

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра технической эксплуатации и ремонта автомобилей

*А.В. Пузаков*

# **РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург

2018

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

П 88

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Р.Х. Хасанов

**Пузаков, А.В.**

П 88

Расчёт системы электростартерного пуска автомобильных двигателей: методические указания / А.В. Пузаков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018.

Методические указания по выполнению контрольной работы (для обучающихся заочной формы) и расчётно-графического задания (для обучающихся очной формы) содержат порядок проверочного расчёта системы электростартерного пуска, в ходе которого возможность запуска автомобильного двигателя при заданных условиях пуска.

Методические указания предназначены для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов при изучении дисциплины «Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования»; по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства при изучении дисциплин «Электрооборудование автомобилей и тракторов» и «Электротехника и электрооборудование автомобилей».

УДК 629.33(075.8)

ББК 39.33-04я73

© Пузаков А.В., 2018

© ОГУ, 2018

## Содержание

Введение.....	4
1 Расчет вольтамперных характеристик аккумуляторных батарей .....	5
2 Расчет рабочих характеристик стартерного электродвигателя.....	10
2.1 Построение зависимостей напряжения батареи и стартера от тока стартера .....	12
2.2 Построение зависимости частоты вращения $n$ от тока стартера .....	13
2.3 Построение зависимости вращающего момента $M_2$ от тока стартера ...	14
2.4 Построение зависимости полезной мощности от тока стартера.....	15
2.5 Построение зависимостей потребляемой мощности и коэффициента полезного действия от тока стартера .....	16
3 Определение предельной температуры пуска.....	18
Список использованных источников .....	26
Приложение А Минимальные пусковые частоты вращения ДВС.....	27
Приложение Б Выбор моторного масла по минимальной температуре пуска .....	28
Приложение В Вязкость моторного масла .....	29
Приложение Г Параметры автомобильных стартеров .....	30
Приложение Д Параметры аккумуляторных батарей .....	33
Приложение Е Варианты заданий .....	35
Приложение Ж Пример расчета системы электростартерного пуска .....	40

## Введение

Целью расчётно-графических (контрольных) работ по курсу «Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» является получение навыков расчёта и выбора элементов систем электрооборудования автомобилей.

Расчет системы электростартерного пуска может быть двух видов: проверочными и проектировочным.

Проверочный расчет системы электростартерного пуска заключается в том, что необходимо найти предельную температуру пуска для указанного автомобиля, укомплектованного штатным электрооборудованием и определить, как она изменится в заданных условиях пуска.

Проектировочный расчет состоит в том, что для выбранного автомобиля необходимо подобрать такие стартер и аккумуляторную батарею, которые бы обеспечили предельную температуру пуска не меньше требуемой в заданных условиях пуска.

Варианты заданий задаются четырёхзначным числом. Согласно варианту задания, из таблиц Е.1 и Е.2 (приложение Е) выписываются данные, необходимые для выполнения расчёта.

# 1 Расчет вольтамперных характеристик аккумуляторных батарей

Вольтамперная характеристика представляет собой зависимость напряжения на выходах аккумуляторной батареи от силы тока, отдаваемого ею. С достаточной для инженерных расчетов точностью её можно считать прямой линией, отсекающей на оси напряжения и силы тока отрезки, соответствующие номинальному напряжению и току короткого замыкания.

На ток короткого замыкания в большей мере влияют условия эксплуатации аккумуляторной батареи, поэтому вольтамперные характеристики для заданных условий не совпадают. К заданным условиям относятся температура пуска (температура электролита), степень разряженности аккумуляторной батареи и порядковый номер попытки пуска. Перечисленные условия по-разному влияют на ток короткого замыкания, причем всегда в сторону его уменьшения. Стандартными условиями эксплуатации считают первую попытку пуска полностью заряженной батареи при температуре окружающей среды 20 °С.

Расчет вольтамперных характеристик проводится с целью компенсации падения тока короткого замыкания в заданных условиях эксплуатации путем применения аккумуляторной батареи большей емкости. В этом случае напряжение на стартере остается достаточным для пуска двигателя внутреннего сгорания при заданной температуре.

Для построения вольтамперной характеристики аккумуляторной батареи необходимо рассчитать ток короткого замыкания.

Ток короткого замыкания для стандартных условий:

$$I_{кзс} = (I_{+0}) \cdot n_{+} \cdot L, \quad (1)$$

где  $(I_{+0})$  – сила тока короткого замыкания, приходящаяся на одну положительную пластину для стандартных условий пуска, А. Принимают по таблице 1;

$n_+$  – число положительных пластин в аккумуляторе. Находится по приложению Д для штатной аккумуляторной батареи.

$L$  – количество параллельно соединенных АКБ. Берем из исходных данных (приложение Ж).

Таблица 1 – Сила тока короткого замыкания

Тип аккумуляторной батареи	Сила тока ( $I_{+0}$ ), А, для стандартных условий
6СТ-60А, 6СТ-77А, 6СТ-90А, 6СТ-50А, 6СТ-82А	256
6СТ-132ЭМ, 6СТ-182ЭМ, 6СТ-215ТМ, 6СТ-75ТМ	239
6СТ-44А, 6СТ-36А	250
6СТ-128А, 6СТ-140А	250
6СТ-55А, 6СТ-95А	232
6СТ-190А, 6СТ-210А	246

Сила тока короткого замыкания, А:

$$I_{кз} = I_+ \cdot n_+ \cdot L, \quad (2)$$

где  $I_+$  – сила тока короткого замыкания, приходящаяся на одну положительную пластину, А;

$$I_+ = I_{+0} + k_b \cdot t_{эл} - k_c \cdot \Delta C_p - k_d \cdot (Z_n - 1) - k_e \cdot (\tau_n - 10) \cdot (Z_n - 1), \quad (3)$$

где  $I_{+0}$  – сила тока короткого замыкания, приходящаяся на одну положительную пластину при первой попытке пуска, А;

$k_b$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  температуры электролита;

$t_{эл}$  – температура электролита, °С. Принять равной температуре пуска;

$k_c$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  степени разряженности батареи;

$\Delta C_p$  – степень разряженности аккумуляторной батареи, %;

$k_d$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  числа попыток пуска;

$Z_n$  – порядковый номер попытки пуска;

$k_e$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  скорости снижения тока короткого замыкания в течение одной попытки пуска;

$\tau_n$  – продолжительность одной попытки пуска, с. Принимают  $\tau_n = 10$  с. для бензиновых двигателей и  $\tau_n = 15$  с. для дизелей.

Таблица 2 – Значение коэффициента  $k_b$

Тип аккумуляторной батареи	Сила тока $I_{+0}$ , А, при нулевой температуре	Коэффициент $k_b$ при температуре электролита, °С	
		< 0 °С	> 0 °С
6СТ-60А, 6СТ-77А, 6СТ-90А, 6СТ-50А, 6СТ-82А	222	4,0	1,7
6СТ-132ЭМ, 6СТ-182ЭМ, 6СТ-215ТМ, 6СТ-75ТМ	195	3,2	2,2
6СТ-44А, 6СТ-36А	210	3,5	2,0
6СТ-128А, 6СТ-140А	220	4,0	1,5
6СТ-55А, 6СТ-95А	210	3,2	1,1
6СТ-190А, 6СТ-210А	222	3,4	1,2

Таблица 3 – Значение коэффициента  $k_c$

$\Delta C_p, \%$	Коэффициент $k_c$ при температуре электролита, $^{\circ}\text{C}$									
	-35	-30	325	-20	-15	-10	-5	0	5	10
10	0,25	0,26	0,28	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36	0,39	0,42
20	0,32	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,46	0,50	0,54	0,59
30	0,41	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,66	0,71	0,77
40	0,46	0,49	0,51	0,54	0,59	0,64	0,70	0,75	0,81	0,86
50	0,54	0,58	0,62	0,67	0,72	0,78	0,85	0,92	1,00	1,08

Таблица 4 – Значение коэффициента  $k_d$

$\Delta C_p, \%$	0	10	20	30	40	50
$k_d$ для бензиновых двигателей	1,5	1,8	2,0	3,0	4,0	5,0
$k_d$ для дизельных двигателей	4,0	4,8	5,5	6,0	6,7	8,3

Таблица 5 – Значение коэффициента  $k_e$

$t_{эл}, ^{\circ}\text{C}$	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
$k_e$	0,30	0,35	0,42	0,50	0,60	0,75	1,00	1,20	1,45	1,60

Результаты расчета вольтамперных характеристик удобно представить в виде таблицы по форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты расчета вольтамперных характеристик

Условия пуска	Ток короткого замыкания	Напряжение короткого замыкания
Стандартные условия	$I_{кзст}$	$U_{кз}^{ном}$
Заданные условия	$I_{кз}$	$U_{кз}$

Напряжение короткого замыкания АКБ для стандартных условий:



$$U_{кзст} = U_n \cdot (1 - I_k/I_{кзст}), \quad (4)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение бортовой сети, В;

$I_k$  – ток короткого замыкания стартера, А.

Напряжение короткого замыкания АКБ для заданных условий:

$$U_{кз} = U_n \cdot (1 - I_k/I_{кз}) \quad (5)$$

По данным таблицы 6 необходимо построить вольтамперные характеристики в следующей последовательности: по оси абсцисс расположить ось тока и в выбранном масштабе отложить на ней токи из таблицы 6, по оси ординат расположить ось напряжения и отложить номинальное напряжение бортовой сети автомобиля (12 или 24 В). Затем соединить прямыми линиями токи короткого замыкания и номинальное напряжение, получая, таким образом, вольтамперные характеристики (рисунок 1).

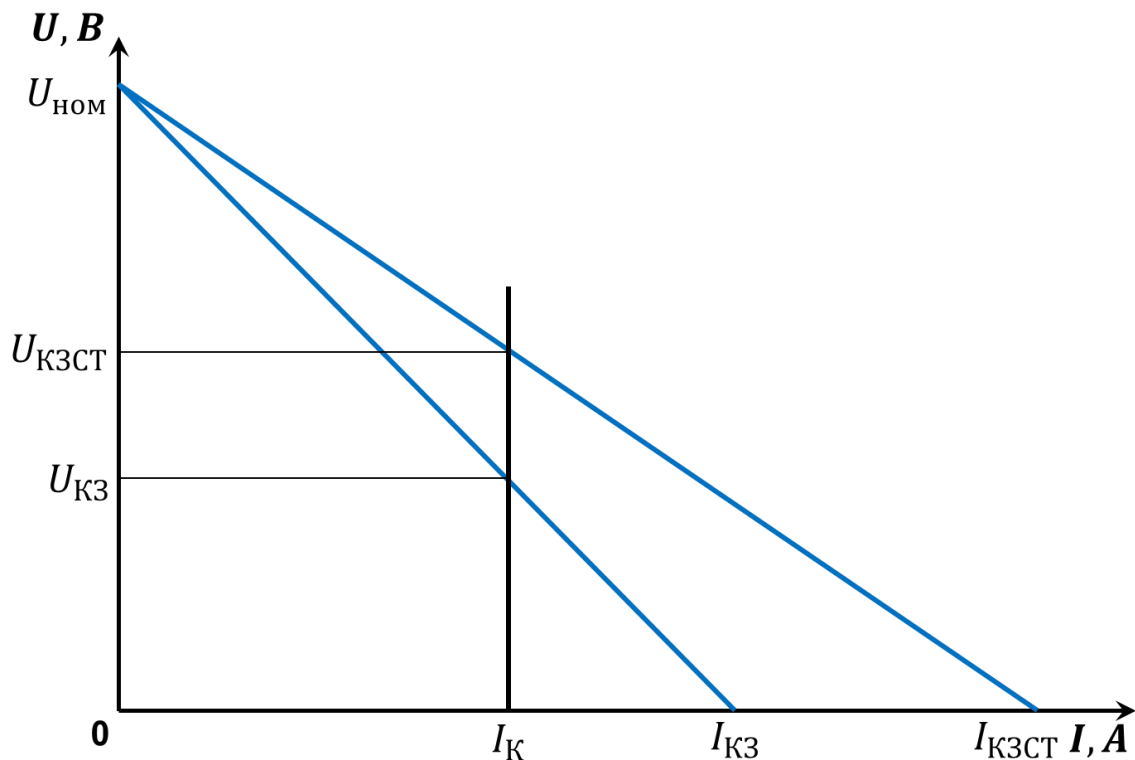


Рисунок 1 – Порядок построения вольтамперных характеристик

Далее на этом же графике откладывают величину тока короткого замыкания стартера (приложение Г) и находят точки пересечения перпендикуляра, восстановленного из этого тока и вольтамперных характеристик. Путем переноса этих точек на ось напряжения получают напряжения короткого замыкания, которые заносят в таблицу по форме таблицы 6.

## 2 Расчет рабочих характеристик стартерного электродвигателя

Целью расчета рабочих характеристик стартерных электродвигателей является нахождение полезной мощности в заданных условиях эксплуатации, а также определение и графическое представление зависимостей вращающего момента, частоты вращения и других характеристик, зависящих от тока стартера. Результаты расчета рабочих характеристик используются для расчета и построения скоростных и механических характеристик стартера, и их приведения к коленчатому валу двигателя внутреннего сгорания.

Рабочими характеристиками стартерного электродвигателя являются зависимости: напряжения батареи  $U_b$ , напряжение стартера  $U_{ст}$ , вращающего момента  $M_2$ , частоты вращения  $n$ , полезной мощности  $P_2$ , потребляемой мощности  $P_1$  и коэффициента полезного действия  $\eta$  от тока стартера  $I$ .

Рабочие характеристики строятся по паспортным данным стартера. Затем производится их пересчет на заданные условия эксплуатации.

Построение производится в следующем порядке: по оси абсцисс располагают ось тока и откладывают на ней ток холостого хода  $I_0$ , ток короткого замыкания  $I_k$  и номинальный ток стартера  $I_n$ . Токи холостого хода и короткого замыкания находят по приложению Г для принятого стартера.

Номинальный ток стартера:

$$I_H = k_I \cdot I_k \quad (6)$$

где  $k_I$  – коэффициент кратности тока короткого замыкания. Находят по таблице 7 в зависимости от мощности стартера.

Таблица 7 – Значение коэффициента  $k_I$

Мощность стартера, $P_H$ , кВт	Коэффициент $k_I$
<0,5	0,5
0,5 - 1,0	0,5 - 0,55
1,0 - 3,0	0,55 - 0,6
3,0 - 5,0	0,6 - 0,65
>5,0	0,7

Далее у начала координат откладывают шесть вертикальных осей, каждая из которых соответствует своей зависимости, (исключение составляет ось напряжения, которая, учитывая одинаковый масштаб, соответствует двум зависимостям).

Характеристики стартера делятся на линейные (напряжение батареи  $U_b$  и напряжение стартера  $U_{cm}$ ) и нелинейные (вращающий момент  $M_2$ , частота вращения  $n$ , полезная мощность  $P_2$ , потребляемая мощность  $P_1$  и коэффициент полезного действия  $\eta$ ).

## 2.1 Построение зависимостей напряжения батареи и стартера от тока стартера

Данные зависимости являются расчетными, то есть указанные напряжения находят по формулам для нескольких значений токов для стандартных условий.

Напряжение аккумуляторной батареи  $U_{\delta}$  для стандартных условий принимаем по таблице 6.

Напряжение стартера для стандартных условий

$$U_{ст} = U_{\delta} - I \cdot R_{ц}, \quad (7)$$

где  $R_{ц}$  – сопротивление проводов и «массы», Ом. Принимаем по таблице 8.

Таблица 8 – Сопротивление проводов и «массы»

Ток короткого замыкания стартера, $I_k$ , А	Сопротивление $R_{ц}$ , Ом
<500	0,004
500 - 700	0,003
700 - 1000	0,002
1000 - 1400	0,0015
>1400	0,001

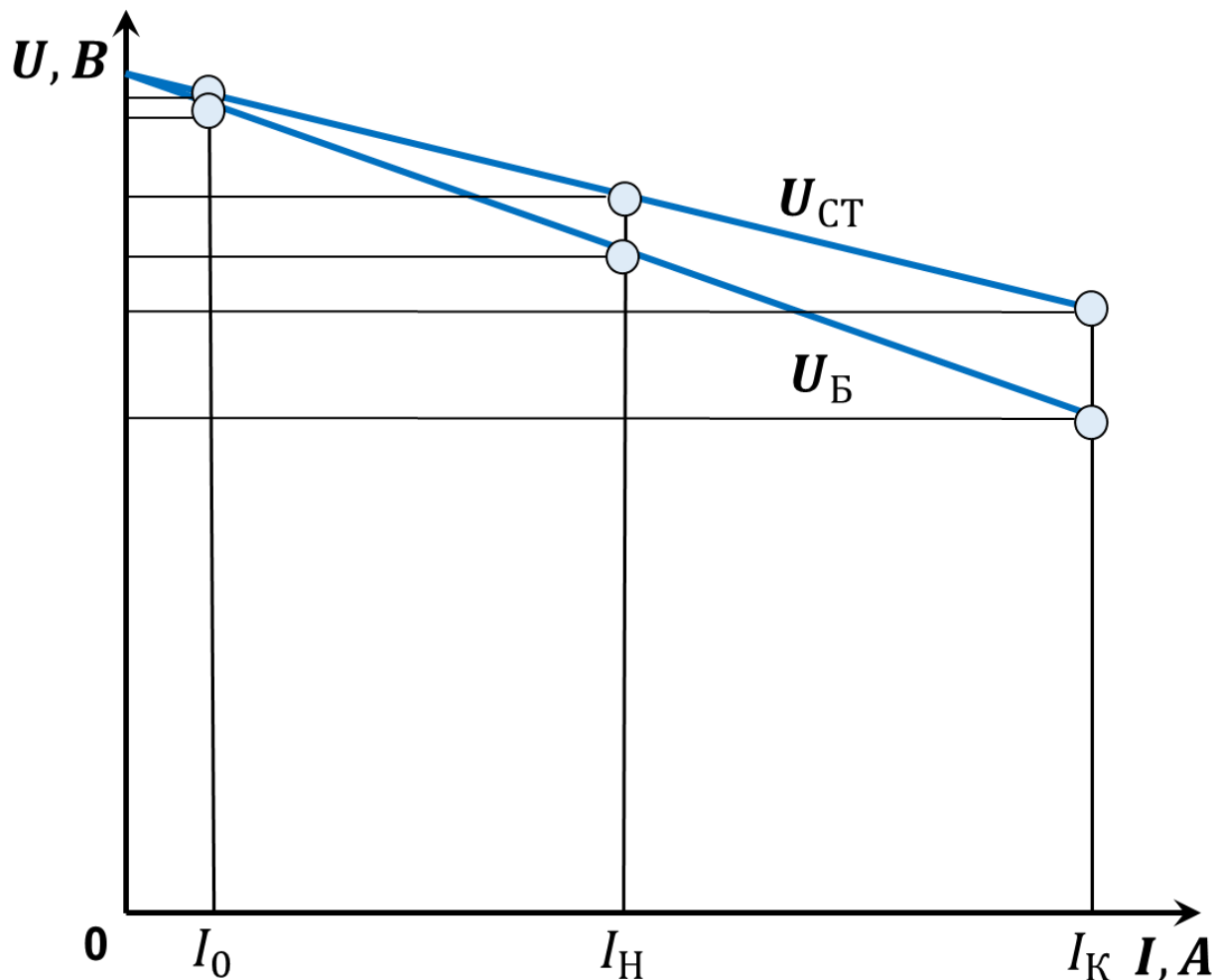


Рисунок 2 – Построение зависимостей напряжения батареи и напряжения стартера от тока стартера

## 2.2 Построение зависимости частоты вращения $n$ от тока стартера

Зависимости частоты вращения  $n$  от тока стартера строятся для стандартных условий эксплуатации. Каждая из них строится по трем точкам, которые соединяют одной плавной линией как показано на рисунке 3.

Точки зависимости частоты вращения для стандартных условий:

- 1 Точка холостого хода –  $n_0$  (приложение Г) при токе  $I_0$ ;
- 2 Точка номинального режима –  $n_n$  (приложение Г) при токе  $I_n$ ;
- 3 Точка короткого замыкания –  $n_k=0$  мин<sup>-1</sup> при точке  $I_k$ .

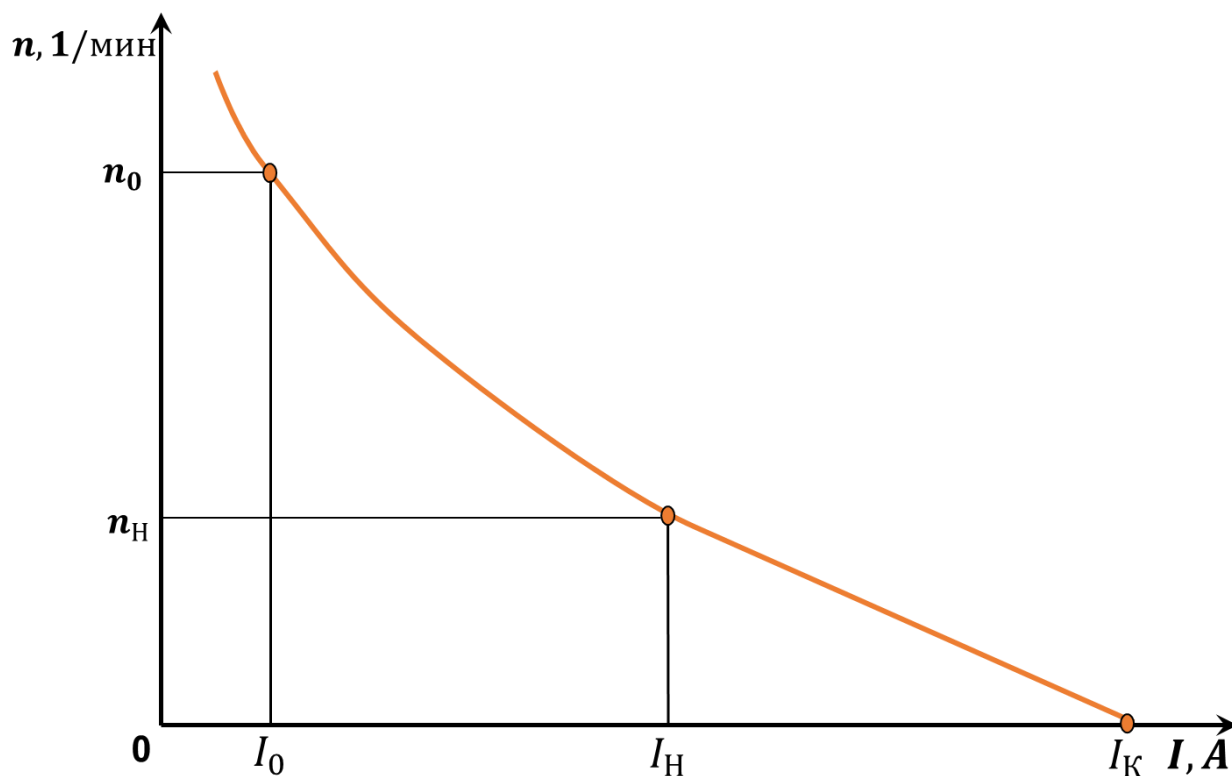


Рисунок 3 – Построение зависимости частоты вращения от тока стартера

### 2.3 Построение зависимости вращающего момента $M_2$ от тока стартера

Зависимость вращающего момента  $M_2$  от тока стартера строится по трем точкам, которые соединяют одной плавной линией как показано на рисунке 4.

Зависимость строится только для стандартных условий:

1 Точка холостого хода –  $M_2=0$  Н·м при токе  $I_0$ ;

2 Точка номинального режима –  $M_{2H}$  при токе  $I_H$ .

Номинальный вращающий момент определяют по формуле:

$$M_{2H} = 30 \cdot P_H / (\pi \cdot n_H), \quad (8)$$

3 Точка короткого замыкания –  $M_{2K}$  (приложение Г) при токе  $I_K$ .

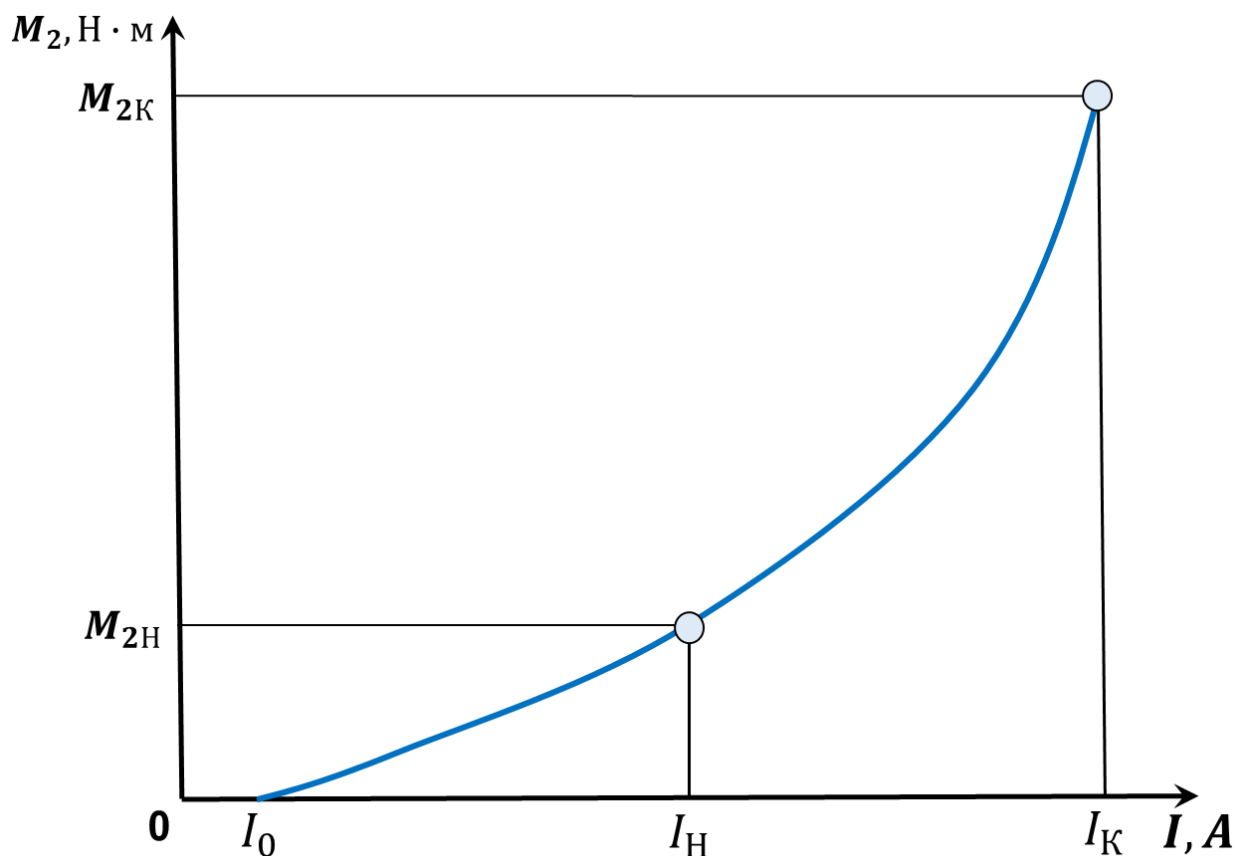


Рисунок 4 – Построение зависимости вращающего момента от тока стартера

#### 2.4 Построение зависимости полезной мощности от тока стартера

Зависимость полезной мощности от тока стартера строится по трем точкам, которые соединяют одной плавной линией как показано на рисунке 5.

Точки зависимости полезной мощности для стандартных условий:

- 1 Точка холостого хода –  $P_2 = 0$  Вт при токе  $I_0$ ;
- 2 Точка номинального режима –  $P_2 = P_n$  (приложение Г) при токе  $I_n$ ;
- 3 Точка короткого замыкания –  $P_2 = 0$  Вт при токе  $I_k$ .

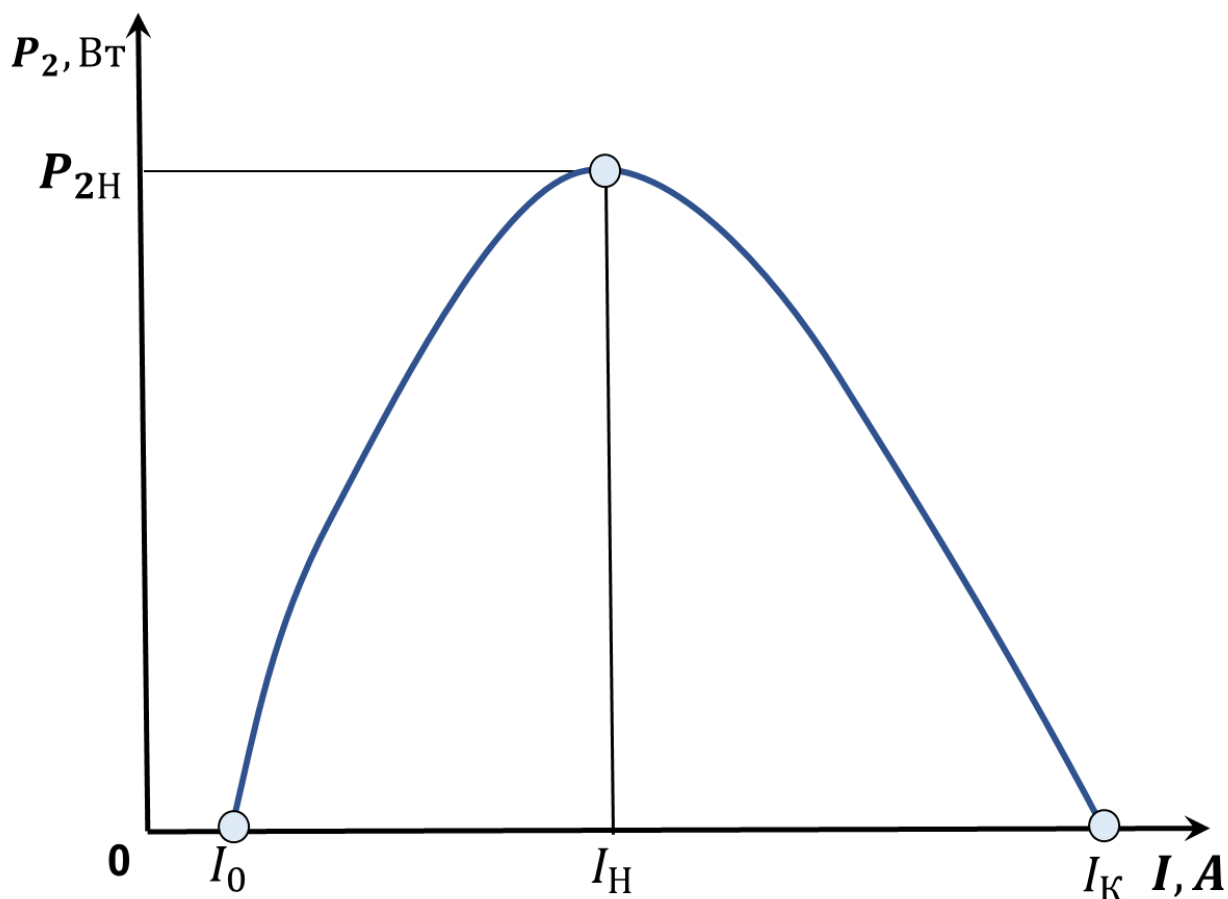


Рисунок 5 – Построение зависимости полезной мощности от тока стартера

### 2.5 Построение зависимостей потребляемой мощности и коэффициента полезного действия от тока стартера

Потребляемая мощность для стандартных условий вычисляется по формуле:

$$P_1 = U_{cm} \cdot I \quad (9)$$

Коэффициент полезного действия для стандартных условий:

$$\eta = P_2/P_1 \quad (10)$$



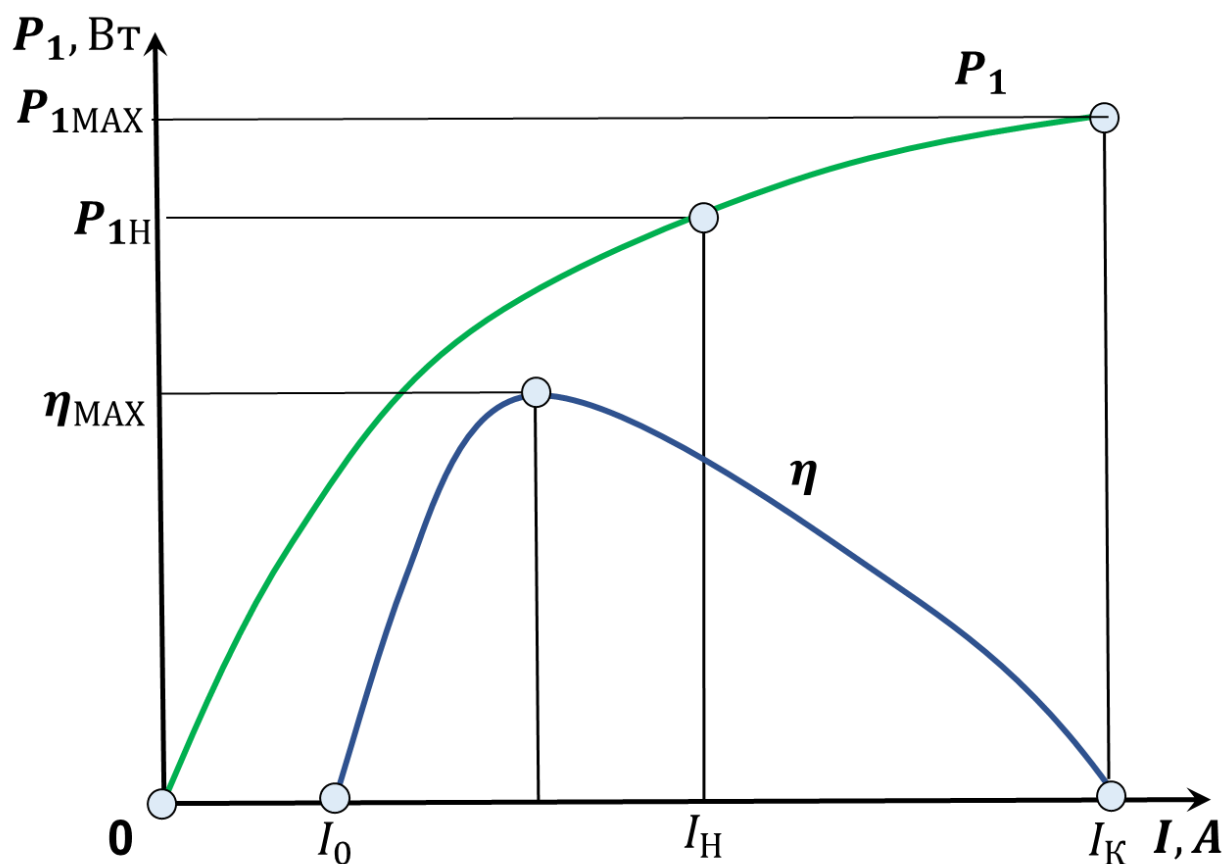


Рисунок 6 – Примерный вид зависимостей потребляемой мощности и КПД от тока стартера

Составляем таблицу по форме таблицы 9.

Таблица 9 – Рабочие характеристики стартерного электродвигателя

$I, A$	$I_0$	$I_H$	$I_K$
$U_6, B$			
$U_{cm}, B$			
$n, \text{мин}^{-1}$			
$M_2, H \cdot m$			
$P_2, Bт$			
$P_1, Bт$			
$\eta, \text{о.е.}$			

### 3 Определение предельной температуры пуска

Предельной температурой пуска двигателя внутреннего сгорания называется такая температура, при которой частота вращения, требуемая для пуска двигателя внутреннего сгорания, совпадает с частотой, развиваемой стартером.

Для определения предельной температуры пуска необходимо совместить зависимость минимальной пусковой частоты вращения для данного типа двигателя (приложение А) и зависимость частоты прокручивания коленчатого вала.

Зависимость частоты прокручивания коленчатого вала, в свою очередь, является результатом совмещения механических характеристик стартера и двигателя внутреннего сгорания, приведенных к коленчатому валу для нескольких значений температуры.

Механическими характеристиками называют зависимости момента от частоты вращения. Механической характеристикой стартера является зависимость вращающего момента стартера от его частоты вращения. Механической характеристикой двигателя внутреннего сгорания является зависимость среднего момента сопротивления от частоты вращения коленчатого вала.

Для определения частоты прокручивания коленчатого вала необходимо: рассчитать механические характеристики стартера для стандартных и заданных условий, привести их к коленчатому валу двигателя внутреннего сгорания, а также построить зависимости среднего момента сопротивления двигателя от частоты вращения коленчатого вала для тех же условий. Совмещение этих характеристик в одних координатах и даст частоту прокручивания коленчатого вала для стандартных условий.

Для приведения механической характеристики стартера к ДВС необходимо учесть передаточное отношение передачи стартер – маховик и её КПД.

Частота вращения коленчатого вала двигателя:

$$n_{ДВС} = n' / i_p, \quad (11)$$

где  $i_p$  – передаточное отношение стартер - венец маховика;

$$i_p = Z_{MAX} / Z_C, \quad (12)$$

где  $Z_{MAX}$  - число зубьев венца маховика двигателя;

$Z_C$  - число зубьев шестерни стартера. Принимают по таблице 10.

$$Z_{MAX} = k_z \cdot S_n \cdot \pi / m_z, \quad (13)$$

где  $k_z$  – коэффициент зубьев маховика. Принимают равным  $k_z = (1,0 - 1,4)$ ;

$S_n$  – ход поршня, мм. Берется из паспортных данных двигателя выбранного (заданного) автомобиля;

$m_z$  – модуль зубьев маховика. Принимаем равным модулю зубьев стартера (таблица 10).

Вращающий момент на коленчатом валу двигателя:

$$M_{ДВС} = M_2 \cdot i_p \cdot \eta_p, \quad (14)$$

где  $\eta_p$  – коэффициент полезного действия зубчатой передачи шестерня стартера-венец маховика двигателя внутреннего сгорания.

Обычно значение этого КПД лежит в пределах  $\eta_p = 0,8 - 0,85$ .

Таблица 10 – Параметры шестерни стартера

Тип стартера	Наличие встроенного редуктора	Число зубьев шестерни	Модуль зубьев, мм
СТ366Б	-	8	2,5
AZE45, AZE46	+	8	2,5
1111.3708, 26.3708, 2111.3708	-	9	2,11
AZE25, AZE26	+	9	2,5
Все остальные	-	9	2,5
СТ2А, 8802.3708	-	9	3,0
AZF45, AZF46	+	9	3,0
СТ222А	-	10	3,0
СТ142М, 242.3708, 202.3708, СТ142Н1, СТ142Д, 3002.3708, СТ142Б, СТ142Н	-	10	3,75
29.3708, 35.3708, 425.3708	-	11	2,11
AZJ, 561.3708	-	11	3,0
AZG	+	11	3,0
СТ142Т, СТ142Б1, 2501.3708	-	11	3,75
СТ721, 2562.3708, 16.3708, 25.3708, 254.3708, 255.3708	-	11	4,25

Минимальную пусковую частоту вращения коленчатого вала можно определить по приложению А, в зависимости от заданной температуры пуска, типа двигателя и количества цилиндров. Следует учесть, что приведенные графики соответствуют использованию всесезонного моторного масла. При

использовании летнего или зимнего моторного масла найденную частоту вращения необходимо соответственно уменьшить или увеличить на 20%. Если на графике отсутствует зависимость для имеющегося по заданию количества цилиндров, то частоту вращения находят по ближайшему количеству цилиндров, а затем изменяют пропорционально количеству цилиндров.

Пример: необходимо найти минимальную частоту вращения трехцилиндрового бензинового двигателя при использовании зимнего масла и температуре пуска  $t_p = -10\text{ }^\circ\text{C}$ .

В приложении А по зависимости для четырехцилиндровых бензиновых двигателей при  $t_p = -10\text{ }^\circ\text{C}$  находим, что  $n_{\min} = 42\text{ мин}^{-1}$ , так как двигатель не четырех-, а трехцилиндровый, то  $n_{\min} = 42 \cdot 4/3 = 56\text{ мин}^{-1}$ , а так как масло зимнее, а не всесезонное, то окончательно  $n_{\min} = 1,2 \cdot 56 = 67\text{ мин}^{-1}$ .

Средний момент сопротивления можно рассчитать по эмпирическим формулам:

- для бензиновых двигателей с количеством цилиндров шесть и меньше

$$M_{c.c.p} = (390 + 3,12 \cdot n_{ДВС}) \cdot v^{0,5} \cdot V_h \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

- для бензиновых двигателей с количеством цилиндров восемь и больше

$$M_{c.c.p} = (281 + 2,18 \cdot n_{ДВС}) \cdot v^{0,5} \cdot V_h \cdot 10^{-3} \quad (16)$$

- для дизельных двигателей с количеством цилиндров четыре и меньше

$$M_{c.c.p} = (1870 + 2,57 \cdot n_{ДВС}) \cdot v^{0,37} \cdot V_h \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

- для дизельных шестицилиндровых двигателей

$$M_{c.c.p} = (780 + 2,57 \cdot n_{ДВС}) \cdot v^{0,41} \cdot V_h \cdot 10^{-3} \quad (18)$$

- для дизельных двигателей с количеством цилиндров восемь и больше

$$M_{с.ср} = (858 + 1,72 \cdot n_{ДВС}) \cdot \nu^{0,39} \cdot V_h \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость моторного масла в начале пуска, мм<sup>2</sup>/с;

$V_h$  – рабочий объем цилиндров двигателя, л.

Результаты расчета механической характеристики заносят в таблицу по форме таблицы 11.

Таблица 11 – Механические характеристики стартерного электродвигателя

Условия эксплуатации	I, А	$I_0$	$I_H$	$I_K$
	n, мин <sup>-1</sup>			
	n <sub>ДВС</sub> , мин <sup>-1</sup>			
стандартные	M <sub>2</sub> , Н·м			
	M <sub>ДВС</sub> , Н·м			
	M <sub>с.ср</sub> , Н·м			
заданные	M <sub>2</sub> , Н·м			
	M <sub>ДВС</sub> , Н·м			
	M <sub>с.ср</sub> , Н·м			

Ток  $I_K'$  определяем графически, как показано на рисунке 7, а ток  $I_H'$  находим по формуле:

$$I_H' = k_I \cdot I_K', \quad (20)$$

Крутящий момент для заданных условий эксплуатации находят графически, как показано на рисунке 8.

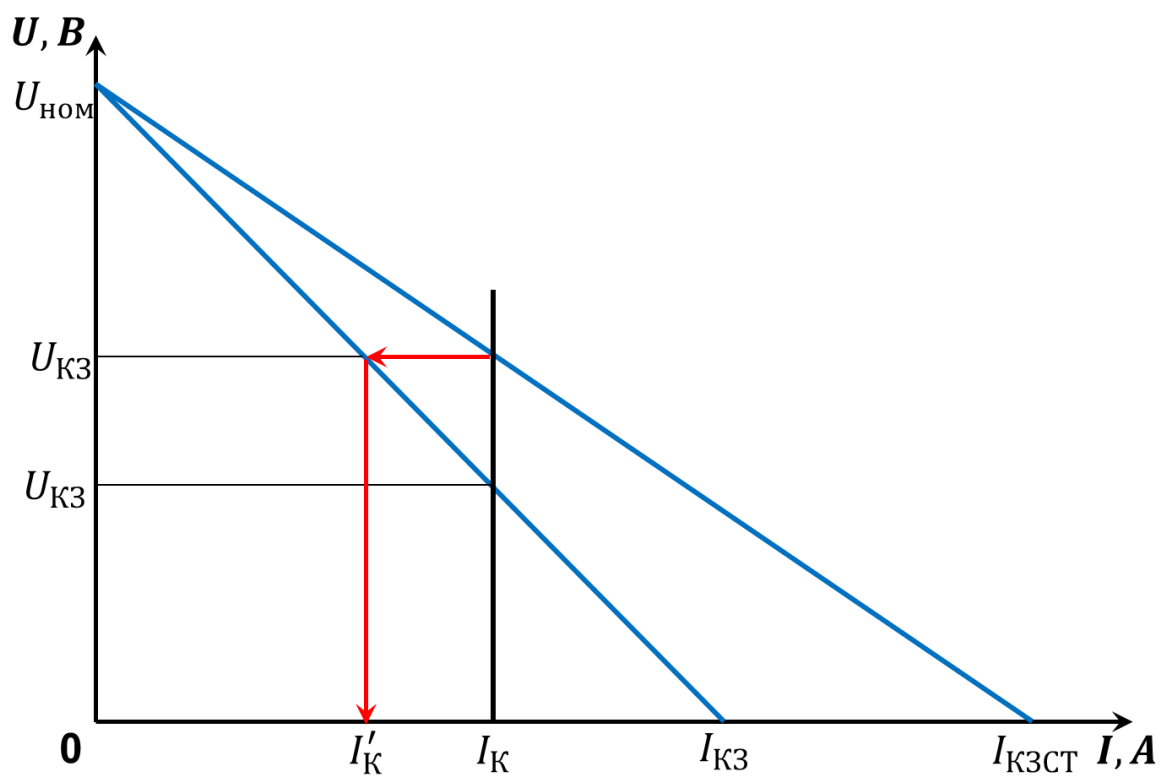


Рисунок 7 – Нахождение тока короткого замыкания в заданных условиях эксплуатации

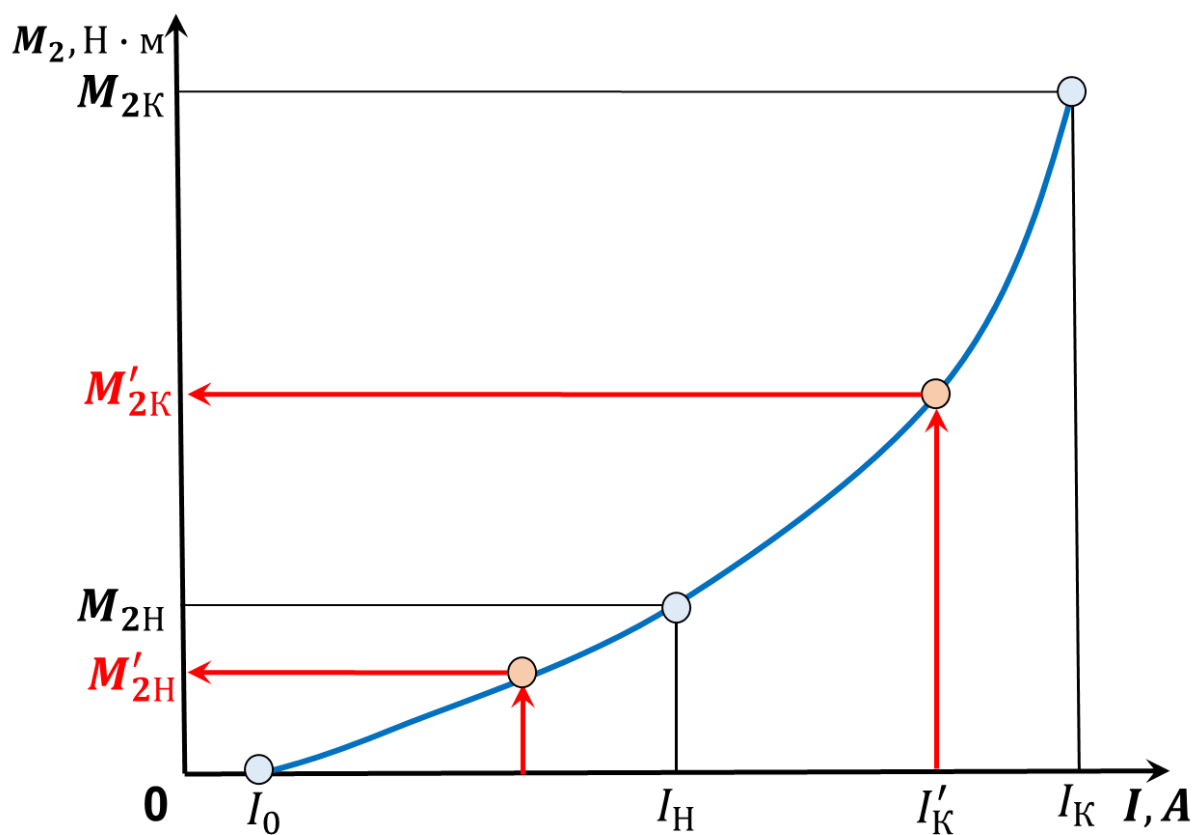


Рисунок 8 – Нахождение крутящего момента стартерного электродвигателя в заданных условиях эксплуатации

По данным таблицы 11 построены совмещенные механические характеристики стартерного электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания. Точки пересечения этих характеристик дают частоту прокручивания коленчатого вала для различных температур.

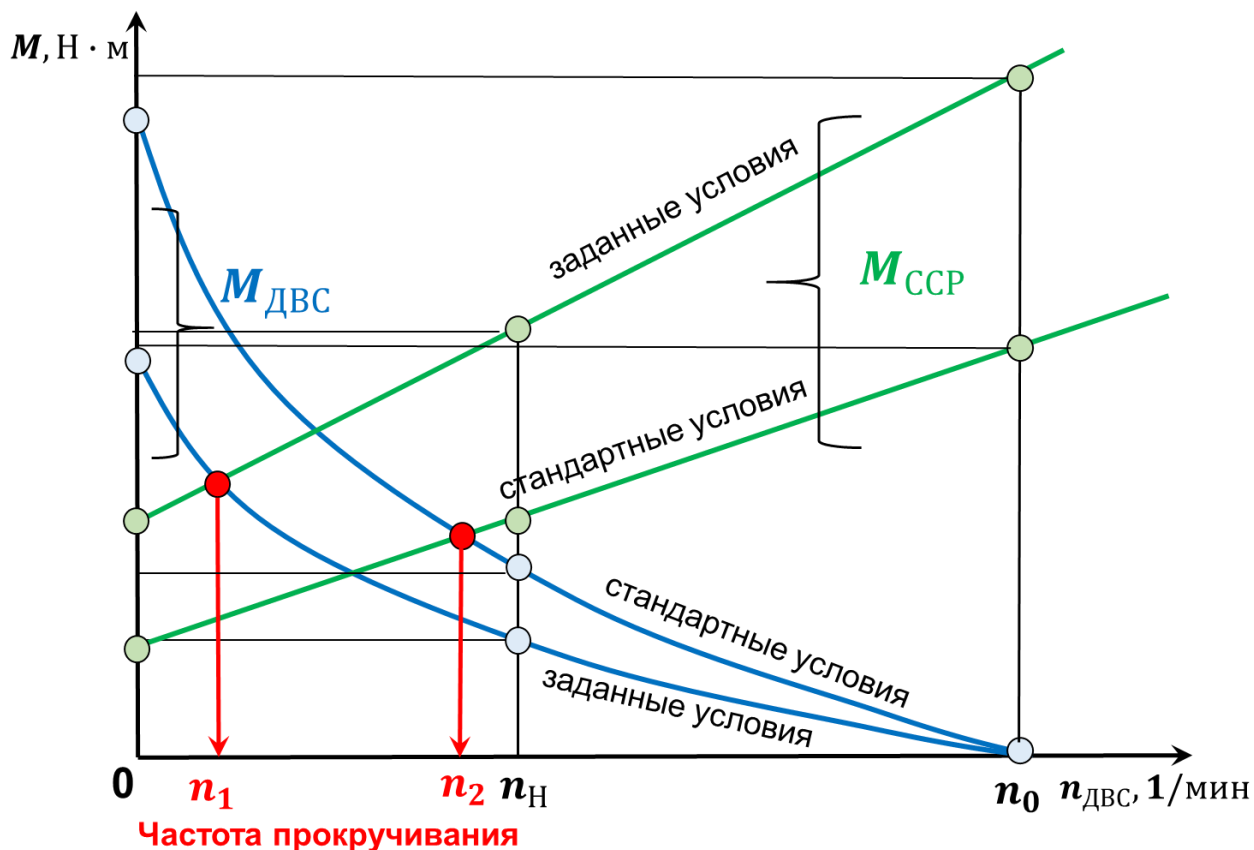


Рисунок 9 – Порядок определения частоты прокручивания коленчатого вала

Найденную по рисунку 9 частоту прокручивания заносят в таблицу 12. Туда же заносят минимальную пусковую частоту вращения  $n_{\text{min}}$ , найденную по приложению А.

Таблица 12 – Частота прокручивания коленчатого вала

Условия пуска	Заданные условия	Стандартные условия
$n_{\text{прок}}, \text{МИН}^{-1}$		
$n_{\text{min}}, \text{МИН}^{-1}$		



По данным таблицы 12 на рисунке 10 построены зависимости частоты вращения от температуры, точка пересечения которых и даёт предельную температуру пуска.

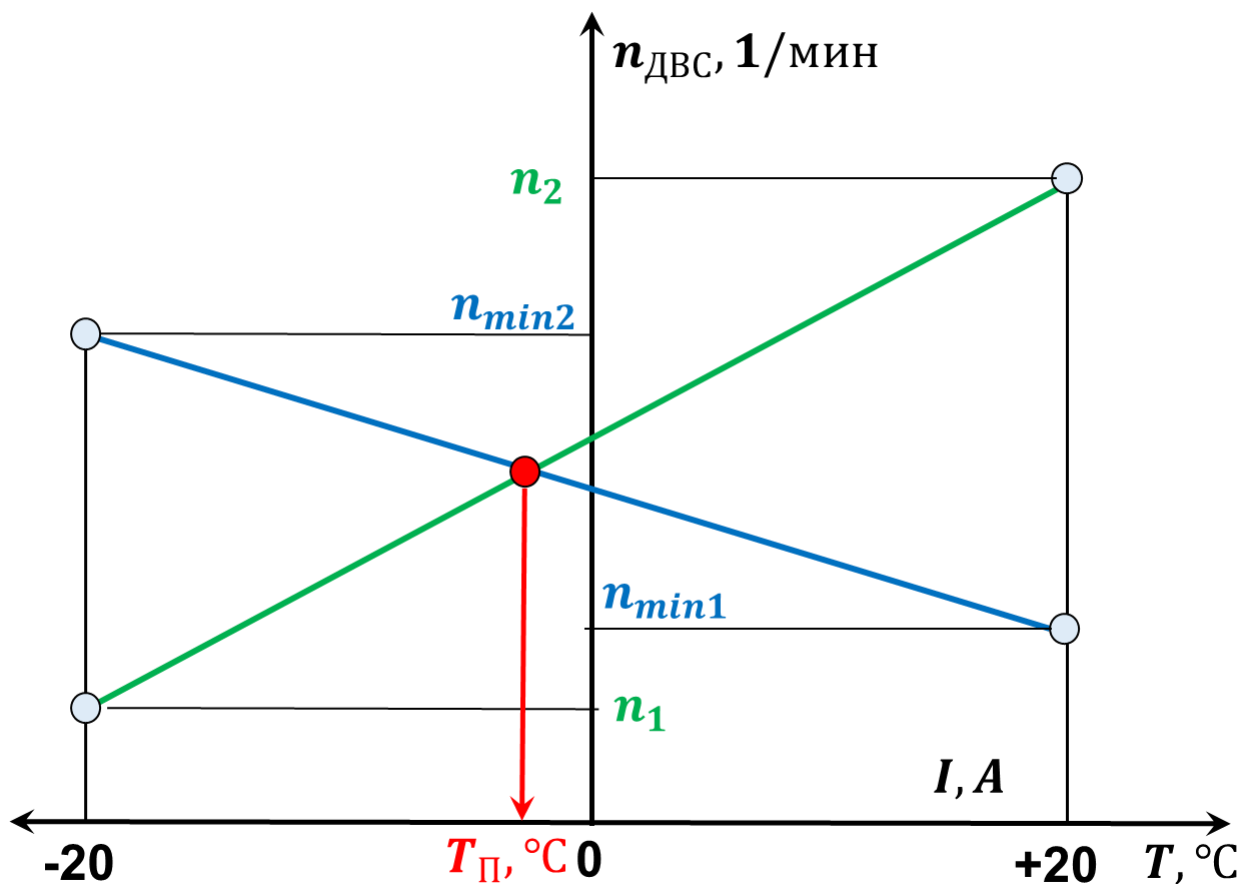


Рисунок 10 – Определение предельной температуры пуска

Предельную температуру пуска  $t_{п}$ , найденную по рисунку 10 сравнивают с заданной и делают вывод о возможности запуска ДВС в стандартных и заданных условиях эксплуатации.

## Список использованных источников

1. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования: учебник для машиностроительных техникумов по специальности "Автотракторное электрооборудование" / Л.В. Копылова, В.И. Коротков, В.Е. Красильников; под ред. М.Н. Фесенко. – М.: Машиностроение, 1992. – 384 с.
2. Пузаков, А.В. Расчет элементов и систем электрооборудования автомобилей: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 78 с.
3. Пузаков, А.В. Оценка технического состояния стартерных аккумуляторных батарей: методические указания / А.В. Пузаков, А.М. Федотов. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 70 с.
4. Пузаков, А.В. Исследование работы стартерной аккумуляторной батареи: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ. – 2018. – 38 с.
5. Пузаков, А.В. Исследование работы автомобильного электростартера: методические указания / А.В. Пузаков. – Оренбург: ОГУ. – 2018. – 38 с.
6. Пузаков, А.В. Оценка технического состояния приборов системы стартерного пуска: методические указания / А.В. Пузаков, А.М. Федотов. – Оренбург: ОГУ. – 2014. – 77 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Минимальные пусковые частоты вращения ДВС

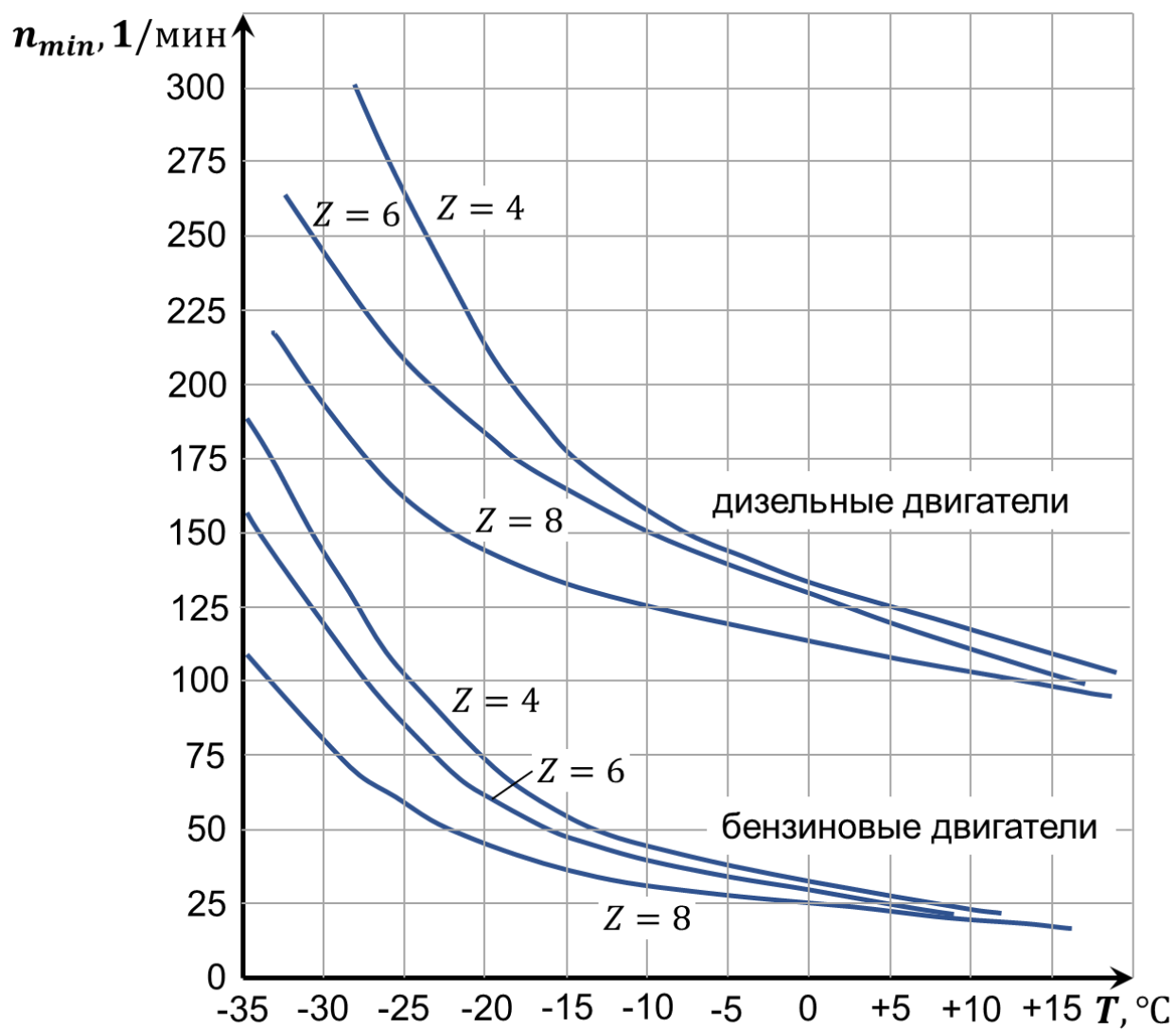


Рисунок А.1 – Зависимость минимальной частоты вращения от температуры пуска

## Приложение Б

(обязательное)

### Выбор моторного масла по минимальной температуре пуска

Таблица Б.1 – Зависимость типа моторного масла от температуры пуска

Тип моторного масла	Температура пуска, °С									
	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10
3 <sub>з</sub> /8 (SAE 5W30)	Все двигатели		Дизельные двигатели	Дизельные двигатели с $Z_{ц} > 4$						
4 <sub>з</sub> /10 (SAE 10W40)	-	-	Бензиновые двигатели		Дизельные двигатели с $Z_{ц} \leq 4$					
5 <sub>з</sub> /12 (SAE 15W40)	-	-	-	-	Бензиновые двигатели	Бензиновые двигатели с $Z_{ц} > 4$		Бензиновые двигатели с $Z_{ц} \geq 8$		
6 <sub>з</sub> /14 (SAE 20W50)	-	-	-	-	-	Бензиновые двигатели с $Z_{ц} \leq 4$		Бензиновые двигатели с $Z_{ц} = 5, 6$		
8 (SAE 40)	-	-	-	-	-	-	-	-	Бензиновые двигатели с $Z_{ц} \leq 4$	

## Приложение В

(обязательное)

### Вязкость моторного масла

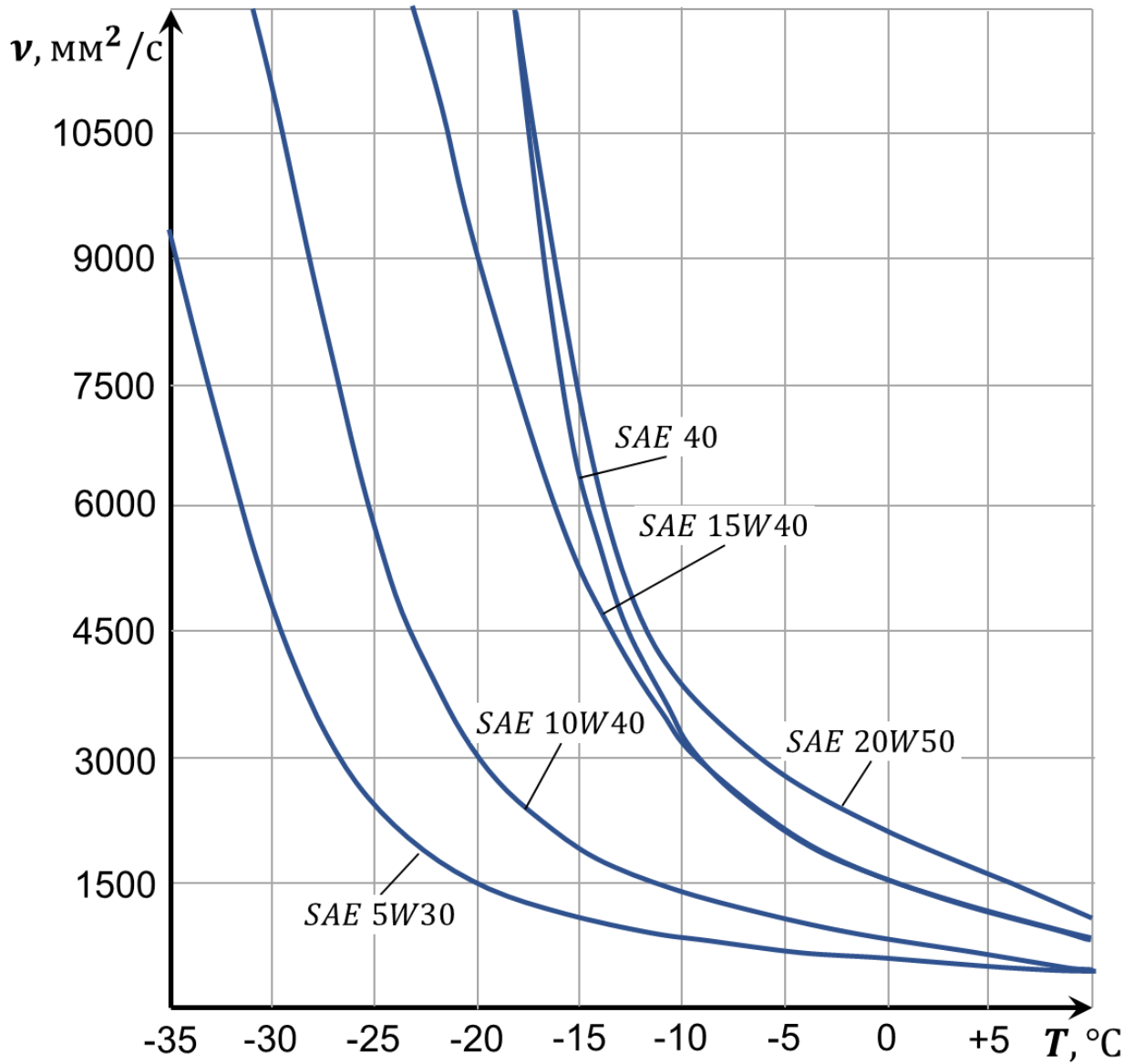


Рисунок В.1 – Зависимость вязкости моторного масла от температуры пуска

## Приложение Г

(справочное)

### Параметры автомобильных стартеров

Таблица Г.1 – Стартеры на номинальное напряжение  $U_H = 12В$

Стартер	$U_H$ , В	$C_{20}$ , А·ч	$P_H$ , кВт	$n_H$ , мин <sup>-1</sup>	$I_0$ , А	$n_0$ , мин <sup>-1</sup>	$M_{2к}$ , Н·м	$I_k$ , А	$U_k$ , В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СТ 369	12	45	0,58	2000	60	5000	3,4	250	7,0
СТ 4А-1	12	55	0,59	1750	55	4000	9,0	295	8,5
СТ 366Б	12	45	0,61	2000	65	5000	4,9	260	7,0
СТ 365А	12	50	0,63	2000	65	5000	4,9	270	7,0
СТ 367А	12	82	0,66	2000	65	5000	4,9	270	7,0
СТ 362А	12	50	0,67	1900	70	5000	4,9	300	7,0
СТ 368	12	55	0,81	1980	70	5000	6,7	260	7,0
AZF 12	12	44	0,90	2000	40	6000	9,2	480	7,2
1111.3708	12	36	1,00	1950	50	6000	9,5	430	9,8
AZE 15	12	44	1,00	2100	30	5800	11,6	460	7,2
26.3708	12	55	1,15	1800	70	5000	8,7	260	7,0
2111.3708	12	55	1,20	2100	40	5000	13,7	480	8,5
AZE 25	12	55	1,20	1350	55	3600	17,9	680	7,0
29.3708	12	55	1,30	1650	75	5500	14,0	500	7,0
СТ 117-А	12	55	1,32	1700	85	5000	16,0	500	7,8
425.3708	12	55	1,37	1700	80	5000	16,0	600	9,0
35.3708	12	55	1,40	1600	75	5000	13,7	500	7,0
AZE 25-1	12	66	1,40	1500	50	3750	24,6	920	6,2
23.3708	12	55	1,50	1550	70	4000	22,4	660	7,0
231.3708	12	75	1,50	1350	80	4000	22,4	550	7,0
СТ 230-Д	12	90	1,60	1250	75	4000	22,4	550	7,0
421.3708	12	55	1,65	1700	75	5000	16,0	520	7,0
42.3708	12	75	1,65	1700	75	5000	16,0	520	7,0

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
422.3708	12	66	1,75	1800	70	5500	18,0	625	7,0
СТ 2-А	12	90	1,80	140	80	3400	22,5	700	8,0
8802.3708	12	75	1,95	1750	65	4000	28,0	680	7,8
51.3708	12	66	2,10	950	80	3000	39,0	1080	6,0
AZE 26	12	88	2,10	1750	55	4750	30,0	1210	5,8
СТ 222-А	12	150	2,20	1000	85	3500	40,0	1200	6,0
СТ 230-А1	12	75	2,50	1400	85	4000	22,0	550	8,0
AZJ	12	143	2,70	1500	120	5500	46,0	1320	7,0
AZE 45	12	143	2,80	1000	110	4100	80,0	1350	6,7
AZE 46	12	143	3,00	1150	110	4200	65,0	1580	6,0
AZJ-1	12	176	3,00	1200	90	5000	56,0	1340	7,5
AZF 45	12	144	3,40	1200	120	5000	95,0	1950	4,6
СТ 142-М	12	215	3,50	1500	95	4500	46,0	1480	7,5
242.3708	12	215	4,00	1500	100	4600	46,0	1550	7,0
AZF 46	12	2x176	4,20	1000	200	4700	116,0	2400	5,8
AZG	12	2x143	5,00	900	200	4200	160,0	2700	5,0

Таблица Г.2 – Стартеры на номинальное напряжение  $U_H = 24В$

Стартер	$U_H$ , В	$C_{20}$ , А·ч	$P_H$ , кВт	$n_H$ , мин <sup>-1</sup>	$I_0$ , А	$n_0$ , мин <sup>-1</sup>	$M_{2к}$ , Н·м	$I_k$ , А	$U_k$ , В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СТ 402	24	75	1,21	1160	35	4000	16,3	265	19,5
AZE 12	24	44	1,60	2750	80	7000	14,2	680	11,0
AZE 26	24	55	2,50	1250	60	4600	42,0	750	13,5
AZJ	24	88	3,20	1500	70	5400	65,0	980	14,8
AZF 45	24	66	4,00	1200	85	4600	120,0	1220	9,5
СТ 230-Н	24	88	4,00	1600	70	4000	49,0	820	15,5
AZJ-1	24	110	4,00	1150	75	5400	85,0	1130	14,3

Продолжение таблицы Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
561.3708	24	132	5,30	1500	75	4000	55,0	900	14,0
AZF 46	24	88	5,50	1100	100	4400	138,0	1400	11,0
202.3708	24	132	5,90	1400	80	4000	58,0	950	13,0
СТ 142Н-1	24	132	6,10	1400	85	4000	60,	1000	12,0
AZG	24	2x143	6,50	1200	170	4400	200,0	1850	11,5
СТ 142Д	24	182	7,40	1400	90	4500	90,0	1400	13,0
3002.3708	24	110	7,70	1400	100	4500	120,0	1500	13,0
СТ 142Б	24	190	7,70	1500	130	6000	65,0	800	18,0
25.3708	24	182	8,00	1100	110	5000	90,0	825	17,0
СТ 142Б-1	24	190	8,20	1650	90	4000	105,0	1480	15,0
СТ 142Н	24	190	9,00	2600	130	6000	65,0	2000	14,0
2501.3708	24	190	9,30	1700	125	4000	120,0	1650	15,0
2562.3708	24	190	9,70	1200	135	7000	140,0	1750	14,5
254.3708	24	2x132	9,70	1200	120	7000	145,0	1750	14,5
СТ 142Т	24	190	10,00	1500	150	3400	110,0	1920	14,0
СТ 721	24	210	11,00	1100	115	5500	158,8	800	17,5
16.3708	24	190	12,00	800	160	2600	183,8	950	17,5
255.3708	24	2x190	12,00	1200	140	7500	175,0	2000	18,5



**Приложение Д**  
*(справочное)*

**Параметры аккумуляторных батарей**

Таблица Д.1 – Параметры аккумуляторных батарей

Марка АКБ	Емкость, А·ч	Ток разряда, А	Число электродов (+/-)
1	2	3	4
6СТ36А	36	180	5/4
6СТ44А	44	210	5/4
6СТ50А	50	230	6/7
6СТ55А	55	255	6/7
6СТ60А	60	280	4/5
6СТ62А	62	300	6/5
6СТ63А	63	310	7/8
6СТ65А	65	330	7/8
6СТ66А	66	340	7/6
6СТ70А	70	360	7/7
6СТ74А	74	390	6/7
6СТ75ТМ	75	225	5/6
6СТ77А	77	350	8/7
6СТ85А	85	400	9/8
6СТ88А	88	420	10/9
6СТ90А	90	430	7/7
6СТ92А	92	435	7/8
6СТ95А	95	440	8/9
6СТ100А	100	450	8/8
6СТ105А	105	460	7/8
6СТ110А	110	470	11/11

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4
6СТ125А	125	490	9/10
6СТ132ЭМ	132	396	10/10
6СТ135А	135	450	13/12
6СТ140А	140	460	12/12
6СТ145А	145	470	12/13
6СТ155А	155	500	14/15
6СТ180А	180	570	11/12
6СТ182ЭМ	182	546	13/14
6СТ190А	190	580	16/15
6СТ200А	200	600	15/16
6СТ210А	210	630	18/17
6СТ215ТМ	215	585	17/16

## Приложение Е

(обязательное)

### Варианты заданий

Таблица Е.1 – Первые две цифры варианта

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	01	02	03	04
Марка транспортного средства	ВАЗ-1111	ВАЗ-968М	ВАЗ-11022	ВАЗ-2106
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль			
Тип двигателя	бензиновый			
Число цилиндров	2	4	4	4
Рабочий объем, Vh, л	0,65	1,2	1,09	1,57
Ход поршня, Sn, мм	71	66	67	80
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12
Марка АКБ	6СТ35	6СТ55	6СТ44	6СТ55
Марка стартера	39.3708	СТ368	26.3708	35.3708
Марка генератора	37.3701	Г502А	583.3701	Г221А
Передачное отношение				
КП на высшей передаче	0,9	0,73	0,73	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	4,54	3,875	3,875	4,1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	05	06	07	08
Марка транспортного средства	ВАЗ-2108	ИЖ-2126	ГАЗ-31029	УАЗ-3151
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль			
Тип двигателя	бензиновый			
Число цилиндров	4	4	4	4
Рабочий объем, Vh, л	1,3	1,48	2,44	2,44
Ход поршня, Sn, мм	71	70	92	92
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12
Марка АКБ	6СТ55	6СТ55	6СТ60	6СТ60
Марка стартера	29.3708	421.3708	СТ230Г	42.3708
Марка генератора	37.3701	58.3701	16.3701	Г250П
Передачное отношение				
КП на высшей передаче	0,784	0,806	1,0	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	3,94	3,91	3,9	5,38

Продолжение таблицы Е.1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	09	10	11	12
Марка транспортного средства	ГАЗ-14	ЗИЛ-41047	ГАЗ-33021	ПАЗ-3205
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль		Автобус	
Тип двигателя	бензиновый			
Число цилиндров	8	8	8	8
Рабочий объем, V <sub>h</sub> , л	5,53	7,68	2,89	4,25
Ход поршня, S <sub>n</sub> , мм	88	105	92	80
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12
Марка АКБ	6СТ55 (x2)	6СТ60 (x2)	6СТ66	6СТ132
Марка стартера	СТ230А1	51.3708	422.3708	СТ230А1
Марка генератора	Г284	4807.3701	9402.3701	Г287
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	0,849	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	3,58	3,615	5,125	6,83

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	13	14	15	16
Марка транспортного средства	ЛАЗ-695Н	ЛиАЗ-677М	ЛАЗ-4207	ЛиАЗ-5256
Тип транспортного средства	Автобус			
Тип двигателя	бензиновый		дизельный	
Число цилиндров	8	8	8	8
Рабочий объем, V <sub>h</sub> , л	6,0	7,0	11,75	10,85
Ход поршня, S <sub>n</sub> , мм	95	95	130	120
Номинальное напряжение, В	12	12	24	24
Марка АКБ	6СТ150	6СТ90 (x2)	6СТ190	6СТ190
Марка стартера	СТ230А1	СТ230А1	СТ142Б	СТ142Б
Марка генератора	Г287	Г287	651.3701	65.3701
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	1,0	0,98
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	6,98	7,456	3,73	5,44

Продолжение таблицы Е.1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	17	18	19	20
Марка транспортного средства	IKARUS-543.26	IKARUS-260.50	ТАМ-260	ГАЗ-3307
Тип транспортного средства	Автобус			Грузовой автомобиль
Тип двигателя	дизельный			бензиновый
Число цилиндров	4	6	8	8
Рабочий объем, Vh, л	3,6	10,35	12,76	4,25
Ход поршня, Sn, мм	110	150	130	80
Номинальное напряжение, В	12	24	24	12
Марка АКБ	6СТ180	6СТ182	6СТ143	6СТ75
Марка стартера	AZJ-1	AZF-46	AZF-46	СТ230А1
Марка генератора	NC-50	N1-20/75	N1-20/120	Г250
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	1,0	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	5,57	6,194	4,027	6,17

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	21	22	23	24
Марка транспортного средства	ЗИЛ-431410	ЗИЛ-157КД	ЗИЛ-433100	ЗИЛ-133ГЯ
Тип транспортного средства	Грузовой автомобиль			
Тип двигателя	бензиновый		дизельный	
Число цилиндров	8	6	8	8
Рабочий объем, Vh, л	6,0	5,38	8,74	10,85
Ход поршня, Sn, мм	95	114	115	120
Номинальное напряжение, В	12	12	12/24	12/24
Марка АКБ	6СТ90	6СТ90	6СТ190	6СТ190
Марка стартера	СТ230А1	СТ230А1	СТ142Б	СТ142Б
Марка генератора	32.3701	17.3701	3822.3701	3812.3701
Передаточное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	1,0	1,0	0,815
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	6,33	6,67	5,29	6,83

Продолжение таблицы Е.1

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	25	26	27	28
Марка транспортного средства	МАЗ-53371	КамАЗ-5320	КрАЗ-255Б1	КАЗ-4540
Тип транспортного средства	Грузовой автомобиль			
Тип двигателя	дизельный			
Число цилиндров	6	8	8	6
Рабочий объем, V <sub>h</sub> , л	11,15	10,85	14,86	8,14
Ход поршня, S <sub>n</sub> , мм	140	120	140	10
Номинальное напряжение, В	24	24	24	24
Марка АКБ	6СТ190	6СТ190	6СТ182	6СТ182
Марка стартера	СТ142Б1	СТ142Б	25.3708	СТ142Б
Марка генератора	Г273	Г273	Г228	Г288
Передачное отношение				
КП на высшей передаче	0,66	0,815	0,66	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	7,14	6,53	8,21	5,286

Характеристика транспортного средства	Номер варианта			
	29	30	31	32
Марка транспортного средства	МАЗ-64221	IVECO-190-36	TATRA-815-2	IVECO-MAGIRUS-380
Тип транспортного средства	Грузовой автомобиль			
Тип двигателя	дизельный			
Число цилиндров	8	6	10	8
Рабочий объем, V <sub>h</sub> , л	17,24	13,8	15,82	12,76
Ход поршня, S <sub>n</sub> , мм	140	156	140	130
Номинальное напряжение, В	24	24	24	24
Марка АКБ	6СТ190	6СТ170	6СТ180	6СТ215
Марка стартера	25.3708	AZG	AZF-46	254.3708
Марка генератора	Г273	N1-10/55	N1-10/55	N1-10/105
Передачное отношение				
КП на высшей передаче	1,0	0,85	0,7	1,0
Главной передачи (для заднеприводных автомобилей – заднего моста)	4,84	3,768	3,39	6,41

Таблица Е.2 – Вторые две цифры варианта

Номер варианта	Условия пуска		
	Температура пуска, тп, °С	Разряженность АКБ, ΔСр, %	Номер попытки пуска, Zп
01	-30	30	1
02	-30	20	2
03	-30	10	3
04	-20	40	1
05	-20	30	2
06	-20	20	3
07	-20	10	3
08	-10	50	1
09	-10	40	2
10	-10	30	3
11	-10	20	3
12	0	50	2
13	0	40	2
14	0	30	3
15	0	20	3

## Приложение Ж

(справочное)

### Пример расчета системы электростартерного пуска

Требуется рассчитать систему электростартерного пуска автомобиля для стандартных и заданных условий:

Температура пуска:..... $t_{п} = -20^{\circ}\text{C}$

Степень разряженности аккумуляторной батареи:..... $\Delta C_p = 10\%$

Порядковый номер попытки пуска:..... $Z_{п} = 1$

Таблица Ж.1 – Технические характеристики автомобиля

Марка транспортного средства	Газ 31029
Тип транспортного средства	Легковой автомобиль
Страна-изготовитель	Россия
Тип двигателя	Бензиновый четырехцилиндровый
Рабочий объем	$V_h = 2,5\text{л}$
Марка аккумуляторной батареи	6СТ66А
Марка стартера	422.3708

#### Ж.1 Расчет вольтамперных характеристик аккумуляторной батареи

Расчет вольтамперных характеристик аккумуляторной батареи сводится к определению токов короткого замыкания для стандартных и заданных условий.

Ток короткого замыкания для стандартных условий:

$$I_{кзст} = (I_+) \cdot n_+ \cdot L, \quad (\text{Ж.1})$$



где  $(I_+) = 256 \text{ A}$  – сила тока короткого замыкания, приходящаяся на одну положительную пластину для стандартных условий пуска, А.

Определяем по [1];

Пр и м е ч а н и е - Здесь и далее [1] - ссылка на настоящие методические указания.

$n_+ = 7$  – количество положительных пластин в АКБ. Определяем по [1];

$L = 1$  – количество параллельно соединенных АКБ. Берем из паспортных данных автомобиля.

$$I_{\text{кзст}} = 256 \cdot 7 \cdot 1 = 1792 \text{ A}$$

Ток короткого замыкания для заданных условий вычисляется по формуле:

$$I_{\text{кз}} = I_+ \cdot n_+ \cdot L, \quad (\text{Ж.2})$$

где  $I_+$  - сила тока короткого замыкания, приходящаяся на одну положительную пластину, А;

$$I_+ = I_{+0} + k_b \cdot t_{\text{эл}} - k_c \cdot \Delta C_p - k_d \cdot (Z_{\text{п}} - 1) - k_e \cdot (\tau_{\text{п}} - 10) \cdot (Z_{\text{п}} - 1), \quad (\text{Ж.3})$$

где  $I_{+0} = 222 \text{ A}$  – сила тока короткого замыкания, приходящаяся на одну положительную пластину при первой попытке пуска. Определяем по [1];

$k_b = 4,0$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  температуры электролита. Определяем по [1];

$t_{\text{эл}} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$  – температура электролита;

$k_c = 0,30$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  степени разряженности батареи. Принимаем по [1] в зависимости от степени разряженности и температуры;

$\Delta C_p = 10 \%$  - степень разряженности аккумуляторной батареи;

$k_d = 1,8$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  числа попыток пуска. Определяем по [1];

$Z_{\text{п}} = 1$  – порядковый номер попытки пуска;

$k_e = 0,5$  – коэффициент, учитывающий влияние на величину тока  $I_+$  скорости снижения тока короткого замыкания в течение одной попытки пуска.

Определяем по [1] в зависимости от температуры;

$\tau_{\text{п}} = 10$  с – продолжительность одной попытки пуска для бензиновых двигателей.

$$I_+ = 222 + 4,0 \cdot (-20) - 0,30 \cdot 10 - 1,8 \cdot (1-1) - 0,5 \cdot (10-10) \cdot (1-1) = 139 \text{ A}$$

$$I_{\text{кз}} = 139 \cdot 7 \cdot 1 = 973 \text{ A}$$

Результаты расчета токов короткого замыкания сводим в таблицу Ж.2.

Таблица Ж.2 – Результаты расчетов

Условия пуска	Ток короткого замыкания, А	Напряжение короткого замыкания, В
Стандартные условия	1792	7,8
Заданные условия	973	4,3

Напряжение короткого замыкания АКБ для стандартных условий

$$U_{\text{кзст}} = U_{\text{н}} \cdot (1 - I_{\text{к}} / I_{\text{кзст}}), \quad (\text{Ж.4})$$

где  $U_{\text{н}} = 12$  В – номинальное напряжение бортовой сети;

$I_{\text{к}} = 625$  А – ток короткого замыкания стартера. Находим по [1].

$$U_{\text{кзст}} = 12 \cdot (1 - 625 / 1792) = 7,8 \text{ В}$$

Напряжение короткого замыкания АКБ для заданных условий

$$U_{кз} = U_H \cdot (1 - I_K / I_{кз}), \quad (\text{Ж.5})$$

$$U_{кз} = 12 \cdot (1 - 625/973) = 4,3 \text{ В}$$

Результаты расчета напряжений короткого замыкания также сводим в таблицу Ж.2. По данным таблицы Ж.2 строим вольтамперные характеристики, представленные на рисунке Ж.1.

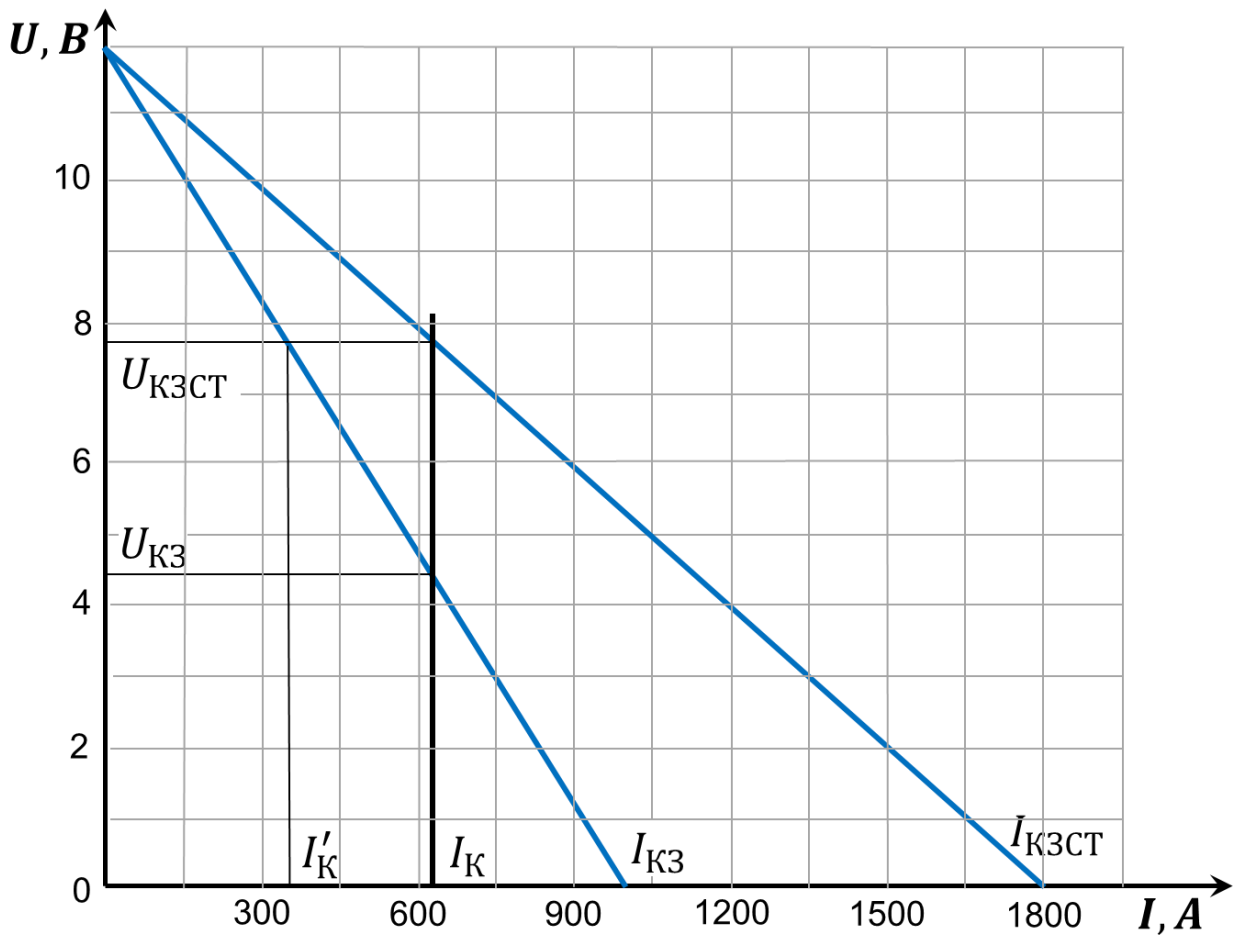


Рисунок Ж.1 – Вольтамперные характеристики

### Ж.2 Расчет электромеханических характеристик стартера

Целью расчета электромеханических характеристик стартерных электродвигателей является определение зависимостей вращающего момента и частоты вращения от тока стартера в заданных условиях эксплуатации и для

стандартных условий. Результаты расчета электромеханических характеристик приводятся к коленчатому валу двигателя внутреннего сгорания и используются для определения частоты прокручивания.

Электромеханические характеристики определяются по паспортным данным стартера.

Номинальный ток стартера

$$I_H = k_I \cdot I_K, \quad (\text{Ж.6})$$

где  $k_I = 0,56$  – коэффициент кратности тока короткого замыкания. Находят по [1].

$$I_H = 0,56 \cdot 625 = 350 \text{ А}$$

Ж.2.1 Построение зависимостей напряжения батареи и стартера от тока стартера

$$U_{ст} = U_б - I \cdot R_{ц} \quad (\text{Ж.7})$$

$$U_{ст(0)} = 11,6 - 70 \cdot 0,003 = 11,39 \text{ В};$$

$$U_{ст(H)} = 9,6 - 350 \cdot 0,003 = 8,55 \text{ В};$$

$$U_{ст(K)} = 7,8 - 625 \cdot 0,003 = 5,925 \text{ В}$$

Ж.2.2 Построение зависимости частоты вращения  $n$  от тока стартера

Точки зависимости частоты вращения для стандартных условий:

- 1 Точка холостого хода –  $n_0 = 5500 \text{ мин}^{-1}$  при токе  $I_0 = 70 \text{ А}$ ;
- 2 Точка номинального режима –  $n_H = 1800 \text{ мин}^{-1}$  при токе  $I_0 = 350 \text{ А}$ ;
- 3 Точка короткого замыкания –  $n_0 = 0 \text{ мин}^{-1}$  при токе  $I_0 = 625 \text{ А}$ .

Ж.2.3 Построение зависимости вращающего момента  $M_2$  от тока стартера

1 Точка холостого хода –  $M_2=0$  Н·м при токе  $I_0=70$ А;

2 Точка номинального режима –  $M_{2н}$  при токе  $I_n=350$ А.

Номинальный момент стартера

$$M_{2н} = 30 \cdot P_n / \pi \cdot n_n, \quad (\text{Ж.8})$$

где  $P_n = 1750$  Вт – номинальная мощность стартера. Определяем по [1];

$n_n = 1800$  мин<sup>-1</sup> – номинальная частота вращения стартера. Определяем по [1].

$$M_{2н} = 30 \cdot 1750 / \pi \cdot 1800 = 9,3 \text{ Н·м}$$

3 Точка короткого замыкания –  $M_{2к}=18$  Н·м (приложение Г) при токе  $I_k=625$ А.

Ж.2.4 Построение зависимости полезной мощности от тока стартера

Точки зависимости полезной мощности для стандартных условий:

1 Точка холостого хода –  $P_2 = 0$  Вт при токе  $I_0=70$ А;

2 Точка номинального режима –  $P_2 = P_n=1750$  Вт (приложение Г) при токе  $I_n=350$ А;

3 Точка короткого замыкания –  $P_2 = 0$  Вт при токе  $I_k=625$ А.

Ж.2.5 Построение зависимостей потребляемой мощности и коэффициента полезного действия от тока стартера

Потребляемая мощность для стандартных условий вычисляется по формуле:

$$P_1 = U_{ст} \cdot I \quad (Ж.9)$$

$$P_{1(0)} = 11,39 \cdot 70 = 797,3 \text{ Вт};$$

$$P_{1(н)} = 8,55 \cdot 350 = 2992,5 \text{ Вт};$$

$$P_{1(к)} = 5,925 \cdot 625 = 3703,125 \text{ Вт}$$

Коэффициент полезного действия для стандартных условий:

$$\eta = P_2/P_1 \quad (Ж.10)$$

$$\eta_0 = 0/797,3 = 0;$$

$$\eta_н = 1750/2992,5 = 58,5 \text{ \%};$$

$$\eta_к = 0/3703,125 = 0$$

Таблица Ж.3 – Результаты расчетов

I, А	I <sub>0</sub> =70	I <sub>н</sub> =350	I <sub>к</sub> =625
U <sub>ст</sub> , В	11,39	8,55	5,92
U <sub>б</sub> , В	11,6	9,6	7,8
n, мин <sup>-1</sup>	5500	1800	0
M <sub>2</sub> , Н·м	0	9,3	18
P <sub>2</sub> , Вт	0	1750	0
P <sub>1</sub> , Вт	797,3	2992,5	3703,125
η, %	0	58,5	0

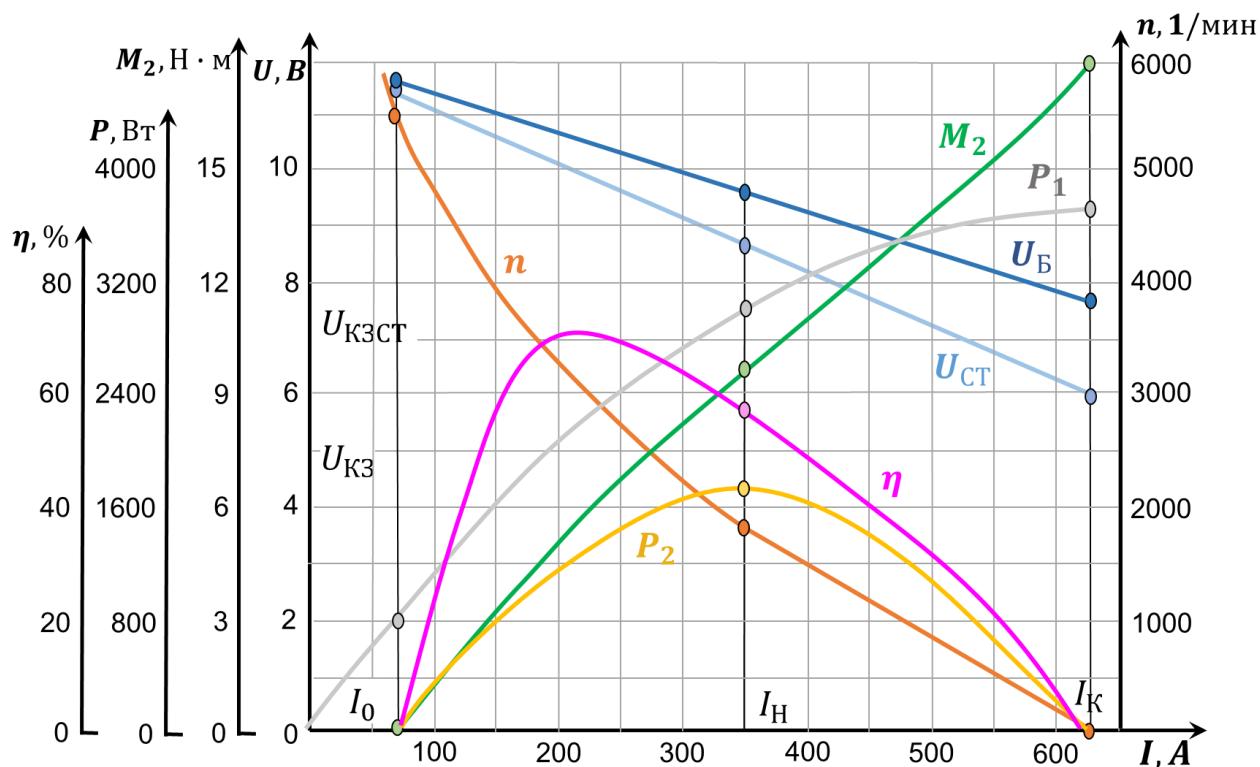


Рисунок Ж.2 – Характеристики стартерного электродвигателя

### Ж.3 Определение предельной температуры пуска

Частота вращения коленчатого вала находится по формуле:

$$n_{\text{двс}} = n/i_p, \quad (\text{Ж.11})$$

где  $n$  – частота вращения стартера,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$i_p$  – передаточное отношение стартер-маховик.

$$i_p = Z_{\text{max}}/Z_c, \quad (\text{Ж.12})$$

где  $Z_{\text{max}}$  – количество зубьев маховика;

$Z_c = 9$  – количество зубьев шестерни стартера. Определяем по [1].

$$Z_{\text{max}} = \pi \cdot k_z \cdot S_n/m_z, \quad (\text{Ж.13})$$

где  $k_z = 1,15$  – коэффициент зубьев маховика. Определяем по [1];

$S_n = 92$  мм – ход поршня. Находим по паспортным данным двигателя;  
 $m_z = 2,5$  – модуль зубьев маховика. Определяем по [1].

$$Z_{\max} = \pi \cdot 1,15 \cdot 92 / 2,5 = 133 \text{ зуба}$$

$$i_p = 133 / 9 = 14,8$$

Момент двигателя внутреннего сгорания

$$M_{\text{двс}} = M_2 \cdot i_p \cdot \eta, \quad (\text{Ж.14})$$

где  $M_2$  – вращающий момент стартера, Н·м;

$\eta = 0,85$  – коэффициент полезного действия передачи стартер-маховик.

$$M_{\text{двс}} = 9,3 \cdot 14,8 \cdot 0,85 = 117 \text{ Н·м};$$

$$M_{\text{двс}} = 18 \cdot 14,8 \cdot 0,85 = 226 \text{ Н·м}.$$

Средний момент сопротивления для бензинового четырехцилиндрового двигателя найдем по формуле:

$$M_{\text{ср}} = (390 + 3,12 \cdot n_{\text{двс}}) \cdot \nu^{0,5} \cdot V_h \cdot 10^{-3}, \quad (\text{Ж.15})$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость моторного масла в начале пуска, мм<sup>2</sup>/с.

Определяем по [1] в зависимости от типа масла и температуры пуска:  $\nu = 200$  и  $3000$  для температур  $20$  °С и минус  $20$  °С соответственно;

$V_h = 2,5$  л – рабочий объем цилиндров двигателя.

$$M_{\text{ср}} = (390 + 3,12 \cdot 372) \cdot 200^{0,5} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 55 \text{ Н·м};$$

$$M_{\text{ср}} = (390 + 3,12 \cdot 122) \cdot 200^{0,5} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 27 \text{ Н·м};$$

$$M_{\text{ср}} = 390 \cdot 200^{0,5} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 14 \text{ Н·м}.$$



Результаты расчетов и паспортные данные стартерного электродвигателя заносим в таблицу Ж.4.

Таблица Ж.4 – Результаты расчетов

Условия эксплуатации	$I_A$	$I_0=70$	$I_H=350$	$I_K=625$
	$n, \text{мин}^{-1}$	5500	1800	0
	$n_{\text{ДВС}}, \text{мин}^{-1}$	372	122	0
стандартные	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	9,3	18,0
	$M_{\text{ДВС}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	117	226
	$M_{\text{С.СР}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	55	27	14
заданные	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	6,75	13,6
	$M_{\text{ДВС}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	85	171
	$M_{\text{С.СР}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	213	104	54

Аналогично производим расчет для заданных условий эксплуатации, причем ток  $I_k'$  определяем графически по рисунку 1, а ток  $I_H'$  находим по формуле:

$$I_H' = k_I \cdot I_k', \quad (\text{Ж.16})$$

$$I_H' = 0,56 \cdot 330 = 184,8 \text{ А}$$

Для определения частоты прокручивания необходимо найти точку пересечения зависимостей вращающего момента двигателя внутреннего сгорания и среднего момента сопротивления от частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

По данным таблицы Ж.4 строим данные графики и находим точки их пересечения. Графики представлены на рисунке Ж.3, а точки пересечения в таблице Ж.5.

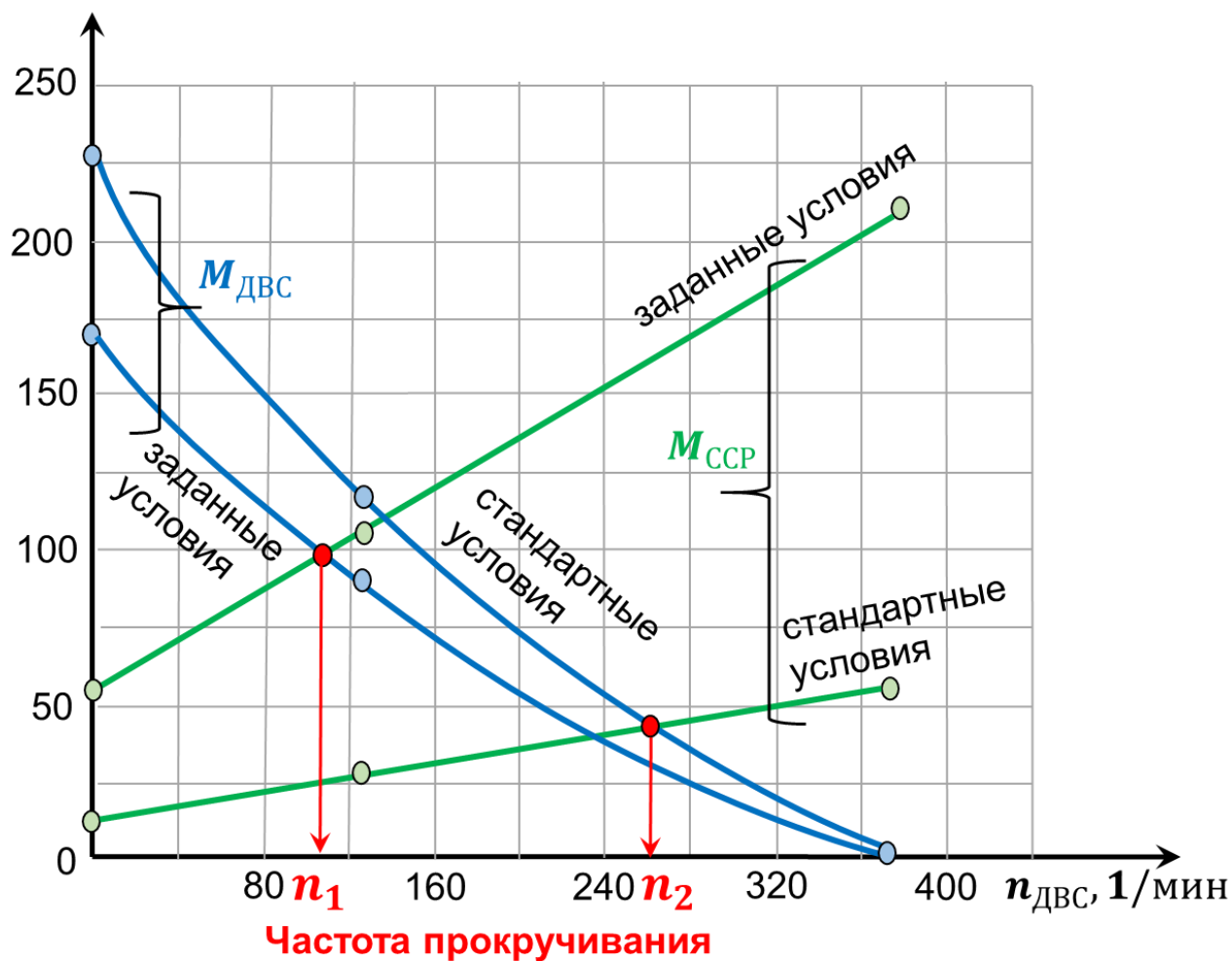


Рисунок Ж.3 – Порядок определения частоты прокручивания коленчатого вала

Таблица Ж.5

Условия пуска	Заданные условия	Стандартные условия
$n_{\text{прок}}, \text{МИН}^{-1}$	103	260
$n_{\text{мин}}, \text{МИН}^{-1}$	74	18

Для нахождения предельной температуры пуска для стандартных и заданных условий необходимо нанести значения частоты прокручивания на график минимальных частот вращения [1] для своего типа двигателя и опустив перпендикуляр определить температуру.

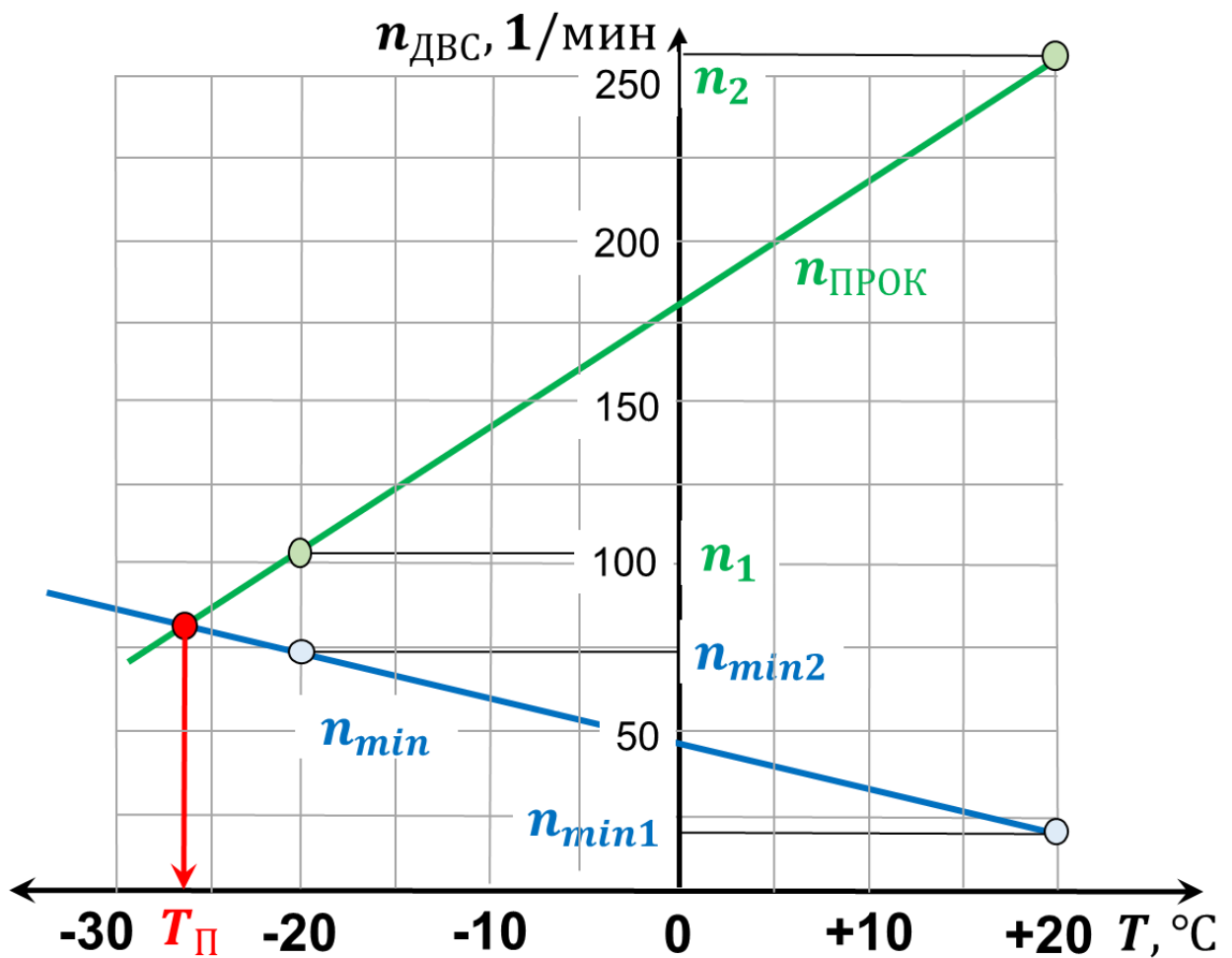


Рисунок Ж.4 – Определение предельной температуры пуска

Предельной температурой пуска является температура  $-27^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, и при стандартных, и при заданных условиях система пуска обеспечивает уверенный запуск двигателя.