

## **Методы обработки экспериментальных данных при выполнении лабораторных работ по электрическим машинам на оборудовании фирмы Лукас Нюлле**

**# 04, апрель 2015**

**профессор, д.т.н, Васюков С. А.<sup>1,\*</sup>, Авдеева Т. В.<sup>1</sup>**

УДК: 621.313(075.32)

<sup>1</sup>Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>\*</sup>[sa\\_vasyukov@mail.ru](mailto:sa_vasyukov@mail.ru)

### **Введение**

Внедрение образовательных программ нового поколения, предусматривающих блочно-модульное построение учебных курсов при реализации многоуровневой подготовки кадров, требует повышения качества базовой и специальной электротехнической подготовки. На рынке труда выпускники МГТУ им. Н. Э. Баумана всегда были особо востребованы благодаря сочетанию их высокой теоретической подготовки и полученных в процессе обучения практических навыков. Обеспечение высокого уровня образования невозможно без современной лабораторной базы [1, 2].

В работах [3, 4] были рассмотрены вопросы выбора оборудования для лаборатории по электрическим машинам на кафедре «Электротехника и промышленная электроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. В частности, было показано, что при большой численности студентов, обучающихся в течение года (более 100 студенческих групп), и низкой укомплектованности кафедры учебно-вспомогательным персоналом, основное требование к лабораторному оборудованию – надежность. Анализ современных тенденций развития электромеханики и учебных планов разных специальностей позволил установить, что наилучшим соотношением цена, качество обладает продукция немецкой фирмы Лукас Нюлле. Лабораторные стенды, поставляемые этой фирмой, эргономичны, полностью компьютеризированы, надежны и поэтому практически не требуют обслуживания со стороны учебно-вспомогательного персонала. В итоге в 2011 году на кафедру были поставлены 12 комплектов оборудования (стенды, блоки управления, двигатели, измерительные приборы, наборы коммутационных проводов, описания и т.д.) для исследования электрических машин.

На первом этапе освоения нового оборудования было принято решение заранее сконфигурировать стенды под конкретную работу, при этом студентам не требуется проводить перекоммутацию блоков стенда, а это существенно повышает надежность работы. Половина стендов была сконфигурирована для выполнения работы «Исследование характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором», а другая половина – для выполнения работы «Исследование двигателя постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением».

Опыт эксплуатации оборудования лаборатории в 2011-2015 гг. показал правильность выбранной концепции по обеспечению надежности: за это время вышел из строя только один блок управления двигателем.

При выполнении работ снятие характеристик двигателей можно проводить как в ручном, так и в автоматическом режиме. Опять же, в целях повышения надежности было принято решение снимать характеристики в автоматическом режиме, когда вмешательство студентов в процесс получения характеристик двигателя минимально. При этом у студентов остается больше времени для теоретической подготовки, для оформления отчета, осмысления полученных результатов и для защиты лабораторной работы.

Однако принятый подход к проведению лабораторных работ выявил ряд проблем, которые необходимо решить для повышения качества учебного процесса.

1. Получение характеристик в автоматическом режиме занимает максимум 30 минут. При четырехчасовой длительности проведения лабораторной работы необходимо перераспределить освобождающееся время на подготовку, оформление отчета и защиту. Необходимо выработать рекомендации по предварительной подготовке и выполнению работы.

2. Полученные в автоматическом режиме характеристики двигателя, запоминаются в электронном виде на рабочем столе компьютера в графическом формате. Здесь возможны три пути:

а). Использовать эти характеристики для защиты лабораторной работы в их исходном электронном виде без переноса в студенческий отчет. К недостаткам такого подхода можно отнести как невозможность дополнительной обработки результатов (выделение на графиках характерных точек, совмещение нескольких графиков на одних осях и.т.п.), так и некоторое неудобство защиты. Преподаватель в процессе опроса студента должен находиться непосредственно у стенда, а не на своем рабочем месте.

Еще один недостаток электронного отчета – после выполнения работы у студента не остается никаких материалов, которые можно было бы использовать, в частности, при подготовке к зачету или экзамену.

б). Распечатать графики и приложить их к отчету. Сложность этого пути чисто техническая. У кафедры нет возможности обеспечить бесплатную распечатку графиков. Даже

если составляется один отчет на подгруппу (2 – 4 студента), то при выполнении группой одной лабораторной работы необходимо напечатать не менее 30 листов формата А4. При выполнении двух лабораторных работ в 100 студенческих группах требуется печать более 6000 листов, что в данный момент технически нереализуемо.

в). Перенести графики в «бумажный» отчет. Это наиболее приемлемый путь, но непосредственный перенос графиков с экрана на бумагу трудоемок, и необходимо найти способы облегчения этого процесса.

В данной статье рассматриваются некоторые вопросы предварительной подготовки студентов к лабораторной работе, а также методы и приемы обработки экспериментальных данных при составлении отчета по лабораторной работе «Исследование характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором».

### **Рекомендации по предварительной подготовке к работе**

Для повышения качества учебного процесса предлагается следующий перечень организационных мероприятий.

1. Лектор потока на первой лекции доводит до сведения студентов порядок выполнения лабораторных работ и высылает на электронную почту группы методические материалы. По каждой работе высылаются:

- заготовка отчета лабораторной работы (файл);
- основные теоретические сведения (файл);
- вопросы для защиты лабораторной работы (файл).

2. Студенты приходят на лабораторную работу:

- с подготовленными заготовками отчетов (или распечатанными из файла, или рукописными). Без заготовки отчета студент к работе не допускаются;

- с распечатанным файлом основных теоретических сведений или его конспектом. Допускается вместо распечатанного файла иметь на руках лекции, содержащие теоретические материалы по выполняемой работе. Тетрадь с лекциями должна быть подписана (принадлежать студенту, выполняющему работу). Использование лекций других студентов не допускается. Студенты без распечатанного файла основных теоретических сведений (его конспекта) или собственных лекций к работе не допускаются.

3. Перед проведением лабораторной работы преподаватель, ведущий работу, проводит выборочный (не менее трех студентов) контроль знаний. Студенты не прошедшие контроль к работе не допускаются.

4. После завершения студентами работы проводится ее защита. На защите преподаватель контролирует знания, полученные при выполнении работы, и выставляет итоговую оценку. При защите преподаватель использует как вопросы из перечня вопросов для защиты, так и иные вопросы по теме работы.

5. Студенты, не защитившие лабораторную работу, должны защитить ее в промежутке между выполняемой и следующей работой. При наличии незащищенных работ студент к выполнению лабораторной работы не допускается.

## Методы обработки экспериментальных данных и формирование отчета по лабораторной работе

После выполнения работы в соответствии с методическими указаниями [3, 4], студенты оформляют отчет по предварительно распечатанной заготовке.

На первом этапе по результатам измерений заполняется сводная таблица характеристик двигателя (таблица 1). При ее заполнении используются файлы естественных механических, электромеханических и рабочих характеристик при соединении обмоток двигателя треугольником (папка «Отчет»). Примеры графиков ранее были приведены в работе [3]. Номинальный ток статора  $I_H = 2,6$  А считается известным и берется из паспортных данных двигателя.

Таблица 1 (начало)

$I_H$	$n_H$	$n_K$	$I_P$	$M_H$	$M_K$	$M_P$	$\frac{M_K}{M_H}$	$\frac{M_P}{M_H}$
А	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	А	Нм	Нм	Нм		
2,6								

Таблица 1 (продолжение)

$\frac{I_P}{I_H}$	$P_{2H}$	$P_{1H}$	$\eta_H$	$\cos \varphi_H$	$n_0$	$P$	$s_H$	$s_K$
	Вт	Вт			$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$			

При заполнении таблицы рекомендуется изложенная ниже последовательность действий.

1. Откройте файл «Электромеханические характеристики» в папке «Отчет». Пример графика показан на рис. 1.

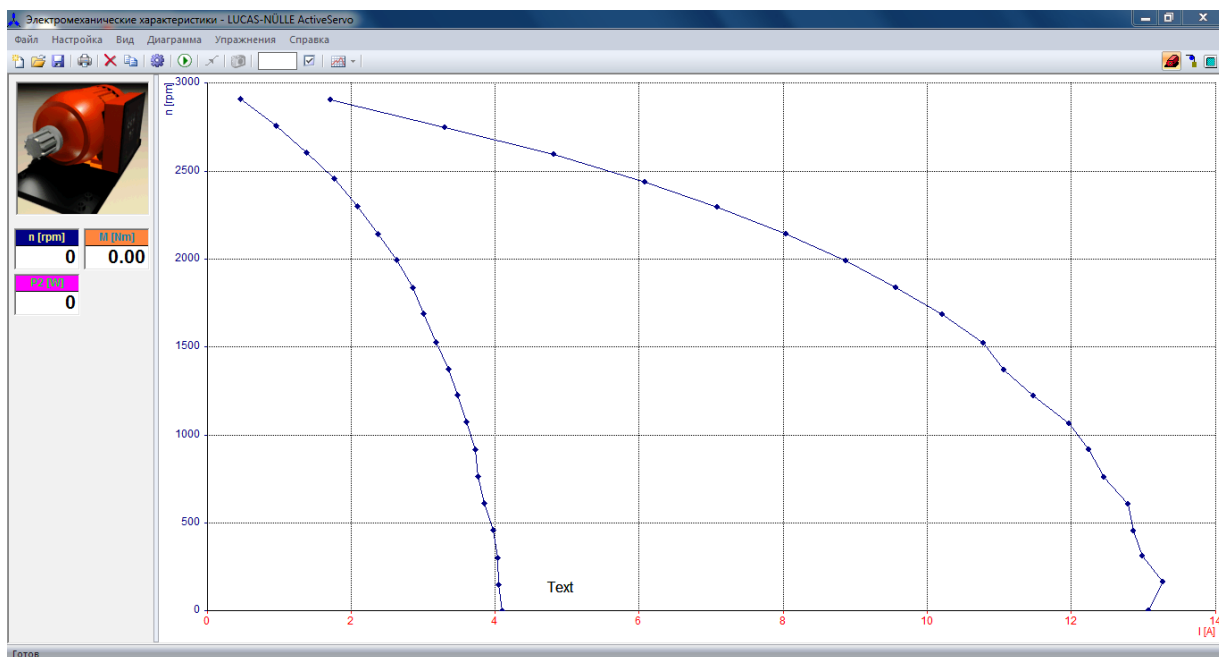


Рис. 1. Электромеханические характеристики.

Определите по графику номинальную скорость вращения ротора  $n_H$  при  $I_H = 2,6$  А. Для более точного определения величины  $n_H$  измените масштаб по току и по скорости вращения. Так как паспортная номинальная скорость вращения  $n_H = 2820$  об/мин, то искомое экспериментальное значение  $n_H$  не будет сильно отличаться от паспортного значения. Рекомендуемый алгоритм изменения масштаба показан на рис. 2.

Вначале правой кнопкой мыши откройте вкладку «Свойства», а затем «Градуировка» (слайд ①). Измените во вкладке «Ось» значение «Единичное измерение» на значение «Ток якоря» (слайд ②). В этой вкладке установлен диапазон изменения тока от 0 до 15 А с шагом 0,5 А.

Измените диапазон и шаг таким образом, чтобы середина диапазона совпадала с  $I_H = 2,6$  А (слайд ③).

Установите во вкладке «Ось» значение «Скорость» (слайд ④). Измените диапазон скорости 0 – 3000 об/мин, шаг 100, на 2700 – 2900 об/мин, шаг 10 (слайд ⑤).

После нажатия клавиши «ОК» появится часть электромеханической характеристики с измененным масштабом. Определите по ней  $n_H$  при  $I_H = 2,6$  А и занесите полученное значение в сводную таблицу 1.

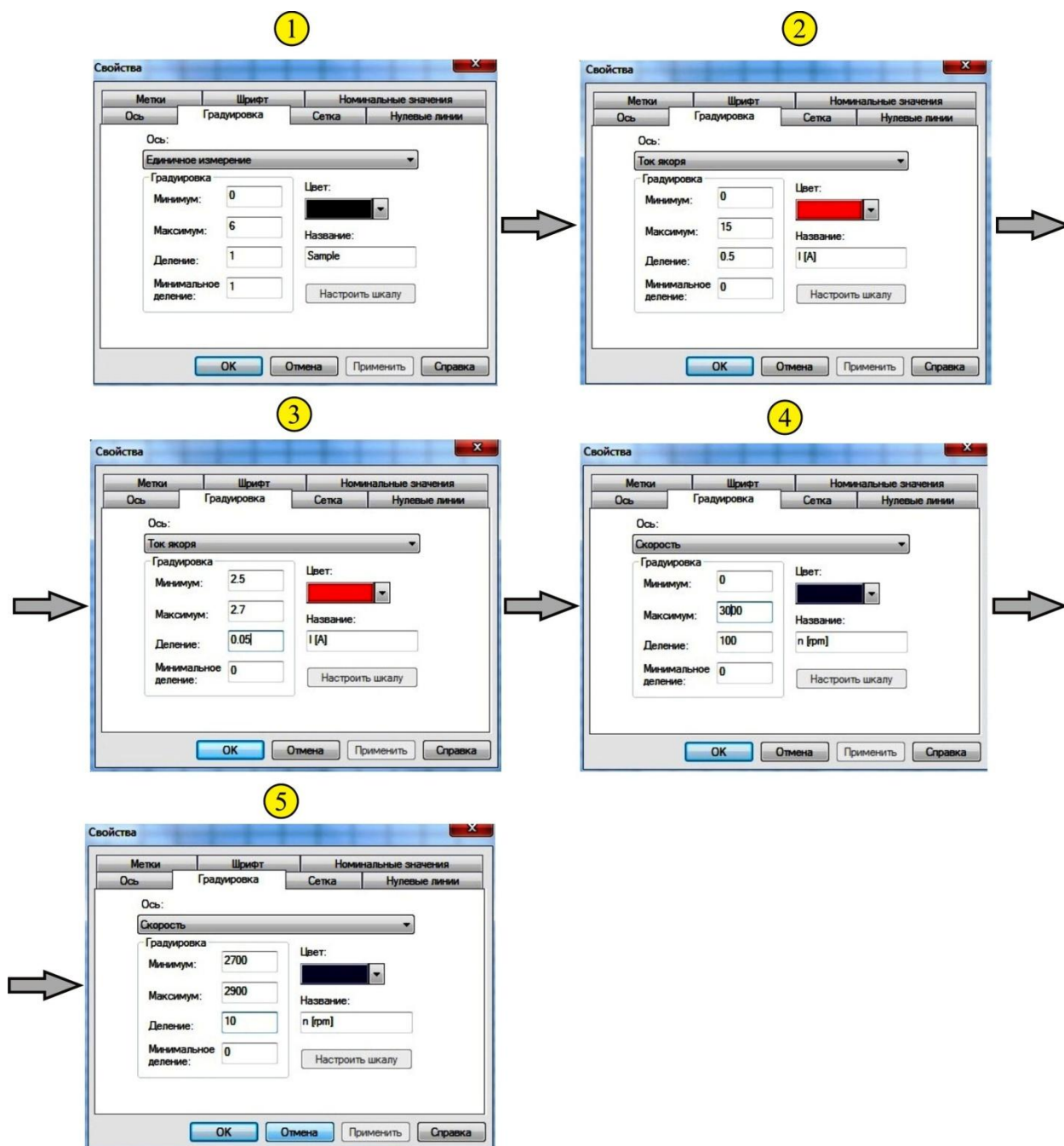


Рис. 2. Рекомендуемый алгоритм изменения масштаба.

2. Откройте файл «Механические характеристики» в папке «Отчет», пример графика показан на рис. 3.

Определите по графику номинальный момент  $M_H$ , соответствующий измеренному в п. 1 значению  $n_H$ . Для более точного определения величины  $M_H$  измените масштаб по моменту и по скорости вращения, используя алгоритм изменения масштаба п. 1. Занесите измеренное по графику значение  $M_H$  в сводную таблицу 1.

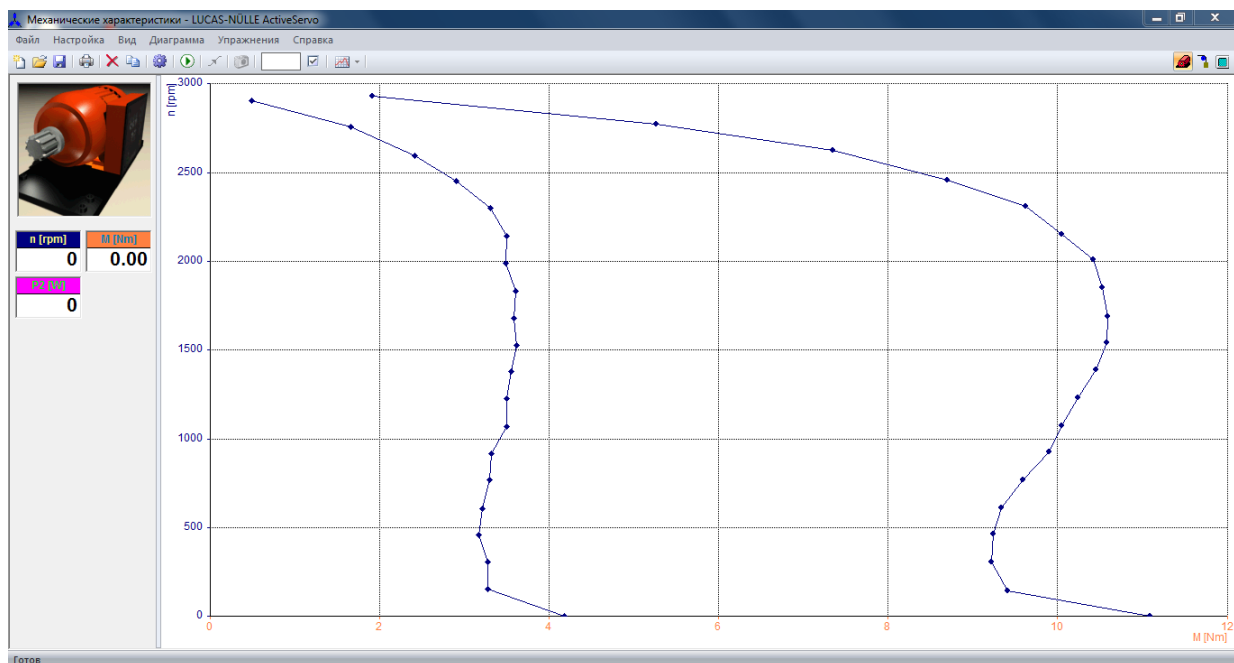


Рис. 3. Механические характеристики асинхронного двигателя.

3. Используя данные таблицы 1, по формуле  $P_{2H} = \frac{M_H \cdot n_H}{9,55}$  определите номинальную мощность на валу двигателя. Занесите полученное значение в сводную таблицу 1.

4. Откройте файл «Рабочие характеристики» в папке «Отчет», пример характеристик показан на рис. 4.

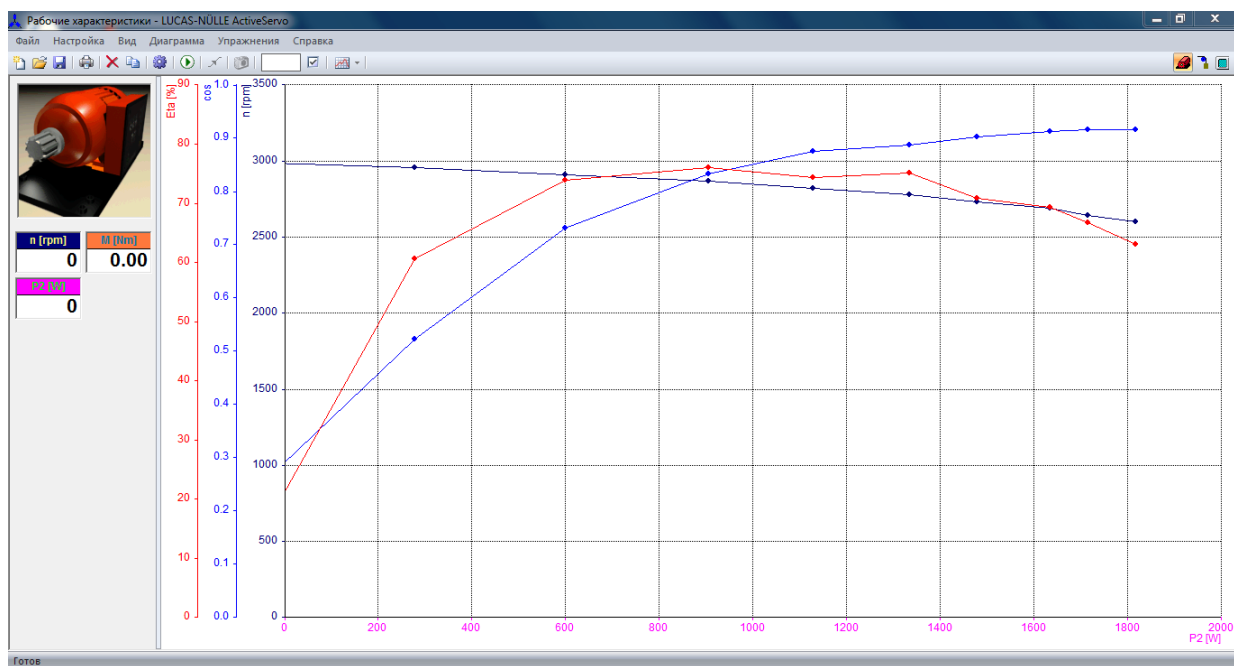


Рис. 4. Рабочие характеристики двигателя



Определите по графикам номинальный КПД  $\eta_n$  и номинальное значение  $\cos \varphi_n$  при значении  $P_{2n}$ , полученном в п. 3. Для более точного определения величин измените масштабы по мощности, КПД и  $\cos \varphi$ . Занесите измеренные значения в сводную таблицу 1.

5. Откройте файл «Механические характеристики» и определите по графику пусковой момент  $M_n$ , критический момент  $M_k$ , критическую скорость вращения  $n_k$  (скорость при моменте  $M_k$ ). Занесите измеренные значения в сводную таблицу 1.

6. Откройте файл «Электромеханические характеристики», определите по графику пусковой ток двигателя  $I_n$  и занесите значение в таблицу 1.

7. Занесите в таблицу скорость вращения поля  $n_0$  и число пар полюсов  $p$  (при определении этих величин руководствуйтесь сведениями теоретической части).

8. Определите номинальную мощность, потребляемую двигателем из сети  $P_{1n} = \frac{P_{2n}}{\eta_n}$ , номинальное скольжение  $s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}$ , критическое скольжение

$s_k = \frac{n_0 - n_k}{n_0}$ , а также все остальные величины сводной таблицы 1.

При построении студентами графиков отчета (оси всех графиков заранее размечены в необходимом масштабе и содержатся в распечатанной заготовке отчета) есть, как указывалось ранее, некоторое неудобство в переносе данных непосредственно с экрана компьютера. Для удобства построения характеристик двигателя предлагается предварительно провести экспорт всех файлов папки «Отчет» в текстовый формат. Эта опция предусмотрена в программе управления «Active Servo». Например, для экспорта графического файла «Механические характеристики» откройте файл, пройдите по пути Файл – Экспорт. На рабочем столе откроется вкладка, рис. 5, слайд ①.

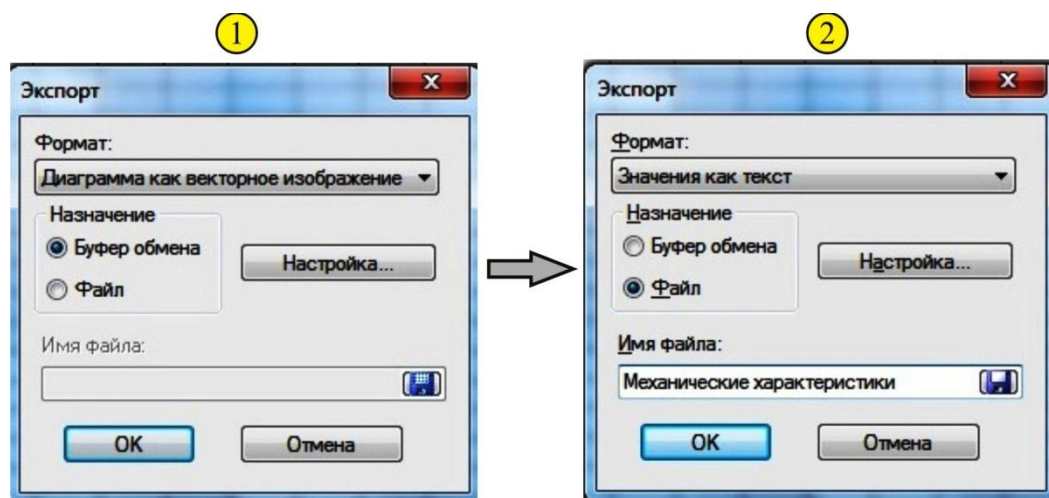


Рис. 5. Экспорт файла в текстовый формат.



Измените во вкладке «Формат» значение «Диаграмма как векторное изображение» на «Значения как текст» (слайд ②). Выберите во вкладке «Назначение» позицию «Файл», и введите в поле «Имя файла» название «Механические характеристики». Нажмите ОК и сохраните файл Механические характеристики с расширением «txt» в папке отчет.

Откройте этот файл программой «Блокнот». Экспериментальные данные при экспорте преобразуются из графического формата в таблицу и данные в таком формате удобно использовать для построения графиков. Пример представления данных в виде таблицы приведен на рис. 6.

n [rpm]	M [Nm]	P2 [W]	s/%	U [V]	I [A]	S [VA]	P1 [W]	Q [Var]	cos	Eta [%]
3003	-0.2	-62.8947		-0.1	386.67	1.16453	779.92	222.275	747.576	0.284998
2899	2.76	837.888	3.36667	389.592	1.63854	1105.68	748.201	814.074	0.676691	111.987
2798	5.19	1520.7	6.73333	386.396	2.799	1873.25	1626.84	928.68	0.86846	93.4755
2699	6.72	1899.33	10.0333	384.176	3.9677	2640.16	2380.8	1141.15	0.901765	79.777
2597	7.84	2132.14	13.4333	389.2	5.06568	3414.84	3112.13	1405.63	0.911354	68.5107
2503	8.68	2275.15	16.5667	388.532	5.99689	4035.64	3676.73	1663.77	0.911063	61.8797
2399	9.31	2338.88	20.0333	382.075	6.78928	4492.97	4042.91	1960	0.899832	57.8514
2304	9.81	2366.9	23.2	381.726	7.54423	4988.01	4453.98	2245.5	0.892938	53.1412
1999	10.61	2221.04	33.3667	382.121	9.60085	6354.35	5548.15	3097.73	0.873125	40.0322
1700	10.83	1928	43.3333	384.271	11.0377	7346.43	6315.79	3752.45	0.859708	30.5266
1403	10.66	1566.19	53.2333	379.939	11.9387	7856.53	6601.25	4260.12	0.840224	23.7256
1102	10.34	1193.25	63.2667	378.496	12.786	8382.15	6882.69	4784.25	0.821113	17.3369
801	9.89	829.578	73.3	383.179	13.6175	9037.7	7390.82	5201.53	0.817776	11.2244
495	9.45	489.853	83.5	383.614	14.1108	9375.79	7578.05	5520.75	0.808257	6.4641
206	9.28	200.191	93.1333	377.935	14.3415	9387.99	7409.88	5764.36	0.789294	2.70167
3004	-0.33	-103.811		-0.133333		391.309	0.310041		210.136	76.7104
2903	0.74	224.961	3.23333	385.915	0.494586	330.594	244.313	222.717	0.739015	195.634
2797	1.52	445.21	6.76667	387.132	0.849397	569.549	508.69	256.165	0.893145	0.365052
2702	2.26	639.473	9.93333	389.116	1.19677	806.587	742.472	315.147	0.920511	92.0789
2598	2.7	734.567	13.4	389.217	1.5144	1020.92	940.848	396.344	0.921566	87.5209
2498	3.02	790.002	16.7333	387.575	1.81736	1219.99	1112.66	500.379	0.912019	86.1276
2397	3.28	823.323	20.1	390.043	2.08726	1410.1	1280.7	590.081	0.908232	78.075
2298	3.5	842.261	23.4	385.775	2.28853	1529.15	1371.13	676.98	0.896662	71.0013
2000	3.76	787.493	33.3333	390.595	2.92605	1979.56	1726.08	969.182	0.87195	64.2871
1703	3.84	684.817	43.2333	384.771	3.33044	2219.55	1859.45	1211.96	0.837761	61.4283
1403	3.73	548.018	53.2333	384.599	3.67117	2445.53	1997.78	1410.49	0.816911	36.8289
1097	3.6	413.559	63.4333	389.729	3.92682	2650.73	2138.72	1565.96	0.806842	27.4314
799	3.48	291.175	73.3667	387.084	4.10405	2751.56	2174.96	1685.42	0.790445	19.3368
500	3.27	171.217	83.3333	386.684	4.32598	2897.35	2243.73	1833.11	0.77441	13.3876
202	3.39	71.71	93.2667	387.751	4.45393	2991.28	2286.16	1929.04	0.764276	7.63089
										3.1367

Рис. 6. Табличное представление экспериментальных данных.

## Выводы

1. Для повышения надежности работы стенов фирмы Люкас Нюлле в зале «Электрические машины» кафедры «Электротехника и промышленная электроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана рекомендуется предварительно конфигурировать стенды под конкретную работу. Это исключает перекоммутацию блоков стенда в процессе выполнения работы и существенно повышает надежность работы оборудования при массовом проведении лабораторных работ.

2. Получение характеристик двигателя рекомендуется проводить в автоматическом режиме с использованием программы управления «Active Servo». Это высвобождает дополнительное время на теоретическую подготовку, составление отчета и защиту лабораторной работы.

3. Не рекомендуется ограничиваться электронной формой отчета, так как это затрудняет обработку результатов измерений, создает неудобство защиты, а у студентов по-

сле выполнения работы не остается никаких материалов, которые можно было бы использовать при подготовке к зачету или экзамену.

4. При заполнении сводной таблицы характеристик двигателя и построении графиков рекомендуется использовать приемы изменения масштаба и экспорта графических файлов в текстовый формат, предусмотренные возможностями программы управления «Active Servo».

### **Список литературы**

1. Кацман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому приводу: учеб. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования, 7-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия». 2011. 256 с.
2. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. СПб.: «Корона-Принт». 2003. 256 с.
3. Красовский А. Б., Васюков С. А. Особенности применения оборудования фирмы Лукас Нюлле в лаборатории электрических машин кафедры «Электротехника и промышленная электроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана // Инженерный вестник: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. №10. С. 1035-1060. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/635835.html> (дата обращения 1.01.2015)
4. Васюков С. А., Красовский А. Б. Опыт применения оборудования фирмы Лукас Нюлле в лаборатории электрических машин при исследовании характеристик двигателей постоянного тока // Инженерный вестник: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. №11. С. 577-600. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/637883.html> (дата обращения 1.01.2015)