

Модернизация

маневровых тепловозов **ТГМ6**
с заменой гидромеханической передачи
на электромеханическую переменного
переменного тока

РЕЗУЛЬТАТЫ



Основания проведения модернизации на этапе капитального ремонта

На сегодняшний день суммарно на промышленных предприятиях насчитывается **более 10 000** (десяти тысяч) маневровых тепловозов **ТГМ6 и ТГМ4** с гидромеханической передачей.

Ресурс подавляющего большинства локомотивов данного вида выработан, эксплуатация и ремонт становятся всё более затруднительными (с каждым годом ситуация усугубляется).

Основные недостатки маневровых локомотивов, эксплуатирующихся на железных дорогах, связаны с неоправданно высоким расходом топлива за счет неэффективного режима работы дизеля, сопровождающимся большим выбросом в окружающую среду продуктов сгорания.

Основания проведения модернизации на этапе капитального ремонта

Основными причинами неэффективного режима работы и избыточного расхода топлива являются:

- частые простои с дизелем, работающем на холостом ходу (свыше 6 ч за смену);
- нестабильная работа дизеля с переходами от холостого хода на тягу;
- частая работа дизеля в форсированном режиме при неполном сгорании топлива.

Статистические характеристики работы маневровых тепловозов:

- пробег за смену (12 ч) до 40 км;
- средняя скорость 8 км/ч;
- максимальная мощность 700 кВт, при средней мощности 300 кВт.

** - в стоимости 10-ти летнего жизненного цикла эксплуатации тепловоза 68% составляют затраты на топливо, 25% обслуживание и ремонты, и только 6% - первоначальная стоимость тепловоза.*

Основания проведения модернизации на этапе капитального ремонта

Замена гидромеханической передачи на электромеханическую переменного тока.

Основания:

- высокая степень износа локомотивов;
- большой удельный расход ГСМ;
- высокая стоимость технического обслуживания;
- высокие эксплуатационные затраты;
- низкие тяговые свойства;
- низкая эффективность локомотивов на маневровых режимах работы;
- несоответствие экологическим нормам;
- отсутствие функций диагностики и прогнозирования;
- отсутствие автономного подогрева теплоносителей в отстое.

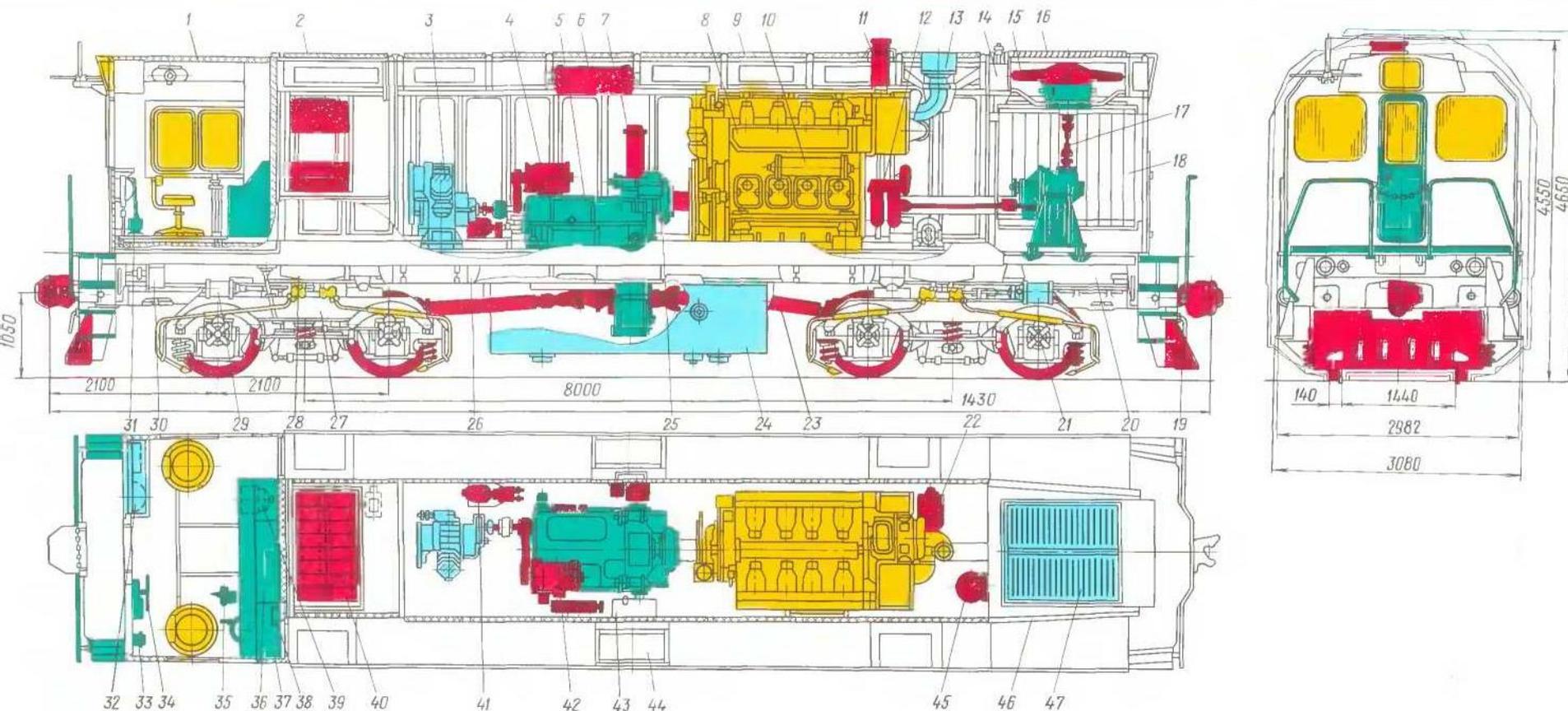
Модернизация локомотивов с переводом на электрический привод позволяет комплексно решить обозначенные проблемы.

Основные принципы модернизации

с переводом тепловоза на электромеханическую трансмиссию (ЭМТ)
при капитальном ремонте

- замена дизеля на два современных экономичных, экологичных, дешевых дизельных двигателя с топливными и масляными системами, системами охлаждения, электрооборудования, агрегатированных с двумя асинхронными мотор - генераторами (АМГ);
- демонтаж штатной гидropередачи и установка двух тяговых индукторных электродвигателей (ТРИД);
- установка силовых преобразователей для АМГ и ТРИД;
- демонтаж гидropередач компрессора и системы охлаждения ДВС, замена на регулируемый электропривод винтового компрессора;
- модернизация кабины машиниста с установкой современных средств управления и контроля;
- установка вспомогательного оборудования.

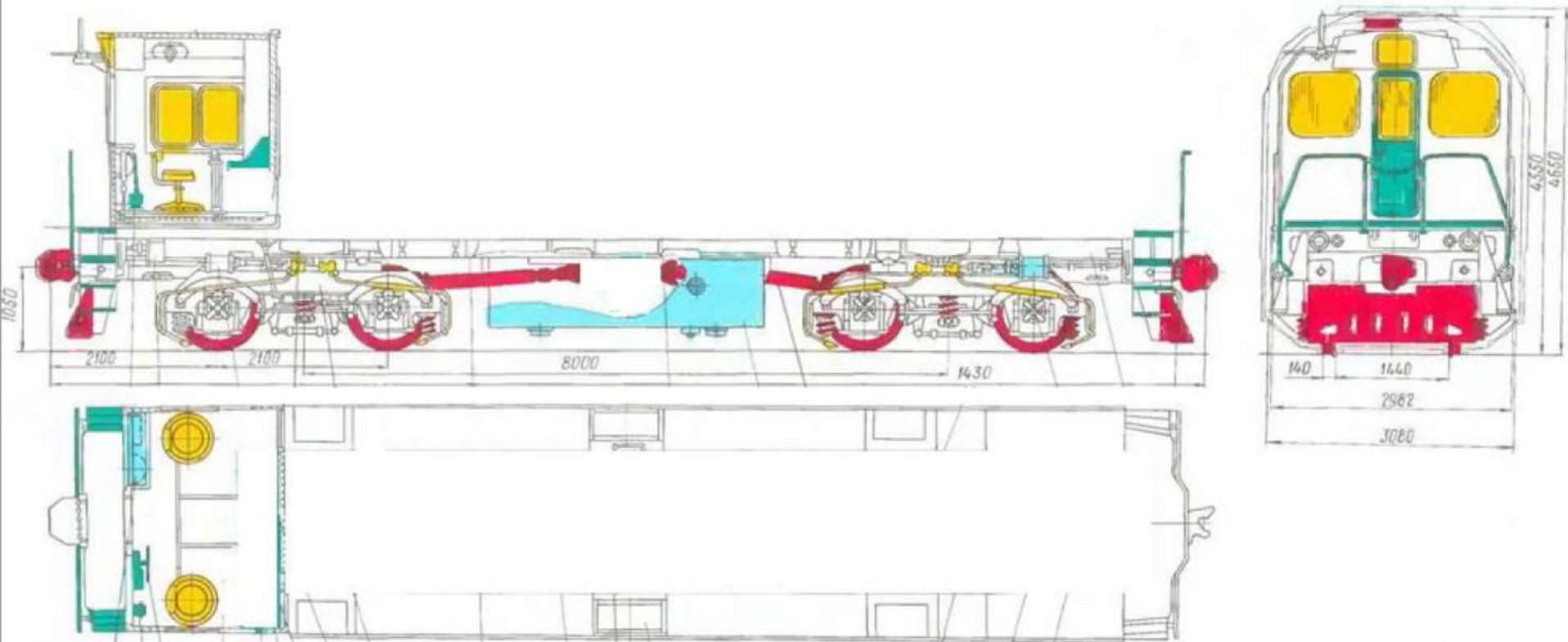
ТГМ6А



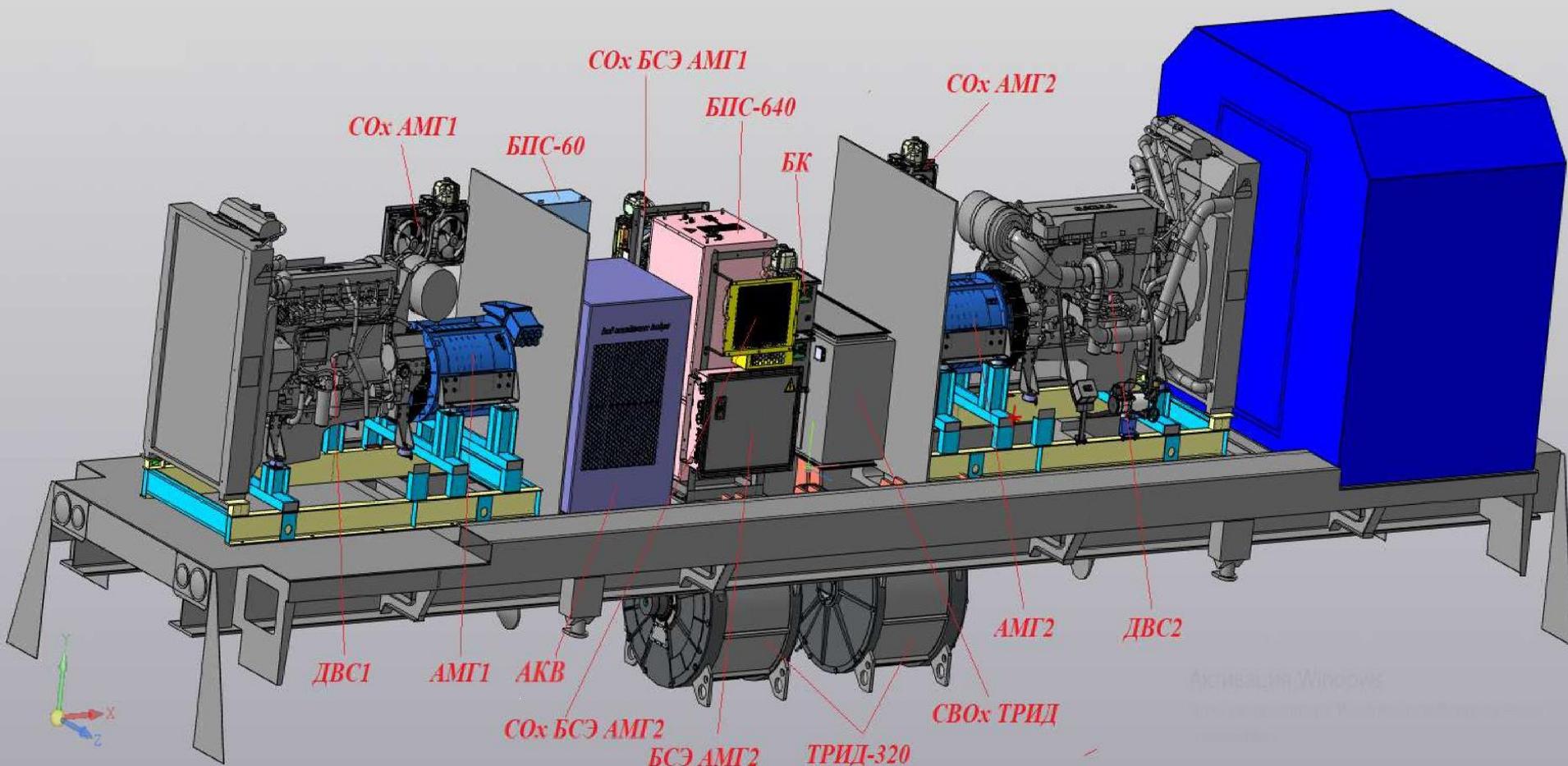
Расположение оборудования на тепловозе ТГМ6А:

1 - кабина машиниста; 2 - кузов аккумуляторной батареи; 3 - компрессор; 4 - вспомогательный генератор; 5 - масляный фильтр гидропередачи; 6 - установка пожаротушения; 7 - топливоподогреватель; 8 - дизель; 9 - кузов машинного отделения; 10 - теплообменник масла дизеля; 11 - глушитель; 12 - топливный фильтр; 13 - воздухоочиститель; 14 - водяной бак; 15 - вентиляторное колесо; 16 - кузов охлаждающего устройства; 17 - гидродинамический привод вентилятора; 18 - водяные секции; 19 - путеочиститель; 20 - рама тепловоза; 21 - осевой редуктор; 22 - маслопрокачивающий агрегат; 23 - карданный привод осевых редукторов; 24 - топливные баки; 25 - муфта привода гидропередачи; 26 - главный воздушный резервуар; 27 - рама тележки; 28 - песочница; 29 - тормозной цилиндр; 30 - воздухораспределитель; 31 - радиостанция; 32 - умывальник; 33 - переборное устройство; 34 - привод ручного тормоза; 35 - кран машиниста; 36 - шкаф электроаппаратуры; 37 - пульт управления; 38 - скоростемер; 39 - калорифер; 40 - аккумуляторная батарея; 41 - топливоподкачивающий агрегат; 42 - гидропередача; 43 - масляный бак запасной; 44 - ящик для принадлежностей; 45 - маслоохладитель гидропередачи; 46 - боковые жалюзи; 47 - верхние жалюзи

ТГМ6А



Размещение компонентов КТЭО на раме ТЭМП 1тт



ТЭМП 1ТТ

с установленным КТЭО



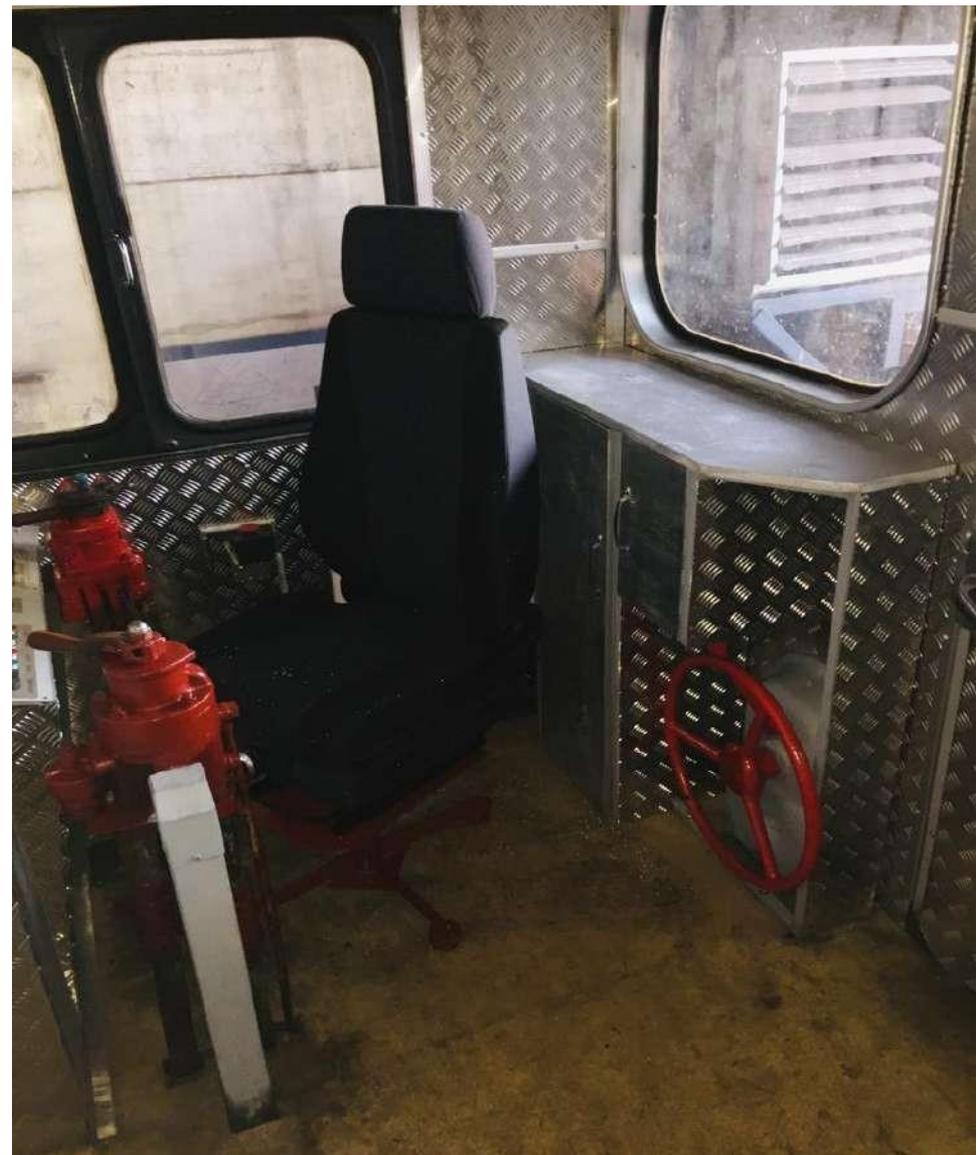
ТЭМП 1тт

функциональный дизайн кузова

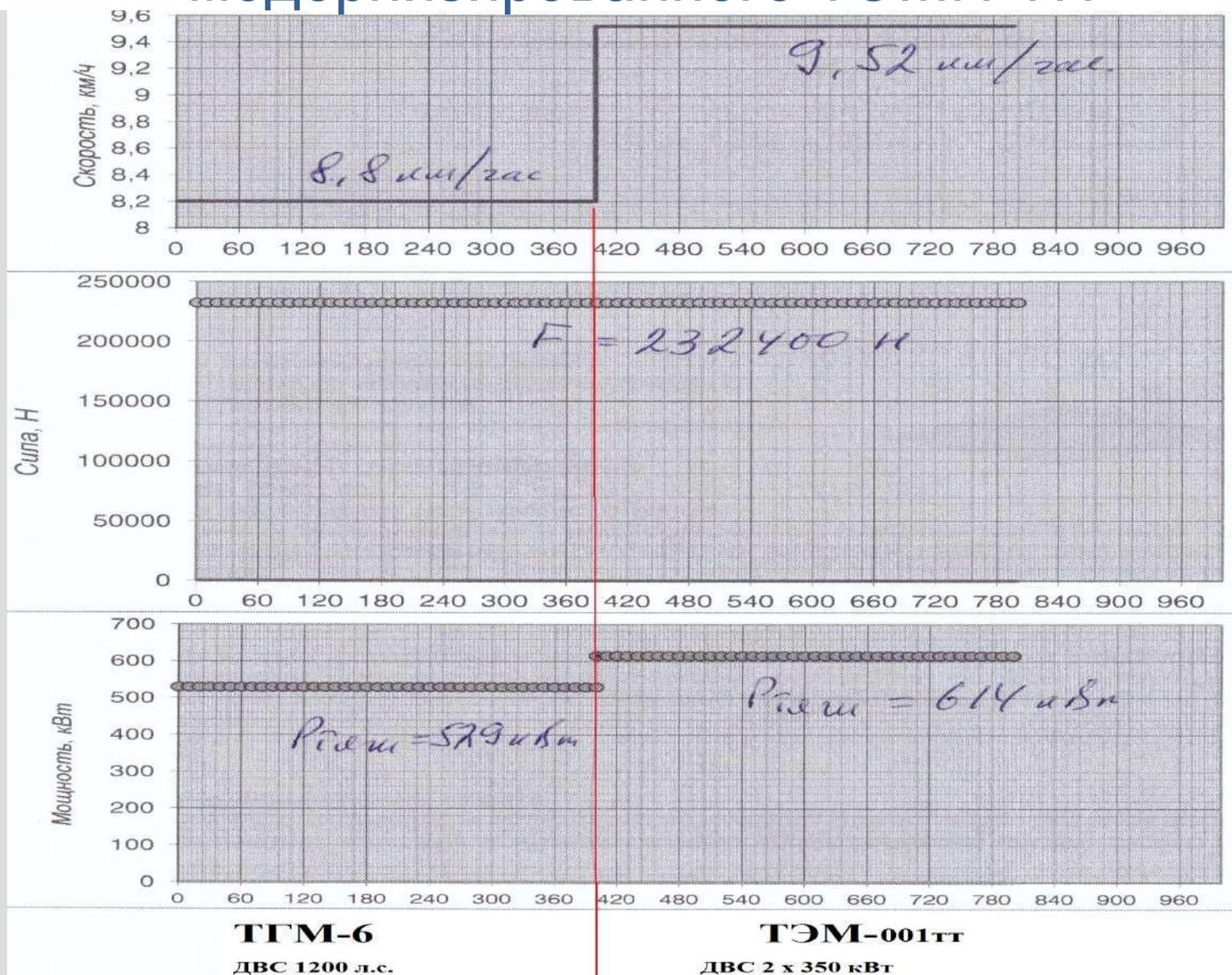


ТЭМП 1тт

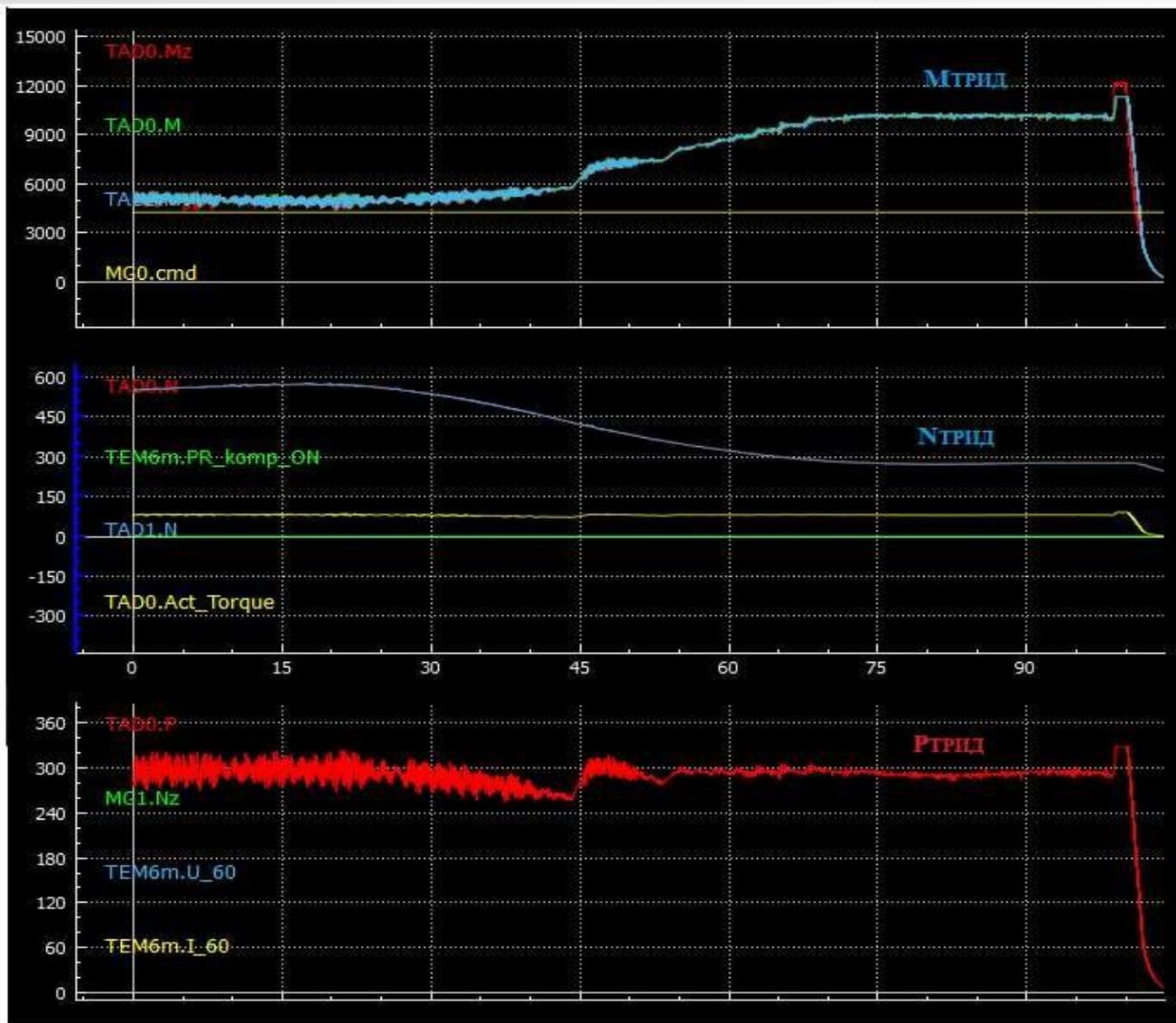
интерьер кабины машиниста



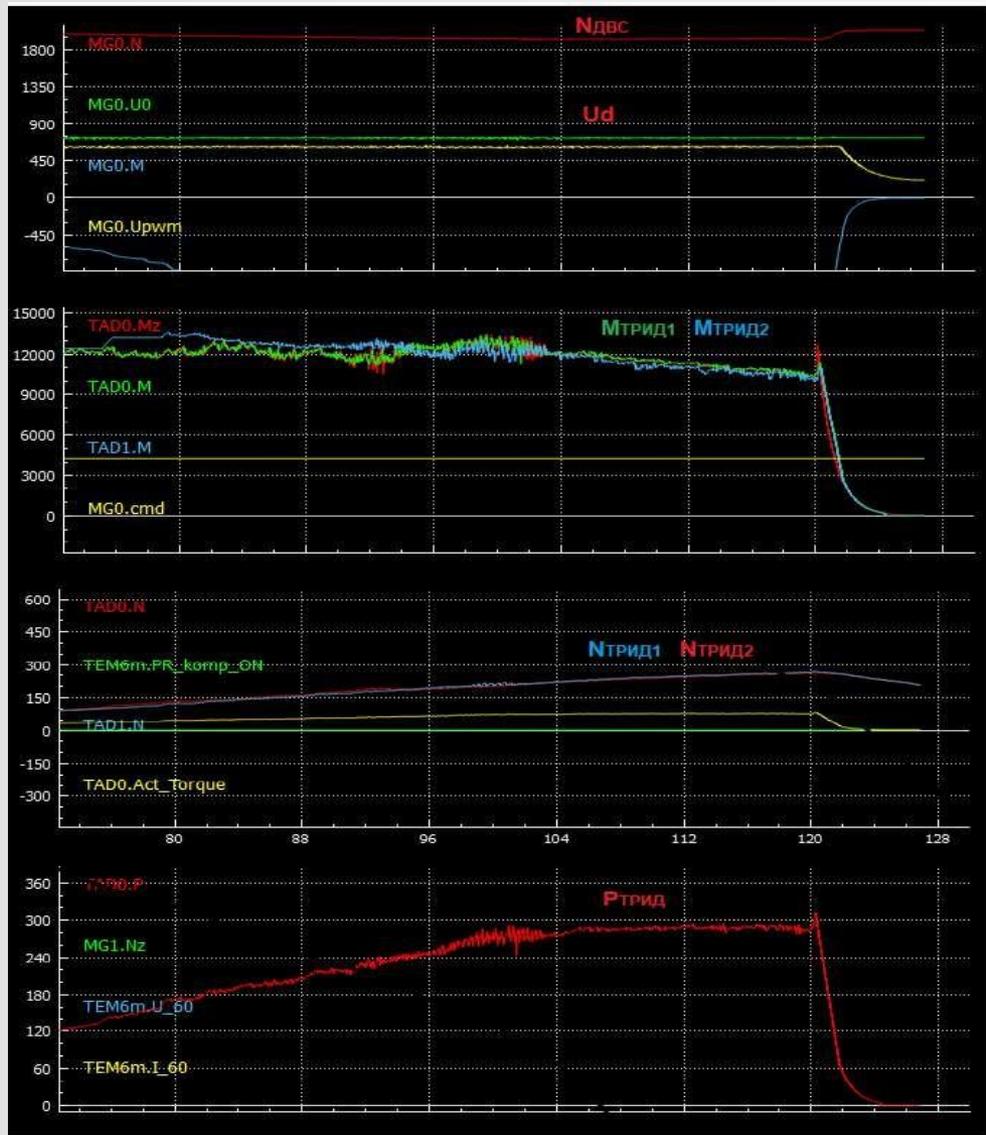
Сравнение тяговых характеристик ТГМ6 и модернизированного ТЭМП 1тт



ТЭМП 1тт с составом весом 1200 тн на нулевом уклоне со скоростью 24 км/час, с подъемом на уклон 18 промилле и движении с этим составом на этом уклоне со скоростью 11 км/час



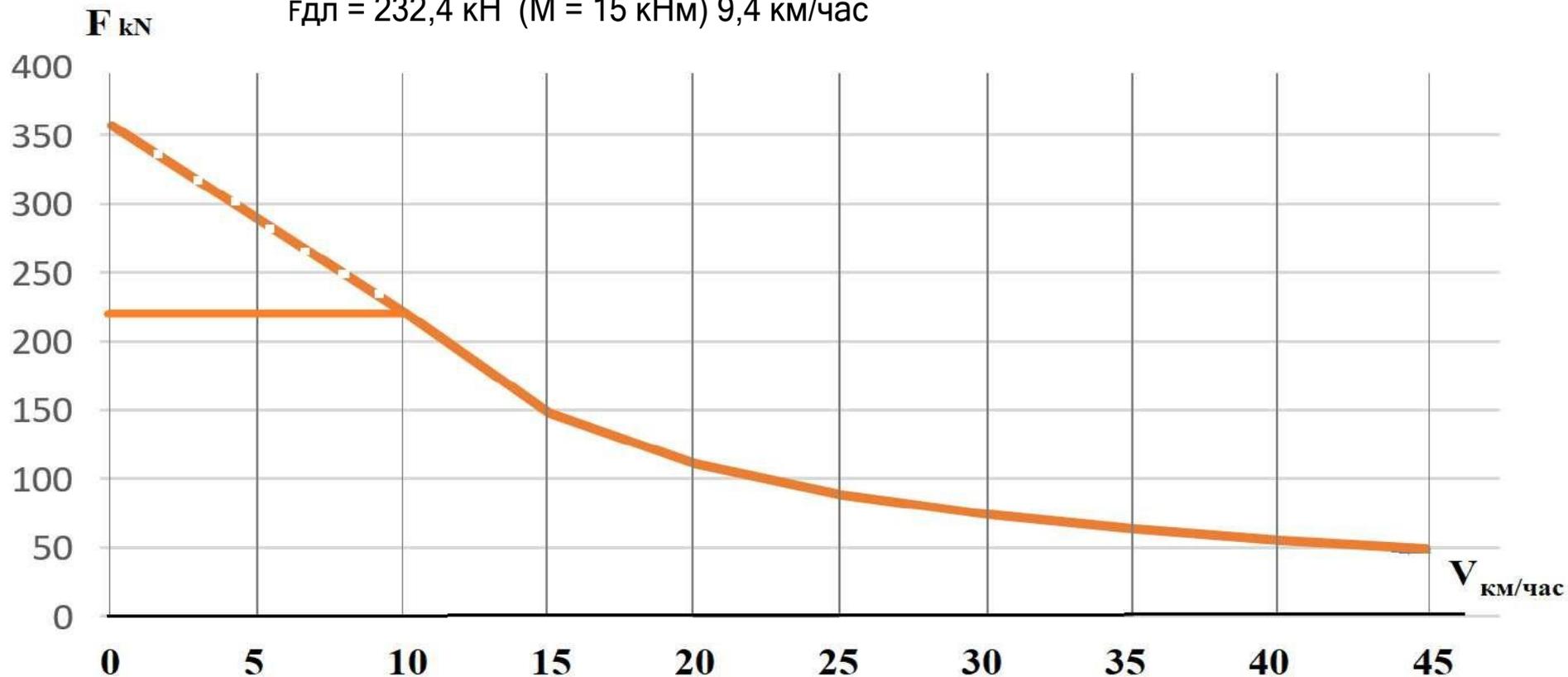
Трогание ТЭМП 1тт с составом весом 1200т с места на уклоне 14 промилле и движение с этим составом на этом уклоне со скоростью 11 км/час



Тяговая характеристика ТЭМП 1тт

$F_{тр} = 352,8 \text{ кН}$ ($M = 23 \text{ кНм}$)

$F_{дл} = 232,4 \text{ кН}$ ($M = 15 \text{ кНм}$) 9,4 км/час



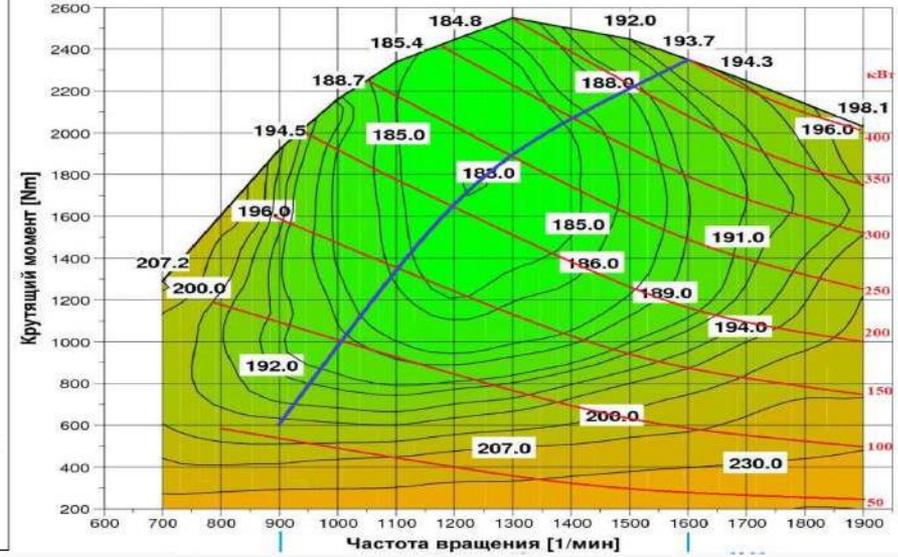
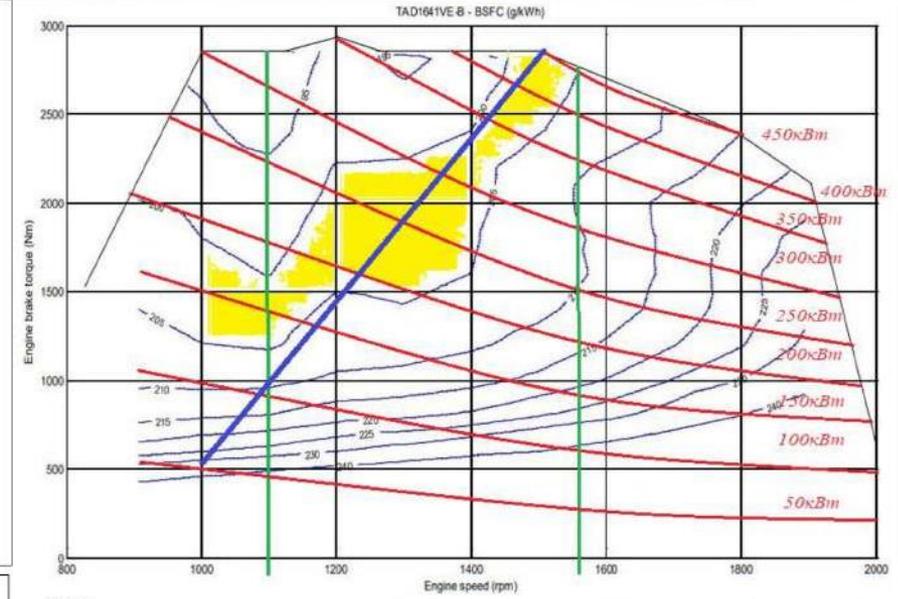
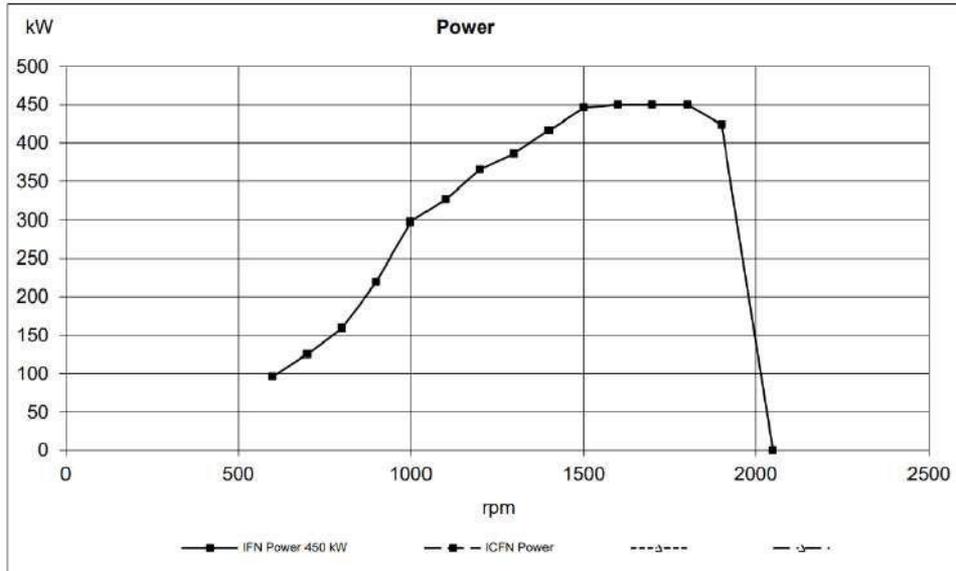
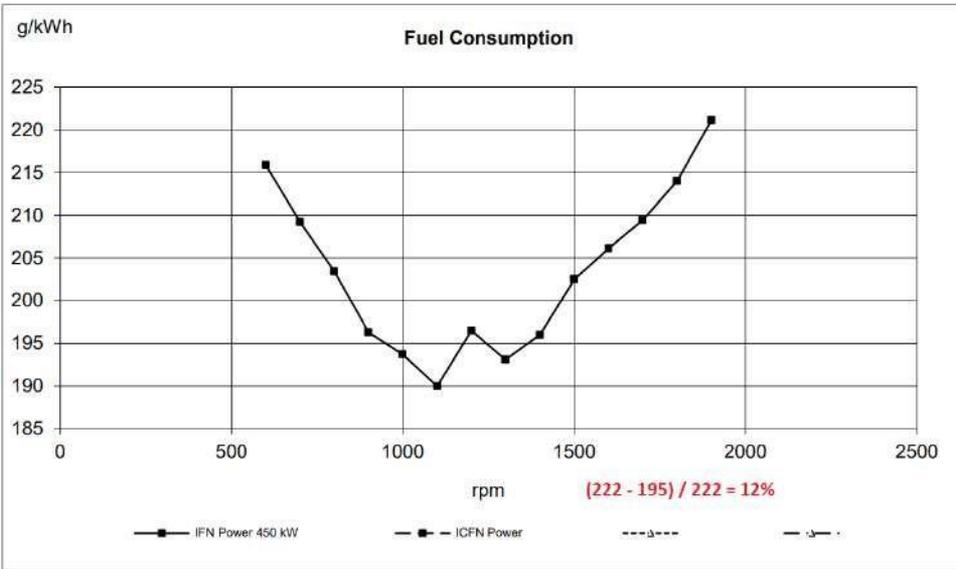
8 км/час $F = 250 \text{ кН}$ $M = 16 \text{ кНм}$

7 км/час $F = 263 \text{ кН}$ $M = 17 \text{ кНм}$

6 км/час $F = 276 \text{ кН}$ $M = 18 \text{ кНм}$

5 км/час $F = 296 \text{ кН}$ $M = 19 \text{ кНм}$

Оптимальное управление ДВС



ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА

Электропередача выполнена с использованием **реактивных индукторных электрических машин** в качестве тяговых двигателей

Преобразование электрической энергии в электропередаче осуществляется посредством **статических преобразователей**, выполненных на основе использования **IGBT-транзисторов**

Управление тяговым приводом осуществляется **потележечно** посредством встроенной **микропроцессорной системы управления**, что позволяет реализовать высокие противобуксовочные свойства тепловоза

Электрическая схема позволяет отключать в случае неисправности привод каждой тележки

Применяется **индукторный электрический привод винтового компрессора**. Питание приводных электродвигателей осуществляется от статического преобразователя, который позволяет реализовать регулирование частоты вращения компрессора в зависимости от текущей температуры нагрева оборудования

Тяговый индукторный двигатель ТРИД-320

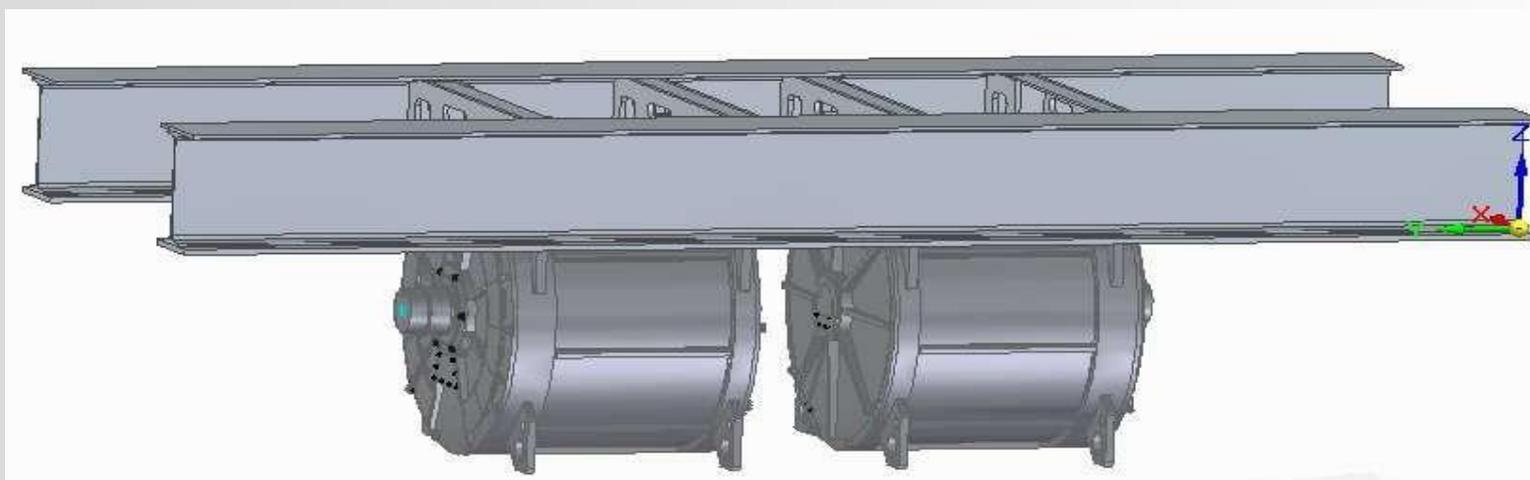
Общий вид и основные характеристики



Рис. Статор ТРИД-320 в сборе (обмотанный)

Наименование параметра	Значение
Число зубцов статора/ротора	18/12
Число фаз	3
Мощность, кВт	320
Напряжение звена постоянного тока, В	750
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	204
Момент длительный (номинальный), кН*м	15,023
Пусковой момент, кН*м	22,8

Подвеска ТРИД-320 на раме ТЭМП 1тт



Блок питания силовой БПС-640

(питание двигателей ТРИД-320)



Наименование параметра

Значение

Номинальное напряжение на шине постоянного тока, В

750

Напряжение на шине постоянного тока, не более, В

800

Номинальная мощность, не менее, кВт

640

КПД, о. е., не менее

0.95

Напряжение питания цепей управления, В

24 DC

Мощность, потребляемая по цепям управления, не более, Вт

350

Степень защиты, обеспечиваемая оболочками

IP54

Охлаждение

воздушное,
принудительное

ОСОБЕННОСТИ ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Эксплуатационная надежность электропривода

Предельно простая конструкция статорной обмотки с сосредоточенными обмотками и безобмоточный ротор. Преобразователь устойчив к коротким замыканиям (исключен режим сквозного пробоя плеча)

Живучесть

Повышенная живучесть ВИЭП обеспечивается благодаря магнитной независимости фазных обмоток в РИД и электрической независимости фазных блоков в преобразователях. Выход из строя какой-либо одной или нескольких фаз не приводит к полной потере работоспособности привода

Энергоэффективность

Снижение энергопотребления обусловлено более высоким значением КПД в широком диапазоне частот вращения и нагрузок по сравнению с асинхр. и синхр. машинами за счет отсутствия обмоток на роторе



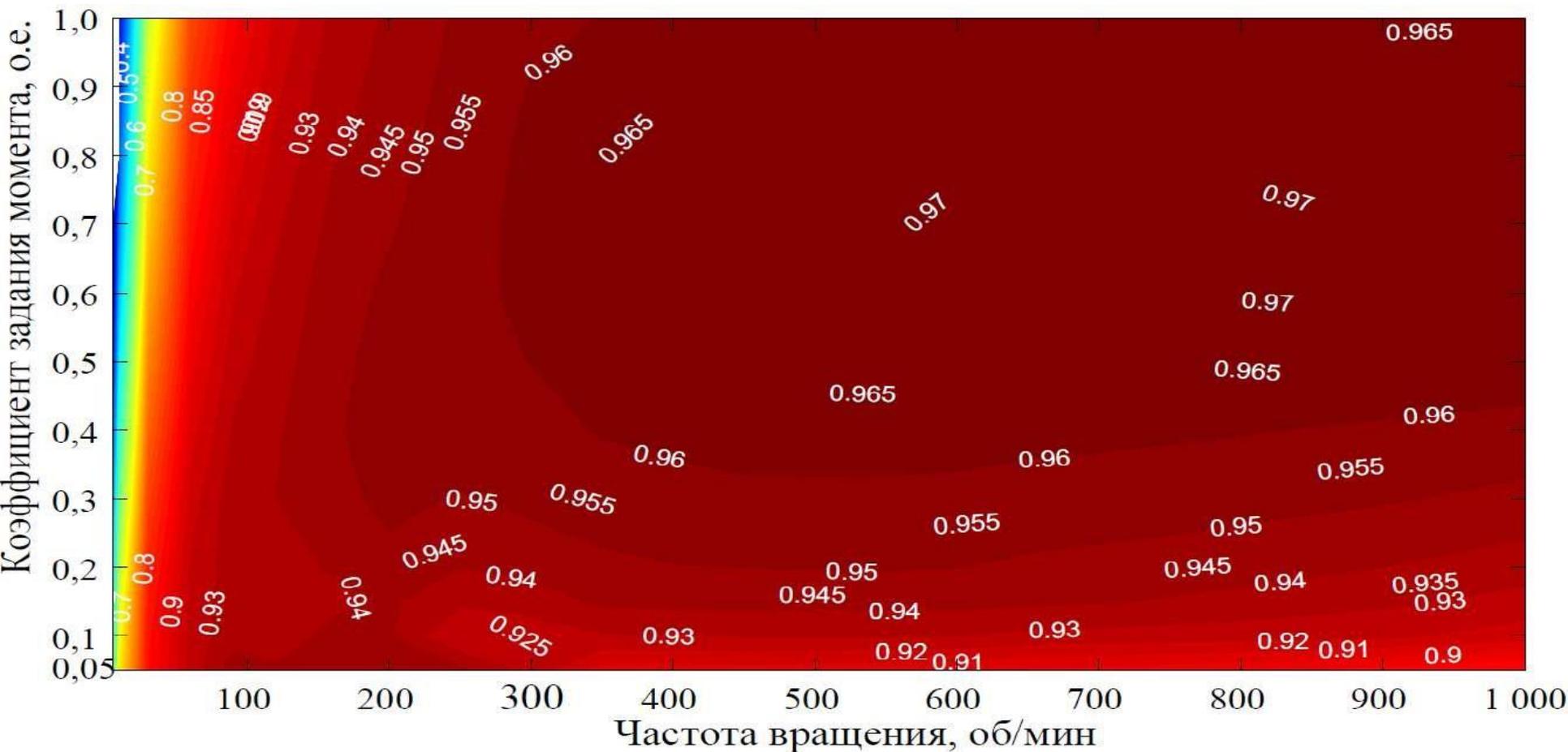
Уменьшенная стоимость обслуживания и ремонта двигателя

Простота конструкции РИД предопределяет снижение стоимости его ремонта по сравнению с асинхронным двигателем на 20-30%

Снижение электромагнитных помех

Снижение уровня высокочастотных ЭМ излучений обусловлено существенно меньшим значением паразитной емкости сосредоточенной обмотки статора по сравнению с асинхронным приводом

КАРТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИД-320



Интерпретация:

Помимо зафиксированного и подтвержденного высокого КПД в 93,5% в исполнении двигателей ТРИД-320, карта эффективности наглядно отражает, что ТРИД одинаково эффективно работает с точки зрения показываемого КПД в самых широких диапазонах работы (и частот вращения). То есть во всех режимах работы КПД не опускается ниже 92%. За годы нашей работы в данном направлении НИ ОДИН отечественный производитель любых других видов электродвигателей подобную карту эффективности не был в состоянии предоставить.

ТЭМП 1тт

сравнительные характеристики

АНАЛИЗ
характеристик маневровых тепловозов (на 01.08.2022г.)

№ п/п	Технические параметры	ед.изм.	ТГМК2	ТЭМ31М	ТМЭ3	ТГМ4Б	ТЭМ23	ТГМ6Д	ТЭМ9	ТЭМ10	ТЭП-1тт№0001э			ТЭМ18ДМ	ЧМЭЗ	ТЭМ14	
											Режим I	Режим II	Режим III				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	14	15	
1	Тип тепловоза (по ГОСТ 22339)		5				4			3			5	4	3	1	
2	Годы выпуска		с 2019	с 2009	2012-2014	1971-1989	с 2021	1966-2012	с 2009	с 2019	2022			с 1992	1963-1994	с 2011	
3	Выпущено (всего)	ед.	1	17	20	>6500	2	>3200	160	10	1			>2000	7459	175	
4	Служебная масса	т	47	46	46	80	90	90	90	90	90			126	123	184	
5	Число осей (осевая формула)	ед.	2 (1о+1о)	2 (1о+1о)	2 (1о+1о)	4 (2о+2о)	4 (2о-2)	4 (2о+2о)	4 (2о+2о)	6 (3о+3о)	6 (3о+3о)	8(2о+2о - 2о+2о)					
6	Осевая нагрузка	кН/ось	230,5	225,6	225,6	196,0	220,7	220,7	220,7	220,7	220,7			206	201	225,6	
7	Марка ДВС		КАМАЗ 910.10	ЯМЗ 53602	Caterpillar C15	УДМЗ БДМ-21Л	КАМАЗ 740.74	УДМЗ 8ДМ-21Л	УДМЗ 8ДМ-21Л	Volvo TAD1651	Volvo Penta TAD1641 VE-B			ПДМ1-ПД4Д	К6S310DR	УДМЗ 8ДМ-21Л	
8	Экологический стандарт		EU Stage V	EU Stage IV	EU Stage IIIA	н/д	EU Stage IV	н/д	н/д	EU Stage IIIA	EU Stage II			н/д	н/д	н/д	
9	Мощность ДВС	кВт	404	470	403	600	618 (2х309)	882	882	856 (2х428)	450 (1х450)	450 (1х450)	900 (2х450)	882	993	1764 (2х882)	
10	Удельный расход топлива	г-кВтч	184	197	227,7	214	194	209	209	196	196			216,3	221	209	
11	Часовой расход топлива	кг/час	3,5	4,6	н/д	4,7	3,5	6,8	6,8	3,4	3,4			7,3	9,0	6,8	
12	Тип передачи		ГМ	ЭП	ЭПП	ГМ	ЭПП	ГМ	ЭП	ЭП	ЭМ			ЭП	ЭП	ЭП	
13	Сила тяги (max):																
-	при трогании с места	кН	140	107,8	154	313,6	300*	352,8	291,0	291,0	176,8	352,8	352,8	319	369	582	
-	длительного режима	кН	98	102	121	160,7	235*	232,3	216,0	216,0	131,8	131,8	263,8	206	230	431	
14	Касательная мощность (по ГОСТ 24790)	кВт	272	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	640			н/д	713	н/д	
15	КПIM тепловоза		0,67	н/д	0,73	0,62	0,75	0,62	0,72	0,75	0,8	0,8	0,8	н/д	0,72	0,71	
16	Скорость движения:																
-	конструкционная	км/час	60	80	60	65	100	80	100	100	41			100	95	100	
-	"max" поездного режима	км/час	-	-	-	65,0	-	74,2	-	-	-			-	-	-	
-	"max" маневрового режима	км/час	-	50	-	32,0	-	36,3	-	-	41			-	-	-	
-	длительного режима	км/час	10,0	13,0	н/д	9,0	8,8*	9,0	11,1*	11,1*	9,0	8,4	10,5	11,4	10,5		
17	Габарит (по ГОСТ 9238)		02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ	02-ВМ/1-Т	02-ВМ			1-Т	02-Т	1-Т	
18	Размеры:																
-	длина (по осям автосцепок)	мм	11000	11000	10420	13100	16420	14420	16074	17140	14420			16900	17220	21500	
-	ширина	мм	н/д	3000	3100	3130	н/д	3130	3130	3112	3130			3120	3120	3280	
-	высота	мм	н/д	4370	4440	4355	н/д	4320	4300	4490/5125	4320			5055	4637	5290	
-	колесная база	мм	6000	6000	5300	6500	9300	8000	9700	н/д	8000			8600	8660	10900	
19	"Min" радиус кривой	м	60	40	40	40	40	40	50	50	40			80	80	80	
20	Производитель		СТМ	ТМХ	CZ Loko	СТМ	ТМХ	СТМ	СТМ	СТМ	ЕВРАЗ НТМК			ТМХ	CKD Praha	СТМ	

Условные обозначения: ГМ - гидромеханическая (гидравлическая)
 ЭП - электрическая (переменно-постоянного тока)
 ЭПП - электрическая (переменно-переменного тока)
 ЭМ - электромеханическая (переменно-переменного тока)

Примечание: * - заявлено производителем (требует документального подтверждения)

ТЭМП 1тт

принципиальные отличия, преимущества, перспективы

1. Безопасность движения и Охрана труда:

1.1. Уникальный алгоритм работы "системы" (человек-машина-человек):

- функции "человека" (машиниста):
 - управление и контроль за безопасностью движения;
 - управление скоростью движения состава;
- функции "машины" (тепловоза):
 - автоматическое создание и поддержание оптимальных потоков мощности и автоматическое управление ими для реализации оптимальной силы тяги при заданной скорости движения состава с ограничением боксования и юза;
 - полная диагностика, анализ и контроль параметров работы "системы";
 - вывод информации - машинисту/в "облако"/в "автоотчет"/в "архив";

1.2. "Необслуживаемые" изолированные кабельные "трассы" эл.цепей: высоковольтных (силовые - 750в) и низковольтных (управления - 24в);

1.3. Напряжение всех устройств в "зонах доступа" машиниста - 24в (пост.);

1.4. Уникальный комплект звуковой и световой (светодиодной) локомотивной сигнализации и прожекторного освещения - 24в (пост.);

1.5. Функциональный дизайн в "акцентной" цветовой гамме с термоокраской элементов кузова и использованием светоотражающих пленок;

1.6. "Зоны комфорта" для составителя на торцевых площадках;

1.7. Кабина - электрообогрев ("микс" = ик+конвектор+вентиляция), розетки питания/зарядки переносной рации и бытовых приборов - 220в (перем.).

ТЭМП 1тт

принципиальные отличия, преимущества, перспективы

2. Технические и конструктивные:

2.1. Силовая установка (СУ) - "max" мощность = 900 кВт (по дизелям) из:

2-х автономных модулей ДГУ, в составе :

- дизель (450 кВт) + асинхронный генератор АМГ (350 кВт), с автоматическим "цифровым" управлением режимами работы ДГУ и СУ;

2.2. КТЭО ЭМТ высокой эффективности (КПД = 82% против 62% у ТГМ6 и 73% у современных маневровых тепловозов аналогичного типа), в составе:

АМГ-350 (тяговые генераторы) - КПД = 95,0%;

БСЭ (силовые преобразователи) - КПД = 98%;

2.3. ТРИД-320 (тяговые двигатели) - КПД = 93,5%,

"max" мощность (длительная) - 320 кВт;

"max" момент (длительный) - 17,2 кНм;

2.4. Тяговые характеристики (служебная масса 90 тн*):

- "max" сила тяги (при трогании с места) - 318,7 кН/352,7 кН;

- "max" сила тяги длительного режима ($v_d = 9,4$ км/час) - 263,2 кН/287,7 кН;

- динамика (разгон в "режиме II" до $v_k = 41$ км/час) - 44 сек;

- полный "выбег" (с $v = 15$ км/час) без тяги (на ХХ) - 800 м;

2.5. Подача топлива из баков к дизелям без топливоподкачивающих насосов и с авто.распределителем топлива для предпусковых подогревателей;

2.6. Капот рамный с 3-мя модулями "колодезного" типа для размещения всего оборудования и свободного "безбарьерного" доступа к оборудованию;

2.7. Системы вентиляции СОх агрегатов - свободные, автономные, без общего оборудования "охлаждающих устройств".

ТЭМП 1тт

принципиальные отличия, преимущества, перспективы

3. Экономические (с 08:00 13.10 по 08:00 13.11.23 г.):

3.1. Расход топлива:

- средний удельный расход топлива СУ = **9,90 л/мч**, в т.ч.:

- ДГУ1 = **9,62 л/мч**;

- ДГУ2 = **10,1 л/мч**,

при $K_0=1,27$ - коэффициент времени работы СУ в 2-х дизельном режиме;

3.2. Расход ресурсов ТЭМП 1тт (бюджет/в раб. состоянии) - **744/684** час,

- при общей наработке СУ = **867 мч** (ДГУ1 = **433 мч** + ДГУ2 = **434 мч**);

- АКВ-7,44/1 (частота включений) - **30%** (дифф. вкл/выкл = **0,625/0,925 МПа**);

3.3. Производительность (в % к ТГМ6):

- по силе тяги (в длительном режиме) - **113%**;

- по скорости (в длительном режиме) - **109%**;

- компрессора (АКВ-7,44/1) - **142%**;

3.4. Надежность КТЭО ($K_{ог}/K_{тг}/K_{вг}$ по ГОСТ Р 56046-2014) = **0,92/0,96/0,98**;

3.5. Низкая трудоемкость ТОиР - СУ+ЭМТ с предиктивной диагностикой;

3.6. "Живучесть" - работа при отказе любого агрегата (кроме АКВ);

4. Социальные и кадровые - комфорт и простота управления локомотивом;

5. Экологические - "экологический индекс" ТЭМП 1тт = **101,28** (-38% от ТГМ6);

6. Инновационные - "базовая платформа" для новых моделей и проектов:

- автоотчет о надежности и эффективности "системы" (человек-машина);

- работа в дистанционном и "беспилотном" режимах;

- бортовые ДАК - "Экология" (выхлопные газы) и "Диагноз" (диз.масло), и др.

Виды и периодичность ТО тепловоза ТЭМП 1тт

Экипажная часть и КТЭО



периодичность ТО-2	суток	10
периодичность ТО-3	суток	30
периодичность ТР-1	месяца	4
периодичность ТР-2	месяца	12-16
периодичность ТР-3	года	2-3
периодичность СР	лет	6
периодичность КР	лет	12
стоимость ТМЦ для разных видов ТО		
ТО-2	руб	- ₹
ТО-3	руб	26 250,00 ₹
ТР-1	руб	35 950,00 ₹
ТР-2	руб	340 600,00 ₹
ТР-3	руб	1 597 000,00 ₹
СР	руб	5 527 928,00 ₹ **
КР	руб	5 991 928,00 ₹ ***
количество чел-часов для выполнения каждого вида ТО		
ТО-2	чел-час	12
ТО-3	чел-час	35
ТР-1	чел-час	43
ТР-2	чел-час	52
ТР-3	чел-час	150
СР	чел-час	322
КР	чел-час	483

* - ПЕРИОДИЧНОСТЬ В СООТВЕТСТВИИ С РАСПОРЯЖЕНИЕМ МИНТРАНСА РФ ОТ 30.03.2001 N АН-25-Р (РЕД. ОТ 08.06.2007)

** - С УЧЕТОМ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТА ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ СТОИМОСТЬЮ 2 585 400 руб.

*** - С УЧЕТОМ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТА ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ СТОИМОСТЬЮ 2 950 000 руб.

Наши ПАТЕНТЫ



БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!



**АО «Научно-технический
центр «ПРИВОД-Н»**