

4. Медарь А.В. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения.- Федерация космонавтики России. Научно-технические технологии производства. Сборник научных трудов, вып.2, 2004.-с.101-105.

Оптимизация метода индивидуального подбора для многозвенных размерных цепей

д.т.н., проф. Непомилуев В.В., Майорова Е.А.

ГОУ ВПО «Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева», кафедра ОП и УК

Современное машиностроительное производство характеризуется частой сменяемостью и большим разнообразием выпускаемых изделий, применяемых материалов, технологических процессов изготовления и сборки. Для того чтобы в этих условиях оставаться конкурентоспособным, оно должно быстро и гибко реагировать на изменение рыночного спроса, последние достижения техники и технологии, постоянно поддерживая высокое качество выпускаемой продукции.

Одним из способов достижения конкурентоспособного качества изделия является использование метода индивидуального подбора деталей при сборке сложных изделий. Этот метод позволяет в значительной степени взаимно компенсировать погрешности изготовления деталей.

Ранее авторами были рассмотрены способы осуществления и возможности метода индивидуального подбора деталей для простейших размерных цепей, состоящих из 2 составляющих и 1 замыкающего звена [1]. Были разработаны соответствующие оптимальные алгоритмы подбора.

Метод индивидуального подбора деталей реализуется с помощью компьютера и основан на рассмотрении различных возможных вариантов соединения деталей. От количества рассмотренных вариантов зависит достигаемое качество сборки и трудоемкость подбора. В результате компьютерного моделирования определяется наилучший вариант соединения деталей. Перед осуществлением реального процесса сборки сборщик получает указания, какие именно конкретные детали из имеющихся в его распоряжении необходимо соединить в данном комплекте. Таким образом, управляемость процесса сборки в этом случае обеспечивается введением выполняемой на компьютере дополнительной операции комплектации перед сборкой.

При использовании метода индивидуального подбора деталей для многозвенных размерных цепей задача существенно усложняется, поскольку количество возможных вариантов существенно увеличивается. В связи с этим необходимо разработать новые алгоритмы подбора, позволяющие при приемлемой трудоемкости получать «хорошие» результаты. «Хорошими» будут считаться варианты, когда достигаемая погрешность незначительно больше минимально достижимой, а трудоемкость осуществления подбора существенно ниже.



Рис. 1. «Хорошие» варианты алгоритмов.

Для решения сформулированной задачи авторами была рассмотрена размерная цепь из десяти составляющих и одного замыкающего звеньев (рисунок 2).

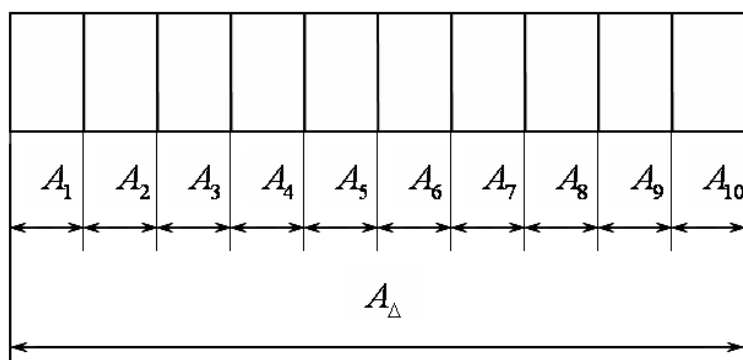


Рис. 2. Размерная цепь.

В качестве основного использовался метод компьютерного моделирования процесса сборки. В процессе проведения компьютерного эксперимента в MS Excel генерировались выборки, имитирующие составляющие звенья рассматриваемой размерной цепи, со следующими параметрами:

- закон распределения: нормальный,
- среднее значение: 10;
- стандартное отклонение: 0,1;
- количество значений в выборке: 100.

Для оценки степени повышения качества при реализации предлагаемых алгоритмов была имитирована сборка по методу случайного подбора (результаты приведены в столбце «Метод с.п.» в таблице 1).

Затем производился подбор деталей по приведенным ниже алгоритмам.

Алгоритм 1

Данный алгоритм реализует метод ограниченного перебора вариантов (рис. 3), что позволяет ограничиться рассмотрением относительно небольшого (по сравнению с полным перебором) количества вариантов.

Из массива № 1, представляющего собой возможные размеры детали № 1, отбираются 11 первых значений.

Методом случайного поиска из оставшихся девяти массивов с размерами остальных деталей выбираются по 11 значений. Среди отобранных выборок производится поиск наилучшего варианта путем полного перебора всех возможных вариантов (рис. 4).

По мере подбора использованные значения размеров удаляются из базы.

Для достижения статистической значимости компьютерные эксперименты по всем рассматривавшимся алгоритмам были повторены трижды с другими данными. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Алгоритм 2

Суммируются размеры девяти деталей. Затем сумма девяти и размеры десятой детали сортируются по убыванию/возрастанию и суммируются.

Алгоритм 3

Размеры восьми деталей суммируются и сортируются по убыванию, размеры девятой детали сортируются по возрастанию, а размеры десятой – снова по убыванию. Столбцы суммируются.

Алгоритм 4

Размеры восьми деталей суммируются и сортируются по убыванию, а размеры девятой и десятой деталей сортируются по возрастанию. Затем столбцы суммируются.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	9,977	10,06562	9,99444	10,02452	10,02503	9,998761	10,00409	9,97659	9,946459	9,99977
3	9,9232	9,988444	10,12193	10,13376	10,28146	10,071	9,951315	10,04625	10,02092	9,872232
4	9,9443	9,985495	9,936879	9,923851	9,877649	10,0502	10,06728	9,935558	10,07845	10,02443
5	9,9765	9,939913	10,15825	10,03074	9,916854	9,952294	9,900017	9,97255	10,00352	10,12765
6	9,9984	9,984543	10,14723	10,0338	9,84034	10,05581	10,04694	9,902798	9,941409	10,11984
7	10,07331	9,778646	9,858722	10,09314	9,958939	10,04081	10,03975	9,912393	10,0088	10,17331
8	9,91641	9,986846	10,00662	10,01269	10,07283	9,878437	9,931995	9,728927	10,00311	9,781641
9	9,978582	9,86708	9,957746	9,794667	10,05547	9,948041	9,790183	9,896722	10,01317	9,976582
10	10,1095	10,01566	9,982636	10,00086	10,00107	9,942234	9,936892	10,05464	10,11058	10,1095
11	9,89133	10,0503	9,886086	9,965496	10,11591	10,02352	10,06225	9,938061	9,913165	9,89133
12	9,93098	10,13171	10,15095	9,988825	9,878373	10,05565	10,01997	10,05584	9,906999	9,93098
13	9,830957	9,93807	10,08902	9,979505	9,73629	9,942622	9,89812	9,843333	9,89354	9,830957
14	9,815309	9,925204	10,08888	10,11579	9,850022	9,828943	10,20318	9,954782	10,01286	9,815309
15	9,902237	10,01464	10,08245	10,08596	10,01572	9,84962	10,04984	9,8538	10,05458	9,902237
16	9,922649	9,976857	10,06275	10,02048	10,09135	9,970361	10,23226	9,94189	10,04596	9,922649
17	9,788207	9,979169	9,938191	10,0438	10,15021	10,11796	9,949559	10,01092	9,924747	9,788207
18	9,943208	10,15772	9,857465	9,961917	9,863517	10,06046	10,04024	10,12365	9,971279	9,943208
19	9,959595	10,00377	10,00611	9,967769	9,913888	10,02974	9,968855	10,00581	9,984334	9,959595
20	10,01349	9,985402	10,07002	10,11333	10,00474	10,09426	9,972385	10,09856	9,951418	10,01349
21	9,963451	10,18303	9,929163	10,1146	9,835297	10,01584	10,10795	9,840038	9,919558	9,963451
22	9,967301	9,936927	9,793261	9,952328	9,864443	10,0663	9,947419	9,845235	10,03044	9,967301
23	9,962976	10,12711	9,914032	9,953184	9,899067	9,838901	10,094	9,896787	10,01821	9,962976
24	10,13426	9,998466	9,84465	10,0732	10,04733	10,18427	9,845235	10,09046	9,927859	10,13426
25	9,991472	9,993558	10,19046	9,91579	10,01841	10,2686	9,962328	10,05984	9,718129	9,991472

Рис. 3. Моделирование метода ограниченного перебора вариантов.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J			
104	Выбираем по 11 значениям	2, 3... 10										
105	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
106	9,969977	9,939913	9,99444	10,03074	9,84034	10,071	9,951315	10,02798	9,813165	10,02443	99,7633	0,236705
107	9,969977	9,976857	10,14723	10,01269	10,15021	10,04081	9,936992	9,843333	10,05458	9,93098	99,95389	0,046111
108	9,969977	9,925204	9,886086	10,08596	10,04733	9,84962	10,04984	10,09856	9,819558	9,788207	99,62034	0,379664
109	9,969977	9,936927	10,00611	10,02048	9,955966	10,09426	9,968855	10,09046	9,958747	9,981384	99,98317	0,016835
110	9,969977	9,976857	10,15421	10,1146	9,925749	10,113	9,826342	9,925819	9,851951	9,83876	99,7969	0,203104
111	9,969977	9,934614	10,17331	10,00636	10,02297	9,936403	10,10532	9,970521	10,07845	10,09022	100,2861	-0,28614
112	9,969977	9,863362	10,06541	9,992285	10,15751	9,886437	9,922143	9,889475	9,804772	9,847843	99,39922	0,600784
113	9,969977	9,844137	10,04356	9,875966	9,980543	10,03154	10,03446	10,03264	10,07708	9,934642	99,82457	0,175434
114	9,969977	10,08093	9,944131	9,806342	10,04446	10,03941	9,8759	9,974351	10,08672	9,997449	99,81868	0,181322
115	9,969977	10,08627	10,02831	10,15086	9,941591	10,0522	10,13361	9,979685	9,974193	10,02135	100,338	-0,33804
116	9,969977	9,865263	10,10272	9,965496	9,984489	9,841183	10,03942	9,86303	9,856807	9,957101	99,54548	0,454516
117												
118	9,872232	9,939913	9,89444	10,03074	9,84034	10,071	9,951315	10,02798	9,813165	10,02443	99,66555	0,334446
119	9,872232	9,86708	10,14723	10,01269	10,15021	10,04081	9,936992	9,843333	10,05458	9,93098	99,85614	0,143856
120	9,872232	9,925204	9,886086	10,08596	10,04733	9,84962	10,04984	10,09856	9,819558	9,788207	99,52259	0,477405
121	9,872232	9,976857	10,15421	10,1146	9,925749	10,113	9,826342	9,925819	9,851951	9,83876	99,69915	0,300846
122	9,872232	9,934614	10,17331	10,00636	10,02297	9,936403	10,10532	9,970521	10,07845	10,09022	100,1884	-0,1884
123	9,872232	9,863362	10,06541	9,992285	10,15751	9,886437	9,922143	9,889475	9,804772	9,847843	99,30147	0,698526
124	9,872232	9,844137	10,04356	9,875966	9,980543	10,03154	10,03446	10,03264	10,07708	9,934642	99,72682	0,273175
125	9,872232	10,08093	9,944131	9,806342	10,04446	10,03941	9,8759	9,974351	10,08672	9,997449	99,72093	0,279067
126	9,872232	10,08627	10,02831	10,15086	9,941591	10,0522	10,13361	9,979685	9,974193	10,02135	100,2403	-0,2403
127	9,872232	9,865263	10,10272	9,965496	9,984489	9,841183	10,03942	9,86303	9,856807	9,957101	99,44774	0,552262

Рис. 4. Подобранный оптимальный вариант из 11 случайно выбранных.

Алгоритм 5

Размеры семи деталей суммируются, результат сортируется по убыванию. Размеры деталей 8, 9 и 10 сортируются по возрастанию. Затем столбцы суммируются.

Алгоритм 6

Размеры шести деталей суммируются, результат сортируется по убыванию. Размеры деталей 7, 8, 9 и 10 сортируются по возрастанию. Затем столбцы суммируются.

Алгоритм 7

Размеры пяти деталей суммируются, результат сортируется по убыванию. Размеры деталей 6, 7, 8, 9 и 10 сортируются по возрастанию. Затем столбцы суммируются.

Алгоритм 8

Размеры пяти деталей суммируются, результат сортируется по убыванию. Размеры деталей 6, 8, 9 и 10 сортируются по возрастанию. Размеры детали 7 сортируются по убыванию. Затем столбцы суммируются.

Алгоритм 9

Размеры шести деталей суммируются, результат сортируется по убыванию. Размеры деталей 8, 9 и 10 сортируются по возрастанию. Размеры детали 7 сортируются по убыванию. Затем столбцы суммируются.

Алгоритм 10

Размеры деталей 1, 2, 3, 4, 5 суммируются и сортируются по убыванию.

Размеры деталей 6, 7, 8, 9, 10 суммируются и сортируются по возрастанию. Затем столбцы суммируются.

Алгоритм 11

Размеры деталей 1, 2, 3 суммируются и сортируются по убыванию. Размеры деталей 4 и 5 суммируются и сортируются по возрастанию. Размеры деталей 6, 7, 8 суммируются и сортируются по убыванию. Размеры деталей 9 и 10 суммируются и сортируются по возрастанию. Затем столбцы суммируются.

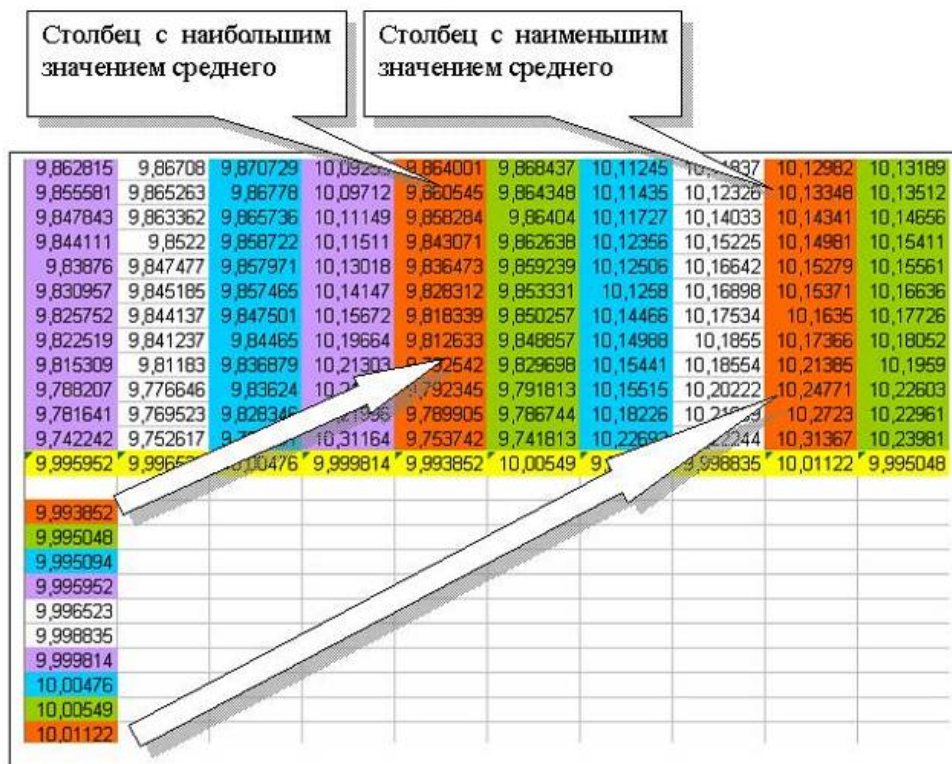


Рис. 5. Построчная сортировка сгруппированных пар.

Алгоритм 12

Определяется среднее значение у каждого столбца, средние значения выстраиваются

по возрастанию. Затем столбцы размеров группируются в пары, в которые входят столбики с наибольшим и наименьшим значениями среднего. Столбики, входящие в пару, сортируются один по возрастанию, другой – по убыванию, результаты складываются, затем суммируются построчно для сортировки – столбец с самым маленьким средним складывается со столбцом с наибольшим средним. Предварительно размеры деталей сортируются по возрастанию/убыванию.

Таблица 1

Результаты осуществления процесса сборки с использованием различных алгоритмов

качество	Метод с.п.	№ алгоритма											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
σ	0,36	0,27	0,19	0,31	0,09	0,04	0,14	0,26	0,09	0,04	0,03	0,06	0,21
	0,30	1,64	0,17	0,26	0,05	0,09	0,17	0,29	0,10	0,02	0,04	0,05	0,14
	0,28	1,14	0,16	0,26	0,06	0,09	0,18	0,29	0,10	0,03	0,05	0,06	0,06
ω	2,18	1,64	1,14	1,86	0,58	0,26	0,86	1,58	0,56	0,25	0,18	0,37	1,31
	1,82	1,44	1,06	1,61	0,34	0,54	1,06	1,74	0,60	0,17	0,25	0,32	0,84
	1,68	1,06	0,97	1,59	0,36	0,57	1,10	0,77	0,63	0,18	0,30	0,37	0,37

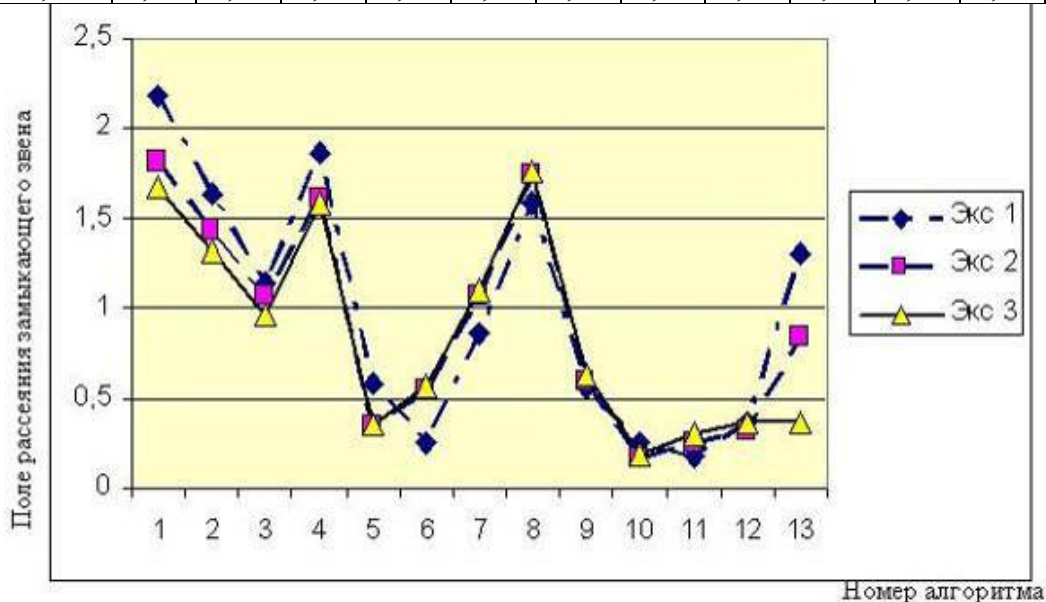


Рис. 6. Сравнение качества, достигаемого с помощью различных алгоритмов подбора.

Аналогичная работа была проведена для размерной цепи с равномерным распределением размеров составляющих звеньев (параметры распределения: минимальное значение – 9,7, максимальное значение – 10,3).

Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 7.

Анализ полученных результатов показывает, что свойства использованных алгоритмов практически одинаковы как для нормального, так и для равномерного распределения деталей.

Таким образом, выполненная работа позволяет сделать следующие выводы.

1) Алгоритм № 1 является наиболее трудоемким из всех рассмотренных и очень медленно осуществляется, тогда как повышение качества не столь значительно. Этот алгоритм является наиболее сложным, поэтому использовать его нецелесообразно.

2) По достигнутым результатам наилучшими являются алгоритмы № 5, 6, 10, 11, 12. Все перечисленные алгоритмы отличаются невысокой трудоемкостью, но поскольку при их

компьютерной реализации различение в трудоемкости все же существует, в качестве оптимального рекомендуется использовать алгоритм № 10.

Таблица 2

Результаты осуществления процесса сборки с использованием различных алгоритмов

качество	Метод с.п.	№ алгоритма											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
σ	0,55	0,52	0,35	0,47	0,14	0,17	0,31	0,51	0,18	0,11	0,06	0,10	0,06
	0,58	0,49	0,41	0,54	0,25	0,11	0,26	0,45	0,09	0,13	0,09	0,21	0,32
	0,45	0,38	0,29	0,43	0,14	0,08	0,22	0,40	0,12	0,11	0,05	0,08	0,02
ω	3,35	3,14	2,12	2,87	0,86	1,03	1,88	3,07	1,12	0,69	0,41	0,61	0,37
	3,53	2,98	2,46	3,28	1,41	0,69	1,59	2,70	0,55	0,82	0,54	1,21	1,92
	2,75	2,25	1,75	2,59	0,89	0,48	1,33	2,41	0,77	0,68	0,31	0,68	0,16

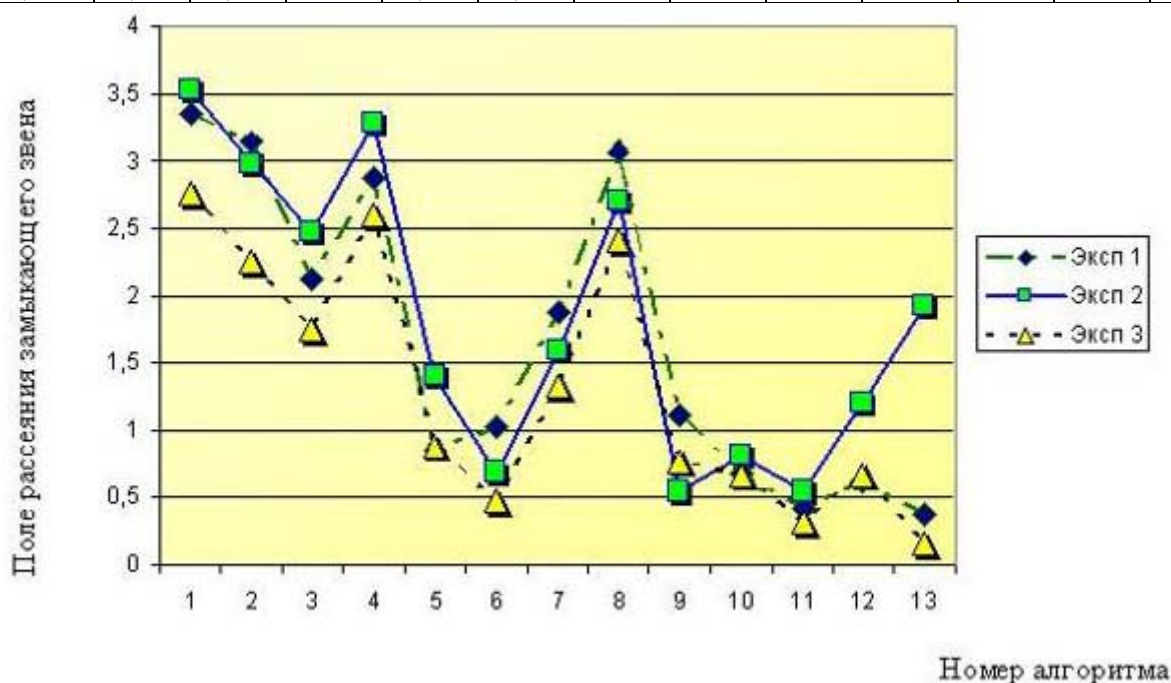


Рис. 7. Сравнение качества, достигаемого с помощью различных алгоритмов подбора (равномерное распределение).

Рассмотренный выше вариант является наиболее простым: все составляющие звенья – увеличивающие, все распределения задавались центрированными.

При работе с многозвенными цепями может возникнуть ситуация, когда звенья изготавливаются со смещением настройки, т.е. с систематической погрешностью. Такая ситуация может возникнуть сознательно (например, для предотвращения появления неисправимого брака при изготовлении деталей) или случайно (поскольку технологическая документация не регламентирует требований к закону и параметрам распределения размеров).

При группировании звеньев по алгоритму № 10 необходимо обеспечить такое распределение звеньев по группам, чтобы имеющиеся систематические отклонения компенсировали друг друга. В связи с этим перед использованием предлагаемого метода необходимо провести размерный анализ и в том случае, если описанное выше условие не соблюдается, необходимо произвести соответствующие корректирующие действия.

Для обеспечения устойчивости достигаемых результатов необходимо обеспечить ста-

бильность и центрированность законов распределения размеров деталей. Критерий центрированности может быть записан в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \xi_i m A_i = m A_{\Delta} \quad (1)$$

где: $m A_{\Delta}$ - среднее или целевое значение размера замыкающего звена;

$m A_i$ - среднее значение размера составляющего звена;

ξ - коэффициент влияния, характеризующий степень влияния составляющего звена на замыкающее; для звеньев плоских параллельных размерных цепей $\xi = \pm 1$;

n - количество звеньев в размерной цепи.

$$\xi_1 m A_1 + \xi_2 m A_2 + \dots + \xi_k m A_k + \xi_1 m A_1 + \xi_2 m A_2 + \dots + \xi_l m A_l = m A_{\Delta} \quad (2)$$

Для плоских размерных цепей с параллельными звеньями $\xi = 1$ – для увеличивающих звеньев и $\xi = -1$ – для уменьшающих звеньев (рисунок 8).

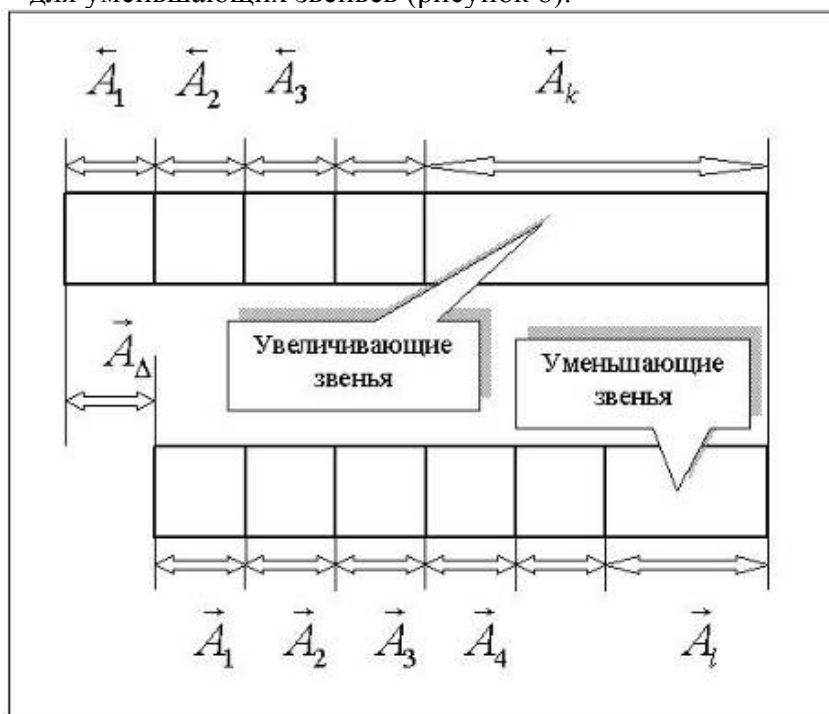


Рис. 8. Увеличивающие и уменьшающие звенья.

Тогда

$$m A_1^a + m A_2^a + m A_k^a - m A_1^b + m A_2^b + m A_l^b = m A_{\Delta} \quad (3)$$

где: A_k^a - увеличивающие звенья, A_l^b - уменьшающие звенья.

Для обеспечения совмещения суммы средних значений размеров составляющих звеньев со средним или целевым значением размера замыкающего звена необходимо методом подбора $m A_i$ добиться равенства правой и левой частей в формуле 3.

Если условие выполняется – рекомендуется использовать алгоритм № 10, который с учетом приведенных выше формул будет выглядеть следующим образом.

Описание алгоритма:

1. Определяется сумма всех увеличивающих звеньев данного варианта размерной цепи;

2. Определяется сумма всех уменьшающих звеньев данного варианта размерной цепи;
3. Полученные массивы значений сортируются: для увеличивающих звеньев – по убыванию, для уменьшающих – по возрастанию;
4. Полученные массивы построчно суммируются.

Данный алгоритм является простым, легко реализуется в среде Microsoft Excel и позволяет получать стабильно хорошие результаты.

Таким образом, используя метод подбора деталей по достаточно простым алгоритмам, можно существенно, в несколько раз, повысить достигаемое при сборке качество.

Литература

1. Непомилуев В.В., Майорова Е.А. Исследование возможностей повышения качества сборки путем использования индивидуального подбора деталей // «Сборка в машиностроении, приборостроении». - № 10. – 2007. – М: Машиностроение

Пассивно–активное относительное ориентирование в условиях автоматической сборки

к.т.н. Пеева И. В., проф. д.т.н. Витлиев В.Д.
РУ «А. Кынчев» - г. Руссе, Республика Болгария

Относительное ориентирование деталей в условиях автоматической сборки является одной из основных задач теории этого процесса. Оно является объектом многих теоретических анализов и экспериментальных исследований [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Данная работа посвящена созданию установки для исследования возможностей применения гибридного относительного ориентирования при сборке цилиндрических соединений деталей с зазором с целью обеспечения минимальных контактных сил между деталями в процессе сборки и обнаружения и устранения такого потенциально опасного состояния, как заклинивание.

В лаборатории «Автоматизации и роботизации производства» кафедры «Технологии машиностроения» РУ имени А. Кынцева в г. Руссе создана экспериментальная установка гибридной сборочной системы (рис. 1). Проектирование является результатом решения некоторых задач из широкого теоретического и экспериментального исследования, сделанных в связи с проектом, финансируемым Европейской программой COPERNICUS: CR 940510 Advanced Robot Assembly – ROBAS.

Гибридное ориентирующее устройство совмещает два метода относительного ориентирования – пассивный и активный. В этом смысле оно может рассматриваться как “чувствительное” пассивное адаптивное устройство (RCC), чувствительные элементы которого регистрируют деформации упругих элементов его структуры, полученные из-за действия контактных сил и моментов. Сигналы от них используются для управления перемещением базовой детали. Так реализуется её активное ориентирование относительно комплектующей детали, установленной в пассивном адаптивном механизме. Именно наличие силовой обратной связи в гибридном ориентирующем устройстве дает возможность пассивному и активному ориентированию базовой и присоединяемой деталей работать независимо.

Установка построена по модульному принципу и состоит из следующих основных элементов (рис. 2):

- блок осуществления пассивного относительного ориентирования;
- силомоментный преобразователь;
- блок осуществления активного относительного ориентирования;
- система управления.

Она работает в декартовой координатной системе, а движение сборки реализуется по направлению вертикальной оси Z. Базовая деталь (цилиндрическая втулка) установлена в приспособлении, которое прикреплено к блоку активного относительного ориентирования. Он состоит из двух перпендикулярных трансляционных модулей и одного ротационного мо-