

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КПД РЕДУКТОРОВ

Н.Н. Барбашов, О.О. Барышникова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация  
e-mail: barbashov83@yandex.ru; barysh-00@bmstu.ru

*Рассмотрена возможность модернизации лабораторной работы по исследованию КПД редуктора в курсе “Теория механизмов и механика машин”. Усовершенствование затрагивает процессы планирования эксперимента и его непосредственного проведения, анализа результатов с последующим выбором режимов работы, обеспечивающим максимальное значение КПД. Применение современного индуктивного датчика линейного перемещения существенно расширяет возможности процесса исследования КПД редуктора. Модернизация эксперимента позволяет за фиксированное время проведения непосредственно эксперимента выполнить существенно больше измерений, расширить спектр проведения исследования, повысить точность, провести многофакторный анализ результатов, определить область изменения исследуемых параметров для наиболее эффективного использования редукторов.*

**Ключевые слова:** редуктор, КПД, индуктивный датчик, планирование эксперимента, математическая модель, факторный эксперимент, тарировка, анализ результатов эксперимента.

## USING THE INDUCTIVE LINEAR TRANSDUCER FOR INVESTIGATION OF REDUCER EFFICIENCY

N.N. Barbashov, O.O. Baryshnikova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation  
e-mail: barbashov83@yandex.ru; barysh-00@bmstu.ru

*The possibility is considered for modernizing the laboratory work devoted to investigation of the reducer efficiency in the Theory of Mechanisms and Mechanics of Machines course. The modernization touches upon the processes of experiment planning and its direct carrying out, the analysis of results with subsequent selection of work regimes providing the maximum efficiency value. The use of the contemporary inductive linear-displacement transducer substantially extends the possibilities of the process of investigating the reducer efficiency. The experiment modernization makes it possible to perform considerably more measurements for the fixed time of conducting the experiment itself, to extent the scope of investigation, to improve the accuracy, to perform the multi-factor analysis, and to determine a range of variation of parameters under study for the most effective use of the reducers.*

**Keywords:** reducer, efficiency, inductive transducer, experiment planning, mathematical model, factorial experiment, gauging, analysis of experiment results.

Основная тенденция современного образовательного процесса в вузе — максимальная эффективность аудиторной работы. При изучении инженерной дисциплины важную роль играют лабораторные работы, так как позволяют ознакомить студентов с реальным оборудованием и приборами, продемонстрировать конструкцию лабораторной установки.

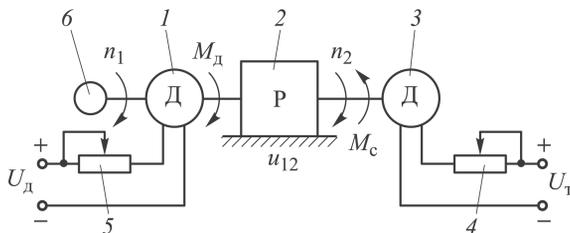


Рис. 1. Схема лабораторной установки для измерения КПД

Учитывая современные особенности образовательного процесса, необходимо в рамках лабораторной работы не только знакомить студентов с оборудованием и приборами, но и с методами формирования математических моделей, основами статистической обработки данных, современной графической интерпретацией результатов.

Одна из лабораторных работ кафедры Теория механизмов и машин называется “Исследование КПД редуктора”. Лабораторная установка состоит из электродвигателя 1, тахометра 6, исследуемого редуктора 2, порошкового электромагнитного тормоза 3 и двух регуляторов — потенциометров 4 и 5, изменяющих момент тормоза и частоту вращения электродвигателя соответственно (рис. 1). Целью работы является экспериментальное исследование изменения КПД редуктора при фиксированных оборотах электродвигателя и получение зависимости КПД редуктора от момента сопротивления, приложенного к выходному валу [1]. Поскольку КПД является величиной, зависящей от многих параметров, то при выполнении лабораторной работы сначала строят поле варьирования факторов для выбора области исследования.

На рис. 2 показано устройство для измерения момента двигателя (момент тормоза определяется аналогичным устройством). Оно состоит из опоры с подшипниками качения, которая обеспечивает возможность поворота статора 1 и ротора 2 относительно основания, измерительного рычага, опирающегося на пружину 4 и стрелочного индикатора 3 часового типа. Прогиб пружины измеряется с помощью индикатора, его значение пропорционально крутящему моменту на статоре. Момент на роторе приближенно оценивают по моменту на статоре, пренебрегая моментами трения. Для тарировки индикаторов используются грузы 5 и съемные рычаги 6.

Этот способ определения момента является простым и наглядным, но имеет и несколько недостатков. Поскольку лабораторная работа

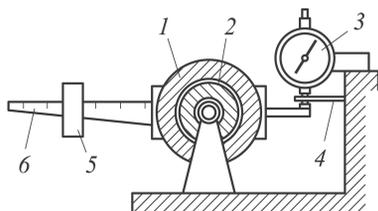


Рис. 2. Устройство для измерения момента

ограничена по времени, а полученные значения параметров записываются вручную, данное измерительное устройство позволяет провести около 30 измерений. Кроме того, на результаты измерения сильно влияют внешние факторы — колебания напряжения в сети, студенты, передвигающиеся по лаборатории, и т.д.

В процессе лабораторной работы студент знакомится с понятиями тарировки, факторного эксперимента и порядком его проведения. В данной лабораторной работе факторами являются момент сопротивления на выходном валу и частота вращения входного вала редуктора. После построения поля варьирования факторов проводится тарировка индикаторов двигателя и тормоза, данные измерений вводятся в ЭВМ и обрабатываются программой. Затем студент выбирает определенную скорость двигателя, которая поддерживается постоянной в течение эксперимента, и выполняет непосредственно эксперимент по определению КПД редуктора. Полученные данные снова вводятся в ЭВМ, и КПД рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta = \frac{M_c \omega_2}{M_d \omega_1} = \frac{M_c}{M_d u_{12}},$$

где  $M_c$  — момент сопротивления (среднее значение момента на выходном валу редуктора);  $M_d$  — движущий момент (среднее значение момента на входном валу редуктора);  $\omega_1$  и  $\omega_2$  — угловые скорости входного и выходного валов;  $u_{12}$  — передаточное отношение редуктора [2, 3].

Современные средства измерения позволяют упростить часть работы и расширить поставленные перед студентом задачи [4–10]. В целях углубления изучения зависимости КПД предлагается заменить индикаторы часового типа на индуктивный датчик линейного перемещения (рис. 3). Датчик позволяет измерять требуемый прогиб пружины, но, в отличие от индикаторов часового типа, данные сразу же передаются и обрабатываются на ЭВМ. Конструкция и вид датчика в данном случае не принципиальны, можно использовать датчики как с прямым подключением к ЭВМ, так и работающие через специализированный блок управления. Подобные датчики более точные, чем механические индикаторы, и часто применяются в современном машиностроении для автоматизации технологических процессов и контроля параметров продукции.

Использование современного датчика позволит сократить время, необходимое на считывание и ввод данных в ЭВМ, увеличить чис-



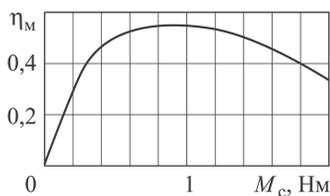
Рис. 3. Индуктивный датчик линейного перемещения фирмы Tesa

ло измерений и повысить возможности обработки результатов. Увеличение скорости измерения позволит расширить поле эксперимента и уделить больше времени анализу полученных данных. Прилагаемый к датчику программный комплекс сохраняет результаты в среде Microsoft Excel, что дает возможность при необходимости внедрять в лабораторную работу различные методы статистического анализа и выборки. Это поможет уменьшить погрешность измерений и устранить влияние внешних факторов. При наличии грубых погрешностей (например, погрешности измерения, существенно превышающей ожидаемую при данных условиях погрешность), программа автоматически исключит подобное значение из ряда исследуемых данных. В результате выполняемой программой обработки данных студенты получают более достоверную зависимость.

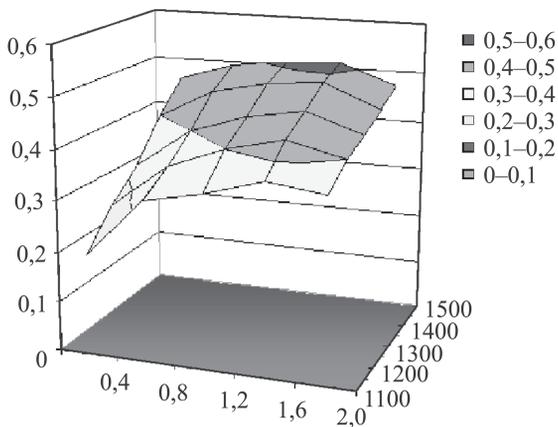
Также датчик позволит улучшить анализ результатов эксперимента: при выполнении работы студент выбирал определенное число оборотов вала электродвигателя, и исследования проводились только при одном значении — на большее число измерений просто не хватило бы времени. В итоге изучалось только влияние на КПД момента, приложенного к выходному валу (рис. 4), а область исследования представляла собой прямую линию на поле варьирования.

Применение современного датчика позволит исследовать КПД редуктора, варьируя число оборотов, так как данные моментально будут сохраняться в памяти ЭВМ. Появится возможность получить данные о значении КПД при разных числах оборотов и проанализировать полученные результаты. С помощью программы Microsoft Excel или любой другой программы студент сможет построить наглядные пространственные диаграммы с тремя осями — число оборотов электродвигателя, значение момента сопротивления и КПД редуктора. Целесообразность полученной многофакторной зависимости продемонстрирована на рис. 5, где приведены данные, полученные по результатам эксперимента в нескольких студенческих группах. Аналогичную зависимость можно получить в рамках одной лабораторной работы, используя индуктивный датчик линейного перемещения. Для студента очень важен анализ результатов: можно определить область изменения рабочих параметров, обеспечивающих максимальное значение КПД. На графике отчетливо видны область, где КПД достигает наибольших значений, и область с низким КПД, в которой применение редуктора является нерациональным.

Использование индуктивного датчика линейного перемещения позволяет:



**Рис. 4.** График исследуемой зависимости КПД редуктора от нагрузки на выходном валу



**Рис. 5. Диаграмма зависимости КПД редуктора от числа оборотов электродвигателя и момента сопротивления**

1. Качественно выполнить работу при минимальных затратах на переоборудование экспериментальной установки.
2. Ознакомить студентов с современным измерительным прибором.
3. Повысить точность эксперимента.
4. Выполнить большой объем работ, не увеличивая времени лабораторной работы.
5. Расширить диапазон эксперимента.
6. Провести анализ результатов на более высоком уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лабораторный практикум по теории механизмов и машин: методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Теория механизмов и механика машин”* / В.Б. Тарабарин, В.В. Кузенков, Ф.И. Фурсяк М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 96 с.
2. *Теория механизмов и машин: учеб. для вузов* / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. / под ред. К.В. Фролова. М.: Высш. шк., 1987. 495 с.
3. *Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
4. *Назаров Н.Г.* Метрология. Основные понятия и математические модели. М.: Высш. шк., 2002. 348 с.
5. *Ларсен Р.У.* Инженерные расчеты в Excel / пер с англ. В.Н. Романов; под ред. В.Н. Романова М.: Вильямс, 2002. 539 с.
6. *Рыжов С.Н.* Об интернет-сайтах компаний-производителей датчиков // Датчики и системы. 2008. № 12. С. 41–44.
7. *Индукционный датчик расстояния / Induktiver Wegaufnehmer. Technica (Suisse).* 1996. 45. No. 5. S. 35.
8. *Индуктивные малогабаритные датчики для измерения расстояний / Distanzmessung kompakt verpackt. F+H Rept.* 2009–2011. S. 41.
9. *Baumer Electric AG, Швейцария.* Индуктивный датчик перемещения / Induktive Wegaufnehmer. Technica (Suisse). 2002. 51. No. 20. S. 53.
10. <http://www.tesabs.ch/ru/retailers/index.php?idIndex=134> — Каталог фирмы Tesa.

## REFERENCES

- [1] Tarabarin V.B., Kuzenkov V.V., Fursyak F.I. *Laboratorynyy praktikum po teorii mekhanizmov i mashin: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam po distsipline "Teoriya mekhanizmov i mekhanika mashin"* [Laboratory practicum on the theory of mechanisms and machines: laboratory operations manual on the educational discipline "Theory of mechanisms and machines mechanics"]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2009. 96 p.
- [2] Frolov K.V., Popov S.A., Musatov A.K., Lukichev D.M., eds. *Teoriya mekhanizmov i mashin: uchebnik dlya vtuzov* [The theory of mechanisms and machines: Textbook for technical universities]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1987. 495 p.
- [3] Yakushev A.I., Vorontsov L.N., Fedotov N.M. *Vzaimozamenaemost', standartizatsiya i tekhnicheskie izmereniya* [Standardization and technical measurements]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 352 p.
- [4] Nazarov N.G. *Metrologiya. Osnovnye ponyatiya i matematicheskie modeli* [The main concepts and mathematical models]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2002. 348 p.
- [5] Larsen Ronald W. *Engineering with Excel. 4th Edition.* Pearson Higher Ed USA. 2012. 720 p. (Russ. ed.: Larsen R.U. *Inzhenernye raschety v Excel.* Vil'yams Publ., 2002. 539 p.)
- [6] Ryzhov S.N. On websites manufacturers sensors. *Datchiki i sistemy* [Sensors and systems]. 2008, no. 12, pp. 41–44 (in Russ.).
- [7] Induktiver Wegaufnehmer. *Technica* [Technics]. Baumer Electric AG. Suisse, 1996, i. 45, no. 5, p. 35 (in Gem.).
- [8] Distanzmessung kompakt verpackt. *F + H Rept*, 2009, i. 201, p. 41 (in Gem.).
- [9] Induktive Wegaufnehmer. *Technica* [Technics]. Baumer Electric AG. Suisse, 2002, i. 51, no. 20, p. 53 (in Gem.).
- [10] TESA GROUP catalog. Available at <http://www.tesabs.ch/ru/retailers/index.php?idIndex=134> (accessed 02.02.2014).

Статья поступила в редакцию 23.09.2013

Барышникова Ольга Олеговна — канд. техн. наук, доцент кафедры “Теория механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 100 научных работ в области создания робототехнических комплексов.  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

O.O. Baryshnikova — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Theory of Mechanisms and Machines” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of about 100 publications in the field of robotic complex development.  
Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Барбашов Николай Николаевич — ассистент кафедры “Теория механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 10 научных работ в области планирования эксперимента, повышения качества волновых передач.  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

N.N. Barbashov — assistant lecturer of “Theory of Mechanisms and Machines” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 10 publications in the field of planning of experiment, improvement of wave gear quality.  
Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.