

Кафедра машиностроения

А.Н. Ткаченко

**ИСПЫТАНИЕ ЖЕСТКОСТИ
ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА**

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Дисциплина – «Проектирование и моделирование оборудования
с компьютерным управлением»

Направление – 15.04.05 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»

Автор: канд. техн. наук, доц. каф. машиностроения А.Н. Ткаченко

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. машиностроения А.С. Тарапанов

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат данные по испытанию станка с целью определения его соответствия существующим нормативным требованиям жесткости металлорежущего оборудования и позволяют студентам эффективно применять теоретические знания для самостоятельной работы.

Приведены общие понятия о жесткости металлорежущих станков, нормативные документы, регистрирующие проведение испытания станков на жесткость, нормы жесткости станка, методики проверки и испытаний, порядок выполнения работы; рассмотрены используемые инструменты и устройства.

Предложенная методика по испытанию станков на жесткость, применима для оборудования с компьютерным управлением.

Предназначены для студентов очного отделения, обучающихся по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», изучающих дисциплину «Проектирование и моделирование оборудования с компьютерным управлением».

Редактор Л.Ю. Фроленкова
Технический редактор Т.Н. Шаблинская

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева»

Подписано к печати 16.01.2019 г. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 1,1. Тираж 10 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

© Ткаченко А.Н., 2019

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	4
2. Порядок выполнения работы	4
3. Общие понятия о жесткости металлорежущих станков	5
4. Нормативные документы, регистрирующие проведение испытания станков на жесткость	6
5. Порядок испытания жесткости токарно-винторезного станка модели 1К62 методом статического нагружения	12
6. Контрольные вопросы	17
Литература	17

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с нормативными документами и методикой проведения испытаний жесткости металлорежущего станка при статическом нагружении.

2. Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1) необходимо ознакомиться с общими понятиями жесткости, её взаимосвязью с конструктивными особенностями станка и качеством его сборки» влиянием жесткости на точность обработки на станке;

2) ознакомиться с нормативными документами, регламентирующими проведение испытаний на жесткость токарных и токарно-винторезных станков;

3) ознакомиться с технической характеристикой и устройством токарно-винторезного станка, условиями проверки станка по нормам жесткости, выбрать нормативные рекомендации для проведения этих испытаний, принципом работы устройства нагружения (динамометра), измерительных приборов, необходимых при выполнении испытаний;

4) определить цену деления показывающего прибора рабочего динамометра (протарировать рабочий динамометр), построив тарировочный график;

5) подготовить станок к испытаниям его жесткости: установить и привести в рабочее состояние устройство для нагружения (рабочий динамометр), оправки и измерительные приборы, установить в необходимых положениях подвижные узлы станка;

6) определить максимальную силу нагружения и интервалы изменения нагрузки, подготовить протокол испытания, проверить правильность установки устройства нагружения рабочего динамометра измерительных устройств, выверить начало отсчёта;

7) произвести ступенчатое нагружение и разгружение оправки установленной в шпинделе передней бабки станка, измеряя при этом и занося в протокол испытаний перемещения суппорта относительно оправки. Нагружение и разгружение выполняется не менее трех раз;

8) переместить суппорт в положение испытания на жесткость задней бабки станка, проверить правильность установки вылета оп-

равки, вставленной в пиноль и пиноли задней бабки согласно нормативных рекомендаций, выверить начало отсчета измерительных устройств;

9) произвести ступенчатое нагружение и разгружение оправки вставленной в пиноль задней бабки, измеряя при этом и занося в протокол испытаний перемещение суппорта относительно оправки. Нагружение и разгружение выполняется не менее трех раз;

10) определить жесткость станка у передней и задней бабок, используя для этой цели данные протокола испытаний и построив графики зависимости перемещений суппорта относительно оправки от действующей нагрузки;

11) определить нормативную величину жесткости станка и сравнить ее с жесткостью, определенной в процессе проведения испытаний.

Сделать заключение о состоянии станка и внести предложения, направленные на доведение его жесткости до нормативных требований;

12) оформить отчет и отчитаться за проделанную работу.

3. Общие понятия о жесткости металлорежущих станков

Жесткость станка выражает свойство узлов станка сопротивляться изменению их формы и взаимного расположения под действием нагрузки.

Жесткость станка численно характеризуется отношением проекции нагружающих сил к перемещению узлов (в том же направлении) при заданной схеме нагружения, координатах нагружающих сил и положениях узлов станка.

При примерно линейной зависимости между нагружающей силой и перемещениями оправки и суппорта жесткость в известных пределах выражается отношением силы к перемещению:

$$J_i = \frac{P_i}{\Delta i}, \text{ (Н/мм или Н/ мкм)}$$

где P_i – нагружающая сила, Н;

Δi – перемещениями оправки и суппорта, мм или мкм.

Обратная величина жесткости называется податливостью

$$K_i = \frac{\Delta i}{P_i} = \frac{1}{J_i}.$$

Классификация станков по жесткости должна соответствовать установленной ГОСТ 8-77.

Жесткость станка определяется жесткостью отдельных узлов и базовых деталей, количеством стыков и сопряжений, качеством выполнения сопряженных поверхностей, качеством сборки узлов и станка.

Жесткость станка обычно переменна по координате обработки, то есть изменяется по мере перемещения подвижного узла станка относительно обрабатываемой детали, при этом жесткость последней так же изменяется.

Жесткость является одним из основных критериев станка определяющих точность его работы. Чем выше жесткость станка, приспособления, инструмента и обрабатываемой детали (системы СПИД) тем меньше упругие перемещения инструмента относительно обрабатываемой детали, следовательно, меньше погрешности ее формы и выше точность обработки.

Влияние жесткости станка на точность обработки является исходным положением при разработке норм жесткости.

4. Нормативные документы, регистрирующие проведение испытания станков на жесткость

Общие условия проведения испытаний жесткости металлорежущих и деревообрабатывающих станков регламентируются ГОСТ 7035-75 «Станки металлорежущие и деревообрабатывающие. Общие условия испытаний станков на жесткость». Этот стандарт устанавливает общие требования к условиям испытаний, методам и средствам измерения жесткости станков и является составной частью каждого стандарта, содержащего нормы жесткости отдельных типов станков.

Так, например, он является составной частью регламентирующего точность и жесткость токарных и токарно-винторезных станков ГОСТа 18097-88 и 93 «Станки токарные и токарно-винторезные. Норма точности и жесткости».

Для того, чтобы результаты проверки на жесткость были достаточно достоверны и объективны, необходимо при испытаниях по возможности приблизиться к наиболее типичным реальным случаям обработки, сохраняя для простоты испытаний статическое нагружение системы:

1) направление нагружающей силы выбирается на основе анализа величин углов действия силы резания в координатах станка для наиболее типичных условий обработки.

Например, для токарных станков направление действия силы резания отклоняется от вертикали менее чем на 22° не вызывает заметных перемещений резца в горизонтальной плоскости. Поэтому угол действия нагружающей силы при испытаниях не должен быть меньше 25° . При наружном точении проходными резцами (передний угол $\gamma = 15^\circ$, угол в плане $\vartheta = 45^\circ$) составляющие силы резания $P_y = (0,4-0,5) P_z$ и $P_x = (0,3-0,4) P_z$, то есть сила резания в координате Y отклоняется от вертикали на угол $\alpha = 22^\circ \dots 27^\circ$ и в координате X - на угол $\beta = 17^\circ \dots 22^\circ$.

Для упрощения испытаний было принято $\beta = 0^\circ$ так как жесткость её мало меняется при изменении β в диапазоне её наиболее типичных значений при различных случаях обработки. Здесь мало сказывается и влияние крутящего момента (составляющей P_z) так как упругие деформации в этом направлении перемещают резец в тангенциальном по отношению к обработанной поверхности направлении, что вызывает не большие отклонения ее формы и размеров.

Все это позволяет выбрать, как наиболее рациональную схему, нагружения при испытаниях на жесткость, в которой равнодействующая составляющих P_y и P_z направлена через линию центров станка под углом $\alpha - 30^\circ$.

Такое упрощение схемы нагружения практически не отражается на результатах испытания, которые достаточно близко характеризуют действительную жесткость станка;

2) величина нагружающей силы должна быть достаточной для того, чтобы вызывать перемещения, которые можно точно зафиксировать при помощи индикатора с ценой деления 0,01 мм, но не должна превышать допустимых нагрузок для приводов подачи испытуемых станков.

По данным ЭНИМСа для токарных станков максимальная нагружающая сила может быть определена как функция основного параметра станка. Например, для максимального диаметра обработки D :

$$P_{\max} = 0,75 \times D^{1,5} \text{ (Н)};$$

3) координаты точки приложения нагружающей силы выбираются в соответствии с наиболее типичным случаем обработки и исходя из удобств размещения приборов. Учитывая, что положение поперечных салазок и изменение вылета резца в пределах 1...2 высоты се-

чения резца слабо влияют на жесткость, для токарных станков ЭНИМС рекомендует принимать расстояние от точки приложения силы до резцедержателя:

$$H = \sqrt{D} \text{ мм};$$

4) рекомендуется, определенное типичное расположение перемещаемых узлов станка (положение суппорта, задней бабки и др.).

Условия проверки по нормам жесткости токарных и токарно-винторезных станков согласно ГОСТа 18097-93 приведены на рис. 1 и таблице 1.

Разработка норм жесткости на металлорежущие станки расчетным путем не представляется возможной и поэтому единственно приемлемым является метод, основанный на обобщении статистических данных о фактической жесткости станков, выпускаемых серийно. ЭНИМС рекомендует жесткость станков представлять в функции основного размера станка. Например, для токарных и токарно-винторезных станков жесткость у передней бабки:

$$j = 1800 \sqrt{D} \text{ (Н/мм)}$$

и у задней бабки

$$j = 1400 \sqrt{D} \text{ (Н/мм)}$$

где D – наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм.

Для упрощенного контроля в производственных условиях в нормах жесткости дается величина наибольшего допускаемого перемещения частей станка при действии максимальной нагружающей силы. Для токарных и токарно-винторезных станков нормальной и повышенной точности наибольшие допускаемые перемещения рекомендуемые ГОСТ 18097-93 приведены в таблице 2.

Статический метод определения жесткости станков прост, но и как любой другой статический метод, не учитывает всей специфики процесса резания. Поэтому до настоящего времени не прекращаются поиски достаточно простого метода определения жесткости станков при резании.

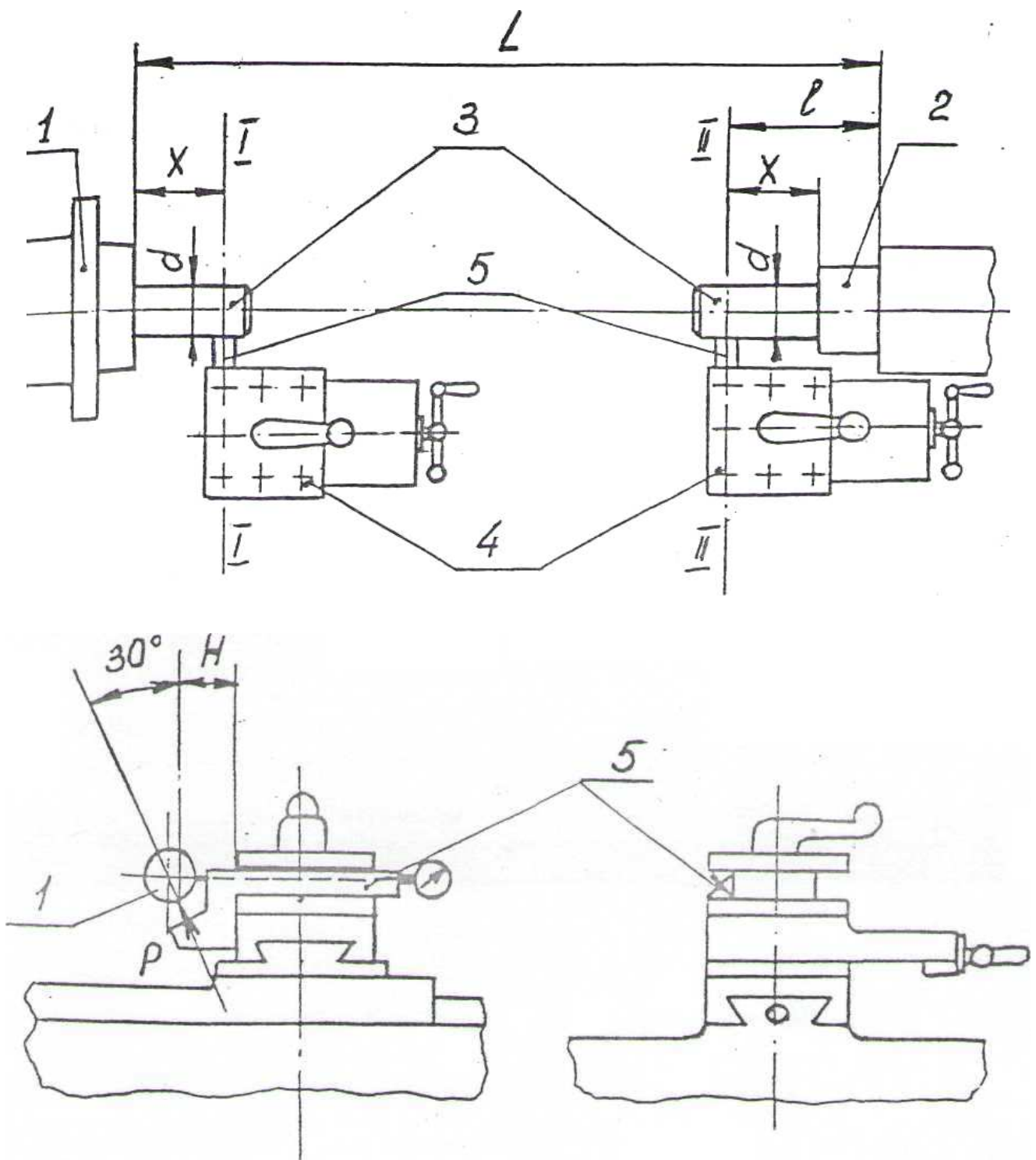


Рис. 1 – Условия проверки по нормам жесткости токарных станков общего назначения по ГОСТ18097-93 (размеры даны в таблице 1)

Таблица 1 – Нормативные размеры условий проверки жесткости

Наименование размеров	Размеры								
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм	160	200	250	320	400	500	630	800	1000
Расстояние Н от точки приложения силы Р до резцедержателя, мм	28	38	38	50	50	67	67	90	90
Расстояние от точки приложения силы Р до торца корпуса задней бабки, мм	70	80	95	115	140	170	200	235	270
Диаметр оправки в точке измерения перемещения, мм	25	30	35	40	40	40	45	45	45
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до торца корпуса задней бабки	0,75... 0,85 наибольшего межцентрового расстояния								
Расстояние Х в зависимости от конусного отверстия в шпинделе (переходной втулке) или пиноли задней бабки									
Конусное отверстие в шпинделе (переходной втулки) или пиноли задней бабки для упорных центров по ГОСТ 13214-79, ГОСТ 18259-72, ГОСТ 18260-72	Конус Морзе					Конусность 1:10 и 1:7			
	2	3	4	5	6	80	90	100	110
Расстояние Х	36	45	55	70	90	100	110	120	135

Таблица 2 – Допускаемые перемещения оправки относительно резцедержателя (в направлении поперечной подачи) токарного станка

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм.	Класс точности станка	Прилагаемая сила P, кгс	Допуск, мм для проверок	
			Передней бабки станка, сеч. I-I	Задней бабки станка, сеч. II-II
160	Н,П	140	0,07	0,10
		112	0,04	0,06
200	Н,П	200	0,10	0,13
		160	0,06	0,08
250	Н,П	280	0,13	0,16
		224	0,08	0,10
320	Н,П	400	0,16	0,20
		320	0,10	0,13
400	Н,П	560	0,20	0,27
		448	0,13	0,17
500	Н,П	800	0,27	0,35
		640	0,18	0,22
630	Н,П	1120	0,35	0,47
		896	0,22	0,30
800	Н,П	1600	0,47	0,60
		1280	0,30	0,40
1000	Н,П	2240	0,60	0,80
		1792	0,40	0,50

Примечания:

1. Станок построенный на основе базовой модели как облегченная модификация путем, увеличения высоты центров, нагружают силой на 25% меньше указанной для базовой модели.

2. Для станков повышенного класса точности принимают рекомендуемые требования.

5. Порядок испытания жесткости токарно-винторезного станка модели 1К62 методом статического нагружения

Объект испытания токарно-винторезный станок мод. 1К62 Московского станкозавода «Красный пролетарий» краткая техническая характеристика которого: наибольший диаметр обрабатываемого изделия $D=400$ мм, расстояние между центрами 1000 мм, класс точности Н.

В коническое отверстие (конус Морзе №6) шпинделя I (рис. 1) и пиноли 2 вставляют оправку 3. В конусное отверстие шпинделя с конусом Морзе №6 оправку вставляют через переходную втулку.

Устройство 5 для создания нагружающей силы закрепляют в левом пазу резцедержателя 4. Указанные на рис. 1 размеры даны в таблице 1.

В соответствии с требованиями ГОСТ 18097-93 о направлении нагружающей силы и координатах точки ее приложения ЭНИМСС разработан для разных станков ряд универсальных приборов с помощью которых производятся измерения жесткости. На рис. 2 представлена конструкция нагружающего устройства и рабочего динамометра для испытания жесткости токарных станков.

Корпус 1 закрепляется в резцедержателе станка. Вращение винта 4 домкрата производится от маховичка 9 через червячную передачу 2-3. На винте 4 установлен рабочий динамометр 5 с показывающим прибором 7. Верхней сферической пятой динамометр упирается в оправку 6 закрепленную в шпинделе станка. Диаметр этой оправки, вылет ее, а также координаты точки приложения нагружающей силы и ее направление выбираются согласно рекомендаций ГОСТа 18097-93. (см. рис.1 и таблица 1)

Величина перемещения резцедержателя станка относительно оправки 6 в направлении поперечной подачи фиксируется индикатором 10 через подвижную штангу 8 упирающуюся левым концом в оправку 6.

Перед испытанием станка на жесткость следует протарировать рабочий динамометр 5, то есть определить цену деления в ньютонах его показывающего прибора: (индикатора 7) (рис.2)

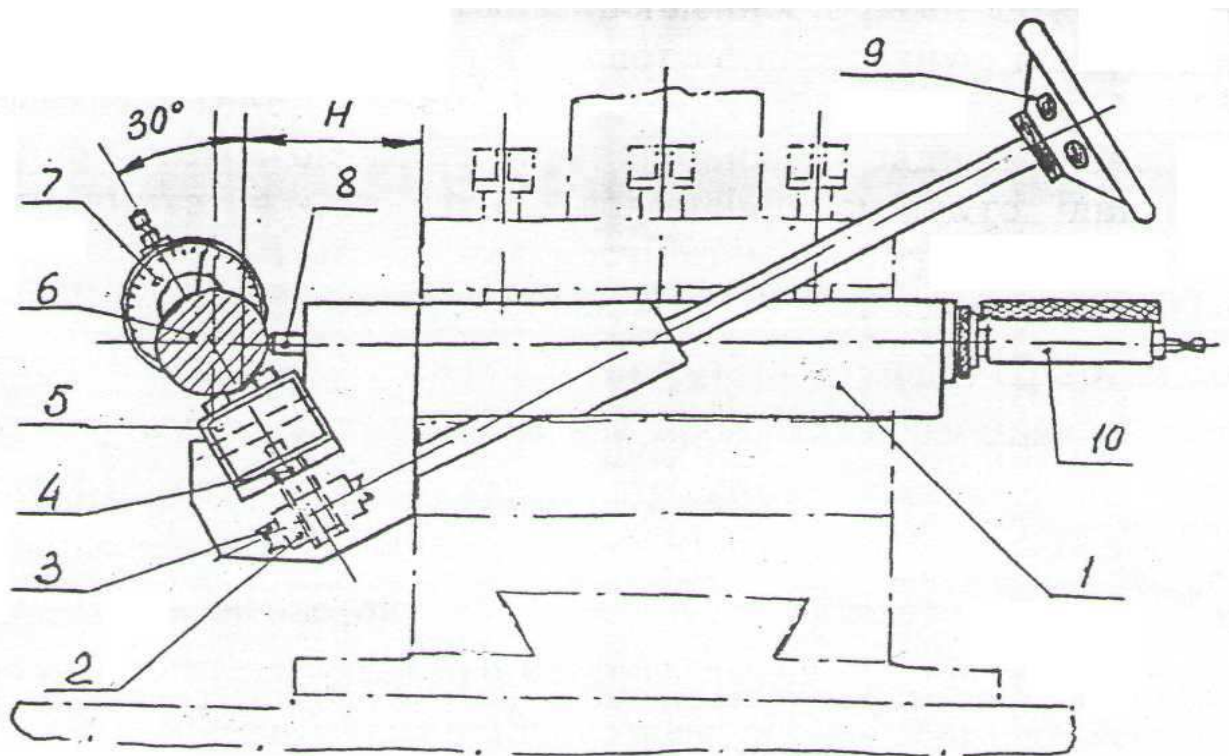


Рис. 2 – Прибор для изменения жесткости токарных станков в производственных условиях

Определение цены деления рабочего динамометра производится с помощью, образцового динамометра сжатия ДОСМ-1. Удобнее эту операцию производить на станке с горизонтальной поверхностью стола, имеющем точное вертикальное перемещение рабочего узла, например на консольнофрезерном станке (лучше вертикально-фрезерном станке).

На стол 1 станка (рис. 3) устанавливается подставка 2 имеющая параллельные верхний и нижний торцы. В рабочем динамометре 3, отпустив гайку 10, смещением индикатора 9 создают натяг индикатора примерно на $1/3...1/2$ его круговой шкалы большего диаметра (большой стрелки) и снова зажимают гайку 10, закрепляя тем самым индикатор 9 в цанговом зажиме рабочего динамометра 3, Поворотом шкалы стрелку совмещают с нулем шкалы.

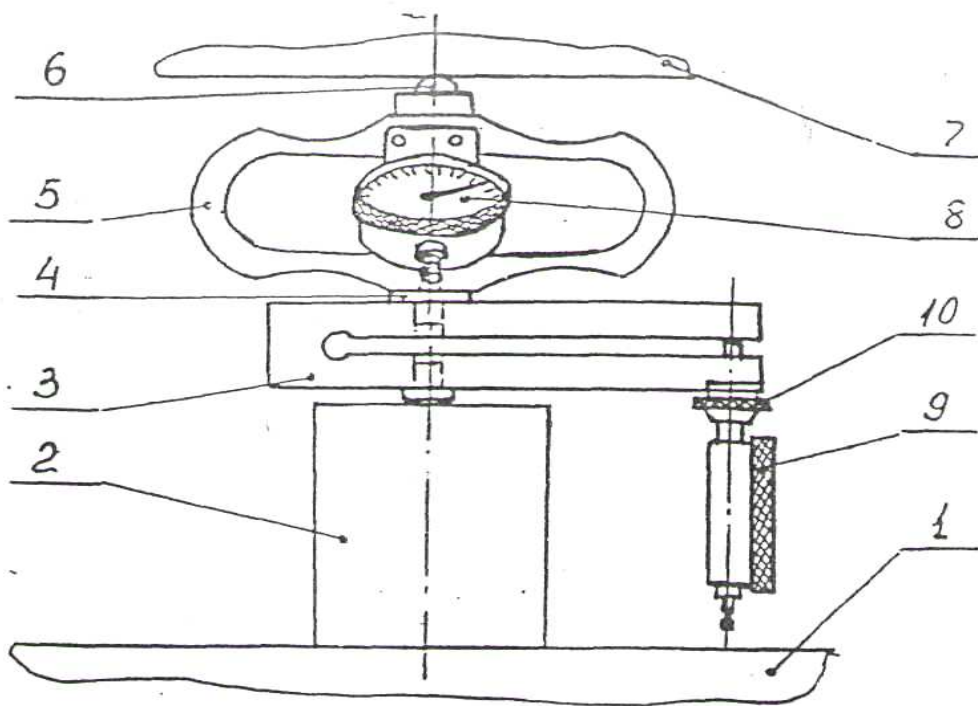


Рис. 3 – Тарирование рабочего динамометра.

Далее, установив рабочий динамометр 3 нижней опорной плоскостью вверх (индикатор 9 направлен вниз), вставляют в отверстие $\text{Ø}10\text{H}7$ переходник 4, на который отверстием, одевают образцовый динамометр 5 и в его верхнее сферическое отверстие помещают шарик 6.

В таком положении сборку из динамометров 3 и 5 устанавливают на подставку 2 и подъемом стола 1 станка добиваются касания шарика 6 с торцом оправки 7, вставленной в шпиндель станка.

Далее поднимая и опуская стол станка, нагружают или разгружают динамометры 3 и 5. Причем цена шкалы образцового динамометра известна из его паспорта, поэтому известна нагрузка действующая на рабочий динамометр 3 и известно показание его индикатора 9.

Следовательно можно определить цену деления его шкалы.

Нагружение и разгружение динамометров следует производить до 600 кгс (5886Н) ступенчато через 100 кг. Показания индикаторов 8 и 9 заносятся в протокол испытания. Ступенчатое нагружение и разгружение динамометров следует выполнить не менее трех раз.

Далее для каждой нагрузки при нагружении, а затем и при разгружении динамометров определяют средние значения показаний индикатора 9. Например, при нагрузке Р1 индикатор 9 первый раз от-

клонился на a_1 делений, при повторном нагружении – на a_2 делений и при нагружении в третий раз той же нагрузкой P_1 когда производилось третье ступенчатое нагружение - разгружение, стрелка индикатора отклонилась на a_3 делений. Усредненное отклонение стрелки индикатора 9.

$$a_{pi} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}, \text{ где } n - \text{число нагружений.}$$

Зная действительные значения ступенчато изменяемой нагрузки на рабочий динамометр 3 и усредненные отклонения стрелки его индикатора 9 для каждой ступени при нагружении и разгружении, строится тарировочный график $a_{pi} = f(P_i)$, из которого, после проведения линий пропорциональности определяют цену деления шкалы индикатора 9.

Затем протарированный рабочий динамометр устанавливают в нагружающее устройство, закрепленное в резцедержателе станка (отверстием динамометр одевают на посадочную шейку винта 4 домкрата (рис. 2) таким образом, чтобы индикатор 7 рабочего динамометра оказался справа (ближе к задней бабке станка) от винта 4. В таком положении рабочего динамометра производят испытание жесткости станка у передней бабки.

Все подвижные части суппорта, пиноль и корпус задней бабки перемещают в заданные положения (рис.1 и таблица 1) При этом салазки суппорта подводят в положение проверки, перемещая их к линии центров станка. Допускается продольное (вдоль линии центров) смещение верхней каретки суппорта в пределах 0,2 длины хода.

Закрепление задней бабки, а также резцедержателя производят без применения удлинителей к ключам и рукояткам, если это не предусмотрено руководством по эксплуатации станка.

Между оправкой закрепленной в шпинделе станка и резцедержателем, вращая маховик 9 (рис. 2) ступенчато создают возрастающую до заданного предела (см. таблица 2) силу P . Следует обратить внимание на то, чтобы направление действия силы P проходило через ось оправки, закрепленной в шпинделе станка. В пределах диапазона изменения нагружающей силы P необходимо установить не менее пяти ее промежуточных значений (примерно с одинаковым приращением ее величины).

Одновременно при помощи индикатора 10 измеряют относительное перемещение резцедержателя и оправки в радиальном направлении, параллельном направлению поперечной подачи. Измере-

ния производят при ступенчатом нагружении и разгрузении за счет поворота маховичка 9.

Результаты испытания заносят в протокол испытаний.

За величину относительных перемещений принимают среднюю арифметическую результатов двух испытаний. Причем перед вторым испытанием суппорт несколько отодвигается назад от линии центров станка, шпиндель станка вручную поворачивается на несколько оборотов (2-3 оборота). Затем суппорт перемещением вперед (к линии центров станка) устанавливают в положение аналогично первого испытания и повторяют испытания.

Далее снова отодвигают суппорт станка от линии центров станка, перемещают вдоль линии центров и ставят примерно в среднее положение по отношению к передней и задней бабкам станка. Устанавливают оправку в пиноль задней бабки, сняв рабочий динамометр поворачивают его на 180° в горизонтальной плоскости и снова устанавливают в нагружающее устройство (индикатор рабочего динамометра находится с левой стороны от винта 4 (ближе к передней бабке станка)). Затем перемещают суппорт к задней бабке станка и производят испытание станка на жесткость у задней бабки. Положение задней бабки, пиноли, суппорта даны на рис. 1 и таблице 1.

Испытания проводятся аналогично предшествующим испытаниям жесткости станка у передней бабки (отличие состоит в том, что вместо поворота шпинделя - пиноль задней бабки не поворачивается - при повторном испытании ее смещают в осевом направлении, предварительно отпустив зажим, и снова ставят в положение, которое она занимала при первом испытании, затем закрепляют).

Далее, обработав результаты испытания, строят графики жесткости станка в положениях суппорта у передави и задней бабок и определяют для этих случаев жесткость станка.

По результатам испытаний необходимо сделать выводы о пригодности станка и предложить какие меры необходимо предпринять для доведения его жесткости до нормативных требований.

6. Контрольные вопросы

1. Что такое жесткость станка?
2. Для чего необходимо знать величину жесткости станка?
3. От чего зависит жесткость станка?
4. Каким образом повысить жесткость станка на стадии его проектирования?
5. Каким образом повысить жесткость станка при его изготовлении?
6. За счет чего можно восстановить первоначальную жесткость токарного станка, потерянную в процессе эксплуатации?
7. Пути совершенствования методики испытания жесткости токарного станка в производственных условиях и при лабораторных испытаниях?

Литература

1. Чернов Н.Н. Металлорежущие станки. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с.
2. Металлорежущие станки: учебное пособие для втузов / Колев Н.С., Красниченко Л.В., Никулин Н.С. и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 500 с.
3. Металлорежущие станки: учебник для втузов / Пуш В.Э., Беляев В.Г., Гаврюшин А.А. / Под ред. Пуша В.Э. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
4. Гаврилин, А.М. Испытание жёсткости токарно-винторезного станка: метод. указания по выполнению лаб. работ / А.М. Гаврилин. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 18 с.
5. Ефремов В.Д., Горохов В.А., Схиртладзе А.Г., Коротков И.А. Металлорежущие станки: учебник / Под общ. ред. Ящерицина П.И. – М.: Глобус, 2005. – 558 с. Черпаков Б.И., Вереина Л.И. Технологическое оборудование машиностроительного производства: учебник. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 416 с.
6. Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю. Технологическое оборудование машиностроительных производств: учебное пособие / Под общ. ред. Соломенцева Ю.М. – М.: Высшая школа, 2001. – 407 с.

7. Станочное оборудование автоматизированного производства: учебник / Под ред. Бушуева В.В. Т1 и 2. – М.: Изд. «Станкин», 1994. Т1 – 584 с., Т2 – 656 с.

8. Металлорежущие системы машиностроительных производств: Учебное пособие / Таратынов О.В., Земсков Г.Г., Баранчукова И.М. и др./Под ред. Земскова Г.Г., Таратынова О.В. – М.: Высшая школа, 1988. – 464 с.