

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

CONSTRUCTION AND  
ROAD BUILDING MACHINERY

11/2015



**БЕЛАЗ**

[www.belaz.by](http://www.belaz.by)



НОВЫЙ КАРЬЕРНЫЙ САМОСВАЛ  
БЕЛАЗ-75581 ГРУЗОПОДЪЁМНОСТЬЮ 90 ТОНН  
С ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИЕЙ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

Научно-  
технический  
журнал

распространяется ежемесячно  
по подписке в России и за рубежом

Подписка на 2016 год  
оформляется с любого номера  
журнала и на любой срок

Для этого передайте редакции заказ на подписку  
с указанием количества экземпляров, периода  
подписки (год, полугодие, квартал, месяц),  
почтового адреса для пересылки  
журнала подписчику:

- по тел. (903) 711-49-96
- по электронной почте  
[sdmpress@mtu-net.ru](mailto:sdmpress@mtu-net.ru),  
[sdmpress@bmail.ru](mailto:sdmpress@bmail.ru)
- заполнив заявку на сайте  
<http://www.sdmpress.ru>

Редакция вышлет

Вам счёт на оплату заказа  
по факсу или письмом.

После оплаты счёта редакция  
будет ежемесячно высылать  
вышедший номер журнала по ука-  
занному Вами адресу или его можно  
получить непосредственно в редакции.



Подписка на почте (каталог, индекс)

- Каталог агентства "Урал-Пресс" - 70885Ж
- Каталог «МК-Периодика» - 70885

Входит в перечень рецензируемых журналов,  
рекомендованных ВАК РФ

УЧРЕДИТЕЛИ

ЗАО «СТРОЙДОМАШ»  
ООО «СДМ-Пресс»  
ООО «КОНЦЕРН  
СТРОЙИНСТРУМЕНТ»

ИЗДАТЕЛЬ Лицензия ЛР № 071581  
ИЗДАТЕЛЬСТВО ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ «СДМ-Пресс»

Генеральный директор  
Говоров А.Ю.

Главный редактор  
Оскерко В.Е.

Редакционный совет  
ГОВОРОВ А.Ю., ГОРБОВЕЦ М.Н.,  
ЗОРИН В.А., КОРОБКИН В.А.,  
КРАВЧЕНКО И.Н., КУДРЯВЦЕВ Е.М.,  
КУЗИН Э.Н., КУЗНЕЦОВА В.Н.,  
ОСКЕРКО В.Е., ПЛАВЕЛЬСКИЙ Е.П.,  
ПРИМАК Л.В., САВЕЛЬЕВ А.Г.,  
СМОЛЯНИЦКИЙ Э.А., СУШКОВ С.И.,  
ХМАРА Л.А., ЩЕРБАКОВ В.Ф.

Почтовый адрес

Кому: ООО «СДМ-Пресс»  
Куда: а/я 248, Москва, 109147

Тел./факс: (499) 650-76-63,  
(905) 732-00-44  
E-mail: sdmpress@mtu-net.ru, sdmpress@bmail.ru  
http://www.sdmpress.ru

Компьютерная верстка издательства «СДМ-Пресс»  
Подписано в печать 15.10.2015.  
Формат 60 x 88 1/8.

Бумага мелованная.

Подписаться на журнал можно:

- в РЕДАКЦИИ;
- через ИНТЕРНЕТ (www.sdmpress.ru);
- в любом почтовом отделении по каталогам:
  - агентства «Урал-Пресс»  
(индекс журнала 70885Ж)
  - «МК-Периодика» (индекс журнала 70885)

ЮРИДИЧЕСКУЮ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ  
за достоверность информации рекламы  
НЕСЁТ РЕКЛАМОДАТЕЛЬ

Внимание! Материал, опубликованный в журнале,  
охраняется законом РФ об авторском праве

Выпускающий редактор  
ХАРИТОНОВА С.В.

11/2015

СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
И ДОРОЖНЫЕ  
МАШИНЫ

CONSTRUCTION  
AND ROAD BUILDING  
MACHINERY

Издаётся с января 1956 г.



СОДЕРЖАНИЕ

- 2 От государственных к сертификационным испытаниям  
строительных и дорожных машин в условиях  
импортозамещения  
*Плавельский Е.П.*

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

- 4 Выбор трубоукладчика в зависимости от условий его  
применения  
*Гусев С.А.*

КОММУНАЛЬНЫЕ МАШИНЫ

- 10 Робот для скалывания льда  
*Поезжаева Е.В., Федотов А.Г., Загладов П.В.*  
14 Многофункциональная машина 586С компании Caterpillar

ОБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

- 18 Моделирование процесса соударения компонентов  
строительных смесей с рабочими поверхностями оборудования  
двухроторного смесителя  
*Емельянова И.А., Ковревский А.П., Блажко В.В.*

СИЛОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

- 22 Снижение выбросов оксидов углерода дизелем путём  
отключения цилиндров при работе в режимах малых нагрузок  
*Мильтон Флориан Талабера Сото, Камышиников О.В., Камышиников Р.О.*

ГИДРОПРИВОД

- 27 Калибровка клапанов и настройка электрогидравлической  
системы управления трактора  
*Кириллов А.А., Доманников Д.А., Григорьев А.К.*

ИССЛЕДОВАНИЯ

- 30 Коэффициент жёсткости пневмоколёс строительных и  
дорожных машин  
*Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Дегтярь В.В.*  
✓ 37 Энергоэффективный ковш  
*Кузнецова В.Н., Савинкин В.В.*  
41 Влияние ветровой нагрузки на подвижной состав канатной  
дороги  
*Кудряшов П.Л., Шестопалов К.К.*

ИНФОРМАЦИЯ

- 44 О новой экономической стратегии ускоренного развития  
российской обрабатывающей промышленности (окончание)  
*Николаев С.Н.*  
50 На выставке COMTRANS/15  
52 В преддверии выставки bauma 2016  
54 Ресурсосберегающие формы инвестирования в транспортно-  
логистических системах дорожного комплекса  
*Сушков С.И.*  
57 Новинки Клиновского автокранового завода  
60 Технические решения и изобретения  
63 Обзор международной СДМ-информации  
68 Информационный бюллетень цен на СДМ и оборудование

# Энергоэффективный ковш

*Разработана конструкция ковша экскаватора с пониженным сопротивлением копанию, обеспечивающая эффективное формирование стружки в широком диапазоне реологических свойств грунта и снижение энергетических затрат по сравнению с существующими.*

**Ключевые слова:** режущая кромка ковша, фрезерованные отверстия, ядро уплотнения, ковш эффективного действия.

**Основным принципом конструирования рабочего оборудования (РО) землеройных машин является использование методов и средств снижения энергоёмкости разработки грунтов [1, 2]. Многие исследователи пришли к единому выводу о том, что величина силы сопротивления при разработке грунтов землеройными машинами зависит не только от физико-механических свойств грунтов, но и от конструкции и кинематики движения РО, применяемого для выполнения работ. Следовательно, оптимизация размерно-геометрических параметров элементов ковша и кинематика их рабочих движений позволят повысить его эффективность и значительно снизить энергоёмкость процесса разработки грунта.**

Особенно острой является задача разработки увлажнённых грунтов с различной степенью влажности, которые встречаются повсеместно при строительстве зданий, подготовительных работах при укладке дорожного полотна, а также при рытье траншей, котлованов и т.д. Грунты таких категорий имеют высокие категории липкости, что обеспечивает полный контакт грунта со всеми поверхностями ковша и значительное увеличение сил трения. Кроме

того, возникает эффект «засасывания», что формирует дополнительные силы сопротивления, которые необходимо преодолевать. Совокупность указанных факторов значительно усложняет технологический процесс, существенно повышая энергоёмкость разработки массива.

*Экскавация грунта*, как установлено предшествующими исследователями [1, 2–7], включает в себя три основных периода:

- *внедрение ковша и преодоление сил сопротивления резанию грунта.* Общее сопротивление внедрению состоит из сопротивлений на передней кромке зуба ковша и плоской кромки последнего. Эффективность периода во многом зависит от угла заглубления ковша, типа грунта и особенности конструкции зуба ковша и его режущей кромки;
- *формирование и отрыв стружки.* Второй период сопровождается трением на внутренней поверхности днища ковша, на его боковых стенках, между днищем ковша и забоем, сопротивлением на задней стенке ковша, возникающим при глубоком внедрении вследствие пассивного отпора (реакции) грунта. Эффективность зависит от физико-механических свойств и динамических нагрузок;
- *выемка грунта.* Эффективность этого периода зависит от мощности силовой энергетической установки машины и действия сил сопротивления.

Проведённые авторами исследования энергоёмкости процесса позволили установить, что в передней части режущей кромки и в центре задней стенки ковша формируются концентрации внутренних напряжений. Критические значения напряжений также образуются и в основании крепления гидроцилиндра привода РО. Эти явления возникают в результате образования больших сил сопротивления грунта на первом этапе введения ковша в грунт. Внедряясь в грунтовую массу, зубья ковша испытывают максимальное значение сопротивления, поэтому данному вопросу посвящено множе-

**В.Н. КУЗНЕЦОВА,**

д-р техн. наук  
(СибАДИ),

**В.В. САВИНКИН,**

канд. техн. наук

(Северо-Казахстанский  
государственный  
университет  
им. М. Козыбаева)

ство исследований ведущих учёных России и зарубежья: В.И. Баловнева, Л.Б. Белоногова, А.Н. Зеленина, И.П. Керова, Р.А. Кабашева, А.К. Муравского, С.Н. Нуракова и др.

Экспериментальные исследования, проведённые Е. Динглингером и позднее А.Н. Зелениным, свидетельствуют о том, что при перемещении в сыпучей среде вертикальной прямоугольной не заточенной пластины перед её торцевой плоскостью, перпендикулярной направлению скорости, образуется уплотнённое ядро. Последнее движется вместе с пластиной и раздвигает остальную сыпучую массу. Возникающие при этом внутренние силы трения являются одной из причин образования значительных сил сопротивления движению.

При движении заточенной пластины-ножа перед её лезвием образуется аналогичное ядро, но меньших размеров. Появление малого уплотнённого ядра в этом случае объясняется тем, что отдельные зёрна грунта, сжатые остальной его массой и в значительной мере лишённые этим подвижности, не сразу смещаются в сторону и не разрезаются лезвием, а движутся впереди, как бы затупляя такое ядро тем больше, чем крупнее зерно разрабатываемого грунта и чем больше затуплено лезвие ножевой пластины.

В практических условиях передняя режущая заточенная кромка ковша почти всегда несколько затуплена, вследствие чего размеры уплотнённого ядра перед ней могут быть значительны. При этом сопротивление перемещению обусловлено главным образом отпором массы при проталкивании и выворачивании отдельной грунтовой стружки или непреодолимых включений, расположенных перед кромкой и вблизи неё, и зависит от коэффициентов трения, давления в кусковой массе и от толщины ножа и его заточки.

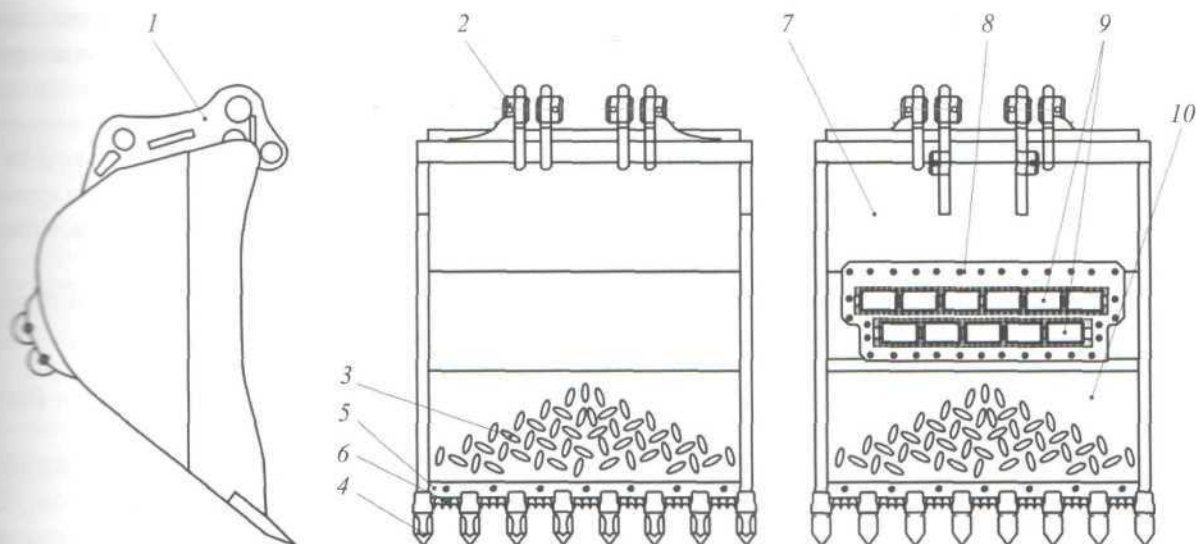
Однако при анализе достигнутых результатов установлено, что вопрос эффективного внедрения ковша рассматривался в одной плоскости – совершенствования формы зуба и оптимизации угла наклона его режущей кромки. Это направление имеет большую вариативность мероприятий и конструкций от дополнительных вставок, рассекающих грунт, до изменения пространственной формы зуба. Однако исследование дальнейшего взаимодействия грунта с частями ковша ведётся не на должном уровне. Напри-

мер, недостаточно результатов по определению распределения напряжений по площади входной кромки ковша, задней стенки днища при его повороте; не в полной мере изучены процессы взаимодействия стружки со стенками ковша; не установлены оптимальные пространственные формы входной площадки ковша, при которой снижается давление и влияние свойств грунта и т.д.

Таким образом, *цикл работы по экскавации грунта ковшом высокоэффективного действия* разделим на работу: зубьев по внедрению, режущей кромки ковша при заглублении, по наполнению ковша грунтом. При разработке грунта таким ковшом общую энергоёмкость рабочего процесса определим, основываясь на исследованиях Н.С. Галдина, А.Р. Матиса, В.Г. Полякова, В.Ф. Соболева, А.И. Федулова и С.В. Шишаева [8–10]. Также при расчёте энергоёмкости процесса копания необходимо учесть влияние авторских разработок по повышению энергоэффективности ковша.

**Предлагаемый энергоэффективный ковш нового поколения** (см. рисунок), разработанный на основании проведённых исследований, обладает пониженным сопротивлением копанию и способен выполнять энергоёмкие операции внедрения и отрыва грунта с меньшими затратами мощности землеройной машины. Технической задачей разработанной конструкции ковша является повышение энергоэффективности устройства за счёт снижения сил сопротивления копанию грунта и внутренних напряжений на передней стенке ковша. Возможность достижения технического результата обеспечивается тем, что режущая кромка ковша с фрезерованными и заострёнными элементами 6 выполняет полезную работу, а заданный угол заточки обеспечивает направление и траекторию формирования стружки при минимальном контакте с передней стенкой 10 ковша, что значительно снижает силу сопротивления грунта резанию.

Наличие технологических отверстий 3 обеспечивает прослойку воздуха между стружкой и ковшом, а при повышенной влажности выполняет функцию дренажа, что снижает эффект слипаемости зёрен грунта. Прикреплённая обойма 8 с двухрядными роликами 9 обеспечивает меньший угол трения задней стенки 7 ковша с грун-



**Ковш эффективного действия с пониженным сопротивлением копанию грунта:**

1 – механизм для крепления рабочего оборудования; 2 – проушины крепёжного механизма с посадочными отверстиями для пальца; 3 – технологические отверстия; 4 – зуб ковша; 5 – накладка на кромку ковша; 6 – режущая кромка с фрезерованными элементами; 7 – задняя стенка ковша; 8 – обойма для роликов; 9 – ролики вращения; 10 – передняя стенка ковша

том при заглублении и снижает силу трения за счёт перекачивания роликов по грунту.

При выполнении наиболее энергоёмкого такта копания сила, создаваемая на гидроцилиндре привода ковша через проушины 2, передаётся на крепёжный механизм 1. В момент внедрения ковша в грунт первое сопротивление грунта испытывают зубья 4. Далее при соприкосновении режущей кромки ковша 6 за счёт наличия фрезерованных элементов, расположенных на накладке 5, совершается полезная работа по разрушению «связки» зёрен грунта при минимальных значениях сопротивления резанию. Технологический угол фрезерованной заточки больше  $30^\circ$  обеспечивает направление и траекторию формирования стружки при минимальном контакте с передней стенкой 10 ковша, что значительно снижает силы сопротивления грунта резанию и трения соответственно. Для уменьшения трения и прилипания грунта с повышенной влажностью к передней стенке 10 ковша предусмотрены фрезерованные отверстия овальной формы 3, расположенные под углом друг к другу. При формировании грунтовой стружки в ковше технологические отверстия 3, взаимодействуя с обрабатываемой средой, создают воздушную прослойку, обеспечивая скольжение влажного грунта по передней стенке 10 ковша с наименьшим

сопротивлением, вместе с тем пропуская излишки накопленной влаги через переднюю стенку 10 ковша (функция дренажа).

При разработке среды с меньшей влажностью благодаря особенностям формы и расположению технологических отверстий 3 грунт не теряется, т.е. вместимость ковша используется максимально эффективно. Дальнейшее заглубление ковша сопровождается увеличением контактной площади задней стенки 7 ковша с разрабатываемым грунтом повышенной влажности. С целью снижения площади соприкосновения и уменьшения сил трения практически перед отрывом грунта в работу вступают два ряда роликов 9, помещённых в обойму 8. При контакте с забоем ролики 9 образуют воздушное пространство между задней стенкой 7 ковша и грунтом, снижая коэффициент трения. Дальнейшее продвижение ковша создаёт силу, приложенную к роликам 9, заставляя их прижиматься к забою, а реакция сил, направленная в противоположную сторону, заставляет их вращаться. Таким образом, ролики 9, перекачиваясь по забою, снижают трение грунта о металл ковша. Обойма 8 для роликов при их вращении обеспечивает самоочищение от грунта.

Внедрение корпуса ковша в грунт после предварительного разрушения уплотнительного ядра режущей кромкой с фрезерован-

ными заточками, частичного отделения грунтовой стружки от передней стенки ковша и изменения угла трения за счёт роликов требует значительно меньших энергозатрат. Следовательно, энергоёмкий процесс копания можно разделить на работу по: внедрению зубьев в грунт, заглублению и разрушению уплотнительного ядра грунта режущей кромкой ковша с фрезерованными проточками и перемещению днища ковша при его наполнении. Общая энергоёмкость разработки грунта ковшом эффективного действия с пониженным сопротивлением

$$E = \Sigma E_{з.кр} + E_{нк}, \quad (1)$$

где  $\Sigma E_{з.кр}$  – энергоёмкость, затрачиваемая на внедрение зуба ковша и разрушение уплотнительного ядра грунта режущей кромкой, (кДж·с)/м<sup>3</sup>;  $E_{нк}$  – энергоёмкость на преодоление сил сопротивления задней стенки ковша при наполнении его грунтом, (кДж·с)/м<sup>3</sup>.

Энергоёмкость, затрачиваемая на внедрение ковша и разрушение уплотнительного ядра грунта:

$$\Sigma E_{з.кр} = \frac{(A_3 n_3 t_3) + (A_{р.кр} j_{пз} t_{рк})}{0,33 q_k} \quad (2)$$

где  $A_3$  и  $A_{р.кр}$  – работа по внедрению в грунт зуба ковша и режущей кромки, кДж;  $n_3$  – количество зубьев в ковше;  $j_{пз}$  – количество пролётов между зубьями ковша;  $t_3$  и  $t_{рк}$  – время заглубления зубьев ковша и режущей кромки, с;  $q_k$  – вместимость ковша, м<sup>3</sup>.

Работа по внедрению в грунт зубьев ковша

$$A_3 = \int_0^{t_3} P_{A_3} d h_{A_3}, \quad (3)$$

где  $P_{A_3}$  – сила, образующаяся при взаимодействии зуба с грунтом, Н;  $h_{A_3}$  – перемещение зуба до его основания в точки приложения силы  $P_{A_3}$ , м.

Работа по разрушению уплотнительного ядра при заглублении в грунт режущей кромки ковша

$$A_{р.кр} = \int_0^{t_{рк}} P_{A_{р.кр}} d S_{A_{р.кр}}, \quad (4)$$

где  $P_{A_{р.кр}}$  – сила, образующаяся при заглублении режущей кромки ковша в грунт, Н;  $S_{A_{р.кр}}$  – перемещение режущей кромки до момента заглубления передней стенки ковша в точки приложения силы  $P_{A_{р.кр}}$ , м.

Энергоёмкость по преодолению сил сопротивления задней стенки ковша при наполнении его грунтом

$$E_{нк} = \frac{A_{зс} t_n}{0,67 q_k}, \quad (5)$$

где  $A_{зс}$  – работа по наполнению ковша грунтом при перемещении задней стенки, кДж;  $t_n$  – время наполнения ковша, с.

Работа по наполнению ковша при перемещении днища

$$A_{зс} = \int_0^{l_{зс}} P_{A_{зс}} dl_{зс}, \quad (6)$$

где  $P_{A_{зс}}$  – сила, образующаяся при взаимодействии задней стенки ковша с грунтом, Н;  $l_{зс}$  – длина перемещения задней стенки ковша в точки приложения силы  $P_{A_{зс}}$ , м.

Уровень повышения эффективности процесса копания от предложенных мероприятий, оценивается удельной составляющей:

$$\Delta E_{эф} = \left( 1 - \frac{E_{рк}}{E_{ск}} \right) \rightarrow 1, \quad (7)$$

где  $E_{рк}$  и  $E_{ск}$  – энергоёмкость разработанного и стандартного ковша, (кДж·с)/м<sup>3</sup>.

Для повышения эффективности процесса копания геометрические размеры ковша необходимо выбирать в соответствии с его энергоёмкостью. Так, ширину ковша следует определять по зависимости  $B_k = 1,1 \sqrt[3]{E} \cdot 7,221$ , а длину его днища –  $l_k = 0,09 \sqrt[3]{E}$ .

Использование предложенного ковша эффективного действия с пониженным сопротивлением копания обеспечивает высокую производительность, значительно снижает энергоёмкость процесса копания грунта и концентрацию внутренних напряжений в несущих элементах его конструкции, что приводит к увеличению ресурса работы.

#### Выводы:

- на основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработана конструкция ковша экскаватора с пониженным сопротивлением копанию, обеспечивающая эффективное формирование стружки в широком диапазоне реологических свойств грунта и снижение энергетических (мощностных) затрат по сравнению с существующими;

- комплекс результатов теоретических и экспериментальных исследований обогащает научную концепцию повышения

долговечности исполнительных механизмов экскаватора и открывает новые направления повышения энергоэффективности РО строительных и дорожных машин.

#### Список литературы

1. Исследование и совершенствование параметров одноковшовых экскаваторов в условиях Сибири: отчёт о НИР № 8006992 КрПИ (рук. В. П. Павлов). Красноярск: Изд-во КрПИ, 1984. 130 с.
2. Кузнецова В.Н., Завьялов А.М. Аналитический подход к описанию процесса взаимодействия рабочего органа рыхлителя с мерзлым грунтом в трёхмерном пространстве // Вестник СибАДИ. 2008. Вып. 7. С. 56–60.
3. Кузнецова В.Н., Завьялов А.М. Оптимизация формы рабочих органов землеройных машин: монография. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2008. 183 с.
4. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Обоснование критериев оценки эффективности экскаватора Komatsu PC300 // Строительные и дорожные машины. 2014. № 3. С. 9–12.
5. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Анализ эффективности работы одноковшового экскаватора // Вестник СибАДИ. Омск: Изд-во СибАДИ. 2014. Вып. 6. С. 26–33.

6. Завьялов А.М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой: дис. ... д-ра техн. наук. Омск, 1999. 252 с.

7. Tonn W. Beitrag zur Kenntnis des Verschleibvorganges beim Kurzversuch. Ztsch. f. Metallkunde, Bd. 29, N 6, 2007. S. 196–198.

8. Галдин Н.С., Семенова И.А. Определение основных параметров рыхлителя активного действия на основе гидроударного механизма к экскаватору / Качество. Инновации. Наука. Образование: материалы междунар. научн.-техн. конф. 15–17 ноября 2005 г. Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. Кн. 1. С. 151–154.

9. Пат. 2098563 Российская Федерация, E02F3/40 E02F3/40. Ковш землеройной машины / Поляков В.Г., Корнюшенко С.И., Тишков В.Е. [и др.].

10. Пат. 2167980 Российская Федерация, E02F9/28. Зуб ковша экскаватора / Соболев В.Ф., Кудинов С.Я.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Ферро Балт Плюс». № 2000126551/03; заявл. 10.12.2000; опубл. 27.05.2001, Бюл. № 24. 7 с.

*The authors of design excavator digging a low resistance, which provides effective chip formation in a wide range of rheological properties of the soil and reducing the cost of hydraulic drive cardinality in comparison with existing ones.*

**Keywords:** cutting edge of the bucket, milled holes, the core of the seal, the effective operation of the bucket.

СДМ

## Влияние ветровой нагрузки на подвижной состав канатной дороги

Вследствие неоднородного и случайного характера действия ветровые нагрузки оказывают значительное воздействие на подвижной состав канатных дорог, что является негативным фактором, требующим особого внимания и учёта при проектировании. В статье приведён метод определения автоколебаний подвижного состава подвижной канатной дороги (ПКД), основанный на использовании статистических данных наблюдений за основными параметрами ветра (скорость и её вертикальный профиль, коэффициент порывистости, плотность воздуха и др.). Предложена математическая модель автоколебаний, возбуждающим воздействием которых является циклическая ветровая нагрузка.

**Ключевые слова:** ветровая нагрузка, автоколебания, амплитуда колебаний, коэффициенты порывистости ветра, средняя скорость, физический маятник, уравнение Лагранжа второго рода.

Канатная дорога в значительной степени подвержена влиянию ветровых нагрузок. Недооценка этого фактора может привести к негативным последствиям как для конструкции дороги, так и для пассажиров. Под действием ветра кабины канатной дороги совершают автоколебания, при этом ветер выступает в качестве циклической возмущающей функции, поддерживающей автоколебательный процесс (рис. 1).

Ветер является динамической нагрузкой из-за постоянно меняющейся скорости. Влияние его порывов учитывают динамическим коэффициентом

П.Л. КУДРЯШОВ,  
К.К. ШЕСТОПАЛОВ,  
канд. техн. наук  
[МАДПУ (МАДИ)]



Рис. 1. Раскачивание кабины от порывов ветра