

Научная статья  
УДК 625.76.08:625.768.5

## Исследование дублерного вождения дорожных самоходных катков

Геннадий Владимирович Кустарев<sup>1</sup>, Никита Михайлович Андриухов<sup>2</sup>,  
Сергей Аркадьевич Павлов<sup>3</sup>

<sup>2,3</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
Москва, Россия

<sup>1</sup>proektdm@mail.ru

<sup>2</sup>nikita999-082@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2982-114X>

<sup>3</sup>blp1stw@ya.ru

**Аннотация.** Повышение эффективности дорожно-строительных машин является ключевой задачей современных ученых в этой области. Дорожные катки применяют практически везде, где идет строительство дорожного полотна. Каток, как финиширующая машина, должен обладать не только высокой производительностью, но и низкой стоимостью. Сочетанию этих факторов посвящены различные исследования. Одним из способов повышения эффективности процесса уплотнения является применение дублерного вождения самоходными катками, которое позволяет управлять одному оператору сразу несколькими катками. Дублерное вождение самоходных катков предполагает наличие связи между машинами. Связь может быть механической и немеханической. Под немеханической связью между объектами подразумевается использование радио, световой, оптической или проводной связи.

**Ключевые слова:** дорожный каток, дублерное вождение, оператор, связь, ориентация, криволинейное движение, траектория, скорость.

**Для цитирования:** Кустарев Г.В., Андриухов Н.М., Павлов С.А. Исследование дублерного вождения дорожных самоходных катков // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. № 3 (41).

Original article

## Study of group driving of self-propelled road rollers

Gennady V. Kustarev<sup>1</sup>, Nikita M. Andryukhov<sup>2</sup>, Sergey A. Pavlov<sup>3</sup>

<sup>2,3</sup>Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

<sup>1</sup>proektdm@mail.ru

<sup>2</sup>nikita999-082@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2982-114X>

<sup>3</sup>blp1stw@ya.ru

**Abstract.** Improving the efficiency of road construction machines is a key task of modern scientists in this field. Road rollers are used almost everywhere where the roadway is being built. A skating rink, as a finishing machine, must have not only high performance, but also low cost. Various studies have been devoted to the combination of these factors. One of the ways to increase the efficiency of the sealing process is the use of stand-in driving with self-propelled rollers, which allows one operator to control several rollers at once. The tanned driving of self-propelled rinks presupposes the presence of a connection between the machines. The connection can be mechanical and non-mechanical. Non-mechanical communication between objects means the use of radio, light, optical or wired communication.

**Keywords:** road roller, stand-in driving, operator, communication, orientation, curvilinear motion, trajectory, speed.

**For citation:** Kustarev G.V., Andryukhov N.M., Pavlov S.A. Study of group driving of self-propelled road rollers // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. № 3 (41).

### Введение

Сократить количество операторов для управления самоходными дорожными катками можно используя средства дублирного вождения. Существуют два направления решения этого вопроса: применение систем автоматического вождения без оператора и дублирное вождение на основе формирования комплекта из двух и более машин, управляемых одним оператором (рис. 1). Системы автоматического вождения без оператора классифицируют по способу задания программы движения. Разработке таких систем посвящены работы ряда исследователей в области автоматического вождения самоходных машин. Вопросы дублирного дистанционного управления применительно к дорожным каткам исследовались авторами в этой работе [1].

### Основная часть

Дублирное вождение самоходных машин предполагает наличие связи между ними. Связь может быть механической и немеханической. Под немеханической связью между объектами понимается использование радио, световой, оптической или проводной связи. Основные принципы

формирования такой связи известны их применение предусматривает сложную бортовую аппаратуру. При этом возникает противоречие между возможными затратами на сложное оборудование и необходимыми результатами работы комплекта, поскольку надежность функционирования немеханической связи мала в условиях частой смены траекторий движения (рис. 2, 3). В силу указанного противоречия известные разработки в области дублирного вождения землеройной и дорожной техники в основном касались формирования комплектов из двух и более машин, управляемых одним оператором, на базе построения механических способов их взаимной ориентации, то есть механической связью. В частности, известны решения по совместной работе дорожных катков во взаимном положении бок-о-бок. Однако исследований по этому вопросу в нашей стране не проводилось [2].

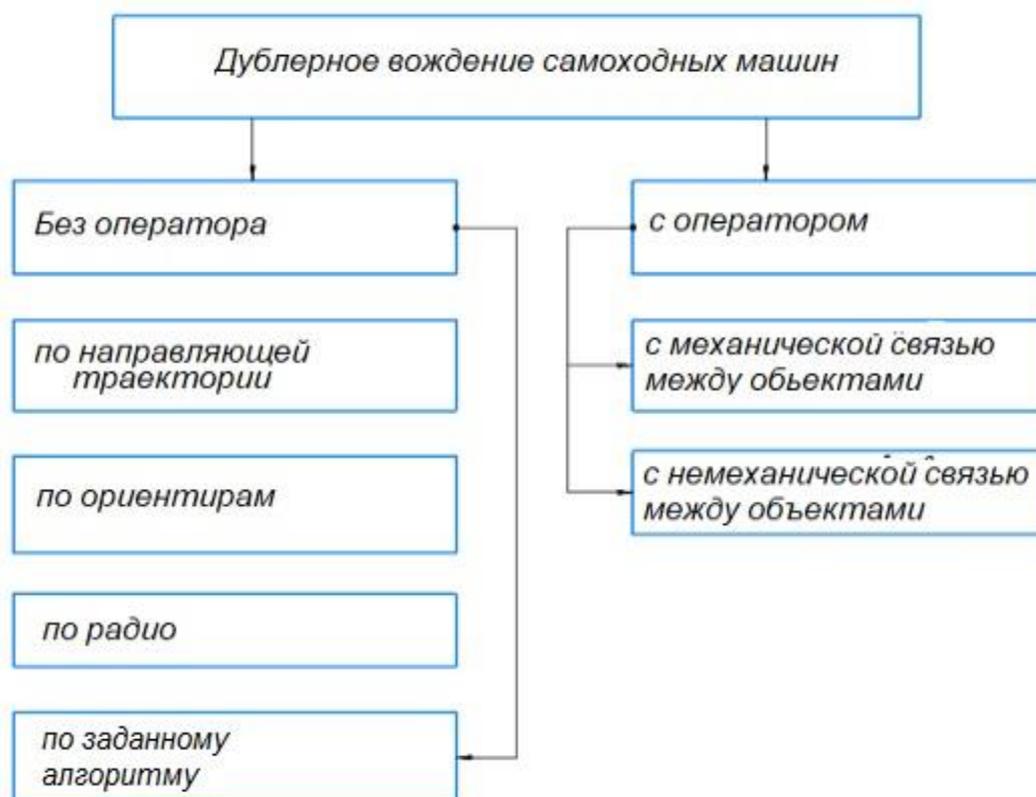


Рис. 1. Классификация способов дублирного вождения самоходных машин

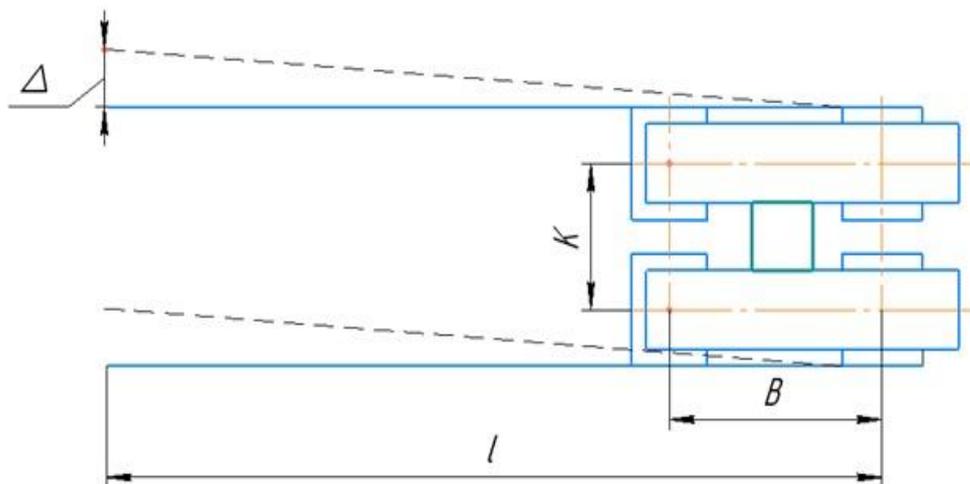


Рис. 2. Схема определения отклонения катков от заданного направления движения на прямолинейном участке траектории:  $B$  – длина базы катка;  $K$  – расстояние между осями катков;  $l$  – длина захватки;  $\Delta$  – отклонение от направления движения

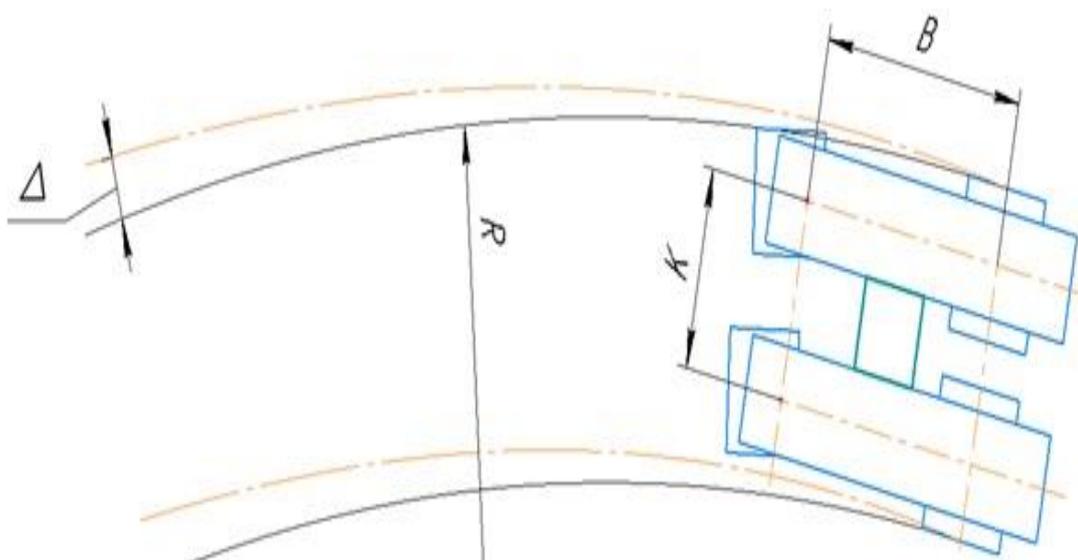


Рис. 3. Схема определения отклонения катков от заданного направления движения на криволинейном участке траектории:  $B$  – длина базы катка;  $K$  – расстояние между осями катков;  $R$  – радиус криволинейного участка;  $\Delta$  – отклонение от направления движения

## Моделирование дублирного вождения катков

В качестве примера выбран дорожный самоходный каток, предназначенный для уплотнения различных дорожно-строительных материалов и являющийся наиболее перспективной моделью, серийно выпускаемой нашей промышленностью с 1981 года. На его основе учеными кафедры «Дорожно-строительные машины» разработаны и

изготовлены две масштабные модели. Масштаб моделирования 1:14.

Параметры катка ДУ-47А в масштабных моделях приведены в таблице 1.

Для достоверности эксперимента был смоделирован коэффициент сопротивления качению. В работе [3] были получены зависимости изменений абсолютных значений математических ожиданий крутящего момента в трансмиссии катка ДУ-47А от числа проходов на различных материалах: грунте, щебне, асфальтобетонной и битумопесчаной смесей.

Из приведенных зависимостей могут быть получены средних значений коэффициентов сопротивления качению для перечисленных материалов от числа проходов по одному следу путем пересчета:

$$\bar{f} = |\bar{M}| * i * \eta * (GR_2)^{-1},$$

где  $M$  – величина крутящего момента, Нм;  $i$  – передаточное число от элемента трансмиссии, на котором проводились измерения нагрузок, до ведущего вальца;  $R_2$  – радиус ведущего вальца, м;  $G$  – вес катка, Н;  $\eta$  – к.п.д. трансмиссии.

Таблица 1

## Характеристики моделирования

Наименование параметра	Значение натурального параметра	Формула перехода	Параметры масштабной модели
Масса без балласта, кг	6000	$M_{1M} = M_{1H}/K_e^3$	2,2
Масса с балластом, кг	8000	$M_{2M} = M_{2H}/K_e^3$	2,9
Диаметр ведущего вальца, мм	1200	$D_M = D_H/K_e$	86
Диаметр ведомого вальца, мм	1000	$d_M = d_H/K_e$	71,4
Ширина ведущего вальца, мм	1200	$B_M = B_H/K_e$	86
Ширина ведомого вальца, мм	1100	$B_M = B_H/K_e$	78,6
Длина базы, мм	3000	$B_M = B_H/K_e$	214
Расчетные скорости			
1-я скорость, м/с	0,52	$v_{1M} = v_{1H}/K_v$	0,037
2-я скорость, м/с	0,87	$v_{2M} = v_{2H}/K_v$	0,062
3-я скорость, м/с	1,9	$v_{3M} = v_{3H}/K_v$	0,136

Полученные после пересчета значения коэффициентов сопротивления качению позволяют моделировать параметры материала путем подбора нужной величины силы сопротивления передвижению:

$$W_i = f G_M,$$

где  $W_i$  – сила сопротивления качению модели;  $G_M$  – вес масштабной модели;  $f$  – коэффициент сопротивления качению.

Сила сопротивления передвижению масштабной модели определялась по методике, описанной в ГОСТ 11030-74. Методика проведения экспериментальных исследований на масштабных моделях по установлению закономерностей влияния параметров уплотняющего агрегата на заданное направление движения, присоединением по схеме "бок-о-бок", предусматривает решение двух задач [4].

Первой задачей являлось определение влияния параметров сцепного устройства на сохранение заданного направления движения. Для решения задачи необходимо определить минимум функции цели:

$$F = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow \min.$$

При наличии ограничений на переменные  $X_{\text{ниж } i} \leq X_i \leq X_{\text{верх } i}$ , где  $F = Z$  – функция отклонения от заданного направления движения: для прямолинейного участка траектории движения (рис. 2)  $Z = \Delta/l$ ; для криволинейного участка траектории движения (рис. 3)  $Z = \Delta/R$ .

Переменными параметрами механизма связи являются:

- тип координаты мест присоединения;
- количество степеней свободы;
- зазор в продольном и поперечном направлениях;
- расстояние между машинами;
- скорость движения катков.

Вторая задача – установить влияние степени рассогласования

параметров отдельных катков в комплекте на их способность сохранять заданное направление движения. Целевая функция при этом не изменяется, а переменными параметрами  $X_i$  будут:

- разность чисел оборотов ведущих вальцов;
- разные углы поворота управляемых вальцов;
- разная база катков;
- разная масса катков;
- состояние смеси – жесткая, упруго-податливая, неравномерная;
- разный уклон.

В обоих случаях качество уплотнения удовлетворительное. Оценка эффективности использования уплотняющего агрегата осуществлялась по системе удельных показателей:

$$- \text{энергоемкость } N_{уд} = N/\Pi ;$$

$$- \text{материалоемкость } G_{уд} = G/\Pi ;$$

$$- \text{занятость } n_{уд} = n_{раб}/\Pi .$$

Приведенные переменные:  $N$  – суммарная мощность агрегата, Вт;  $G$  – суммарная масса агрегата, кг;  $n_p$  – количество операторов;  $\Pi$  – производительность агрегата, м<sup>2</sup>/ч.

Исходя из этого, обобщенным показателем эффективности будет выражение:

$$\Pi_{NGn} = NGn_p/\Pi^3 .$$

Показатель оценивает степень экономии энергетических, материальных и трудовых ресурсов. Для определения интегрального показателя эффективности – удельных приведенных затраты  $Z_{уд}$  следует установить связи между отдельными частными показателями дорожных катков [5].

## Выводы

Применение математической теории мультипликативных функций в качестве критерия оценки эффективности работы дорожно-строительных машин при дублирном вождении катков позволяет оценить использование всей ресурсной базы, затрачиваемой на выполнение производственной и эксплуатационной задач.

Использование и установление связей между параметрами движения и режимами работы дорожных катков в комплекте при дублирном вождении позволит сэкономить значительные финансовые затраты эксплуатационных предприятий и снизить влияние человеческого фактора (отклонение от траектории по вине оператора, выбор разных скоростных режимов операторами, разный уровень подготовки операторов) на качество уплотнения при строительстве дорожного покрытия.

## Список источников

1. Баловнев, В. И. Стенд для исследования процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, Н. М. Андрюхов // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 12. – С. 3-8. – EDN QQXMRA.
2. Тюремнов, И. С. Обоснование выбора значений коэффициентов веса показателя уплотнения для систем непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков / И. С. Тюремнов, А. С. Морев, А. С. Краюшкин // Динамика систем, механизмов и машин. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 104-110. – DOI 10.25206/2310-9793-8-1-104-110. – EDN FOWJNT.
3. Тюремнов, И. С. Математическая модель процесса уплотнения грунта вибрационным катком в режиме постоянного контакта / И. С. Тюремнов, А. А. Игнатьев // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2017. – № 6. – С. 794-803. – DOI 10.1872/MMF-2017-71. – EDN YSZWPP.
4. Ложечко, В. П. Программа выбора оптимальных комплектов катков для уплотнения асфальтобетонных смесей / В. П. Ложечко, Н. В. Николаева // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 4. – С. 14-20. – EDN XFGCRS.
5. Шишкин, Е. А. К вопросу выбора конструктивных параметров дорожного катка при уплотнении асфальтобетонной смеси / Е. А. Шишкин // Механики XXI века :

XII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, Братск, 14–16 мая 2013 года / Братский государственный университет. – Братск: Братский государственный университет, 2013. – С. 82-84. – EDN RKQMLX.

### References

1. Balovnev V.I., Danilov R.G., Andryukhov N.M. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*, 2020, no. 12, pp. 3-8.
2. Tyuremnov I.S., Morev A.S., Krayushkin A.S. *Dinamika sistem, oriyentirov i mashin*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 104-110, DOI 10.25206/2310-9793-8-1-104-110.
3. Tyuremnov I.S., Ignat'yev A.A. *Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye*, 2017, no. 6, pp. 794-803, DOI 10.1872/MMF-2017-71.
4. Lozhechko V.P., Nikolayeva N.V. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*, 2021, no. 4, pp. 14-20.
5. Shishkin Ye.A. *Mekhaniki XXI vek*, Sbornik statei, Bratsk, Bratskiy gosudarstvennyy universitet, 2013, pp. 82-84.

Рецензент: О.Ю. Улитич, канд. тех. наук, доц., МАДИ

### *Информация об авторах*

**Кустарев Геннадий Владимирович**, канд. техн. наук, доц.  
**Андрюхов Никита Михайлович**, канд. техн. наук, доц., МАДИ.  
**Павлов Сергей Аркадьевич**, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

### *Information about the authors*

**Kustarev Gennady V.**, Candidate of Sciences (Technical), associated professor.  
**Andryukhov Nikita M.**, Candidate of Sciences (Technical), associated professor, MADI.  
**Pavlov Sergey A.**, Candidate of Sciences (Technical), associated professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 05.09.2024; одобрена после рецензирования 18.09.2024; принята к публикации 19.09.2024.

The article was submitted 05.09.2024; approved after reviewing 18.09.2024; accepted for publication 19.09.2024.