

**ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ»**

**Инженерный институт**

**ЭЛЕКТРОПРИВОД СЕЛЬСКО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ТЕХНИКИ**

**Исследование асинхронного двигателя с  
короткозамкнутым ротором**

Методические указания к лабораторной работе

Новосибирск 2017

УДК 621.34: 63 (075.8)

ББК 40.76, Я76

Э 453

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составители: канд. техн. наук, доц. ***А.Ю. Кузнецов;***

***П.В. Зонов;***

***Д.С. Болотов***

Рецензент доцент, канд. техн. наук ***А.Т. Калюжный***

Электропривод сельскохозяйственной техники. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: метод. указания к лаб. раб. / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер.ин-т; сост.: А.Ю. Кузнецов, П.В. Зонов, Д.С. Болотов. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – 21 с.

В методических указаниях приведены основные теоретические сведения о конструкции и работе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, порядок выполнения и контрольные вопросы к защите лабораторной работы.

Предназначены для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, по профилю - Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе.

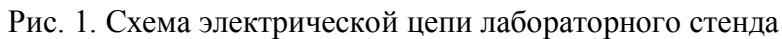
Утверждены и рекомендовано к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол №8 от 28 марта 2017 г.).

## ВВЕДЕНИЕ

**Цель работы** – ознакомление студентов с устройством и принципом действия асинхронного двигателя, теоретическое и экспериментальное исследование его свойств.

### Программа работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом и схемой его электрической цепи (рис. 1).
2. Рассчитать и построить по паспортным данным механическую характеристику  $n(M)$  асинхронного двигателя.
3. Снять экспериментально-механическую  $n(M)$  и рабочие характеристики асинхронного двигателя.
4. По экспериментальным данным построить графики механической  $n(M)$  и рабочих  $I_1(P_2)$ ,  $\eta(P_2)$ ,  $\cos \varphi(P_2)$  характеристик асинхронного двигателя.
5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.



Механические свойства двигателя при работе в различных режимах отражаются механическими характеристиками, представляющими зависимость угловой скорости  $\omega$  (или частоты вращения  $n$ ) от вращающего момента  $M$  двигателя:  $\omega(M)$  или  $n(M)$ .

Для расчета и построения механической характеристики  $n(M)$  используются следующие данные:

$P_n$  – номинальная мощность на валу двигателя, кВт;

$n_n$  – номинальная частота вращения, об/мин;

$f$  – частота питающей сети, Гц;

$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_n}$  – коэффициент перегрузочной способности

асинхронного двигателя.

Паспортные и справочные данные двигателей лабораторного стенда приведены в прил. 1, образец оформления титульного листа лабораторной работы – в прил. 2.

## **1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Великим российским учёным и инженером Михаилом Осиповичем Доливо-Добровольским 8 марта 1889 г. был изобретён трёхфазный асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором и обмоткой типа «беличья клетка».

Современные трёхфазные асинхронные двигатели являются преобразователями электрической энергии в механическую. Благодаря своей простоте, низкой стоимости и высокой надёжности асинхронные двигатели получили широкое применение. Они присутствуют повсюду, это самый распространённый тип двигателей, их выпускается 90% от общего числа двигателей в мире. Асинхронный электродвигатель поистине совершил технический переворот во всей мировой промышленности.

Огромная популярность асинхронных двигателей связана с простотой, дешевизной и надёжностью их эксплуатации.

Слово «асинхронный» означает неодновременный. При этом имеется в виду, что у асинхронных двигателей частота

вращения магнитного поля статора всегда больше частоты вращения ротора. Работают асинхронные двигатели, как понятно из определения, от сети переменного тока.

**Принцип работы АД.** При подаче к обмотке статора напряжения в каждой фазе создаётся магнитный поток, который изменяется с частотой подаваемого напряжения. Эти магнитные потоки сдвинуты относительно друг друга на  $120^\circ$ , как во времени, так и в пространстве. Результирующий магнитный поток  $\Phi$  оказывается при этом вращающимся. Результирующий магнитный поток статора вращается и тем самым создаёт ЭДС в проводниках ротора. Так как обмотка ротора имеет замкнутую электрическую цепь, то в ней возникает ток, который, в свою очередь, взаимодействуя с магнитным потоком статора, создаёт пусковой момент двигателя, стремящийся повернуть ротор в направлении вращения магнитного поля статора. Когда он достигает значения тормозного момента ротора, а затем превышает его, ротор начинает вращаться. При этом возникает так называемое скольжение.

Скольжение  $s$  — это величина, которая показывает, насколько синхронная частота  $n_1$  магнитного поля статора больше, чем частота вращения ротора  $n_2$ , в процентном соотношении:

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \cdot 100\%.$$

Скольжение — это крайне важная величина. В начальный момент времени она равна единице, но по мере возрастания частоты вращения  $n_2$  ротора относительная разность частот  $n_1 - n_2$  становится меньше, вследствие чего уменьшаются ЭДС и ток в проводниках ротора, что влечёт за собой уменьшение вращающего момента. В режиме холостого хода, когда двигатель работает без нагрузки на валу, скольжение минимально, но с увеличением статического момента оно возрастает до величины  $s_{кр}$  — критического скольжения.

Если двигатель превысит это значение, то может произойти так называемое опрокидывание двигателя, приводящее в результате к его нестабильной работе. Значения скольжения лежат в диапазоне от 0 до 1, для асинхронных двигателей общего назначения они составляют в номинальном режиме 1-8 %.

Как только наступит равновесие между электромагнитным моментом, вызывающим вращение ротора, и тормозным моментом, создаваемым нагрузкой на валу двигателя, процессы изменения величин прекратятся.

Из вышеизложенного следует вывод о том, что принцип работы асинхронного двигателя заключается во взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и токов, которые наводятся этим магнитным полем в роторе. Причём вращающий момент может возникнуть только в том случае, если существует разность частот вращения магнитных полей.

**Устройство АД.** На рис. 2 приведена конструкция АД.

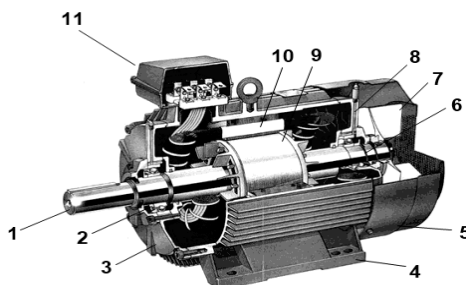


Рис. 2. Устройство АД:

1 – вал; 2, 6 – подшипники; 3, 8 – подшипниковые щиты; 4 – лапы; 5 – кожух вентилятора; 7 – крыльчатка вентилятора; 9 – короткозамкнутый ротор; 10 – статор; 11 – коробка выводов

Основными частями асинхронного двигателя являются статор 10 и ротор 9.

Статор имеет цилиндрическую форму и собирается из листов стали. В пазах сердечника статора уложены обмотки статора, которые выполнены из обмоточного провода. Оси обмоток сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол  $120^\circ$ . В зависимости от подаваемого напряжения концы обмоток соединяются треугольником или звездой.

Роторы асинхронного двигателя бывают двух типов: короткозамкнутые и фазные.

Короткозамкнутый ротор (рис.3,а) представляет собой сердечник, набранный из листов стали. В пазы этого сердечника заливается расплавленный алюминий, в результате чего образуются стержни, которые замыкаются накоротко торцевыми кольцами. Эта конструкция называется обмоткой типа «беличья клетка» (см. рис.3,б). В двигателях большой мощности вместо алюминия может применяться медь. «Беличья клетка» представляет собой короткозамкнутую обмотку ротора.

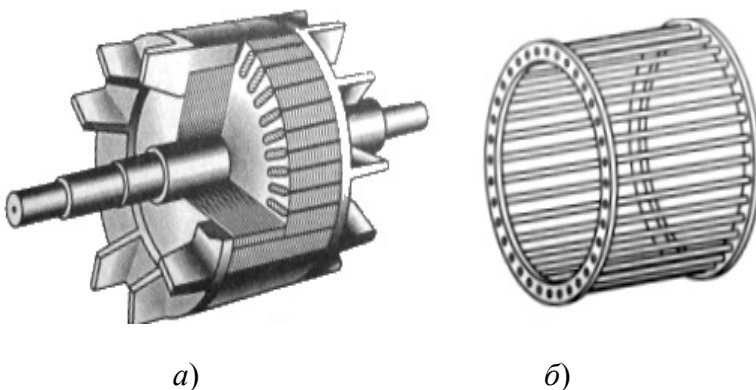


Рис. 3. Короткозамкнутый ротор (а)  
и обмотка типа «беличья клетка» (б)



Определение параметров производится по следующим пунктам.

1. Синхронная частота вращения  $n_o$  (частота вращения магнитного поля) зависит от частоты питающей сети  $f$  и числа пар полюсов  $p$ :

$$n_o = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1)$$

2. Число пар полюсов можно определить из выражения (1), заменив  $n_o$  и  $n_n$ , с последующим округлением результата до целого числа, либо воспользоваться рядом синхронных частот вращения, учитывая, что  $n_o > n_n$ :

$$n = n_o \cdot (1 - s).$$

Синхронные частоты вращения асинхронных двигателей приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Ряд синхронных частот вращения асинхронных двигателей**

$p$	1	2	3	4	5	6	...
$n_o$ , об./мин	3000	1500	1000	750	600	500	...

3. Номинальное скольжение  $s_n$  – относительная скорость пересечения обмотки ротора вращающимся магнитным полем статора при номинальном моменте:

$$s_n = \frac{n_o - n_n}{n_o}. \quad (2)$$

4. Критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту  $M_{кр}$  :

$$s_{кр} = s_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) . \quad (3)$$

5. Номинальный момент:

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{P_n}{n_n} . \quad (4)$$

6. Критический момент:

$$M_{кр} = \lambda \cdot M_n . \quad (5)$$

7. Номинальный ток в обмотке статора определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_{1n}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n} , \quad (6)$$

где  $P_{1n}$  — номинальная электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети, Вт.

Номинальная электрическая мощность, потребляемая из сети, определяется из соотношения для КПД в номинальном режиме

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_{1n}} . \quad (7)$$

Паспортные данные и результаты вычислений заносятся в бланк отчета (табл. 2).

**Таблица 2. Паспортные и вычисленные значения  
основных величин**

Задано						Вычислено					
$P_{\text{н}}$ , кВт	$U_{\text{н}}$ , В	$n_{\text{н}}$ , об/мин	$\eta_{\text{н}}$	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$\lambda$	$I_{\text{н}}$ А	$s_{\text{н}}$	$s_{\text{кр}}$	$M_{\text{н}}$	$M_{\text{кр}}$	$p$
									Н·м		

Для теоретического расчета и построения механической характеристики двигателя по паспортным данным используется упрощенная эмпирическая формула Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}, \quad (8)$$

где  $s$  – текущее значение скольжения.

Задаваясь текущими значениями скольжения  $s$  от 0 до 1 с обязательным включением значений  $s_n$  и  $s_{кр}$ , определяют по формуле (8) соответствующие значения момента  $M$ . Рассчитанные значения момента и частоты вращения необходимо записать в табл. 3.

**Таблица 3. Данные для построения расчетной  
естественной механической характеристики**

$s$	0	$s_n$	0,1	$s_{кр}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$M$ , Н·м												
$n$ , об/мин												

## 2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Питание стенда осуществляется через автоматический выключатель  $QF$  от трехфазной четырехпроводной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Подключение стенда к розетке ~380 В установленного на стене щитка выполняется с помощью соединительного шнура и четырехштырьковой штепсельной вилки.

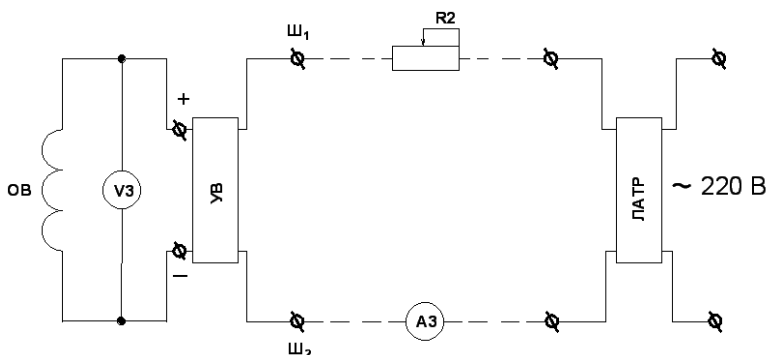


Рис. 4. Электрическая схема соединения обмотки возбуждения нагрузочной машины

Напряжение на стенд подается включением автоматического выключателя  $QF$ , после чего загораются индикаторные лампочки, сигнализирующие о наличии питающего напряжения на всех трех фазах стенда.

Напряжение на обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя  $1M$  подается с помощью магнитного пускателя  $KM$  при нажатии кнопки  $SB2$  (Пуск), отключается двигатель нажатием кнопки  $SB1$  (Стоп). Способ соединения фазных обмоток статора выбирается с учетом линейного напряжения питающей сети ( $U_{\text{л}} = 380$  В) и номинального фазного напряжения обмоток статора (при  $U_{\text{н}} = 220/380$  В  $U_{\text{ф}} = 220$  В). В цепь обмотки статора включаются: переключатель способа подключения обмоток статора  $SA2$  («звезда» – положение  $Y$  или «треугольник» – положение  $\Delta$ ) с

выводами  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ , расположенными на панели переключателей; измерительные приборы  $PW$  (киловаттметр – для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети),  $PA1$  (амперметр – для измерения величины тока, потребляемого двигателем),  $PV2$  (вольтметр – для измерения линейного напряжения электрической сети).

Механическая нагрузка на валу асинхронного двигателя осуществляется генератором постоянного тока  $2M$  серии ПБСТ-23М, вал которого соединен с валом двигателя муфтой. Частота вращения вала двигателя измеряется расположенным над регулировочным реостатом на пульте стенда стрелочным тахометром, датчик которого установлен на валу спаренных машин.

Нагрузочная машина (генератор постоянного тока)  $2M$  имеет две электрические цепи: цепь якоря (главная цепь) и цепь возбуждения. В цепь якоря (выводы Я1 и Я2 на панели выводов обмоток электрических машин) включается выключатель, подсоединяющий к зажимам генератора внешнюю электрическую цепь, нагрузочный реостат  $R_n$  с выключателями  $SA10 - SA20$  для изменения тока нагрузки генератора, измерительные приборы  $A2$  (амперметр) и  $V2$  (вольтметр).

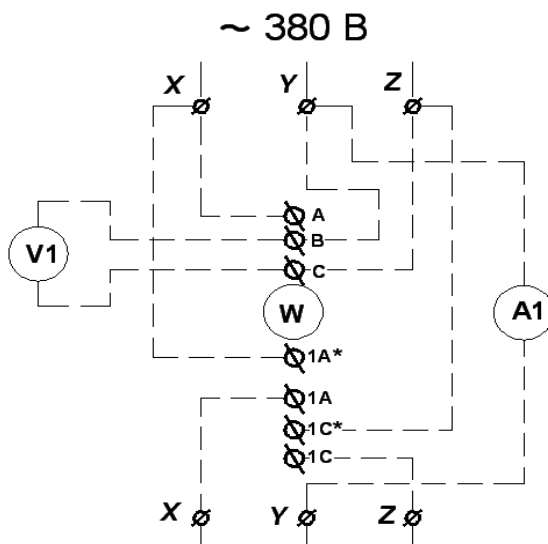


Рис. 5. Схема подключения ваттметра

В цепь обмотки возбуждения (выводы Ш1 и Ш2 на панели выводов панели выводов) включаются регулировочный реостат  $R2(R_B)$  для изменения тока возбуждения (приводящего к изменению магнитного потока) и амперметр АЗ. Электрическая схема соединения обмотки возбуждения нагрузочной машины приведена на рис. 4. Схема включения ваттметра в цепи АД приведена на рис. 5.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить стенд к проведению эксперимента:

1.1. Убедиться, что все устройства отключены от сети электропитания (все выключатели отключены).

1.2. Собрать электрическую цепь в соответствии с рис. 3-5. При выборе измерительных приборов учитывать род тока и номинальные значения измеряемых величин (ток в цепи возбуждения нагрузочной машины не более 1 А, в цепи якоря более 10 А).

1.3. Реостат в цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока полностью ввести ( $R2$ ).

2. Осуществить пуск асинхронного двигателя (АД).

2.1. Подать напряжение на стенд включением автоматического выключателя  $QF$  (380 В).

2.2. Подать питание на обмотку статора АД, включив магнитный пускатель  $KM$  кнопкой «Пуск» ( $SB2$ ). Записать в табл. 4 значение тока, потребляемого АД при соединении обмоток статора «звездой», мощность холостого хода, частоту вращения вала.

3. Снять механическую характеристику АД.

3.1. Не выключая АД, возбудить ДПТ, включив выключатель  $B2$  и увеличив ток возбуждения выведением реостата  $R2$ . Если ДПТ не возбуждается, необходимо изменить направление магнитного потока, для чего после переключения выключателя  $B2$  в положение «Откл.» поменять местами провода, соединенные с выводами  $Ш1$  и  $Ш2$  обмотки возбуждения.

3.2. После возбуждения ДПТ включить выключатель  $B1$  и увеличить нагрузку на валу двигателя последовательным включением выключателей  $SA11 - SA20$ , записывая результаты измерений в табл. 4.

**Таблица 4. Определение механической характеристики АД  $n(M)$**

Номер опыта	Снято					Вычислено			
	$P_1$ , кВт	$I_1$ , А	$n$ , об/мин	$U_2$ , В	$I_2$ , А	$P_2$ , Вт	$M$ , Н·м	$\eta$ , о.е.	$\cos \varphi$
1									
2									
...									
10									

3.3. После завершения эксперимента разгрузить двигатель, введя реостат  $R2$  и отключив выключатель  $SA11 - SA20$  и  $B1$ . Отключить АД нажатием кнопки «Стоп»  $SB1$  и автоматический выключатель  $QF$ .

4. По полученным опытным данным построить механическую характеристику  $n(M)$  и рабочие характеристики:  $I_1(P_2)$ ,  $\eta(P_2)$  и  $\cos \varphi(P_2)$ .

5. Мощность на валу АД определяется через электрическую мощность и потери нагрузочной машины  $M2$  – генератора постоянного тока (ГПТ):

$$P_2 = (U_2 \cdot I_2 + I_2^2 \cdot R_2) + I_{2н}^2 \cdot R_2, \text{ Вт.} \quad (9)$$

При холостом ходе ( $I_2 = 0$ ) принять мощность  $P_2 = 0$ .

6. Момент на валу АД определяется:  $M = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n}$ , Н·м  
(где  $P_2$ , Вт).

7. Коэффициент полезного действия  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ .

8. Коэффициент мощности  $\cos \varphi = \frac{P_1}{S}$ ,

где  $S = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1$ , ВА – полная мощность АД.



#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Титульный лист.
2. Цель и программа лабораторной работы.
3. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда в соответствии с рис. 1.
4. Табл. 2 – 4 с внесенными в них данными измерений и вычислений по результатам опытов.
5. Основные расчетные формулы и примеры расчетов механических и скоростных характеристик в каждом режиме.
6. Графики механических и скоростных характеристик АД – отдельно; на каждом из графиков приводятся характеристики всех режимов двигателя, полученные опытным и расчетным методами. Опытные и расчетные характеристики должны отличаться между собой расцветкой или типом линий. Выполнение графической части должно удовлетворять требованиям ЕСКД.
7. Заключение по работе.

## Контрольные вопросы

1. Устройство асинхронного двигателя и назначение его основных узлов.
2. Получение вращающегося магнитного поля.
3. Принцип работы асинхронного двигателя.
4. Способы пуска асинхронных двигателей и их особенности.
5. Способы подключения асинхронных двигателей и их осуществление.
6. Что такое скольжение  $s$ , как оно определяется и какова его роль в работе двигателя?
7. Объясните механические свойства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, используя его механическую характеристику.
8. Как построить естественную механическую характеристику асинхронного двигателя?
9. Процесс саморегулирования асинхронного двигателя при изменении нагрузки на валу.
10. Характер и причины изменения  $I_1$ ,  $\eta$  и  $\cos \varphi$  при изменении нагрузки на валу асинхронного двигателя.
11. Отличие асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от асинхронного двигателя с фазным ротором.
12. Поясните механические свойства асинхронного двигателя с фазным ротором и назначение реостата, вводимого в цепь ротора, с использованием механических характеристик.
13. Объясните процессы при пуске асинхронного двигателя с фазным ротором в случае, когда отсутствует контакт между щетками и кольцами.

## Библиографический список

1. *Ильинский Н.Ф.* Основы электропривода: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МЭИ, 2003. – 224 с.
2. *Москаленко В.В.* Электрический привод: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2007. – 368 с.
3. *Алексеев В.В.* Электрический привод: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Алексеев, А.Е. Козярук. – М.: Академия, 2008. – 200 с.
4. *Епифанов А.П.* Электропривод в сельском хозяйстве: учеб. для вузов. – СПб.: Лань, 2010. – 224 с.
5. *Драчев Г.И.* Теория электропривода: учеб. пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – Ч.1– 209 с.
6. *Ключев В.И.* Теория электропривода: учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 697 с.
7. *Дюбей Гонал К.* Основные принципы устройства электроприводов. – М.: Техносфера, 2009. – 480 с.
8. *Фролов Ю.М.* Основы электрического привода. Краткий курс / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: КолосС, 2007. – 252 с.
9. *Епифанов А.П.* Основы электропривода. – СПб.: Лань, 2008. – 192 с.

## Содержание

Введение.....	3
1.Теоретическое обоснование лабораторной работы.....	5
2.Описание лабораторного стенда .....	12
3.Порядок выполнения работы.....	14
4.Содержание отчета.....	17
Контрольные вопросы .....	18
Библиографический список.....	19
Приложения .....	20

## Приложение 1

### *Паспортные и справочные данные электродвигателей лабораторного стенда*

Двигатель М1		Двигатель М2	
Тип		Тип	ПБСТ-23М
Мощность	0,65 кВт	Мощность	1,9 кВт
$n_n$	980 об/мин	$n_n$	2500 об/мин
$U_n$	110 В	$U_n$	110 В
$I_n$	7,4 А	$I_n$	21 А
$\eta_n$	80%	$\eta_n$	80%
$r_B$	100 Ом	$r_B$	700 Ом

*Образец титульного листа*

---

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ  
Инженерный институт

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий  
Дисциплина «Автоматизированный электропривод»

Лабораторная работа №1

Исследование асинхронного двигателя  
с короткозамкнутым ротором

Выполнил: студент \_\_\_\_ группы  
Помыткин Ю.С.  
Зачетная книжка №: \_\_\_\_\_  
Проверил: Кузнецов А.Ю.

Новосибирск 2017

**Составители:**

Кузнецов Андрей Юрьевич

Зонов Павел Владимирович

Болотов Денис Сергеевич

**ЭЛЕКТРОПРИВОД СЕЛЬСКО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ  
ТЕХНИКИ**

**Исследование асинхронного двигателя с  
короткозамкнутым ротором**

Методические указания к лабораторной работе

Редактор Т.К. Коробкова

Компьютерная верстка Т.А. Измайлова

Подписано к печати \_\_\_\_\_ 2017 г.

Объем 1,0 уч.-изд. л., 1,0 усл. печ. л. Формат 60×84<sup>1/16</sup>

Тираж 100 экз. Изд. № Заказ №

---

Отпечатано в издательском центре «Золотой колос»  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160