

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПОВ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ  
КОЛЁСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ ПРОИЗВОДСТВА  
АО «ТРАНСМАШХОЛДИНГ» НА РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИГОНАХ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ

ГОРИН АНТОН ВЛАДИМИРОВИЧ

ООО «ЦЕНТР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТМХ»

# ОБЪЕКТ И ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований – бандажи колесных пар в составе экипажной части локомотивов серии ЭС5К и ТЭ10М.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

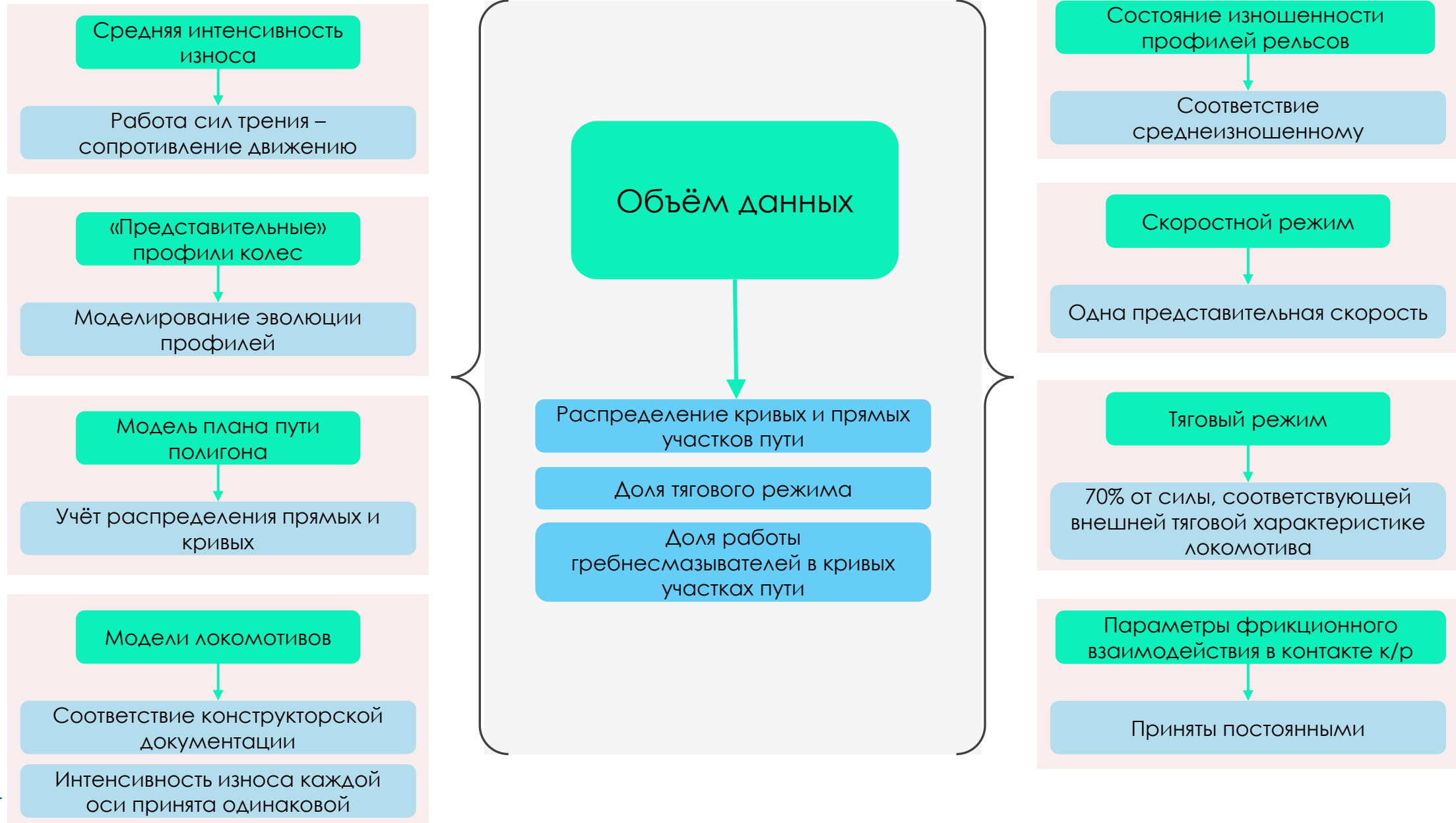
Определение зависимости показателей интенсивности износа колёс от факторов, влияющих на износ и сравнительная оценка показателей интенсивности износа колес на различных полигонах эксплуатации. Полученные данные могут быть распространены на все бандажи, входящие в состав двухосных и трехосных тележек локомотивов.

## МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Компьютерное моделирование средствами программного комплекса «Универсальный механизм».



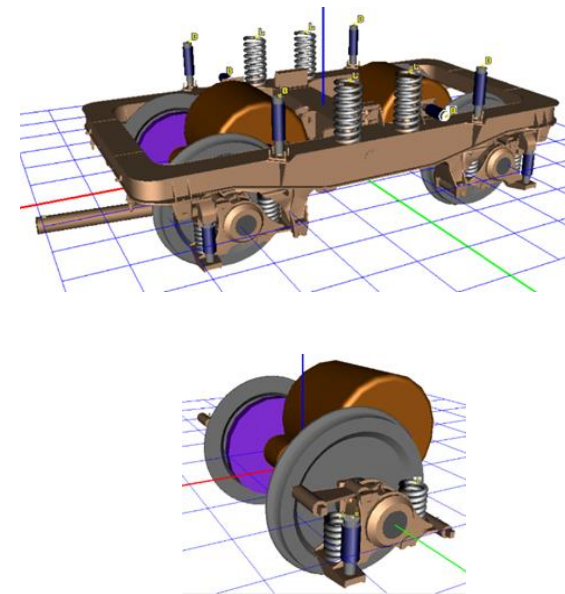
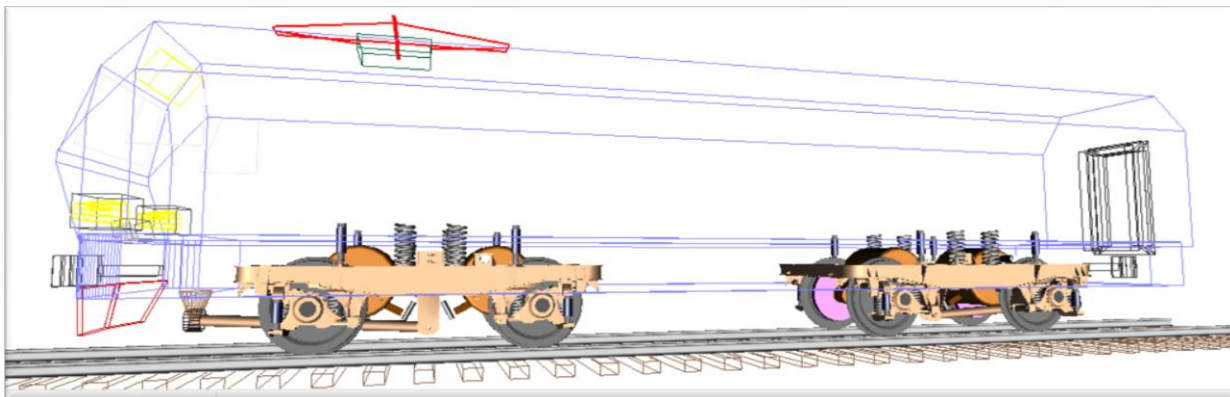
# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ



МОДЕЛИ



# МОДЕЛЬ СЕКЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗА СЕРИИ ЭС5К

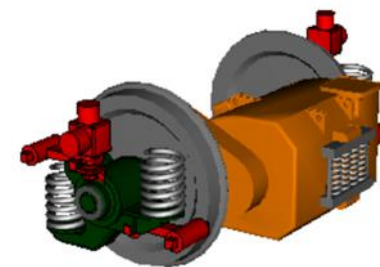
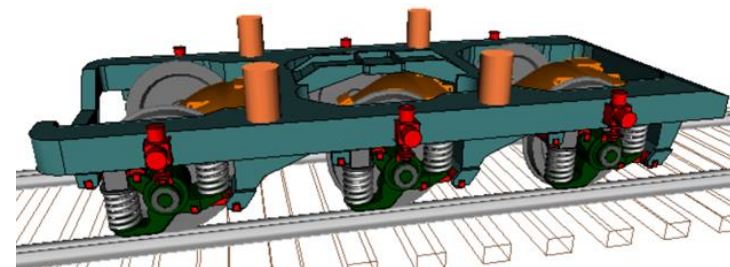
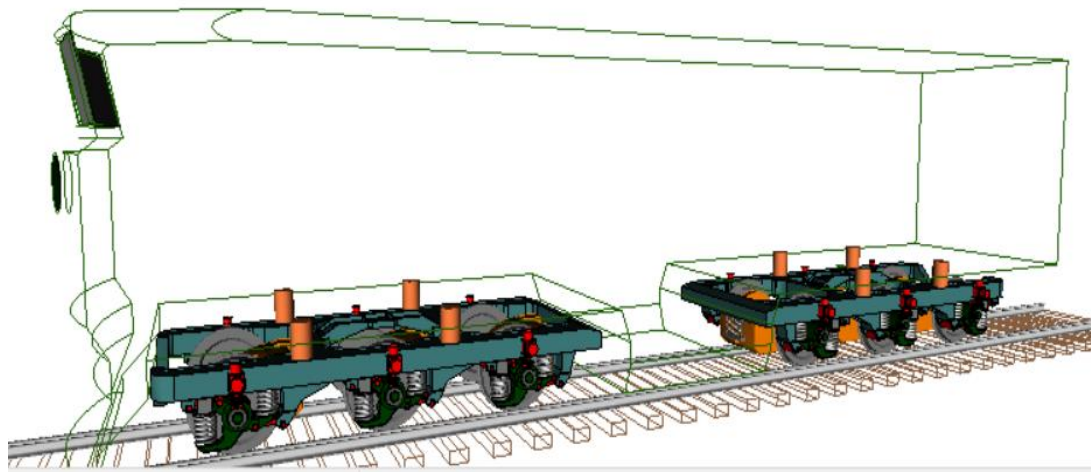


Модель одной секции электровоза содержит:

- 39 тел,
- 39 шарниров,
- 86 силовых элементов
- и имеет 82 степени свободы.

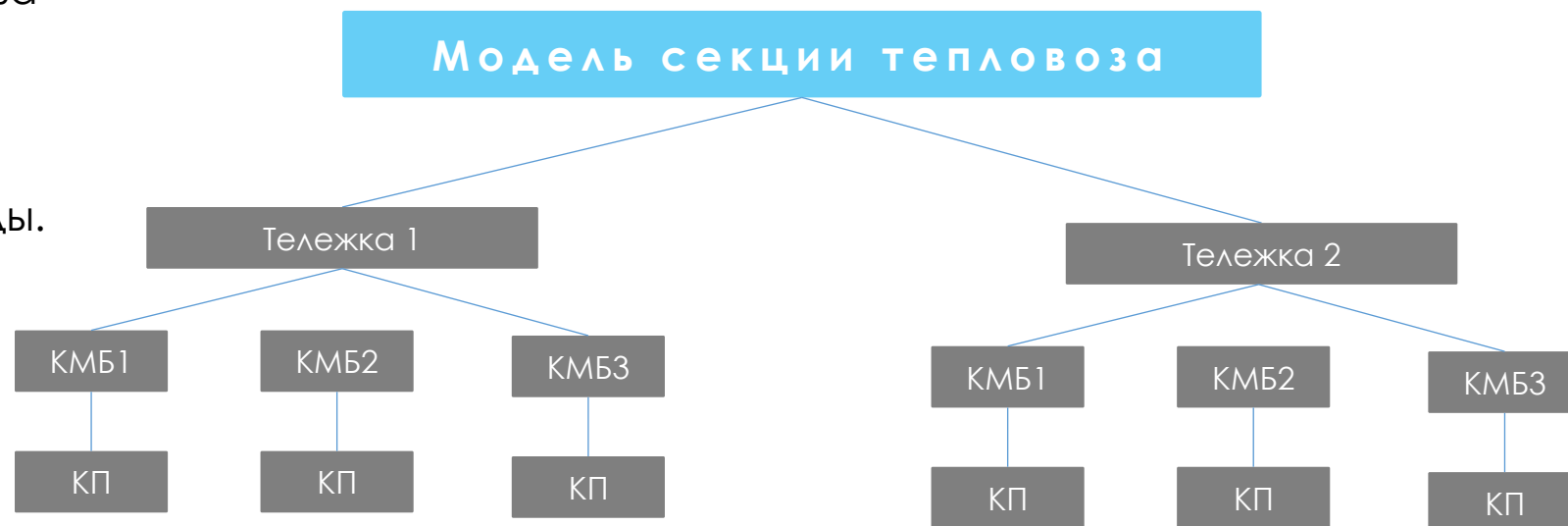


# МОДЕЛЬ СЕКЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗА СЕРИИ ТЭ10М



Модель одной секции тепловоза содержит:

- 57 тел,
- 57 шарниров,
- 116 силовых элементов
- и имеет 124 степени свободы.

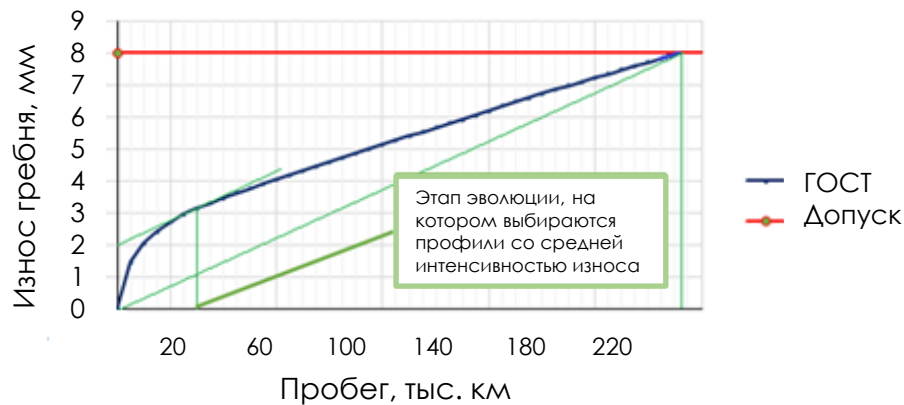






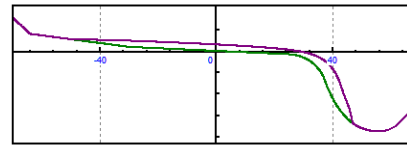
# ИССЛЕДУЕМЫЕ ПРОФИЛИ БАНДАЖЕЙ

- 3 начальных профиля колес: ГОСТ 11018; ДМети ЛБ; Зинюка-Никитского.
- Для анализа факторов и базовых расчетов использовались среднеизношенные («представительные») профили, которые образуются на том этапе эволюции, на котором интенсивность износа соответствует средней интенсивности износа за весь период эволюции профиля до достижения предельного износа.
- Для получения представительных профилей выполнено моделирование эволюции трех профилей в составе электровоза и тепловоза.

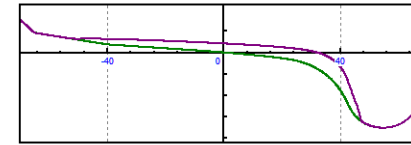


**ТЭ10М:**

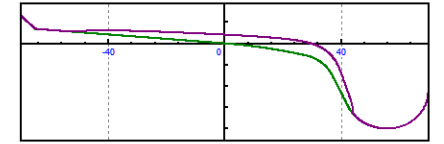
ГОСТ 11018



ДМети

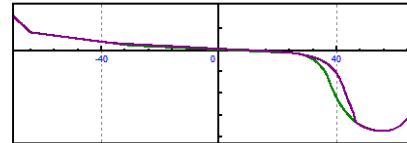


Зинюка-Никитского

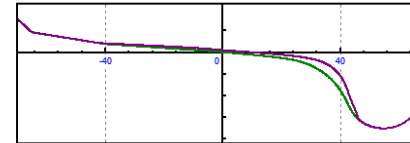


**ЭС5К:**

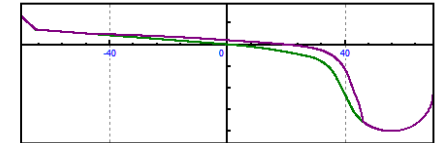
ГОСТ 11018



ДМети



Зинюка-Никитского





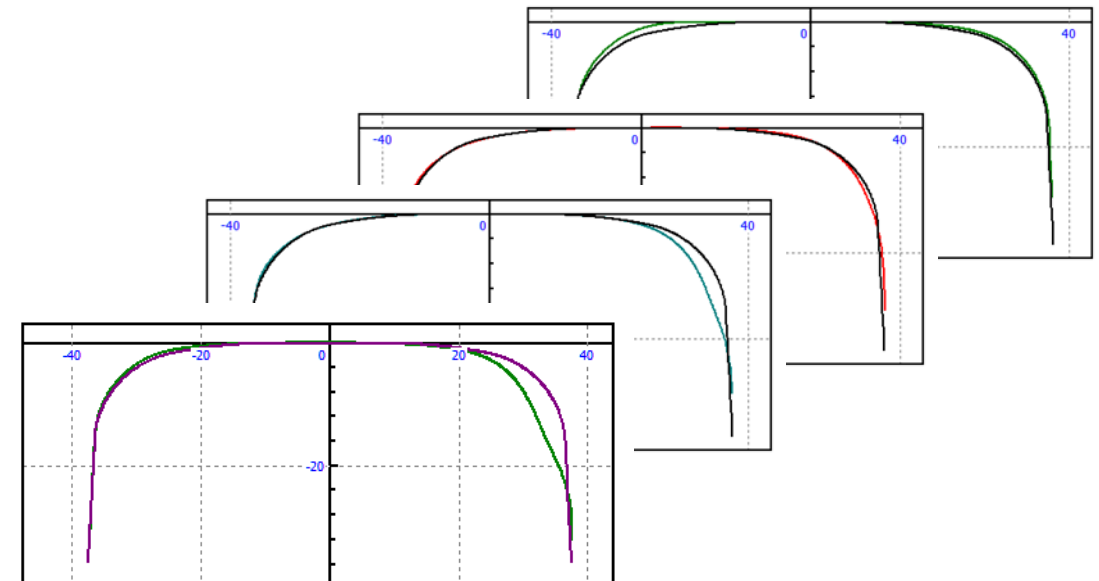
# МОДЕЛЬ ПУТИ

- Использована модель с инерционным рельсом и моделями контактных сил В. Кика и И. Пиотровского.
- Структура профилей пути в плане представлена набором, включающим прямую и кривые участки пути в диапазоне радиусов до 450 м, 800 м и 1200 м.
- Профили рельсов соответствует средне изношенному состоянию
- Для моделирования микронеровностей пути использовались данные путеизмерителя, полученные на ДВЖД

Протяженность кривых и прямых участков на все сети Ж.Д.

Параметр	Значение			
Диапазон, м	0 ÷ 450	450 ÷ 800	800 ÷ 1200	> 1200
Расчетное значение, м	R = 300	R = 600	R = 1000	R = ∞

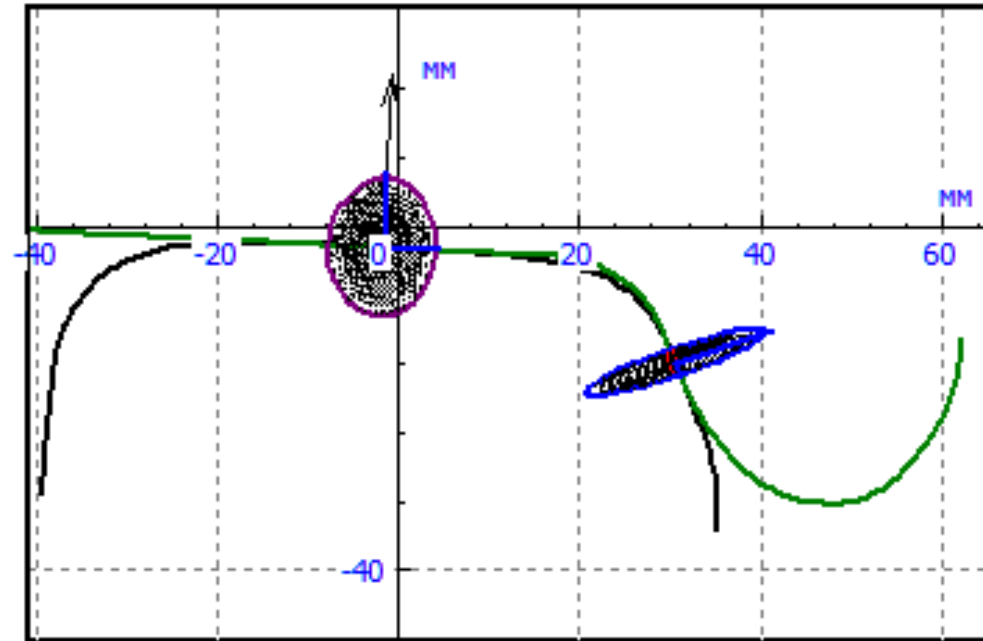
■ R=300 м    ■ R=600 м    ■ R=1000 м    ■ Прямая



# МОДЕЛЬ ПУТИ

Параметры фрикционного взаимодействия в контактах колеса и рельса определяются коэффициентами трения\*:

- При движении по прямым:
  - 0,25 – на поверхности катания;
  - 0,3 – на боковой поверхности рельса;
- При движении по кривым:
  - без гребнесмазывателя: 0,25 – на поверхности катания; 0,3 – на боковой поверхности рельса;
  - с гребнесмазывателем: 0,25 – на поверхности катания; 0,3 – на боковой поверхности внутреннего рельса и 0,15 – на боковой поверхности наружного рельса



\* - Трифонов А. А. Влияние трибологического состояния рельсов на взаимодействие колес подвижного состава и пути: дис. канд. тех. наук – М., 2019.

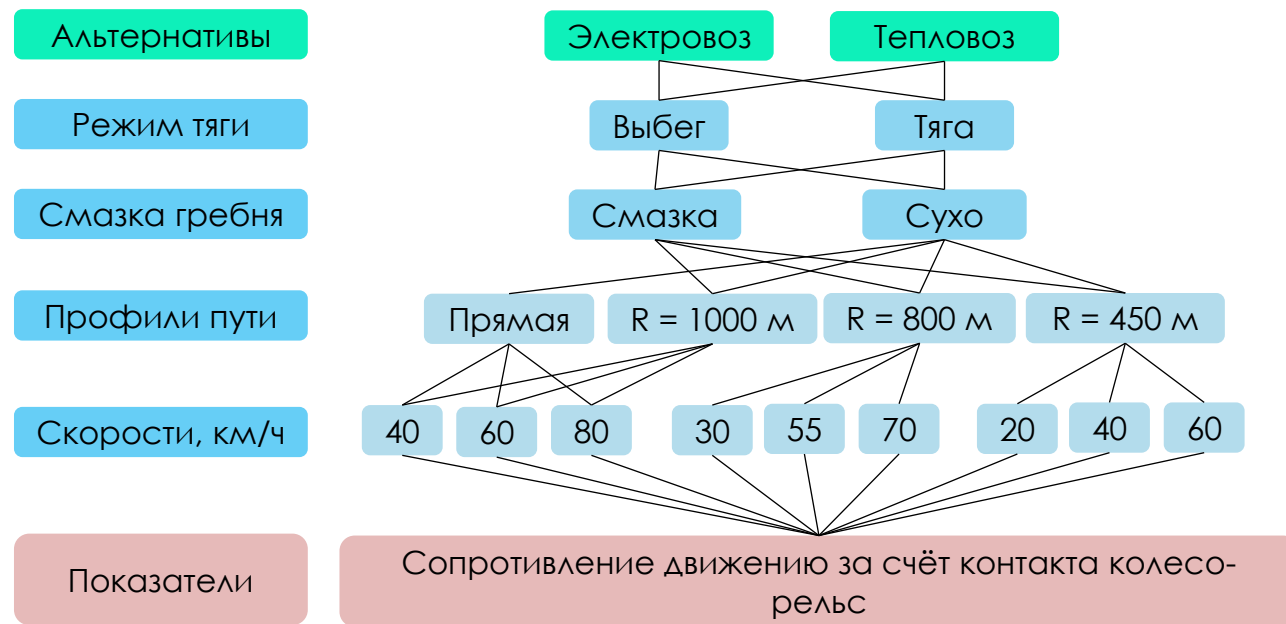
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ



# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

## Три основных этапа исследований:

1. Анализ влияния факторов на интенсивность износа профилей колес. **Выполняются расчеты по плану ПФЭ типа 2<sup>2</sup>.**
2. Разработка инструмента для Оперативной Оценки Профилей Колес (ООПК) на полигонах эксплуатации локомотивов по критерию интенсивности износа. **Выполняются базовые расчеты.**
3. Верификация инструмента ООПК на основе сравнения с результатами моделирования эволюции профилей на трех полигонах: ЖД РФ, МЖД и ВСЖД. **Выполняются расчеты эволюции профилей в составе ЭС5К и ТЭ10М.**



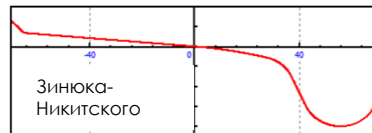
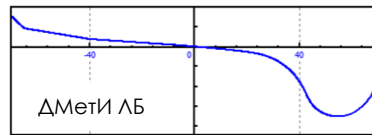
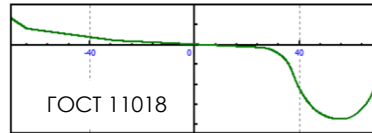
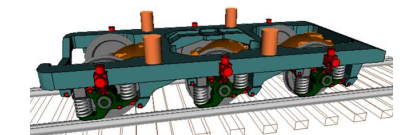
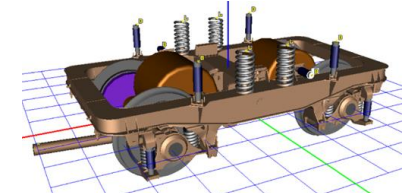
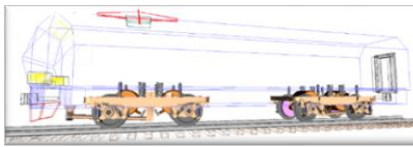
Общая схема численных экспериментов для анализа факторов и базовых расчетов

Всего: 288 виртуальных экспериментов для каждого из сочетаний исследуемых факторов

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЁС ЛОКОМОТИВОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИГОНАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ЭС5К			Гребневое сопротивление			Сопротивление на кругах катания			
			Всех			Всех			
Профиль	Тяга	V, км/ч	Смазка	ГОСТ	ДМетИ	Зин Ник	ГОСТ	ДМетИ	Зин Ник
Прямая	выбег		40	сухо					
			60	сухо					
			80	сухо					
	тяга		40	сухо					
			60	сухо					
			80	сухо					
R=300 м	выбег		20	смазка					
				сухо					
			40	смазка					
				сухо					
			60	смазка					
				сухо					
	тяга		20	смазка					
				сухо					
			40	смазка					
				сухо					
			60	смазка					
				сухо					
R=600 м	выбег		35	смазка					
				сухо					
			55	смазка					
				сухо					
			70	смазка					
				сухо					
	тяга		35	смазка					
				сухо					
			55	смазка					
				сухо					
			70	смазка					
				сухо					
R=1000 м	выбег		40	смазка					
				сухо					
			60	смазка					
				сухо					
			80	смазка					
				сухо					
	тяга		40	смазка					
				сухо					
			60	смазка					
				сухо					
			80	смазка					
				сухо					

Скрыто по просьбе правообладателя



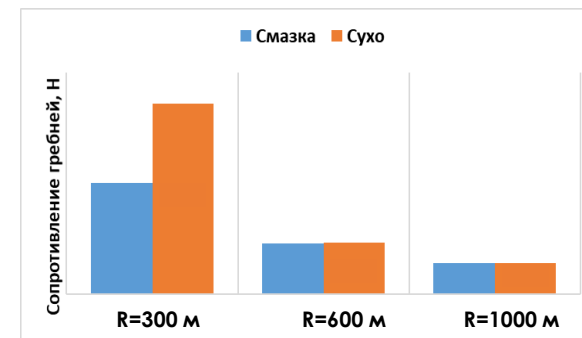
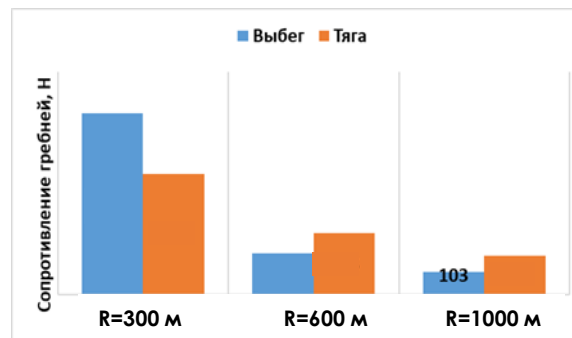
ТЭ10М				Гребневое сопротивление			Сопротивление на кругах катания		
				Всех			Всех		
Профиль	Тяга	V, км/ч	Смазка	ГОСТ	ДМетИ	Зин Ник	ГОСТ	ДМетИ	Зин Ник
Прямая	выбег	40	сухо						
		60	сухо						
		80	сухо						
	тяга	40	сухо						
		60	сухо						
		80	сухо						
R=300 м		20	смазка						
			сухо						
		40	смазка						
			сухо						
		60	смазка						
			сухо						
	тяга	20	смазка						
			сухо						
		40	смазка						
			сухо						
		60	смазка						
			сухо						
R=600 м		35	смазка						
			сухо						
		55	смазка						
			сухо						
		70	смазка						
			сухо						
	тяга	35	смазка						
			сухо						
		55	смазка						
			сухо						
		70	смазка						
			сухо						
R=1000 м		40	смазка						
			сухо						
		60	смазка						
			сухо						
		80	смазка						
			сухо						
	тяга	40	смазка						
			сухо						
		60	смазка						
			сухо						
		80	смазка						
			сухо						

Скрыто по просьбе правообладателя

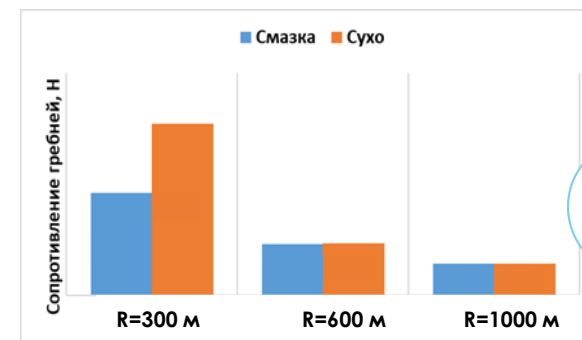
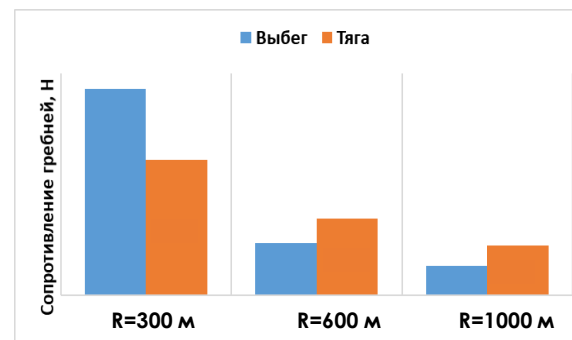
# ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ. ЭЛЕКТРОВОЗ ТИПА ЭС5К

## Выводы

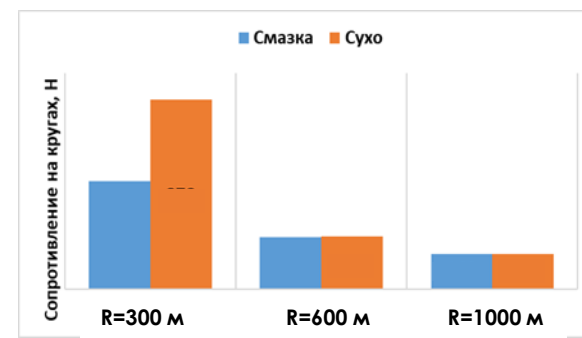
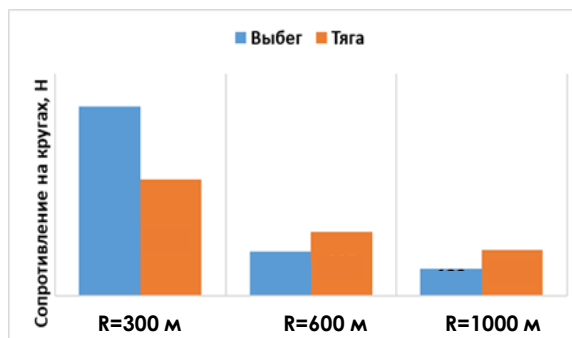
1. Тяга в крутых кривых снижает износ гребней. Учитывая относительно малую долю крутых кривых, средний эффект от перехода с режима выбега в режим тяги все же приводит к росту гребневого сопротивления примерно на 20% для рассмотренных профилей.
2. Влияние гребневой смазки особенно существенно для крутых кривых  $R < 450$  м. Учитывая относительно малую долю таких кривых, средний эффект от смазки оказывается порядка 13 - 15%.



ГОСТ 11018



ДМетИ ЛБ



Зинюка-Никитского

Влияние фактора тяги и смазки на гребневое сопротивление движению электровоза с разными профилями колес в кривых

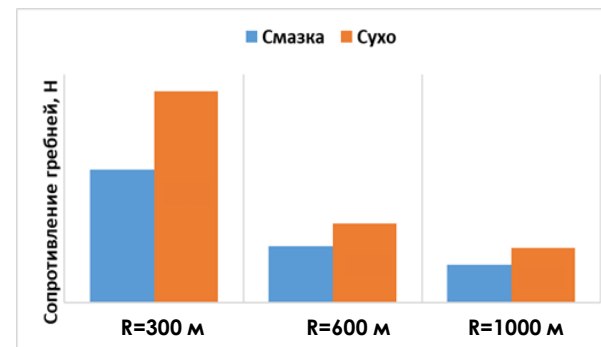
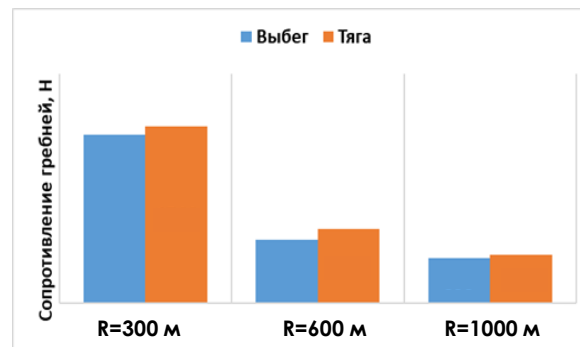


# ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ. ТЕПЛОВОЗ ТИПА ТЭ10М

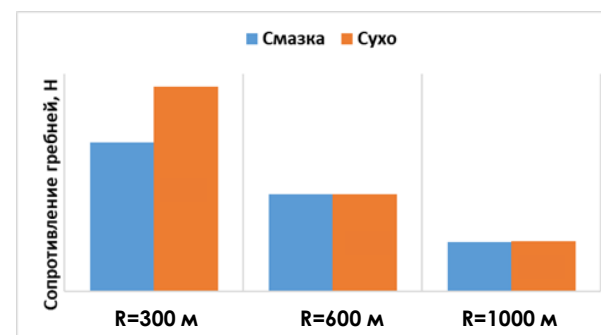
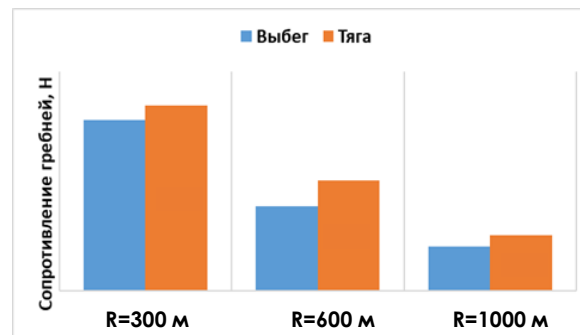
## Выводы

1. Переход с режима выбега в режим тяги приводит к росту гребневого сопротивления для профилей по ГОСТ 11018, ДМетИ ЛБ и Зинюка-Никитского примерно на 10%, 27% и 19% соответственно.

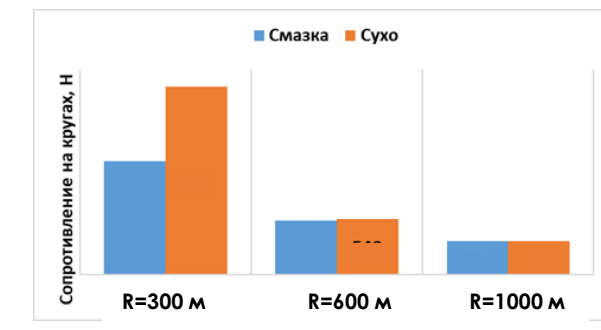
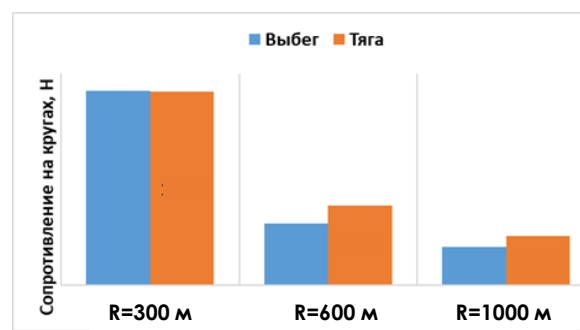
2. Эффект от перехода с режима смазки гребня в режим без смазки (сухо) приводит к росту гребневого сопротивления для профилей по ГОСТ 11018, ДМетИ ЛБ и Зинюка-Никитского примерно на 35%, 6% и 14% соответственно.



ГОСТ 11018



ДМетИ ЛБ



Зинюка-Никитского

Влияние фактора тяги и смазки на гребневое сопротивление движению тепловоза с разными профилями колес в кривых

ИНСТРУМЕНТ ООПК



# ИНСТРУМЕНТ ООПК. ДАННЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Инструмент ООПК оформлен средствами таблиц Excel в виде двух файлов:

- а) «ЭС5К сравнение износа на полигонах» – для электровозов серии ЭС5К;
- б) «ТЭ10М сравнение износа на полигонах» – для тепловозов серии ТЭ10М

Оба файла имеют одинаковую структуру, включающую 2 листа следующих наименований:

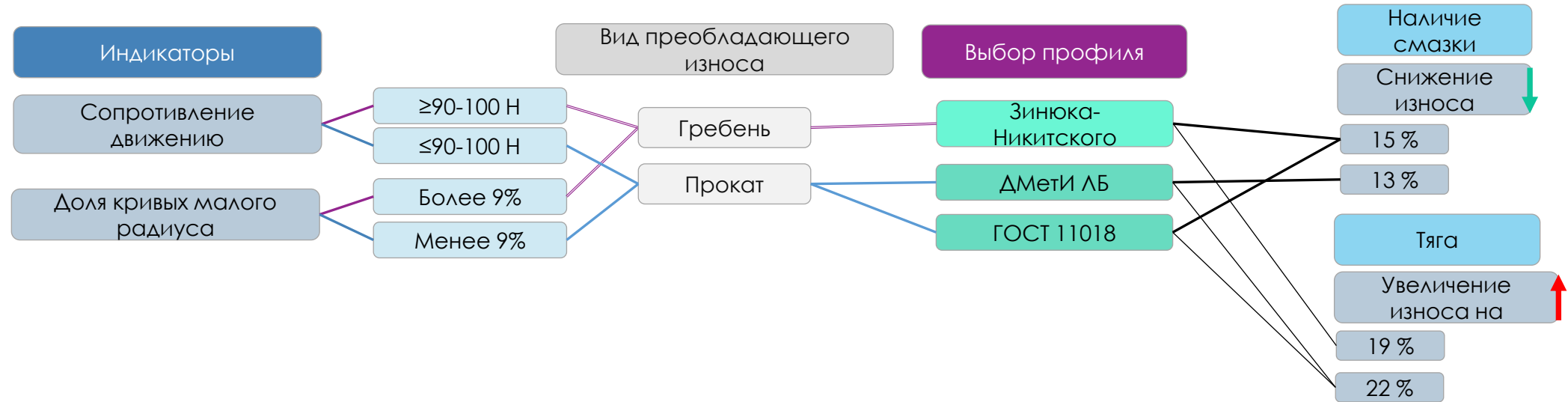
- а) Данные пользователя;
- б) Таблица базовых расчетов.

Лист «Данные пользователя» является основным интерфейсом пользователя. Здесь в таблицу «Исходные данные» вносятся необходимые статистические параметры полигонов эксплуатации и режимов движения локомотивов.

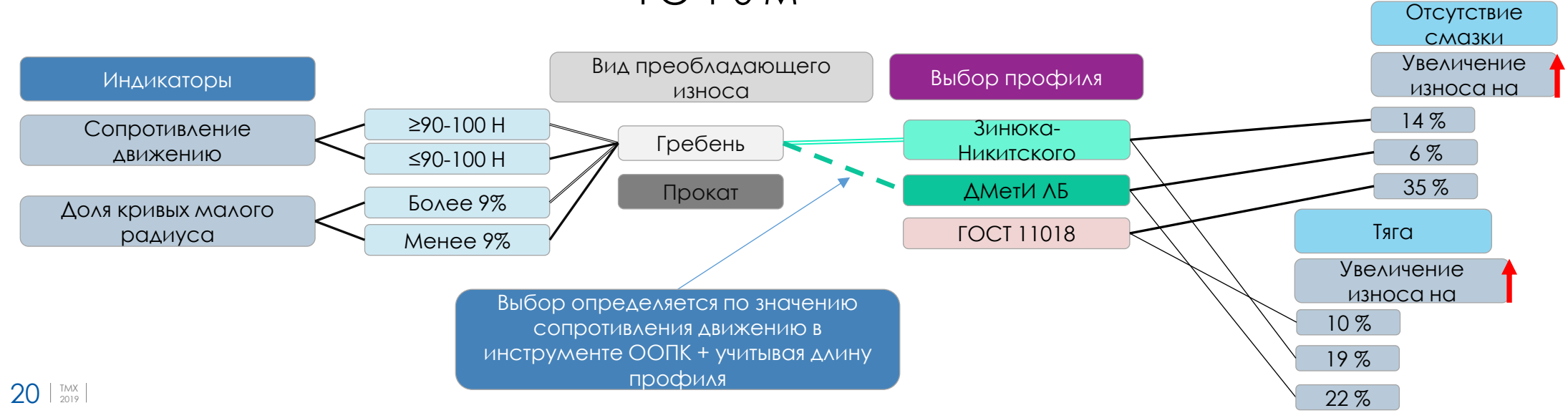
Исходные данные				
Полигоны		ОС	ВСБ	ГОР
№ полигона		0	1	2
Прямая	Доля прямых	0.66	0.69	
1) $R < 450$ м	Доля смазки в кривых $R < 450$ м	0	0	
	Доля кривых $R < 450$ м	0.03	0.09	
2) $450 \text{ м} \leq R < 800$ м	Доля смазки в кривых $450 \text{ м} \leq R < 800$ м	0	0	
	Доля кривых $450 \text{ м} \leq R < 800$ м	0.15	0.14	
3) $800 \text{ м} \leq R < 1200$ м	Доля кривых $800 \text{ м} \leq R < 1200$ м	0.16	0.08	
Доля режима тяги/торможения		0.75	0.77	

# ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

## ЭС 5 К



## ТЭ 10 М



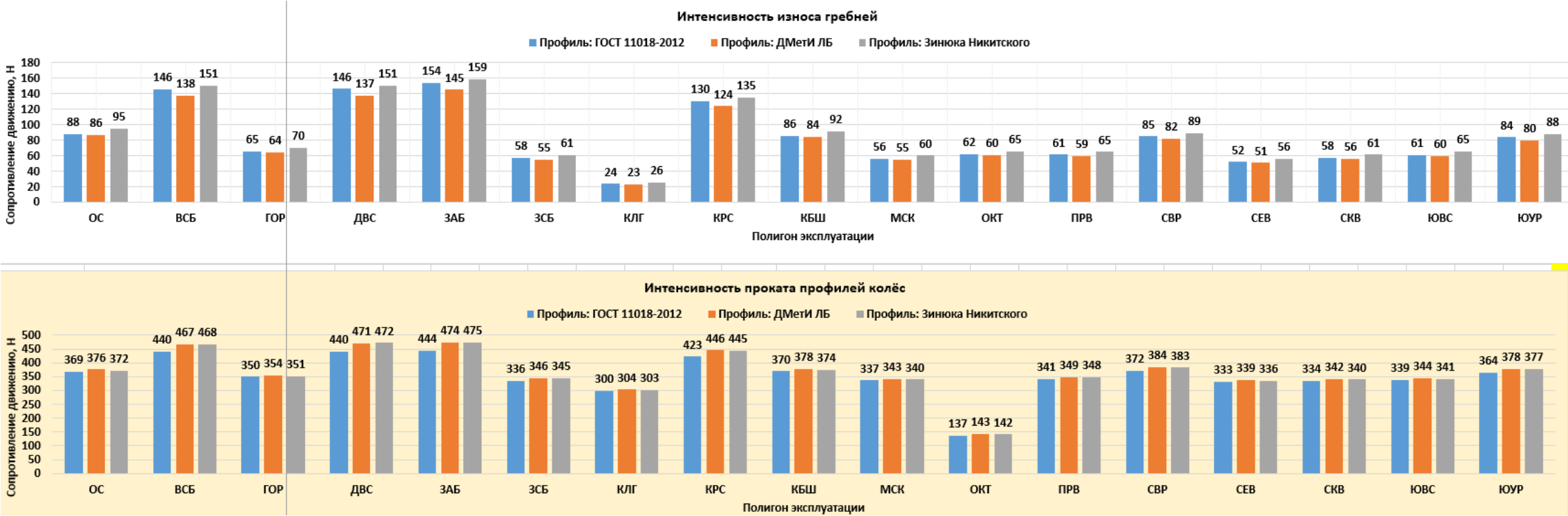
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. РЕКОМЕНДАЦИИ



# ИНСТРУМЕНТ ООПК. ДАННЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Здесь же еще ниже на листе «Данные пользователя» располагаются гистограммы, которые автоматически дублируют результаты в графической форме.

Иллюстрация расчета для ЭС5К:





# РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ЭС5К И ТЭ10М

## ЭС5К

№ п/п	Полигон	Профиль переточки, применяемый на полигоне	Рекомендуемый профиль обточки
1	Восточный	ГОСТ 11018; ДМетИ; Зинюка-Никитского	Зинюка-Никитского
2	Северный	ГОСТ 11018; ДМетИ; Зинюка-Никитского	ГОСТ 11018
3	Урало-Сибирский	ГОСТ 11018; ДМетИ; Зинюка-Никитского	ГОСТ 11018
4	Южный	ГОСТ 11018; ДМетИ;	ГОСТ 11018

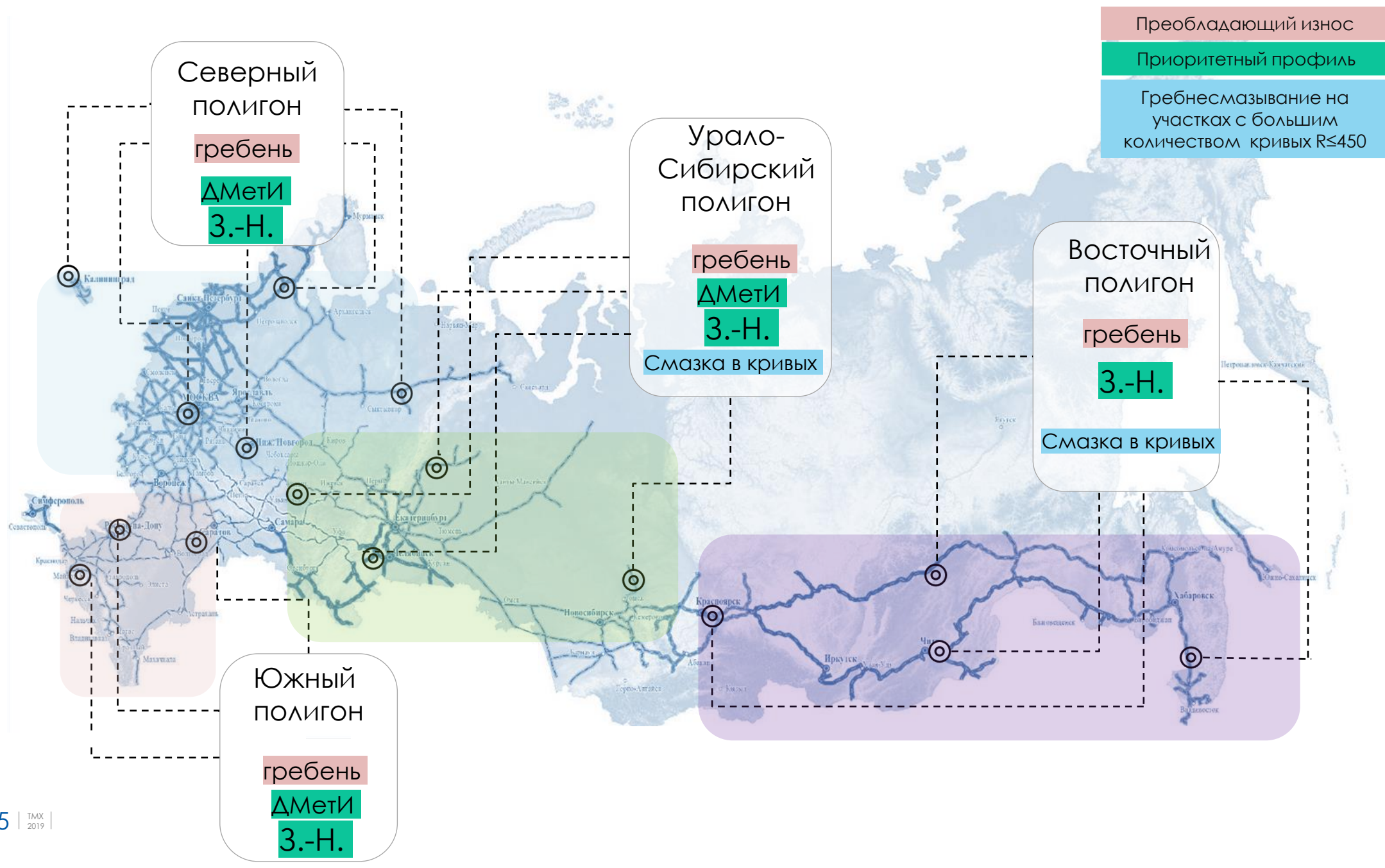


## ТЭ10М

№ п/п	Полигон	Профиль переточки, применяемый на полигоне	Рекомендуемый профиль обточки
1	Восточный	ГОСТ 11018; ДМетИ; Зинюка-Никитского	Зинюка-Никитского
2	Северный	ГОСТ 11018; ДМетИ; Зинюка-Никитского	Зинюка-Никитского; ДМетИ
3	Урало-Сибирский	ГОСТ 11018; ДМетИ; Зинюка-Никитского	Зинюка-Никитского; ДМетИ
4	Южный	ГОСТ 11018; ДМетИ;	Зинюка-Никитского; ДМетИ



# ТЭ10М : РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Методом виртуальных испытаний впервые проведен анализ доли влияния факторов типа экипажной части, профиля обточки бандажа, доли кривых, скоростей движения, смазки, режимов тяги на интенсивность износа бандажа
- Разработан инструмент оперативной оценки интенсивности износа профиля бандажа для тепловоза и электровоза, позволяющий делать сравнительную оценку и выбор рационального профиля обточки
- По результатам расчетных исследований даны рекомендации по выбору профиля обточки бандажа на каждом полигоне эксплуатации ж.д. для тепловозов и электровозов. Для верификации данных рекомендаций запланировано проведение сравнительных эксплуатационных испытаний в выбранном СЛД в 2023 г.
- Методы и подходы данных исследований справедливы для получения аналогичного результата для любых типов подвижного состава (ЭП20, РА3 и др.)
- Для перехода от сравнительной оценки интенсивности износа к прогнозированию абсолютного ресурса будут проведены исследования и других факторов (металлургия, точности установки узлов, режимы ведения поезда и др.).



A high-speed train, likely a Russian Railways (РЖД) model, is shown traveling along a track that curves through a mountainous landscape. The train is white with red and grey accents. The background features steep, rocky mountains and a dense forest of evergreen trees. The sky is filled with soft, orange and yellow clouds, suggesting a sunset or sunrise. The train is moving away from the viewer, following the curve of the track.

СПАСИБО!

ТМХ

119048, Россия, Москва, ул. Ефремова, д. 10

Телефон: +7 495 660 89 50

Факс: +7 495 744 70 94

e-mail: [info@tmholding.ru](mailto:info@tmholding.ru)

[www.tmholding.ru](http://www.tmholding.ru)