

Настоящие методические указания к лабораторным работам по курсу «Основы научных исследований» предназначены для студентов направления подготовки 151000 Технологические машины и оборудование, квалификации (степени) бакалавра.

Составители: канд. техн. наук, доц. Р.Р. Алешин,

канд. техн. наук, проф. В.И. Суриков

Научный редактор д-р техн. наук, проф. В.А. Суров

Введение.

Целью работы является закрепление студентами знаний раздела курса ОНИ по экспериментальному определению крутящих моментов электрическим и механическим методом. Электрический метод рассмотрен на примере определения крутящего момента в переднем цилиндре вытяжного прибора кольцепрядильной машины. Механический метод рассмотрен на примере определения крутящего момента, необходимого для вращения веретена прядильной машины. Одновременно студенты знакомятся со стробоскопическими приборами измерения частоты вращения звеньев.

1. Измерение крутящих моментов электротензометрическим методом.

1.1 Теоретическая часть

Электротензометрические методы исследований нашли широкое распространение при исследовании технологических машин. Методами электротензометрии можно измерять широкий круг параметров работы машин, в том числе крутящие моменты и мощности, потребляемые отдельными органами машин.

Явление тензоэффекта, на котором основано использование тензорезисторов, состоит в изменении сопротивления проводника при механической деформации.

Относительное изменение сопротивления проволоки тензорезистора определяется по формуле [1]

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon, \quad (1)$$

где ΔR – приращение сопротивления проволоки от растяжения, Ом;

R – начальное сопротивление проволоки, Ом;

K – коэффициент чувствительности тензорезистора;

ε – относительная деформация проволоки в направлении её оси.

Для повышения точности измерения изменения сопротивления и расширения возможностей экспериментов используется мостовая схема соединения резисторов (рис 1,а).

При измерении крутящего момента, приложенного к валу, тензорезисторы следует наклеивать вдоль линии, составляющих с осью стержня угол 45° , поскольку максимальные деформации растяжения и сжатия при кручении вала создаются на его поверхности вдоль винтовых линий, расположенных под углом 45° к оси вала (рис.1б). Более желательны схемы полного моста (рис.1а), в которых можно получить большой сигнал, исключить изгибные и нормальные напряжения и одновременно обеспечить термокомпенсацию.

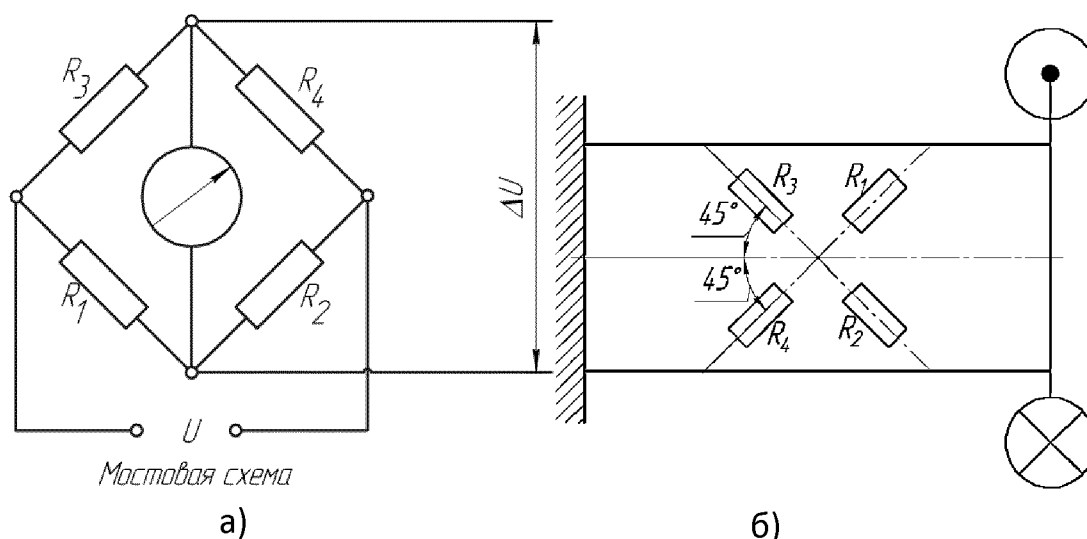


Рис. 1 Схема включения и установки тензорезисторов

В рабочих режимах эксплуатации напряжения в элементах конструкции подчиняются закону Гука, в этом случае касательные напряжения рассчитываются по формуле:

$$\tau = G \gamma \quad (2)$$

где τ – касательное напряжение;

G – модуль упругости при сдвиге;

γ – угол поворота.

Изменения угла γ поворота вызывает пропорциональное изменение линейных размеров волокна.

Относительная деформация тензорезистора ε , наклеенного под углом 45° к оси стержня равна [3]:

$$\varepsilon = \frac{\tau}{2G}. \quad (3)$$

Решая уравнение (1) и (3), получим:

$$\frac{\tau}{2G} = \frac{\Delta R/R}{K} \quad (4)$$

Для схемы полного моста при четырех активных тензорезисторах относительное изменение сопротивления тензорезисторов равно [2]:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V}{U}, \quad (5)$$

а для схемы полумоста относительное изменение сопротивления равно:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{2\Delta V}{U}, \quad (6)$$

где U – напряжение питания моста;

ΔV – напряжение на измерительной диагонали моста.

Тогда расчетные формулы для определения напряжения кручения примут вид:

$$\tau_{(2)} = 4 \frac{G}{KU} \Delta V, \quad (7)$$

$$\tau_{(4)} = 2 \frac{G}{KU} \Delta V, \quad (8)$$

соответственно при двух и четырех тензорезисторах.

Таким образом, измерив напряжение на диагонали моста ΔV , можно по известным K , U и G определить касательные напряжения.

Крутящий момент M можно найти, по известному касательному напряжению поскольку

$$M_k = \tau * W_p,$$

где W_p – полярный момент сопротивления, в случае круглого сечения

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (9)$$

При экспериментальном определении крутящих моментов на валах передача сигнала с вращающихся тензорезисторов на усилитель осуществляется токосъемом или наматыванием проводников на вращающуюся деталь.

Мощность, потребляемую исполнительным механизмом, приводимым в движение вращающимся валом, находим по формуле

$$N = M_k * w = \frac{M_k n}{9,55} \text{ Вт}, \quad (10)$$

где w – угловая скорость вращающегося вала, с^{-1} ;

n - число оборотов вала, об/мин.

1.2 Тарировка тензорезисторов

Для определения масштабного коэффициента осциллограммы по оси ординат (ось, по которой записывается изменение крутящего момента) проводим тарировку тензорезисторов. Тарировка состоит в том, что деталь нагружают известной силой P (рис. 2) и определяют расчетным путем соответствующий крутящий момент

$$M_k = P * l, \quad (11)$$

и напряжение кручения в известном сечении

$$\tau = \frac{M_k}{W_p}, \quad (12)$$

где P - тарировочные грузы;

l - длина тарировочного рычага.

При этом на осциллографе производят запись отклонения луча, соответствующего данному напряжению. Зная отклонения луча, определяют масштаб, с помощью которого и выполняют расшифровку осциллограммы.

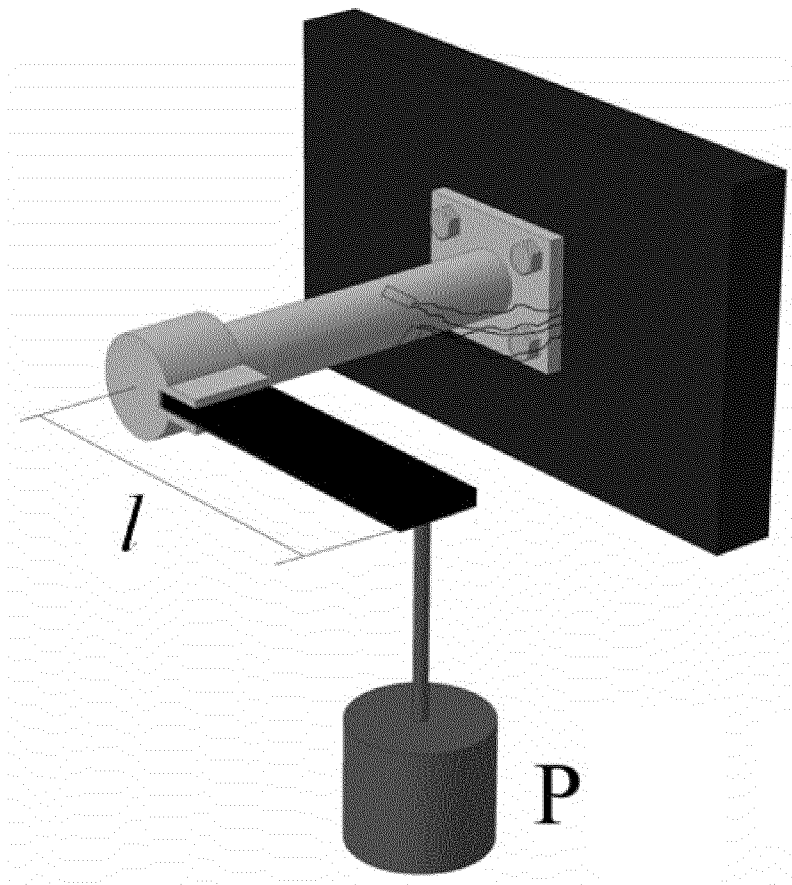


Рис. 2 Схема установки для тарировки тензорезисторов

1.3 Последовательность тарировки

1. Уравновесить измерительный мост и, убедившись в нулевом потенциале измерительной диагонали, включить осциллограф.
2. Заснять процесс на осциллограф (в течении 3-4 с):
 - а) при наличие нулевого потенциала в измерительной диагонали
 - б) при установке на тарировочном рычаге грузов известной силы тяжести ($P_1, P_2, P_3 \dots P_6$).
3. Отключить осциллограф после проведения тарировки.
4. По полученной осциллограмме построить тарировочный график.

1.4 Порядок проведения эксперимента

1) Подсоединить концы от тензодатчиков R_1 и R_2 (рис.2), измеряющих напряжение кручения в цилиндре I, к входному каналу осциллографа (через усилитель).

2) Перейти в окно записи сигнала.

3) Убедившись в нулевом потенциале исследуемого процесса, включить запись на осциллографе.

4) Включить двигатель кольцепрядильной машины и пустить её в работу (на 2-3 с).

5) Сохранить информацию об изменении крутящего момента в переднем цилиндре вытяжного прибора кольцепрядильной машины, в формате .txt.

6) Выключить все тумблеры на усилителе и осциллографе, отключить от сети все приборы.

7) Обработать полученную зависимость.

1.5 Обработка осциллограммы

Записи, полученные с помощью осциллографа, всегда должны изображать регистрируемый процесс в функции времени, поэтому на осциллограмме наряду с регистрацией крутящего момента, записываются отметки времени.

Ось времени располагается вдоль осциллограммы и является абсциссой графика. Изменение крутящего момента записывается по оси ординат.

Обработка осциллограммы сводится к определению масштабных коэффициентов по осям, абсолютных значений крутящего момента и анализу исследуемого процесса.

Масштабный коэффициент напряжения определяют по формуле:

$$M_{\tau} = \frac{\tau}{h} = \frac{M_k / W_p}{h} = \frac{Pl / W_p}{h}, \quad (13)$$

где τ - напряжение кручения в цилиндре от силы тяжести P тарировочного груза ($P=1, 2, 3, 4, 5$ и 6 кг);

h - ордината на осциллограмме, соответствующая данному напряжению.

Масштабный коэффициент времени

$$M_t = \frac{m}{f \cdot B} = \frac{1}{V}, \quad (14)$$

где m - число отметок времени за цикл;

B - расстояние на записи между метками соответствующими одному обороту вала, мм;

f - частота отметчика времени, s^{-1} ;

V - скорость движения пленки, мм/с.

1.6 Порядок выполнения работы

1) Ознакомится со схемой наклейки и включения тензорезисторов для записи крутящего момента (п.1.1).

2) Выполнить тарировку тензорезисторов (п.1.2-1.3).

3) Произвести запись на осциллограф изменения крутящего момента (п.1.4).

4) Обработать осциллограмму: определить масштабные коэффициенты напряжений и времени, абсолютное значение крутящего момента (п.1.5).

5) Замерить частоту вращения переднего вытяжного цилиндра и определить мощность, затрачиваемую на вращение I-й линии цилиндров (уравнение 10).

2. Измерение крутящих моментов механическим методом.

2.1 Описание установки.

В механическом динамометре для измерения крутящих моментов имеются два шкива: ведущий и ведомый, которые связаны между собой упругим элементом. В зависимости от величины передаваемого крутящего момента происходит относительный поворот шкивов, который определяется по шкале.

На рис.3 дана принципиальная схема динамометра для определения крутящих моментов при вращении веретен, крутильно-формирующих камер, центрифуг и т.д. От двигателя 2 с помощью шкивов 12, 10 и ремня 11 вращения передается валу 9, в верхней части которого на шарикоподшипнике свободно посажен приводной шкив 5. Шкив 10 связан со шкивом 5 торсионом 8, через который и передается момент к приводному органу – веретену 7, к центрифуге и т.д. Передача от шкива 5 к веретену осуществляется тесьмой 6, натяжение которой достигается благодаря тому, что всё устройство укреплено в подвижной каретке 3, которая оттягивается грузом 1. Относительный поворот шкива 5 по отношению к валу 9 зависит от передаваемого момента M_k и определяется с помощью стробоскопа по шкале 4.

Определив угол поворота торсиона, находим величину передаваемого момента по формуле [3]

$$M_k = \frac{G I_p}{l} * \varphi, \quad (15)$$

где G - модуль сдвига материала торсиона;

I_p - полярный момент инерции поперечного сечения торсиона;

$G * I_p$ - жесткость поперечного сечения торсиона при кручении;

l - длина торсиона;

φ - угол закручиваний торсиона.

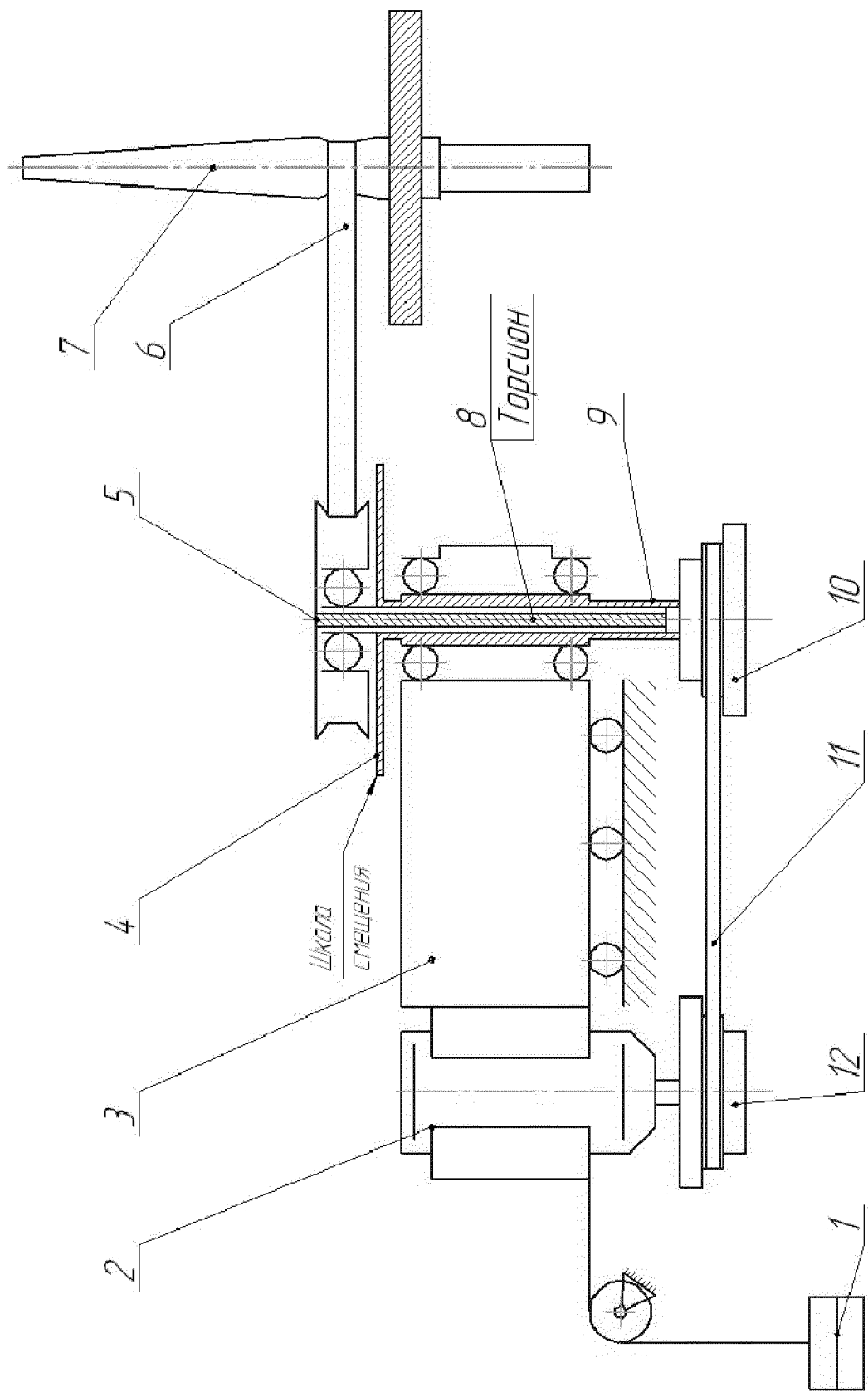


Рис. 3 Схема установки для измерения крутящего момента

При расчете в единицах СИ:

$$[M_k] = [H * м];$$

$$[l] = [м];$$

$$[G] = \left[\frac{H}{м^2} \right];$$

$$[I_p] = [м^4].$$

В механическом динамометре торсион выполнен в виде бруса прямоугольного сечения.

В теории кручения брусьев некруглого профиля гипотеза плоских сечений неприменима, так как после деформации поперечные сечения таких брусьев не остаются плоскими и деформируются, т.е. искривляются, принимая форму криволинейной поверхности.

Задача о кручении брусьев некруглого профиля решается методами теории упругости. В пределах упругих деформаций крутящий момент можно вычислить по формуле, аналогичной по своей структуре формуле (15) для круглого профиля, но с заменой I_p на I_k

$$[M_k] = \frac{GI_k}{l} \varphi, \quad (15')$$

где I_k - геометрическая характеристика жесткости торсиона при кручении, равная [3].

$$I_k = \beta h b^3, \quad (16)$$

где h и b - размеры поперечного сечения торсиона;

β - коэффициент, зависящий от отношения h / b (табл.6.1.[3]).

Мощность необходимую для вращения вала, определяем по формуле

$$N = M_k w = \frac{M * n}{9,55} \text{ Вт}, \quad (17)$$

где n - число оборотов приводного шкива, об/мин.

2.2 Стробоскопический прибор для измерения числа оборотов и угла закручивания тормозов

В механическом динамометре (рис.3) приводной шкив 5 и шкала 4 вращается, поэтому невозможно определить угол поворота шкива относительно шкалы. Чтобы замерить угол относительного поворота, надо создать иллюзии неподвижности вращающихся звеньев. Иллюзия неподвижности вращающихся деталей создается стробоскопическими приборами. Принцип действия стробоскопического прибора заключается в том, что совершающее периодическое движение тела (шкива) освещается импульсами света и делается видимым в отдельные, очень малые по сравнению с периодом колебаний тела, промежутки времени. Если частота импульсов света f_1 совпадает с частотой движения тела f , то тело кажется остановившимся. Зная частоту вспышек, можно определить частоту вращения тела.

Главное достоинства стробоскопа – возможность измерения угловых скоростей вращения тел без контакта с объектом измерения. Кроме этого, иллюзия неподвижности вращающихся деталей позволяет, в нашем случае определить угол поворота шкива относительно шкалы – угол закручивания торсиона.

2.3 Тарировка динамометра

Чувствительным элементом динамометра является торсион. Зависимость между передаваемым крутящим моментом и углом закручивания торсиона выражается линейной функцией

$$M_k = \frac{G I_k}{l} \varphi = a \varphi, \quad (18)$$

$$a = \frac{G I_k}{l}, \quad (19)$$

где a – постоянный коэффициент,

l – длина торсиона.

Графиком линейной функции служит прямая линия. Целью тарировки является определение углового коэффициента этой прямой. Коэффициент a можно определить аналитическим и экспериментальным методом.

При аналитическом определении коэффициента нужно по известным размерам торсиона вычислить момент инерции торсиона по уравнению (16), а затем, зная модуль сдвига материала торсиона и его длину вычислить коэффициент a .

При экспериментальном определении коэффициента нужно прикладывать к шкиву 5 известные крутящие моменты и замерять по шкале 4 угол закручивания торсиона.

По полученным данным необходимо построить тарировочный график $M_k = M_k(\varphi)$, где угловой коэффициент равен тангенсу угла, под которым она наклонена к оси абсцисс.

Так как M_k и φ размерные, то угловой коэффициент имеет размерность Н×м при расчете в единицах СИ.

2.4 Порядок выполнения работы

1) Ознакомится с устройством и принципом действия механического динамометра.

2) Произвести тарировку динамометра аналитическим и экспериментальным методом.

3) Соединить приводной шкив 5 динамометра с веретеном тесемочной передачи (рис.3)

4) Включить двигатель динамометра и определить с помощью стробоскопа частоту вращения приводного шкива и угол закручивания торсиона.

5) По тарировочному графику определить крутящий момент торсиона, соответствующий замеренному углу закручивания торсиона.

6) Определить упругие характеристики торсиона и по уравнению (15') найти крутящий момент торсиона.

7) Сравнить величину крутящего момента, полученную аналитически и экспериментально.

8) Измерить частоту вращения веретена и по уравнению (17) найти мощность, необходимую для вращения веретена. Потребляемую мощность определить для 3-х случаев:

- для веретена с пустым патроном;
- для веретена с початком диаметром $D_{cp} = D_{max}/2$;
- для веретена с початком.

9) По полученным данным построить график зависимости потребляемой мощности от диаметра початка.

Литература

1. Макаров А.И. Основы проектирования текстильных машин [Текст]/под ред. А.И. Макарова. М.: Машиностроение, 1976. – с.416.
2. Новицкого П.В. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст]/под ред. П.В. Новицкого. - Л.: Энергия, 1975. – с.576.
3. Любошиц М.И. Справочник по сопротивлению материалов. [Текст]/ М.И.Любошиц, Г.М. Ицкович– Минск: Высш. школа, 1969. – 464 с.

Измерение крутящих моментов

Методические указания для студентов направления подготовки 151000
Технологические машины и оборудование
дневной и заочной форм обучения

Составители:	Рустем Равилевич Алешин Владимир Иванович Суриков
Научный редактор	В. А. Суров
Редактор	_____
Корректор	_____

Редакционно-издательский отдел

Ивановской государственной текстильной академии

Копировально-множительное бюро

153000 г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 21

Подписано в печать _____

Формат 1/16 60×84.

Бумага писчая.

Плоская печать.

Усл. печ. л. 1.

Уч. изд. л. ____.

Тираж 60 экз.

Заказ №
