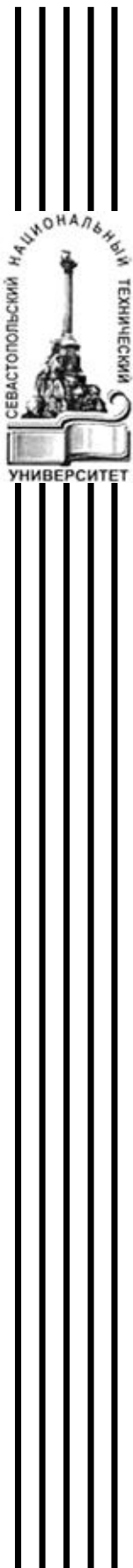


Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ МОСТОВЫМИ СХЕМАМИ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Основы метрологии»
для студентов направления подготовки 050201
«Системная инженерия»
дневной и заочной форм обучения

Севастополь
2013



УДК 621.317

Исследование метода измерения сопротивлений мостовыми схемами: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Основы метрологии» для студентов направления подготовки 050201 «Системная инженерия» дневной и заочной форм обучения / Разраб. С.П. Быков, В.В. Чмут–Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013.- 14 с.

Целью методических указаний является обеспечение наглядного изучения принципов построения одинарно-двойных мостов постоянного тока с ручным уравниванием, предназначенных для измерения сопротивлений резисторов; приобретение студентами практических навыков обработки полученных экспериментальных результатов.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 050201 «Системная инженерия» дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры технической кибернетики, протокол № 5 от 21.02.2013 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент:

Кудрявченко И.В., к.т.н., доцент кафедры ИС

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	4
2. Краткие теоретические сведения	4
3. Описание лабораторной установки	7
4. Порядок выполнения экспериментальных исследований	8
5. Порядок выполнения теоретических расчетов	10
6. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы	12
7. Контрольные вопросы	13
Библиографический список	14

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является углубление и закрепление полученных теоретических знаний по измерительным мостам, принципам построения одинарно-двойных мостов постоянного тока с ручным уравниванием (на примере моста Р329) и особенностям их применения для измерения сопротивлений резисторов.

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо экспериментально подтвердить положение о том, что точность измерения малых сопротивлений одинарным мостом значительно хуже, чем при использовании двойного моста.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерительные мосты - приборы, которые строятся на основе метода сравнения с мерой и используются для измерения различных физических величин (сопротивлений, индуктивностей, емкостей и т.д.). На основе мостовых схем также строятся приборы для измерения неэлектрических величин (температур, перемещений, давлений и т.д.).

Обычно для измерения сопротивлений средней и малой величины применяют комбинированные одинарно-двойные мосты постоянного тока.

2.1. На рисунке 1 приведена принципиальная схема одинарного моста.

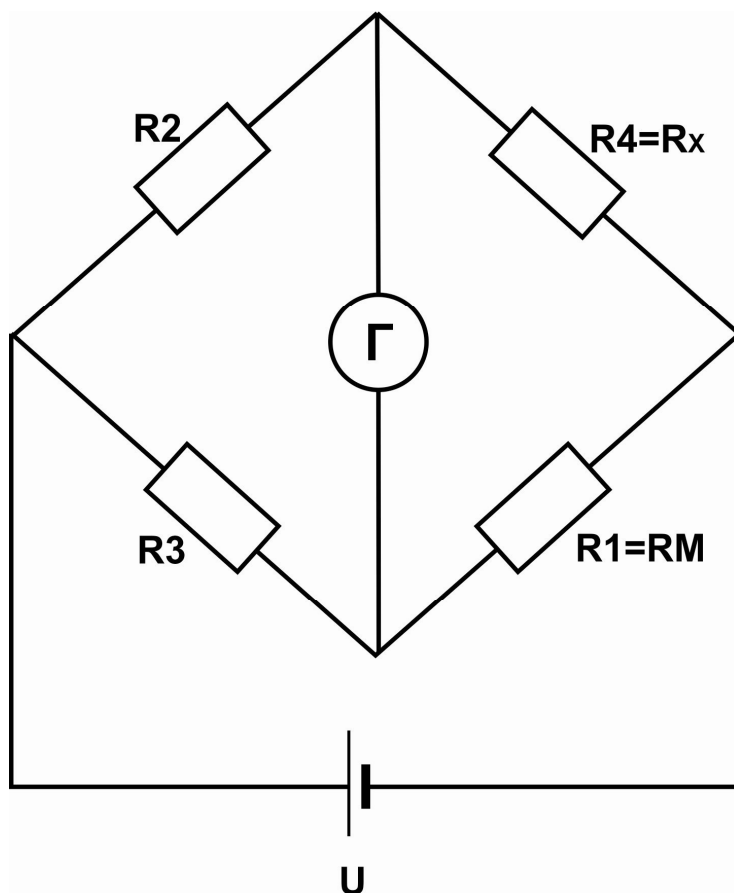


Рисунок 1 - Принципиальная схема одинарного моста

В уравновешенных одинарных мостах постоянного тока напряжение и ток в диагонали индикатора равновесия равны нулю при любом напряжении U в диагонали питания. Равновесие моста обеспечивается при выполнении условия:

$$R_1 R_2 = R_3 R_4. \quad (1)$$

Если неизвестное сопротивление $R_x = R_4$, то из соотношения (1) следует:

$$R_x = \frac{R_2}{R_3} R_1. \quad (2)$$

Одинарный мост применяют для измерения сопротивлений в диапазоне от 10 до 10^6 Ом. После уравновешивания моста результат измерения определяют с помощью выражения (2). В широкодиапазонных одинарных мостах плечо сравнения (R_1) изготавливают в виде многодекадного магазина сопротивлений. Плечи отношений (R_2 , R_3) выполняют в виде штепсельных магазинов сопротивлений, которые могут принимать значения 10 , 100 , 1000 и 10000 Ом.

При измерении весьма малых сопротивлений одинарным мостом могут возникать значительные погрешности из-за сопротивлений соединительных проводов в зависимости от того, где подключается гальванометр Γ . Этого недостатка лишены двойные мосты.

2.2 Двойные мосты получили распространение при измерении малых сопротивлений, так как влияние соединительных проводов и контактов в них минимально. Схема двойного моста показана на рисунке 2.

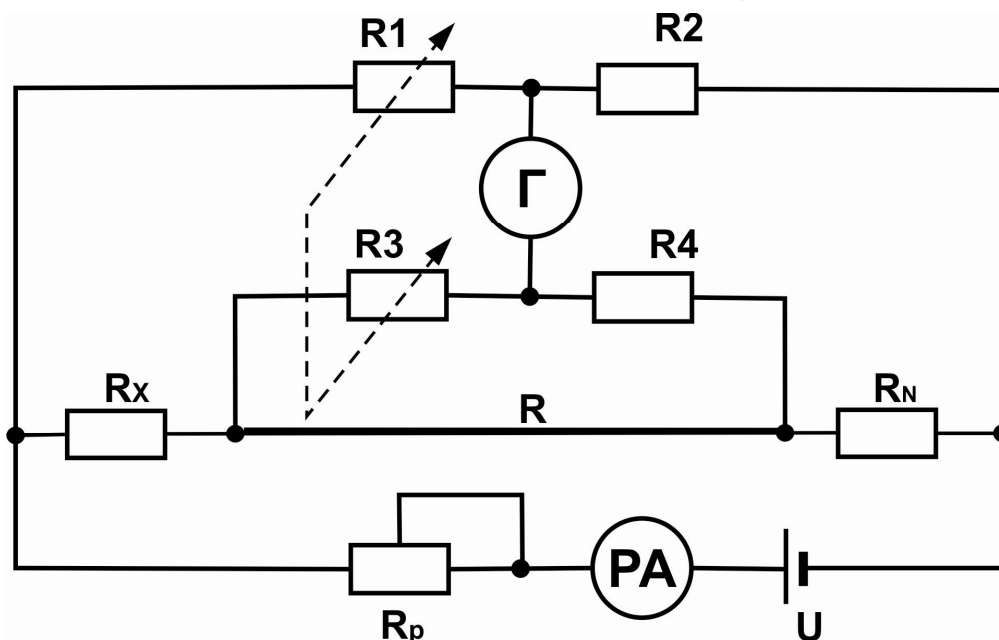


Рисунок 2 - Принципиальная схема двойного моста

Здесь R_x - неизвестное сопротивление, а R_N - сопротивление того же порядка величины, что и R_x . Из условия равновесия моста, при выполнении которого ток через гальванометр равен нулю, получим:

$$R_x \approx \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_4 R}{R + R_3 + R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right), \quad (3)$$

где учтено, что $R \ll R_3 + R_4$ и $R_N \ll R_4$ (R - сопротивление короткого соединительного провода большого сечения).

Примечание. На крышке моста P329 применены обозначения сопротивлений R_1 , R_1' , R_2 и R_3 , соответствующие обозначениям R_1 , R_3 , R_2 и R_4 рисунка 2 ($R_1 \rightarrow R_1$, $R_1' \rightarrow R_3$, $R_2 \rightarrow R_2$ и $R_3 \rightarrow R_4$).

Обычно при конструировании двойного моста и его применении выполняют следующие условия:

- сопротивления R_1 и R_3 всегда равны между собой (это условие выполняется за счет конструкции пятидекадного сдвоенного магазина сопротивлений R_1 и R_3 моста);
- сопротивления R_2 и R_4 устанавливают равными с помощью штепселей при регулировке моста для его уравнивания.

Таким образом, выполняется соотношение:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \quad (4)$$

При малом сопротивлении R и выполнении условия (4), вторым членом в условии (3) можно пренебречь, и оно приобретает вид:

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_N. \quad (5)$$

Для исключения влияния соединительных проводов сопротивление резисторов $R_1 - R_4$ выбирают больше 10 Ом, а известное сопротивление R_N - примерно того же порядка, что и измеряемое R_x ($R_N = 1$ Ом).

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке, которая монтируется на приборной доске, размещенной на лабораторном столе в вертикальном положении.

Лабораторная установка содержит следующие средства измерения, контроля и управления:

- комбинированный одинарно-двойной мост постоянного тока типа Р329 предназначен для измерения сопротивлений в диапазоне от 10^{-8} до 10^6 Ом. Принципиальная схема, схемы наружных соединений и правила пользования мостом приведены на крышке прибора; пределы измерения и классы точности одинарного моста даны в таблице 1. Здесь же указаны рекомендованные значения сопротивлений резисторов R_2 и R_3 для различных пределов измерений, при которых обеспечивается наибольшая чувствительность и минимальная погрешность мостовой схемы;

Таблица 1 - Пределы измерений и классы точности моста Р329.

Пределы измерений, Ом		Плечи отношений, Ом		Напряжение питания, В	Классы точности
от	до	R_2	R_3		
50	100	100	1000	2	0,05
100	1000	100	100	2	0,05
10^3	10^4	1000	100	2	0,05
10^4	10^5	10000	100	2	0,05
10^5	10^6	10000	10	2	0,5

- Г - аналоговый гальванометр М 265 НЗ; обеспечивает возможность индикации тока в измерительной диагонали моста с учетом полярности;

- источник питания ТЕС 21; обеспечивает стабилизированное питание схемы моста;

- вольтметр универсальный В7-16А; обеспечивает измерение сопротивлений в диапазоне от 50 до 10^6 Ом (подключается к клеммам « R_X ОДИНАРНОГО МОСТА»);

- выключатель СЕТЬ; обеспечивает включение/отключение сетевого напряжения ~ 220 В для электропитания лабораторной установки;

- переключатель ПОЛЯРНОСТЬ; предназначен для изменения полярности включения гальванометра в измерительную диагональ моста;

- выключатель $U_{\text{пит}}$; предназначен для включения или отключения напряжения питания, подаваемого в диагональ питания моста;

- переключатель « R_X ДВОЙНОГО МОСТА»; обеспечивает случайный характер изменения величины измеряемого малого сопротивления R_X ;

- переключатель «ВАРИАНТ» предназначен для выбора значения измеряемого сопротивления резистора R_X ;

- клеммы «ГАЛЬВАНОМЕТР», « R_X ДВОЙНОГО МОСТА», МОСТ «+» и

«-»; « $U_{\text{ПИТ}}$ » предназначены для включения внешних элементов в схемы одинарного или двойного моста с помощью соединительных проводов.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Изучить инструкции к используемым приборам, а также назначение элементов и узлов схемы, приведенных на приборной доске лабораторной установки и на крышке прибора Р329.

4.2. Переключателем ВАРИАНТ установить необходимый номер варианта (по согласованию с преподавателем) и измерить сопротивление резистора R_X прямопоказывающим омметром.

4.3. Собрать схему одинарного моста. Установить напряжение источника питания одинарного моста 2 В. Значения сопротивлений R_2 и R_3 установить в наборном поле моста в соответствии с таблицей 1 (необходимо учесть диапазон сопротивлений, в который попадает значение R_X , измеренное в п. 4.2). Измерить сопротивление резистора R_X с помощью одинарного моста.

Отключить источник питания моста.

4.4 Собрать схему двойного моста для измерения неизвестного малого сопротивления R_X . Сопротивление R_N установить равным 1 Ом. Напряжение источника питания моста установить 0,5 В. Несколько раз прокрутить по часовой и против часовой стрелки переключатель « R_X ДВОЙНОГО МОСТА» и установить его в положение 1.

4.5 Используя штепсельный магазин сопротивлений, установить в схеме моста определенные значения сопротивлений R_2 и R_4 (например, $R_2 = R_4 = 10$ Ом). Подобрать сопротивление R_1 , при котором обеспечивается балансировка моста. Полученное значение сопротивления $R_1 = R_{1\text{ип}}$ занести в таблицу 4.

Примечания:

1 - Если при установленных сопротивлениях R_2 и R_4 ($R_2 = R_4$) балансировка не осуществляется, то величину сопротивлений необходимо изменить и эксперимент повторить.

2 - По возможности следует устанавливать такие величины сопротивлений R_2 и R_4 , при которых значение старшей декады магазина сопротивлений R_1 моста отличалось бы от нуля.

3 - Измеряемое малое сопротивление R_X состоит из суммы сопротивлений соединительных проводов, подключенных к многоконтактному переключателю « R_X ДВОЙНОГО МОСТА», и переходного сопротивления соответствующего контакта.

4.6. Последовательно устанавливать переключатель « R_X ДВОЙНОГО МОСТА» в положения 2, 3, ..., 10. Для каждого из установленных положений переключателя повторять операции по п.4.6.

Примечание.- Для исключения обгорания контактов при переводе переключателя в новое положение, перед операцией «перевода» источник

постоянного напряжения рекомендуется отключать.

4.7. С помощью переключателя ПОЛЯРНОСТЬ изменить полярность напряжения, питающего мост, и повторить измерения по п.п.4.5 - 4.7. Полученные значения R_{iO} занести в таблицу 4.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

5.1. Для R_X , измеренного в п. 4.2, определить максимально возможный интервал значений, обусловленный классом точности омметра и записать результат измерений в установленной форме.

5.2. Для R_X , измеренного в п. 4.3, определить интервал значений, обусловленный классом точности одинарного моста и записать результат измерений в установленной форме.

5.3. Усреднить соответствующие значения сопротивлений $R_{1iП}$ и R_{1iO} , полученные при противоположных полярностях питающего напряжения и найти:

$$R_{1i} = \frac{R_{1iП} + R_{1iO}}{2}. \quad (6)$$

5.4. Для значений R_{1i} вычислить по формуле (5) соответствующие сопротивления R_{Xi} .

5.5. Оценку неизвестного сопротивления $\overline{R}_X$ найти как среднее арифметическое значение:

$$\overline{R}_X = \frac{1}{n} \sum R_{Xi}, \quad (7)$$

где n - число измерений.

5.6. Вычислить остаточные погрешности полученного ряда измерений ρ_{Xi} и оценку σ среднеквадратического отклонения (СКО) результата наблюдения по формулам:

$$\rho_{Xi} = R_{Xi} - \overline{R}_X; \quad (8)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \rho_{Xi}^2}{n-1}}. \quad (9)$$

5.7. Вариация R_X с доверительной вероятностью P равна:

$$\Delta R_X = t(n) \times s,$$

где $t(n)$ - коэффициент Стьюдента (см.таблицу 2);

s - случайная составляющая погрешности R_X , характеризуемая СКО результата измерения:

$$s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (10)$$

Примечание. Величина доверительной вероятности P задается преподавателем.

Действительное значение R_X заключено в интервале от $R_X - \Delta R_X$ до $R_X +$

ΔR_X с заданной вероятностью P .

Таблица 2 - Значения коэффициентов Стьюдента $t(n)$

$n \backslash P$	0.8	0.9	0.96	0.98	0.99	0.995	0.999
8	1.42	1.9	2.36	3.00	3.50	4.03	5.40
9	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36	3.83	5.04
10	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25	3.69	4.78

5.8. Если какой-либо отдельный результат наблюдений R_{Xi}^* в полученном ряде измерений вызывает сомнение, необходимо проверить, не является ли этот результат промахом. Для этого необходимо вычислить величину

$$\tau = \frac{|R_{Xi}^*|}{\sigma},$$

где R_{Xi}^* - проверяемый результат.

Если вычисленные значения τ окажутся больше $\tau(n, P)$, взятого из таблицы 3, то члены R_{Xi}^* ряда наблюдений необходимо считать промахом и исключить.

Таблица 3 – Значения $\tau(n, P)$

$n \backslash P$	0.8	0.9	0.96	0.98	0.99	0.995	0.999
9	2.10	2.24	2.35	2.46	2.53	2.59	2.68
10	2.15	2.29	2.41	2.54	2.62	2.68	2.79

5.9 Результаты измерений и расчетов свести в таблицу 4.

Таблица 4 – Таблица результатов измерений и расчетов

№ изме- мере- ре-	Напряжение питания		$R_{1i},$ Ом	$R_{Xi},$ Ом	$R_X,$ Ом	$\rho_{Xi},$ Ом	ρ_{Xi}^2	σ	s
	прямое	обратн.							
	$R_{1iП},$	$R_{1iО},$ Ом							
1									
2									
3									
...									
10									

5.10. Представить результат измерения в следующем виде:

$$R_X = R_X \pm \Delta R_X; P.$$

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Отчет, представляемый к защите после окончания исследования, должен содержать:

- титульный лист;
- цель исследования;
- принципиальную (или функциональную) схему лабораторного стенда;
- перечень используемых приборов;
- результаты эксперимента;
- результаты расчетов;
- выводы по результатам исследования.

6.2. На оформление студентом индивидуального отчета отводится внеаудиторное время в количестве 0.5 от числа аудиторных часов. Защита отчета производится на очередном занятии.

Студент, не оформивший или не защитивший отчет по предыдущей работе, к выполнению очередной лабораторной работы не допускается.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Приведите принципиальную схему и охарактеризуйте принцип действия одинарного моста.
- 7.2. Сформулируйте условие равновесия одинарного моста.
- 7.3. Выведите условие равновесия одинарного моста.
- 7.4. Приведите принципиальную схему и охарактеризуйте принцип действия двойного моста.
- 7.5. Сформулируйте условия равновесия двойного моста.
- 7.6. Выведите условия равновесия двойного моста.
- 7.7. Каков порядок уравнивания моста типа Р329?
- 7.8. Как рассчитывается интервал значений измеряемого сопротивления'

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с. (Учебник для вузов).
2. Сергеев А.Г. Метрология: учебник / А.Г. Сергеев. – М.: Логос, 2005. – 272 с.
3. Шишмарев В.Ю. Электрорадиоизмерения: уч. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образ. / В.Ю. Шишмарев, В.И. Шанин; под ред. В.Ю. Шишмарева. – М.: ИЦ «Академия», 2004.- 336 с.; ил. (Среднее специальное образование).
4. Хрусталева З.А. Электротехнические измерения: учебник. / З.А. Хрусталева. - М.: КноРус, 2011. – 208 с.
5. Панфилов В.А. Аналоговые методы и средства электрических измерений / В.А. Панфилов. – М.: Энергопресс, 2006. – 112 с.
6. Шишмарев В.Ю. Средства измерений / В.Ю. Шишмарев. - М.: ИЦ «Академия», 2010.- 320 с.
7. Хромоин П.К. Электротехнические измерения: уч. пособие / П.К. Хромоин. – М.: Форум, 2008. – 288 с., ил. (Профессиональное образование).
8. Пустовая О.А. Электрические измерения: уч. пособие / О.А. Пустовая. - М.: КноРус, 2010. – 247 с. (Высшее образование).
9. Афанасьев А.А. Физические основы измерений: учебник / А.А. Афанасьев. - М.: ИЦ «Академия», 2010. (Высшее профессиональное образование).
10. Кудасов Ю.Б. Электротехнические измерения: уч. пособие / Ю.Б. Кудасов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 184 с.
11. Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник и др.; Ред. Є. С. Поліщук; Ін-т інновац. технологій і змісту освіти. - Львів : Бескид Біт, 2008. - 618 с. : іл.
12. Сергеев А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. "Метрология и метрологическое обеспечение", "Стандартизация и сертификация" и "Управление качеством" / А. Г. Сергеев. - М. : Высшее образование, 2008. - 576 с.: ил.
13. Назаров Н.Г. Метрология : основные понятия и математические модели: учеб. пособие для студ. вузов / Н. Г. Назаров. - М.: Высшая школа, 2002. - 348 с.: ил.
14. Желєзна А.О. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. посіб. для студ. машинобуд. та приладобуд. спец. / А. О. Желєзна, В. А. Кирилович ; Житомир. держ. технолог. ун-т. - К.: Кондор, 2004. - 796 с.: ил.
15. Методы электрических измерений: учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. "Информационно-измер. техника" / Ред. Э. И. Цветков. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. - 388 с.: ил.

Заказ № _____ от «_» _____ 2013 г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ