

Министерство образования Российской Федерации
Московский государственный индустриальный университет

Селективная сборка сопряженных деталей машин

**Методические указания
для выполнения курсовой работы
по дисциплине: «Метрология, стандартизация и сертификация»**

Составители: В.Г. Мороз,
С.А. Юрков

Москва 2000

Методические указания «Селективная сборка сопряженных деталей машин» предназначены для выполнения курсовой работы по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов всех специальностей дневного и вечернего отделений МГИУ, кроме 1709.

Методические указания
рассмотрены и утверждены
кафедрой «Детали машин»:
протокол № 5 от 29.06.2000 г.

Подготовлено к печати на кафедре «Детали машин»

Рецензент: к.т.н. доц. М.Б. Иваний

ЛР 020407 от 12.02.2000

Подписано в печать

Формат бум. 60x90/16

Усл. Печ.л. 150

Тираж

Уч.-изд. л. 16,0

Заказ №

Сдано в производство

Бумага множ.

Тем. План 2000 г., поз.52

С-52/2000

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СЕЛЕКТИВНАЯ СБОРКА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
2. ПРИМЕРЫ НА ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ	11
3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	21
ЛИТЕРАТУРА	22

Введение

Одним из наиболее эффективных методов повышения точности соединений деталей машин является селективная сборка, нашедшая широкое применение в автомобилестроении, подшипниковой промышленности, станкостроении, приборостроении, поэтому «Селективная сборка» является одним из разделов курсовой работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

В основу настоящей разработки положены данные ГОСТ 25346-89 [3] и ГОСТ 25347-89 [4].

Целью работы является освоение студентами МГИУ расчета допусков деталей машин методом селективной сборки.

1. Селективная сборка. Общие сведения

Селективная сборка является одним из способов расчета размерных цепей.

Сущность селективной сборки заключается в изготовлении деталей со сравнительно широкими технологически выполнимыми допусками (изготовление деталей с меньшими допусками связано с увеличением вероятности появления брака и повышением себестоимости), сортировке деталей на равное число групп с более узкими групповыми допусками и их сборке после комплектования по одноименным группам.

Относительная себестоимость C изготовления деталей по мере уменьшения допуска T возрастает по гиперболе (рис.1).

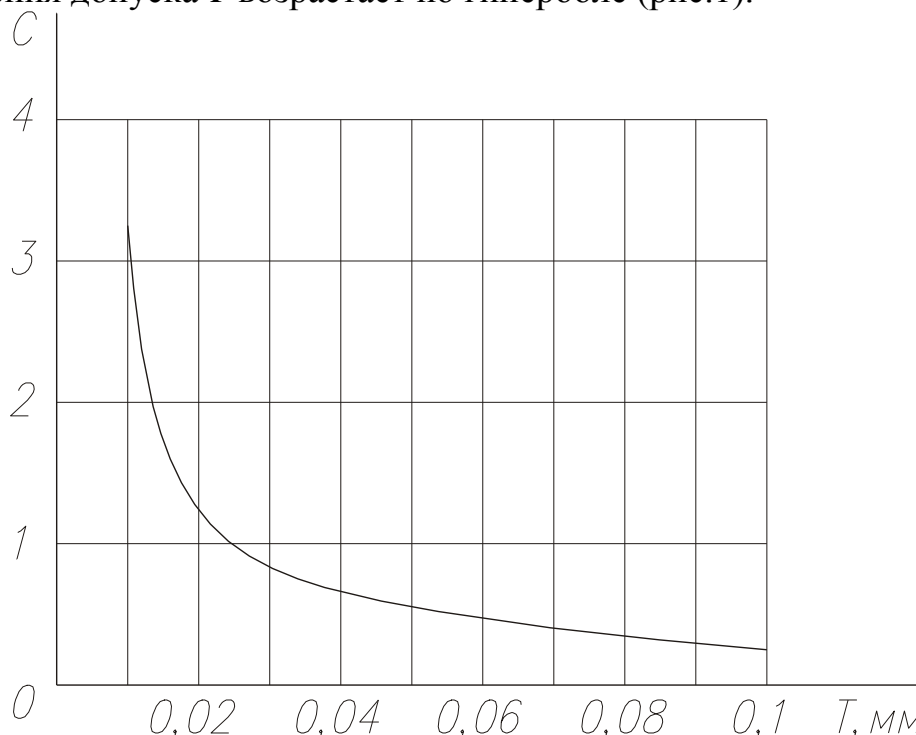


Рис.1. График зависимости относительной себестоимости изготовления деталей от допуска

Как видно из схемы сортировки деталей (рис.2 а, б, в), при селективной сборке (в посадках с зазором и натягом) наибольшие зазоры и натяги уменьшаются, а наименьшие увеличиваются, приближаясь с ростом числа групп сортировки к среднему значению зазора или натяга для данной посадки, что делает соединения более стабильными и долговечными. В переходных посадках наибольшие натяги и зазоры уменьшаются, приближаясь с ростом числа групп сортировки к тому натягу или зазору, который соответствует серединам полей допусков деталей.

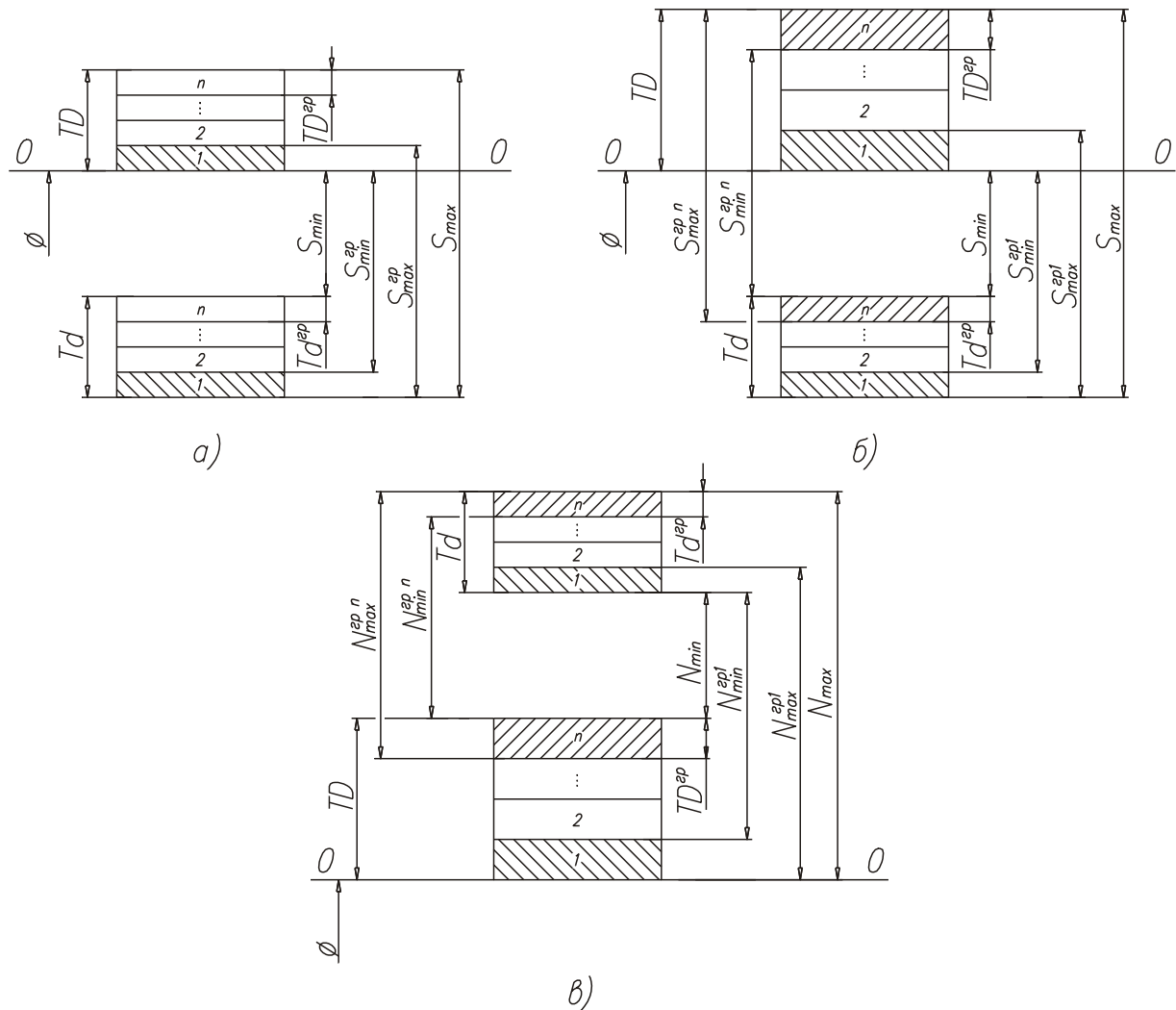


Рис.2. Схема сортировки деталей на группы: а) посадка с зазором, $TD=Td$; б) посадка с зазором, $TD>Td$; в) посадка с натягом, $TD>Td$

Для установления числа групп n сортировки деталей необходимо знать требуемые предельные значения групповых зазоров или натягов, которые находят из условия обеспечения наибольшей долговечности соединения, либо допустимую величину группового допуска Td^{ep} или TD^{ep} , определяемую экономической точностью сборки и сортировки деталей, а также величиной возможной погрешности их формы. Погрешности формы не должны превышать группового допуска, иначе одна и та же деталь может

попасть в одну или в другую ближайшую группу в зависимости от того, в каком сечении будет измеряться деталь при сортировке.

Рассмотрим случай определения числа n групп, когда в исходной посадке $TD = Td$. Для этого случая характерно, что групповой зазор или натяг остаются постоянными при переходе от одной группы к другой (рис.2, а). При сборке деталей для повышения долговечности подвижных соединений необходимо создавать наименьший допустимый зазор, а для повышения надежности соединений с натягом – наибольший допустимый натяг. Подсчитывать число n групп можно по уравнениям:

для подвижной посадки при заданном S_{\min}^{cp}

$$S_{\min}^{cp} = S_{\min} + Td - \frac{Td}{n} \quad (1)$$

для посадки с натягом при заданном N_{\max}^{cp}

$$N_{\max}^{cp} = N_{\max} - TD + \frac{TD}{n} \quad (2)$$

При заданной величине группового допуска TD^{cp} или Td^{cp} :

$$TD^{cp} = \frac{TD}{n}; \quad n = \frac{TD}{TD^{cp}}; \quad Td^{cp} = \frac{Td}{n}; \quad n = \frac{Td}{Td^{cp}}$$

Так как по условию задачи $TD = Td$, то

$$n = \frac{TD}{TD^{cp}} = \frac{Td}{Td^{cp}} \quad (3)$$

Групповой допуск зазора равен:

$$TS^{cp} = S_{\max}^{cp} - S_{\min}^{cp} = TD^{cp} + Td^{cp} = \frac{TD}{n} + \frac{Td}{n} = \frac{TD + Td}{n} = \frac{TS}{n} \quad (4)$$

Групповой допуск натяга равен:

$$TN^{cp} = N_{\max}^{cp} - N_{\min}^{cp} = TD^{cp} + Td^{cp} = \frac{TD}{n} + \frac{Td}{n} = \frac{TD + Td}{n} = \frac{TN}{n} \quad (5)$$

При $TD > Td$ групповой зазор (или натяг) при переходе от одной группы к другой не остается постоянным (см. рис.2 б, в), следовательно, однородность соединений не обеспечивается. Поэтому селективную сборку целесообразно применять при $TD = Td$.

Следует также иметь в виду, что при большом числе групп сортировки групповой допуск будет незначительно отличаться от допуска при меньшем числе групп, а организация контроля и сложность сборки значительно возрастут. Практически $n_{\max} = 4 \dots 5$, и лишь в подшипниковой промышленности при сортировке тел качения n достигает 10 и более.

Селективную сборку применяют не только в сопряжениях гладких деталей цилиндрической формы, но и в более сложных по форме (например, резьбовых).

Селективная сборка позволяет в n раз повысить точность сборки (точность соединения) без уменьшения допусков на изготовление деталей

и обеспечить заданную точность сборки (точность соединения) при расширении допусков до экономически целесообразных величин.

Вместе с тем селективная сборка имеет свои недостатки: усложняется контроль (требуется штат контролеров, более точные измерительные средства, контрольно-сортировочные автоматы); растет трудоемкость процесса сборки (в результате создания сортировочных групп); возможно увеличение незавершенного производства вследствие разного числа деталей в парных группах. А что же такое незавершенность производства? Положим, что изготовили 100 комплектов отверстий и валов (см. рис.2): отверстий и валов группы 1 – 40 и 38 штук, соответственно; отверстий и валов группы 2 – 28 и 30 штук, соответственно; отверстий и валов группы 3 – 15 и 18 штук, соответственно; отверстий и валов группы 4 – 17 и 14 штук, соответственно. В процессе сборки получили 38 пар группы 1, 28 пар группы 2, 15 пар группы 3 и 14 пар группы 4, что в сумме составило 95 сборок, а 5 сборок не состоялись и детали стали незавершенностью производства.

При некоторых видах производства указанные выше недостатки являются довольно существенными, при других все затраты окупаются и как таковых недостатков нет. Так применение селективной сборки целесообразно в массовом и крупносерийном производствах для соединений высокой точности, когда дополнительные затраты на сортировку, маркировку, сборку и хранение деталей по группам окупаются высоким качеством соединений. При производстве подшипников качения и сборке ответственных резьбовых соединений с натягом селективная сборка является единственным экономически целесообразным методом обеспечения требуемой точности.

Селективная сборка обеспечивает неполную, групповую взаимозаменяемость, ввиду чего этот метод используют обычно в условиях завода-изготовителя при обеспечении внутренней взаимозаменяемости. Исключением, например, являются детали шатунно-поршневой группы (поршни, поршневые пальцы, шатуны) и некоторые другие запасные части к двигателям внутреннего сгорания.

Кривошипно-шатунный механизм, в состав которого входит шатунно-поршневая группа, является наиболее сложным и ответственным механизмом в двигателе внутреннего сгорания, так как он испытывает помимо огромных силовых еще и большие температурные нагрузки. В связи с этим к его сборке предъявляются особо жесткие требования с целью обеспечения необходимых зазоров и натягов в сопрягаемых деталях. Поэтому детали (шатуны, поршни и поршневые пальцы) после их изготовления, непосредственно перед сборкой, предварительно сортируют на классы и группы с соответствующей маркировкой (буквенной или цифровой). Маркировка наносится краской: в поршневом пальце – на внутренней поверхности, на поршне – в нижней части бобышек, на шатуне – на наружной цилиндрической поверхности малой головки. При сборке палец, поршень и шатун комплектуют из деталей только одноименной группы. В качестве примера в табл. 1 приведены размеры основных сопряженных деталей ша-

тунно-поршневой группы двигателя ЗиЛ-131 [6] и их маркировка, а на рис. 3 показана схема расположения полей допусков до и после селективной сборки.

табл.1

Размеры основных сопряженных деталей шатунно-поршневой группы двигателя ЗиЛ-131 и их маркировка

Группа	Диаметр поршневого пальца, мм	Диаметр отверстия в мм		Цвет маркировки
		в поршне	в малой головке шатуна	
1	28,0000-27,9975	27,9950-27,9925	28,0070-28,0045	голубой
2	27,9975-27,9950	27,9925-27,9900	28,0045-28,0020	красный
3	27,9950-27,9925	27,9900-27,9875	28,0020-27,9995	белый
4	27,9925-27,9900	27,9875-27,9850	27,9995-27,9970	черный

Примечание: все замеры производят при температуре 20 °С

Таким подбором для данного двигателя обеспечивают натяг между пальцем и поршнем в пределах 0,0025-0,0075 мм и зазор между пальцем и шатуном в пределах 0,0045-0,0095 мм (рис.3).

Цвет маркировки устанавливается заводом-изготовителем. Например, на двигателях ЗиЛ для маркировки не используется желтый цвет по причине пометки данным цветом бракованных изделий.

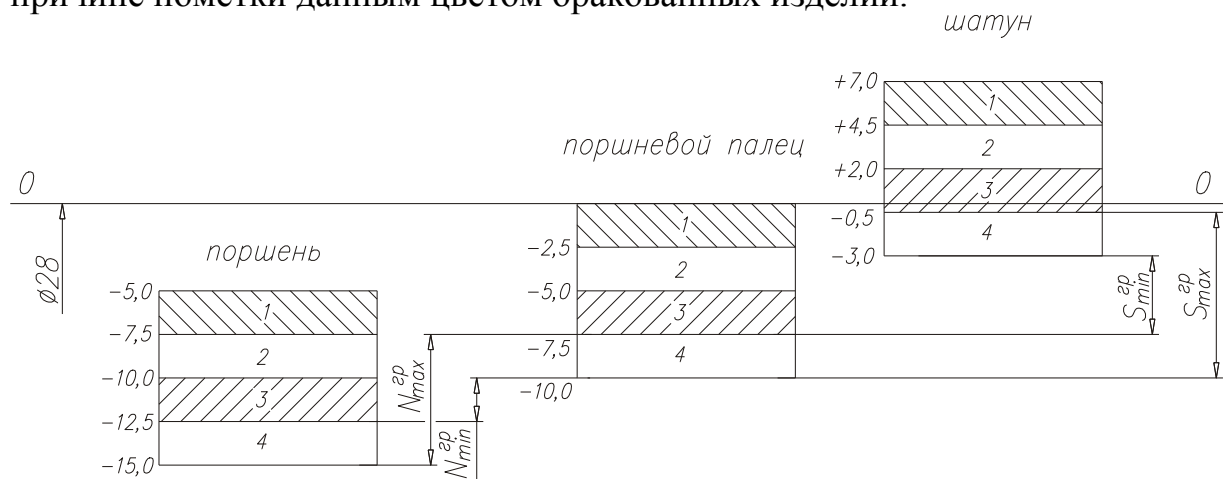


Рис.3. Схема расположения полей допусков деталей шатунно-поршневой группы двигателя ЗиЛ-131

Для сокращения объемов незавершенного производства, образующегося при селективной сборке, строят эмпирические кривые распределения размеров соединяемых деталей. Если смещения центров группирования и кривые распределения размеров соединяемых деталей одинаковы и соответствуют, например, закону нормального распределения Гаусса, то коли-

чество деталей в одноименных группах будет одинаковым. Следовательно, только при идентичности кривых распределения сборка деталей одноименных групп (рис.4) устраняет образование незавершенного производства.

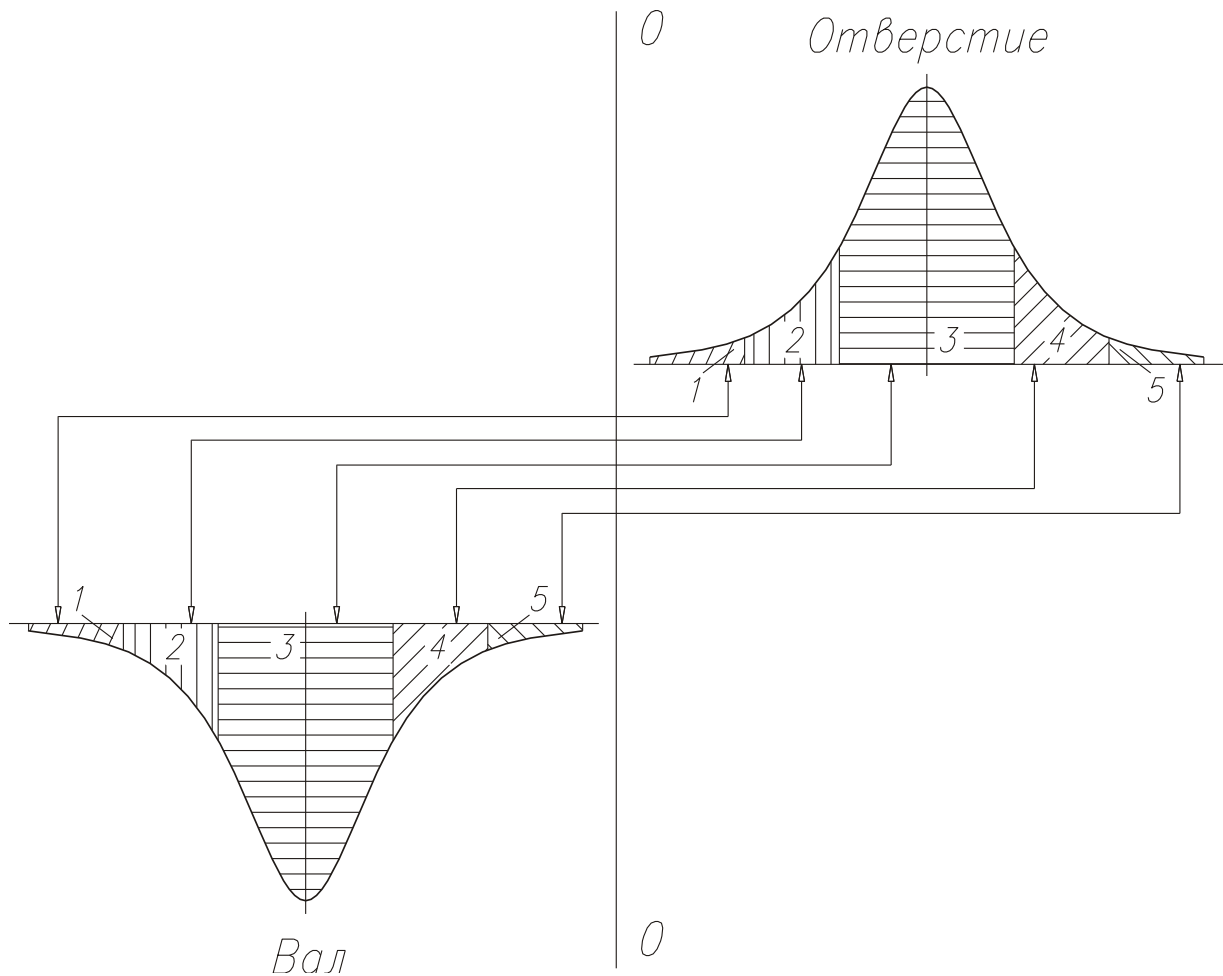


Рис.4. Схема сортировки деталей на группы с учетом кривых распределения

Иногда деление допуска, выраженного в единицах длины, на равные части заменяют делением на части, границы которых выражаются в долях дисперсии σ .

По номограмме [5], показанной на рис.5 можно определять относительное количество деталей в каждой группе, когда их границы выражаются в долях σ . На номограмме по оси абсцисс, имеющей равномерную шкалу, откладываются значения случайной величины x , а по оси ординат – значения интегральной функции вероятностей $P_{xi < x}$ (от 0 до 100%). Ось ординат имеет трансформированную шкалу вероятностей, для которой график интегральной функции $P_{xi < x}$ обращается в прямую линию.

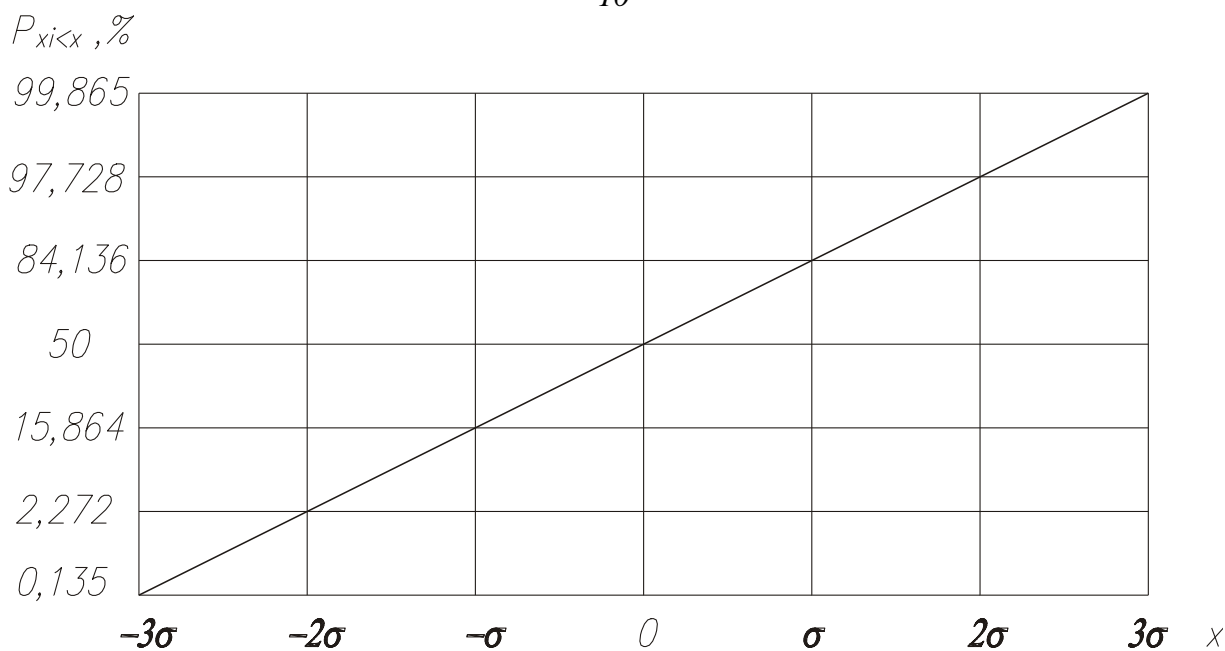


Рис.5. Номограмма для определения относительного количества деталей в группах при селективной сборке

Так, если первая группа имеет сортировочные границы от -2σ до -3σ , то относительное количество деталей этой группы равно $2,272 - 0,135 = 2,137\%$; относительное количество деталей второй группы при сортировочных границах от $-\sigma$ до -2σ равно $15,864 - 2,272 = 13,592\%$; относительное количество деталей третьей группы при сортировочных границах $\pm\sigma$ равно $84,136 - 15,864 = 68,272\%$. В четвертой и пятой группах относительное количество деталей, соответственно, равно $13,592$ и $2,137\%$. Как видно, количество сборочных единиц, собранных из деталей третьей группы примерно в 4 раза больше, чем собранных из первой и второй или четвертой и пятой групп.

На рис.6 показано распределение деталей по зонам σ при законе нормального распределения.

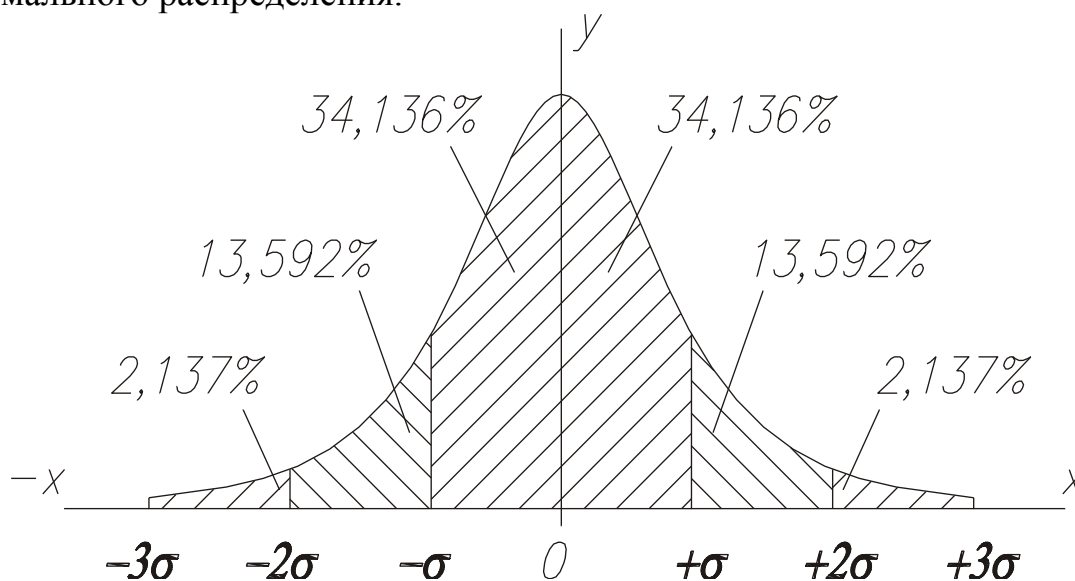


Рис.6. Распределение деталей по зонам σ при законе нормального распределения

2. Примеры на применение селективной сборки

Пример 1

По конструктивным требованиям для номинального диаметра 65 мм подобрать посадку с наименьшим натягом $N_{min}=57$ мкм и наибольшим $N_{max}=117$ мкм, причем технологически легко выполнимыми для производства являются допуски по 8 качеству и выше.

Решение

Указанным требованиям соответствует посадка $\text{Ø}65 \frac{H7}{u7}$ (рис.7), но для данного производства она технологически трудно выполнима. Поэтому можно изготовить детали с посадкой $\text{Ø}65 \frac{H8}{u8}$, которая даже при разбивке допуска на две группы и сборке деталей одноименных групп обеспечивает натяг в приемлемых пределах 64-110 мкм в каждой группе при расширении допусков на изготовление на 53,3%, что обеспечивает удешевление производства более чем на 53,3%.

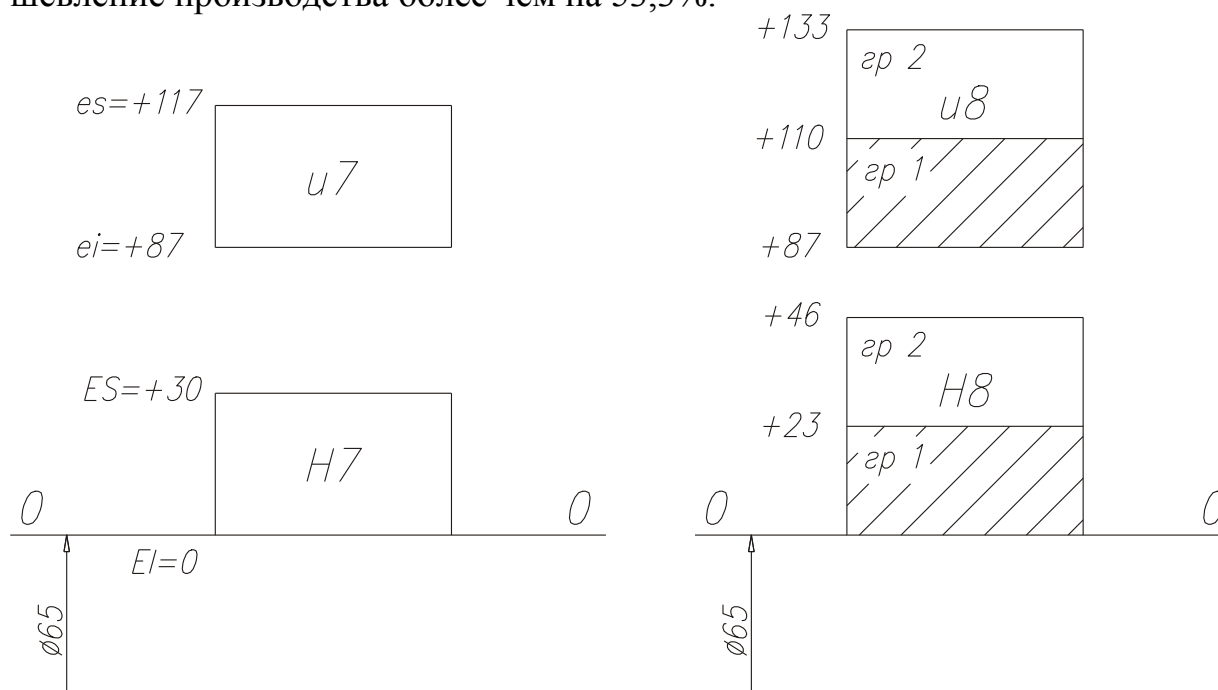


Рис.7. Схема расположения полей допусков требуемой и альтернативной при применении селективной сборки посадок

Пример 2

Дана подвижная посадка – соединение вала с отверстием $\text{Ø}30 \frac{H8}{c8}$.

Необходимо увеличить точность соединения: 1) в 2 раза; 2) в 4 раза, сохраняя при этом допуски на изготовление вала ($\text{Ø}30 c8$) и отверстия ($\text{Ø}30 H8$).

Построить схемы расположения полей допусков и дать графическое изображение зазоров до селективной сборки и после нее.

Решение

В соединениях по этой посадке зазоры будут находиться в пределах от $S_{min}=110$ мкм до $S_{max}=176$ мкм. Точность соединения будет характеризоваться допуском зазора (замыкающего размера):

$$TS=S_{max}-S_{min}=TD+Td=66 \text{ мкм.}$$

Метод селективной сборки, применяемый для уменьшения допуска соединения ($TS=66$ мкм) без уменьшения допуска на обработку деталей ($TD=Td=33$ мкм) заключается в следующем. Поля допусков соединяемых деталей разбивают на одинаковое число n групп и получают так называемые групповые допуски, обозначенные на рис.8 цифрами 1 и 2 для числа групп $n=2$; и цифрами 1, 2, 3 и 4 для числа групп $n=4$. Детали перед сборкой рассортировывают по размерам в соответствии с групповыми допусками. Сборку деталей ведут по одноименным группам, то есть валы группы 1 соединяют с отверстиями группы 1, валы группы 2 с отверстиями группы 2 и т.д. В результате селективной сборки при числе групп $n=2$ зазоры в соединениях будут находиться в пределах $S_{min}^{sp}=126,5$ мкм и $S_{max}^{sp}=159,5$ мкм, при этом точность соединений равна

$$TS^{sp}=TS_{max}^{sp}-TS_{min}^{sp}=33 \text{ мкм,}$$

то есть достигнуто повышение точности в 2 раза; при числе групп $n=4$ зазоры в соединениях будут находиться в пределах $S_{min}^{sp}=134,75$ мкм и $S_{max}^{sp}=151,25$ мкм, при этом точность соединений равна

$$TS^{sp}=TS_{max}^{sp}-TS_{min}^{sp}=151,25-134,75=16,5 \text{ мкм,}$$

то есть достигнуто повышение точности в 4 раза.

На рис. 8 построены схемы расположения полей допусков и даны графические изображения зазоров до селективной сборки и после нее.

Пример 3

Дана переходная посадка – соединение вала с отверстием.

Необходимо увеличить точность соединения в 2 раза, сохраняя при этом допуски на изготовление вала и отверстия.

Построить схемы расположения полей допусков и дать графические изображения зазоров и натягов до селективной сборки и после нее.

Решение

Строим схему расположения полей допусков переходной посадки. Допуск отверстия не равен допуску вала, то есть $TD>Td$.

Допуски отверстия и вала разбиваем на две равные части – группы 1 и 2. Таким образом получаем схему расположения групповых допусков на

отверстие и на вал. Проставляем номера групп 1 и 2 в соответствующих прямоугольниках. Для различия поля допусков, соответствующие первым группам, штрихуем (рис.9).

Для отверстия верхнее и нижнее отклонения соответственно равны $ES=+30$ мкм, $EI=0$. Делим поле допуска отверстия на две равные части и получаем для первой группы: $EI^{ep1}=0$, $ES^{ep1}=+15$ мкм; для второй: $EI^{ep2}=+15$ мкм, $ES^{ep2}=+30$ мкм. Соответственно допуски будут равны: $TD=30$ мкм, $TD^{ep1}=TD^{ep2}=15$ мкм.

Для вала $js6$ нижнее отклонение $ei=-9,5$ мкм, верхнее отклонение $es=+9,5$ мкм, допуск $Td=19$ мкм.

Посадка по серединам полей допусков вала и отверстия дает зазор $S_{cp}=+15$ мкм.

Допуск посадки до сборки $T_{\Delta}=TD+Td=30+19=49$ мкм.

Переходная посадка дает как зазоры, так и натяги. Наибольший натяг $N_{max}=EI-es=-9,5$ мкм. Наибольший зазор $S_{max}=ES-ei=30+9,5=39,5$ мкм (рис.9).

Рассмотрим зазоры и натяги после селективной сборки деталей.

Для посадки $\varnothing 60 \frac{H7}{js6}$ в обеих группах будут только зазоры. В первой группе $S_{max}^{ep1}=24,5$ мкм; $S_{min}^{ep1}=0$. Во второй группе $S_{max}^{ep2}=30$ мкм, $S_{min}^{ep2}=5,5$ мкм.

Групповой допуск $T_{\Delta}^{ep}=24,5$ мкм.

Для графического изображения зазоров и натягов до селективной сборки и после проводим две прямые линии параллельные нулевой (рис.9), на которых обозначаем нулевую отметку и вправо откладываем положительные величины – зазоры, влево – отрицательные величины – натяги. Сначала над верхней прямой линией, параллельной нулевой, дается графическое изображение зазоров и натягов до селективной сборки, затем над нижней прямой линией дается графическое изображение зазоров после селективной сборки.

Расположение прямоугольников, вытянутых в горизонтальном направлении определяется значениями максимального и минимального зазора и натяга.

График дает наглядное изображение полученных наибольших, наименьших, средних зазоров и натягов как в соединениях до селективной сборки, так и после нее, то есть полную картину селективной сборки.

На рис.10 показано оформление раздела «Селективная сборка» на листе.

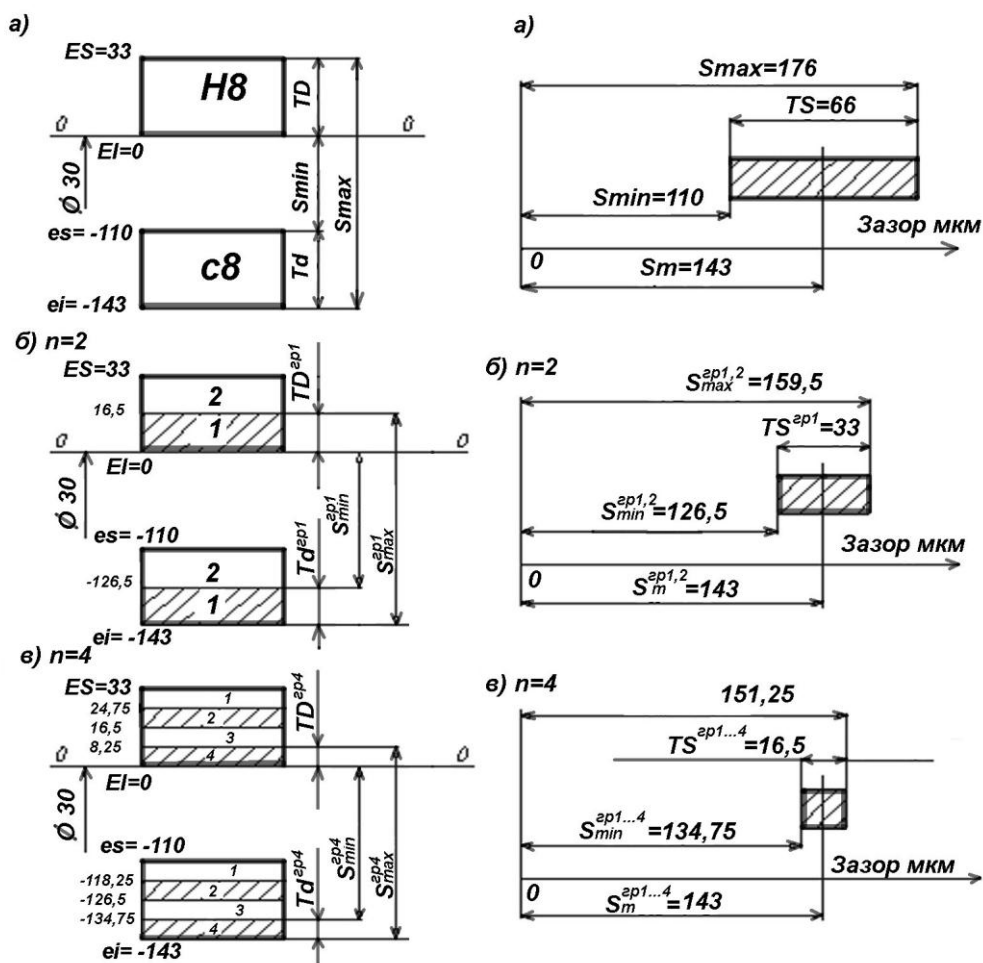


Рис.8. Схема расположения полей допусков и графическое изображение зазоров до селективной сборки и после нее для посадки с зазором

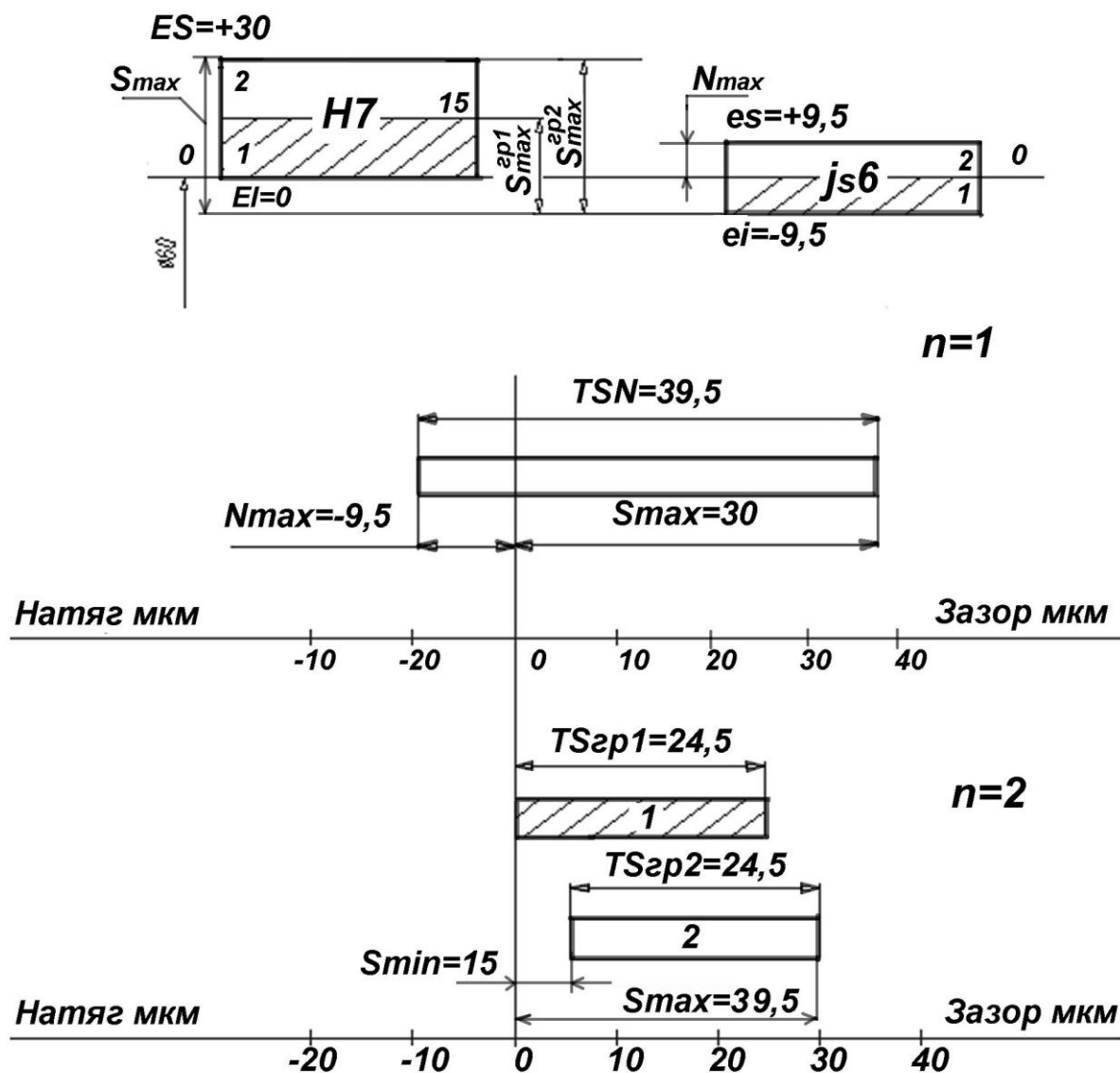


Рис.9. Схема расположения полей допусков и графическое изображение зазоров и натягов до селективной сборки и после нее для переходной посадки

Пример 4

При сборке электроустановки необходимо в схему установить резистор сопротивлением $R = 200 \text{ Ом} \pm 2,5\%$. Реально на складе предприятия оказались в наличии резисторы сопротивлением $R = 400 \text{ Ом} \pm 5\%$, $R = 200 \text{ Ом} \pm 5\%$, $R = 100 \text{ Ом} \pm 5\%$ и $R = 50 \text{ Ом} \pm 5\%$. Необходимо с использованием селективной сборки подобрать совокупность резисторов из имеющихся на складе и способ их соединения, чтобы обеспечить требуемую величину сопротивления $R = 200 \text{ Ом} \pm 2,5\%$.

Решение

Возьмем две партии резисторов сопротивлением $R = 100 \text{ Ом} \pm 5\%$ и после рассортировки на четыре группы соединим их последовательно перекрестно по группам (рис.11).

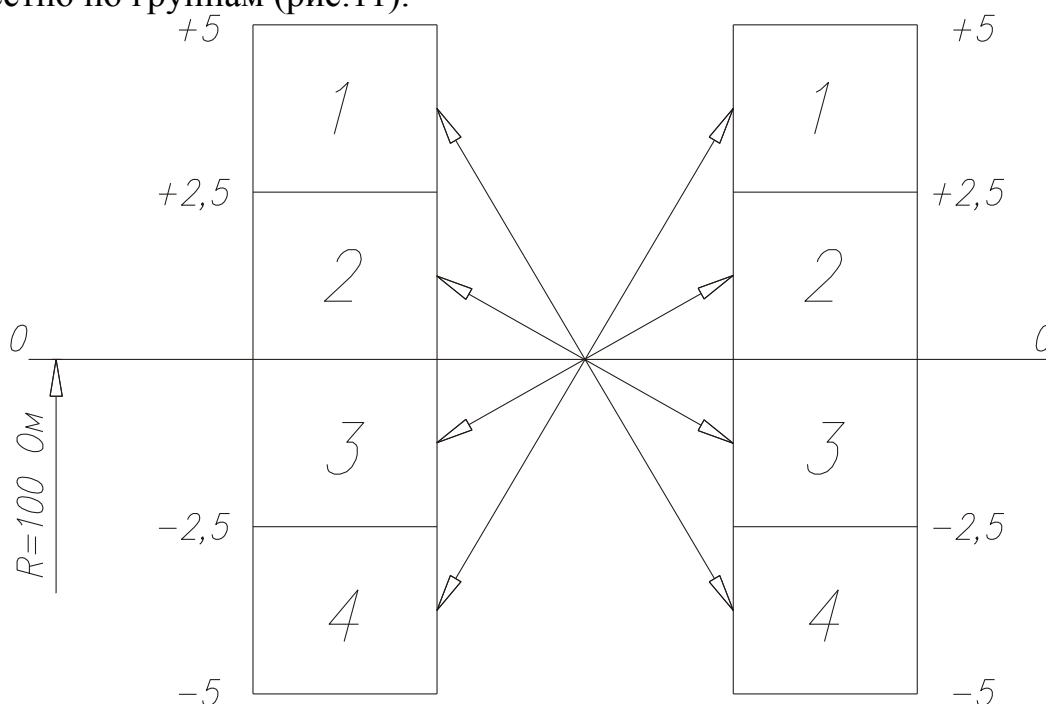


Рис.11. Селективная сборка двух партий резисторов сопротивлением $R = 100 \text{ Ом} \pm 5\%$ с перекрестной комплектровкой

Известно, что общее сопротивление двух последовательно включенных резисторов равно сумме их сопротивлений, то есть $R_{\Sigma} = R_1 + R_2$. В худшем случае, при соединении группы 1 с группой 4, получим:

$$R_{1,4} = (105 + 97,5) = 202,5 \text{ Ом (отклонение } 1,25\%);$$

$$R_{1,4} = (102,5 + 95) = 197,5 \text{ Ом (отклонение } 1,25\%);$$

$$R_{1,4} = (105 + 95) = 200 \text{ Ом (отклонение } 0\%);$$

$$R_{1,4} = (102,5 + 97,5) = 200 \text{ Ом (отклонение } 0\%).$$

А что если соединить параллельно резисторы сопротивлением $R = 400 \text{ Ом} \pm 5\%$ с применением селективной разборки на четыре группы (рис.12).

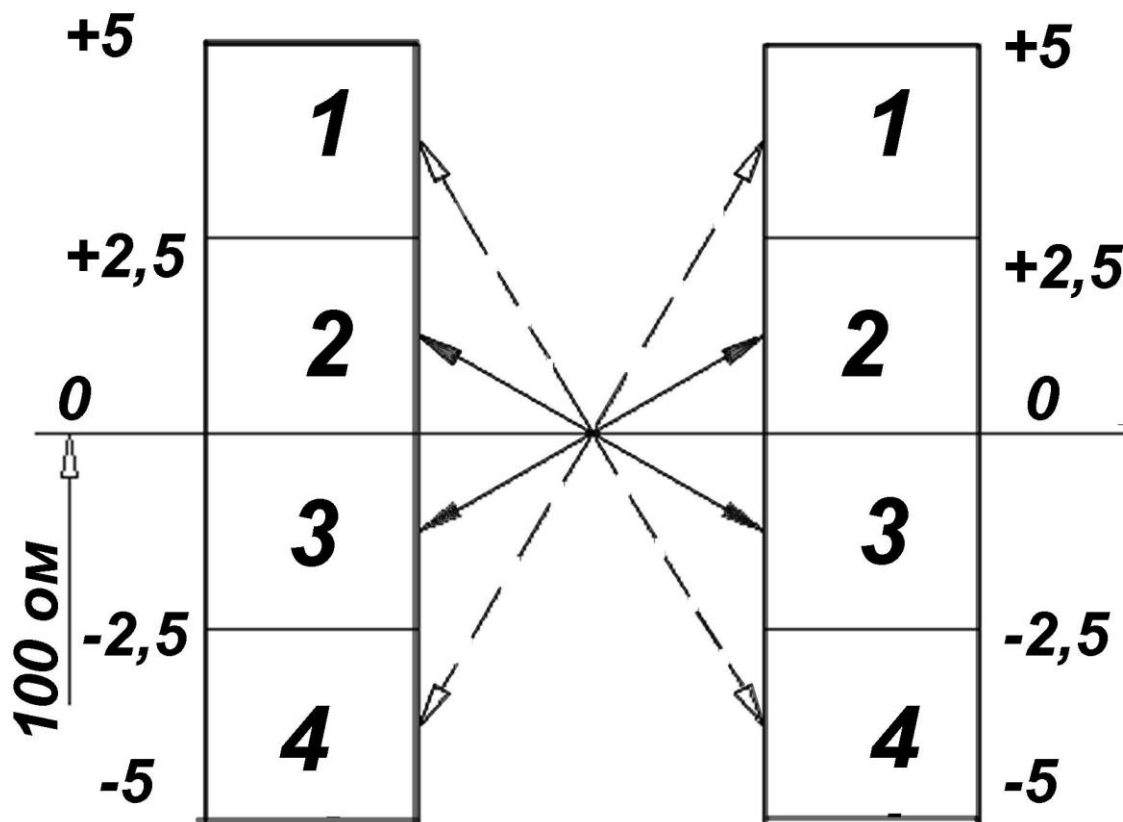


Рис.12. Селективная сборка двух партий резисторов сопротивлением $R = 400 \text{ Ом} \pm 5\%$ с перекрестной комплектовкой

Общее сопротивление двух параллельно включенных резисторов равно отношению произведения этих двух сопротивлений к их сумме, то

есть $R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$. Рассортировка на группы даст следующее:

$$R_{1,4} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{420 \cdot 390}{420 + 390} = \frac{163800}{810} = 202,222 \text{ Ом (отклонение 1,11%);}$$

$$R_{1,4} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{410 \cdot 380}{410 + 380} = \frac{155800}{790} = 197,215 \text{ Ом (отклонение 1,39%);}$$

$$R_{1,4} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{420 \cdot 380}{420 + 380} = \frac{159600}{800} = 199,500 \text{ Ом (отклонение 0,25%);}$$

$$R_{1,4} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{410 \cdot 390}{410 + 390} = \frac{159900}{800} = 199,875 \text{ Ом (отклонение 0,0625%).}$$

Как видно и в том и в другом случаях селективная сборка позволила уложиться в 2,5%.

Рассмотренные варианты применения селективных решений технических задач могут быть применены не только в машиностроении и электротехнике, но и в иных областях науки и техники.

3. Контрольные вопросы

1. Какие задачи решаются селективной сборкой?
2. Можно ли получить сверхточный размер при увеличении числа групп разбиения до бесконечности?
3. Что понимается под незавершенностью производства при селективной сборке, очень ли это плохо и когда?
4. Приведите известные Вам примеры применения селективной сборки в производстве.
5. Обоснуйте экономическую эффективность селективной сборки.
6. Какой метод измерений, по Вашему мнению, рационально применять при селекции деталей на группы?

Литература

1. Якушев А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов/ А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и дополн. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с., ил.
2. Тищенко О.Ф., Валединский А.С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 357 с., ил.
3. ГОСТ 25346-89. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. М.: Издательство стандартов, 1989.
4. ГОСТ 25347-89. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. М.: Издательство стандартов, 1989.
5. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч./ В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1982. – Ч. 1. 543 с., ил.
6. Автомобиль ЗиЛ-131 и его модификации. Инструкция по эксплуатации / А.В. Кураев, М.В. Кашлаков и др. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1971. – 376 с., ил.