

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Кумертауский филиал  
федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
(Кумертауский филиал ОГУ)

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

С.В. Федоров

**Методические рекомендации для выполнения  
контрольной работы по дисциплине  
«Автоматизированный электропривод»**

для обучающихся направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и  
электротехника заочной формы обучения

Кумертау  
2019

**Федоров С.В.**

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Автоматизированный электропривод» /С.В.Федоров; Кумертауский филиал ОГУ – Кумертау: Кумертауский филиал ОГУ, 2019. – 26 с.

Методические рекомендации предназначены для выполнения контрольной работы по дисциплине «Автоматизированный электропривод» для обучающихся направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» заочной формы обучения.

Методические рекомендации рассмотрены на заседании кафедры ЭПП № протокола 10 от «6» июня 2019 г.

©Федоров С.В., 2019

© Кумертауский филиал ОГУ, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Задание на контрольную работу №1
  2. Условия для расчета сопротивлений пусковых резисторов
  3. Способы расчета сопротивлений пусковых резисторов
    - 4.1. Графический способ расчета
    - 4.2. Аналитический способ расчета
  5. Примеры расчета
    - 5.1. Пример расчета графическим способом
    - 5.2. Пример расчета аналитическим способом
  6. Задание на контрольную работу №2
    - Задача 1
    - Задача 2
    - Задача 3
    - Задача 4
- Библиографический список
- Приложение

## 1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ №1

- 1.1. Рассчитать пусковой реостат для заданного типа двигателя при нагрузке на его валу  $M = 0.8 \cdot M_{\text{НОМ}}$  и полном потоке возбуждения.
- 1.2. Изобразить схему включения двигателя совместно с пусковым реостатом и указанием ступеней сопротивления.
- 1.3. Определить модуль статической жесткости  $\beta$  естественной механической характеристики двигателя.

## 2. УСЛОВИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЙ ПУСКОВЫХ РЕЗИСТОРОВ

Для расчета ступеней пусковых резисторов могут иметь место два основных условия:

- 1) задано число ступеней резистора  $m$ ;
- 2) не задано число ступеней резистора  $m$ .

Первое условие имеет место, если расчет сопротивлений ступеней резистора ведется для уже выбранной стандартной аппаратуры, т.е. для стандартной контактной панели.

Второе условие имеет место в тех случаях, когда аппаратура для управления двигателем еще не известна и её нужно выбрать из стандартной с требуемым по условию пуска числом ступеней. Оба условия могут обеспечить пуск нормальный и форсированный.

Под нормальным пуском понимается такой пуск, когда по производственным условиям не требуется быстрого ускорения привода.

Под форсированным понимается такой пуск, когда по производственным условиям требуется быстрое ускорение привода.

При втором условии, т.е. когда число ступеней не задано и его нужно определить, может потребоваться еще добавочный режим – плавный пуск.

Для расчета сопротивления пускового резистора в этом случае приходится задаваться и пиковым, и переключающими моментами, и если из расчета число ступеней окажется дробным или из графических построений последний пик момента при переходе на естественную характеристику меньше остальных, то необходимо изменить или пики момента, или моменты переключения так, чтобы число ступеней было целым и все пики момента были одинаковы.

## 3. СПОСОБЫ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЙ ПУСКОВЫХ РЕЗИСТОРОВ

### 3.1 ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА

Графический способ расчета сопротивлений пусковых резисторов для двигателей параллельного возбуждения базируется на следующих положениях:

а) механические характеристики при любых значениях сопротивлений резисторов в силовой цепи прямолинейны и пересекаются в одной точке, соответствующей идеальному холостому ходу;

б) при номинальном моменте относительные падения частоты вращения якоря равны относительным сопротивлениям силовой цепи двигателя.

Предположим, требуется рассчитать сопротивление пускового резистора для двигателя, управляемого по схеме рис. 3.1.

Обозначим соответственно контакторам ускорения сопротивления ступеней резистора через  $r_1, r_2, r_3$  и полные сопротивления цепи, включая якорь двигателя, через  $R_1, R_2, R_3$ .

Построим вначале естественную характеристику по двум точкам: ( $M_* = 0, n = 1$ ) - точка  $a$  и ( $M_* = 1, \Delta n_{n*} = r_{д*}$ ).

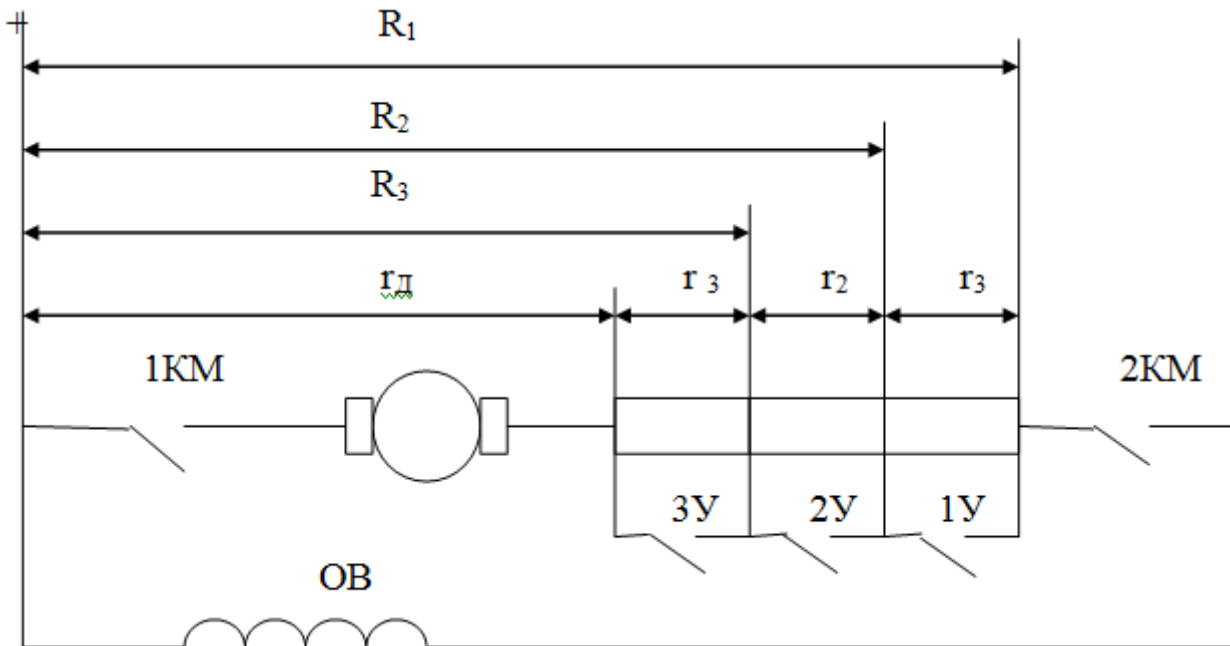


Рис 3. 1

Затем приступаем к построению искусственных характеристик, для которых точка  $a$ , соответствующая идеальному холостому ходу, является общей.

Поскольку число ступеней пускового резистора задано, то рассматриваемый случай соответствует первому условию. В зависимости от режима пуска (нормальный или форсированный) следует задаваться или моментами переключений, на 10—20 % большими статического, или максимально допустимыми пиками момента.

Предположим, задан форсированный режим, тогда задаемся пиками момента  $M$ .

Далее предположительно задаемся моментами переключения  $M_1$  в расчете, что для принятого значения  $M_a$  получится требуемое по заданию число ступеней с одинаковыми пиковыми и переключающими моментами. Если при построении это окажется так, то значения переключающих моментов приняты правильно.

В противном случае приходится задаваться другим значением переключающих моментов и так до тех пор, пока не получится, как показано на рис. 4.2.

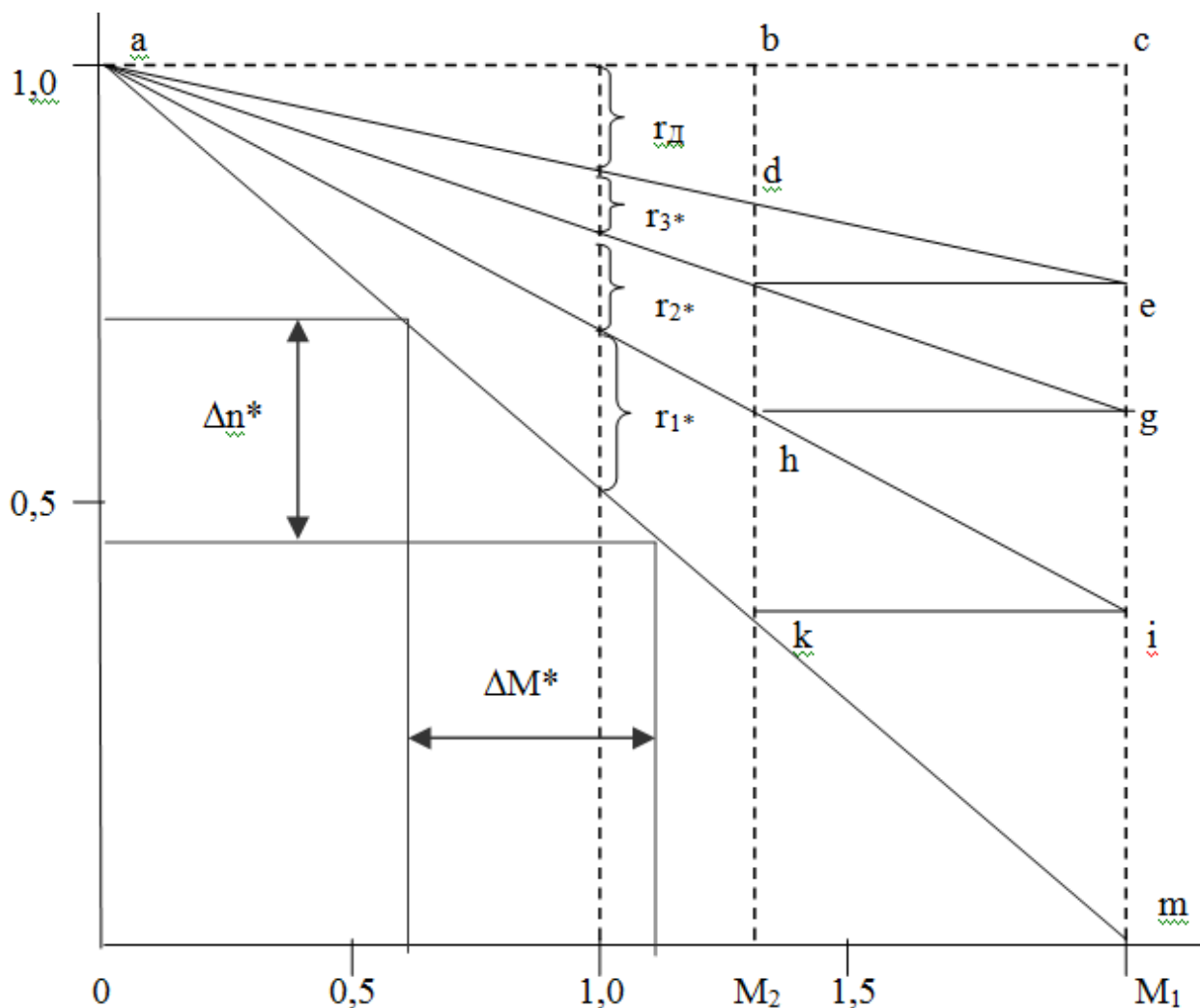


Рис. 3.2

Проще определять второе значение момента аналитически, как показано ниже, по (3.1), когда число ступеней задано и режим пуска форсированный, и по (3.2), когда число ступеней задано и режим пуска нормальный.

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{r_{Д*} M_{1*}}}, \quad (3.1)$$

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{r_{Д*} M_{1*}}}, \quad (3.2)$$

где  $r_{Д*}$  - внутреннее сопротивление, определяемое по рис. 3.3.

Однако графический способ является весьма ценным, когда нужно выбирать сопротивления ступеней резистора по условиям регулирования частоты вращения двигателя.

По построенным пусковым характеристикам определяем сопротивления ступеней:  $r_{1*}$ ,  $r_{2*}$ ,  $r_{3*}$ , отсчитывая их при номинальном моменте как скольжения между смежными характеристиками.

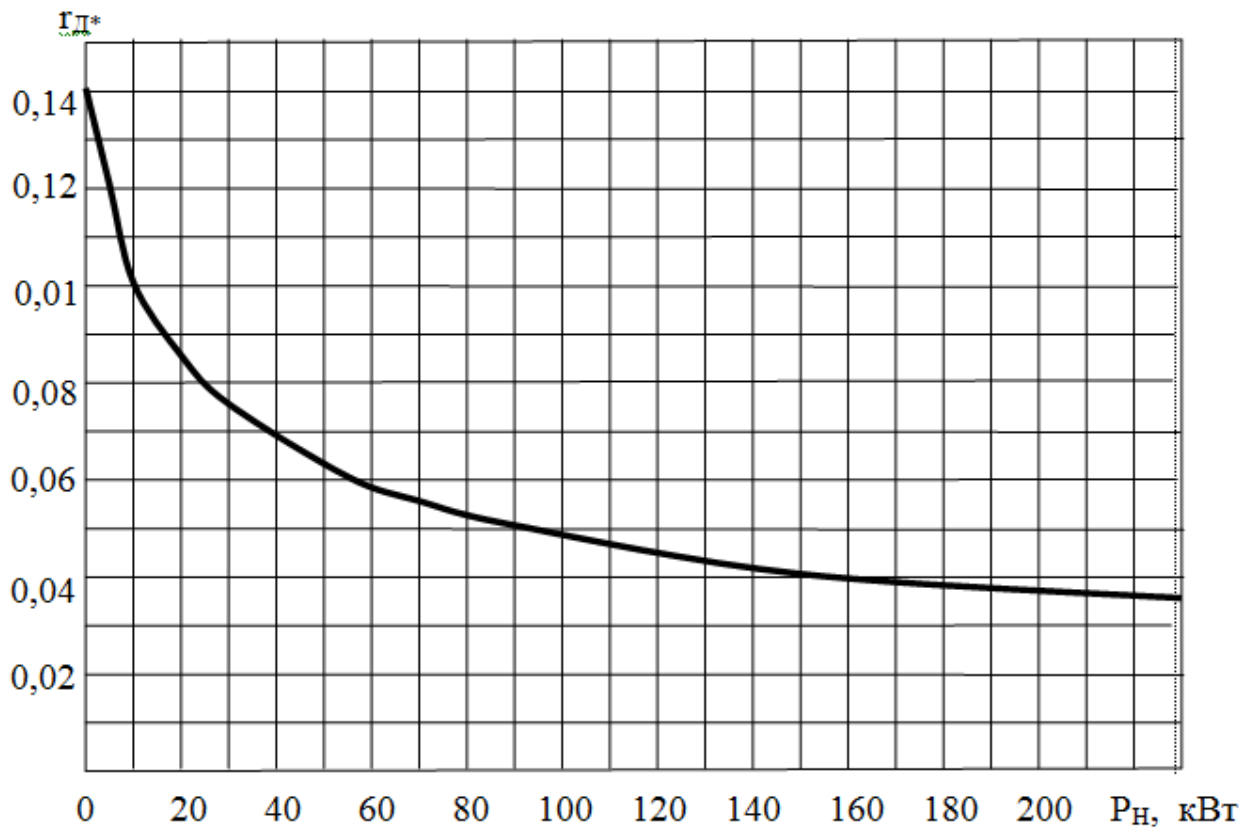


Рис. 3.3

Определив номинальное сопротивление двигателя, можем найти сопротивления ступеней в омах:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = r_{1*} R_n, \\ r_2 = r_{2*} R_n, \\ r_3 = r_{3*} R_n \end{array} \right. \quad (3.3)$$

Как отмечалось выше, этот расчет основан на прямолинейности механических характеристик двигателя параллельного возбуждения, что возможно лишь при полной компенсации реакции якоря компенсационной или стабилизирующей обмоткой.

### 3.2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА

*Число ступеней задано, режим пуска форсированный.* Задаемся максимальными допускаемыми пиками моментов  $M$  и определяем отношение пиков момента к моментам переключения

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{s_n M_1}} \quad (3.4)$$

Проверяем моменты переключения

$$M_{2*} = M_{1*} / \lambda \quad (3.5)$$

Должен быть больше  $M_{c*}$ .

Определяем сопротивления ступеней в случае включения их в одинарную звезду

$$\begin{cases} r_3 = r_p(\lambda - 1); \\ r_2 = r_3\lambda; \\ r_1 = r_2\lambda. \end{cases} \quad (3.6)$$

Полные активные сопротивления цепей ротора, необходимые для расчетов сопротивлений ступеней пускового резистора, включенных в двойную звезду или несимметрично, определяются по (3.7)

$$\begin{cases} R_3 = r_p\lambda; \\ R_2 = r_3\lambda; \\ R_1 = r_2\lambda. \end{cases} \quad (3.7)$$

Число ступеней задано, режим пуска нормальный. Задаемся переключающими моментами на 10—20 % выше статического и находим отношение  $\lambda$  (см. (4.2))

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{s_H M_{2*}}} \quad (3.8)$$

Проверяем пиковый момент:  $M_{1*} = \lambda M_{2*}$  должен быть меньше допускаемого. Определяем сопротивления ступеней или полные сопротивления цепей согласно (3.7).

Число ступеней неизвестно и его нужно определить. В зависимости от требуемого режима для привода задаемся пиковыми и переключающими моментами и по ним определяем число ступеней [формула (3.9)]:

$$m = \frac{\lg \frac{1}{s_H M_{1*}}}{\lg \frac{M_{1*}}{s_H M_{2*}}} \quad (3.9)$$

Если получается дробным, изменяем  $M_{1*}$  или  $M_{2*}$  или оба так, чтобы значение получалось целым числом. Определяем  $\lambda$  как отношение  $M_{1*}$  к  $M_{2*}$  и по (4.7) находим соответственно или сопротивления ступеней, или полные сопротивления. Приведенные формулы для асинхронного двигателя отличаются от аналогичных для двигателей параллельного возбуждения постоянного тока тем, что в них вместо внутреннего сопротивления двигателя  $r_{д*}$  стоит номинальное скольжение  $s_H$ . Это вытекает из того положения, что при номинальном моменте скольжения равны относительному внутреннему сопротивлению цепи ротора.

## 4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

### 4.1. ПРИМЕР РАСЧЕТА ГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Двигатель параллельного возбуждения 1,0 кВт, 220 В, 3000 об/мин,  $I_{я.н} = 6$  А пускается раз в смену при трехсменной работе.

Момент инерции, приведенный к валу двигателя, равен  $J_M = 0,015$  кг·м<sup>2</sup>.

Двигатель управляется по схеме на рис. 3.1

*Решение:* Строим естественную характеристику двигателя, для чего предварительно определяем внутреннее сопротивление его по рис. 3.3

$$r_{д*} = 0,08 \text{ Ом}$$

Откладываем на вертикали номинального момента относительное падение частоты вращения 0,08 и через эту точку и точку идеального холостого хода проводим прямую.

Принимаем, что номинальный момент  $M_H = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Вследствие того, что двигатель пускается 3 раза в сутки, нет необходимости заставлять его быстро ускоряться, учитывая, что удары от пусковых моменты нежелательны. Для минимальных пиков момента необходимо задаваться переключающими моментами, которые примем на 10 % выше статического, т.е. будем считать  $M_{доп} = 0,8 \cdot M_H = 0,8$

После нескольких пробных построений находим, что заданных трех ступеней сопротивлений пускового резистора пики момента  $M_{1*} = 1,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Отсчитывая относительные падения частоты вращения между характеристиками при  $M_H = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , находим сопротивления ступеней резистора  $r_{1*} = 0,29$ ,  $r_{2*} = 0,17$ ,  $r_{3*} = 0,11$ .

Найдем номинальное сопротивление двигателя

$$R_H = U_H / I_{яH} = 220 / 6 = 36,67 \text{ Ом.} \quad (4.1)$$

Сопротивления ступеней пускового резистора

$$r_1 = r_{1*} \cdot R_H = 0,29 \cdot 36,67 = 10,63 \text{ Ом.} \quad (4.2)$$

$$r_2 = r_{2*} \cdot R_H = 0,17 \cdot 36,67 = 6,23 \text{ Ом.}$$

$$r_3 = r_{3*} \cdot R_H = 0,11 \cdot 36,67 = 4,03 \text{ Ом.}$$

Определим модуль статической жесткости естественной механической характеристики двигателя

$$\beta = \Delta M / \Delta \omega ; \quad (4.3)$$

$$M_{НОМ} = P_{НОМ} / n_{НОМ} = 1 \cdot 9550 / 3000 = 3,18 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (4.4)$$

Величины  $\Delta M^*$  и  $\Delta n^*$  находим из построения в соответствии с рис. 4.2

$$\Delta M = M_{НОМ} \cdot \Delta M^* = 3,18 \cdot 0,25 = 0,795 \text{ Н}\cdot\text{м} ; \quad (4.5)$$

$$\Delta n = \Delta n^* \cdot n_{НОМ} = 0,18 \cdot 3000 = 540 ; \quad (4.6)$$

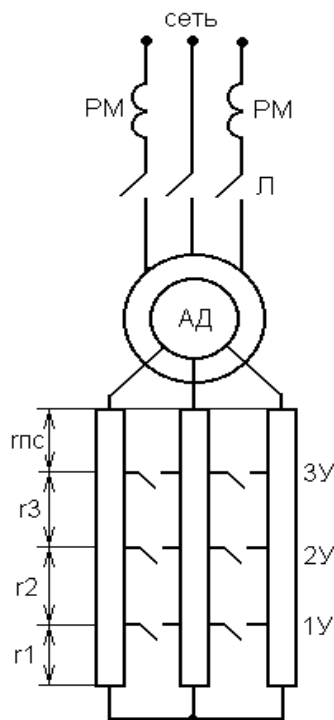
$$\Delta \omega = \Delta n / 9,55 = 540 / 9,55 = 56,54 ; \quad (4.7)$$

$$\beta = \Delta M / \Delta \omega = 0,795 / 56,54 = 0,0141 \text{ .} \quad (4.8)$$

## 4.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Рассчитать сопротивления ступеней пускового резистора для асинхронного двигателя 380 В, 40 кВт, 900 об/мин,  $E_{p-n} = 191 \text{ В}$ ,  $I_{p-n} = 126 \text{ А}$ , приводящего маховиковый штамповочный пресс. Для использования кинетической энергии маховика применена постоянно включенная секция резистора, определяющая скольжение  $s_{n-c}$  при номинальном моменте. Двигатель включен в сеть длительно, вращая

маховик и редуктор, Для срабатывания пресса нажимается кнопка, отчего контакторы включают соленоид, который сцепляет длительно вращающийся маховик с кривошипным валом пресса. Кривошип приходит во вращение, производит работу и, когда повернется на  $360^\circ$ , муфта автоматически расцепляется. Двигатель управляется по схеме, показанной на рисунке



*Решение.* Двигатель всегда пускается вхолостую при расцепленной муфте, преодолевая только трение в редукторе. Ориентировочно можно полагать, что статический момент холостого хода составляет  $0,1 \div 0,2$  номинального момента. Учитывая, что при пуске двигатель должен развернуть маховик, и не желая получить слишком большое время ускорения, которое может оказаться больше максимальной выдержки времени применяемых маятниковых реле, зададимся не переключающими, а пиковыми 1,5-кратными моментами. Считая число ступеней  $m = 3$  (см. рисунок), пики момента  $M_{1*} = 1,5$  и скольжение при номинальном моменте ввиду наличия постоянно включенной секции  $s = 0,1$  по (4.8) определяем отношение пиковых моментов к переключающим:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{s_{п.с} M_{1*}}} = \sqrt[3]{\frac{1}{0,1 \cdot 1,5}} = 1,88 \quad (4.9)$$

Моменты переключения получим:

$$M_{2*} = \frac{M_{1*}}{\lambda} = \frac{1,5}{1,88} \quad , \quad (4.10)$$

т. е. значительно больше статического при пуске двигателя. Сопротивление постоянно включенной секции резистора определится:

$$r_{п.с*} = s_{п.с} - s_H = 0,1 - \frac{1000 - 980}{1000} = 0,08 \quad (4.11)$$

Сопротивления ступеней найдутся по (3.6), где вместо внутреннего активного сопротивления цепи ротора нужно подставлять полное активное сопротивление цепи ротора

$$R_{п.с*} = r_{p*} + r_{п.с*} = s_{п.с} = 0; \quad (4.12)$$

$$r_{3*} = R_{п.с*}(\lambda - 1) = 0,1 \cdot (1,88 - 1) = 0,088;$$

$$r_{2*} = r_{3*}\lambda = 0,088 \cdot 1,88 = 0,165; \quad (4.13)$$

$$r_{1*} = r_{2*}\lambda = 0,165 \cdot 1,88 = 0,31;$$

$$r_3 = r_{3*}R_{p-H} = 0,088 \cdot 0,875 = 0,077 \text{ Ом}$$

$$r_2 = r_{2*}R_{p-H} = 0,165 \cdot 0,875 = 0,144 \text{ Ом} \quad (4.14)$$

$$r_1 = r_{1*}R_{p-H} = 0,31 \cdot 0,875 = 0,271 \text{ Ом}$$

Определим жесткость системы:

$$\beta = \Delta M / \Delta \omega. \quad (4.15)$$

$$M_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot 9550 / n_{НОМ} = 1 \cdot 9550 / 910 = 10,49 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (4.16)$$

$$\Delta M = M_{НОМ} \cdot \Delta M_* = 10,49 \cdot 0,3 = 3,147 ;$$

$$\Delta n = \Delta n_* \cdot n_{НОМ} = 0,2 \cdot 910 = 182 ; \quad (4.17)$$

$$\Delta \omega = \Delta n / 9,95 = 182 / 9,95 = 18,29 ; \quad (4.18)$$

$$\beta = \Delta M / \Delta \omega = 3,147 / 18,29 = 0,172 ; \quad (4.19)$$

## ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ №2

### Задача 1

Рассчитайте и постройте механическую характеристику  $M_c(\omega)$  вентилятора с учетом моментов потерь в двигателе  $\Delta M_{дв}$  и механизме  $\Delta M_{м}$ . Варианты заданий представлены в таблице 1

Таблица 1

№ в-та	Рв.н, кВт	ωв.н. , 1/с	ΔM <sub>дв</sub> , Нм	ΔM <sub>м</sub> , Нм	К, о.е.	n, о.е
1	10	105	10	30	3	2
2	10	157	8	15	1	2
3	10	157	5	10	2	3
4	10	314	5	10	1	2
5	10	314	3	5	2	3
6	30	105	20	10	1	2
7	30	157	15	5	2	3
8	30	157	10	5	3	2
9	30	314	5	5	2	3
10	30	314	3	8	3	2
11	60	105	30	20	1	3
12	60	157	15	10	2	2
13	60	157	10	10	1	2
14	60	314	10	5	2	3
15	60	314	5	5	1	2
16	70	105	15	35	3	2
17	70	157	10	15	1	2
18	70	157	7	10	2	3
19	70	314	8	10	1	2
20	70	314	1	5	2	3
21	80	105	25	15	1	2
22	80	157	35	25	2	3
23	80	157	40	25	3	2
24	80	314	55	55	2	3
25	80	314	30	48	3	2
26	90	105	50	30	1	3
27	90	157	35	20	2	2
28	90	157	20	20	1	2
29	90	314	30	15	2	3
30	90	314	15	15	1	2

Рекомендации к решению:

Основой решения является уравнение вида:

$$M_c(\omega) = M_{p.o.}(\omega) + \Delta M_{дв} + \Delta M_M, \quad (1)$$

где  $M_{p.o.} = k \cdot \omega^n$  – момент, создаваемый рабочим органом.

Введя базовые значения номинальной частоты вращения  $\omega_{в.н.}$  и номинального момента  $M_{в.н.}$ , нетрудно преобразовать уравнение (1) к виду

$$M_c(\omega) = \Delta M_{дв} + \Delta M_M + (M_{в.н.} - \Delta M_{дв} - \Delta M_M) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{в.н.}} \right)^n$$

Номинальный момент механизма может быть получен с помощью данных, приведенных в таблице 1

$$M_{в.н.} = \frac{P_{в.н.}}{\omega_{в.н.}},$$

График следует построить в абсолютных единицах.

## Задача 2

Приведите к валу двигателя подъемного механизма момент статической нагрузки  $M'_c$  и момент инерции  $J'_1$ . При этом известны: частоты вращения двигателя  $\omega_1$  и барабана  $\omega_n$ ; линейная скорость подъема груза  $V_m$ ; моменты инерции двигателя  $J_1$  и барабана  $J_m$ ; масса линейного перемещающегося груза  $m$ ; момент, созданный грузом на барабане  $M_c$  и к.п.д. механизма  $\eta$ . Изобразите расчетную механическую схему.

Варианты заданий представлены в таблице 1

Таблица 1

№ в-та	$\omega_1, 1/с$	$\omega_n, 1/с$	$V_m, М/с$	$J_1, Нмс^2 (кГм^2)$	$J_m, Нмс^2 (кГм^2)$	$m, кГ$	$M_c, Нм$	$\eta, о.е$
1	105	10,5	0,5	0,01	0,1	100	25	0,85
2	105	10,5	1,0	0,02	0,2	120	30	0,86
3	105	15,7	1,2	0,03	0,3	150	35	0,87
4	105	15,7	1,5	0,04	0,4	180	40	0,88
5	105	31,4	2,0	0,05	0,5	200	45	0,89

6	157	10,5	0,5	0,01	0,1	100	25	0,9
7	157	10,5	1,0	0,02	0,2	120	30	0,91
8	157	15,7	1,2	0,03	0,3	150	35	0,92
9	157	15,7	1,5	0,04	0,4	180	40	0,93
10	157	31,4	2,0	0,05	0,5	200	45	0,94
11	314	10,5	0,5	0,01	0,1	100	25	0,95
12	314	10,5	1,0	0,02	0,2	120	30	0,94
13	314	15,7	1,2	0,03	0,3	150	35	0,93
14	314	15,7	1,5	0,04	0,4	180	40	0,92
15	314	31,4	2,0	0,05	0,5	200	45	0,91
16	205	20,5	1,5	0,01	0,1	100	35	0,85
17	205	20,5	2,0	0,02	0,2	120	40	0,86
18	205	25,7	2,2	0,03	0,3	150	45	0,87
19	205	25,7	2,5	0,04	0,4	180	50	0,88
20	205	41,4	3,0	0,05	0,5	200	55	0,89
21	257	20,5	1,5	0,01	0,1	100	65	0,9
22	257	20,5	2,0	0,02	0,2	120	70	0,91
23	257	25,7	2,2	0,03	0,3	150	65	0,92
24	257	25,7	2,5	0,04	0,4	180	60	0,93
25	257	41,4	3,0	0,05	0,5	200	65	0,94
26	314	20,5	3,5	0,01	0,1	100	55	0,95
27	314	20,5	2,0	0,02	0,2	120	50	0,94
28	314	25,7	3,2	0,03	0,3	150	55	0,93
29	314	25,7	4,5	0,04	0,4	180	60	0,92
30	314	41,4	5,0	0,05	0,5	200	65	0,91

Рекомендации к решению:

Приведенный к валу двигателя момент статической нагрузки при работе на подъем может быть получен с помощью выражения

$$M'_c = \frac{M_c}{i \cdot 3},$$

где  $i = \omega_1 / \omega_M$  – передаточное число механизма.

При работе на спуск следует пользоваться выражением:

$$M'_c = \frac{M_c \cdot 3}{i}.$$

Для приведения к валу двигателя момента инерции служит выражение:

$$J'_1 = J_1 + \frac{J_M}{i^2} + m \frac{U_M^2}{\omega_1^2}.$$

### Задача 3

Используя номинальные и каталожные данные определите ток  $I_{к.з.}$  и момент  $M_{к.з.}$  короткого замыкания. Постройте графики электромеханической и механической характеристик.

Варианты заданий представлены в таблице 1

Таблица 1

№п.п	U <sub>я.н</sub> , В	ω <sub>н</sub> , 1/с	I <sub>я.н</sub> , А	Г <sub>яε</sub> , Ом
1	110	100	20	0,5
2	110	120	25	0,4
3	110	130	30	0,3
4	110	140	35	0,25
5	110	150	40	0,2
6	220	160	50	0,5
7	220	170	45	0,4
8	220	180	40	0,3
9	220	190	35	0,4
10	220	200	30	0,5
11	440	220	20	2
12	440	240	25	1,8
13	440	260	30	1,5
14	440	280	35	1,2
15	440	300	40	1,0
16	55	110	25	0,5
17	55	130	35	0,4
18	55	140	35	0,3
19	55	150	45	0,25
20	55	155	55	0,2
21	35	165	55	0,5
22	35	175	65	0,4
23	35	185	45	0,3
24	35	195	25	0,4
25	35	210	35	0,5
26	150	225	25	2
27	150	245	35	1,8
28	150	265	35	1,5
29	150	285	45	1,2

30	150	300	65	1,0
----	-----	-----	----	-----

Рекомендации к решению:

Ток короткого замыкания прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению якорной цепи:

$$I_{к.з} = \frac{U_{я.н}}{r_{я.е}},$$

а момент кроме того пропорционален потоку:

$$M_{к.з} = I_{к.з} \cdot c$$

$$c = \frac{U_{я.н} - I_{я.н} \cdot r_{я.е}}{\omega_n}$$

где  $\omega_n$  - конструктивный коэффициент, пропорциональный потоку  $c = k \cdot \Phi$ .

Графики могут быть построены по двум точкам: номинальному режиму и режиму короткого замыкания.

#### Задача 4

По заданным точкам механической характеристики определите сопротивление якорной цепи двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Постройте графики этих характеристик.

Варианты заданий представлены в таблице 1

Таблица 1

№ в-та	$U_{я.н}, В$	$\omega_1, 1/с$	$M_1, Нм$	$\omega_2, 1/с$	$M_2, Нм$
1	110	100	5	95	15
2	110	120	4	115	14
3	110	130	3	125	13
4	110	140	2	135	12
5	110	150	1	145	11
6	220	160	5	150	15
7	220	170	4	160	14
8	220	180	3	170	13
9	220	190	2	180	12

10	220	200	1	190	11
11	440	220	5	205	15
12	440	240	4	225	14
13	440	260	3	245	13
14	440	280	2	265	12
15	440	300	1	285	11
16	115	110	5	105	15
17	115	125	4	125	14
18	115	135	3	135	13
19	115	145	2	145	12
20	115	155	1	155	11
21	55	165	5	155	15
22	55	175	4	165	14
23	55	185	3	175	13
24	55	195	2	185	12
25	55	205	1	195	11
26	300	225	5	215	15
27	300	245	4	235	14
28	300	265	3	255	13
29	300	285	2	275	12
30	300	305	1	295	11

Рекомендации к решению:

Определяется модуль жесткости механической характеристики по выражению:

$$B = \frac{DM}{D\omega} = \frac{M_2 - M_1}{\omega_1 - \omega_2},$$

затем на основании этого же выражения определяется частота вращения идеального холостого хода:

$$\omega_0 = \frac{M_2}{B} + \omega_2,$$

Находится удельная э.д.с. машины

$$c = \frac{U_{я.н}}{\omega_0},$$

и, наконец, вычисляется сопротивление якорной цепи:

$$r_{яе} = \frac{c^2}{B}$$

Графики могут быть построены по любым двум точкам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория электропривода [Электронный ресурс] : учебник / Г.Б.Онищенко - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 294 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-009674-2.
2. Москаленко, В.В. Электрический привод [Электронный ресурс] : учебник / В.В. Москаленко. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 400 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-009474-8.
3. Автоматизированный электропривод в современных технологиях [Электронный ресурс] / Г.М. Симаков. - Новосиб.: НГТУ, 2014. - 103 с.: ISBN 978-5-7782-2400-1.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## *Приложение 1*

### Варианты заданий

Номер варианта	Т и п д в и г а т е л я		
	постоянного тока независимого возбуждения	Мощность	асинхронный с фазным ротором
1	П92	32,0 кВт	МТВ411-8
2	П91	55,0 кВт	МТВ412-6
3	П71	10,0 кВт	МТВ611-10
4	П32	4,5 кВт	МТ-31-8
5	П61	11,0 кВт	МТВ613-10
6	П81	32,0 кВт	МТМ312-6
7	П91	25,0 кВт	МТМ411-8
8	П102	55,0 кВт	МТВ312-8
9	П11	0,7 кВт	МТ-11-6
10	П101	42,0 кВт	МТВ411-6
11	П51	3,2 кВт	МТВ712-10
12	П42	4,5 кВт	МТВ713-10
13	П61	6,0 кВт	МТМ111-6
14	П111	75,0 кВт	МТВ312-6
15	П21	1,5 кВт	МТ-21-6
16	П41	6,0 кВт	МТ-41-8
17	П52	4,5 кВт	МТ-52-8
18	П82	19,0 кВт	МТ-73-10
19	П91	25,0 кВт	МТ011-6
20	П91	55,0 кВт	МТМ412-6
21	П71	7,0 кВт	МТ-63-10
22	П12	1,0 кВт	МТ-12-6
23	П112	70,0 кВт	МТВ311-6
24	П22	2,2 кВт	МТ-22-6
25	П42	2,2 кВт	МТ-42-8
26	П62	6,0 кВт	МТМ112-6
27	П52	8,0 кВт	МТВ711-10
28	П31	3,2 кВт	МТ-31-6
29	П72	25,0 кВт	МТВ512-8

Приложение 2

Тип	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$n$ , об/мин	$I_{\text{н}}$ , А	$r_{\text{я}}+r_{\text{д.п}}$	$\Gamma_{\text{пар}}$ , Ом	Номинальный ток возбуждения параллельной обмотки $I_{\text{н}}$ , А	Момент инерции якоря $I$ , кг·м <sup>2</sup>
П11	0,13	1000	1,0	-	-	-	0,0125
	0,3	1500	2,1	22,6	670	0,27	
	0,7	3000	4,3	5,3	670	0,27	
П12	0,2	1000	1,4	26,8	785	0,23	0,015
	0,45	1500	2,9	11,76	785	0,23	
	1,0	3000	6,0	3,29	785	0,23	
П21	0,2	750	1,35	-	-	-	0,042
	0,3	1000	2,0	16,6	740	0,24	
	0,7	1500	4,3	6,75	600	0,30	
	1,5	3000	9,0	1,99	600	0,30	
П22	0,3	750	1,95	14,3	712	0,25	0,052
	0,45	1000	2,75	9,65	712	0,25	
	1,0	1500	5,9	4,17	712	0,25	
	2,2	3000	12,5	1,03	712	0,25	
П31	0,45	750	2,9	9,48	605	0,29	0,09
	0,7	1000	4,25	5,45	470	0,38	
	1,5	1500	8,7	2,455	470	0,38	
	3,2	3000	17,5	0,642	285	0,62	
П32	0,7	750	4,2	4,98	564	0,31	0,106
	1,0	1000	5,7	3,17	358	0,49	
	2,2	1500	12,0	1,205	358	0,49	
	4,5	3000	24,3	0,352	270	0,65	
П41	1,0	750	6,8	5,35	280	0,60	0,15
	1,5	1000	9,3	2,9	280	0,60	
	3,2	1500	18,4	1,032	198	0,84	
	6,0	3000	33,0	0,36	280	0,60	
П42	1,5	750	9,75	2,92	242	0,69	0,18
	2,2	1000	13,3	1,75	243	0,69	
	4,5	1500	25,4	0,78	228	0,73	

Приложение 2

(продолжение)

П51	2,2	750	13,6	1,91	168	0,99	0,35
	3,2	1000	18,3	1,051	168	0,99	
	6,0	1500	33,2	0,472	132	1,27	
П52	3,2	750	19,0	1,073	184	0,91	0,40
	4,5	1000	25,2	0,632	184	0,91	
	8,0	1500	43,5	0,260	150	1,11	
П61	4,5	750	26,0	0,76	216	0,77	0,56
	6,0	1000	32,6	0,494	158	1,05	
	11,0	1500	59,5	0,187	133	1,25	
П62	6,0	750	33,5	0,531	154	1,08	0,65
	8,0	1000	43,0	0,328	136	1,23	
	14,0	1500	73,5	0,127	116	1,44	
П71	7,0	750	42,0	0,546	106	1,49	1,4
	10,0	1000	63,0	0,300	85	1,85	
	19,0	1500	103,0	0,123	76,8	2,04	
П72	10,0	750	58,0	0,357	92,5	1,69	1,6
	12,5	1000	78,0	0,237	108	1,46	
	25,0	1500	132,0	0,082	67,0	2,34	
П81	14,0	750	79,0	0,244	92	1,71	2,7
	19,0	1000	105,0	0,144	96,2	1,64	
	32,0	1500	166,0	0,075	95,5	1,64	
П82	19,0	750	93,0	0,143	40,4	3,89	3,1
	25,0	1000	133,0	0,081	40,4	3,89	
	42,0	1500	218,0	0,046	40,4	3,89	
П91	19,0	600	106,0	0,198	44	3,57	5,9
	25,0	750	136,0	0,102	44	3,57	
	32,0	1000	171,0	0,066	35,8	4,39	
	55,0	1500	287,0	0,025	35,8	4,39	
П92	25,0	600	136,0	0,111	48,4	3,25	7,0
	32,0	750	169,0	0,004	31,8	4,01	
	42,0	1000	219,0	0,054	48,4	3,25	
	75,0	1500	381,0	0,013	31,8	4,01	
П101	32,0	600	172,0	0,074	37,8	4,16	10,3
	42,0	750	222,0	0,049	37,8	4,16	
	55,0	1000	286,0	0,029	37,8	4,16	
	100,0	1500	508,0	0,013	37,8	4,16	
П102	42,0	600	223,0	0,022	32,5	4,84	12,0
	55,0	750	286,0	0,031	32,5	4,84	
	75,0	1000	385,0	0,019	32,5	4,84	
	125,0	1500	632,0	0,079	32,5	4,84	

Приложение 2

(окончание)

П111	55,0	600	287	0,036	28	5,61	20,4
	75,0	750	387	0,023	28	5,61	
	100,0	1000	511	0,015	28	5,61	
	160,0	1500	809	0,063	28	5,61	
П112	70,0	600	361	0,0262	24	6,55	23,0
	85,0	750	436	0,0192	24	6,55	
	125,0	1000	632	0,0102	24	6,55	
	200,0	1500	1000	0,0495	24	6,55	

Приложение 3

Тип	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$n$ , об/мин	$\frac{M_{\text{м}}}{M_{\text{н}}}$	$E_{\text{рн}}$ , В	$I_{\text{рн}}$ , А	$r_{\text{р}}$ , Ом
МТ-11-6	2,2	885	2,3	135	12,8	0,61
МТ-12-6	3,5	910	2,5	204	12,2	0,77
МТ-21-6	5,0	940	2,9	164	20,6	0,24
МТ-22-6	7,5	945	2,8	227	21,6	0,29
МТ-31-6	11,0	953	3,1	200	35,4	0,132
МТ-32-6			3,6	185	28,0	0,211
МТ-41-8	11,0	715	2,9	155	46,7	0,0825
МТ-42-8	16,0	718	3,0	222	46,3	0,105
МТ-51-8	22,0	723	3,0	197	70,5	0,0496
МТ-52-8	30,0	725	3,0	257	74,3	0,0593
МТ-61-10	30,0	574	3,3	142	133,0	0,0225
МТ-62-10	45,0	577	3,2	206	138,0	0,0280
МТ-63-10	60,0	577	2,9	253	160,0	0,0332
МТ-71-10	80,0	582	3,3	294	167,0	0,0266
МТ-72-10	100,0	584	3,3	368	170,0	0,0299
МТ-73-10	125,0	585	3,4	442	175,0	0,0337

Приложение 4

Тип	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$n$ , об/мин	$\frac{M_{\text{м}}}{M_{\text{н}}}$	$E_{\text{рн}}$ , В	$I_{\text{рн}}$ , А	$r_{\text{р}}$ , Ом
MT011-6	1,4	885	2,3	112	9,3	0,695
MT012-6	2,2	895	2,3	144	11,0	0,675
MT111-6	3,5	915	2,3	181	13,7	0,525
MT112-6	5,0	925	2,5	206	16,6	0,50
MT211-6	7,5	935	2,5	255	19,8	0,44
MTB311-6	11,0	945	2,8	172	42,5	0,11
MTB311-8	7,5	695	2,5	251	20,5	0,47
MTB312-6	16	955	2,8	208	49,5	0,099
MTB312-8	11	710	2,8	182	41,0	0,13
MTB411-6	22	965	2,8	225	61,0	0,066
MTB411-8	16	715	2,8	207	49,5	0,103
MTB412-6	30	970	2,8	259	72,0	0,055
MTB-412-8	22	720	2,8	234	59,0	0,09
MTB511-8	30	720	2,8	280	67,5	0,082
MTB512-8	40	730	2,8	322	76,5	0,072
MTB611-10	45	575	3,0	185	155	0,027
MTB612-10	60	578	3,0	245	153	0,033
MTB613-10	80	580	3,0	320	155	0,038
MTB711-10	100	584	2,8	275	230	0,017
MTB712-10	125	587	2,8	345	225	0,020
MTB713-10	160	587	2,8	420	235	0,022

Приложение 5

Тип	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$n$ , об/мин	$\frac{M_{\text{м}}}{M_{\text{н}}}$	$E_{\text{рн}}$ , В	$I_{\text{рн}}$ , А	$r_{\text{р}}$ , Ом
МТМ111-6	2,2	885	2,3	144	11,1	0,72
МТМ112-6	3,5	895	2,3	177	13,5	0,725
МТМ211-6	5,0	920	2,5	215	16,2	0,58
МТМ311-6	7,5	945	2,5	240	19,7	0,33
МТМ311-8	5,0	685	2,5	215	17,0	0,517
МТМ312-6	11,0	950	2,8	166	43,0	0,097
МТМ312-8	7,5	695	2,5	254	20,0	0,046
МТМ411-6	16	957	2,8	200	53,0	0,092
МТМ411-8	11	710	2,8	172	41,5	0,116
МТМ412-6	22	960	2,8	225	63,0	0,072
МТМ412-8	16	715	2,8	200	52,0	0,098
МТМ511-8	22	715	2,8	237	58,5	0,106
МТМ512-8	30	716	2,8	288	65,0	0,102
МТМ611-10	38	577	3,0	172	138	0,025
МТМ612-10	50	577	2,8	223	140	0,031
МТМ613-10	63	580	2,9	282	139	0,036
МТМ711-10	80	585	2,7	246	200	0,015
МТМ712-10	100	587	2,8	316	196	0,018
МТМ713-10	125	587	2,9	372	196	0,020

Приложение 6

Матрица распределения по вариантам

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	21	22	23	24	25	26	27	28	39	30
3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2
6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
8	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5
9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18