

*И. А. Майба, И. И. Майба*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ СЕРИИ ЗЭС5К

**Аннотация.** Представлены результаты сравнительных тягово-энергетических испытаний локомотива серии ЗЭС5К с поосным регулированием тяги, оборудованным устройством активации трения (УАТЛ), с локомотивом серии ЗЭС5К с поосным регулированием, не оборудованным устройством активации трения УАТЛ.

Испытания локомотивов проводились в голове состава грузовых поездов массой 7078 и 7101 т на участке Красноярск-Восточный – ст. Иланская полигона Восточно-Сибирской дирекции тяги. Сравнительная оценка тягово-сцепных свойств локомотива серии ЗЭС5К № 1147, оборудованного устройством активации трения локомотивов, и локомотива серии ЗЭС5К № 1271, не оборудованного УАТЛ, проводилась в ходе анализа зарегистрированных тягово-энергетическими лабораториями параметров. Регистрация параметров проводилась при движении локомотивов по участкам лимитирующих подъёмов перегонов. По итогам обработки данных контрольных поездок испытуемых локомотивов установлено, что показатели тягово-сцепных свойств локомотивов при испытаниях в идентичных условиях у опытного электровоза ЗЭС5К № 1147, оборудованного УАТЛ, выше, чем у контрольного электровоза № 1271, не оборудованного УАТЛ.

По результатам испытаний сделаны выводы о движении поездов по участкам следования и лимитирующим подъёмам. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** устройство активации трения, тягово-энергетические испытания, показатели тягово-сцепных свойств локомотивов, сравнительные результаты применения устройств активации трения.

**Для цитирования:** Майба, И. А. Сравнительные тягово-энергетические испытания локомотивов серии ЗЭС5К / И. А. Майба, И. И. Майба // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 3. – С. 117–124. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_117.

### **Введение**

Повышение производительности локомотивов, пропускной способности участков движения в условиях организации работы локомотивного парка по полигонной технологии ограничено рядом причин, не позволяющих существенно увеличить время нахождения локомотива в эксплуатационном парке и повысить его коэффициент эксплуатационной готовности.

Одной из таких причин являются отцепки локомотивов от поездов (сход с кольца) между плановым техническим обслуживанием в объёме ТО-2 по причине неисправности системы пескоподачи или необходимости пополнения песком. В результате схода с кольца и потерь времени при производстве технических операций по внеплановому обслуживанию, экипировке и ремонту, вызванных остановами локомотивов, существенно снижается один из качественных ключевых показателей работы локомотивов – участковая скорость движения поезда [1, 2].

Одной из причин необходимости схода локомотива с кольца является нарушение функционирования системы пескоподачи локомотивов, отказы которой, а также необходимость экипировки приводят к увеличению времени простоев подвижного состава и, соответственно, к росту экономических потерь ОАО «РЖД». Проведённый анализ количества «сходов с кольца» по ст. Тайшет за 2018–2021 гг. показал, что неисправности песочной системы составляют до 11 % от общего числа отказов парка электровозов и приводят к выводу локомотива из эксплуатации [3]. Недостаток песка в песочной системе локомотива также влечет за собой постановку локомотива в ТО-2 и приносит компании ОАО «РЖД» значительные убытки, осложняя работу смежных служб в организации деятельности станции и движения грузовых поездов на всем участке [4].

### **Материалы и методы исследований**

С целью оценки тягово-сцепных свойств электровозов, оборудованных устройствами активации трения локомотивов (УАТЛ), при их движении в голове состава грузовых поездов массой до

7100 тонн на участке Красноярск-Восточный – станция Иланская в ноябре 2022 года были организованы испытания локомотивов серии ЗЭС5К, оборудованных и не оборудованных системой УАТЛ при их движении в чётном направлении.

Объекты испытаний. Электровозы серии ЗЭС5К № 1147 (оборудован УАТЛ), № 1271 (не оборудован УАТЛ, оборудован песочными форсунками инжекторного типа).

Цель испытаний. Сравнительные тягово-энергетические испытания локомотива серии ЗЭС5К с поосным регулированием тяги, оборудованным УАТЛ, с локомотивом серии ЗЭС5К с поосным регулированием, не оборудованным УАТЛ.

Для проведения испытаний были задействованы две тягово-энергетические лаборатории и локомотивы прикрытия. Испытания проводились с перекрытыми кранами песка на опытном локомотиве с УАТЛ. За опытным электровозом ЗЭС5К № 1147 следовал контрольный поезд с локомотивом ЗЭС5К № 1271, у которого предупреждение боксования производилось штатной системой пескоподачи.

Основные технические характеристики объекта испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Значение характеристики
1	Количество секций локомотива	–	3
2	Количество осей локомотива	–	12
3	Длина локомотива	м	52,5
4	Осевая формула	–	3(2о-2о)
5	Расчётная масса локомотива	т	300
6	Сцепная масса локомотива	т	300
7	Конструкционная скорость локомотива	км/ч	110

Климатические условия при проведении испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Дата	Температура, °С		Влажность, %		Давление		Осадки
		окружающего воздуха	внутри лаборатории	атмосферная	внутри лаборатории	мм рт.ст	МПа	
1	29.11.22	-14,7...-8,1	+24...+26	47...70	20...21	743,4... 770,5	0,0991... 0,1027	нет

### Программа испытаний

Нормы массы грузовых поездов, установленные приказом по Дирекции тяги: на участке Мариинск – Юрты для локомотива серии ЗЭС5К с поосным регулированием тяги – 7100 тонн с условиями соблюдения межпоездного интервала не менее 15 минут по станциям транзитного следования и обеспечения безостановочного пропуска по главным путям станций, отсутствия ограничений скорости менее 50 км/ч на установленных километрах участков пути в четном направлении.

Характеристики экспериментальных поездов представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Дата	Участок	№ поезда	Масса поезда брутто, т	Кол-во осей	Кол-во физических вагонов	Кол-во условных вагонов	Вид груза
1	29.11.2022	Красноярск-Вост. – Иланская	9606	7078** (6827+200+51)	308** (296+8+4)	77** (74+2+1)	77** (74+2+1)	уголь
2	29.11.2022	Красноярск-Вост. – Иланская	9644	7101* (6901+200)	292* (284+8)	73* (71+2)	74* (72+2)	уголь

\* с учетом электровоза прикрытия 2ЭС5К № 545 (200 т, 8 осей)

\*\* с учетом электровоза прикрытия 2ЭС5К №528 (200 т, 8 осей) и ТЭЛ (51 т, 4 осей)

Схема формирования экспериментального поезда на участке, не требующем дополнительной тяги представлена на рис. 1.



Рис. 1

Участки следования поездов и характеристики руководящих (лимитирующих) подъёмов перегонов представлены в табл. 4.

Таблица 4

№ п/п	Лимитирующий подъем перегона	Длина элемента профиля пути, м	Величина уклона с учетом сопротивления от кривых (+подъем/-спуск), ‰	Радиус кривых, м	Процент длины кривых, от протяженности, %
1	Сорокино – Таежный	4160,1–4163,7	+10	3600	---
2	Таежный – Камарчага	4164,3–4172,9	+10,1	8600	637 – 637
3	Камарчага – Балай	4192–4198,7	+9,7	6700	642 – 726
4	Балай – Уяр	4213,3–4216,2	+10,3	2900	648 – 653
5	Заозерная – Камала	4265–4272,2	+10,7	7200	486 – 572
6	Камала – Солянка	4285–4296,3	+9,9	11300	486 – 594
7	Солянка – Филимоново	4303,7–4307,7	+10,6	4000	---
8	Филимоново – Солянка	4316,9–4325,7	-10,4	8800	456 – 677
9	Камала – Заозерная	4272,5–4275,8	–	3300	434 – 544
10	Заозерная – Громадская	4252,9–4263,5	-10,1	10600	453 – 543
11	Камарчага – Таежный	4174,1–4177,2	-10	3100	293 – 528

### Результаты исследований

Схема профиля пути лимитирующего подъема на перегоне Таежный – Камарчага представлена на рис. 2.

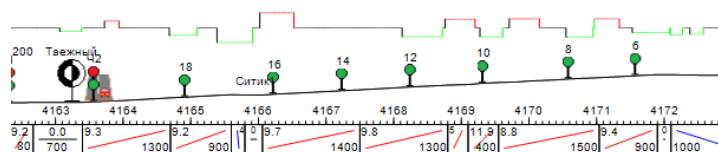


Рис. 2

Основные характеристики поезда и пути на перегоне Таежный – Камарчага представлены в табл. 5.

Таблица 5

Дата	Участок	№ поезда	Масса, т	Кол-во осей	Длина поезда, м
29.11.22	Красноярск-Вост. – Иланская	9606	7078	307	1078
29.11.22		9644	7101	292	1036
Лимитирующий подъем перегона		Км подъема	Величина подъема, ‰	Радиус кривых, м	% длины кривых
Таежный – Камарчага		4164,3 – 4172,9	10,1	313	64

Зарегистрированные параметры тягово-цепных свойств на перегоне Таежный – Камарчага представлены в табл. 6.

Таблица 6

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измер.	Допуск	Факт электровоза с УАТЛ	Факт электровоза без УАТЛ
1	Осадки	–	–	–	–
2	Атмосферная влажность, $G_a$	%	–	70-91	52-68
3	Атмосферное давление, $P_a$	мм рт.ст. МПа	–	745-767 0,099-0,102	743-753 0,099-0,100
4	Температура окружающего воздуха, $t_a$	°С	–	–13...–9	–12...–10
5	Условия сцепления колесных пар	уд./неуд.	–	уд.	уд.
6	Скорость входа на подъем	км/ч	–	55,3	51,5
7	Минимальная скорость на подъеме	км/ч	44,8	34	18,4
8	Время следования по перегону	мин	–	22	24
9	Время следования по подъему	мин	11,5	11	15
10	Расстояние, пройденное со скоростью менее расчетной	м	500	3450	6402
11	Позиция (зона) регулирования контроллера, соединение ТЭД	–	0,5 IV зоны (расчетная)	4-3 зона НВ	4-2 зона НВ
12	Сила тяги локомотива (касательная), $F_k$	тс	100 ( $V \leq 10$ км/ч); 136 ( $V > 10$ км/ч)	75,45	72,5
		кН	982 ( $V \leq 10$ км/ч); 1333 ( $V > 10$ км/ч)	739,91	711,225
13	Реализованный ПКС, $\psi_{kr}$	–	2,7	2,52	2,42
14	Сила тяги на автосцепке, $F$	тс	96,8 ( $V \leq 10$ км/ч); 132,5 ( $V > 10$ км/ч)	81,8	78,1
		кН	950 ( $V \leq 10$ км/ч); 1300 ( $V > 10$ км/ч)	802	766
15	Напряжение тягового двигателя, $U_d$	В	1000	580–912	343–382
16	Ток тягового двигателя, $I_d$	А	870 (расчетный)	551–970	843–885
17	Мощность тягового двигателя, $P_d$	кВт	820	757	296
18	Суммарная, реализуемая мощность тяговыми двигателями, $\Sigma P_d$	кВт	9840	9082,5	3549
19	Температура лимитирующих обмоток тягового двигателя (лимитирующего оборудования), $T_d$	°С	160	107	121
20	Количество боксующих колесных пар	шт	2	0	0
21	Использование песка для предотвращения боксования от времени следования по подъему	%	25–45	–	–
22	Минимальное напряжение в контактной сети	кВ	21–29	22	22,1

Схема профиля пути лимитирующего подъема на перегоне Камала – Солянка представлена на рис. 3.

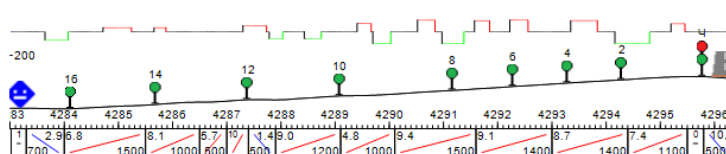


Рис. 3

Основные характеристики поезда и пути на перегоне Камала – Солянка приведены в табл. 7.

Таблица 7

Дата	Участок	№ поезда	Масса, т	Кол-во осей	Длина поезда, м
29.11.22	Красноярск-Вост. – Иланская	9606	7078	307	1078
29.11.22		9644	7101	292	1036
Лимитирующий подъем перегона		Км подъема	Величина подъема, ‰	Радиус кривых, м	% длины кривых
Таежный – Камарчага		4285 – 4296,3	9,9	401	49

Зарегистрированные параметры тягово-сцепных свойств на перегоне Камала – Солянка представлены в табл. 8.

Таблица 8

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измер.	Допуск	Факт электро-воза с УАТЛ	Факт электро-воза без УАТЛ
1	Осадки	–	–	–	–
2	Атмосферная влажность, $G_a$	%	–	79–83	49–55
3	Атмосферное давление, $P_a$	мм рт.ст. МПа	–	753–762 0,100–0,101	751–761 0,100–0,101
4	Температура окружающего воздуха, $t_a$	°С	–	–10	–9...–8
5	Условия сцепления колесных пар	уд./неуд.	–	уд.	уд.
6	Скорость входа на подъем	км/ч	–	60,2	57,8
7	Минимальная скорость на подъеме	км/ч	44,8	44,3	33,8
8	Время следования по перегону	мин	–	21	20
9	Время следования по подъему	мин	11,5	12	14
10	Расстояние, пройденное со скоростью менее расчетной	м	500	136	3308
11	Позиция (зона) регулирования контроллера, соединение ТЭД	–	0,5 IV зоны (расчетная)	4 зона НВ	4-3 зона НВ
12	Сила тяги локомотива (касательная), $F_k$	тс	100 ( $V \leq 10$ км/ч); 136 ( $V > 10$ км/ч)	74,6	70,2
		кН	982 ( $V \leq 10$ км/ч); 1333 ( $V > 10$ км/ч)	739,91	711,225
13	Реализованный ПКС, $\psi_{кр}$	–	2,7	2,48	2,34
14	Сила тяги на автосцепке, $F$	тс	96,8 ( $V \leq 10$ км/ч); 132,5 ( $V > 10$ км/ч)	81,6	77,5
		кН	950 ( $V \leq 10$ км/ч); 1300 ( $V > 10$ км/ч)	800	760
15	Напряжение тягового двигателя, $U_d$	В	1000	580–912	343–382
16	Ток тягового двигателя, $I_d$	А	870 (расчетный)	551–970	843–885
17	Мощность тягового двигателя, $P_d$	кВт	820	781	522
18	Суммарная, реализуемая мощность тяговыми двигателями, $\Sigma P_d$	кВт	9840	9468	6262
19	Температура лимитирующих обмоток тягового двигателя (лимитирующего оборудования), $T_d$	°С	160	104	94
20	Количество боксующих колесных пар	шт	2	8	0
21	Использование песка для предотвращения боксования от времени следования по подъему	%	25–45	–	0
22	Минимальное напряжение в контактной сети	кВ	21–29	24,3	22,6

### Заключение

Сравнительная оценка тягово-сцепных свойств локомотива серии ЗЭС5К № 1147, оборудованного устройством активации трения локомотивов, и локомотива серии ЗЭС5К № 1271, не оборудованного УАТЛ, проводилась в ходе анализа зарегистрированных тягово-энергетическими лабораториями параметров. Регистрация параметров проводилась при движении локомотивов по участкам лимитирующих подъёмов перегонов.

Сравнительный анализ представленных в таблице 6 и 7 зарегистрированных параметров, характеризующих тягово-сцепные свойства испытуемых локомотивов при движении в голове тяжеловесных поездов по участкам, имеющим лимитирующие подъёмы на перегонах с величинами подъёмов 9,9 и 10,1 % с процентом кривых малого радиуса более 49 %, показал следующее:

1 По итогам обработки данных контрольных поездок испытуемых локомотивов установлено, что показатели тягово-сцепных свойств локомотивов при испытаниях в идентичных условиях у опытного электровоза ЗЭС5К № 1147, оборудованного УАТЛ, выше, чем у контрольного электровоза № 1271, не оборудованного УАТЛ.

2 У опытного электровоза с УАТЛ зафиксировано увеличение не менее чем на 5,2 % среднего значения силы тяги на автосцепке, на 4 % – реализованного коэффициента сцепления и не менее чем на 50 % – суммарной реализуемой мощности тяговыми двигателями.

### Список литературы

1 **Белозеров, В. Л.** «Вечные» вопросы организации движения поездов на двухпутных участках / В. Л. Белозеров, А. А. Грачёв // Известие Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 397–405. – ISSN 1815-588X.

2 Повышение эффективности фрикционной системы «колесо – рельс» / В. В. Шаповалов, П. Н. Щербак, В. М. Богданов [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2019. – Т. 78, № 3. – С. 177–182. – DOI 10.21780/2223-9731-2019-78-3-177-182.

3 Анализ влияния технического состояния песочных систем локомотивов на количество внеплановых ремонтов тягового подвижного состава и пути совершенствования их конструкции / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов, А. В. Ромашов // Современные технологии, анализ и моделирование. – 2023. – № 3 (79). – С. 146–158. – DOI 10.26731/1813-9108.2023.3(79).146-158.

4 **Корсаков, Н. В.** Разработка устройства дистанционного контроля уровня песка в бункере электровоза / Н. В. Корсаков, А. О. Линьков // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 2 (12). – С. 17–23.

5 Повышение работоспособности колёсных пар подвижного состава: монография / О. С. Валинский, А. А. Воробьёв, С. И. Губенко [и др.]; под ред. И. А. Иванова. – Казань: Бук, 2022. – 324 с. – ISBN 978-5-00118-870-4.

6 **Лужнов, Ю. М.** Управление фрикционным взаимодействием колёс подвижного состава с рельсами – резерв снижения себестоимости перевозочной работы / Ю. М. Лужнов, А. Т. Романова // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. – 2016. – № 3. – С. 11–15. – ISSN 2411-9520.

### References

1 **Belozеров, V. L.** “Eternal” issues of organizing train traffic on double-track sections / V. L. Belozеров, A. A. Grachev // Proceedings of Petersburg Transport University. – 2017. – Vol. 14, No. 3. – P. 397–405. – ISSN 1815-588X.

2 Improving the efficiency of the “wheel-rail” friction system / V. V. Shapovalov, P. N. Shcherbak, V. M. Bogdanov [et al.] // Russian Railway Science Journal. – 2019. – Vol. 78, No. 3. – P. 177–182. – DOI 10.21780/2223-9731-2019-78-3-177-182.

3 Analysis of the influence of the technical condition of locomotive sand systems on the number of unscheduled repairs of traction rolling stock and ways to improve their design / S. V. Treskin, E. Yu. Dulsky, P. Yu. Ivanov, A. V. Romashov // Modern technologies, analysis and modeling. – 2023. – No. 3 (79). – P. 146–158. – DOI 10.26731/1813-9108.2023.3(79).146-158.

4 **Korsakov, N. V.** Development of a device for remote control of the sand level in the bunker of an electric locomotive / N. V. Korsakov, A. O. Linkov // Young Science of Siberia. – 2021. – No. 2 (12). – P. 17–23.

5 Improving the performance of wheel sets of rolling stock: monograph / O. S. Valinsky, A. A. Vorobyov, S. I. Gubenko [et al.]; edited by I. A. Ivanov. – Kazan: Buk, 2022. – 324 p. – ISBN 978-5-00118-870-4.

6 **Luzhnov, Yu. M.** Control of frictional interaction of rolling stock wheels with rails – a reserve for reducing the cost of transportation work / Yu. M. Luzhnov, A. T. Romanova // Innovative economics: information, analytics, forecasts. – 2016. – No. 3. – P. 11–15. – ISSN 2411-9520.

7 **Майба, И. А.** Фрикционные материалы специального назначения для зоны контакта «колесо – рельс» : монография / И. А. Майба, Д. В. Глазунов, А. М. Ананко. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. – 123 с. – ISBN 978-5-88814-523-4.

8 Улучшение сцепления колёс железнодорожного экипажа с рельсами подачей в область контакта частиц окалины или магнетита / И. И. Соснов, Ю. Ю. Осенин, Ю. И. Осенин [и др.] // Трение и износ. – 2018. – № 4. – С. 415–420. – ISSN 0202-4977.

9 **Kolesnikov, V. I.** Friction, Wear, and Monitoring of Heavily Loaded Tribosystems : An Innovative Approach to Studying the Processes / V. I. Kolesnikov, A. L. Ozyabkin, E. S. Novikov / Journal of Friction and Wear, 2019. – P. 292–302. – DOI 10.3103/S1068366619040056.

7 **Maiba, I. A.** Special-purpose friction materials for the wheel-rail contact zone : monograph / I. A. Maiba, D. V. Glazunov, A. M. Ananko. – Rostov-on-Don : Rostov State Transport University, 2017. – 123 p. – ISBN 978-5-88814-523-4.

8 Improving the adhesion of railway vehicle wheels to rails at the point of contact of scale or magnetite particles / I. I. Sosnov, Yu. Yu. Osenin, Yu. I. Osenin [et al.] // Friction and wear. – 2018. – No. 4. – P. 415–420. – ISSN 0202-4977.

9 **Kolesnikov, V. I.** Friction, Wear, and Monitoring of Heavily Loaded Tribosystems : An Innovative Approach to Studying the Processes / V. I. Kolesnikov, A. L. Ozyabkin, E. S. Novikov / Journal of Friction and Wear, 2019. – P. 292–302. – DOI 10.3103/S1068366619040056.

*I. A. Maiba, I. I. Maiba*

### COMPARATIVE TRACTION AND ENERGY TESTS OF LOCOMOTIVES OF THE 3ES5K SERIES

**Abstract.** The results of comparative traction-energy tests of a 3ES5K locomotive with axial traction control, equipped with a friction activation device (FAD), with a locomotive of the 3ES5K series with axial control, not equipped with a FAD friction activation device, are presented.

The locomotives were tested at the head of freight trains weighing 7,078 tons and 7,101 tons on the Krasnoyarsk – Vostochny – Ilanskaya station section of the East Siberian Traction Directorate. A comparative assessment of the traction and coupling properties of the 3ES5K series locomotive No. 1147, equipped with a locomotive friction activation device, and the 3ES5K series locomotive No. 1271, not equipped with a FAD, was carried out during the analysis of the parameters recorded by traction and energy laboratories. The parameters were recorded when the locomotives were moving along the sections of the limiting grades of the tracks. Based on the results of processing data from control runs of the tested locomotives, it was found that the traction and coupling properties of locomotives during tests under identical conditions were higher for experimental 3ES5K electric locomotive No. 1147 equipped with a FAD, than for control electric locomotive No. 1271 not equipped with a FAD.

Based on the test results, conclusions were drawn about the movement of trains along the sections of the route and the limiting ascents. A comparison of the obtained experimental data is carried out.

**Keywords:** friction activation device, traction and energy tests, traction and coupling properties of locomotives, comparative results of the use of friction activation devices.

**For citation:** Maiba, I. A. Comparative traction and energy tests of locomotives of the 3ES5K series / I. A. Maiba, I. I. Maiba // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 3. – P. 117–124. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_117.

#### Сведения об авторах

##### **Майба Игорь Альбертович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
факультет «Дорожно-строительные машины»,  
доктор технических наук, профессор, декан,  
e-mail: mia@rgups.ru

#### Information about the authors

##### **Maiba Igor Albertovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair “Road Construction Machinery”,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Dean,  
e-mail: mia@rgups.ru

**Майба Илья Игоревич**

Ростовский государственный университет путей  
сообщения (РГУПС),  
кафедра «Проектирование и технология  
производства машин»,  
аспирант,  
e-mail: tmt@rgups.ru

**Mayba Ilya Igorevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair "Machine design and Production  
Technology",  
Postgraduate Student,  
e-mail: tmt@rgups.ru