

Тема научно-исследовательской части:

Оценка требуемой емкости тяговой аккумуляторной батареи транспортного средства с комбинированной энергоустановкой последовательного типа категории N3.

Цель:

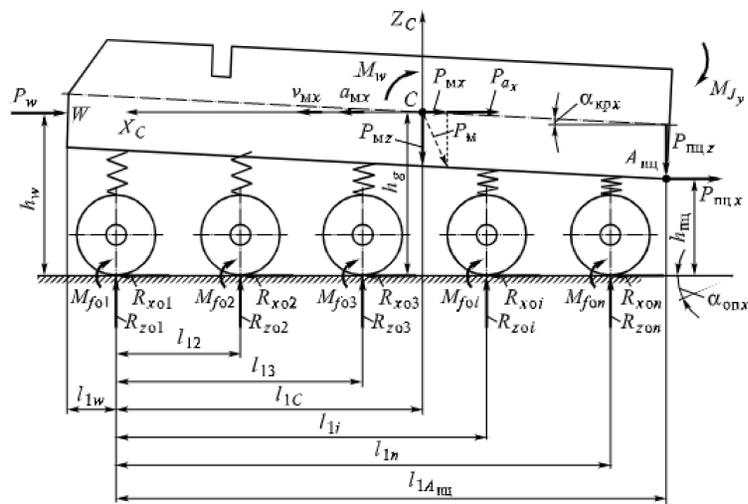
получение метода оценки емкости ТАБ на исследуемом транспортном средстве.

Задачи:

- 1) разработать имитационную математическую модель движения транспортного средства;
- 2) выбрать типовой ездовой цикл движения рассматриваемого транспортного средства;
- 3) определение критериев для оценки емкости ТАБ;
- 4) выполнение оценки требуемой емкости ТАБ.

1. Математическая модель движения транспортного средства

Расчетная схема:



Уравнение движения автомобиля:

$$m_M a_{Mx} = R_{x1} + R_{x2} + R_{x3} + P_{wx} + P_{Mx}$$

Проекция силы тяжести КМ на ось x:

$$P_{Mx} = -m_M * g * \sin(\alpha_{опх})$$

Проекция силы аэродинамического сопротивления на ось x:

$$P_{wx} = -\text{sign}(v_{Mx} - v_{wx}) * (v_{Mx} - v_{wx})^2 * 0,5 * \rho_w * c_w * F_{лоб} \quad P_{Mz} = -m_M * g * \cos(\alpha_{опх}).$$

Текущая скорость КМ:

$$v_{Mx} = \int_0^t a_{Mx} dt$$

Перемещение КМ:

$$x_M = \int_0^t v_{Mx} dt$$

Продольные реакции на i-ой оси в пятне контакта автомобиля с опорной поверхностью:

$$R_x = k_{Rx} * R_z * (-\text{sign}(v_s))$$

Коэффициент продольной реакции:

$$k_{Rx} = \varphi * (1 - e^{-\frac{s}{s_0}})$$

Коэффициент скольжения:

$$\begin{cases} s = \min\left(1, \frac{|v_s|}{v_{Mx}}\right) \text{ при } v_{Mx} > 0,01 \\ s = \min\left(1, \frac{2 * |v_s|}{0,01 + \frac{v_{Mx}^2}{0,01}}\right) \text{ при } v_{Mx} \leq 0,01 \end{cases}$$

Скорость скольжения в пятне контакта:

$$v_s = v_{Mx} - \omega_k * r_{k0}$$

Допущение:

$$R_{z2} = R_{z3} = \frac{R_{z23}}{2}$$

Вертикальная реакция на заднюю пару осей:

$$R_{z23} = 2 * \left( \frac{a_{Mx} * m_M * h_g + M_w - P_{Mz} * l_{1c} - P_{Mx} * h_g}{l_{12} + l_{13}} + \frac{-P_{wx} * h_w - P_{Mz} * f_{ш23} * r_{k0}}{l_{12} + l_{13}} \right),$$

Вертикальная проекция силы тяжести КМ:

$$P_{Mz} = -m_M * g * \cos(\alpha_{опх}).$$

Коэффициент сопротивления качению колес:

$$f_{ш2} = f_{ш0} + 6 * 10^{-6} * (r_{k0} * \omega_{k2})^2$$

Вертикальная реакция в пятне контакта первой оси КМ:

$$R_{z1} = P_{Mz} - 2 * R_{z2}$$

Угловая скорость колес i-ой оси:

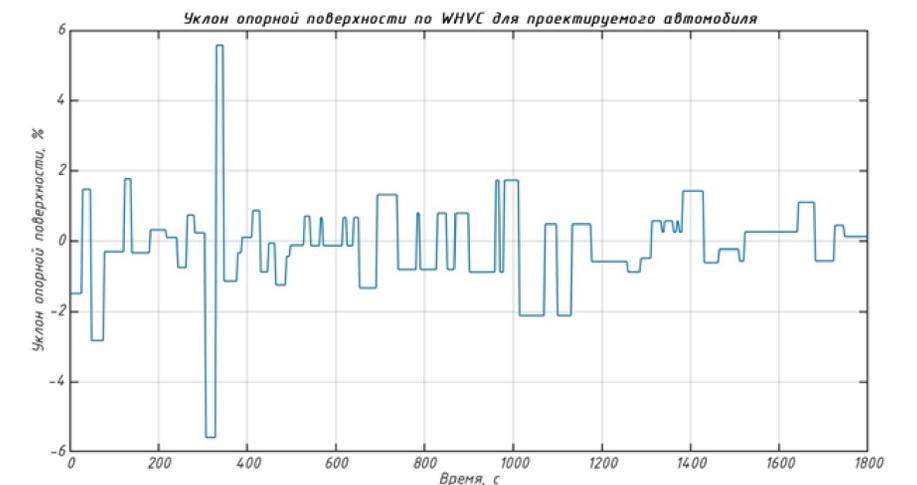
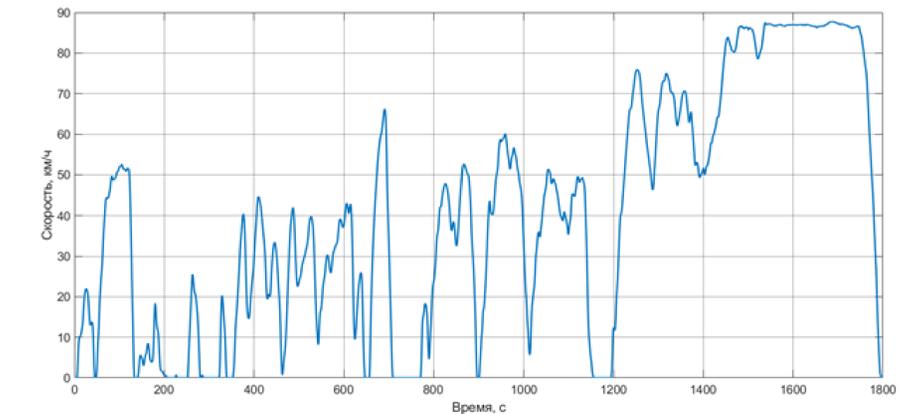
$$\omega_{ki} = \int_0^t \varepsilon_{ki} dt$$

Угловое ускорение колес i-ой оси:

$$\varepsilon_{ki} = \frac{M_{ki} - \text{sign}(\omega_{ki}) * r_{k0} * f_{шi} * R_{zi}}{J_k * n_{ki} + 2 * J_{ТЭД} * u_{Тр}^2}$$

2. Выбранный типовой ездовой цикл - WHVC

World Harmonized Vehicle Cycle - Согласованный во всем мире цикл движения транспортных средств



Показатель ездового цикла	Значение
Средняя скорость, км/ч	40,14
Максимальная скорость, км/ч	87,8
Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup>	1,594
Максимальное замедление, м/с <sup>2</sup>	1,731
Пройденный путь, км	20,07
Время тестирования, с	1800

Выпускная квалификационная работа				Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Научно-исследовательская часть	-
Разраб.	Экз.	Знаком.	Проф.	Учред.		
Проб.	Бузычов					
Т.контр.						
Н.контр.	Прохаров					
Учб.						

### 3. Критерии оценки емкости ТАБ для последовательного гибрида

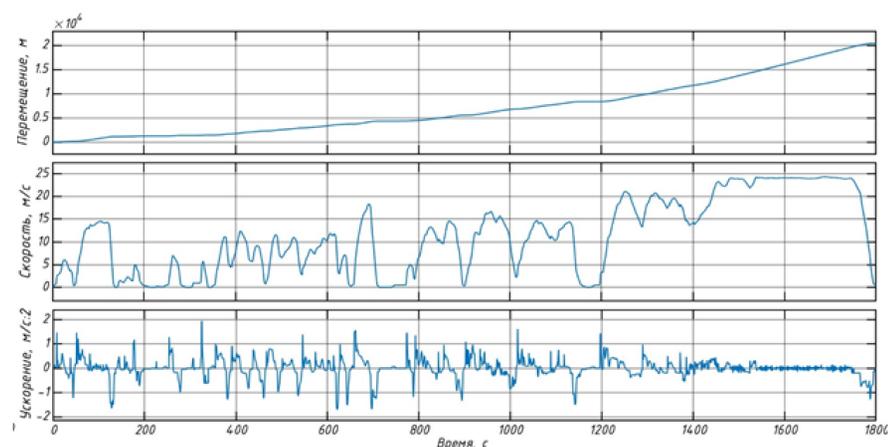
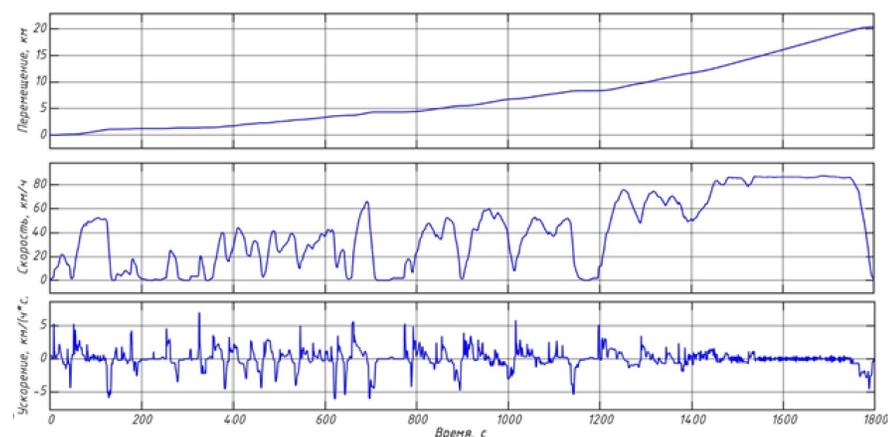
Первый критерий:

$$P_{ТАБ} \geq \frac{P_{Эд\max}}{\eta_{Эд}} - P_{Ген}$$

Второй критерий:

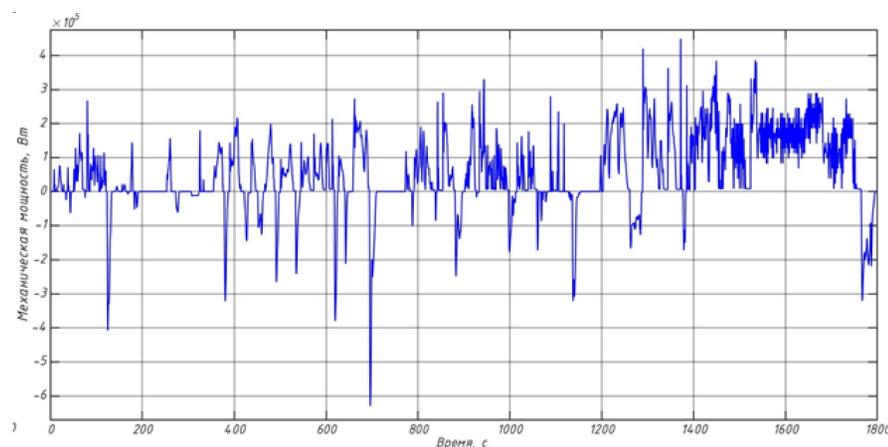
$$E_{ТАБ} = \frac{\Delta E_{\max}}{SOC_{\max} - SOC_{\min}}$$

### 3. Оценка требуемой емкости ТАБ исследуемого ТС



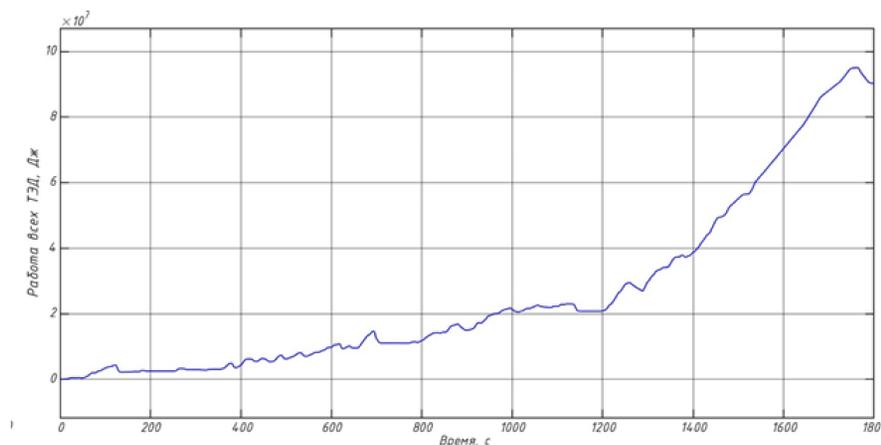
### Механическая мощность, выдаваемая суммарно всеми ТЭД:

$$P_{ТЭД\text{мех}} = M_{ТЭД2} * \omega_{к2} * u_{тр} + M_{ТЭД3} * \omega_{к3} * u_{тр}$$



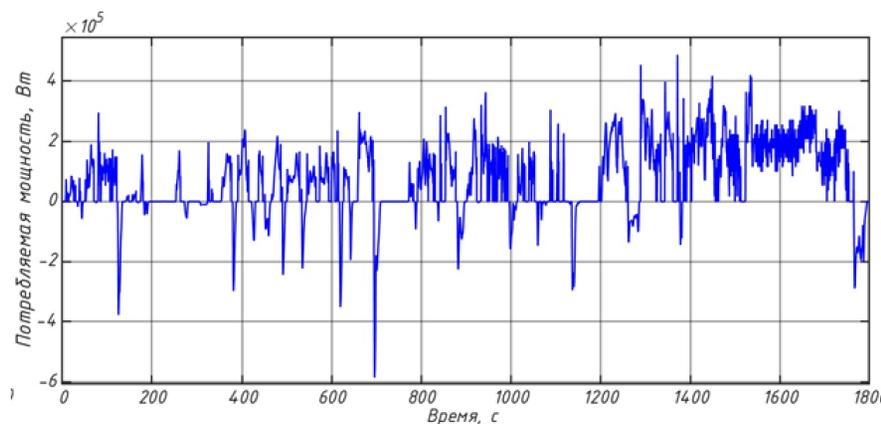
### Механическая работа, совершаемая суммарно всеми ТЭД

$$A_{ТЭД\text{мех}} = \int_0^{1800} P_{ТЭД\text{мех}} dt$$



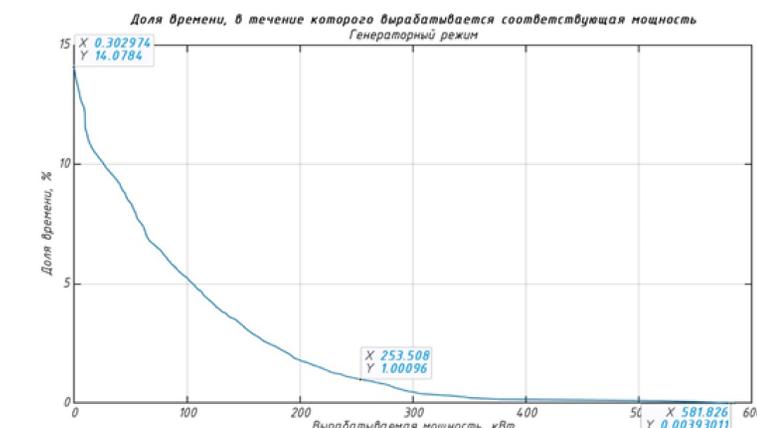
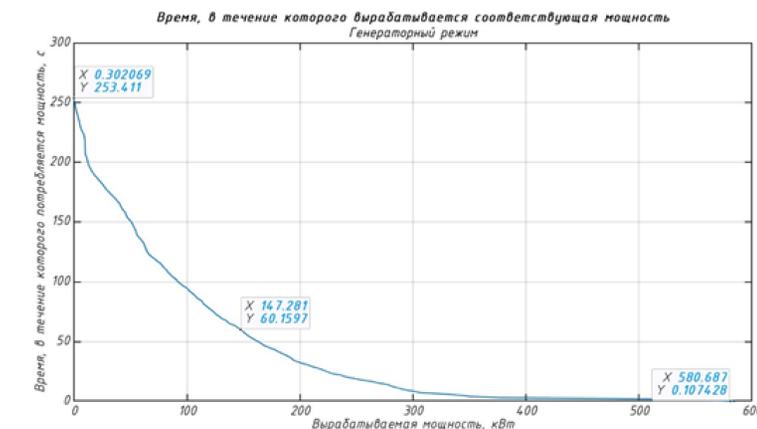
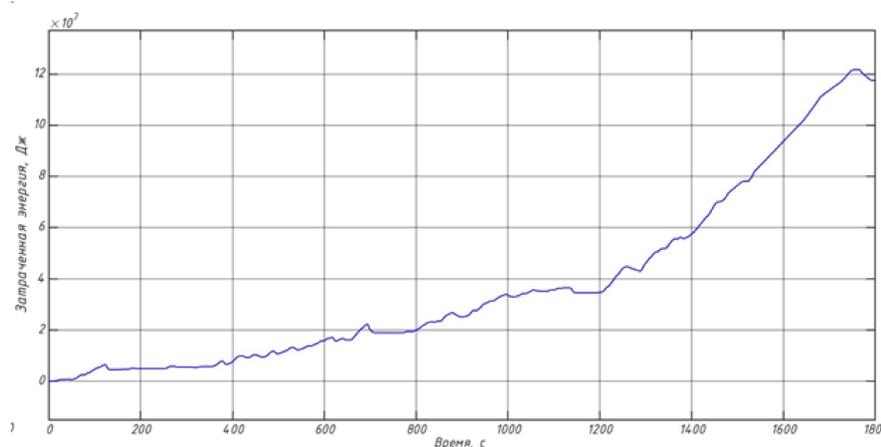
### Потребляемая электрическая мощность всеми ТЭД

$$P_{\text{потреб}} = P_{ТЭД\text{мех}2} / (\eta_{эл} * \eta_{ТЭД2}) + P_{ТЭД\text{мех}3} / (\eta_{эл} * \eta_{ТЭД3})$$



### Затраченная электрическая энергия всеми ТЭД

$$E_{\text{потреб}} = \int_0^{1800} P_{\text{потреб}} dt$$



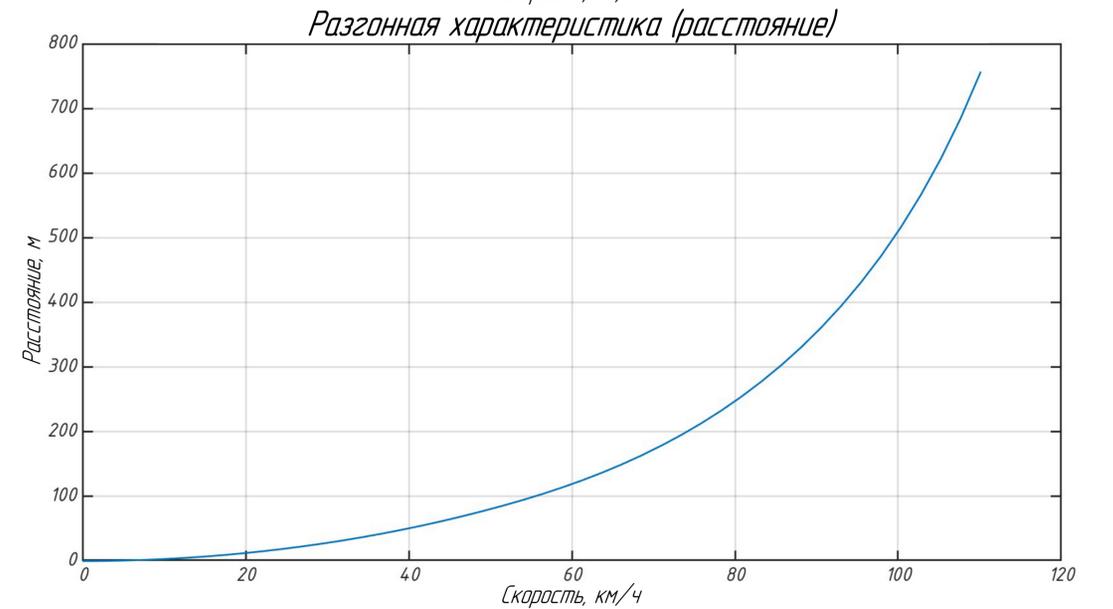
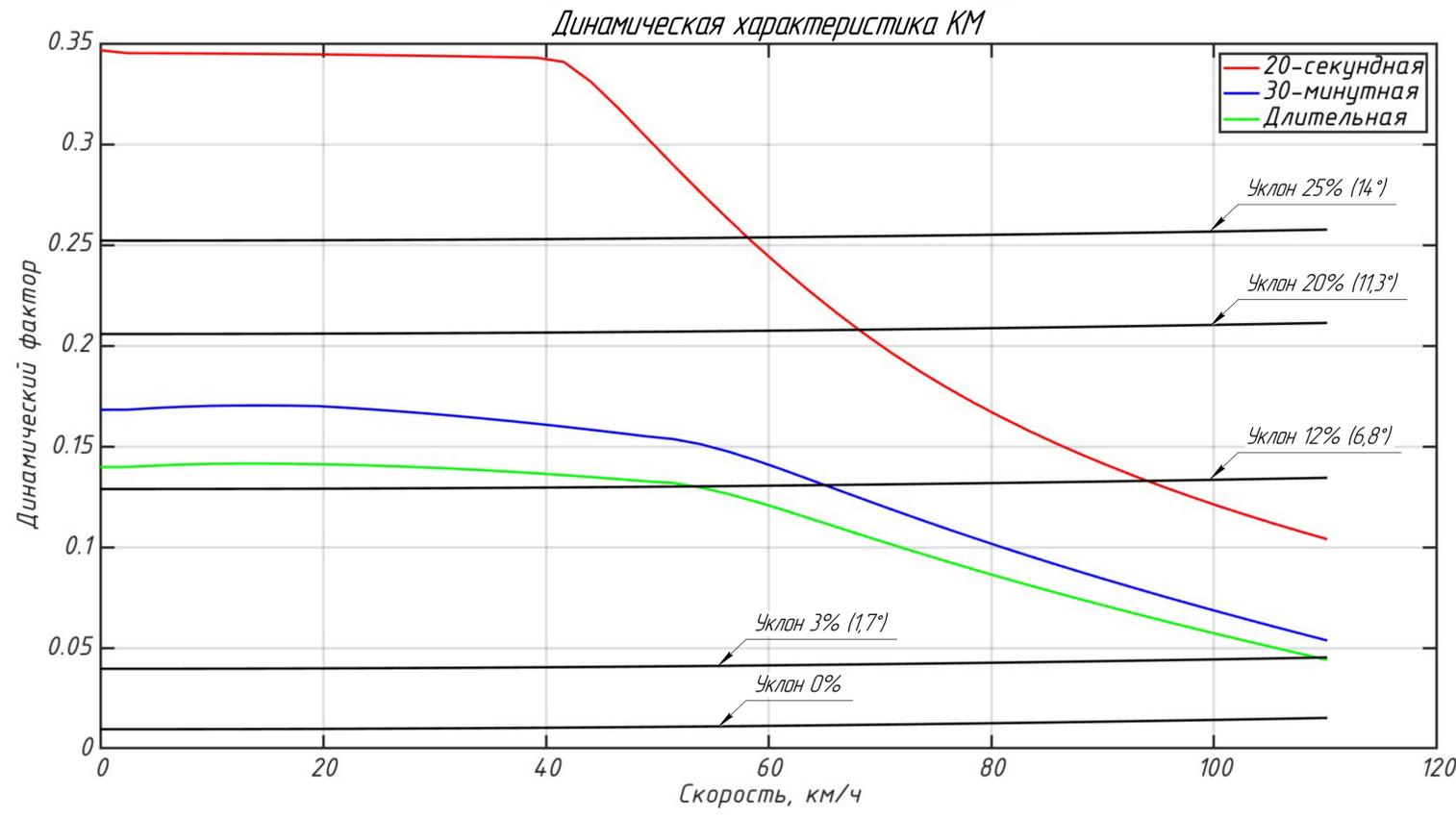
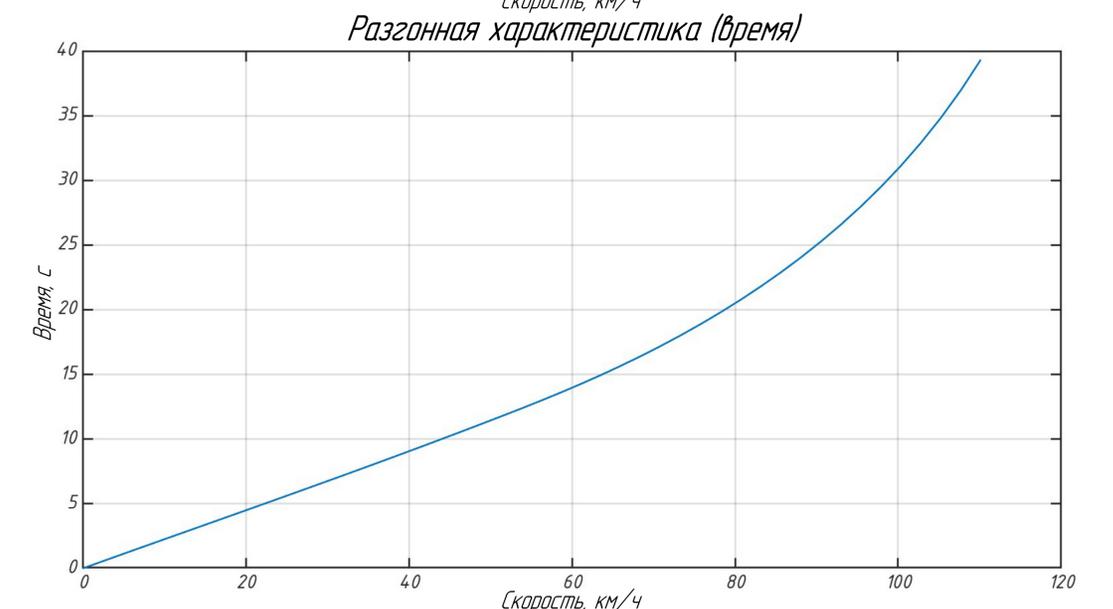
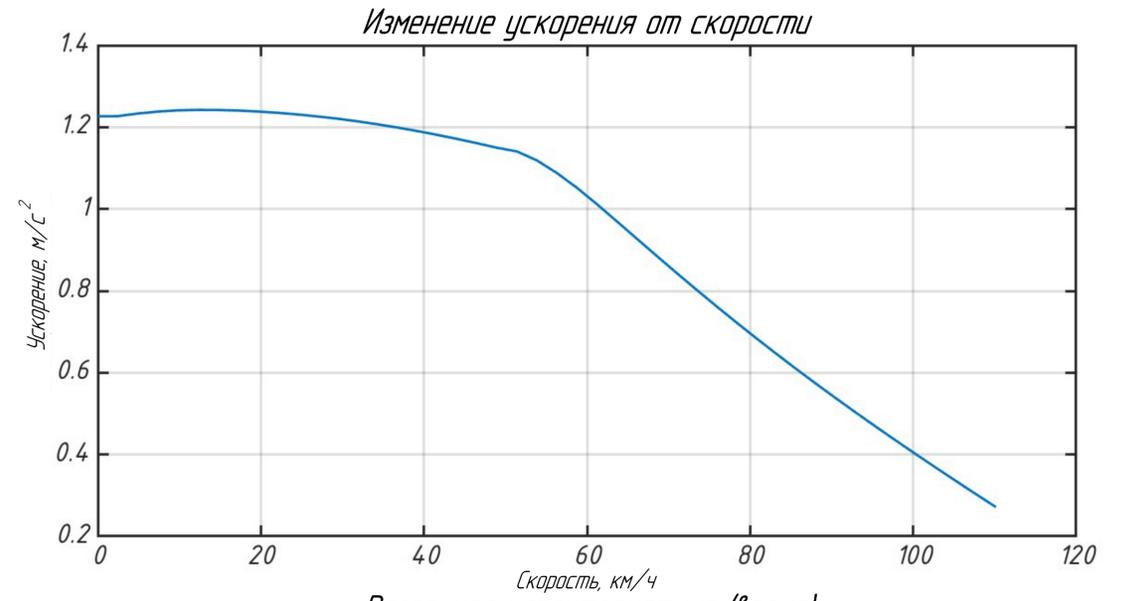
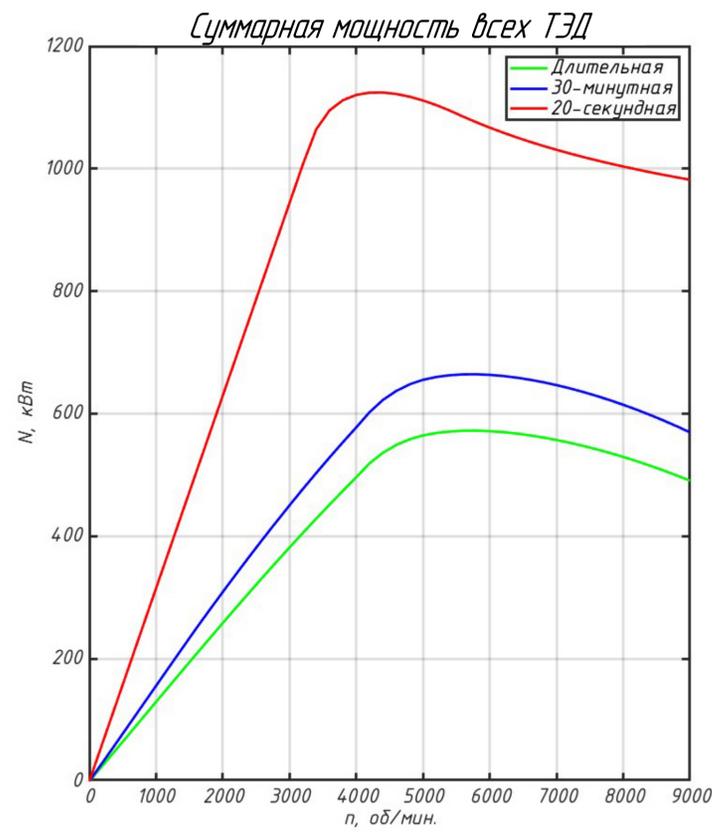
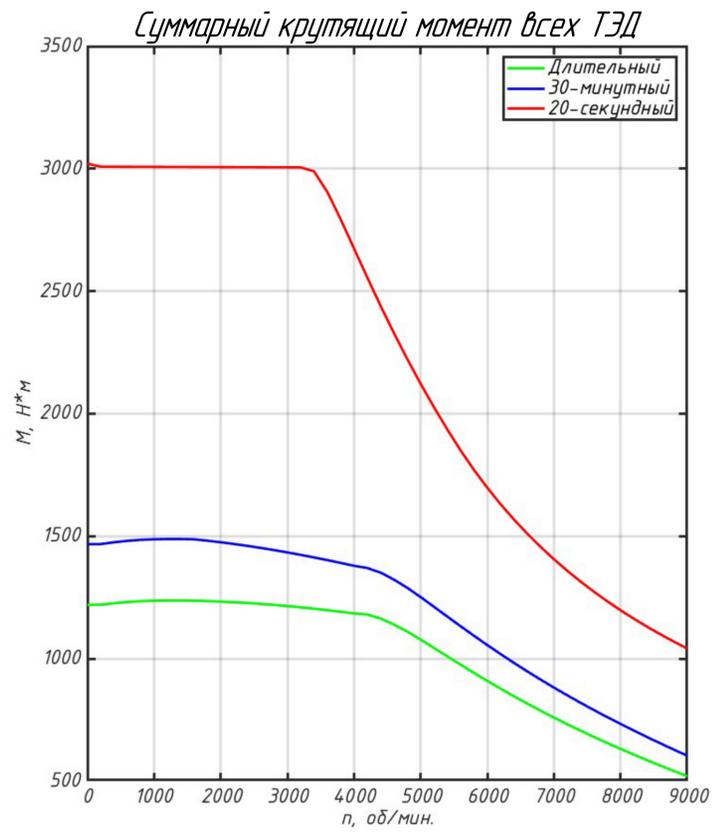
$$P_{\text{потреб\_кратковрем\_ТЭД}} = \frac{N_{ТЭД} * P_{20\text{сек}} * k_{\text{использования}}}{\eta_{ТЭД} * \eta_{\text{электрооборуд}}}$$

$$P_{\text{разряда\_долговрем\_ТАБ}} \geq P_{\text{потреб\_долговрем\_ТЭД}} - P_{\text{Ген\_долговрем}}$$

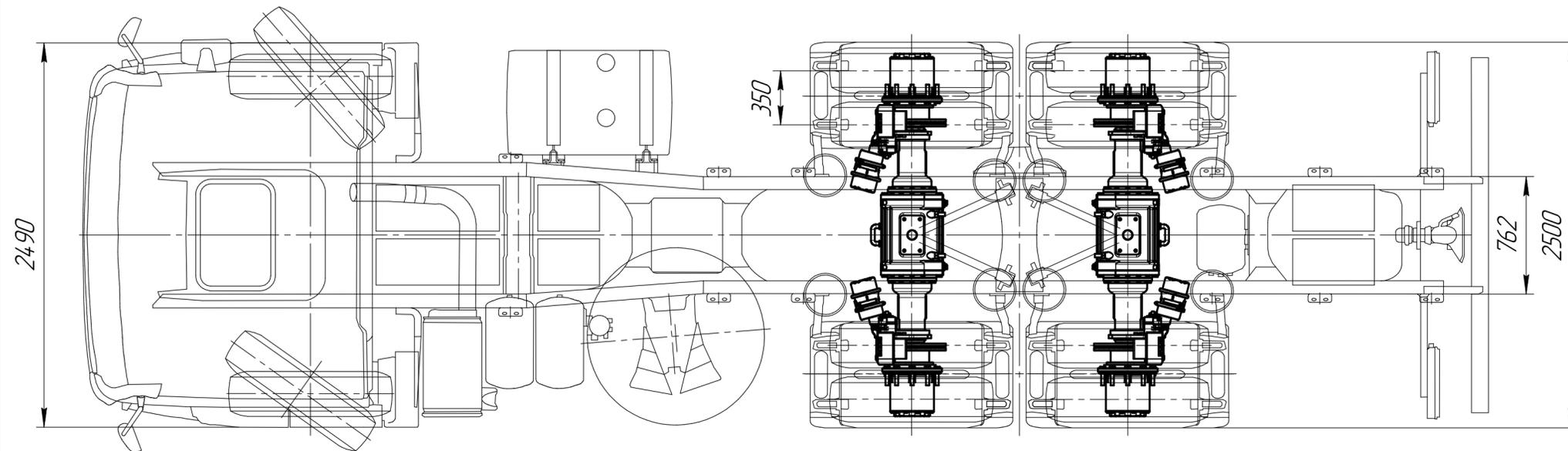
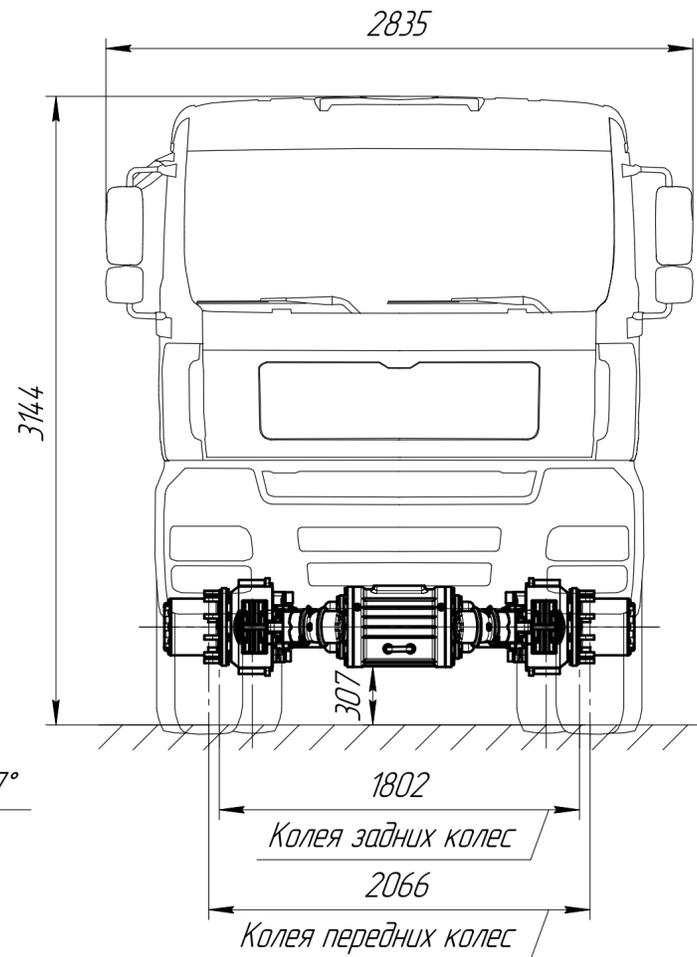
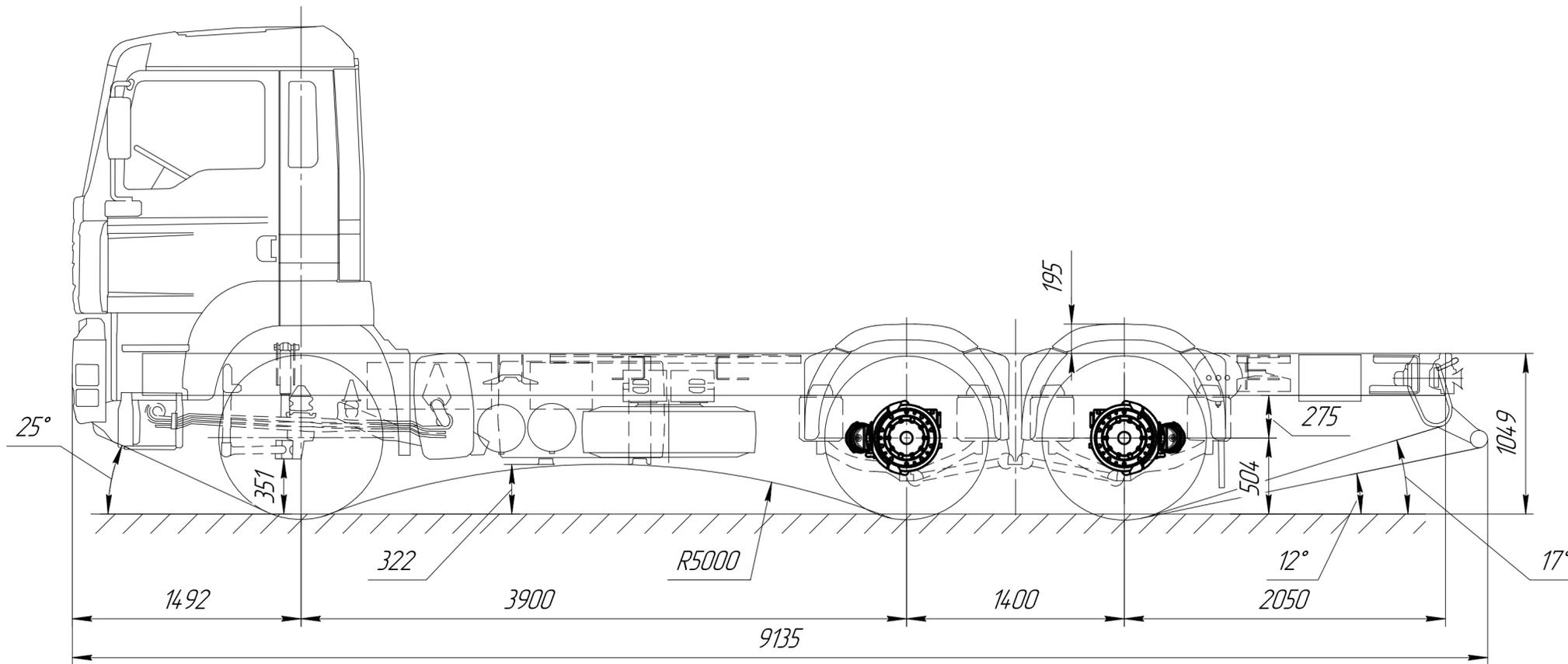
$$P_{\text{разряда\_кратковрем\_ТАБ}} \geq P_{\text{потреб\_кратковрем\_ТЭД}} - P_{\text{Ген\_кратковрем}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C \geq \frac{P_{\text{разряда\_долговрем\_ТАБ}}}{C_{\text{rate\_разряда\_долговрем}} * U_{ТАБ}} \\ C \geq \frac{P_{\text{разряда\_кратковрем\_ТАБ}}}{C_{\text{rate\_разряда\_кратковрем}} * U_{ТАБ}} \\ C \geq \frac{P_{\text{заряда\_долговрем\_ТАБ}}}{C_{\text{rate\_заряда\_долговрем}} * U_{ТАБ}} \\ C \geq \frac{P_{\text{заряда\_кратковрем\_ТАБ}}}{C_{\text{rate\_заряда\_кратковрем}} * U_{ТАБ}} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} C \geq \frac{132 * 10^3}{2,5 * 650} \\ C \geq \frac{252 * 10^3}{7 * 650} \\ C \geq \frac{147 * 10^3}{2,5 * 650} \\ C \geq \frac{254 * 10^3}{7 * 650} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} C \geq 82 \text{ A} * \text{ч} \\ C \geq 56 \text{ A} * \text{ч} \\ C \geq 91 \text{ A} * \text{ч} \\ C \geq 56 \text{ A} * \text{ч} \end{array} \right.$$

$$P_{\max} = C_{\text{rate}} * U_{ТАБ} * C$$



				Выпускная квалификационная работа		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Тягово-динамический расчет	Лит.
						Масса
						Масштаб
Разраб.	Эранасян					-
Проб.	Лактехов					-
Т.контр.						Лист
						Листов
Н.контр.	Прохаров					1
Утв.						МГТУ им. Н.Э. Баумана

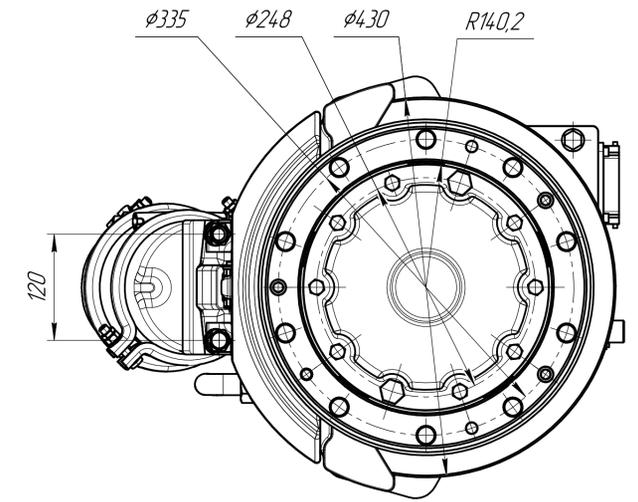
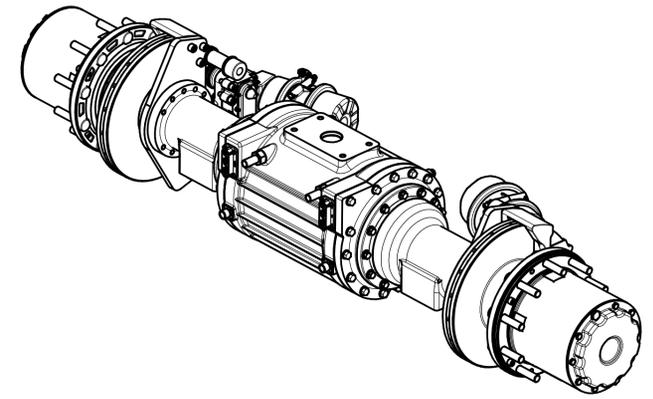
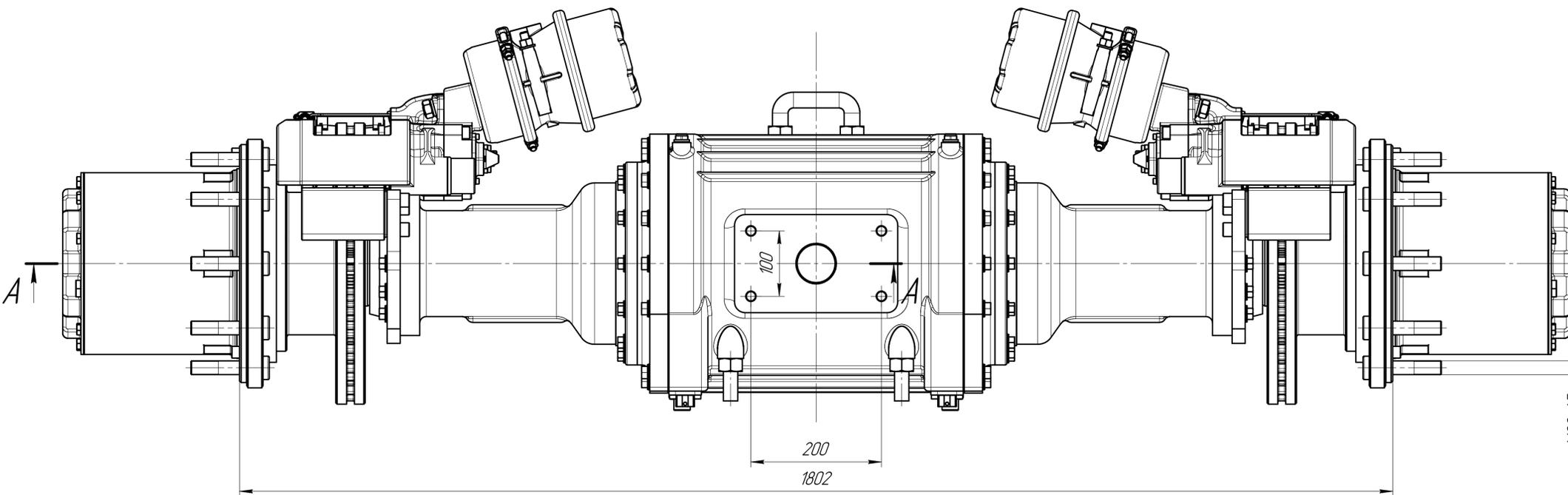
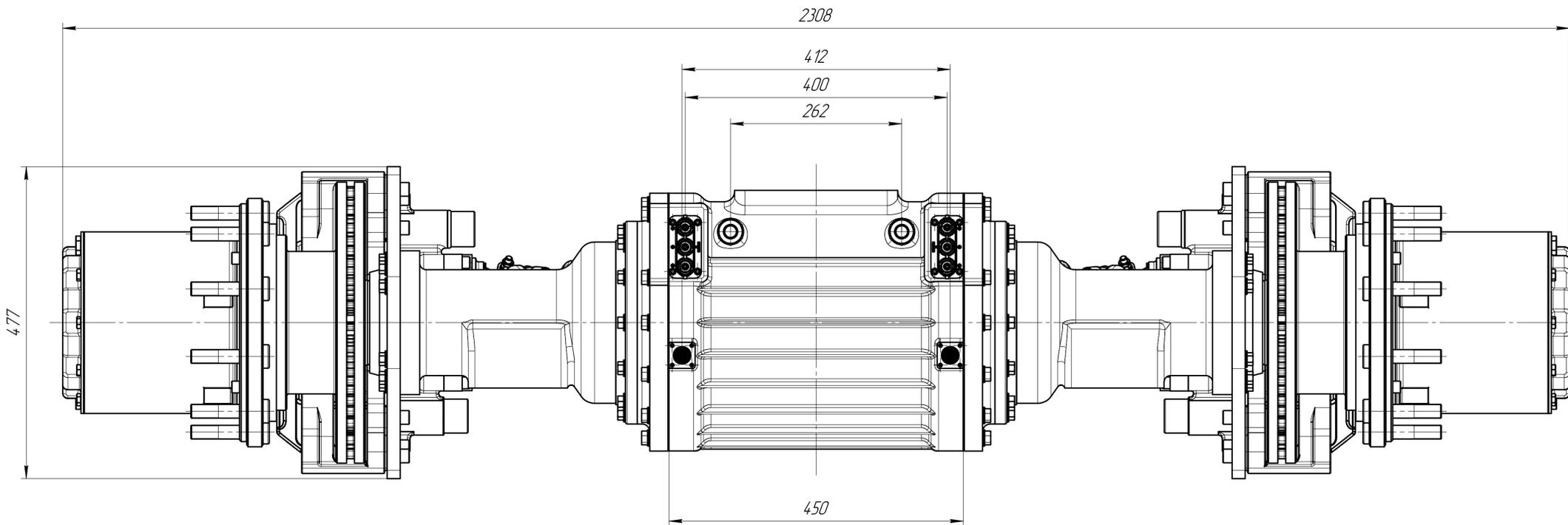
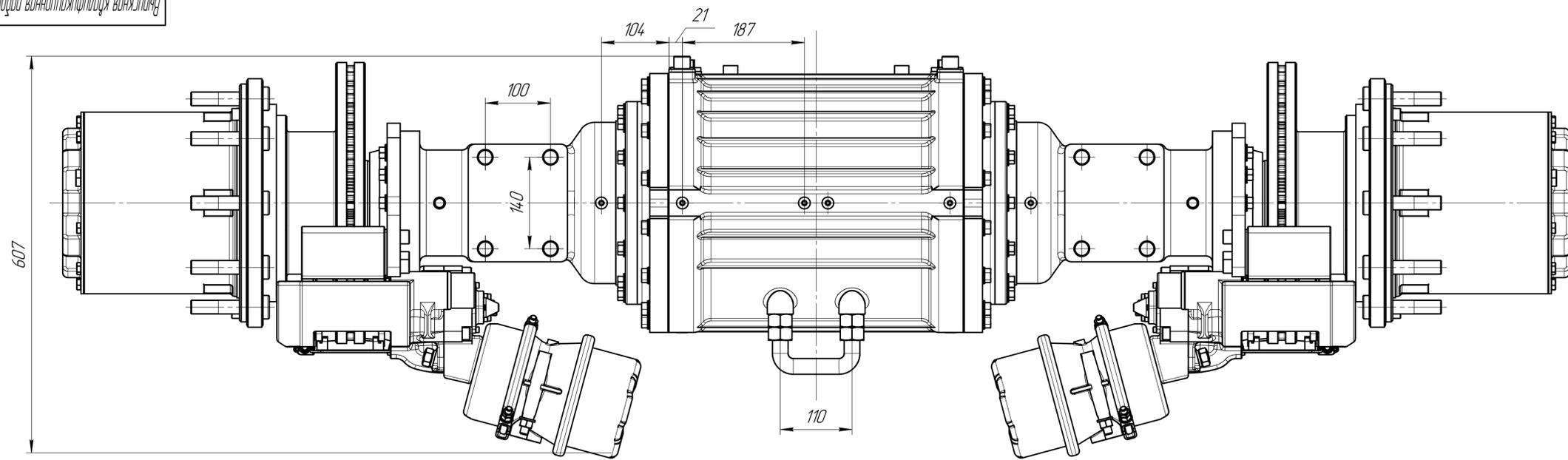


- Технические характеристики:**
- Колесная формула 6x4.
  - Снаряженная масса m=10150 кг.
  - Полная масса m=26000 кг.
  - Распределение полной массы:
    - на передний мост 7650 кг.
    - на задние мосты 18350 кг.
  - Грузоподъемность 15850 кг.
  - Максимальная скорость v=110 км/ч.
  - Характеристики электродвигателя:
    - макс. длительная мощность 145 кВт.
    - макс. длительный момент 310 Н\*м.
    - макс. кратковременный момент 755 Н\*м.
    - макс. частота вращения 9000 об/мин.
  - Передача моста – двухступенчатая разнесенная.
    - Общее передаточное число 16,00.
  - Шины 315/80 R22.5.

Технические требования  
Размеры для справок.

Перв. подмен.  
Справ. №  
Подп. и дата  
Инв. № дубл.  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Инв. № подл.

				Выпускная квалификационная работа				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Общий вид автомобиля	Лит.	Масса	Масштаб
		Эрнэсаян					26000	1:25
		Лахтёхов			Чертеж общего вида	Лист	Листов	1
		Прохоров			МГТУ им. Н.Э. Баумана			
		Утв.			Копировал <span style="float: right;">Формат А2</span>			



Технические характеристики:

1. Грузоподъемность 11500 кг.
2. Передаточное отношение:  
первая ступень 4,00;  
вторая ступень 4,00;  
общее 16,00.
3. Тип электродвигателей СДПМ.
4. Характеристики электродвигателя:  
максимальная длительная мощность 145 кВт;  
максимальный длительный момент 310 Н\*м;  
максимальный кратковременный момент 755 Н\*м;  
максимальная частота вращения 9000 об/мин.
5. Шины 315/80 R22.5.
6. Колесные диски 9.00x22.5.
7. Дорожный просвет 307 мм.
8. Собственная масса 1055 кг.

Технические требования

Размеры для справок.

				Выпускная квалификационная работа		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Лист	Масса	Масштаб
		Эронасян			1055	1:4
		Лактехов		Лист	1	Листов
		Прохоров				3
		Чиб		МГТУ им. Н.Э. Баумана		
				Копировал	Формат А1	

# A-A (1:1)

$z_1=20$   
 $m=3,75$   
 $\beta=16^\circ$

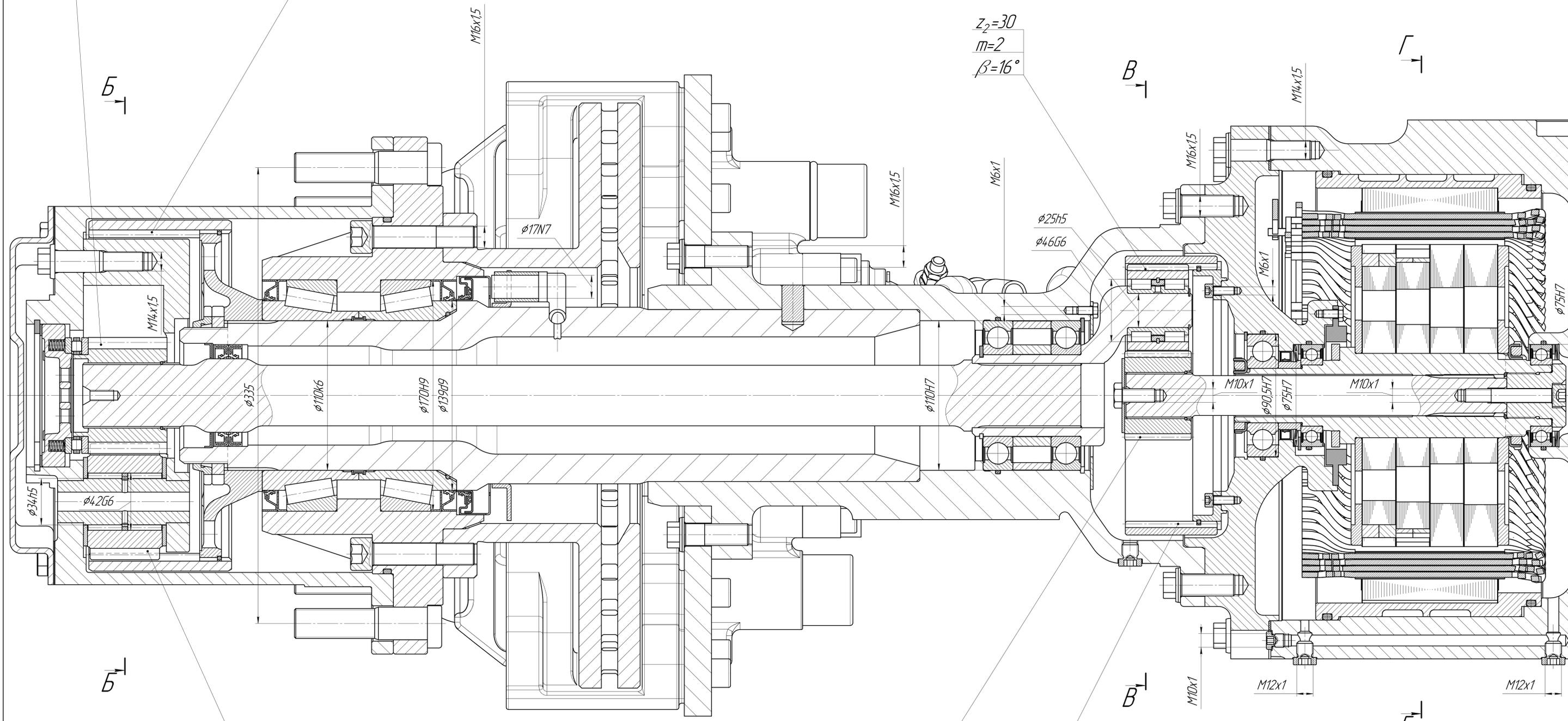
$z_3=60$   
 $m=3,75$   
 $\beta=16^\circ$

$z_2=30$   
 $m=2$   
 $\beta=16^\circ$

$z_1=30$   
 $m=2$   
 $\beta=16^\circ$

$z_3=90$   
 $m=2$   
 $\beta=16^\circ$

$z_2=20$   
 $m=3,75$   
 $\beta=16^\circ$



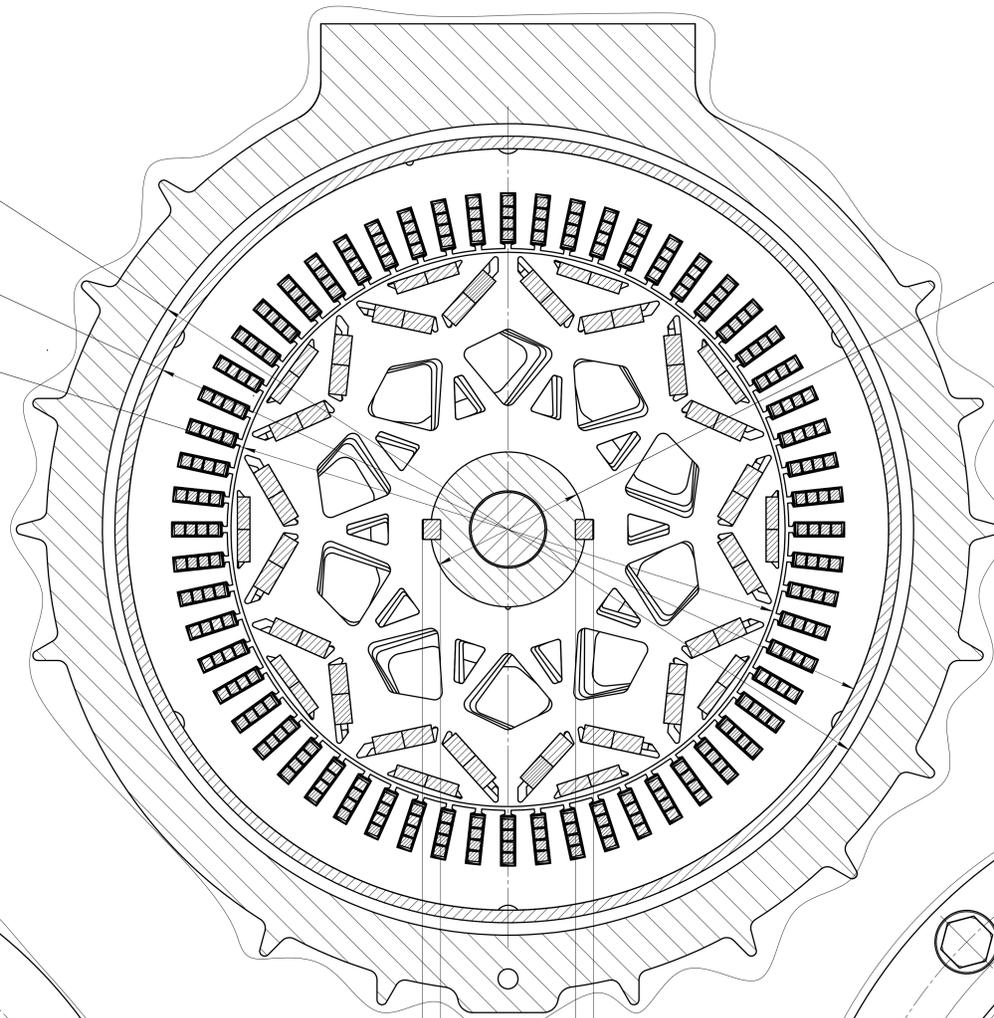
Г-Г (1:1)

φ325

φ305

φ222

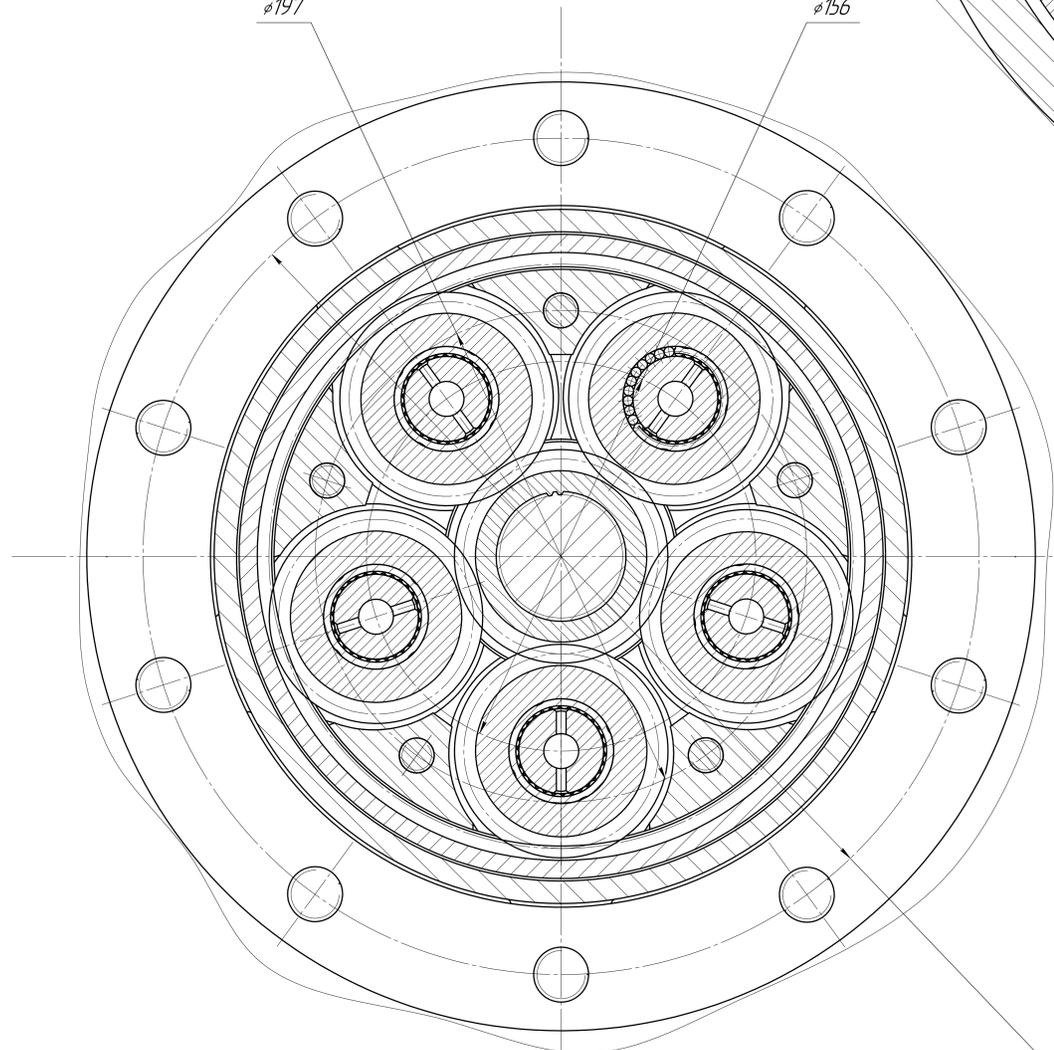
φ62k6



Б-Б (1:1)

φ197

φ156



54

68,6

В-В (1:1)

98

75

98

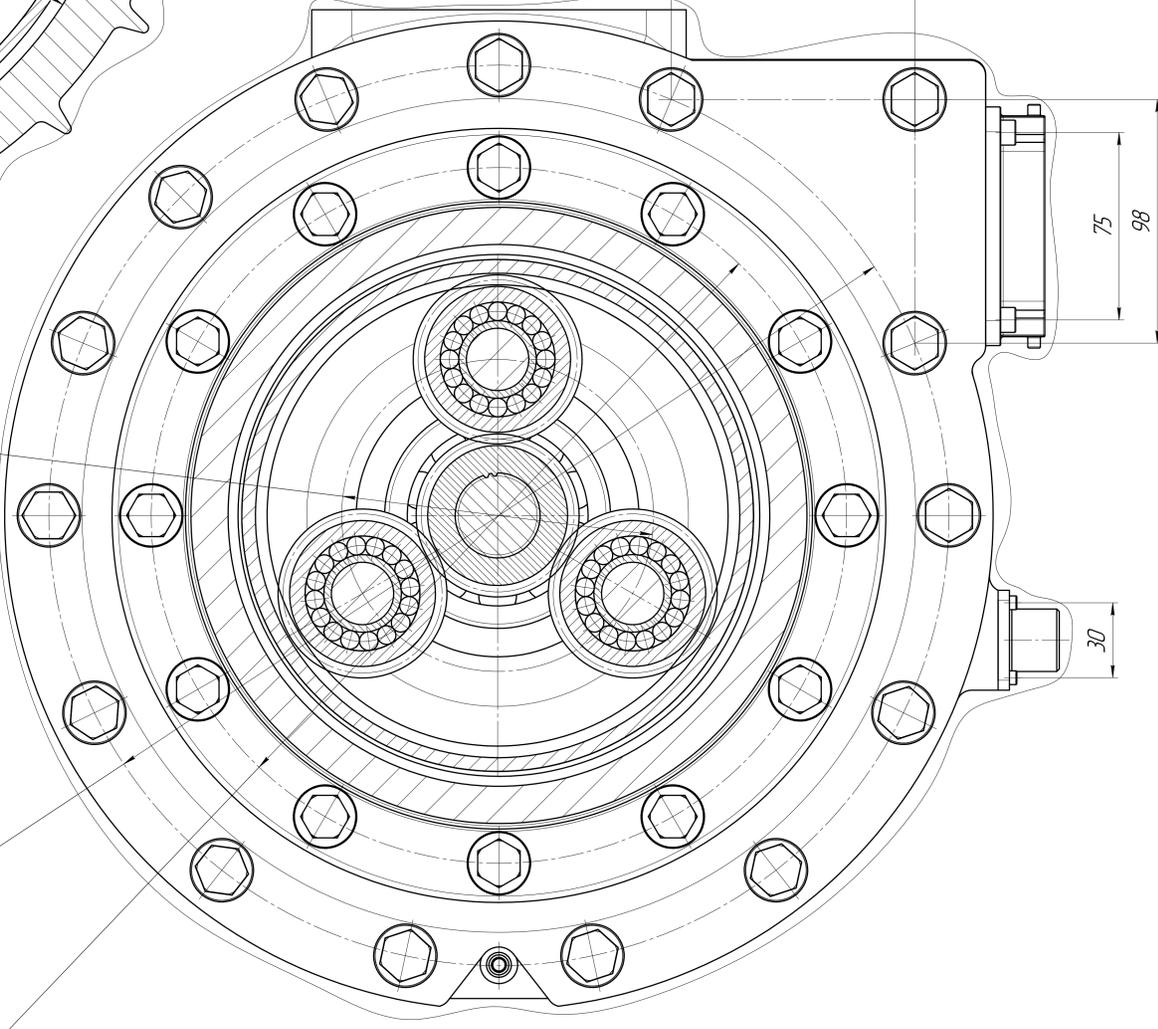
30

φ125

φ360

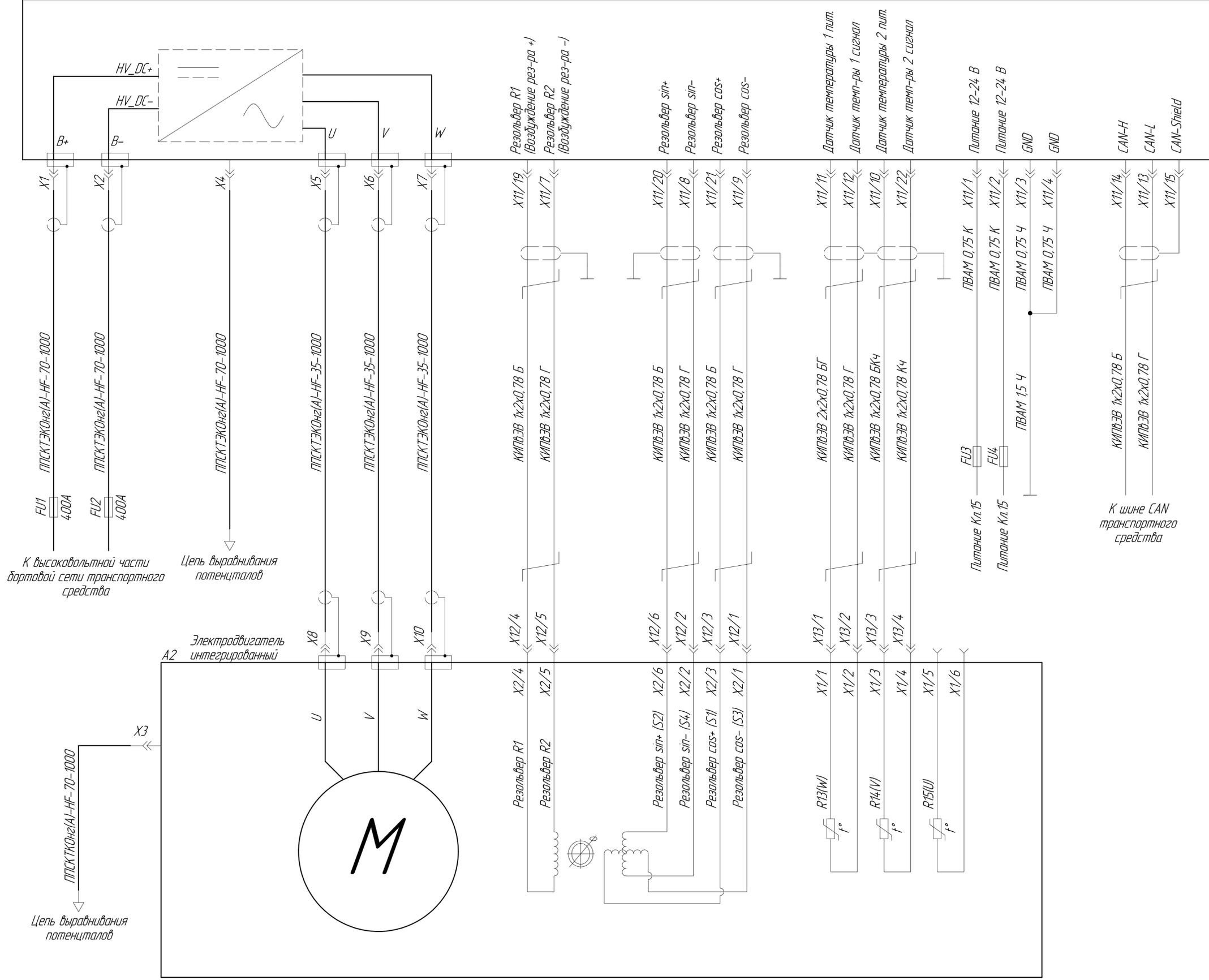
φ278

φ335





A1 Инвертор электродвигателя



Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A1	Инвертор электродвигателя	1	
A2	Электродвигатель интегрированный	1	
X1, X2	Наконечник ТМЛс 70-10	2	
X3, X4	Наконечник ТМЛс 70-12	2	
X5-X7	Наконечник ТМЛс 35-8	3	
X8-X10	Наконечник ТМЛс 70-10	3	
X11	Колодка гнездовая 776164-1	1	
X12, X13	Колодка штыревая 282234-3-1	2	
FU1, FU2	Предохранитель SIBA 90 320 20,400	2	
FU3, FU4	Предохранитель ПР-5	2	

Выпускная квалификационная работа				Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Лист		
Разраб.	Званская				-	-
Проб.	Соснин					
Т.контр.					Лист	Листов 1
И.контр.	Прохаров					
Утв.						

Тяговое электрооборудование

Схема электрическая принципиальная

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Копировал

Формат А1

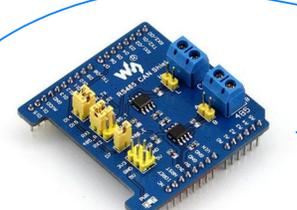
Устройства ввода

Исполнительные устройства



Лабораторный источник питания (настроить на 12 В)

+12В GND ИП



RS485/CAN Shield

Интерфейс RS485

Питание платы RS485/CAN

CAN-шина

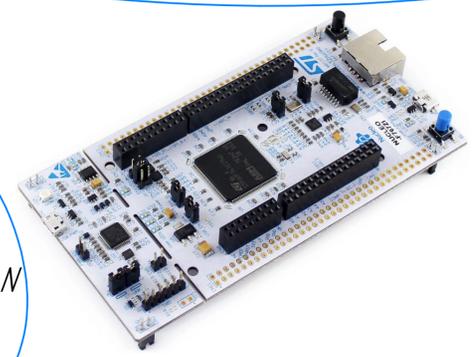


CAN-Transceiver cable

Питание CAN-модуля



Щит National Instruments (Data Acquisition System) с установленным на него модулем CAN



Плата системы управления STM32 NUCLEO-F767ZI

Устройства вывода

Прошивка, отладка через USB  
Питание платы через USB



Персональный компьютер с установленной программой LabView

Витая пара (патч-корд UTP)



16-кнопочная клавиатура Digilent PmodKYPD

Питание клавиатуры

Цифровые сигналы



Потенциометр

Питание потенциометра

Аналоговый сигнал

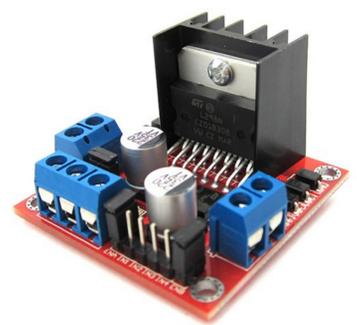


ИК-датчик расстояния Sharp GP2Y0A21YK0F

Аналоговый сигнал

Питание ИК-датчика

Управляющий ШИМ (частота вращения)  
GND



Драйвер электродвигателя L298N

+12В GND ИП

Питание э/д



Коллекторный электродвигатель постоянного тока

Выпускная квалификационная работа									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Масштаб	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Эрнаниян							-	-
Проб.	Соснин								
Т.контр.									
Н.контр.	Прохаров								
Утв.									
Макет системы управления движением автомобиля							Лист	Листов	1
Схема электрическая условно-структурная									
МГТУ им. Н.Э. Баумана									