

---

УДК 620.179.14

**БЕСКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАТЯЖЕНИЯ  
СТАЛЬНОГО ТРОСА**  
*NONCONTACT TENSION METER OF STEEL WIRE ROPE*

Чернышев А.В.  
*Chernyshev A.V.*

В статье приведены данные об электромагнитном приборе, основанном на методе высших гармонических составляющих, позволяющем определять натяжение стального троса бесконтактным способом.

*The article presents data about the electromagnetic device based on the method of higher harmonic components, which allows to determine the tension steel wire rope without contact.*

Для контроля натяжения троса применяются контактные механические устройства, принцип действия которых состоит в том, что трос изгибается на некотором его участке под действием приложенной к нему силы определенной величины, направленной перпендикулярно его продольной оси, и по величине прогиба судят о натяжении. Как показали исследования, определять натяжение троса можно бесконтактным способом на основе использования магнитоупругого эффекта. Сущность этого эффекта состоит в изменении намагниченности ферромагнитного образца при его деформации под действием внешней силы. Связано это с тем, что основные взаимодействия магнитных моментов атомов (ионов) в ферромагнетике, такие как обменное взаимодействие, магнитное диполь-дипольное взаимодействие, взаимодействие магнитных моментов с внутрикристаллическим полем, зависят от расстояния между ними. Намагничивание кристалла изменяет характер этого взаимодействия, что проявляется в изменении расстояний между атомами (ионами), макроскопически это проявляется в деформации образца, что называется магнито-стрикцией. С другой стороны, изменение расстояния между атомами (ионами) кристаллической решетки ферромагнетика под действием приложенной к образцу внешней силы изменяет силу взаимодействия между магнитными моментами атомов (ионов), что приводит к изме-

нению его магнитных параметров. Например, под действием приложенного к ферромагнитному образцу механического напряжения могут наблюдаться изменения формы кривой первоначального намагничивания, основной кривой намагничивания, магнитной проницаемости, остаточной намагниченности, коэрцитивной силы, параметров магнитного шума. Если ферромагнитный образец перемагничивается по частному гистерезисному циклу, то под действием приложенного к нему напряжения его форма также может изменяться (см., например, [1]). При перемагничивании ферромагнетика по частному гистерезисному циклу переменным внешним магнитным полем  $H$ , изменяющимся по гармоническому закону с угловой частотой  $\omega$ , магнитная индукция, ввиду нелинейной зависимости ее от  $H$ , изменяется во времени уже по закону, отличному от гармонического. В результате в частотном спектре этого сигнала будут присутствовать высшие гармонические составляющие с частотами  $3\omega$ ,  $5\omega$  и т.д. (имеется в виду симметричный частный цикл). Изменение формы частного цикла под действием приложенного к образцу механического напряжения приводит к изменению амплитуд и фаз высших гармонических составляющих магнитной индукции относительно значений, которые были до приложения напряжения. Это является физической основой, позволяющей контролировать приложенное к ферромагнитному образцу механическое напряжение на основе анализа высших гармонических составляющих, наводимых в измерительном преобразователе переменным полем магнитной индукций ферромагнетика.

### **Контроль механических напряжений при помощи метода высших гармонических составляющих**

На зависимость амплитуд высших гармонических составляющих магнитной индукции от приложенного к стальному образцу внешнего растягивающего напряжения указано в [2] (измерялись амплитуды третьей и пятой гармонических составляющих). При этом отметим, что при измерениях магнитной индукции вдоль вектора приложенной к образцу внешней силы (образец имел вид узкой полоски, помещенной в разрывную машину) зависимость амплитуд высших гармоник от приложенного механического напряжения  $\sigma$  имеет неодно-

значный характер. Сначала, по мере увеличения  $\sigma$  от нулевого значения, амплитуды гармоник также возрастают, при дальнейшем увеличении  $\sigma$ , после достижения некоторого максимального значения, амплитуды гармоник убывают. В качестве намагничивающего устройства применялся П-образный магнитопровод. Аналогичный характер зависимости амплитуды третьей гармоники от  $\sigma$  наблюдался авторами работы [3], стальной образец в виде прутка перематывался по лем проходного преобразователя. Указанная неоднозначность делает невозможным контроль величины напряжения, приложенного к стальному образцу, на основе измерения амплитуды одной из высших гармонических составляющих магнитной индукции при относительно большом диапазоне изменения величины  $\sigma$ .

Устранить указанную неоднозначность при контроле натяжения стального троса удалось на основе контроля параметров нескольких высших гармонических составляющих вторичной ЭДС проходного преобразователя, через который проходит трос. Через катушку возбуждения преобразователя пропускается переменный ток синусоидальной формы (частотой порядка 2 кГц), анализируются высшие гармонические составляющие ЭДС измерительной катушки преобразователя, расположенной соосно с катушкой возбуждения. После анализа сигналов гармоник при помощи микроконтроллера определяется измеряемый параметр  $n$ , по величине которого судят о натяжении троса.

Сначала рассмотрим результаты измерения параметра  $n$ , когда измерения проводились на одной стальной проволоке диаметром 0,25 мм, взятой из троса. Экспериментально определялась зависимость величины относительного приращения  $m = \frac{\Delta n}{n}$  параметра  $n$  от относительного приращения  $E = \frac{\Delta L}{L}$  длины проволоки  $L$ , где  $n$  и  $L$  – значения параметра и длина проволоки до ее деформации. К проволоке прикладывалось растягивающее напряжение, исследования проводились в области упругой деформации. Результаты измерений представлены на рисунке 1. Видно существенное изменение параметра  $m$  в процессе растяжения проволоки (величина  $n$  уменьшается в 55 раз при удлинении проволоки на 3,45% относительно первоначальной длины).

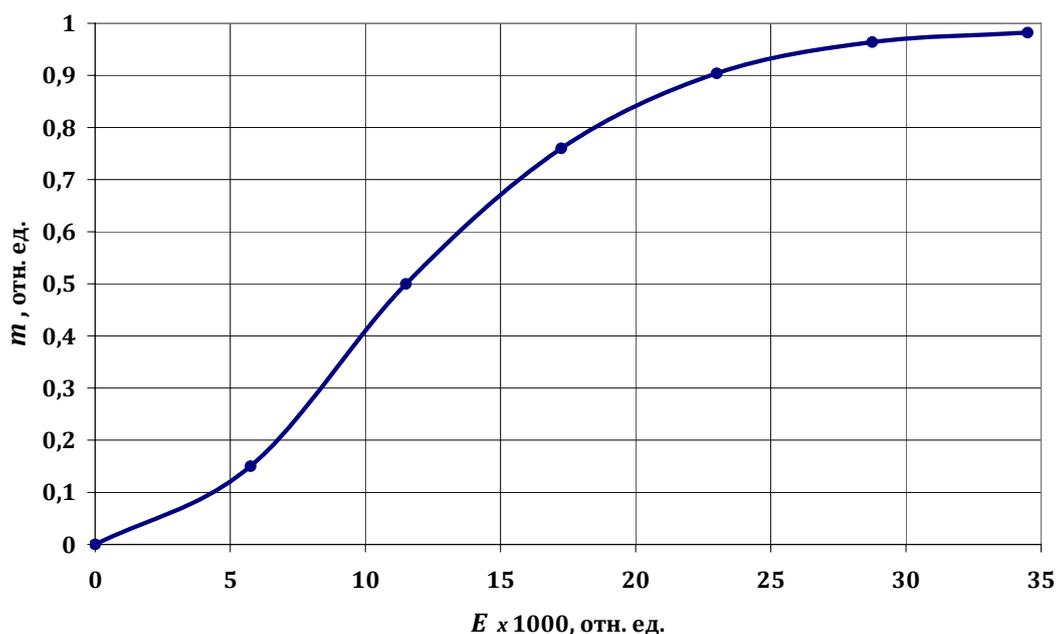


Рис. 1. Зависимость  $m$  от  $E$  для проволоки диаметром 0,25 мм

Теперь рассмотрим результаты измерений на стальных тросах. При этом приведем зависимости параметра  $n$  от растягивающей силы  $F$ , приложенной к тросу. На рисунке 2 приведена такая зависимость, полученная при измерениях на тросе диаметром 1,9 мм.

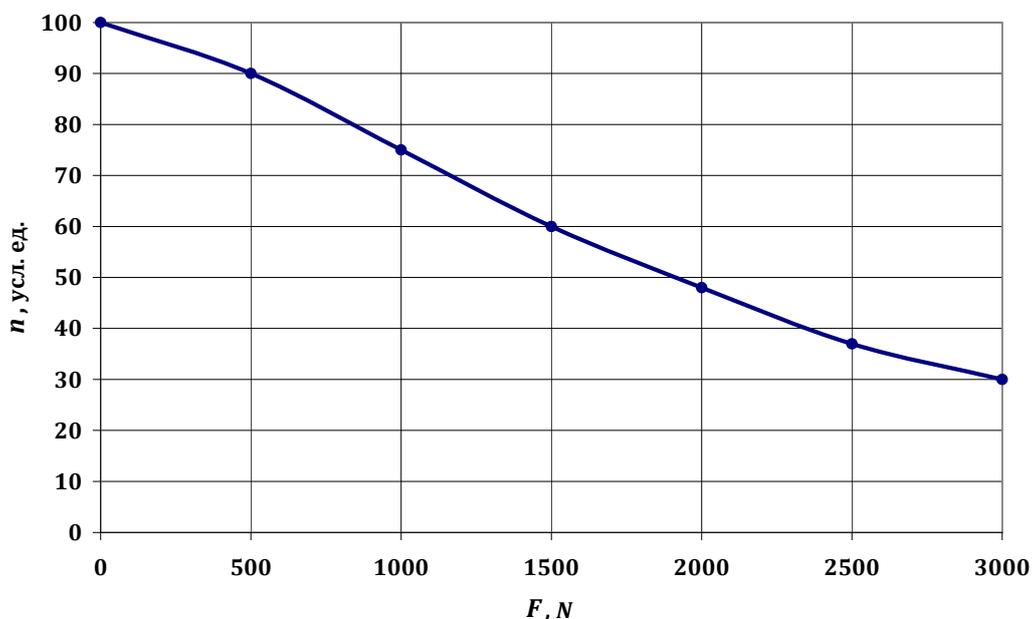


Рис. 2. Зависимость параметра  $n$  от  $F$  при измерениях на тросе диаметром 1,9 мм

Из рисунка 2 видно, что величина параметра  $n$  однозначно зависит от силы, прикладываемой к тросу, при этом имеется относительно высокая чувствительность этого параметра к величине  $F$ .

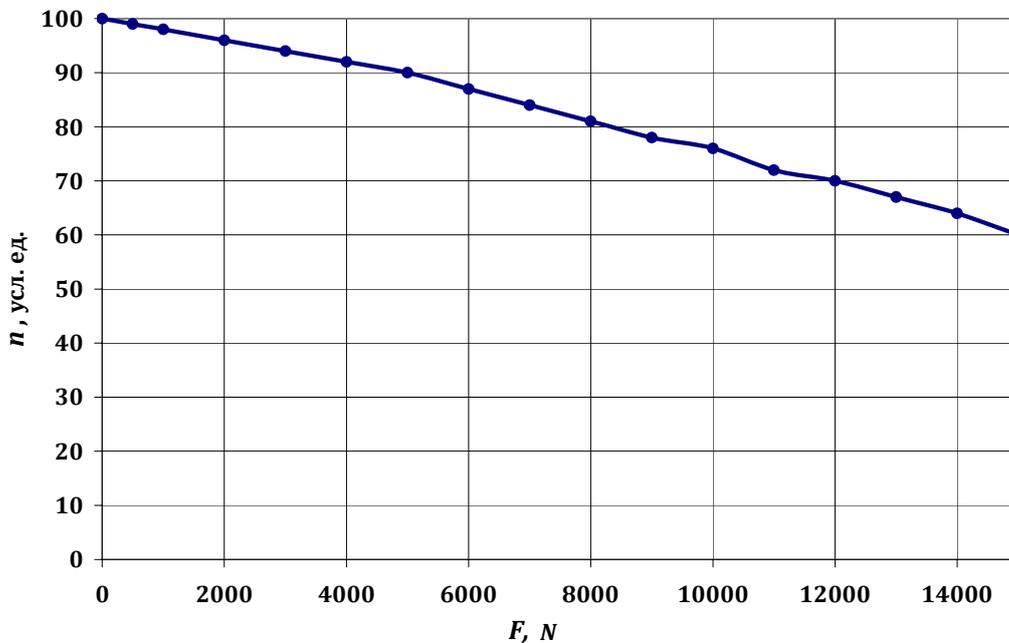


Рис. 3. Зависимость параметра  $n$  от  $F$  при измерениях на тросе диаметром 7 мм

На рисунке 3 приведена зависимость параметра  $n$  от  $F$  при измерениях на тросе диаметром 7 мм. Видно, что в этом случае чувствительность параметра  $n$  к изменениям  $F$  меньше, чем в случае более тонкого троса. Объясняется это различием механических напряжений, достигаемых в проволоках тросов в этих двух случаях. Из рисунка 3 также видно, что зависимость  $n$  от  $F$  в рассматриваемом диапазоне изменения  $F$  близка к линейной и, в отличие от контроля по одной гармонической составляющей сигнала, является однозначной.

### Заключение

На основе полученных результатов в Институте прикладной физики НАН Беларуси разработан прибор типа ИНТМ-1 для бесконтактного контроля натяжения стальных тросов. Внешний вид прибора представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Прибор ИНТМ-1 для бесконтактного контроля натяжения стальных тросов

Перед проведением измерений необходимо для контролируемого троса построить калибровочную кривую, представляющую собой определяемую экспериментально зависимость показаний прибора  $n$  от приложенной к тросу силы. После этого по показаниям прибора можно проводить контроль силы, приложенной к тросу, а точнее – величину механического напряжения в проволоках, из которых он состоит. Контроль натяжения троса можно проводить как в статическом состоянии, так и при его движении.

### Литература

1. Atherton, D. L. / The effects of stress on a ferromagnet on a minor hysteresis loop / D.L. Atherton, Vi Ton // IEEE Trans. on Magn. – 1990. – Vol. 26, № 3. P. 1153-1159.
2. Шель, М.М. Измерение напряжений магнитоупругим методом на магнитотвердых сталях / М.М. Шель // Заводская лаборатория. – 1967. – Т. 28, № 3. С.
3. Чернышев, А.В. Контроль интенсивности деформации листового материала при помощи высших гармонических составляющих / А.В. Чернышев, Н.О. Гусак, Н.Н. Зацепин, А.Ф. Осипов, П.В. Ямный // Известия АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 1994. – № 4. С. 75-79.

*Статья поступила в редакцию 18.09.12*