Устойчивость узлов нагрузок. Лабораторная работа №3

Исследование статической устойчивости асинхронной нагрузки при питании их от шин бесконечной мощности

Цели работы:

Познакомиться с методикой исследования статической устойчивости асинхронного двигателя и асинхронной нагрузки на ЭВМ.

Статической устойчивостью асинхронной нагрузки называется способность асинхронного двигателя вернуться в исходный или близкий к нему режим после малых возмущений. Таким возмущением может быть, например, снижение напряжения на двигателе.

Асинхронные двигатели обычно составляют основную часть нагрузки электрических систем и оказывают непосредственное влияние на устойчивую работу всей системы. В определенных условиях работа самих двигателей оказывается неустойчивой. Так, при значительном снижении напряжения на выводах двигателей происходит их опрокидывание и они останавливаются.

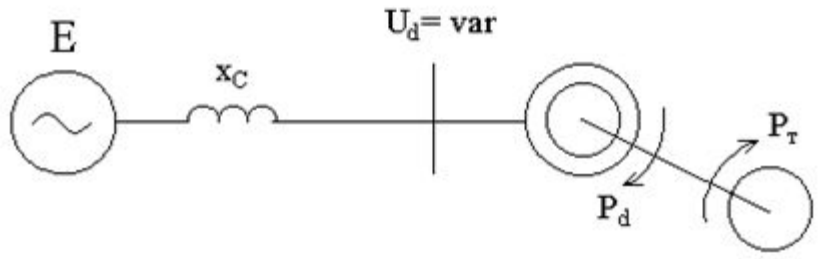


Рис. 1. Исследуемая схема

В лабораторных работах исследуется устойчивость асинхронной нагрузки. Исследования проводятся для общей схемы, изображенной на рис.1, в которой асинхронный двигатель мощностью P_d вращает производственный механизм с тормозным моментом мощностью P_T и питается от независимого источника, имеющего э.д.с. E, через реактивное сопротивление x_C.

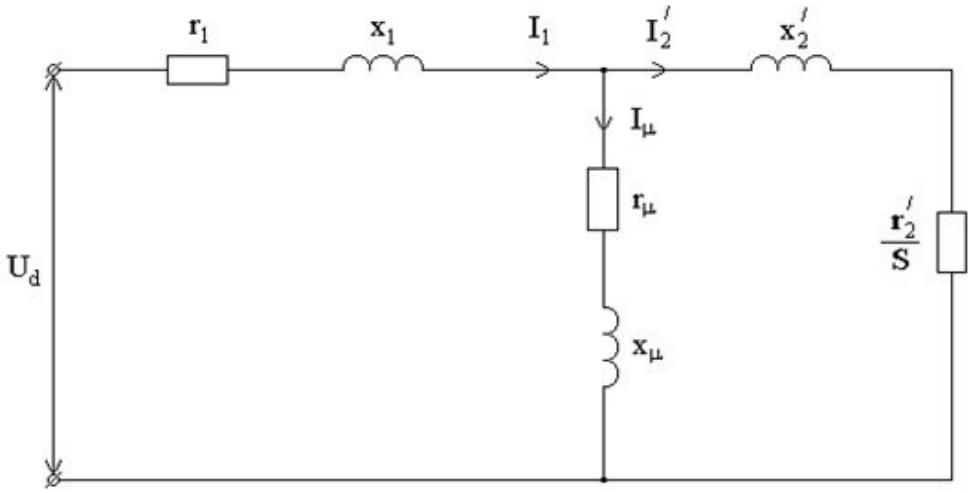


Рис. 2. Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

При изучении режимов работы асинхронного двигателя на ЭВМ двигатель представляется схемой замещения. Реальные физические процессы, происходящие в двигателях, хорошо отражаются Т-образной схемой замещения, приведенной на рис. 2. Здесь введены следующие обозначения: r1 и x1 – активное и индуктивное сопротивления статора; r_2' и x_2' – приведенные активное и индуктивное сопротивления ротора; r_μ и x_μ -активное и индуктивное сопротивления намагничивающей цепи; I_1 и I_μ - токи статора и намагничивающей цепи; I_2' – приведенный ток ротора; s- скольжение или относительная разность скоростей вращения поля ω_0 и ротора ω ($s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$).

- Параметры схемы замещения можно определить по паспортным данным двигателя.

Параметры намагничивающей цепи можно найти из следующих соображений. Магнитный поток при изменении скольжения от $s \approx 0$ до $s_н$ практически не изменяется, поэтому ток I_μ можно оценить по номинальному режиму

$$I_\mu \approx I_Н \cdot \left(\left(\sqrt{1-\cos\varphi_Н{}^2}\right) - \frac{s_Н}{s_{КР}} \cdot \cos\varphi_Н\right)$$

где $\cos\varphi_н$ и $s_н$ –номинальные значения косинуса и скольжения; $I_н$ – номинальный ток двигателя; $s_{кр}$ – критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту M_{max} на валу двигателя. Ток $I_н$ определяется по формуле

$$I_Н = \frac{P_Н}{\sqrt{3} \cdot U_Н \cdot \cos\varphi_Н \cdot \eta_Н}$$

где $I_н$ – номинальный к.п.д., о.е.; $P_н$ – номинальная мощность, Вт; $U_н$ – номинальное напряжение, В.

Критическое скольжение

$$s_{кр} = s_н \cdot (b_m + \sqrt{b_m^2 - 1})$$

где $b_m = \frac{M_{max}}{M_H}$ - кратность максимального момента двигателя; $M_н$ – номинальный момент; M_{max} – максимальный момент.

Активным сопротивлением цепи намагничивания можно пренебречь, так как $r_\mu << x_\mu$, и тогда индуктивное сопротивление этой цепи

$$x_\mu = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_\mu}$$

Активное сопротивление статора r_1 можно принять равным приведенному активному сопротивлению ротора $s \approx 0$

$$r_1 = r_{20}^{/} = \frac{U_H^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot c_1 \cdot (P_H + \Delta P_{MEX}) \cdot b_m \cdot (1 + \frac{c_1}{s_H (b_m + \sqrt{b_m^2 - 1})})},$$

где $\Delta P_{мех}$ – механические потери (в лабораторных работах $\Delta P_{мех} \approx 0{,}01 \cdot P_н$); c_1-коэффициент приведения цепи ротора (в лабораторных работах c_1=1,03).

Приведенное активное сопротивление фазы ротора при s=1

$$r_{21}^{/} = \frac{(P_H + \Delta P_{MEX}) \cdot b_n}{3 \cdot (1 - \kappa_H) I_n^2 \cdot I_H^2},$$

где $b_n = \frac{M_П}{M_H}$ - кратность пускового момента $M_П$ двигателя; $\kappa_П = \frac{I_П}{I_H}$ - кратность пускового тока $I_П$ двигателя.

Приведенное активное сопротивление фазы ротора $r_2^{/}$ из-за вытеснения тока зависит от скольжения и изменяется от $r_{20}^{/}$ до $r_{21}^{/}$.

Поэтому для произвольного s сопротивление $r_2^{/}$ нужно определять по формуле

$$r_{2S}^{/} = r_{20}^{/} + (r_{21}^{/} - r_{20}^{/}) \cdot \sqrt{s}\ .$$

При выполнении заданий к лабораторным работам $r_2^{/}$ нужно определять для $s_н$:

$$r_{2H}^{/} = r_{20}^{/} + (r_{21}^{/} - r_{20}^{/}) \cdot \sqrt{s_H}\ .$$

Приведенное индуктивное сопротивление рассеяния ротора $x_2^{/}$ из-за вытеснения тока также зависит от скольжения и изменяется от $x_{20}^{/}$ до $x_{21}^{/}$.

При выполнении заданий к лабораторным работам №3-5 сопротивление $x_2^{/}$ нужно вычислять для $s_н$ ($x_{2н}^{/}$).

Для определения $x_1^{/}$ и $x_{21}^{/}$ необходимо найти суммарное индуктивное сопротивление рассеяния двигателя x_s для граничных случаев. Для s=1 его можно определить (если пренебречь намагничивающим током) по формуле

$$x_{S1} = x_1 + x_{21}^{/} = \sqrt{z_{d1}^2 - (r_1 + r_{21}^{/})^2}\ , \qquad (6)$$

где z_{d1}- полное сопротивление двигателя при неподвижном роторе.

$$z_{d1} = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot к_п \cdot I_н}. \qquad (7)$$

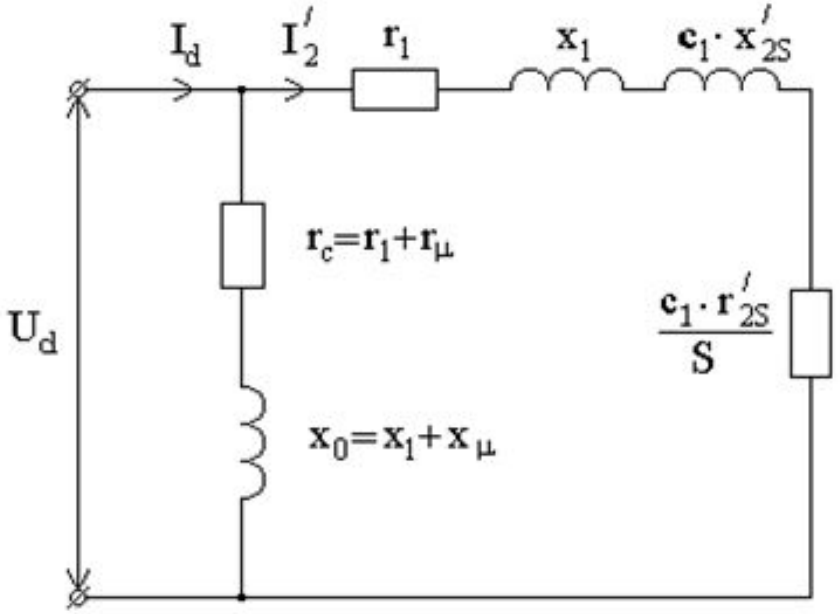
Для s≈0 суммарное индуктивное сопротивление рассеяния двигателя [6]

$$x_{S0} = x_1 + c_1 \cdot x_{20}^{/} \approx \frac{U_H^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot c_1 \cdot (P_H + \Delta P_{мех}) \cdot b_m} - r_1\ , \qquad (8)$$

где c_1 – коэффициент преобразования.

Решая совместно (6) и (8), находим, что

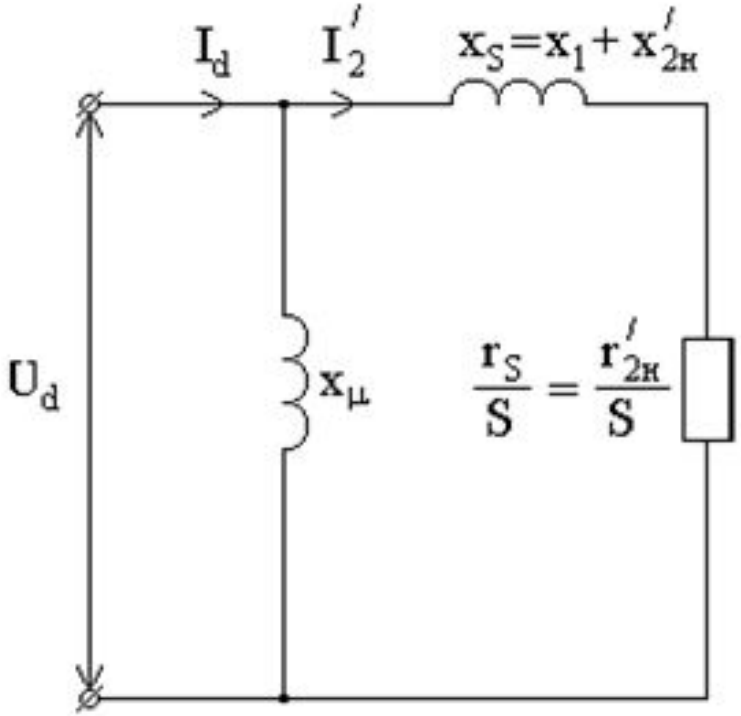
$$x_1 = \frac{(4{,}47 \cdot x_{S1} - x_{S0})}{3{,}47} \quad и \quad x_{21}^{/} = x_{S1} - x_1\ . \qquad (9)$$



Однако для изучения переходных процессов более удобной является Г-образная схема замещения, в которой намагничивающая цепь вынесена к месту приложения напряжения U_d. Для перехода от Т-образной схемы к Г-образной необходимо вычислить коэффициент преобразования

$$c_1 = 1 + \frac{z_1}{z_\mu} \approx 1 + \frac{x_1}{x_\mu} \approx 1,02 - 1,06$$

где z_1-полное сопротивление статора; z_μ- полное сопротивление цепи намагничивания. В лабораторных работах c_1 следует принять равным 1,03.



При изучении статической устойчивости асинхронной нагрузки Г-образная схема замещения обычно упрощается. В схеме не учитываются: коэффициент преобразования c_1, в намагничивающей цепи – потери (r_0=0) и сопротивление x_1, а в цепи рассеяния обмоток - потери в обмотке статора (r_1=0) . В цепи намагничивания остается только индуктивное сопротивление x_μ. Для цепи рассеяния обмоток (для удобства написания формул) введем обозначения x_S и r_S , где x_S равно сумме индуктивных сопротивлений обмоток ($x_S = x_1 + x_{2H}'$), а r_S –приведенному активному сопротивлению ротора ($r_S / s = r_{2H}' / s$). Изменением сопротивлений и из-за вытеснения тока ротора с ростом скольжения пренебрегают и считают их постоянными (в лабораторной работе №3 он вычисляется при $s_н$). Эти упрощения существенно не изменяют полного сопротивления двигателя, но позволяют наглядно показать влияние скольжения s на устойчивость нагрузки (в лабораторной работе №5 при исследовании динамической устойчивости нагрузки влияние скольжения на сопротивления r_2' и x_2' учитывается).

Устойчивость асинхронного двигателя обычно определяют по характеристикам электромагнитной мощности двигателя $P_d=f(s)$ и мощности тормозного момента производственного механизма $P_т=f(s)$. Характеристики имеют две точки пересечения а и б, причем в точке а режим устойчивый, так как при возмущении с ростом скольжения s растет и ускоряющая избыточная мощность двигателя, поэтому скорость двигателя начинает возрастать, скольжение - уменьшаться и первоначальный режим восстанавливается. А в точке б возникает тормозящая избыточная мощность, скольжение продолжает расти и двигатель останавливается. Точка а будет рабочей точкой двигателя, которой соответствует мощность P_0 и скольжение s_0.

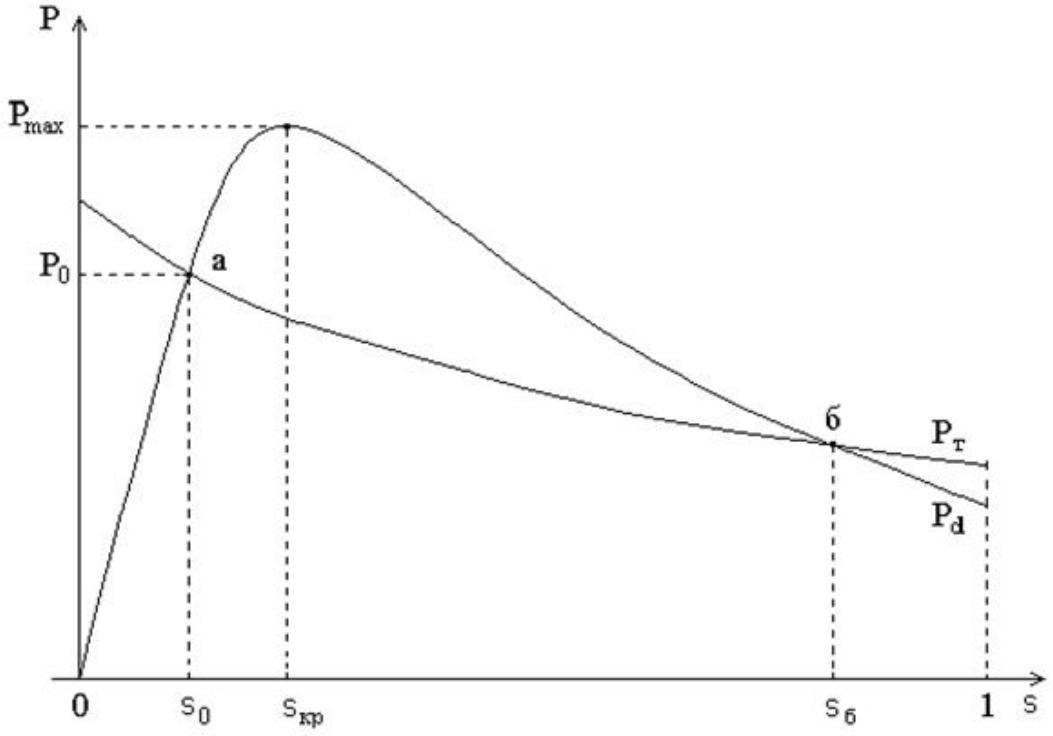


Рис. 4 . Характеристики асинхронного двигателя и нагрузки

Если напряжение на шинах снижается, то уменьшается максимальная мощность двигателя P_{max} и рабочая точка смещается в сторону увеличения скольжения. Область устойчивой работы асинхронного двигателя при снижении напряжения на двигателе зависит от вида характеристики мощности тормозного момента $P_T = f(s)$.

Если характеристика $P_T = const$, то критерий устойчивости двигателя имеет вид $\frac{\partial P_d}{\partial s} > 0$

т.е. предельным режимом, с точки зрения устойчивости, является точка $s_{кр}$, где характеристика $P_d = f(s)$ достигает максимального значения.

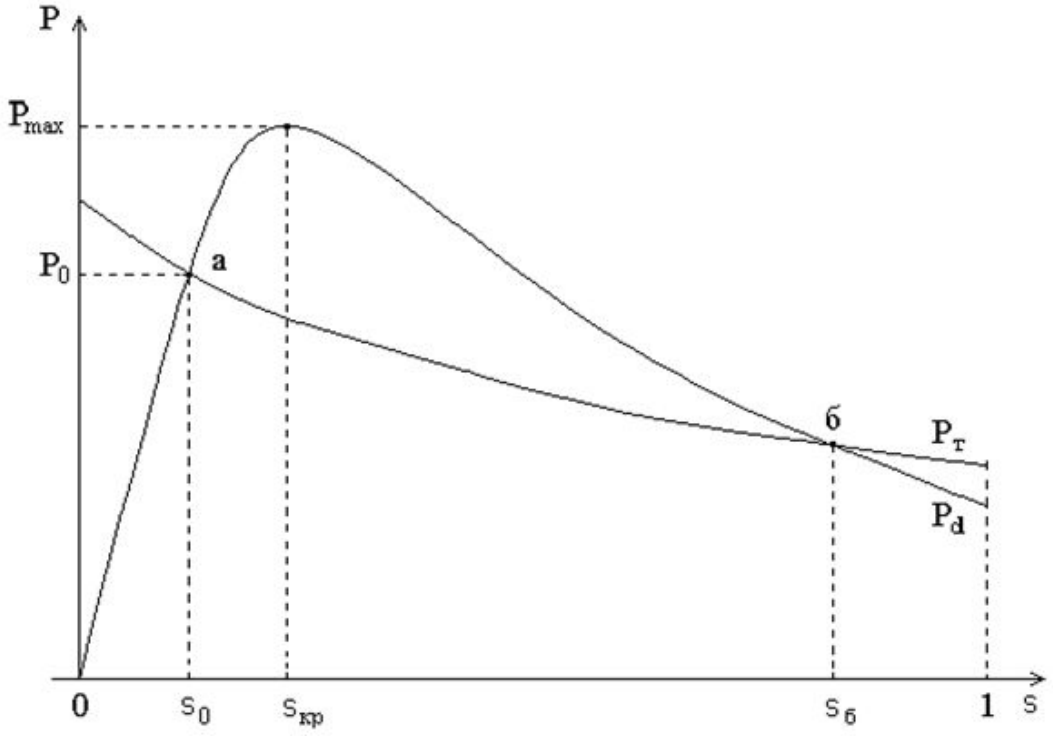


Рис. 4 . Характеристики асинхронного двигателя и нагрузки

Если характеристика мощности тормозного момента $P_T = f(s)$ имеет падающий характер, то критерием статической устойчивости двигателя является положительный знак избыточной мощности ($dP = dP_d - dP_т$) при увеличении скольжения s , т.е. условие

$$\frac{dP}{ds} = \frac{dP_d}{ds} - \frac{dP_T}{ds} > 0$$

В этом случае характеристика $P_т = f(s)$ имеет отрицательную производную $\frac{dP_T}{ds}$ и устойчивая работа двигателя возможна в некоторой области за максимумом функции $P_d = f(s)$ при $\frac{dP_d}{ds} < 0$.

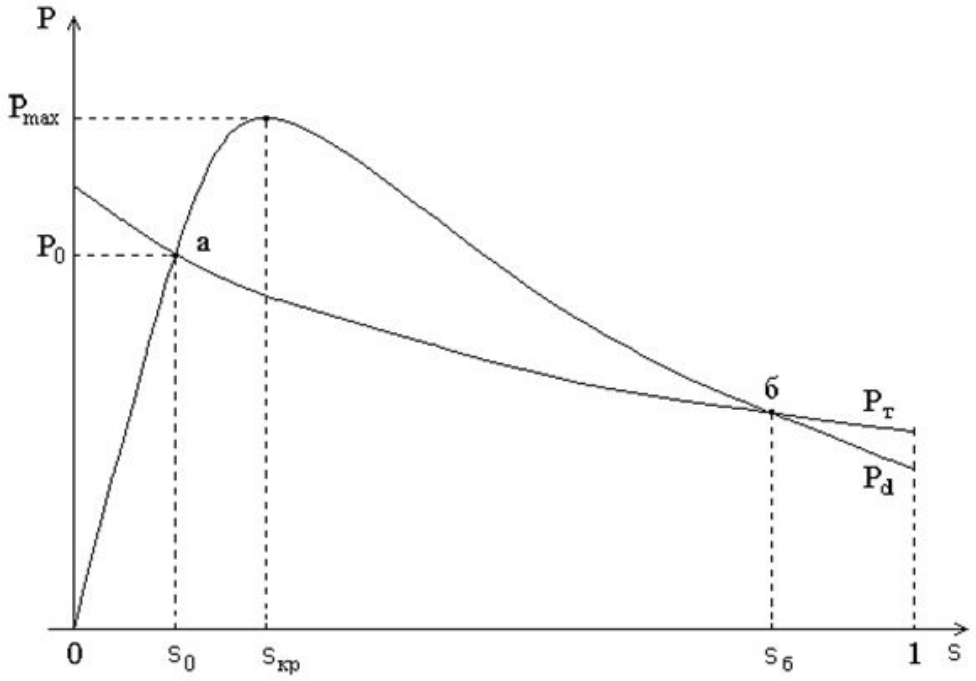


Рис. 4 . Характеристики асинхронного двигателя и нагрузки

На рис. приведены характеристики асинхронного двигателя и нагрузки для предельного случая. При снижении напряжения на двигателе до $U_{пред}$ обе характеристики будут иметь только одну общую точку при скольжении $s_{пред}$, которое лежит в диапазоне $1 > s_{пред} > s_{кр}$.

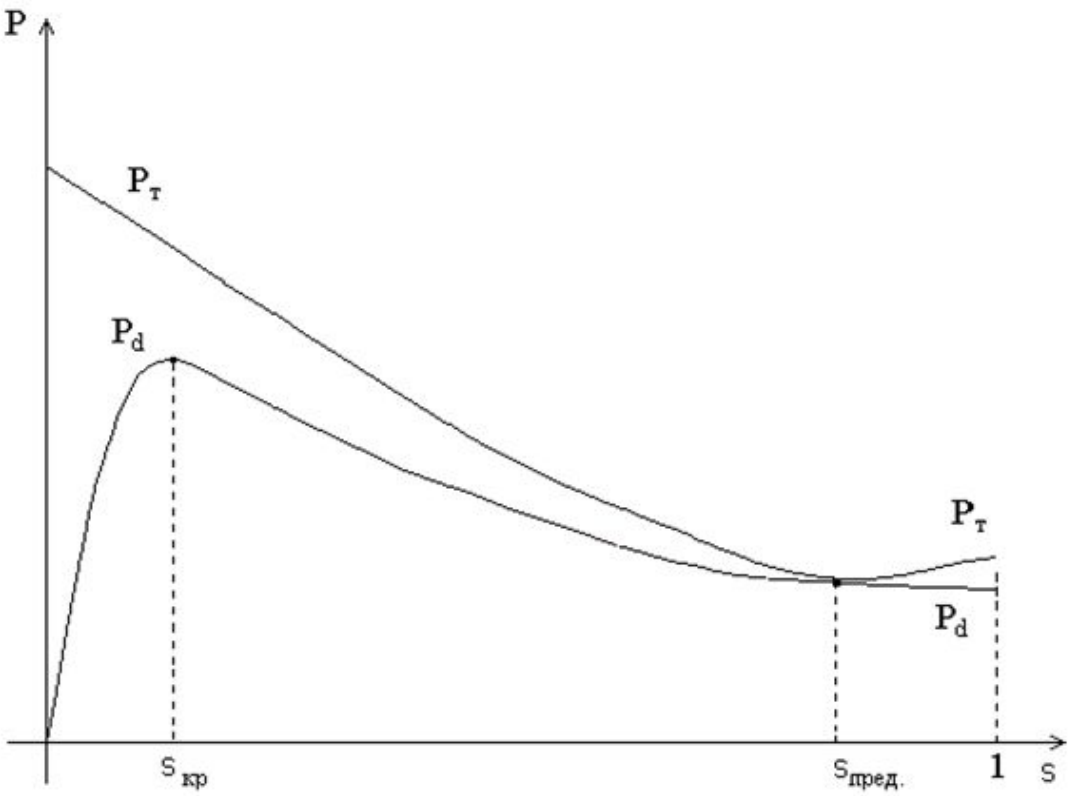


Рис. 5 . Характеристики асинхронного двигателя и нагрузки для предельного случая (для $U_{пред}$)

В курсах “Электрические машины” и “Электропривод” для асинхронных двигателей обычно строят механические характеристики моментов, а не мощностей (M_d=f(s) и M_T = f(s)) .

В лабораторных работах также исследуются характеристики моментов, только построенные в относительных единицах (m_d=f (s) и m_T = f (s)).

На рис. приведены два вида механических характеристик момента сопротивления нагрузки, построенных в относительных единицах:

а) m_T = const ;

б) $m_T = m_{тр} + (к_З - m_{тр}) \cdot (1-s)^{\gamma}$,

где $m_{тр}$ – начальный момент трения при s=1;
γ- показатель степени, характеризующий механизм,

$к_З$ - коэффициент загрузки двигателя

$$к_З = \frac{M_{(S=0)}}{M_H}$$

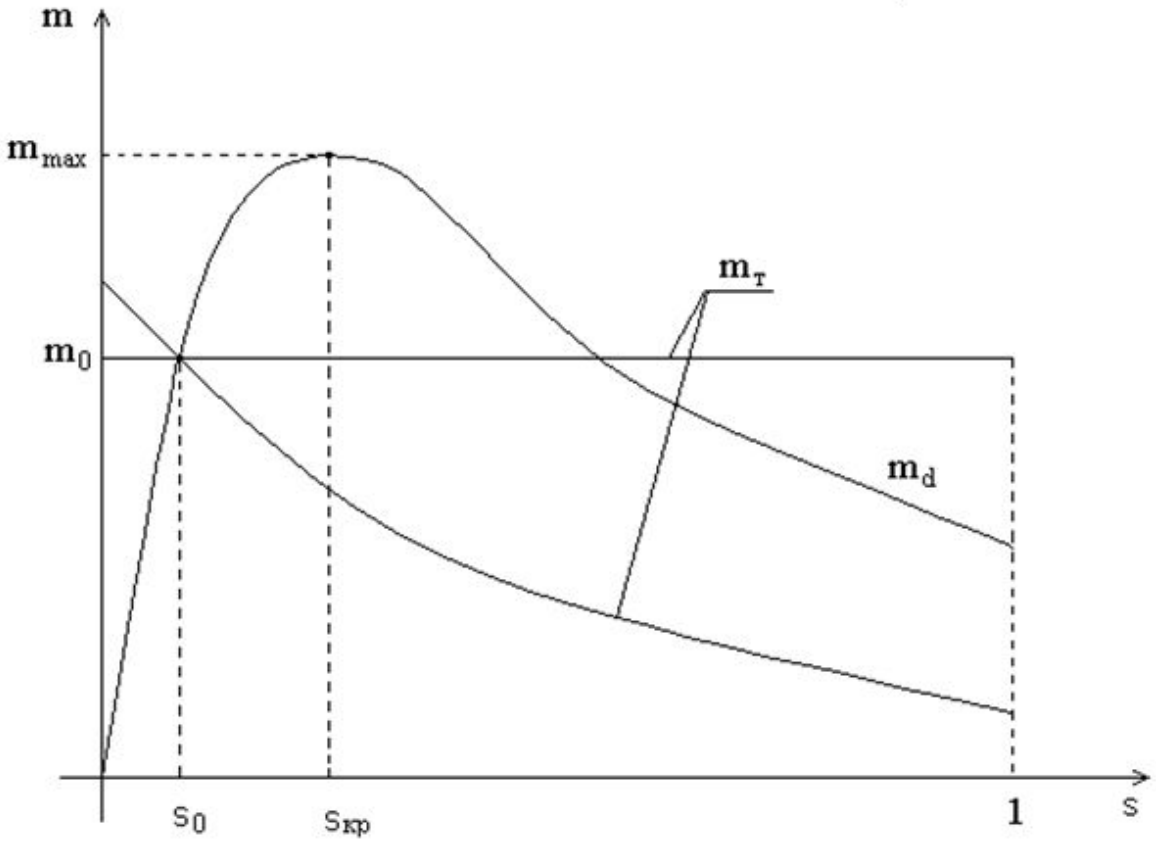


Рис. 6. Механические характеристики двигателя и нагрузки

Механическую характеристику асинхронного двигателя в относительных единицах с достаточной для практических расчетов точностью можно построить по формуле

$$m_d = \frac{(2+q)\cdot b_m}{\frac{s}{s_{KP}} + \frac{s_{KP}}{s} + q}, \qquad (14)$$

где q-параметр, он определяется по формуле

$$q = \frac{(s_{KP} + \frac{1}{s_{KP}})\cdot \frac{b_n}{b_m} - 2}{1 - \frac{b_n}{b_m}}.$$

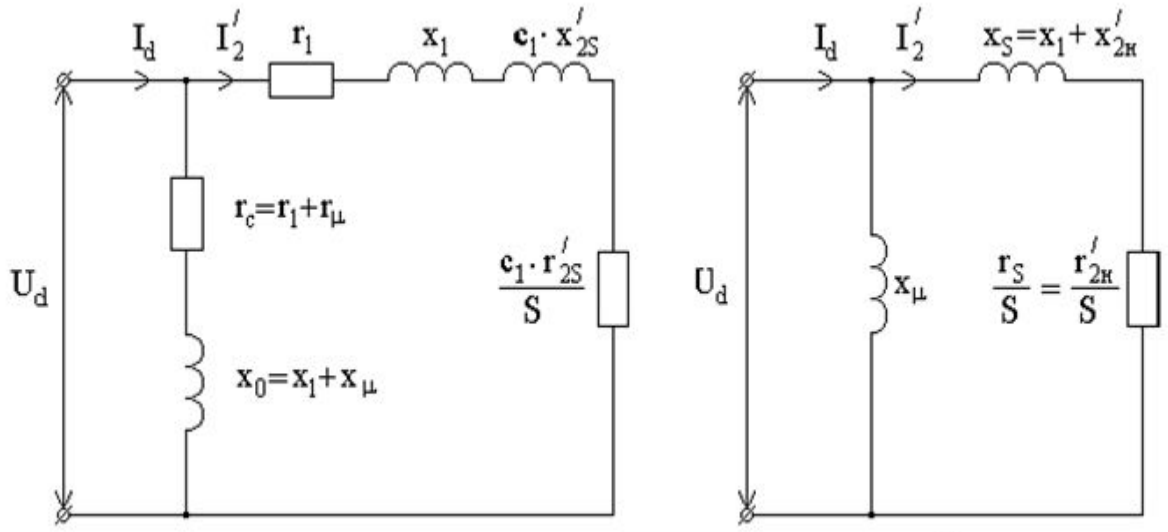
Причем при $s \le s_{KP}$ следует принять q=0 и формула (14) преобразуется в формулу Клосса [5]:

$$m_d = \frac{2\cdot b_m}{\frac{s}{s_{KP}} + \frac{s_{KP}}{s}}. \qquad (15)$$

При снижении напряжения на двигателе U_d механическая характеристика двигателя принимает вид

$$m_d = \frac{(2+q)\cdot b_m}{\frac{s}{s_{KP}} + \frac{s_{KP}}{s} + q}\cdot\frac{U_d^2}{U_H^2}. \qquad (16)$$

Теория к 3 ЛР



а б

Прежде чем начать изучение устойчивости асинхронного двигателя, необходимо оценить, какую погрешность в расчет полного сопротивления двигателя z_d внес переход от полной Г-образной схемы а к упрощенной схеме б.

Для трех режимов полное сопротивление z_d можно определить по паспортным данным двигателя. Так, при пуске двигателя (s=1) сопротивление двигателя z_{d1} определяется по формуле.

$$z_{d1} = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot к_п \cdot I_н}.$$

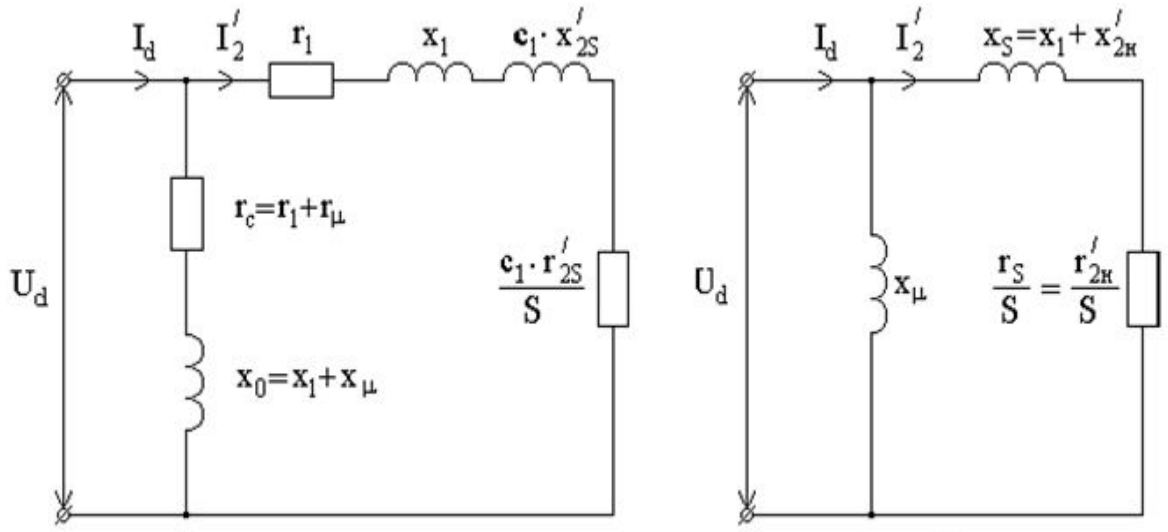
Полное сопротивление двигателя в номинальном режиме

$$z_{dн} = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot I_н},$$

а при холостом ходе (s≈0) оно определяется по формуле

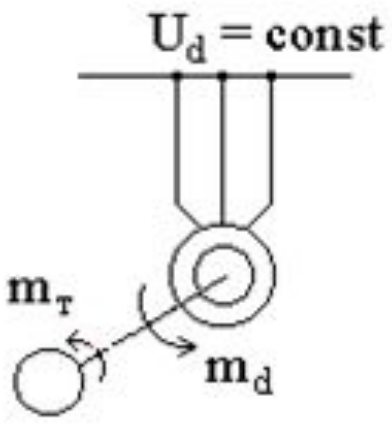
$$z_{d0} \approx x_\mu = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot I_\mu}.$$

Теория к 3 ЛР



а б

В лабораторной работе строятся две зависимости $z_d=f(s)$. Причем одна зависимость вычисляется по формуле, полученной для полной Г-образной схемы замещения (рис. а). Здесь только принято $r_0 = 0$, так как $r_0 \ll x_0$, но сопротивления r_{2s}' и x_{2s}' в формуле зависят от скольжения. А другая зависимость $z_d=f(s)$ вычисляется для упрощенной Г-образной схемы замещения (рис. б). Обе зависимости построены на одном графике, а затем в таблице приведены также погрешности вычисления z_d .



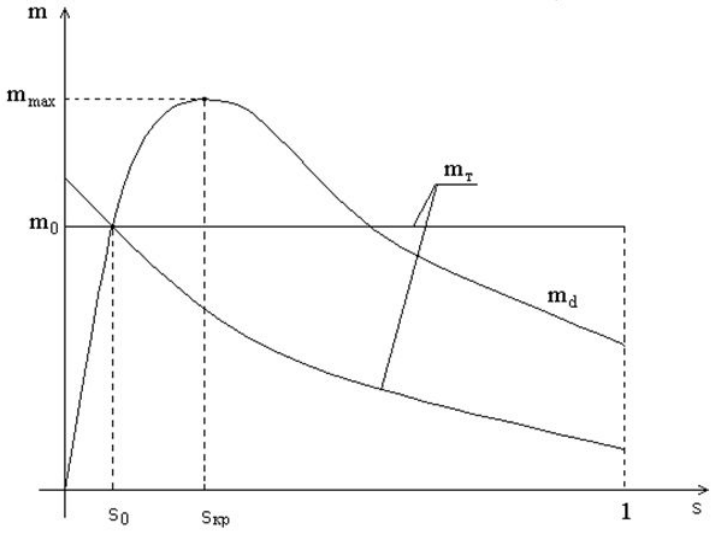


Рис. 6. Механические характеристики двигателя и нагрузки

Изучение устойчивости асинхронной нагрузки начнем для простейшей схемы (рис.), в которой асинхронный двигатель с моментом m_d на валу вращает производственный механизм с тормозным моментом мощностью $m_т$ и питается от шин бесконечной мощности (U_d=const).

Так как при малых изменениях скольжения в относительных единицах характеристики мощностей и моментов совпадают, то выводы, приведенные выше, в том числе и критерии устойчивости ($\frac{\partial P_d}{\partial s} > 0$) и ($\frac{dP}{ds} = \frac{dP_d}{ds} - \frac{dP_T}{ds} > 0$), справедливы и для моментов. Следовательно, если характеристика мощности $m_т$=const , то критерий устойчивости двигателя имеет вид

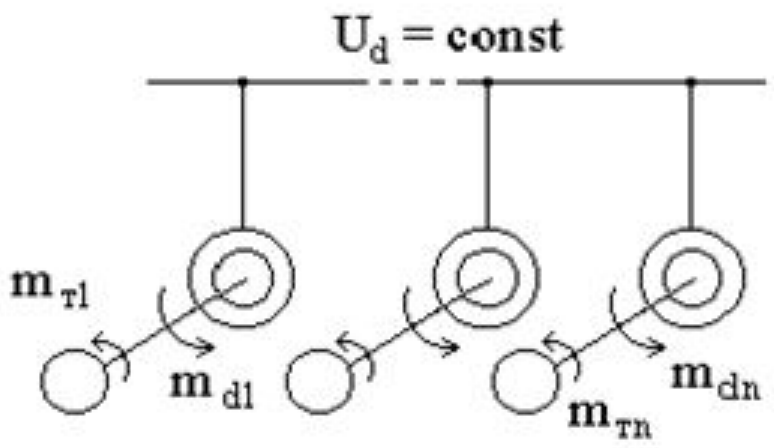
$$\frac{dm_d}{ds} > 0$$

а если характеристика мощности тормозного момента $m_т$=f(s) имеет падающий характер, то критерием статической устойчивости асинхронного двигателя является условие

$$\frac{dm}{ds} = \frac{dm_d}{ds} - \frac{dm_T}{ds} > 0$$

Запас устойчивости для асинхронного двигателя обычно принимается равным отношению максимального момента на валу двигателя (рис.) к рабочему моменту:

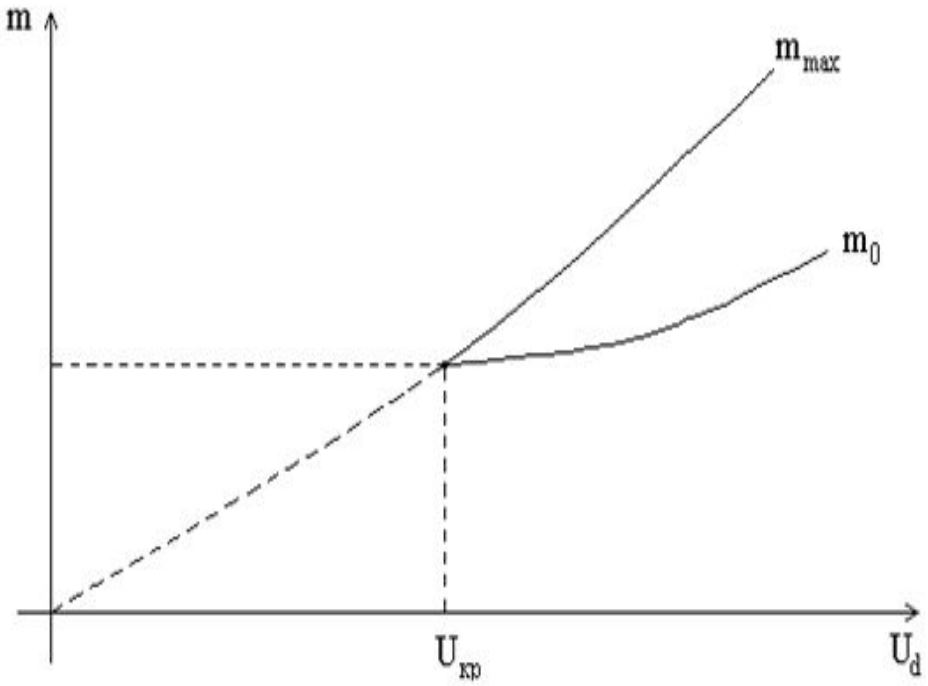
$$\kappa_{зап} = \frac{m_{max}}{m_0}$$



Рассмотрим устойчивость асинхронной нагрузки при питании ее от шин бесконечной мощности. Здесь есть некоторые отличия. Пусть от шин питается не один двигатель, а группа из нескольких разных двигателей (рис.). Тогда при изучении устойчивости приходится иметь дело с эквивалентным двигателем и нагрузкой с усредненными параметрами, поэтому критерий устойчивости для такого случая обычно упрощают и принимают его, как и для постоянной нагрузки ($m_т$=const):

$$\frac{dm_d}{ds} > 0$$

т.е. предельным принимают скольжение $s_{кр}$. Связанная с этим неточность создает некоторый дополнительный запас надежности в оценке устойчивости работы двигателей.



Для определения области устойчивой работы асинхронной нагрузки по критерию $\frac{dm_d}{ds} > 0$

построим зависимости максимального момента двигателя $m_{max}=f(U_d)$ и рабочего момента $m_0=f(U_d)$, где $m_d=m_т$, от напряжения U_d (рис.). Устойчивая работа асинхронной нагрузки при снижении напряжения возможна до $U_{кр}$, при котором $m_{max}=m_т$. В этом случае коэффициент запаса устойчивости определяется по напряжению

$$\kappa_{зап} = \frac{U_н - U_{кр}}{U_н} \cdot 100$$

Итак, практический критерий устойчивости асинхронной нагрузки имеет вид

$$\frac{dm_d}{ds} > 0$$

Вычисление производной возможно, если все двигатели нагрузки заменены одним эквивалентным. Однако определение параметров эквивалентного двигателя часто затруднительно, что заставляет искать другие решения, позволяющие подойти к оценке устойчивости асинхронных двигателей в электрических системах, не выделяя их из состава комплексной нагрузки. Это можно сделать по так называемым вторичным критериям устойчивости нагрузки.

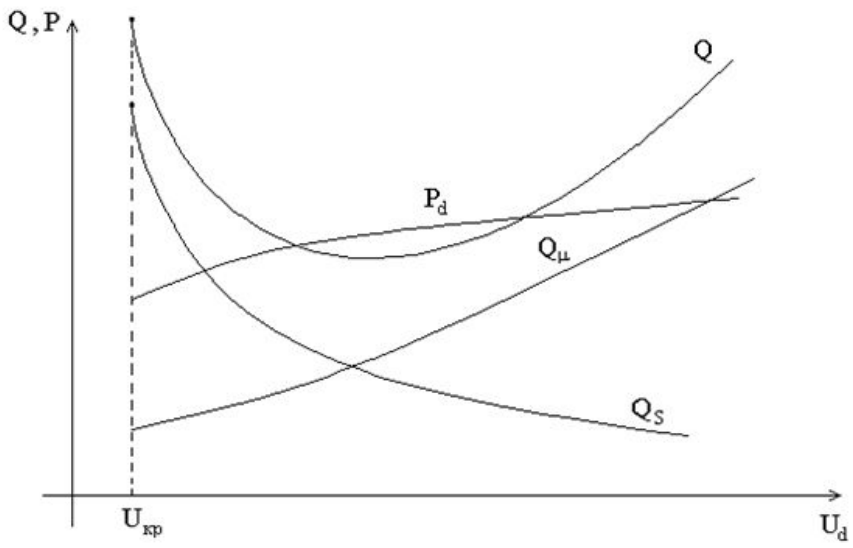


Рис. 9. Зависимости потребляемой нагрузкой активной и реактивной мощностей от напряжения на двигателе

Рассмотрим один из таких критериев устойчивости. Для этого необходимо построить зависимости потребляемой двигателем активной P_d=f (U_d) и реактивной Q= f (U_d) мощностей от напряжения U_d (рис.). Эти зависимости, хотя и построены как функции от U_d, отражают определенное изменение скольжения двигателя, так как каждому значению напряжения U_d соответствует свое значение скольжения.

Потребляемая двигателем реактивная мощность в соответствии с Г-образной схемой замещения состоит из двух слагаемых:

$$Q = Q_\mu + Q_s, \tag{24}$$

где $Q_\mu = \dfrac{U_d^2}{x_\mu}$ - мощность, потребляемая ветвью намагничивания;

$Q_s = (I_2^{/})^2 \cdot x_s = \dfrac{U_d^2 \cdot x_s \cdot s^2}{r_s^2 + (x_s \cdot s)^2}$ - мощность, потребляемая ветвью рассеяния;

$I_2^{/}$ -приведенный ток цепи рассеяния.

Зависимости Q_μ=f (U_d), Q_s=f (U_d) и Q=f (U_d) приведены на рис. 9. Здесь же приведена зависимость P_d = f (U_d) , где значения электромагнитной мощности двигателя в соответствии со схемой рис. 3б определяются по формуле

$$P_d = (I_2^{/})^2 \cdot \frac{r_s}{s} = \frac{U_d^2 \cdot r_s \cdot s}{r_s^2 + (x_s \cdot s)^2}. \tag{25}$$

Мощность Q_s является одновременно функцией двух переменных U_d и s, поэтому при каждом новом значении U_d необходимо для условия $m_d=m_т$ найти новое скольжение, а затем для него вычислить Q_s. Как следует из рис. 9, зависимость $Q=f(U_d)$ с уменьшением U_d сначала тоже уменьшается, а затем растет. Следовательно, при $\frac{dQ}{dU_d}<0$ снижение U_d приводит к росту потребляемой реактивной мощности, а значит, и к росту тока, при питании от источника соизмеримой мощности может привести к дальнейшему снижению напряжения на двигателе U_d. Прогрессирующее снижение напряжения получило название лавины напряжения. При $U_{кр}$, когда $\frac{dQ}{dU_d}=-\infty$, происходит опрокидывание двигателя.

Следовательно, выражение

$$\frac{dQ}{dU_d}=-\infty \qquad (26)$$

может быть принято в качестве вторичного критерия статической устойчивости асинхронной нагрузки.

№	ФИО	Номер подгруппы	Номер варианта
1	АФАНАСЬЕВ Максим Алексеевич	2	2
2	БУРЖИНСКИЙ Александр Сергеевич	2	3
3	БЫРДА Вячеслав Борисович	1	14
4	ГАВРИЛОВ Илья Евгеньевич	2	4
5	ДЖЕПА Вадим Владимирович	2	5
6	ДРОЗДОВА Юлия Евгеньевна	2	6
7	ДУБКОВА Дарья Дмитриевна	1	15
8	ДУКА Константин Эдуардович	1	16
9	ЗАИКИН Аркадий Вячеславович	1	4
10	ЗАЙЦЕВ Всеволод Евгеньевич	2	7
11	КАПШУКОВ Сергей Романович	1	5
12	КИРИЧЕНКО Анастасия Витальевна	2	8
13	КОШЕЛЕВ Владислав Олегович	1	6
14	МАКАРОВА Анастасия Андреевна	1	13
15	МАНАННИКОВ Алексей Сергеевич	2	9
16	МОСКАЛЕНКО Павел Сергеевич	2	10
17	НЕХОРОШЕВ Иван Валерьевич	1	8
18	ПОЛОЦКИЙ Вячеслав Андреевич	1	9
19	ПРИСТАВКА Вячеслав Викторович	2	11
20	СМОРОДНИКОВ Максим Александрович	2	12
21	СОЛОДУХИН Николай Вячеславович	1	10
22	ТАРАН Виктория Сергеевна	2	13
23	ХЛЯНОВ Никита Андреевич	1	12

Паспортные данные исследуемых двигателей

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$P_н$, кВт	7,5	90	160	400	630	1250	2500	5000	15	30	55	110	800	1600	2000	4000
$U_н$, кВ	0,38	0,38	0,38	6	6	6	6	6	0,38	0,38	0,38	0,38	6	6	6	6
$n_н$, об/мин	970	985	985	1484	1484	2973	2973	2973	975	980	985	985	2970	2973	2973	2973
$\cos\varphi_н$, о.е.	0,81	0,89	0,9	0,88	0,88	0,89	0,89	0,9	0,87	0,9	0,89	0,9	0,92	0,89	0,89	0,89
$S_н$, %	3,2	1,8	1,4	1,35	1,3	0,7	0,9	0,6	2,6	2,3	1,3	2	0,7	0,9	0,9	0,89
$b_{max}=M_{max}/M_н$, о.е.	2,5	2,2	2,2	2,1	2,3	2,1	2	2,2	2	2	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
$b_п=M_п/M_н$, о.е.	2	1,2	1,4	1,0	1,2	0,95	0,95	0,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,95	0,95
$k_п=I_п/I_н$, о.е.	6	7	7	5,1	5,7	5,5	5	5,7	6	6,5	6,5	7,0	5,2	5,2	5,1	5,1
$\eta_н$, %	85,5	92,5	93,5	93,7	95,1	96,3	97	97,5	87,5	90,5	91,5	93,0	95,6	96,5	97,2	97,0
J_d , кг·м^2	0,058	3,4	7,3	10	12	13	24	56	0,18	0,45	1,26	4,5	12,5	14	18	40

Исходные данные моментов сопротивления механизмов

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$m_{тр}$, о.е.	0,5	0,4	0,5	0,4	0,45	0,3	0,4	0,3	0,5	0,45	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4
$K_з$, о.е.	0,95	0,92	0,9	0,9	0,98	0,85	0,9	0,8	0,95	0,92	0,95	0,95	0,98	0,85	0,9	0,9
γ , о.е.	2	2	3	2	3	3	2	3	2	2	3	2	3	3	2	2
J_M , кг·м^2	0,1	4,5	8,0	10	13	15	25	60	0,25	0,65	2	5,3	13,5	16	20	44

Для начала необходимо рассчитать параметры

Расчет параметров

1) Номинальный ток двигателя:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H/100} = \frac{7{,}5}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}855} = 16{,}454 \text{ А}.$$

2) Полное сопротивление двигателя в номинальном режиме:

$$z_{d\text{н}} = \frac{U_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot I_H} = \frac{0{,}38 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 16{,}454} = 13{,}334 \text{ Ом}.$$

3) Полное сопротивление двигателя при неподвижном роторе:

$$z_{d1} = \frac{U_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot \text{к}_\Pi \cdot I_H} = \frac{0{,}38 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 16{,}454} = 2{,}222 \text{ Ом}.$$

4) Критическое скольжение:

$$s_{KP} = s_H/100 \cdot \left(b_{max} + \sqrt{b_{max}^2 - 1}\right) = 0{,}032 \cdot \left(2{,}5 + \sqrt{2{,}5^2 - 1}\right) = 15{,}332.$$

5) Ток намагничивающей цепи:

$$I_\mu \approx I_H \cdot \left(\left(\sqrt{1 - \cos\varphi_H{}^2}\right) - \frac{s_H}{s_{KP}} \cdot \cos\varphi_H\right) = 16{,}454 \cdot \left(\left(\sqrt{1 - 0{,}81^2}\right) - \frac{3{,}2}{0{,}153} \cdot 0{,}81\right) = 6{,}867 \text{ А}.$$

6) Полное сопротивление двигателя при холостом ходе:

$$z_{d0} \approx x_\mu = \frac{U_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot I_\mu} = \frac{0{,}38 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6{,}867} = 31{,}947 \text{ Ом}.$$

7) Сумма номинальной мощности и механических потерь:

$$\Delta P_{MEX} = 0{,}01 \cdot P_H = 0{,}01 \cdot 7{,}5 = 0{,}075 \text{ кВт} = 0{,}075 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

$$\mathrm{P}_{\sum} = P_H + \Delta P_{MEX} = 7{,}5 \cdot 10^3 + 0{,}075 \cdot 10^3 = 7{,}575 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

8) Активное сопротивление статора:

$c_1 = 1{,}03$ – рекомендовано при выполнении ЛР.

$$r_1 = \frac{(U_H \cdot 1000)^2 \cdot (1 - s_H/100)}{2 \cdot c_1 \cdot (\mathrm{P}_{\sum}) \cdot b_{max} \cdot \left(1 + \dfrac{c_1}{s_H/100 \cdot \left(b_{max} + \sqrt{b_{max}^2 - 1}\right)}\right)} =$$

$$= \frac{(0{,}38 \cdot 1000)^2 \cdot (1 - 0{,}032)}{2 \cdot 1{,}03 \cdot (7{,}575 \cdot 10^3) \cdot 2{,}5 \cdot \left(1 + \dfrac{1{,}03}{0{,}032 \cdot \left(2{,}5 + \sqrt{2{,}5^2 - 1}\right)}\right)} = 0{,}464 \text{ Ом.}$$

9) Приведенное активное сопротивление фазы ротора при s=1:

$$r_{21}^{/} = \frac{\mathrm{P}_{\sum} \cdot b_{\text{п}}}{3 \cdot (1 - s_H/100) \cdot k_{\text{п}}^2 \cdot I_H^2} = \frac{(7{,}575 \cdot 10^3) \cdot 2}{3 \cdot (1 - 0{,}032) \cdot 6^2 \cdot 16{,}454^2} = 0{,}535 \text{ Ом.}$$

10) Суммарное индуктивное сопротивление рассеяния двигателя для s=1:

$$x_{s1} = \sqrt{z_{d1}^2 - (r_1 + r'_{21})^2} = \sqrt{2{,}222^2 - (0{,}464 + 0{,}535)^2} = 1{,}985 \text{ Ом.}$$

11) Суммарное индуктивное сопротивление рассеяния двигателя s=0;

$$x_{s0} = \frac{(U_H \cdot 1000)^2 \cdot (1 - s_H/100)}{2 \cdot c_1 \cdot \mathrm{P}_\Sigma \cdot b_m} - r_1 = \frac{(0{,}38 \cdot 1000)^2 \cdot (1 - 0{,}032)}{2 \cdot 1{,}03 \cdot (7{,}575 \cdot 10^3) \cdot 2{,}5} - 0{,}464 = 3{,}119 \text{ Ом.}$$

12) Индуктивное сопротивление статора:

$$x_1 = \frac{(4{,}47 \cdot x_{s1} - x_{s0})}{3{,}47} = \frac{(4{,}47 \cdot 1{,}985 - 3{,}12)}{3{,}47} = 1{,}658 \text{ Ом.}$$

13) Приведенное активное сопротивление фазы ротора при s_H:

$$r'_{2H} = r_1 + (r'_{21} - r_1) \cdot \sqrt{s_H/100} = 0{,}464 + (0{,}535 - 0{,}464) \cdot \sqrt{0{,}032} = 0{,}477 \text{ Ом.}$$

14) Приведенное индуктивное сопротивление рассеяния ротора при s=1:

$$x'_{21} = x_{s1} - x_1 = 1{,}985 - 1{,}658 = 0{,}327 \text{ Ом.}$$

15) Приведенное индуктивное сопротивление рассеяния ротора при s_H:

$$x'_{2H} = 4{,}47 \cdot x'_{21} = 4{,}47 \cdot 0{,}327 = 1{,}461 \text{ Ом.}$$

ЗАКОНЧИВ РАСЧЕТЫ ПОДОЙДИТЕ СВЕРИТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ

Переходим к выполнению лабораторной работы.

Для этого на рабочем столе ищем папку УУН, а в ней папку УУН лабы дельфи, открываем папку и запускаем Lab3

ОЧЕНЬ ВНИМАТЕЛЬНО ЧИТАЕМ ЧТО НАПИСАНО НА ЭКРАНЕ!

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПИТАНИИ ИХ ОТ ШИН БЕСКОНЕЧНОЙ МОЩНОСТИ

Программа разработана на кафедре

"Электроснабжение промышленных предприятий"

Омского государственного технического университета

Выход

Далее

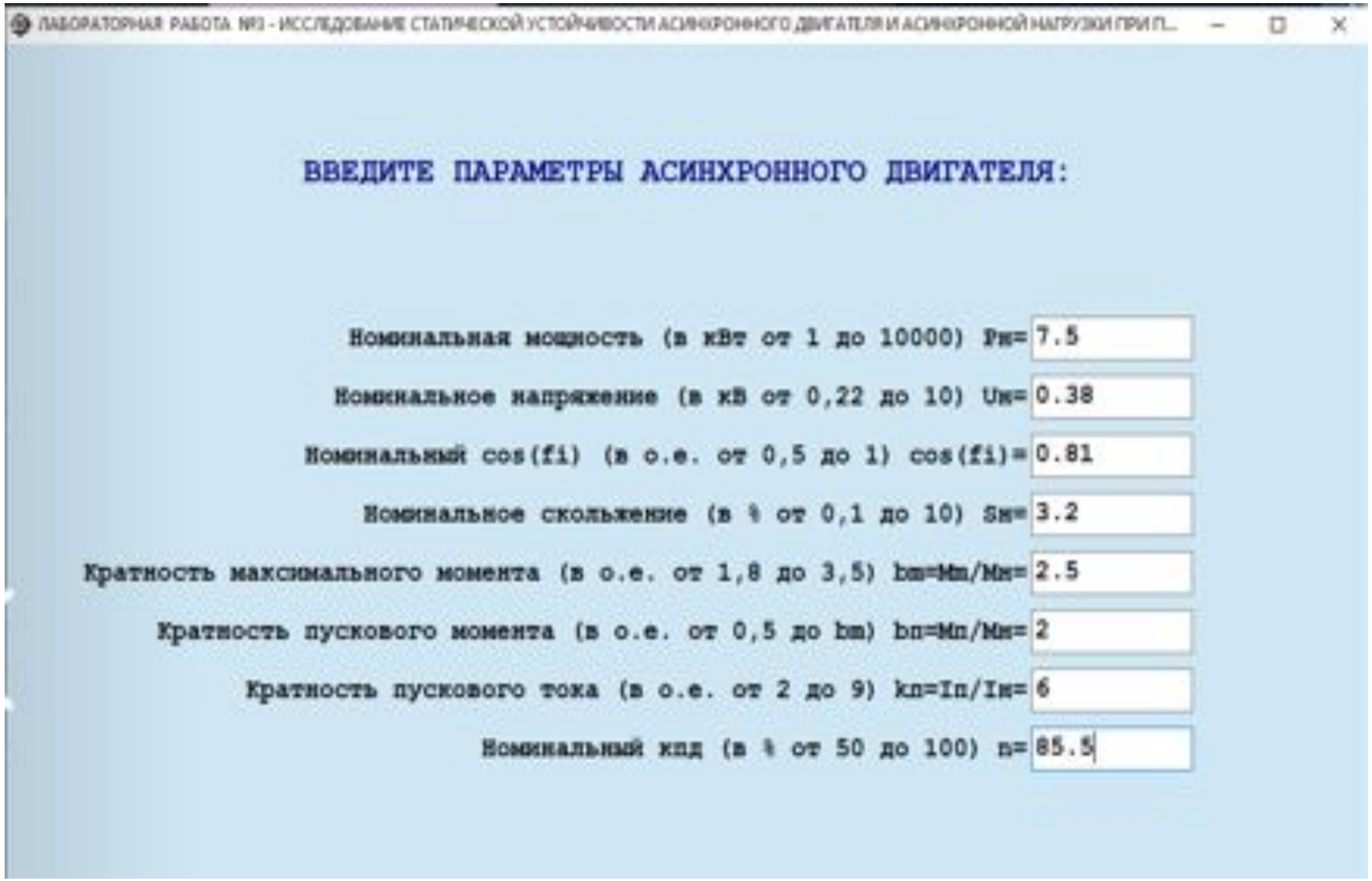
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

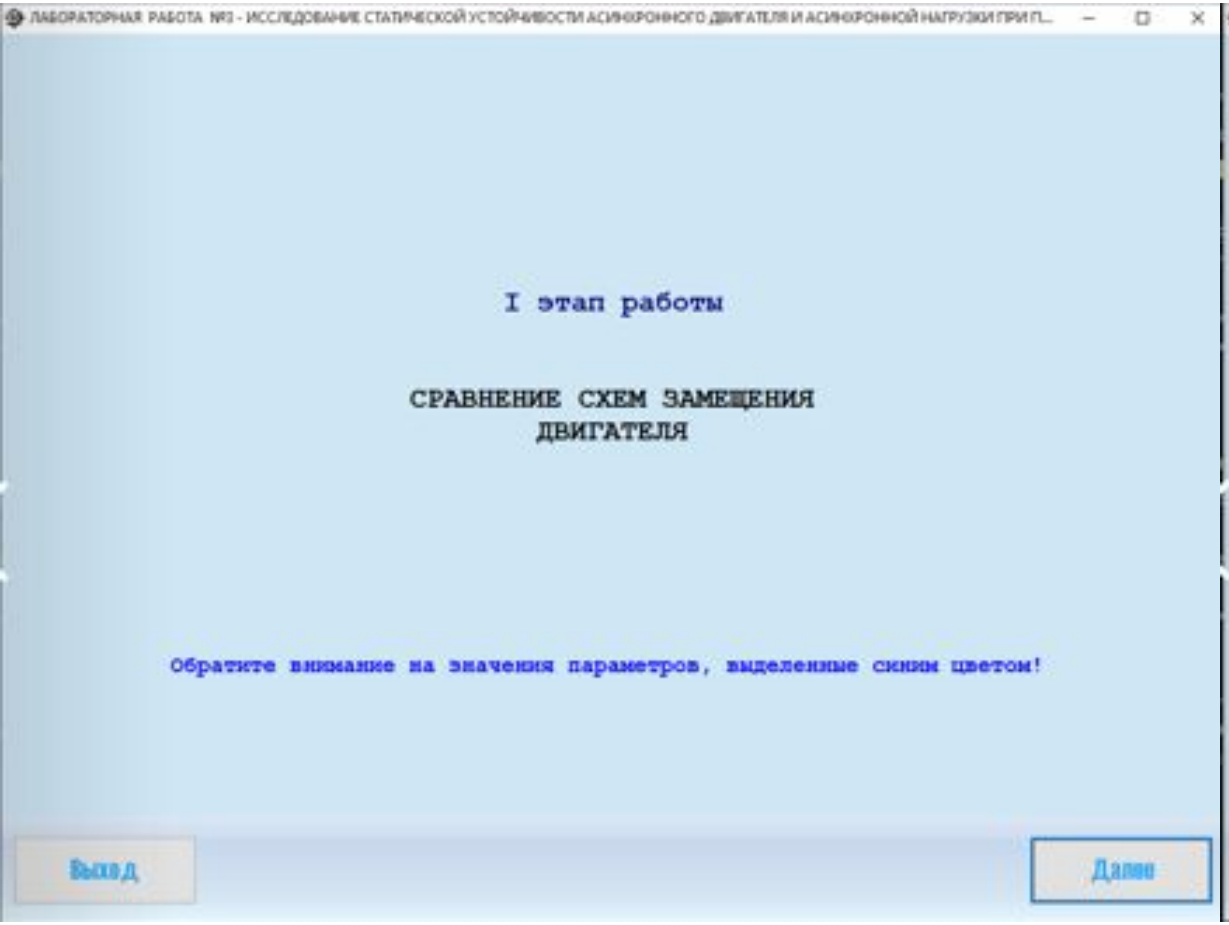
Номер варианта (от 1 до 25) n= 1

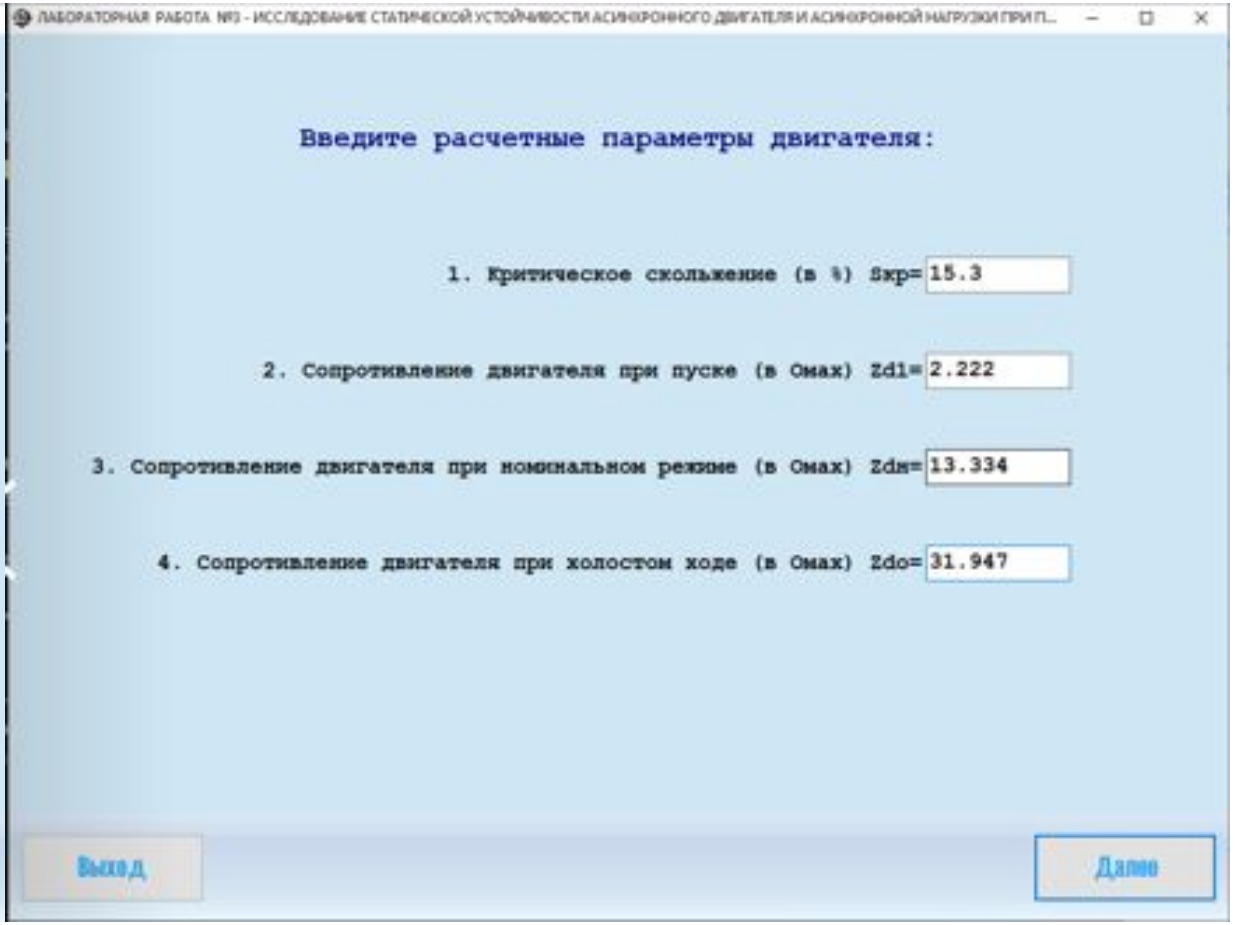
Выход

Ввод параметров осуществляем из исходных данных

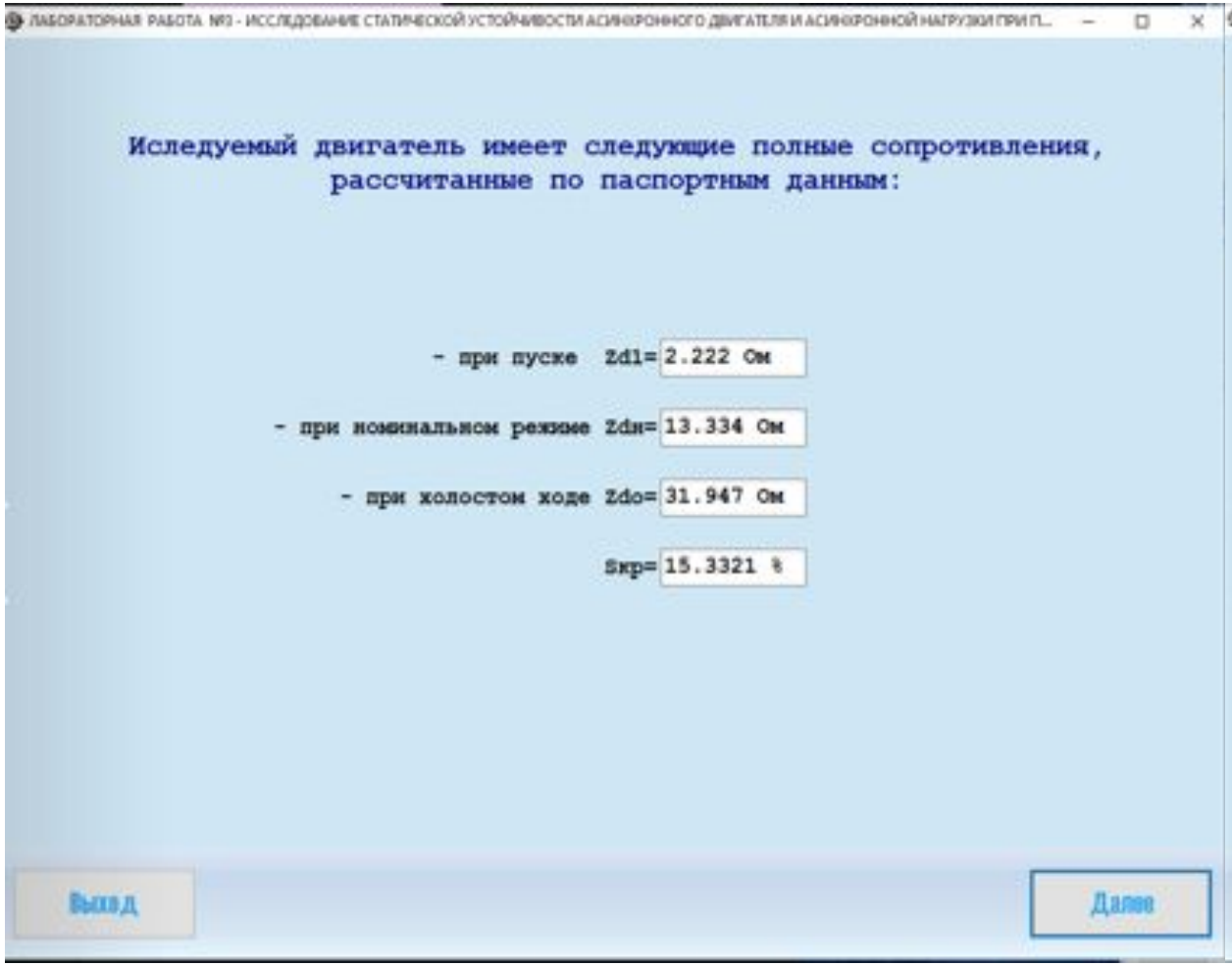


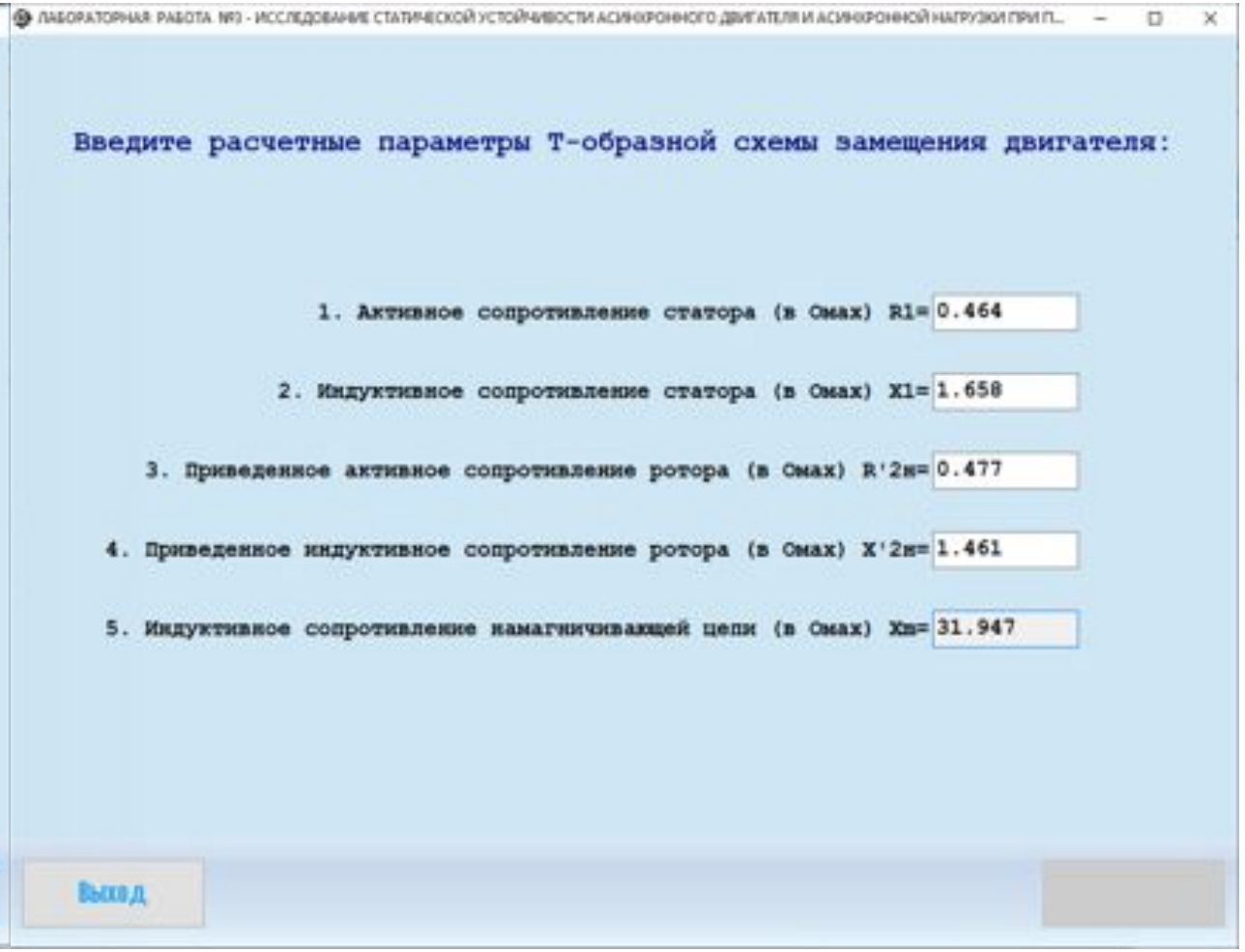
Берем данные из предварительных расчетов



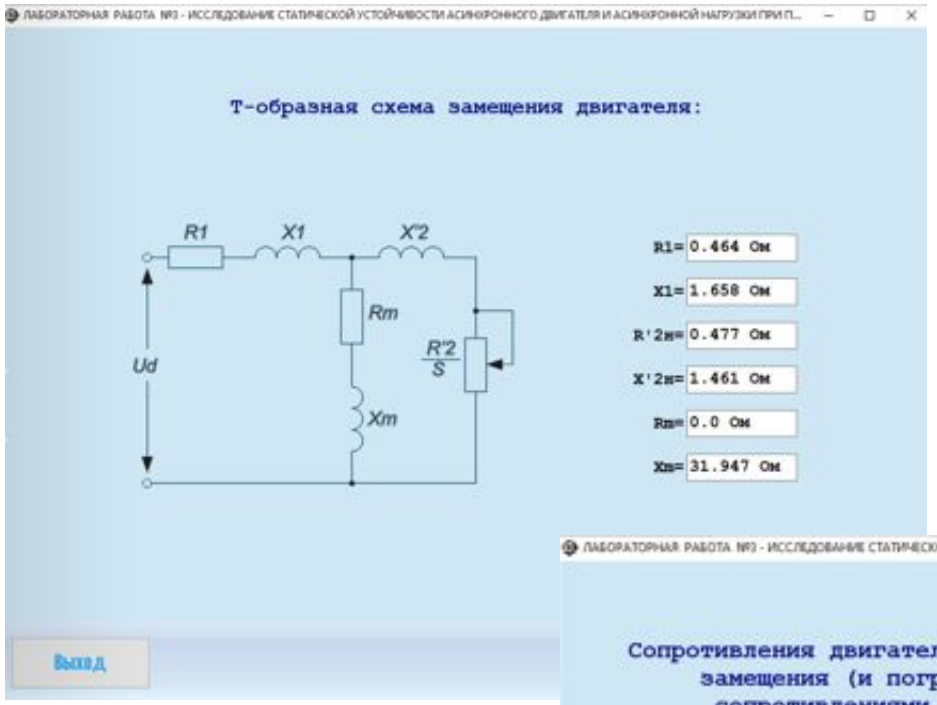


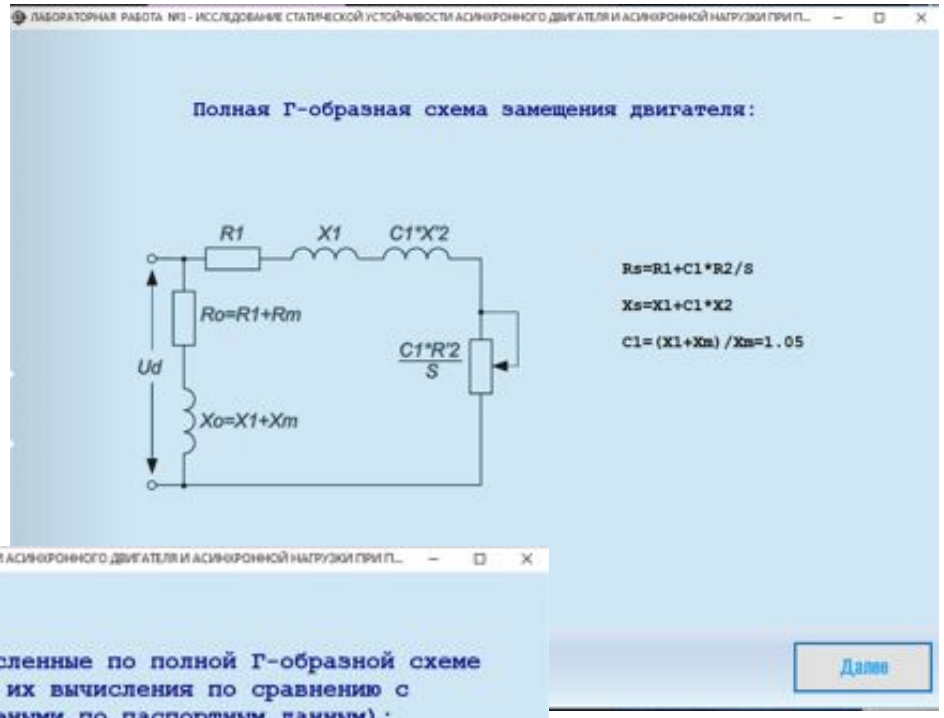
Берем данные из предварительных расчетов

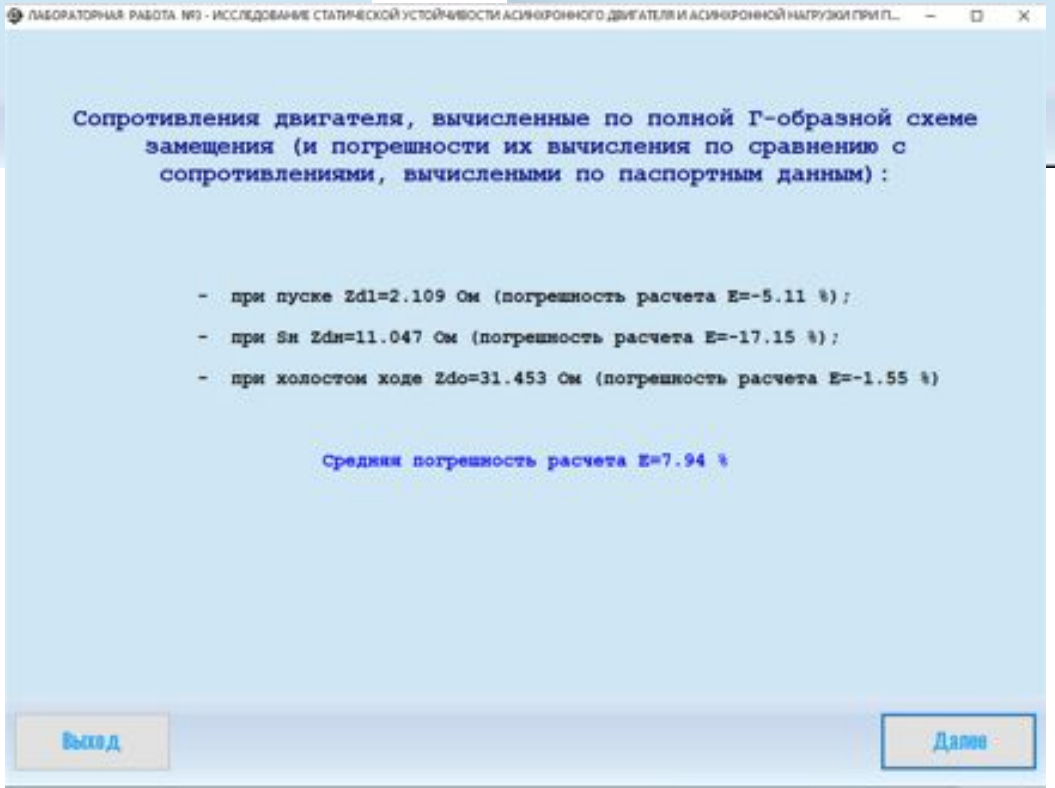




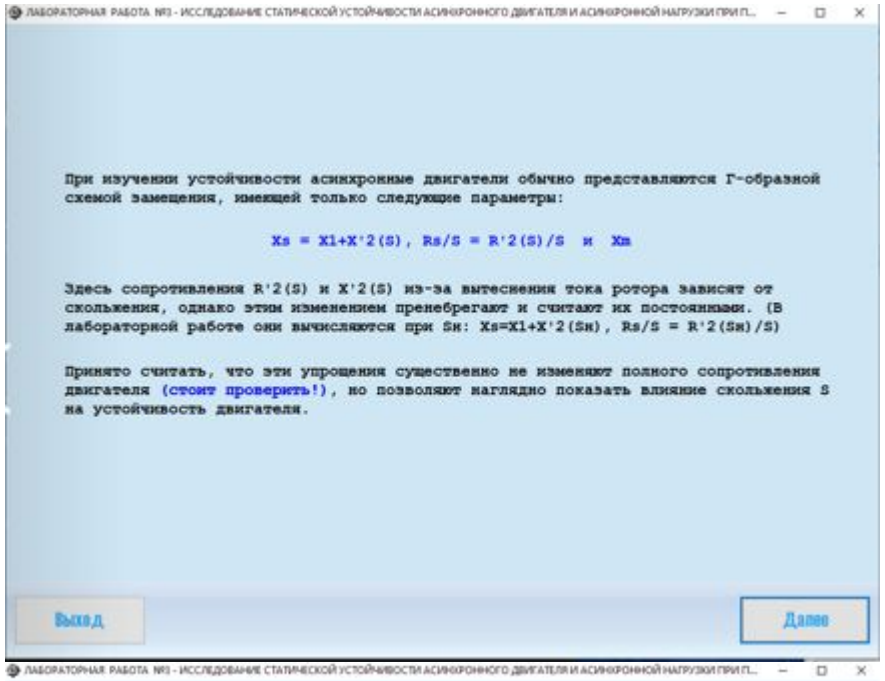
Смотрим на схемы и сопротивления и скриним их, ОНИ НУЖНЫ В ОТЧЕТ

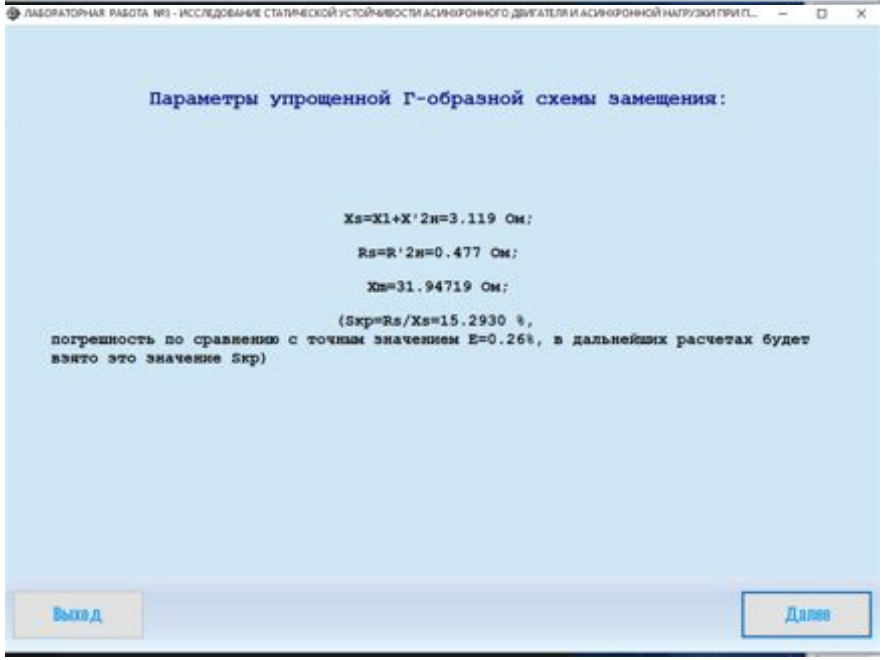


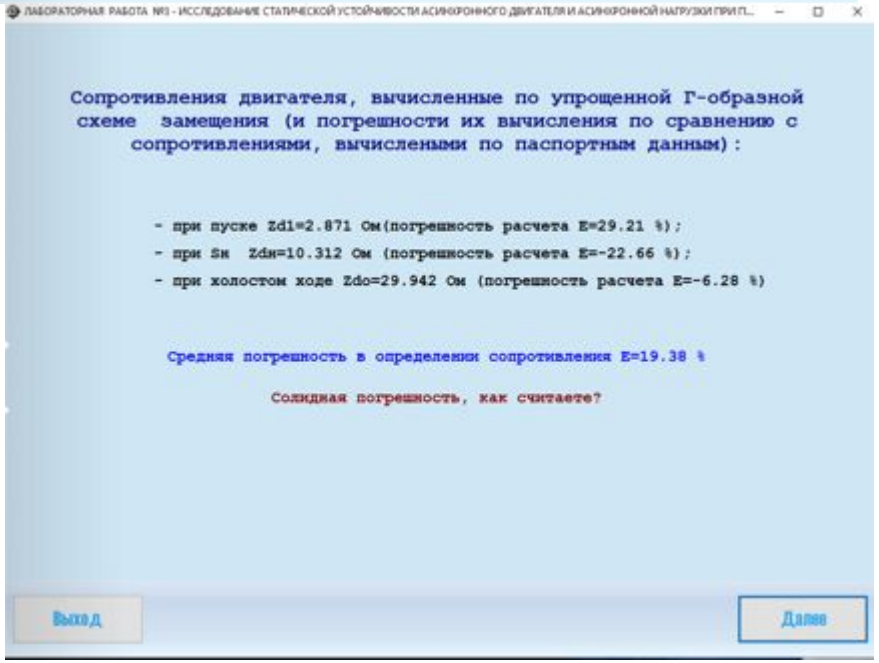




Смотрим, читаем, последний скрин в отчет



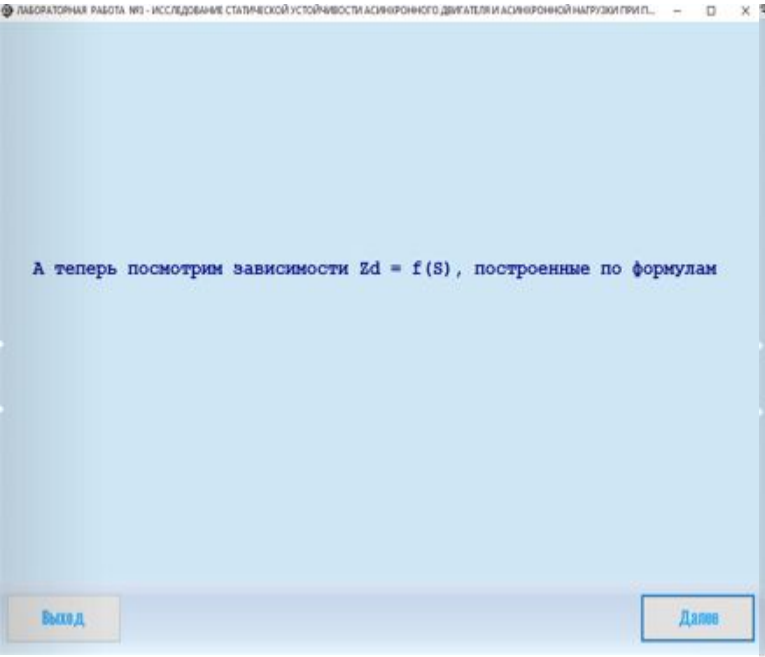


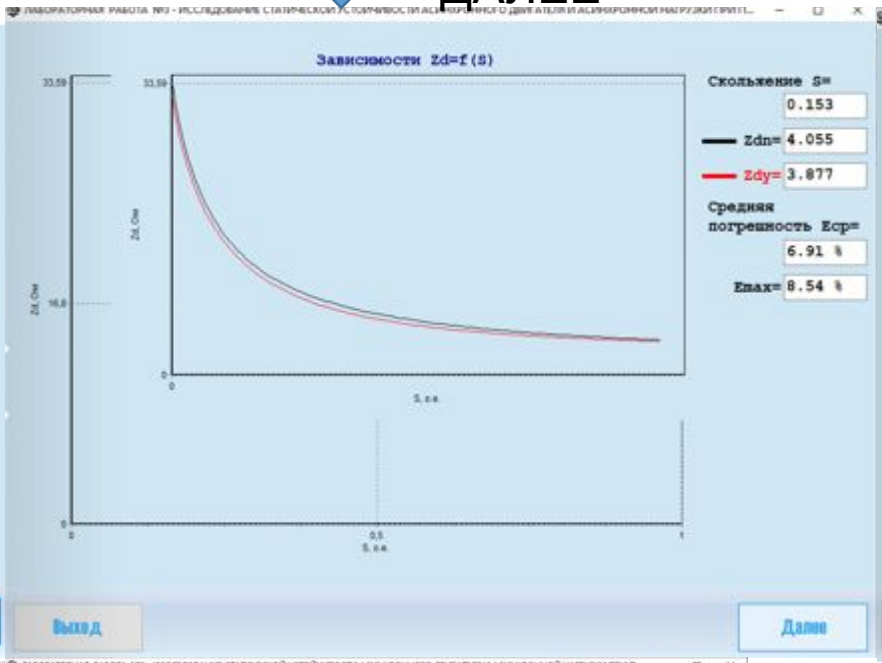


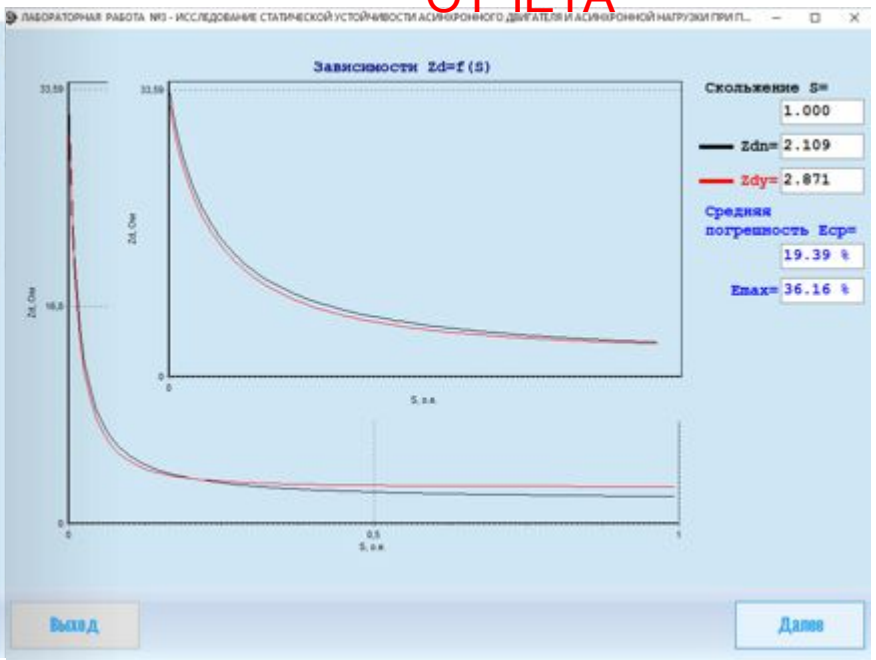
Нужно в отчет

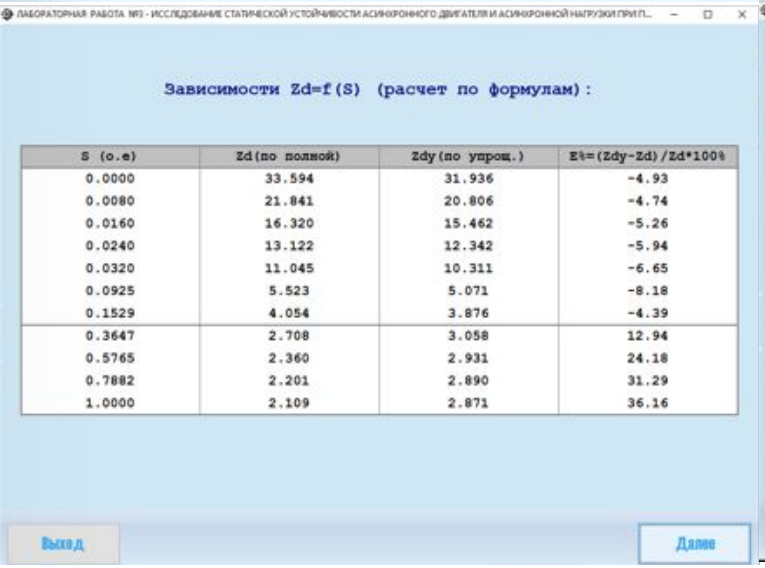
Жмем ДАЛЕЕ

СКРИНИМ ДЛЯ ОТЧЕТА

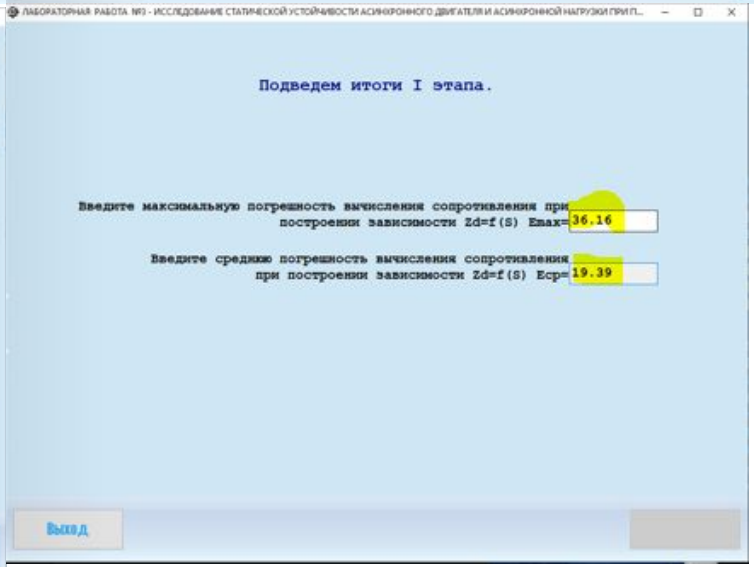






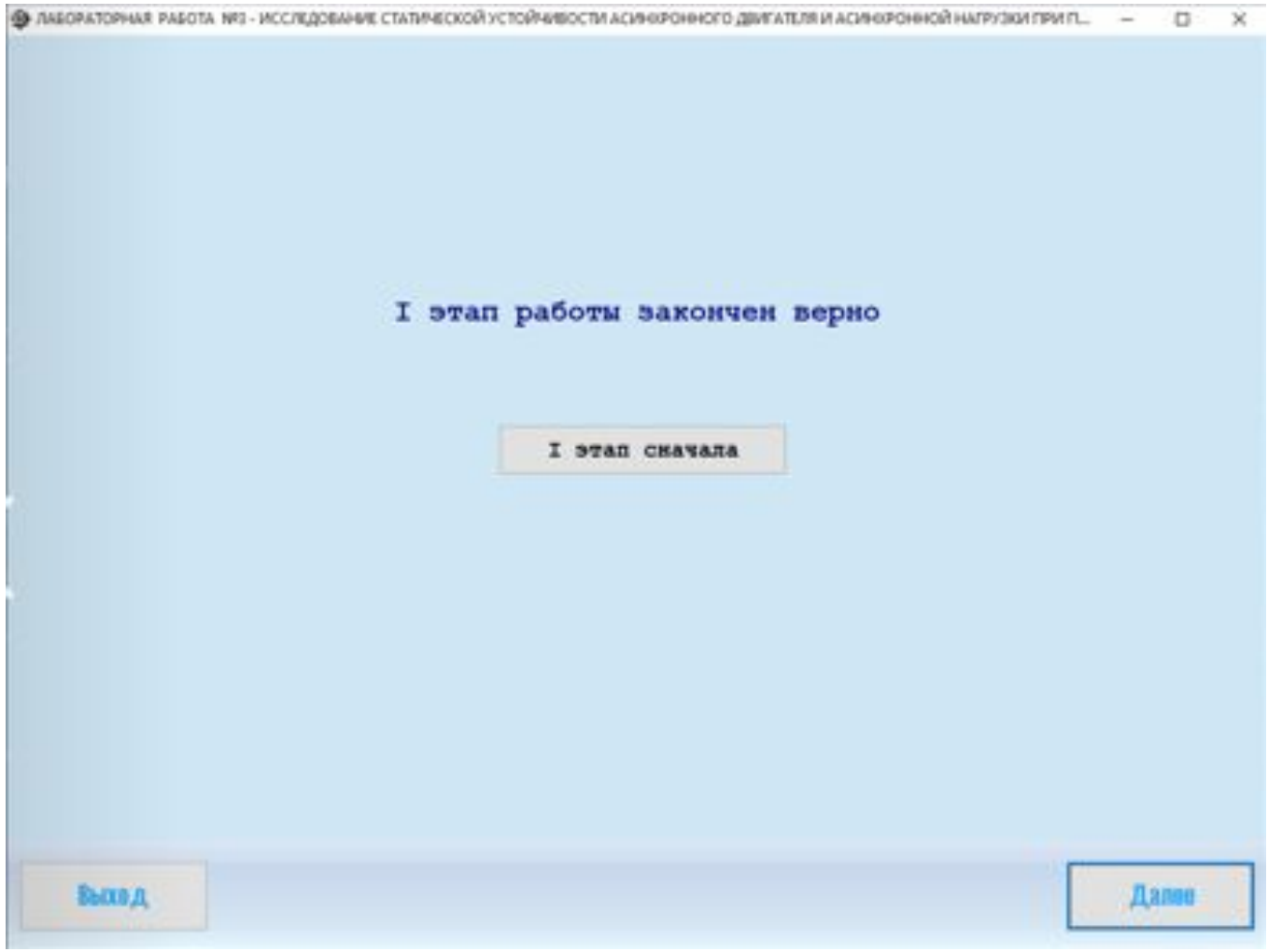


S (о.е)	Zd(по полной)	Zdy(по упрощ.)	E%=(Zdy-Zd)/Zd*100%
0.0000	33.594	31.936	-4.93
0.0080	21.841	20.806	-4.74
0.0160	16.320	15.462	-5.26
0.0240	13.122	12.342	-5.94
0.0320	11.045	10.311	-6.65
0.0925	5.523	5.071	-8.18
0.1529	4.054	3.876	-4.39
0.3647	2.708	3.058	12.94
0.5765	2.360	2.931	24.18
0.7882	2.201	2.890	31.29
1.0000	2.109	2.871	36.16

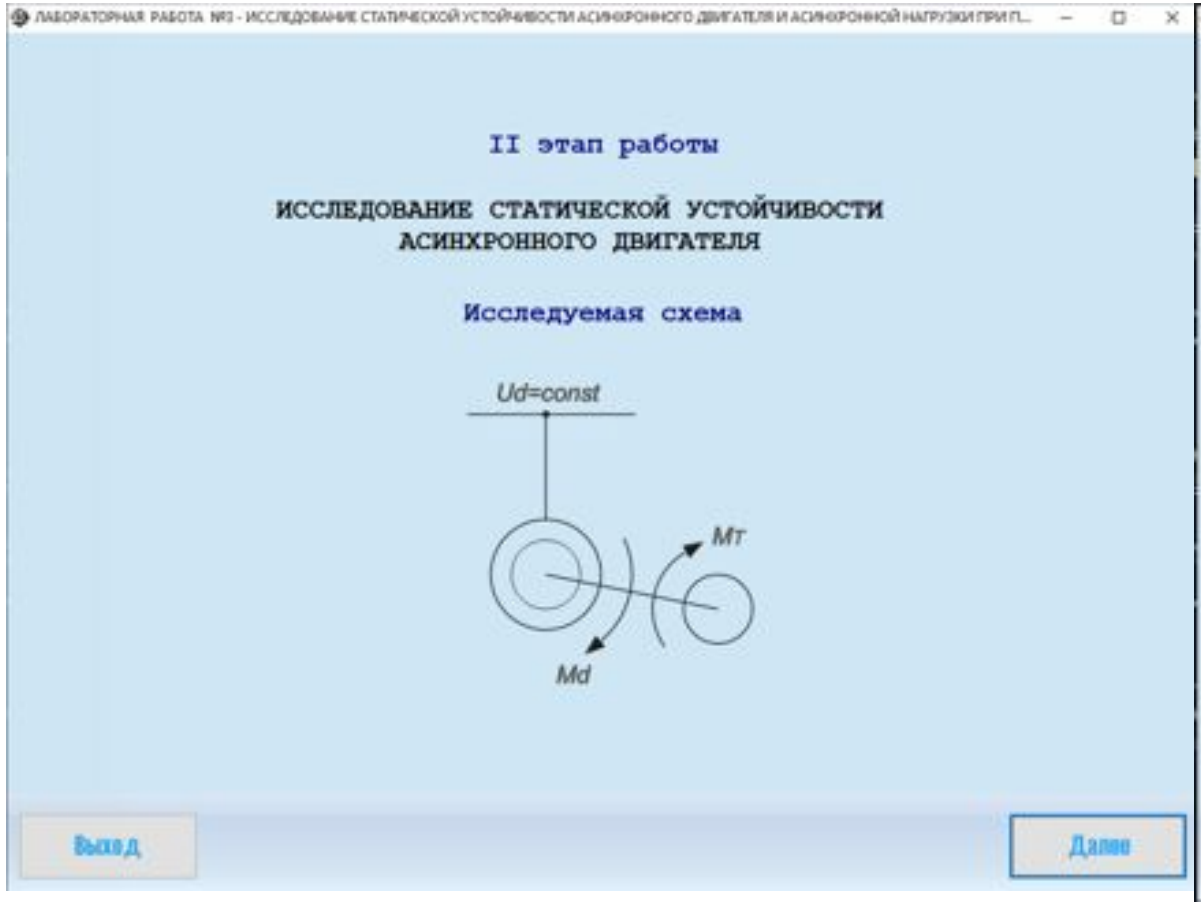


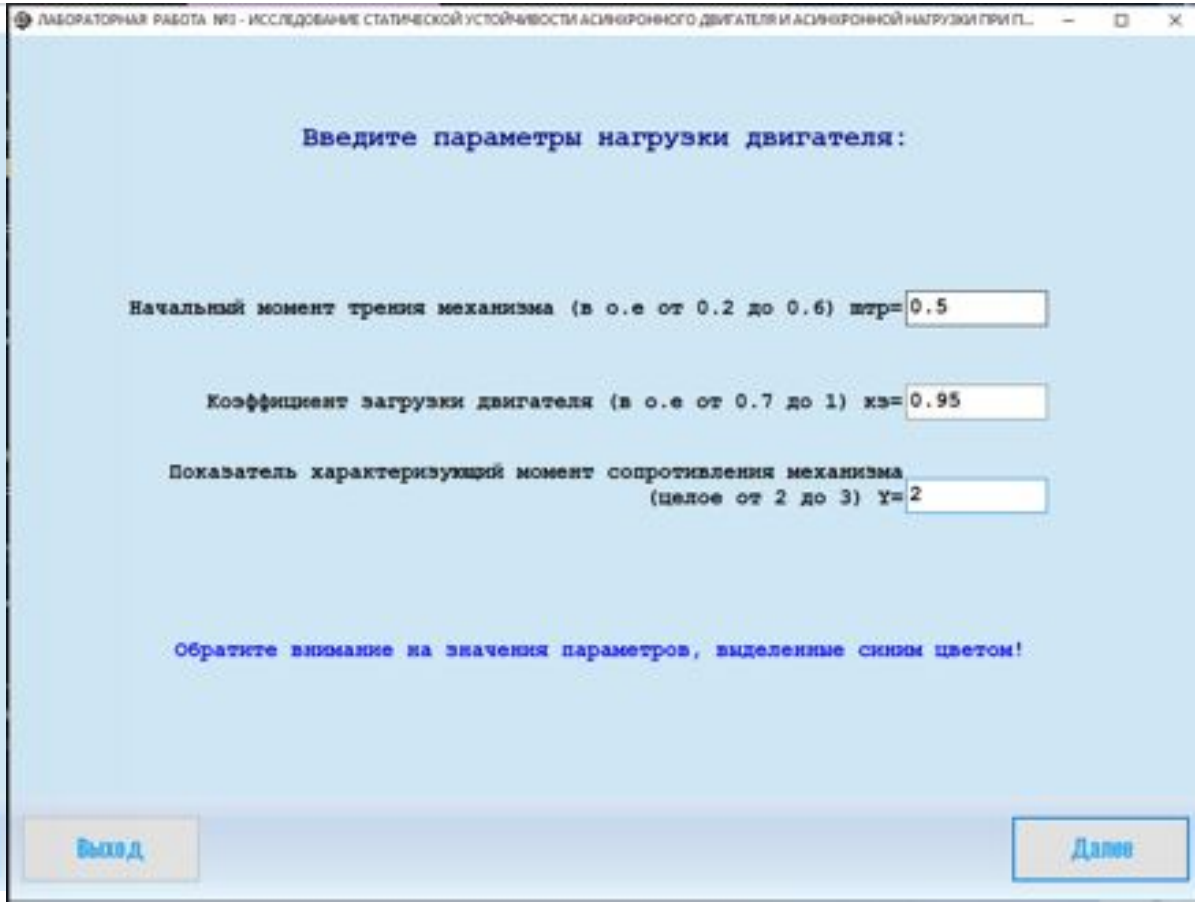
Заполняем согласно графику

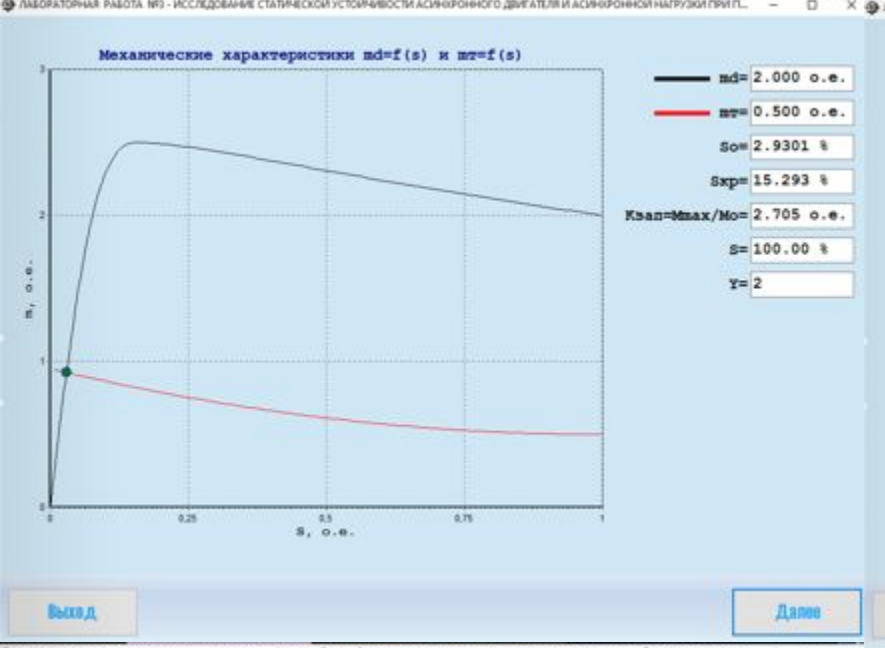
Если этап закончен ВЕРНО, нажимаем ДАЛЕЕ, если нет, начинаем первый этап сначала



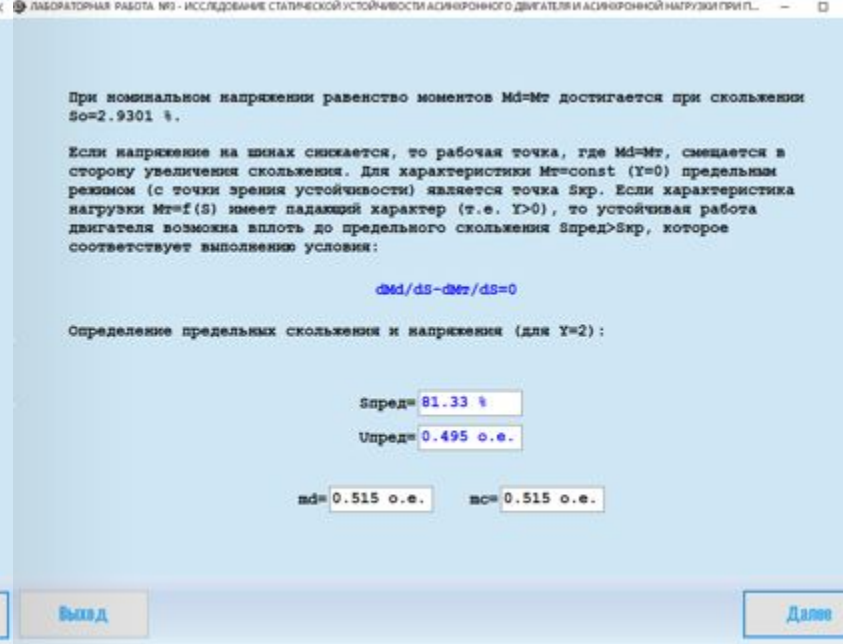
Параметры нагрузки двигателя смотрим в исходных данных, СО ВТОРОГО ЭТАПА СКРИНИМ КАЖДЫЙ СЛАЙД

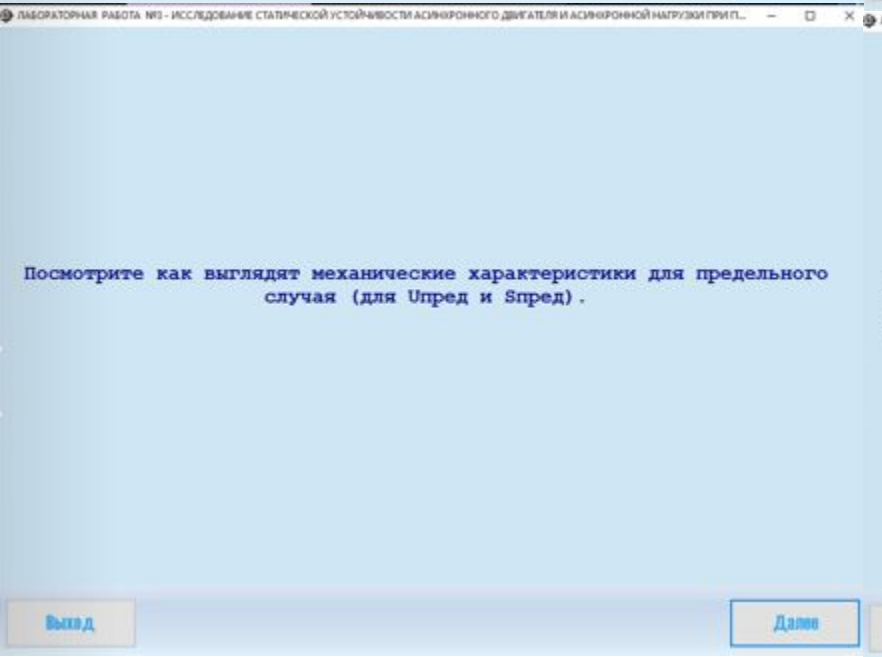


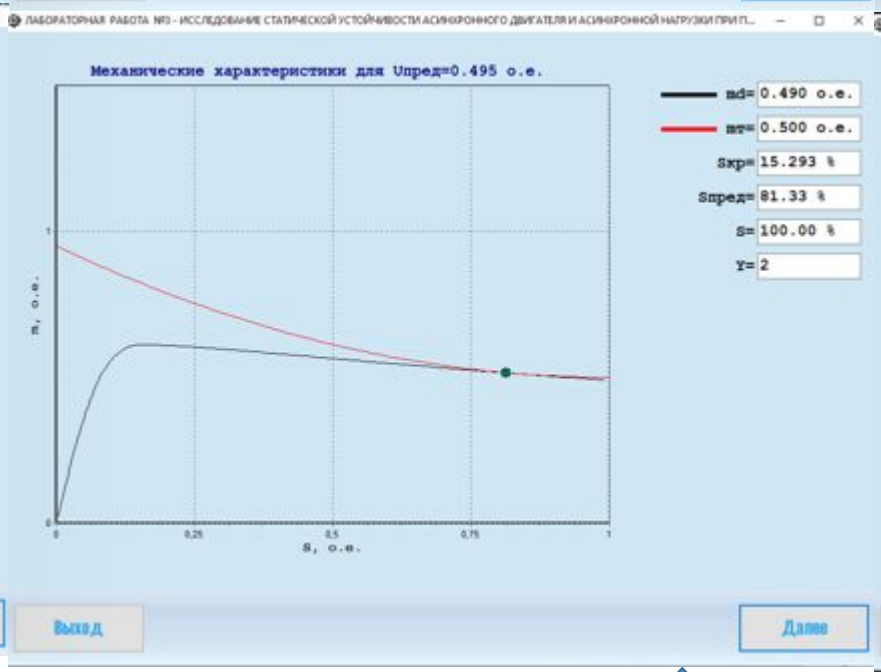




S(%)	md(о.е.)	mr(о.е.)
0.000	0.000	0.950
0.733	0.239	0.943
1.465	0.475	0.937
2.198	0.704	0.930
2.930	0.924	0.924
6.021	1.704	0.897
9.112	2.199	0.872
12.202	2.438	0.847
15.293	2.500	0.823
36.470	2.397	0.682
57.646	2.255	0.581
78.823	2.122	0.520
100.000	2.000	0.500



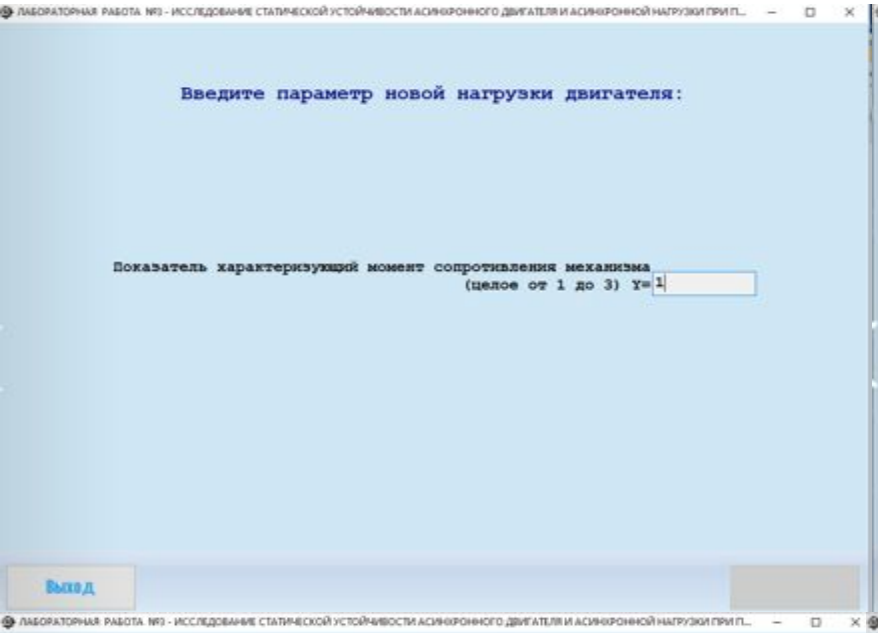


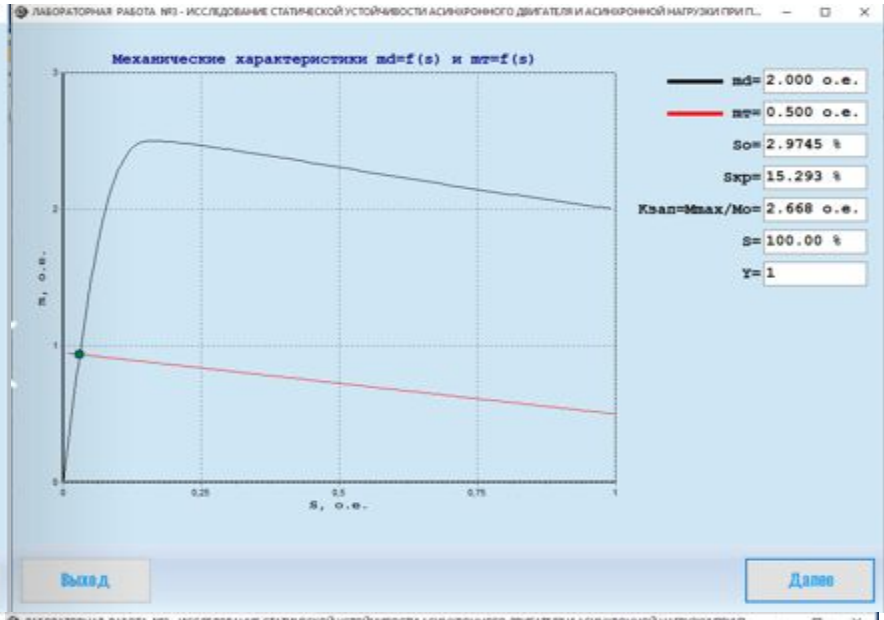


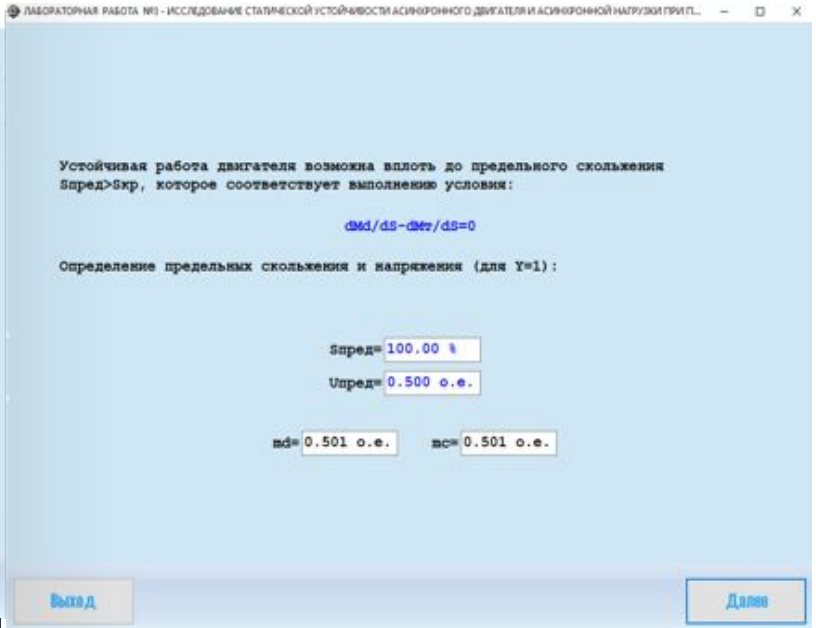
S(%)	md(о.е.)	mr(о.е.)
0.001	0.000	0.950
3.060	0.235	0.923
6.118	0.422	0.897
9.177	0.540	0.871
12.235	0.597	0.847
15.293	0.612	0.823
28.500	0.599	0.730
41.708	0.578	0.653
54.915	0.557	0.591
68.123	0.536	0.546
81.330	0.516	0.516
87.553	0.507	0.507
93.777	0.498	0.502
100.000	0.490	0.500

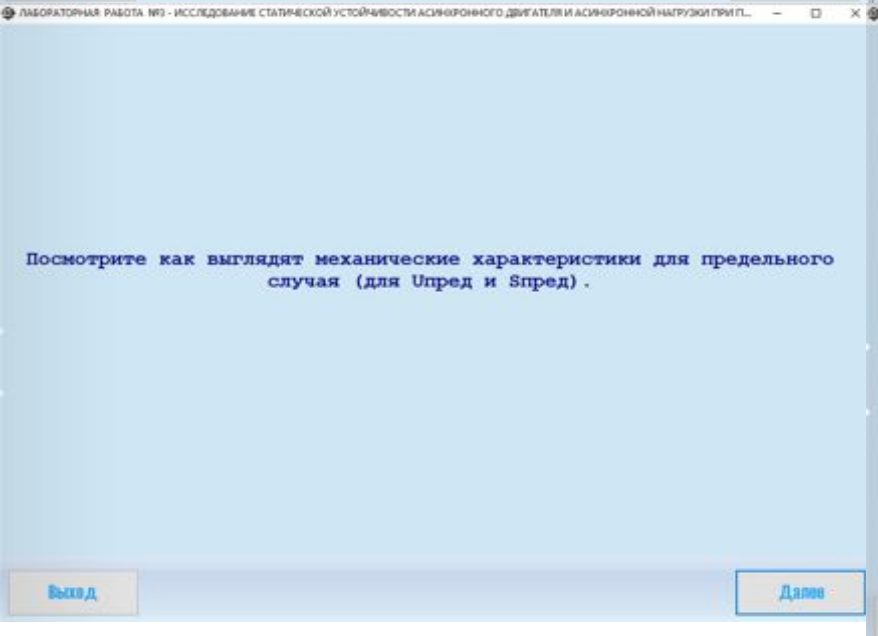
Заполняем по графику столбец таблицы 2 с соответствующей гаммой

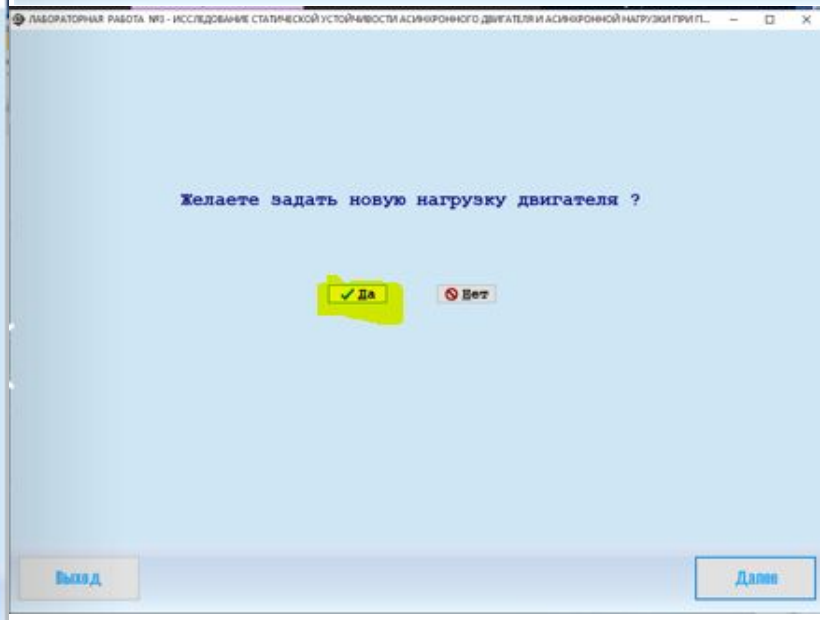
Для заполнения таблицы 2 снимаем эти характеристики для y=1,2,3. y=2 дана по варианту и её характеристики отстроены ранее, остались 1 и 3. Смотрите на свои данные и вводите параметры.





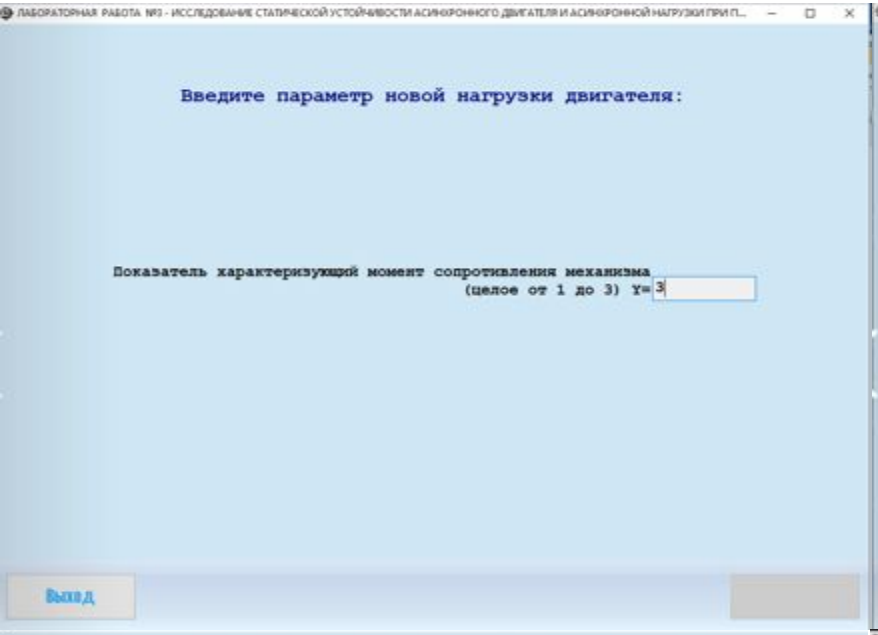


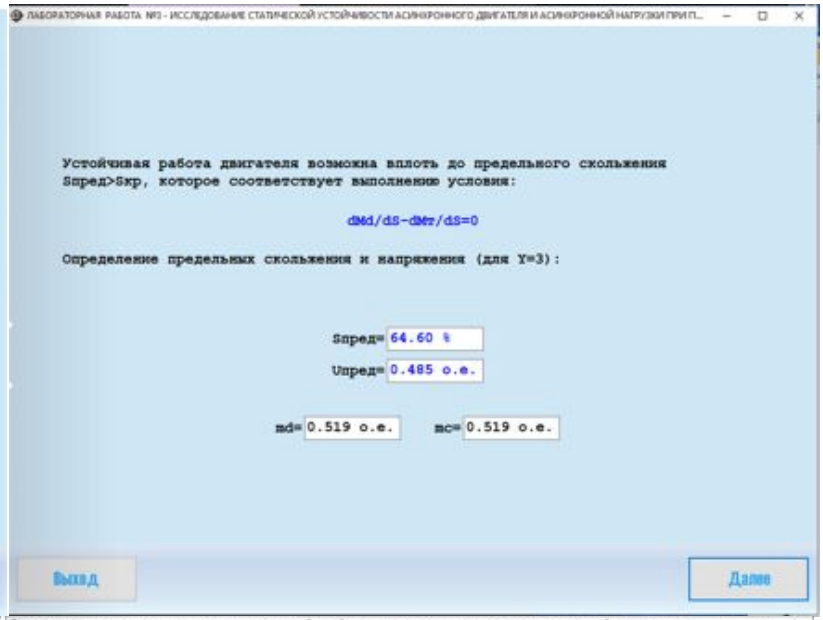


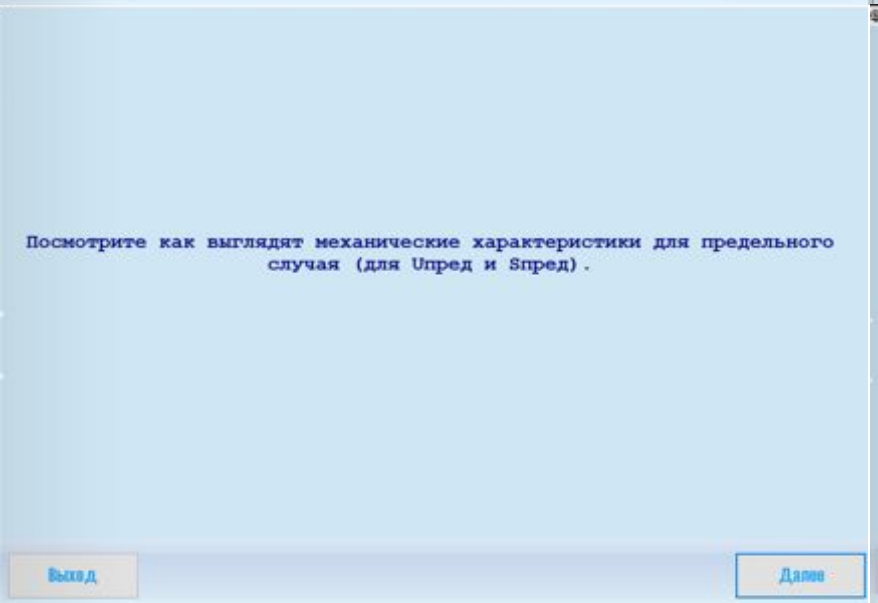


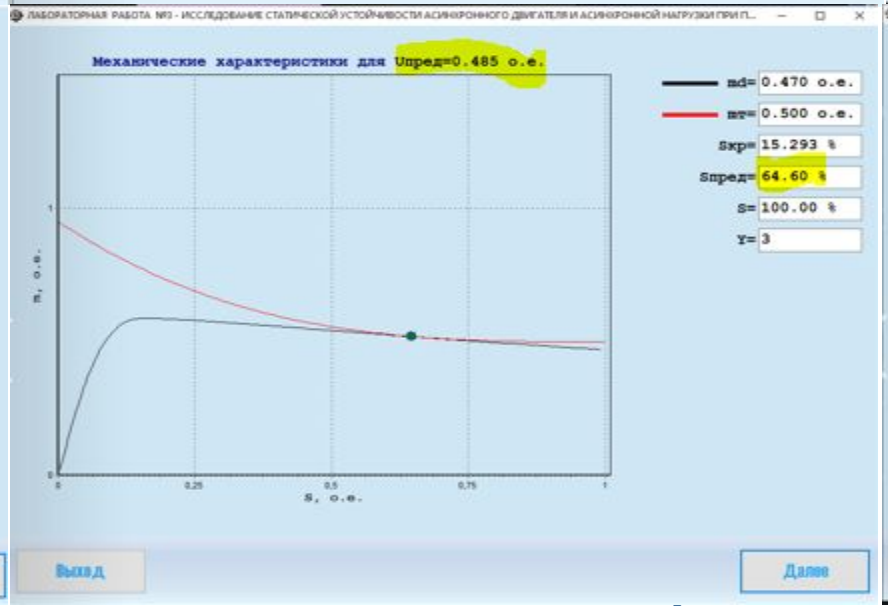
Заполняем по графику столбец таблицы 2 с соответствующеи гаммои

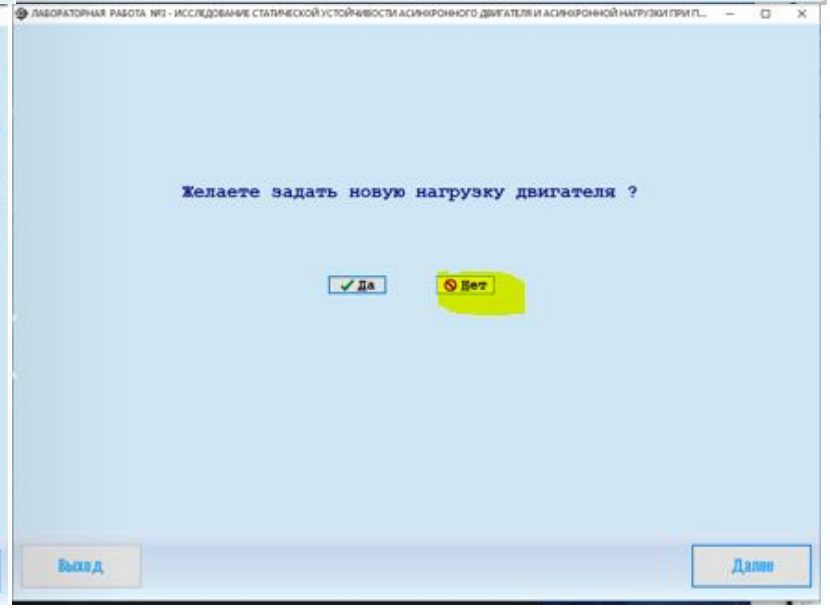
Для заполнения таблицы 2 снимаем эти характеристики для y=1,2,3. y=2 дана по варианту и её характеристики отстроены ранее, остались 1 и 3. Смотрите на свои данные и вводите параметры.





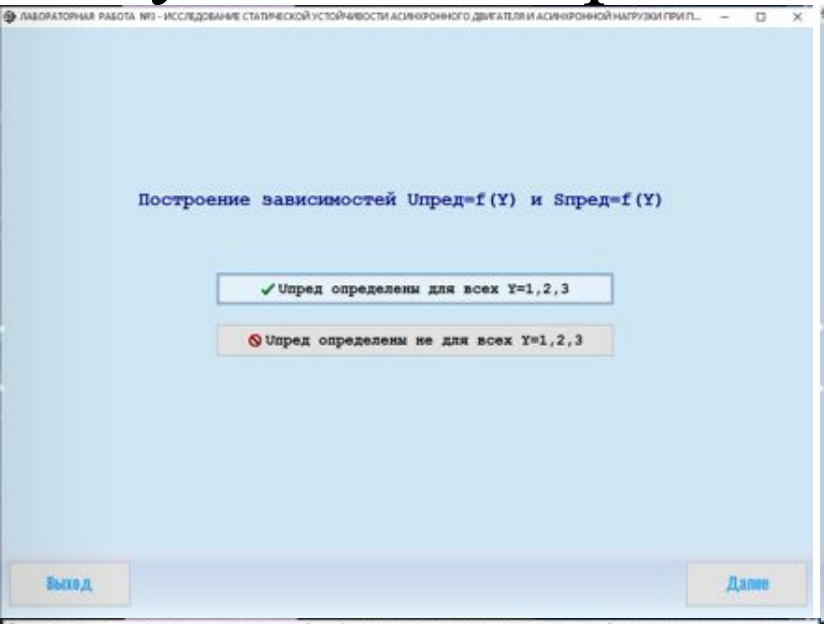


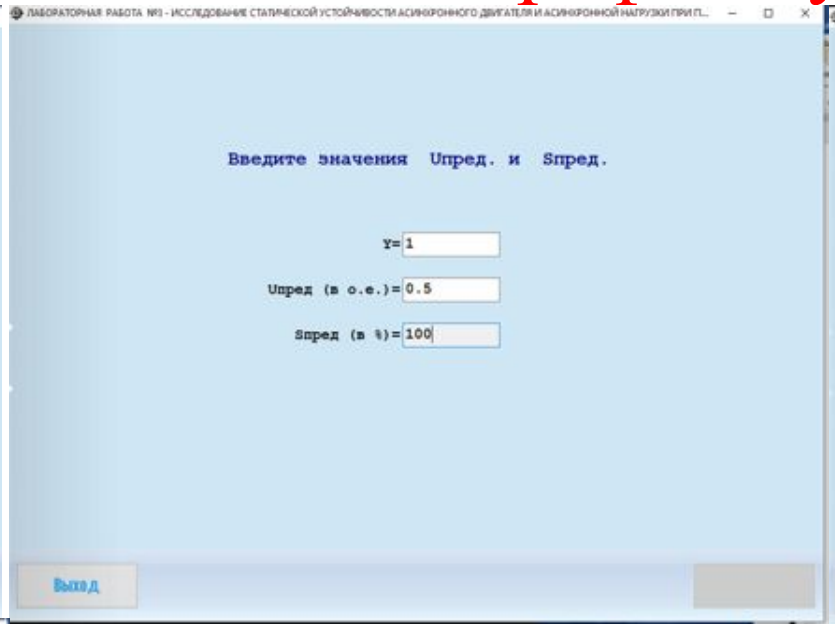


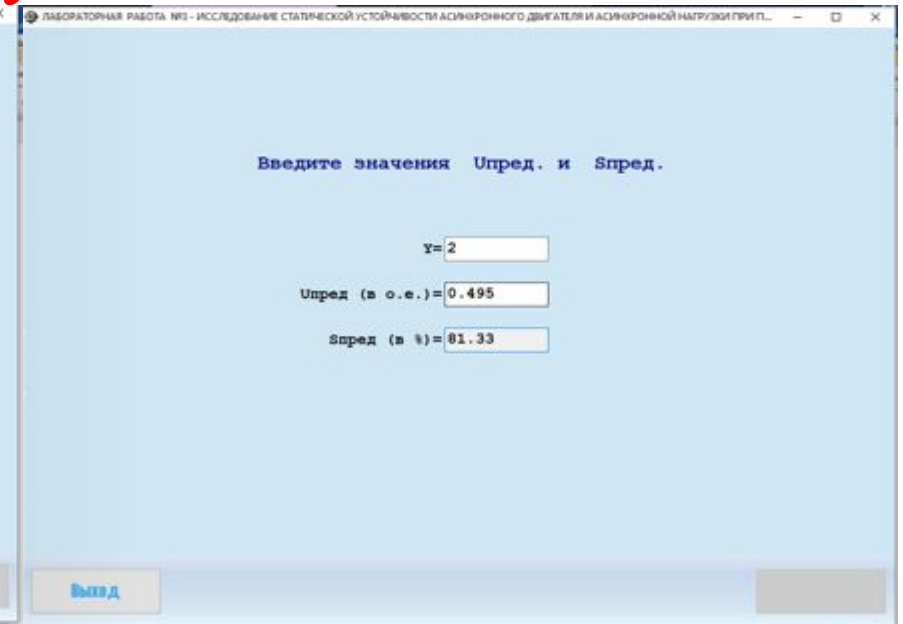


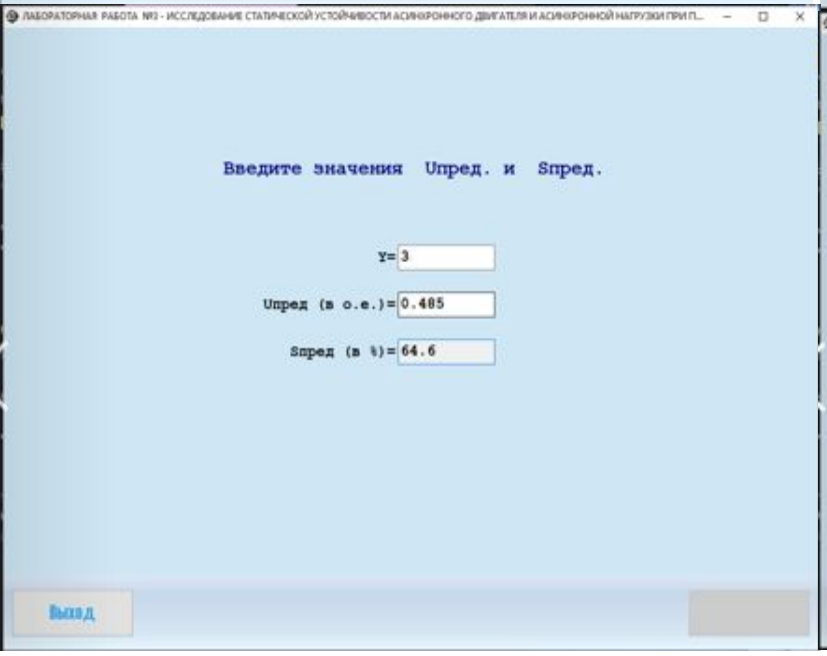
Заполняем по графику столбец таблицы 2 с соответствующей гаммой

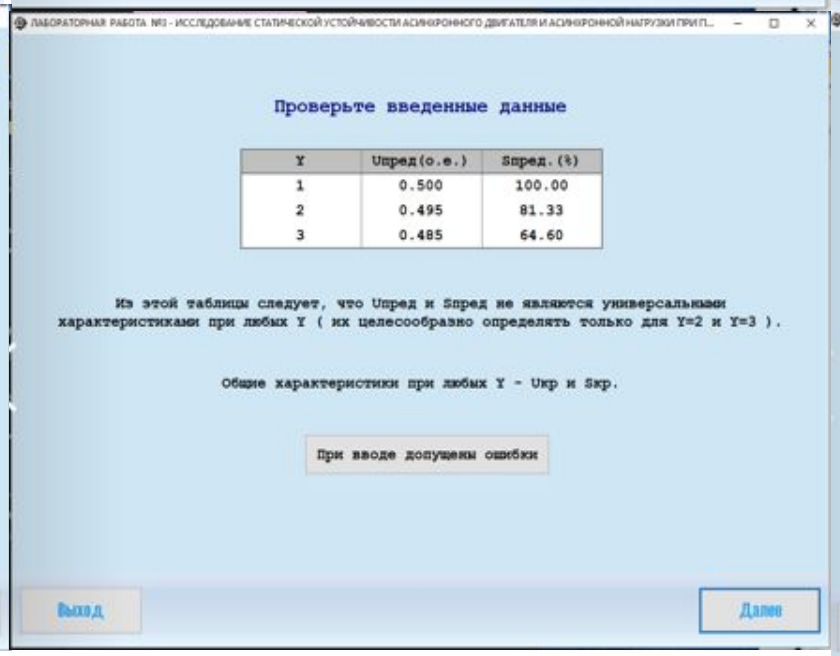
Построение зависимостей. Введите значения из таблицы 2. Не забудьте что скриним все слайды. График нужен в отчет

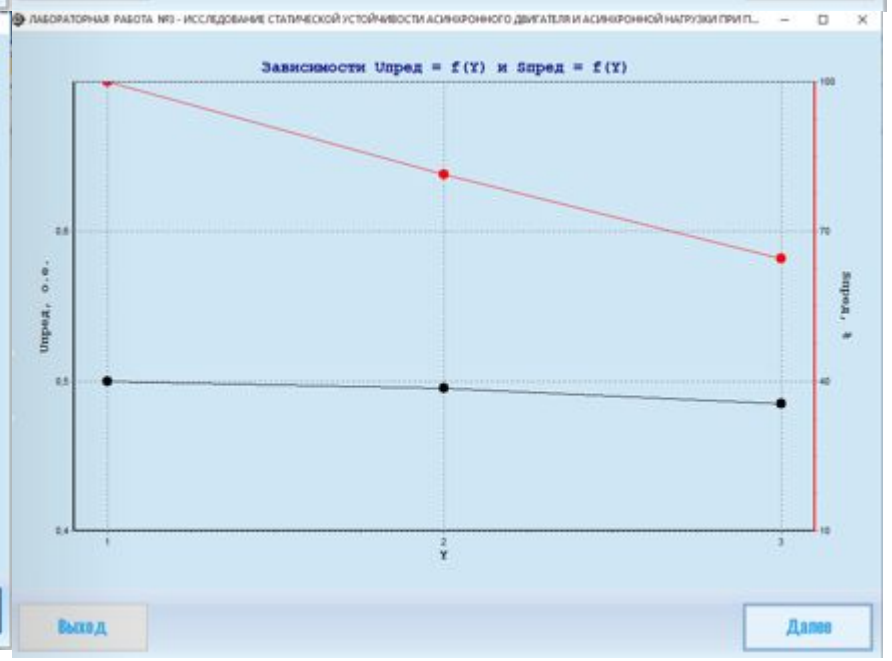




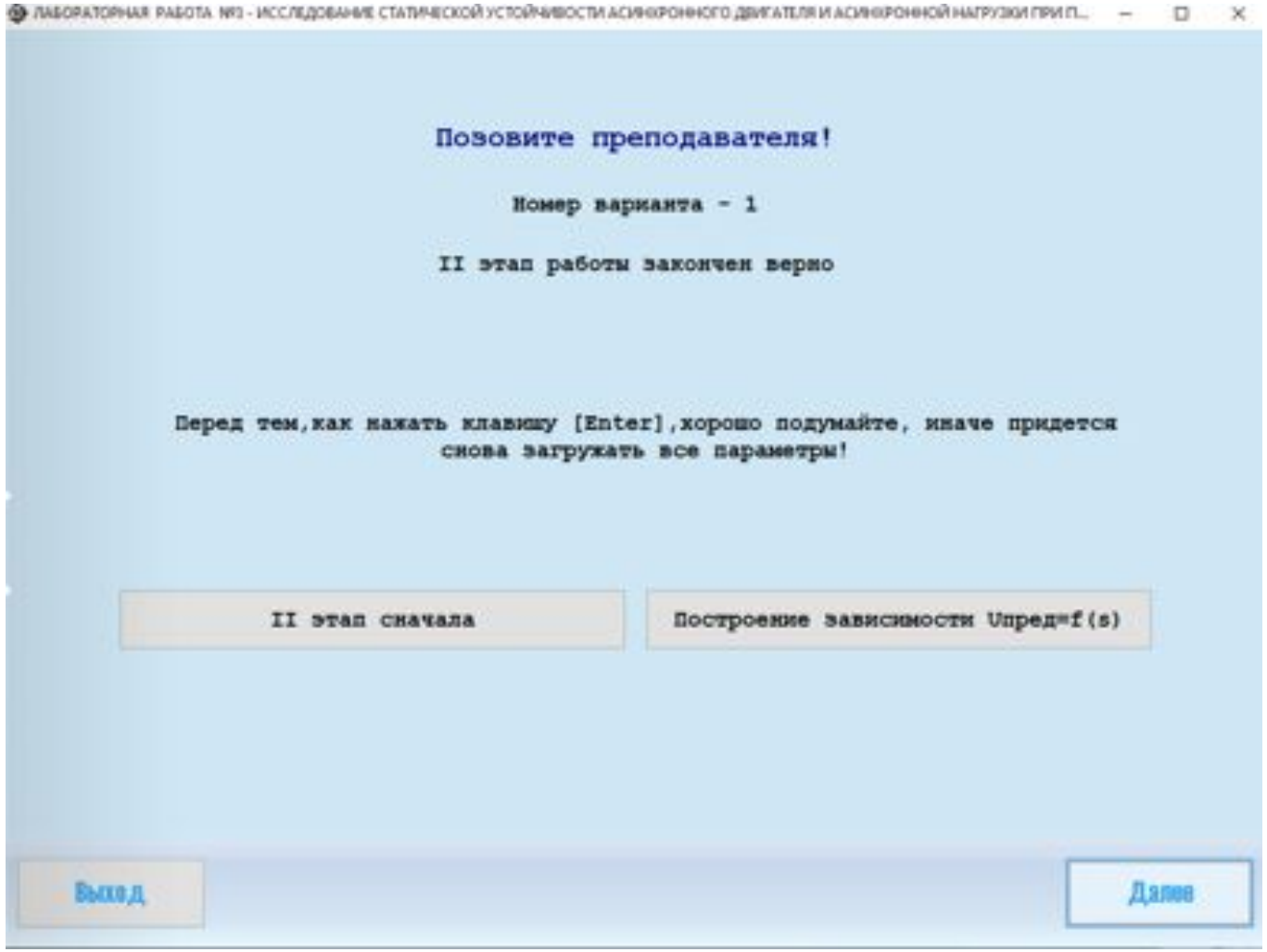




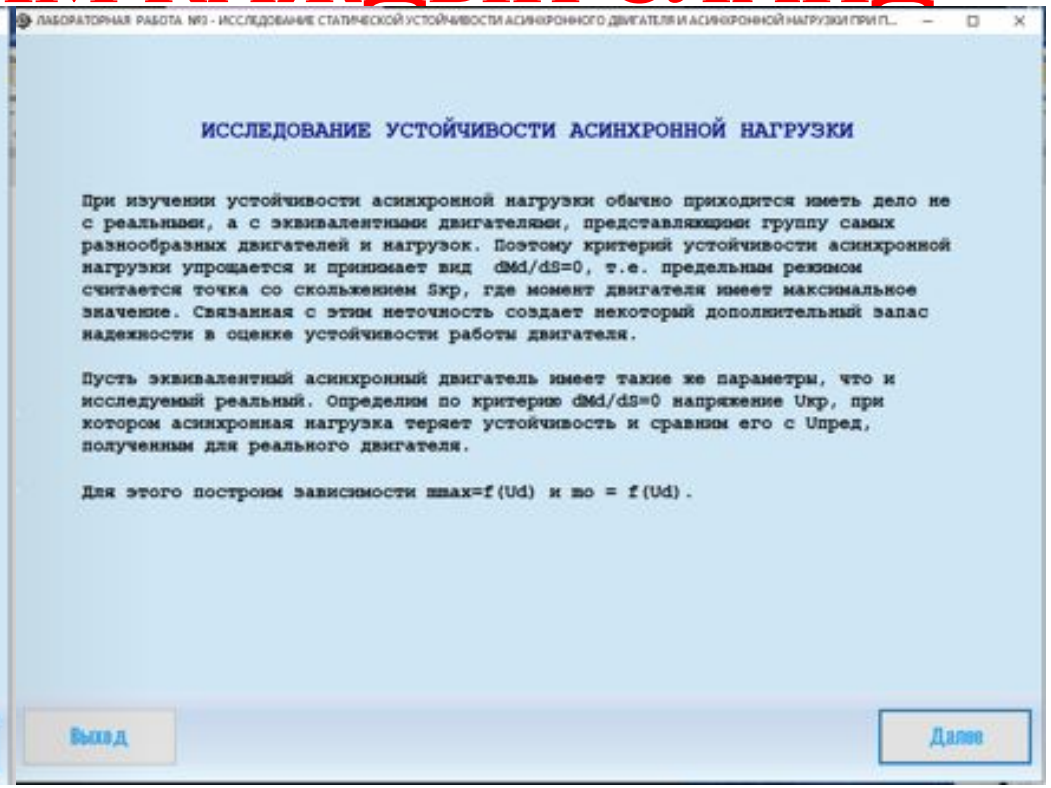




Если этап закончен ВЕРНО, нажимаем ДАЛЕЕ, если нет, начинаем второй этап сначала



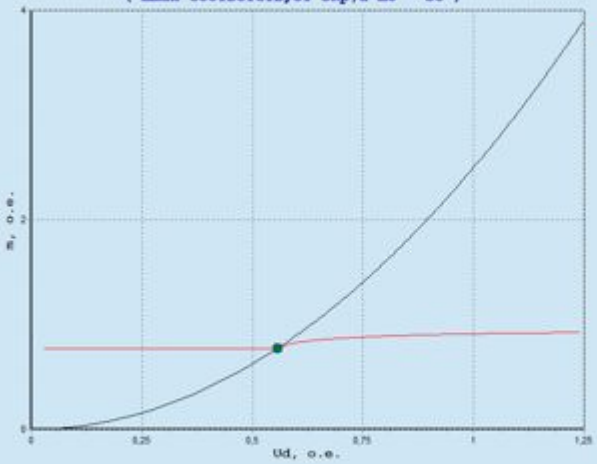
В третьем этапе необходимо определить Uкр и Кзап при гамма равной 0,1,2,3 и заполнить таблицу 3. НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ СКРИНИМ КАЖДЫЙ СЛАЙД



γ	0	1	2	3
$U_{кр}$				
$к_{зап}$				

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Зависимости mmax=f(Ud) и mo=f(Ud) для Y=3
(mmax соответствует Sкр,а mo - So)



mmax= 0.774 o.e.
mo= 0.774 o.e.
Uкр= 0.556 o.e.
Uпред= 0.485
Kзап=(Uн-Uкр)/Uн*100%=
44.4 %

Выход

Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Зависимости mmax=f(Ud) и mo=f(Ud) для Y=3

Ud(o.e.)	mmax(o.e.)	mo(o.e.)
1.250	3.906	0.925
1.163	3.383	0.922
1.077	2.897	0.917
0.990	2.449	0.911
0.903	2.039	0.903
0.816	1.666	0.892
0.730	1.331	0.877
0.643	1.033	0.850
0.556	0.773	0.773
0.417	0.435	0.773
0.278	0.193	0.773
0.139	0.048	0.773
0.000	0.000	0.773

Выход

Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

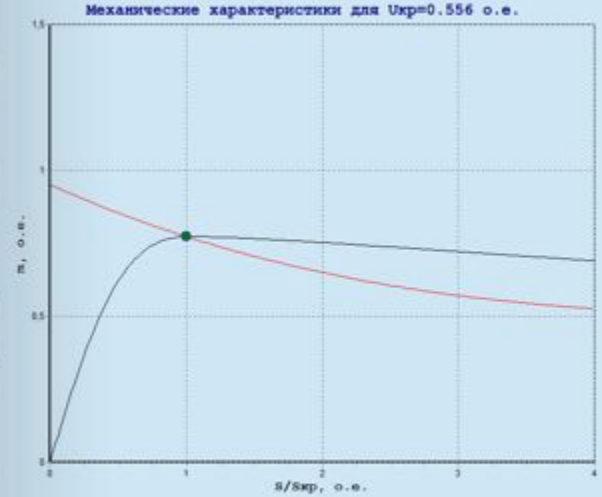
Посмотрите как выглядят механические характеристики для Uкр

Выход

Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Механические характеристики для Uкр=0.556 o.e.



md= 0.690 o.e.
mr= 0.526 o.e.
So=Sкр= 15.293 %
Y= 3

Выход

Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Механические характеристики для Uкр=0.556 o.e.

S/Sкр(o.e.)	md(o.e.)	mr(o.e.)
0.0	0.000	0.950
0.2	0.297	0.910
0.4	0.533	0.872
0.6	0.682	0.837
0.8	0.754	0.804
1.0	0.773	0.773
1.5	0.766	0.706
2.0	0.753	0.651
2.5	0.738	0.606
3.0	0.722	0.571
3.5	0.706	0.545
4.0	0.690	0.526

Выход

Далее

График в отчет

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Запомните !

Устойчивость асинхронной нагрузки можно определить по практическому критерию устойчивости:

dP/dS=0 (dM/dS=0)

По этому критерию исследуемая асинхронная нагрузка потеряет устойчивость при напряжении на ее выводах Uкр=0.556 о.е.

Коэффициент запаса устойчивости Kзап:=(Uн-Uкр)/Uн*100%=44.4 %

Выход Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

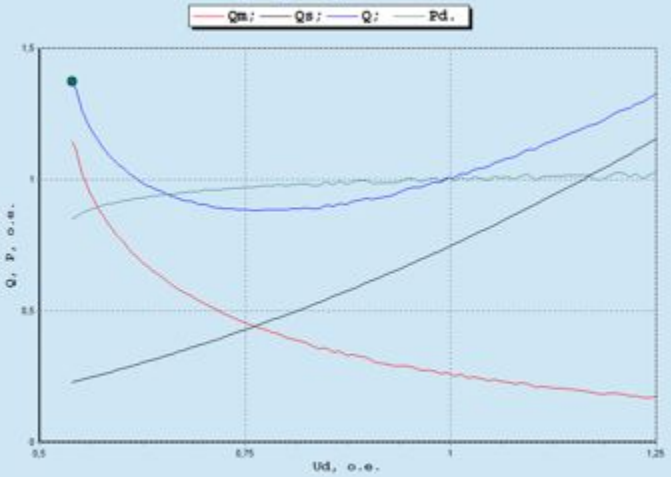
Если определение параметров эквивалентного двигателя затруднительно, то устойчивость асинхронной нагрузки можно определить по вторичному критерию устойчивости dQ/dUd = - бесконечность.

Для этого необходимо построить статические характеристики асинхронной нагрузки: Qs=f(Ud), Qм=f(Ud), Q=f(Ud), Pd=f(Ud).

Выход Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Критерий dQ/dUd=-279



Sкр= 15.293 %

Uкр= 0.556 о.е.

Kзап= 44.4 %

Выход Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Статические характеристики для исследования устойчивости по вторичному критерию dQ/dUd = - бесконечность

Ud(о.е.)	Qs(о.е.)	Qм(о.е.)	Q(о.е.)	Pd(о.е.)	S(%)	dQ/dU
1.250	0.175	1.155	1.330	1.034	1.874	4
1.181	0.199	1.030	1.229	1.038	2.119	23
1.111	0.218	0.912	1.131	1.021	2.363	23
1.042	0.248	0.802	1.050	1.018	2.700	19
0.972	0.282	0.699	0.981	1.008	3.097	16
0.903	0.327	0.603	0.930	1.001	3.617	12
0.834	0.384	0.514	0.897	0.991	4.290	7
0.764	0.460	0.432	0.891	0.977	5.208	1
0.695	0.563	0.357	0.920	0.955	6.523	-7
0.626	0.731	0.289	1.020	0.925	8.756	-23
0.556	1.171	0.229	1.400	0.848	15.301	-279

Выход Далее

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

Запомните !

Устойчивость асинхронной нагрузки можно также определить по вторичному критерию устойчивости:

dQ/dUd = - бесконечность.

По этому критерию исследуемая асинхронная нагрузка потеряет устойчивость при напряжении на ее выводах Uкр=0.556 о.е.

Коэффициент запаса устойчивости Kзап:=(Uн-Uкр)/Uн*100%=44.4 %

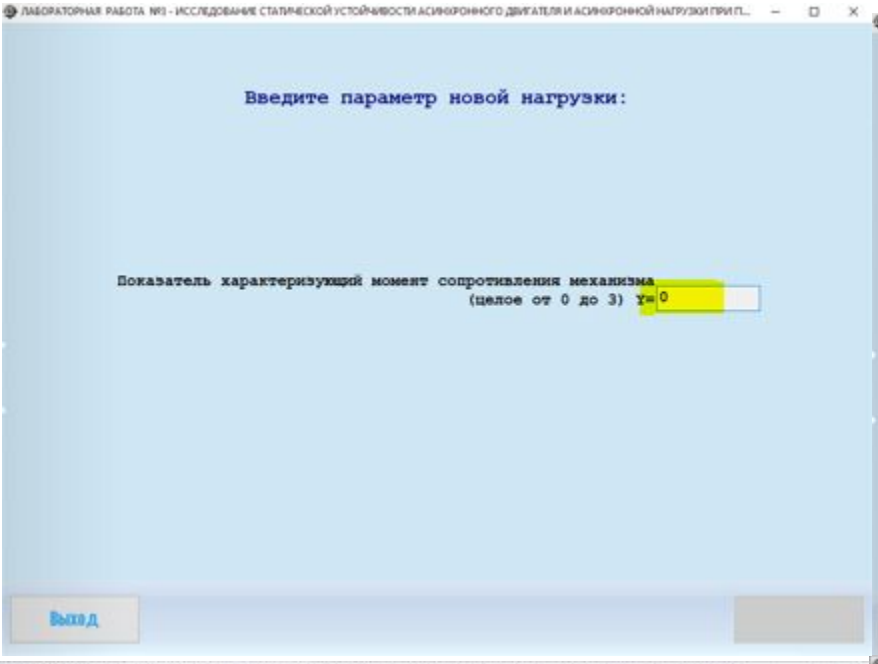
Выход Далее

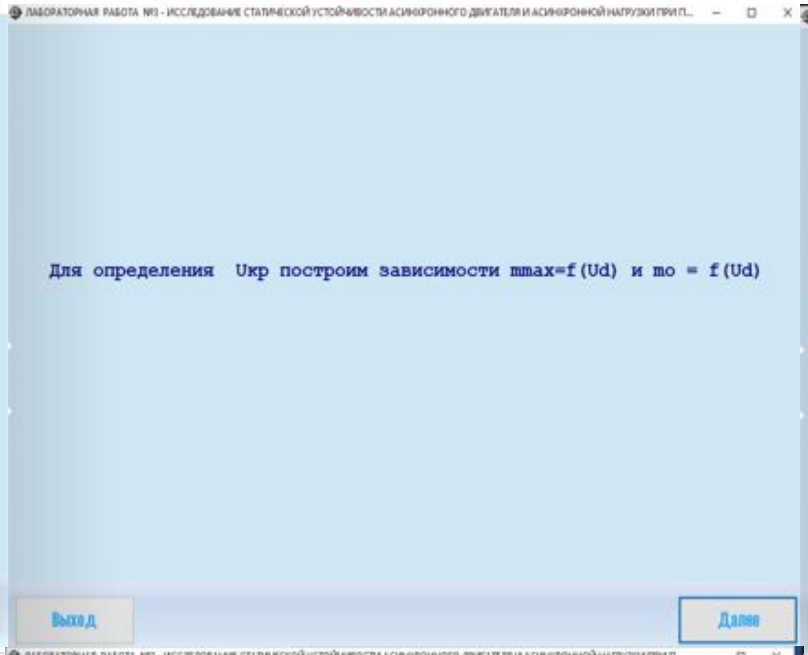
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ П...

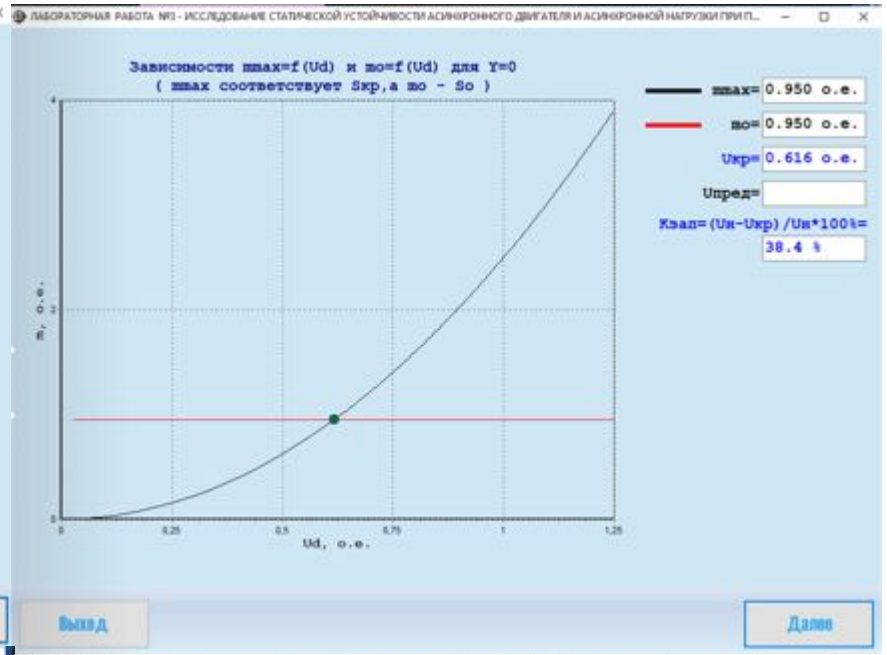
Построение зависимостей Uкр=f(Y) и Kзап=f(Y)

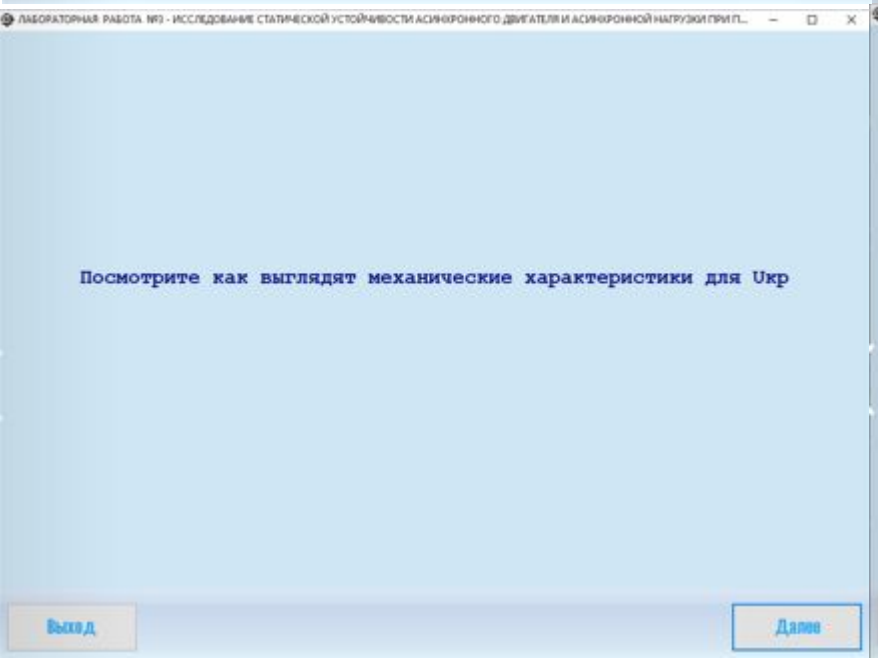
Выход Далее

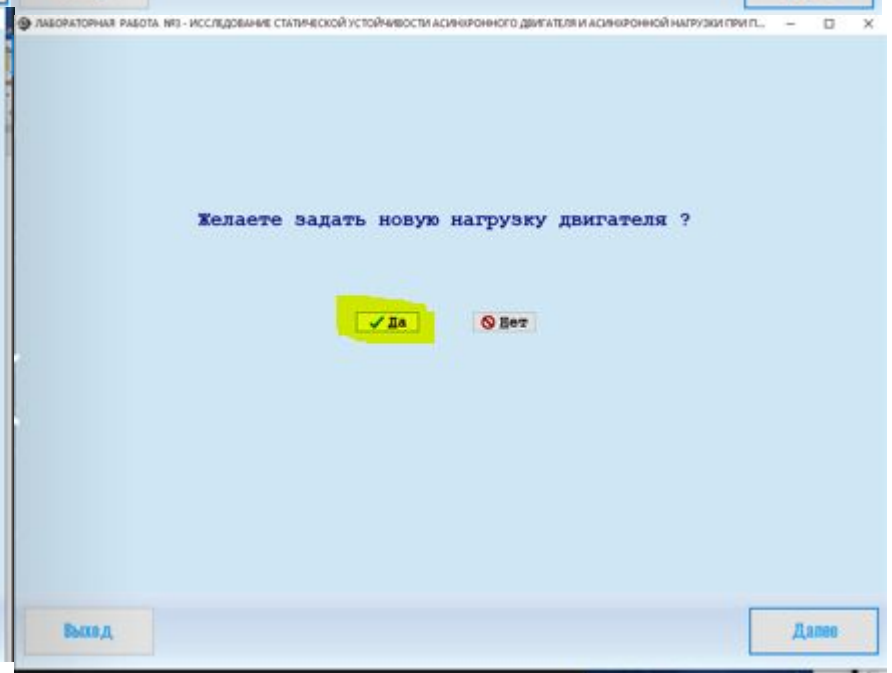
По очереди вводим значения 0,1,2,3 и снимаем для них характеристики занося данные в табл 3



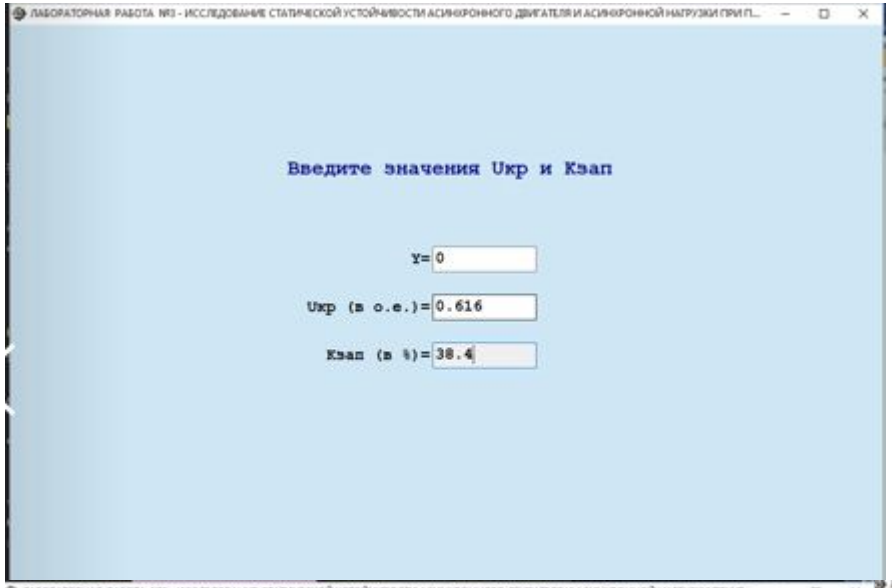


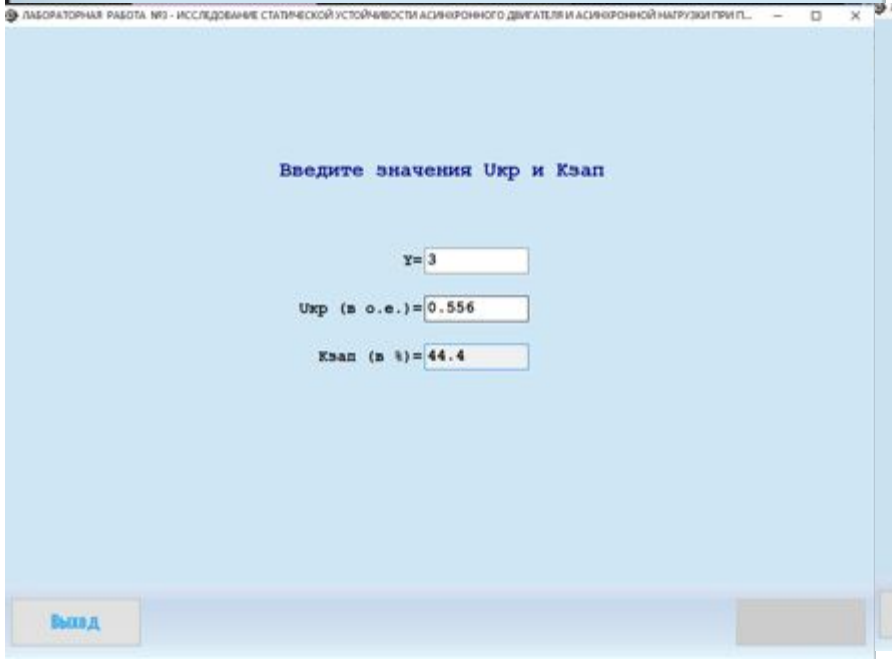


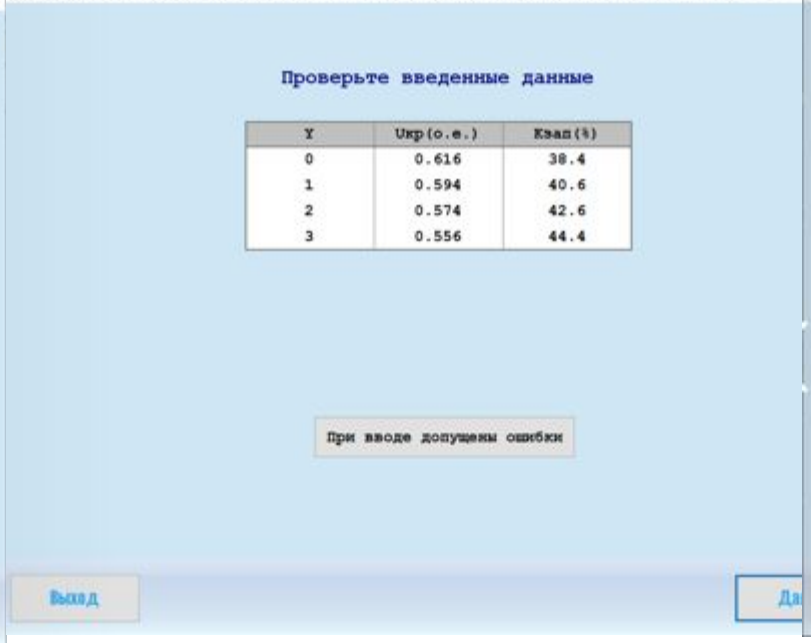




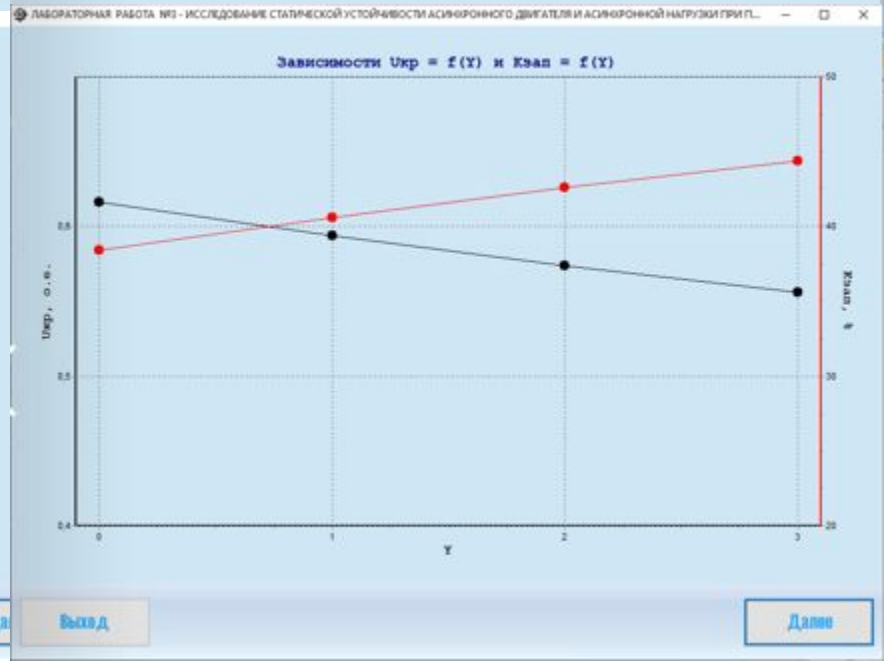
Вводим значения из табл 3, проверяем и получаем искомые зависимости



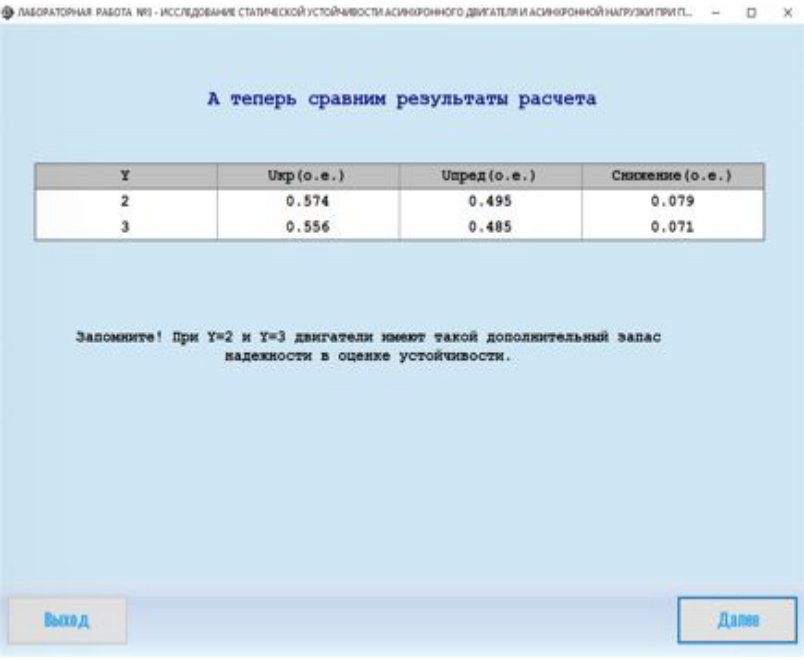


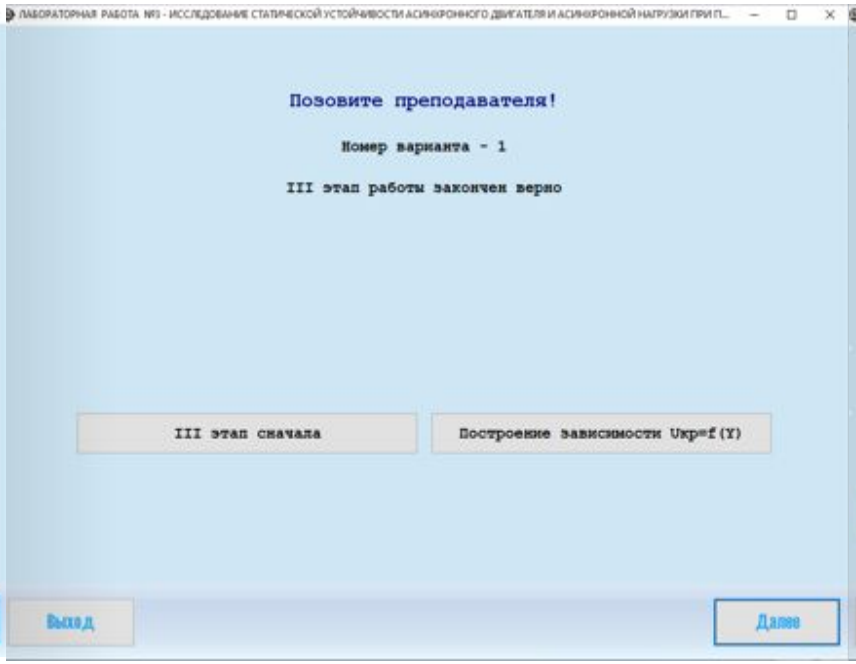


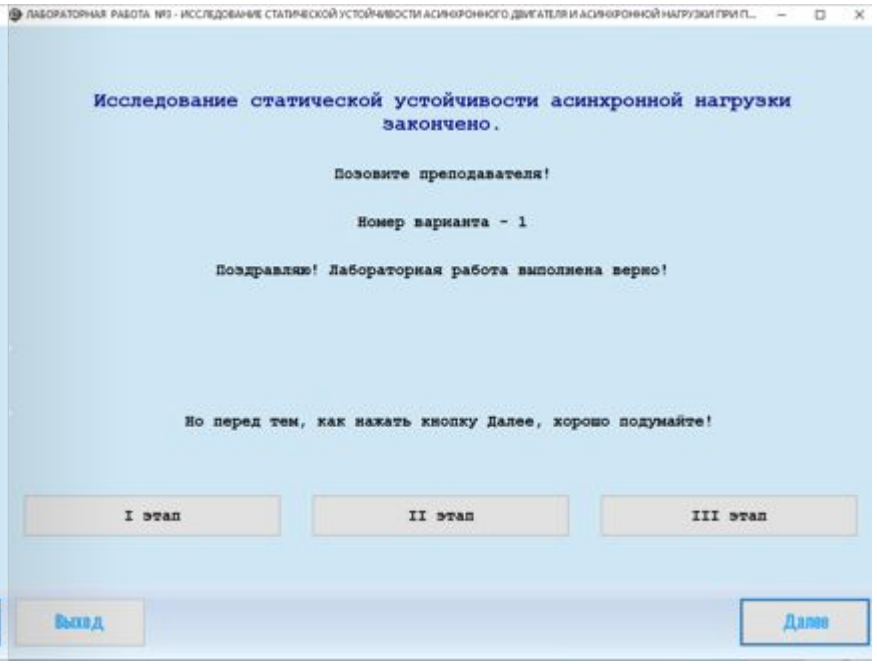
Y	Uкр(о.е.)	Kзап(%)
0	0.616	38.4
1	0.594	40.6
2	0.574	42.6
3	0.556	44.4



Смотрим результаты выполнения 3 этапа, если верно жмем далее, если нет начинаем этап сначала. Если вся работа выполнена верно, зовем преподавателя







Заполняем титульный лист, заполняя отчет, НЕ ЗАБЫВАЕМ ОБРЕЗАТЬ РИСУНКИ, плохо оформленные работы приниматься НЕ БУДУТ

В ОТЧЕТ ВО 2 и 3 ЭТАПАХ ПРИ ГРАФИКАХ С ГАММА ВСТАВЛЯЕМ С ТОЙ ГАММА, ЧТО ДАНА В ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Сохраняем отчет и отправляем его на почту преподавателю elena.arta2013@yandex.ru

Ждем ответное письмо принят/не принят(укажу ошибки) отчет, готовимся к защите.

После защиты, если отчет выполнен хорошо, преподаватель вышлет вам подписанный отчет, который необходимо будет выставить на сайт до следующего занятия.