



# Модернизация скребково-цепного устройства щебнеочистительных машин



Виктор КОВАЛЬСКИЙ  
Viktor F. KOVALSKY

Дмитрий ФЕДАСОВ  
Dmitry S. FEDASOV



Маргарита ЧАЛОВА  
Margarita Yu. CHALOVA

*Ковальский Виктор Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Путевые, строительные машины и робототехнические комплексы» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*  
*Федасов Дмитрий Сергеевич – аспирант МИИТ, Москва, Россия.*  
*Чалова Маргарита Юрьевна – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*

**Modernization of a Scraper-Chain Device of Ballast Cleaners**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 74)

**Повышение производительности современных путевых машин ведет к росту мощности приводов исполнительных устройств. В статье предлагается один из способов модернизации цепного скребкового рабочего органа путевых щебнеочистительных машин нового поколения. Разработана методика и приведены сравнительные результаты расчётов до и после модернизации, исходя из которых явно прослеживается энергетический выигрыш предлагаемого технического решения.**

*Ключевые слова:* путевая щебнеочистительная машина, модернизация, скребково-цепной рабочий орган, удельная энергоёмкость, сила сопротивления.

Известные конструкции и способы модернизации вырезающих устройств щебнеочистительных машин сводятся в основном к увеличению мощности машины с целью повышения ее рабочей скорости и частоты вращения приводной звездочки баровой цепи. Однако такой вариант повышения производительности помимо завышенных энергозатрат характеризуется и высоким износом узлов машины.

Следует отметить, что общее сопротивление движению баровой цепи определяется как сумма следующих составляющих [1]:

- сопротивление балласта резанию  $P_1$ ;
- сопротивление от сил трения балласта о балласт в зоне вырезки  $P_2$ ;
- сопротивление от сил трения скребков о балласт в зоне вырезки  $P_3$ ;
- сопротивление балласта перемещению по желобу  $P_4$ ;
- сопротивление от трения скребковой цепи о поверхность желобов  $P_5$ .

Согласно методике расчета [1], важную роль в определении мощности и удельной

энергоёмкости играет коэффициент заполнения межскребкового пространства [2].

В ходе модернизации вырезающего устройства предлагается любым из доступных способов заменить трение скольжения на трение качения или же полностью исключить его. Самыми подходящими для этой цели составляющими служат:

- сопротивление от сил трения скребков о балласт в зоне вырезки  $P_3$ ;
- сопротивление балласта перемещению по желобу  $P_4$ ;
- сопротивление от трения скребковой цепи о поверхность желобов  $P_5$ .

Снизить силу трения скребков о балласт, как показывают наши исследования, можно за счет установки роликовых опор в нижней части скребков. В этом случае сила  $P_3$  может быть записана в виде:

$$P_3 = f_{1.1}(k_k, R)G_u \frac{B}{L_u}; \quad (1)$$

$$f_{1.1} = \frac{k_k}{R}, \quad (2)$$

где  $B$  – ширина баровой цепи, м;

$k_k$  – коэффициент трения качения стали по грунту (ввиду отсутствия экспериментальных данных для коэффициента трения качения «щебень-сталь» выбрана близкая по свойствам пара «асфальт-сталь» – 6 мм [3]), мм;

$R$  – радиус опорного ролика (исходя из конструктивных соображений для скребков машины ЩОМ-1200 модернизированного вырезающего устройства принимаем  $R = 24$  мм), мм;

$L_u$  – общая длина цепи, м;

$G_u$  – сила тяжести цепи, кН.

Силу сопротивления перемещению балласта по желобу можно существенно уменьшить за счет установки ленточных конвейеров на днище и боковую стенку рабочего желоба, скорость лент которых синхронизируется со скоростью движения скребковоцепного вырезающего устройства. В этом случае данная сила может быть определена по формуле:

$$P_4 = \rho g S_{\text{скр}} K_{\text{зан}}(B, h, k_p, V_m, V_u, S_{\text{скр}}) L_{\text{ж}} \sin \alpha_{\text{ж}}. \quad (3)$$

Здесь коэффициент заполнения межскребкового пространства определяется по следующей зависимости [3]:

$$K_{\text{зан}}(B, h, k_p, V_m, V_u, S_{\text{скр}}) = \frac{BhV_mk_p}{V_u S_{\text{скр}}}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность разрыхленного балласта, т/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$S_{\text{скр}}$  – площадь скребка, м<sup>2</sup>;

$h$  – толщина вырезаемого слоя щебня, м;

$k_p$  – коэффициент разрыхления щебнеочистительного балласта;

$V_m$  – рабочая скорость движения (подачи) машины, м/с;

$V_u$  – скорость баровой цепи, м/с;

$L_{\text{ж}}$  – длина рабочего желоба, м;

$\alpha_{\text{ж}}$  – угол наклона желоба в рабочем положении, рад.

Сила трения цепи по поверхности желобов при оборудовании их транспортерами становится равной нулю ( $P_5 = 0$ ).

Проведем сравнение результатов.

Для удобства расчета были выведены общие двухпараметрические (зависимые от скорости вращения баровой цепи и скорости подачи – движения машины) формулы расчета мощности и удельной энергоёмкости процесса – как в случае с модернизированным вырезающим устройством, так и для серийно выпускаемой щебнеочистительной машины нового поколения ЩОМ-1200.

Мощность на звездочке привода скребково-цепного рабочего органа до модернизации:

$$N_{\text{зв}} = \frac{B}{\eta_{\text{скр}}} (k_1 k_\beta k_2 h V_m + 0,5 \rho g f_2 B h V_m k_p + \frac{f_{1.1} G_u V_u}{L_u} + \rho g L_{\text{ж}} (\sin \alpha_{\text{ж}} + f_1 \cos \alpha_{\text{ж}}) h V_m k_p + \frac{2 f_1^1 G_u L_{\text{ж}} \cos \alpha_{\text{ж}} V_u}{L_u B}) + \frac{\rho f_1^1 G_u L_{\text{ж}} \cos \alpha_{\text{ж}} V_u}{\eta_{\text{скр}}} (H_{\text{ж}} + V_u^2). \quad (6)$$

Аналогичная мощность после модернизации:

$$N_{\text{зв}} = \frac{B}{\eta_{\text{скр}}} (k_1 k_\beta k_2 h V_m + 0,5 \rho g f_2 B h V_m k_p + \frac{f_{1.1} G_u V_u}{L_u} + \rho g L_{\text{ж}} \sin \alpha_{\text{ж}} h V_m k_p) + \frac{\rho B h V_m k_p}{\eta_{\text{скр}}} (H_{\text{ж}} + V_u^2). \quad (7)$$





Таблица 1

## Значения коэффициентов до модернизации

Наименование параметра	Обозначение	Величина	Размерность
Расчетное удельное сопротивление балласта резанию	$k_1$	700	кН/м <sup>2</sup>
Коэффициент, учитывающий угол резания	$k_\beta$	0,83	—
Коэффициент разрыхления щебня в шпальных ящиках	$k_2$	0,7	—
Коэффициент разрыхления загрязненного щебня	$k_p$	1,3	—
Коэффициент трения стали по балласту	$f_1$	0,45	
Коэффициент трения балласта по балласту	$f_2$	0,85	—
Коэффициент трения стали по стали при сильном абразиве	$f_1^1$	0,2	—
Плотность разрыхленного балласта	$\rho$	1,6	т/м <sup>3</sup>
Ускорение свободного падения	$g$	9,8	м/с <sup>2</sup>
КПД скребкового рабочего органа	$\eta_{скр}$	0,6	—
Высота подъема вырезанного щебня по желобу	$H_ж$	5,9	м
Длина рабочего желоба	$L_ж$	11,8	м
Ширина вырезки щебня	$B$	3,9	м
Толщина вырезаемого щебня	$h$	0,4	м
Сила тяжести цепи	$G_{ц}$	50	кН
Общая длина цепи	$L_{ц}$	30	м
Площадь скребка	$S_{скр}$	0,09	м <sup>2</sup>
Угол наклона желоба в рабочем режиме	$\alpha_ж$	0,523	рад

Таблица 2

## Значения коэффициентов после модернизации

Наименование параметра	Обозначение	Величина	Размерность
Расчетное удельное сопротивление балласта резанию	$k_1$	700	кН/м <sup>2</sup>
Коэффициент, учитывающий угол резания	$k_\beta$	0,83	—
Коэффициент разрыхления щебня в шпальных ящиках	$k_2$	0,7	—
Коэффициент разрыхления загрязненного щебня	$k_p$	1,3	—
Отношение коэффициента трения к радиусу ролика	$f_{1,1}$	0,25	—
Коэффициент трения качения для пары «асфальт-сталь»	$k_k$	6	мм
Радиус опорного ролика	$R$	24	мм
Коэффициент трения балласта по балласту	$f_2$	0,85	—
Плотность разрыхленного балласта	$\rho$	1,6	т/м <sup>3</sup>
Ускорение свободного падения	$g$	9,8	м/с <sup>2</sup>
КПД скребкового рабочего органа	$\eta_{скр}$	0,6	—
Высота подъема вырезанного щебня по желобу	$H_ж$	5,9	м
Длина рабочего желоба	$L_ж$	11,8	м
Сила тяжести цепи	$G_{ц}$	50	кН
Общая длина цепи	$L_{ц}$	30	м
Площадь скребка	$S_{скр}$	0,09	м <sup>2</sup>
Угол наклона желоба в рабочем режиме	$\alpha_ж$	0,523	рад
Ширина вырезки щебня	$B$	3,9	м
Толщина вырезаемого щебня	$h$	0,4	м

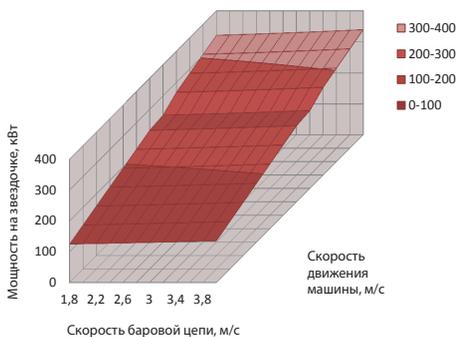


Рис. 1. Мощность на звездочке с учетом модернизации.

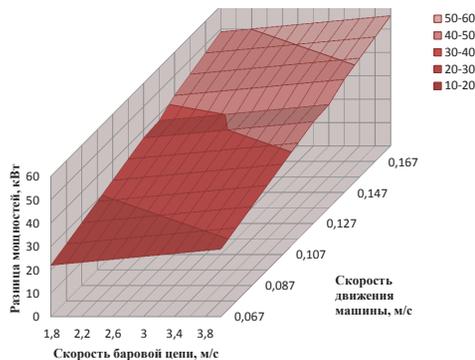


Рис. 3. Удельная энергоёмкость с учетом модернизации.

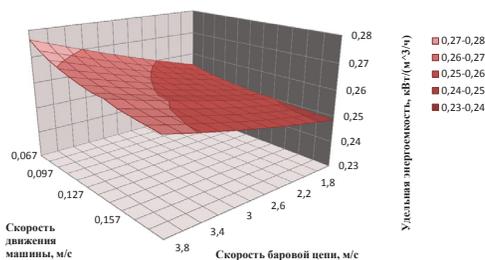


Рис. 2. Разница мощностей до и после модернизации.

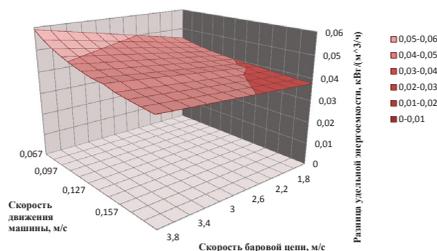


Рис. 4. Разница удельных энергоёмкостей до и после модернизации.

Формула удельной энергоёмкости в этом случае:

$$e = \frac{N_{зв}}{BhV_m k_p}$$

Исходя из технической характеристики ЩОМ-1200 в расчетах варьировались скорости машины и баровой цепи от 0,067 до 0,167 м/с и от 1,8 до 3,8 м/с соответственно. Результаты расчетов представлены на рис. 1–4.

Анализ полученных зависимостей показывает, что в результате предложенных технических решений имеется возможность снижения мощности двигателя привода вращения скребково-цепного рабочего органа путевой щетноочистительной машины ЩОМ-1200 на 50 кВт, а удельной энергоёмкости — на 21%.

## ЛИТЕРАТУРА

- Ковальский В. Ф., Чалова М. Ю. Расчет параметров щетноочистительных машин // Мир транспорта. — 2012. — № 3. — С. 34–36.
- Ковальский В. Ф., Чалова М. Ю. Совершенствование метода расчета параметров скребково-цеп-

ного исполнительного устройства щетноочистительных машин нового поколения // Путь и путевое хозяйство. — 2014. — № 10. — С. 30–31.

- Онищенко О. Г., Коробко Б. А., Ващенко К. М. Структура, кинематика и динамика механизмов. — Полтава: ПолтНТУ, 2010. — 274 с.
- Ковальский В. Ф., Чалова М. Ю. Методика и результаты оценки производительности путевых щетноочистительных машин // Приводы и компоненты машин. — 2012. — № 1. — С. 7–8.
- Plasser & Theurer. [Электронный ресурс]: <https://www.plassertheurer.com/de/maschinen-systeme/maschinensysteme-rm-802-frm-802.html>. Доступ 18.04.2016.
- Ковальский В. Ф., Неклюдов А. Н., Ковальский С. В., Чалова М. Ю. Машины для очистки балластной призмы. — Ярославль: МИИТ, 2012. — 166 с.
- Railway strategies. [Электронный ресурс]: <http://www.railwaystrategies.co.uk/article-page.php?contentid=4666&issueid=181&se=1&searchphrase=ballast%20cleaner>. Доступ 18.04.2016.
- Попович М. В., Бугаенко В. М., Волковойнов Б. Г. Путевые машины. — М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2009. — 820 с.
- Соломонов С. А., Попович М. В., Бугаенко В. М. Путевые машины. — М.: Желдориздат, 2000. — 756 с.
- Американская железнодорожная энциклопедия. [Электронный ресурс]: <http://locomo.ru/mehanizmy/mashiny-dlya-ochistki-schebnya.html>. Доступ 18.04.2016.

Координаты авторов: Ковальский В. Ф. — kovalskij@miit.ru, Федасов Д. С. — fedasovds@gmail.com, Чалова М. Ю. — margarita\_chalova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.04.2016, принята к публикации 17.07.2016.

