

О. Ф. Тищенко

Зубчатые передачи часовых механизмов
Издание 2-е, переработанное и дополненное

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 62
ББК 30.6
О-11

О-11 **О. Ф. Тищенко**
Зубчатые передачи часовых механизмов: Издание 2-е, переработанное и дополненное / О. Ф. Тищенко – М.: Книга по Тре-
бованию, 2013. – 214 с.

ISBN 978-5-458-35660-2

В книге дается подробная характеристика зубчатых зацеплений с часовым профилем зуба, изложены вопросы .нормали-
зации профилей зубьев этих зацеплений, даны графоаналитические методы исследования мелко модульных зацеплений
с часовым эвольвентным профилями, а также методы расчета допусков. Книга предназначена для инженерно-технических
работников часовой промышленности, а также может быть использована студентами приборостроительных специальностей
вузов.

ISBN 978-5-458-35660-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Обозначение	Наименование	Определение
D_i	Диаметр окружности впадин	
R_i	Радиус окружности впадин	
	Окружность центров	Окружность, на которой расположены центры дуг головок зубьев
D_c	Диаметр окружности центров	
R_c	Радиус окружности центров	
ΔR_c	Смещение окружности центров	Расстояние между делительной окружностью и окружностью центров, измеренное по нормали
	Дуга головки зуба	Часть окружности, ограничивающая головку и часть ножки зуба
ρ	Радиус дуги головки зуба	
h	Высота зуба	Радиальное расстояние между окружностью выступов и окружностью впадин
h'	Высота головки зуба	Радиальное расстояние между окружностью выступов и делительной окружностью
h''	Высота ножки зуба	Радиальное расстояние между делительной окружностью и окружностью впадин
s	Толщина зуба по делительной окружности	Длина дуги делительной окружности, заключенной между профилями (левым и правым) зуба
s_x	Хордальная толщина зуба по делительной окружности	Длина хорды, стягивающей дугу, равную толщине зуба по делительной окружности
s_n	Толщина зуба по общей нормали	Расстояние между дугowymi профилями зуба, измеренное по прямой, проходящей через их центры

Обозначение	Наименование	Определение
2γ	Угловая толщина зуба	Угол между радиальными прямыми, ограничивающими ножку зуба
s'	Ширина впадины по делительной окружности	Длина дуги делительной окружности между ближайшими равноименными профилями соседних зубьев
s'_x	Хордальная ширина впадины по делительной окружности	Длина хорды, стягивающей дугу, равную ширине впадины по делительной окружности
$2\gamma'$	Угловая ширина впадины	Угол между радиальными прямыми, ограничивающими впадину зуба
	Дуга впадины	Дуга окружности, ограничивающая впадину между зубьями
t	Окружной шаг	Расстояние по делительной окружности между одноименными (правыми и левыми) профилями смежных зубьев
t_x	Хордальный шаг	Длина хорды, стягивающей дугу, по которой определяется окружной шаг
	Угловой шаг	Угол, стягиваемый дугой делительной окружности, равной окружному шагу
c_n	Боковой зазор	Кратчайшее расстояние между поверхностями нерабочих профилей смежных зубьев сопряженных колес
c	Радиальный зазор	Наименьшее расстояние между вершиной зуба и основанием впадины сопряженного зубчатого колеса
θ	Полярный угол	Угол между радиусом основной окружности, проведенным в начальную точку эвольвенты, и текущим радиусом-вектором эвольвенты
	Коэффициент перекрытия	Отношение дуги зацепления к шагу, измеренному по той же окружности, что и дуга зацепления
A	Межцентровое расстояние	Расстояние между осями находящимися в зацеплении колес

ВВЕДЕНИЕ

Мелкомодульные зубчатые передачи применяются в различных приборах. Они являются неотъемлемой частью любого часового механизма. В ряде производств мелкомодульные зубчатые колеса изготавливаются сотнями миллионов штук в год. Об этом можно судить по количеству часов, выпускаемых нашей часовой промышленностью.

Наряду с ежегодным увеличением производства часов возрастают требования и к их качеству, а вместе с этим и к качеству зубчатых передач.

В большинстве измерительных приборов зубчатые передачи предназначены для ускорения вращения. Характерной чертой таких передач является значительное уменьшение передаваемого момента вращения. Так, например, в карманных часах «Молния» момент вращения пружины, равный в начале завода $16 \text{ н} \cdot \text{мм}$ ($1,6 \text{ кг} \cdot \text{мм}$), посредством зубчатой передачи уменьшается в 4061,4 раза и составляет на оси ходового колеса $0,00664 \text{ н} \cdot \text{мм}$ ($0,000664 \text{ кг} \cdot \text{мм}$). Этот момент настолько мал, что малейшие ненормальности в работе зубчатых пар или увеличение сил трения в опорах могут нарушить правильную работу механизма и вызвать его остановку.

В связи с изложенным исследования мелкомодульных зубчатых зацеплений, направленные на повышение их качества и обеспечение взаимозаменяемости, являются весьма необходимыми.

В мелкомодульных зубчатых передачах в отличие от передач с модулями свыше 1 мм имеются значительные расхождения между действительными и теоретическими их характеристиками. Так, например, отклонения передаточных отношений в реальных мелкомодульных передачах в период зацепления зубьев могут достигать до 30%. Это объясняется увеличением относительных погрешностей изготовления, связанных с уменьшением размеров, т. е. с уменьшением модулей. Между тем в большинстве работ по мелкомодульным зубчатым передачам и, в частности, по часовым зубчатым передачам рассматриваются только вопросы, относящиеся к теоретическим передачам, без учета погрешностей изготовления.

В известных автору работах [15], [17], относящихся к реальным зубчатым передачам, дается лишь описание ненормальностей

в их работе, полученных, по-видимому, на основании результатов наблюдения при большом увеличении.

В настоящей работе принято, что в видоизмененном циклоидальном зацеплении, применяемом в часах, коэффициент перекрытия не может быть больше единицы. Это положение было развито и принято как исходное при исследовании реальных мелко модульных зубчатых передач, независимо от формы профилей зубьев.

В работе даны аналитический и графоаналитический методы исследования мелко модульных зубчатых передач с часовым и эвольвентным профилями зубьев.

Применение аналитического метода для исследования оказалось малоэффективным. Однако полученные формулы были использованы при разработке методов расчета допусков. Более эффективным для исследования является графоаналитический метод. Он позволяет достаточно просто и с малой затратой времени определить влияние погрешностей в размерах зубчатой передачи на ее эксплуатационные качества.

При исследовании все погрешности выражались в долях модуля. Это позволяет результаты исследований применить к зубчатым передачам любых размеров. Эффективность графоаналитического метода была проверена при корректировке размеров и допусков часов «Молния» на 2-м Московском часовом заводе (2 МЧЗ) в 1949—1952 гг., в работах НИИЧАСПРОМа (НИИЧП) по исследованию будильников в 1953 г. и повышению ходовых качеств часов «Победа» в 1954 г. Графоаналитический метод был применен также при разработке нормали на часовые зубчатые передачи.

Графоаналитический метод исследования мелко модульных зубчатых передач с эвольвентным зацеплением был разработан автором с целью решения вопроса о целесообразности замены циклоидального зацепления эвольвентным.

Завершением исследования мелко модульных зубчатых передач является разработка методов расчета допусков из условий обеспечения ряда эксплуатационных требований и из условий зубообразования.

В работе приведены также методы контроля и испытания часовых зубчатых колес. В работе не дано специального исследования погрешностей изготовления часовых колес (такое исследование было проведено С. В. Тарасовым) и не рассмотрены пространственные зубчатые передачи малого модуля.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСОВЫХ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

В настоящее время существуют различные виды часов, отличающихся как по конструктивному оформлению, так и по размерам. Однако часовые механизмы находят применение не только в часах, но и в других приборах, например в измерительных приборах, в приводных механизмах самописцев, в электрических счетчиках, в трубках взрывателей и т. д. Часовые механизмы состоят из платины, мостов, зубчатых колес и деталей хода (баланс, вилка и др.).

ПЛАТИНЫ И МОСТЫ

Барабан с пружиной, зубчатые колеса, баланс и другие подвижные детали всякого часового механизма монтируются между несколькими, скрепляемыми в одно целое пластинками.

Одна из этих пластин служит основанием механизма и называется платиной¹. В платину запрессовываются штифты, с помощью которых к ней присоединяются все остальные пластинки, называемые мостами.

Наименования мостов содержат названия узлов механизма, расположенных под ними, например «барабанный» мост, «ангренажный» мост и др. Мосты крепятся к платине при помощи одного, двух или трех винтов. Как платина, так и мосты имеют много сквозных и глухих отверстий. По назначению все отверстия можно классифицировать следующим образом.

Отверстия под штифты. К этой группе относятся отверстия, которые определяют взаимное расположение платины и мостов в собранном виде. Из каждой пары таких отверстий одно, расположенное в платине, служит для запрессовки штифта, а другое, расположенное в мосту — для фиксации моста на платине по выступающей части штифта.

Фиксация взаимного положения моста и платины осуществ-

¹ В будильниках и настенных часах может быть две, а иногда и три платины.

ляется обычно двумя или тремя штифтами. На чертежах отверстия под штифты обозначают буквами $Ш_1$; $Ш_2$; $Ш_3$ и т. д.

Отверстия под цапфы осей. К этой группе относятся отверстия, определяющие взаимное положение осей подвижных деталей часового механизма. В одних случаях в эти отверстия помещаются непосредственно цапфы осей вращающихся деталей, в других — запрессовываются камни или оправы с камнями. Отверстия под цапфы осей принято обозначать цифрами I; II; III и т. д.

Отверстия под винты. К этой группе относятся отверстия, служащие для крепления мостов к платине. Из каждой пары таких отверстий одно, расположенное в платине, имеет резьбу, а другое, расположенное в мосту, служит для прохождения винта. В последнее время отверстия под винты делаются непосредственно в штифтах, что значительно сокращает количество необходимых отверстий в платине и мостах. Отверстия под винты обозначают на чертежах буквами B_1 ; B_2 ; B_3 и т. д.

Вспомогательные отверстия. К этой группе относятся отверстия, необходимые для технологического процесса изготовления платин и мостов, или для сборки механизма (например, отверстия в платине, позволяющие наблюдать в механизме движение палет вилки относительно зубьев ходового колеса).

Вспомогательные отверстия обозначают на чертежах либо буквами P_1 ; P_2 ; P_3 , либо цифрами 1; 2; 3 и т. д.

Положение центра каждого отверстия может быть задано двумя координатами в прямоугольной или полярной системе; в часовой промышленности наибольшее распространение получила прямоугольная система координат.

При расчете координат центров отверстий платины и мостов координаты центра центрального отверстия II в платине принимают равными $x = 100$ мм и $y = 100$ мм. В этом случае координаты центров всех отверстий выражаются положительными числами.

На фиг. 1 показано расположение центров отверстий на платине и мостах наручных часов «Победа», а в табл. 1 и 2 — величины соответствующих координат.

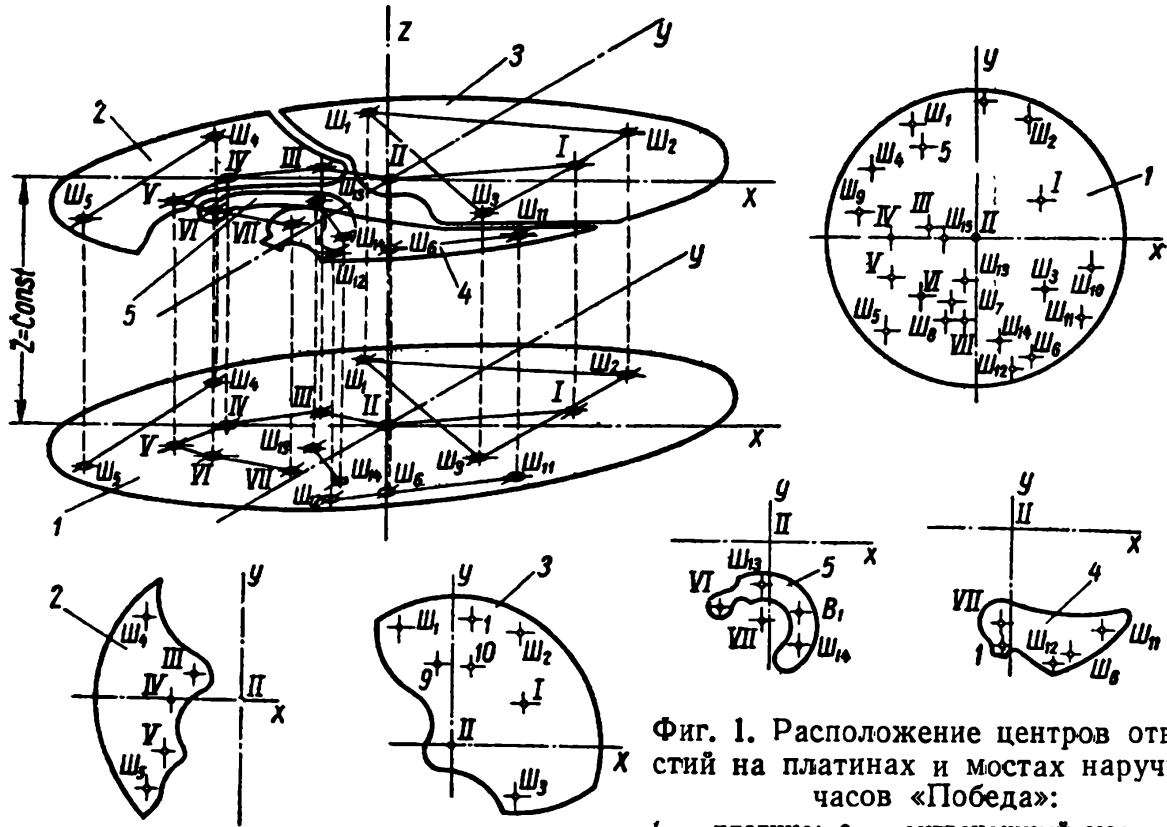
Естественно, что при изготовлении всех указанных отверстий неизбежно возникают погрешности в расположении их центров. Поэтому действительные координаты центров отверстий будут иметь отклонения от номинальных значений.

Для одних отверстий допускаются большие отклонения, для других они ограничиваются очень малыми величинами. Так, например, отклонения координат центров отверстий под винты могут быть больше, чем у отверстий под штифты или под цапфы осей, так как последнее приводит к изменению расстояний между осями вращающихся деталей механизма и к их несоосности.

Отклонения центров отверстий под штифты приводят к дополнительному смещению осей всех одноименных отверстий. Если же эти отклонения окажутся очень большими, то вообще станет невозможным соединение моста с платиной. Поэтому при изготовлении

взаимозаменяемых платин и мостов необходимо обеспечивать требуемую точность расположения отверстий.

В настоящее время наша часовая промышленность полностью решила эту задачу: большое значение для освоения и совершенствования производства взаимозаменяемых платин и мостов имеет опыт 1-го и 2-го Московских часовых заводов. Особенно следует отметить способ точного изготовления каленых пуансоподержате-



Фиг. 1. Расположение центров отверстий на платинах и мостах наручных часов «Победа»:

1 — платина; 2 — ангренажный мост; 3 — барабанный мост; 4 — балансовый мост; 5 — анкерный мост.

лей для калибровочных штампов, разработанный Я. И. Городецким (1 МЧЗ), и технологический процесс изготовления отверстий в тонких платинах и мостах, разработанный В. В. Ивановым (2 МЧЗ).

Развитие методов изготовления взаимозаменяемых платин и мостов. Длительное время с начала развития часового производства изготовление платин и мостов с точным расположением отверстий было непосильной задачей. Не в состоянии решить эту проблему часовщики создавали средства для компенсации возможных погрешностей межцентровых расстояний. Например, в том случае, когда уменьшенное межцентровое расстояние приводило к неправильному зацеплению, приходилось производить обкатку зубчатых колес многозубыми дисковыми фрезами для уменьшения наружного диаметра колеса.

С появлением координатно-разметочных и координатно-расточных станков стало возможно изготавливать точные кондукторы,

Таблица 1

**Координаты отверстий платины наручных часов калибра 26 мм
со стороны мостов в мм**

Обозначения точек	x	y	Обозначения точек	x	y
<i>I</i>	106,346	102,567	<i>Ш</i> ₆	104,650	89,635
<i>II</i>	100,000	100,000	<i>Ш</i> ₇	98,080	94,173
<i>III</i>	96,565	101,394	<i>Ш</i> ₈	97,066	92,735
<i>IV</i>	93,500	100,000	<i>Ш</i> ₉	90,450	103,810
<i>V</i>	92,825	96,804	<i>Ш</i> ₁₀	103,550	96,190
<i>VI</i>	95,357	95,017	<i>Ш</i> ₁₁	108,650	91,785
<i>VII</i>	98,625	92,712	<i>Ш</i> ₁₂	102,950	88,425
<i>Ш</i> ₁	94,925	110,175	<i>Ш</i> ₁₃	98,575	96,550
<i>Ш</i> ₂	106,300	109,700	<i>Ш</i> ₁₄	102,050	90,950
<i>Ш</i> ₃	105,925	94,950	<i>Ш</i> ₁₅	96,930	100,250
<i>Ш</i> ₄	90,640	106,500	<i>1</i>	102,100	111,560
<i>Ш</i> ₅	90,750	93,400	<i>5</i>	96,000	108,210

Таблица 2

Координаты отверстий мостов (в мм) наручных часов калибра 26 мм

Обозначения точек	x	y	Обозначения точек	x	y
<i>Барабанный мост</i>			<i>Анкерный мост</i>		
<i>I</i>	106,346	102,567	<i>II</i>	100,000	100,000
<i>II</i>	100,000	100,000	<i>VI</i>	95,357	95,017
<i>Ш</i> ₁	94,925	110,175	<i>Ш</i> ₁₃	98,575	96,550
<i>Ш</i> ₂	106,300	109,700	<i>Ш</i> ₁₄	102,050	90,950
<i>Ш</i> ₃	105,925	94,950	<i>B</i> ₁	101,800	94,875
<i>1</i>	102,100	111,560			
<i>9</i>	98,850	107,900			
<i>10</i>	101,150	107,900			
<i>Ангренажный мост</i>			<i>Балансовый мост</i>		
<i>II</i>	100,000	100,000	<i>II</i>	100,000	100,000
<i>III</i>	96,565	101,394	<i>VII</i>	98,625	92,712
<i>IV</i>	93,500	100,000	<i>Ш</i> ₆	104,650	89,635
<i>V</i>	92,825	96,804	<i>Ш</i> ₁₁	108,650	91,785
<i>Ш</i> ₄	90,640	106,500	<i>Ш</i> ₁₂	102,950	88,425
<i>Ш</i> ₅	90,750	93,400	<i>1</i>	98,625	90,521

штампы и т. п. Таким образом, были созданы условия для производства взаимозаменяемых платин и мостов.

В начале развития отечественной часовой промышленности отверстия в платинах и мостах сверлили по кондукторам.

Этот способ имел много недостатков, например удлиненные сверла, в соответствии с длиной кондукторных втулок, при работе

подвергались «уводу», из-за чего возникали большие погрешности координат центров отверстий, увеличивающиеся от износа кондукторных втулок. Наиболее серьезный недостаток состоял в том, что этот способ не обеспечивал необходимой соосности одноименных отверстий в платине и мосту и требуемых допусков на их диаметры.

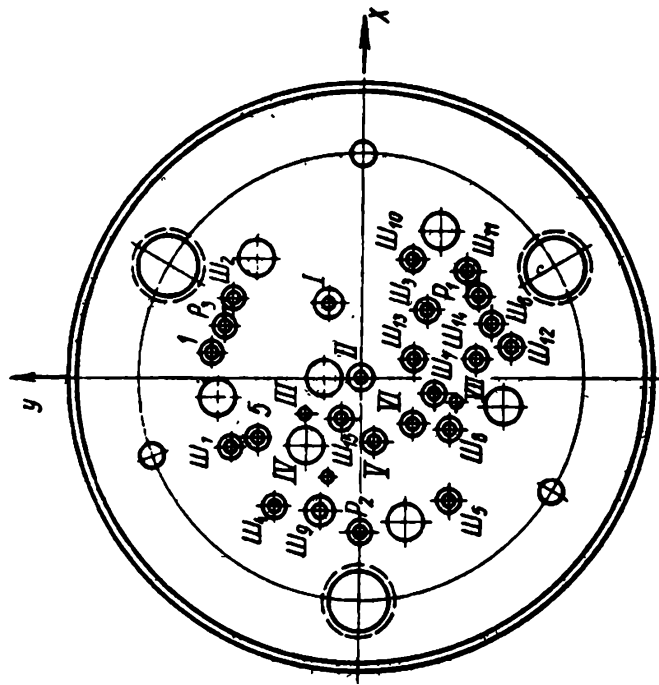
Следующий способ состоял в сверлении отверстий по кернам. Для получения необходимой соосности предусматривалась совместная расточка отверстий в платине и мосту. Кернение центров отверстий производилось на керновочных штампах. Сверление по кернам значительно уменьшает увод сверла вследствие сокращения его длины и этим повышает точность расположения отверстий. Кроме того, при таком сверлении отсутствуют погрешности от износа кондукторных втулок. Но сверление по кернам все же не гарантировало взаимозаменяемости платин и мостов, так как создавало большие погрешности диаметров отверстий и координат их центров. Этот недостаток удалось устранить, введя дополнительно калибровку отверстий специальными калибровочными штампами.

Применение калибровки отверстий значительно сократило погрешности расположения отверстий и позволило осуществить взаимозаменяемость платин и мостов. Данный способ имеет в настоящее время широкое распространение. Степень взаимозаменяемости зависит в основном от точности изготовления калибровочных штампов.

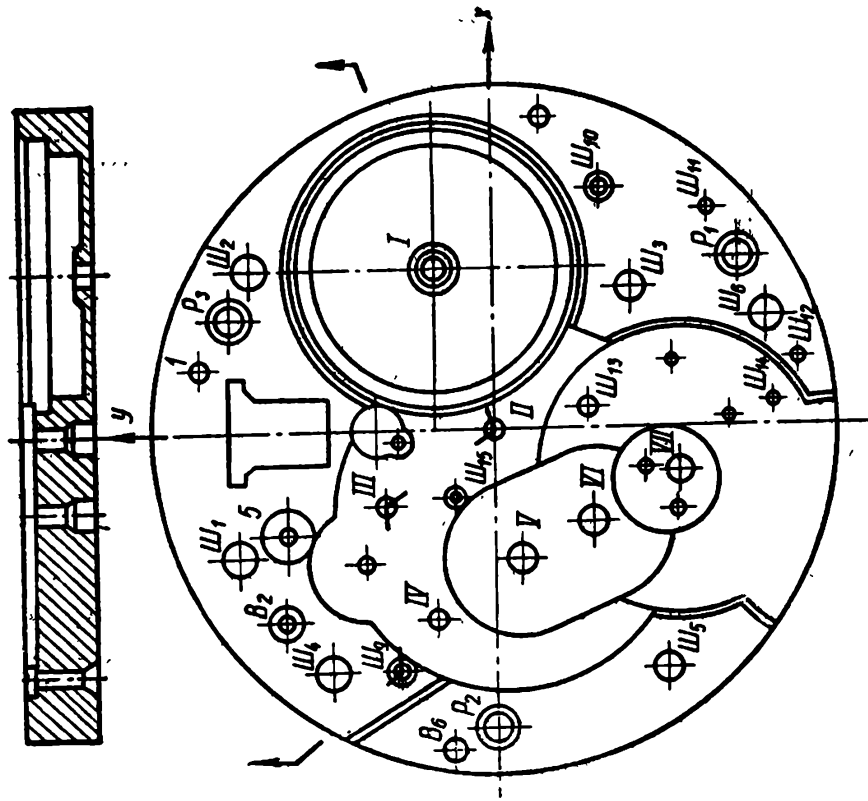
Основной деталью штампа является пуансонодержатель (фиг. 2), в который запрессованы пуансоны. От точности изготовления отверстий в пуансонодержателе зависит точность расположения отверстий в платине (фиг. 3) после калибровки.

Существует несколько способов изготовления отверстий в пуансонодержателях. Наиболее простым является способ, при котором кернение, сверление и окончательная расточка отверстий под пуансоны осуществляется на координатно-расточных станках. Однако этот способ не обеспечивает необходимой точности расположения отверстий в пуансонодержателях и требуемой соосности одноименных отверстий в платинах и мостах. Чтобы получить требуемую соосность, необходимо обеспечить высокую точность совпадения координат центров одноименных пуансонов в пуансонодержателях для платины и моста. Это было достигнуто с помощью эталонных пластинок.

Эталонная пластинка имеет отверстия, подобные отверстиям платины, но выполненные с предельно достижимой точностью расположения. По ней окончательно растачиваются отверстия во всех пуансонодержателях, предназначенных для калибровки отверстий в платинах и мостах данного часового механизма. Расточка отверстий по эталонной пластинке производится следующим образом. Пуансонодержатель с предварительно просверленными отверстиями крепится к эталонной пластинке тремя базовыми штифтами (P_1 , P_2 и P_3).



Фиг. 2. Пуансондержатель калибровочного штампа .



Фиг. 3. Платина наручных часов .