, 2005. –С. 45-48.

10 Патент РК №29666 «Валковая дробилка». Кабашев Р.А., Ли С.В., Рабат О.Ж., Кабашев О.Р., МПК В02С 4/28; опубл. в БИ №3 2015.

11 Патент РК №31859 «Ручные электроножницы». Кабашев Р.А., Ли С.В., Рабат О.Ж., и др. Оpubл. 28.02.2017, Бюл. №4.

12 Патент РК № 33251 «Устройство для механической обработки полов». Ли С.В., Рабат О.Ж. и др. Оpubл. 02.11.2018г. Бюл. №41.

**Рабат О. Ж.**, доктор технических наук, академик НАН НТ РК,  
e-mail: rabat747@mail.ru

**Ли С.В.**, доктор технических наук, профессор, e-mail: lee.sergei@list.ru

**Салманова А.Н.**, кандидат технических наук, e-mail: alinak096@mail.ru

**Сайдинбаева Н.Д.**, магистр, e-mail: nazym007@mail.ru

**Мусин К.С.**, кандидат технических наук, асс.профессор,  
e-mail: musin@inbox.ru