

# КОМПЛЕКТОВАНИЕ ДВУХЭЛЕМЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАНЖИРОВАНИЯ

## *Kitting-up of two-element assemblage on the base of ranking*

## *Kompletowanie połączeń dwuelementowych na podstawie rangowania*

Куприянов А.В., к.т.н., доц.

---

**Аннотация:** Предлагается запоминать и эффективно использовать действительные размеры деталей для организации комплектования. Разработаны методы комплектования на основе индивидуального подбора, которые, при сравнимой с селективной сборкой точностью, менее подвержены ее недостаткам: необходимости в большой серийности и низкой вероятности комплектования. Определена эффективность предлагаемых методов. Предложена номограмма для определения страховых запасов деталей для осуществления комплектования.

**Ключевые слова:** сборка, селекция, комплектование, ранжирование

**Abstract:** It is proposed to store and effectively use the actual dimensions of the details for the organization of kitting-up. The methods of kitting-up on the basis of individual match are comparable to the precision of selective assembly, but less susceptible to its shortcomings: the need for a large batch and low probability of kitting-up. The efficiency of the proposed methods is estimated. A nomogram for determining the safety stock of parts for kitting-up is proposed.

**Keywords:** assembly, selection, complete, ranking

**Streszczenie:** W pracy zaproponowano sposób zapamiętywania i efektywnego wykorzystywania rzeczywistych wymiarów części celem zorganizowania kompletowania części koniecznych do montażu. Opracowano metody kompletowania na podstawie indywidualnego doboru, które w porównaniu z selektywnym montażem, pod względem dokładności mają mniej mankamentów, tzn. konieczności dużej seryjności i małego prawdopodobieństwa kompletowania. Wyznaczono efektywność zaproponowanych metod. Zamieszczono nomogram dla wyznaczenia zapasów bezpieczeństwa części koniecznych do kompletowania.

**Słowa kluczowe:** montaż, selekcja, kompletowanie, rangowanie

---

### **Введение**

Традиционная технология изготовления деталей и сборки соединений не использует полную информацию о действительных параметрах деталей. Для сборки с полной взаимозаменяемостью детали измеряются преимущественно калибрами, что не дает информации о действительных размерах. Даже если, для высокоточных соединений, или при получении контрольных карт, детали измеряются универсальными мерительными средствами, дальше эти размеры для каждой детали не запоминаются. При сборке с полной взаимозаменяемостью детали в сборочный комплект подбираются случайным образом.

С одной стороны, это значительно упрощает технологию сборки. С другой, если нужна повышенная точность соединений, приходится повышать точность изготовления деталей. Это удорожает изделие.

Предлагается информационный подход к организации процесса изготовления и сборки изделий. Его сущность состоит в том, что каждая деталь в процессе производства маркируется, и все получаемые в процессе ее контроля действительные параметры

запоминаются в базе данных. Дальше, на этапе сборки, партия деталей комплектуются в сборочные комплекты не случайным образом, а по определенному алгоритму, с целью добиться оптимальных параметров изделия.

Таким образом, при сохранении технологии изготовления деталей, путем некоторого усложнения технологии сборки, становится возможным повысить точность соединений.

### **Анализ литературных данных и постановка проблемы**

Для повышения точности замыкающего звена размерной цепи используются следующие методы комплектования и сборки: с пригонкой деталей; с введением компенсатора; с групповой взаимозаменяемостью, называемой также селективной сборкой. Названные методы комплектования, за исключением селективной сборки, нетехнологичны.

Селективная сборка эффективно уменьшает допуск замыкающего звена [1, 2], однако она подвержена существенным недостаткам, которые ограничивают ее применение массовым производством. При

селективной сборке для обеспечения процесса на позиции комплектования должно находиться деталей намного больше, чем будет скомплектовано, и количество годных комплектов нестабильно. Для значительного числа деталей не находится комплектных, они образуют незавершенное производство.

Расчет собираемости при селективной сборке – вероятностная задача, которая решается графическим методом, аналитически или статистическим моделированием [1, 3]. На производстве, когда законы распределения сопрягаемых деталей не совпадают, собираемость при селективной сборке довольно низка. С целью ее повышения используют организацию производства, при которой первыми изготавливаются детали, для которых точность обеспечить сложнее, а затем под их действительные размеры обрабатываются ответные детали [4]. Это удлинит и удорожает технологию, но позволяет повысить собираемость при заданной точности.

При информационном подходе к организации процесса сборки, когда размеры каждой детали из партии известны, возникает задача воспользоваться данными о размерах с целью организации эффективного комплектования [4, 5]. Алгоритм такого комплектования и анализ его эффективности исследованы недостаточно. Особенно востребован алгоритм, который подойдет для серийного производства.

### **Цель и задачи исследования**

Цель исследования состоит в разработке методов комплектования по действительным размерам деталей на основе информационного подхода и анализе их эффективности для двухэлементных соединений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- предложить методы комплектования по действительным размерам деталей, эффективные в различных типах производств,
- определить страховые запасы деталей, которые должны находиться на участке сборки для организации эффективного комплектования,
- сравнить эффективность предлагаемых методов комплектования с селективной сборкой.

### **Синтез эффективных методов комплектования и анализ их эффективности**

#### **Методы комплектования на основе ранжирования**

Сущность предлагаемых методов комплектования состоит в ранжировании деталей перед сборкой и выборе в комплект детали каждого типа с одинаковым рангом. На позиции комплектования должно находиться одинаковое число  $n$  деталей каждого типа, входящих в сборочную единицу. Детали каждого типа ранжируются отдельно. Рангом детали в партии будем называть номер  $i$ , который она получает при

упорядочении сборочных размеров  $x_i$  всей партии в порядке возрастания:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n$$

Поскольку распределения размеров деталей непрерывны, то совпадения размеров теоретически имеют нулевую вероятность. На практике, однако, измерения проводятся с определенной точностью, и совпадения возможны. В этом случае для нескольких деталей с совпадающими размерами ранги назначаются произвольным образом.

После ранжирования производится комплектование и сборка деталей. Здесь возможны два метода организации комплектования, которые назовем дискретным и непрерывным процессами.

При дискретном процессе все детали из ранжированных партий комплектуются и затем отправляются на сборку. Таким образом, все детали, поступившие на позицию комплектования, будут собраны, и качество подбора, определяемое отклонением размера замыкающего звена размерной цепи от наилучшего значения, определяется самым худшим из получившихся комплектов.

При непрерывном процессе на сборку уходит только наилучший в смысле размера замыкающего звена размерной цепи комплект. Затем партии деталей на позиции комплектования дополняются до начального числа деталей, и опять производится ранжирование. Снова выбирается лучший из получившихся комплектов, и такой цикл повторяется. В этом случае качество подбора будет определяться самым лучшим после ранжирования комплектом и существенно выше дискретного комплектования.

Дискретное комплектование с ранжированием найдет применение для производства с невысокой серийностью, можно применять даже для двух комплектов. Информации о размерах деталей используется для подбора их в комплекты, уменьшая допуск замыкающего звена. В отличие от селективной сборки, при дискретном комплектовании отсутствует незавершенное производство.

При непрерывном процессе на позиции комплектования всегда должно находиться постоянное количество деталей, которые являются аналогом незавершенного производства при селективной сборке. Однако, в отличие от селективной сборки, при которой незавершенное производство формируется случайным образом и есть переменной величиной, при непрерывном комплектовании количество деталей постоянно. Это положительно сказывается на производстве, поскольку участок комплектования не загромождается тарой с некомплектными деталями. Особенно это существенно для крупногабаритных деталей. Вместе с тем, остаток деталей на позиции комплектования не может быть собран с узким допуском на замыкающее звено размерной цепи. Этот метод комплектования найдет применение в массовом производстве.

Участок комплектования должен содержать измерительные позиции, где производится измерение посадочных размеров деталей каждого типа, адресный накопитель для хранения измеренных деталей и устройство управления. При автоматизации комплектования адресный накопитель используется в общей автоматизированной системе комплектования и сборки. В функции устройства управления входит хранение информации о посадочном размере детали в каждой ячейке накопителя и автоматическое комплектование, включающее ранжирование и выдачу на дисплей информации о номерах ячеек накопителя, детали из которых попали в один комплект. Сборка производится обычным для данного изделия способом.

Метод комплектования с ранжированием применим также для единичного производства, когда манипуляции с деталями осуществляются рабочим вручную. В единичном производстве, а крупногабаритных деталей и в серийном, их можно маркировать, например используя штрих-кодирование. Для мелкосерийного и ремонтного производства роль устройства управления может играть обычный персональный компьютер, в компьютерную программу которого вручную вносятся данные о размерах, она осуществляет ранжирование и выдачу на монитор информации о скомплектованных деталях. Подобная программа разработана авторами и может быть передана заинтересованным сторонам. Предложенный способ комплектования детальнее описан в [6] и защищен патентом Украины [7].

#### Определение количества ячеек для накопителя участка комплектования

Эффективность методов комплектования на основе ранжирования зависит от количества деталей, среди которых производится поиск лучших сочетаний. Чем больше деталей, тем эффективность метода выше. Статистическое моделирование показало [5], что при близости параметров законов распределения для собираемых деталей разных типов комплектование на основе ранжирования эффективно, начиная с 10 комплектов. При значительном расхождении параметров законов для результатов, сравнимых с селективной сборкой, величины партий должна выбираться ближе к 50 деталям.

Практическое применение предлагаемых методов требует обоснования выбора количества ячеек адресного накопителя для достижения заданного допуска замыкающего звена. Представляет значительный интерес обоснование достигаемой при ранжировании точности комплектования, по сравнению, например, с селективной сборкой. Для обоснования был использован аппарат порядковых статистик.

В системе Maple был выполнен расчет математических ожиданий и дисперсий всех порядковых статистик для партий деталей разных объемов  $n$ ,

с размерами, подчиняющимися нормальному закону распределения.

$$\text{Данный закон имеет вид } f(x) = \Phi\left(\frac{x - M(x)}{\sqrt{D(x)}}\right),$$

поэтому достаточно вычислить математические ожидания и дисперсии порядковых статистик для  $M(x) = 0$  и  $\sqrt{D(x)} = 1$  [8]. Таким образом, были определены дисперсии порядковых статистик нормированного нормального распределения с центром в середине поля допуска и размахом  $6\sqrt{D(x)}$ , равным полю допуска  $T$ .

Дисперсии были наибольшими для порядковых статистик с рангами, равными 1 и  $n$  и наименьшими для порядковых статистик с рангами  $n/2$ . Для непрерывного комплектования в сборочную единицу будут выбираться порядковые статистики размеров в середине поля допуска, и они характеризуются наименьшей дисперсией. Для дискретного комплектования все комплекты будут собираться, и качество комплектования будет определяться порядковыми статистиками размеров ближе к границам поля допуска, с наибольшей дисперсией. На рис. 1 изображены графики, отображающие зависимость дисперсии от количества деталей в партиях для непрерывного и дискретного ранжирования. Дисперсия для партии в один комплект, то есть для сборки с полной взаимозаменяемостью, была принята за единицу.

Для селективного комплектования были проведены аналогичные расчеты. Поле рассеивания, принятое равным полю допуска, разделялось на равные части по количеству групп селекции. Для нормального распределения определялась дисперсия размеров для каждой группы. Наибольшая дисперсия была для размеров первой и последней групп селекции, ее значения также приведены на рис. 1.

Номограмма на рис. 1 позволяет устанавливать количество ячеек адресного накопителя при

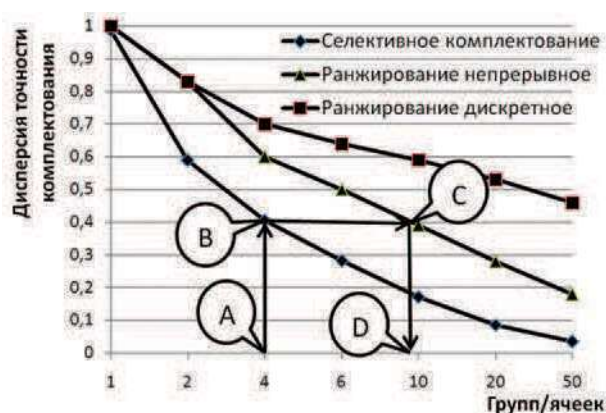
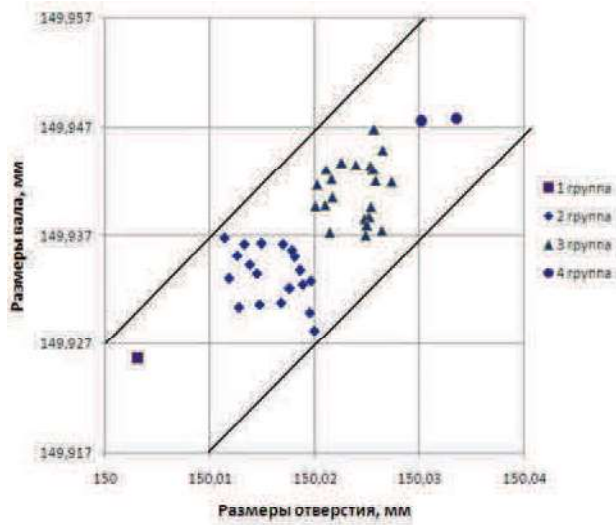


Рис. 1. Номограмма для выбора количества ячеек для комплектования на основе ранжирования

Fig. 1. The graph for select the number of parts for the kitting-up on the base of ranking

a)



б)

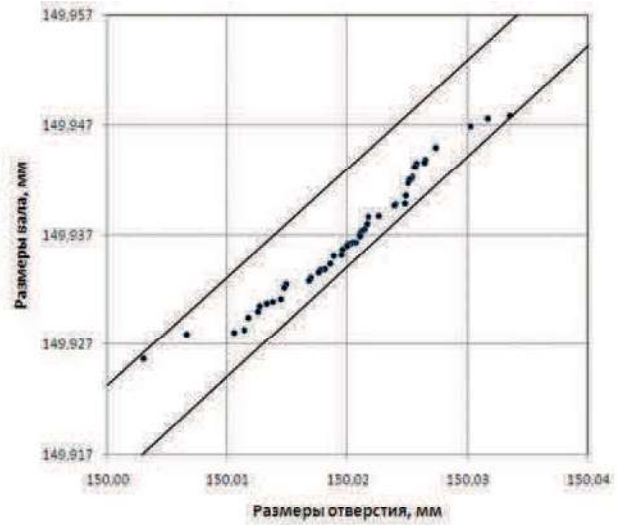
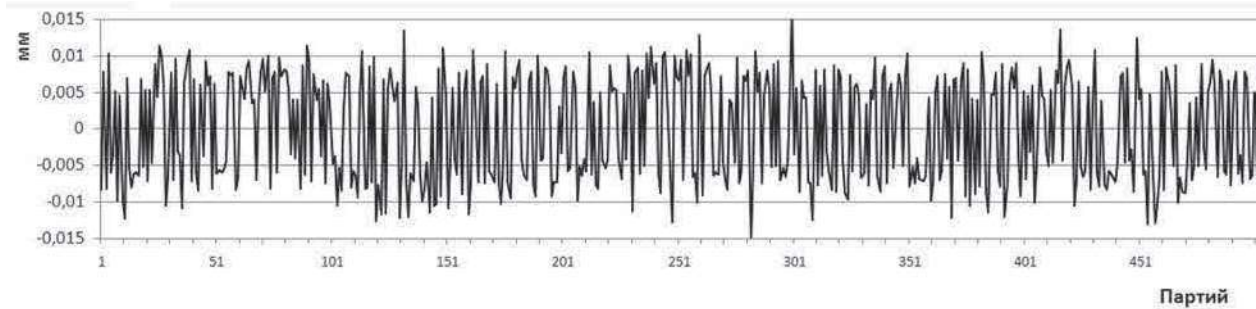


Рис. 2. Разброс размеров замыкающего звена при селективной сборке а) и дискретном комплектовании с ранжированием деталей б)  
 Fig. 2. Size variation of dimensional chain closing unit in the selective assembly a) and assembly on the base of ranking of the sizes of details b)

a)



б)

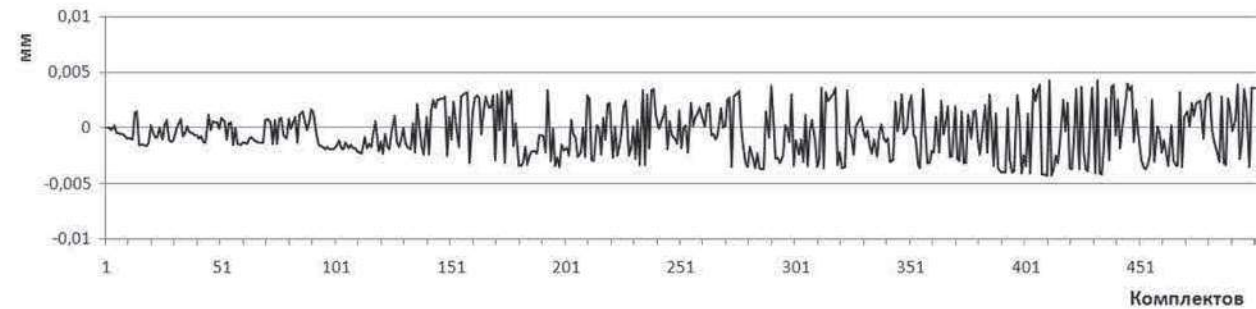


Рис. 3. Разброс размеров замыкающего звена при дискретном а) и непрерывном б) комплектовании с ранжированием  
 Fig. 3. Size variation of dimensional chain closing unit in the selective assembly a) and assembly on the base of ranking b)

комплектовании на основе ранжирования, в качестве точки отсчета выбирается дисперсия, а значит и точность селективного комплектования с определенным количеством групп селекции. При использовании номограммы для определенного количества групп селекции рис. 1, поз. А находится соответствующая

дисперсия размеров по графику для селективного комплектования поз. В, потом для такой дисперсии размеров с ранжированием поз. С находится количество ячеек адресного накопителя поз. D. Такое количество ячеек должно быть для всех деталей каждого типа, входящих в сборочный комплект.

## Эффективность предлагаемых методов комплектования

Для примера на рис. 2 изображены значения зазоров для случая двухэлементного соединения вал-отверстие, посадка  $\varnothing 150H7/f7$ , величина партии  $n = 50$  шт., при распределении размеров по нормальному закону. На рисунке 2а показан случай селективной сборки, число групп селекции равно 4, на рисунке 2б показано дискретное комплектование с ранжированием. Наклонными линиями изображен результирующий разброс размеров замыкающего звена. Размеры замыкающего звена группируются возле значения, определяемого как разность среднеарифметических размеров партий деталей отверстия и вала.

Для тех же исходных данных на рис. 3 показаны результаты моделирования эффективности дискретного и непрерывного комплектования. Моделирование было проведено для 500 последовательных комплектований. По оси ординат показываются отклонения от среднего зазора посадки. Для дискретного комплектования это наибольшее отклонения от среднего зазора в партии, по оси абсцисс отложены номера партий. Разброс отклонения был получен равным  $\begin{pmatrix} +0,018 \\ -0,017 \end{pmatrix}$  мм, в то время как для селективной сборки он установлен в пределах  $\begin{pmatrix} +0,01 \\ -0,01 \end{pmatrix}$  мм. Следует иметь в виду, что на графике приведены значения наихудших отклонений от среднего зазора в партиях, в действительности большинство комплектов имеют намного меньшие значения.

Для непрерывного комплектования по оси абсцисс отложены номера комплектов. Разброс отклонения был получен равным  $\begin{pmatrix} +0,005 \\ -0,005 \end{pmatrix}$  мм, что меньше, чем для селективного комплектования при тех же условиях. Также на графике непрерывного комплектования видно, что первоначально размах был еще меньше, постепенно увеличивался, и стабилизировался после 200 комплектов.

## Преимущества и недостатки предлагаемых методов комплектования

Предлагаемый информационный подход кардинально меняет технологию изготовления изделий. Вместо полной взаимозаменяемости, при которой детали комплектуются случайным образом, используется специальный алгоритм комплектования, данные о размерах деталей накапливаются в базе данных.

Особенности предлагаемого подхода, усложняющих технологию изготовления:

- необходимость использовать измерительные средства с числовым отсчетом;

- необходимость хранить информацию о полученных размерах в компьютере для применения по алгоритму комплектования;
- необходимость хранить детали в ячейках накопителя или маркировать их определенным образом;
- усложняется ремонт изделия, поскольку детали становятся не взаимозаменяемы, возможна только узловая замена.

Среди преимуществ предлагаемого подхода можно назвать следующие:

- повышается точность сборки без существенного повышения затрат на этапе изготовления деталей;
- при сравнимой с селективной сборкой точности, предлагаемые методы комплектования применимы для производств с невысокой серийностью, ниже величина незавершенного производства.

Благодаря использованию данных о действительных размерах деталей, полученных на этапе контроля, становится возможно повысить точность комплектования и сборки соединений на 1–3 квалитета без существенного роста себестоимости.

## Выводы

1. Информационный подход позволяет повысить точность сборки без существенного роста себестоимости изготовления изделий.
2. Метод дискретного комплектования применим для серийного производства, позволяет скомплектовать все детали, и дает сравнимую с селективной сборкой точность.
3. Метод непрерывного комплектования применим для массового производства, и позволяет значительно уменьшить размах зазора замыкающего звена размерной цепи.
4. Предложена номограмма для определения количества ячеек накопителя участка комплектования, необходимых для выполнения комплектования с заданной точностью.
5. Предлагаемые методы комплектования могут эффективно заменить селективную сборку, а также расширить область применения подбора на мелкосерийное производство высокоточных соединений.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Катковник В.Я., Савченко А.И. Основы теории селективной сборки.- Л.: Политехника, 1991. – 303 с., ил.
- [2] Babu J. Rajesh. Minimising assembly loss for a complex assembly using Taguchi's concept in selective assembly / J. Rajesh Babu; A. Asha // International Journal of Productivity and Quality Management (IJPQM), Vol. 15, No. 3, 2015.
- [3] Абрамов К.Н. К вопросу использования методов вероятностного моделирования при расчете

- размерных цепей / К.Н. Абрамов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – №7. – С. 6–8.
- [4] Непомилуев В.В. Исследование возможностей повышения качества изделий при сборке / В.В. Непомилуев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – №10. – С. 9–13.
- [5] Куприянов А.В. Комплектование при сборке с подбором деталей / А.В.Куприянов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2001. – №11. – С. 8–10.
- [6] Куприянов А.В. Методы комплектования деталей на основе ранжирования для уменьшения допуска замыкающего звена размерной цепи / А.В.Куприянов, Н.Ю.Ламнауэр // Системы обработки інформації. Збірник наукових праць. – Харків: Харк. університет Повітряних Сил – 2010. – №8(89). – С. 58–61.
- [7] Патент на корисну модель №57011 Україна, МПК(2011.01) F 16 C 43/00. Спосіб комплектування деталей для складання підшипників ковзання / Купріянов О. В., Ламнауер Н. Ю., Резніченко М. К. ; власник Українська інженерно-педагогічна академія. — № заявки u 2010 06971 ; заявл. 07.06.2010 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.
- [8] Сархан А., Гринберг Б. Введение в теорию порядковых статистик. – М.: Статистика: Пер. с англ. / Под ред. А.Я. Боярского, 1970. – 414с.

---

Куприянов Александр Владимирович – Кандидат технических наук, доцент, Кафедра интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства, Украинская инженерно-педагогическая академия, ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003, e-mail: a\_kupriyanov@uipa.edu.ua