

Преимущества пошаговой интерполяции состоят в том, что этот метод:

- не ограничивает количество параметров и факторов, входящих в имитационную модель при условии, что они имеют числовое выражение;
- позволяет ранжировать факторы по степени их влияния на искомую функцию;
- позволяет обоснованно выбирать требуемую номенклатуру факторов по заданной точности расчётов;
- даёт возможность на каждом шаге вычислений применять различные функции, обеспечивающие большее приближение к описанию статистических данных;
- обладает возможностью оптимизации параметров;
- позволяет получить функцию при минимальном объёме статистической информации, обеспечивая требуемую точность результатов;
- позволяет эффективно исследовать функцию;
- требует меньшего количества операций, причём сами операции достаточно простые.

Эти преимущества делают пошаговое интерполирование достаточно универсальным и удобным средством создания имитационной модели предпроектного расчета параметров сборочного технологического оборудования автомобильного производства.

Литература

1. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т.1, М., Гос. издат. физ.-мат. литературы, 1962.-464 с.
2. Ламин И.И. "Оптимизация параметров сборочного оборудования на основе имитационной модели автомобильного и тракторного производств". М., «Сборка в машиностроении, приборостроении», № 7, 2005 г.
3. Ламин И.И. "Исследование и расчет параметров технологического процесса механосборочного производства". Методические указания к лабораторным работам и практическим занятиям. М., МГТУ - "МАМИ", 2006 г.
4. Ламин И.И. "Предпроектный расчет и оптимизация параметров сборочных производственно-технологических комплексов автомобильного производства". Учебное пособие. М., МГТУ "МАМИ", 2007 г.
5. Ламин И.И. "Проектирование технологических процессов сборки изделий автотракторостроения". Учебное пособие. М., МГТУ "МАМИ", 2008 г.

Оптимизация структуры парка и параметров сборочного оборудования автомобильного производства

к.т.н., доц. Ламин И.И.
МГТУ «МАМИ»

Возможность реализации основных требований к автомобильному производству, а именно, к обеспечению качества продукции, заданной производительности, и получению максимального экономического эффекта, во многом определяется структурой парка и параметрами технологического оборудования.

Проведенный анализ параметров сборочного оборудования в автостроении свидетельствует об их значительном несоответствии условиям производства. Наиболее часто отмечается неправильный выбор типов оборудования, уровня автоматизации, концентрации операций и т.д. В результате большинство сборочных технологических процессов не обеспечивают получение реально возможного экономического эффекта. Учитывая, что доля капитальных затрат автомобильных заводов на технологическое оборудование весьма существенна, становится очевидной важность проблемы оптимизации его параметров.

Параметры сборочного оборудования определяются уже при его заказе, при подготовке задания на проектирование и поставку, и именно здесь часто принимаются необоснованные решения.

Задание на проектирование оборудования – это документ, в котором требуется заказ-

чику решение должно базироваться на разработке вариантов технологических процессов и их анализе, с учетом цен на оборудование на международном рынке. Такая работа, тем более в полном объеме, не может быть выполнена заказчиком оборудования по целому ряду причин: нет квалифицированных проектировщиков оборудования, нет достаточных сведений о возможностях предприятия – изготовителя, нет полных сведений о современном состоянии производства сборочного оборудования и т.д.

Разработку оптимального решения могла бы выполнить станкостроительная фирма путем выполнения специальных исследований условий производства заказчика. Однако такая дополнительная работа не в интересах изготовителя оборудования по двум причинам.

Первая. Получив заявку на поставку оборудования, станкостроительное предприятие разрабатывает стадию проекта "Техническое предложение" и на его основе формулирует свой вариант решения. Трудоемкость работ этой стадии весьма существенна и составляет порядка 30% -35% от объема всего проекта.

Принципиальной особенностью этого этапа работ является то обстоятельство, что он разрабатывается до заключения контракта на поставку оборудования. Это значит, что заказчик, получив предложение фирмы и по каким-либо причинам отклонив его, эту работу не оплачивает. Такой "бесплатной" проектной работы у станкостроительной фирмы получается порядка 85% - 90% в год от количества поступивших заявок. Эти затраты перекладываются на цену изготовленного оборудования, снижая конкурентоспособность предприятия и заставляя его максимально экономить на этапе разработки своих предложений.

Вторая. Современные станкостроительные фирмы предпочитают работать "под заказчика", стремясь свои решения по технологическому процессу и оборудованию максимально приблизить к требованиям задания на проектирование. Такая идеология не дает возможность создать оптимальный для заказчика вариант оборудования, но обеспечивает большую вероятность подписания контракта заказчиком.

В результате разработанное заказчиком задание на проектирование оборудования, техническое предложение станкостроительной фирмы, согласованный и подписанный контракт на его поставку не обеспечивают получения максимального экономического эффекта, являющегося необходимым условием при заказе новой техники.

Основная цель представленной здесь статьи - повышение эффективности автомобильного производства на основе совершенствования структуры парка и параметров механосборочного оборудования.

Научная ценность и новизна работы определяется двумя основными факторами:

- В предлагаемом методе проектирования технологических процессов и специализированного оборудования на предварительных этапах проектирования вместо традиционной процедуры разработки многочисленных дискретных вариантов технологических процессов используются непрерывные функции эффективности производства.
- Метод связан с созданием многопараметрической, многофакторной и многокритериальной имитационной модели механосборочного автомобильного производства, обеспечивающей расчет и оптимизацию основных параметров технологических процессов и оборудования.

Этот новый подход к проектным работам, реализуемый на основе имитационной модели и программы расчетов, дает возможность:

- заказчику оборудования – без разработки вариантов технологических процессов изготовления изделий определить всю необходимую совокупность данных для подготовки задания на проектирование оборудования с оптимальными значениями параметров. Далее, получив предложение станкостроительной фирмы, обоснованно принять решение об его корректировке еще до момента подписания контракта;
- станкостроительному предприятию – значительно сократить объем работ и непроизводительные затраты при разработке технических предложений и подготовке проектов кон-

трактов на поставку оборудования.

Основой метода является имитационная модель, объединяющая основные технические и экономические параметры технологического процесса, оборудования и механосборочного производства с некоторой совокупностью исходных факторов, входящих в задание на проектирование.

Модель представляет сложную структуру функциональных модулей объединенных разветвленной системой связей. В модели на пяти уровнях рассчитываются и оптимизируются более двадцати параметров технологического процесса и сборочного оборудования. Для получения необходимой точности результатов расчетов в модели учитывается около трех десятков факторов, имеющих характер независимых и частично зависимых переменных.

В качестве математического аппарата модели используется специально разработанная композиция трех методов: пошагового интерполирования, полуэмпирических вычислений и существующих зависимостей для расчета технических и экономических параметров технологических процессов и сборочного оборудования.

Суть пошагового интерполирования состоит в том, что искомый параметр вычисляется с помощью многочлена, являющегося функцией нескольких независимых переменных. Многочлен находится путем последовательного исследования влияния каждой независимой переменной на функцию. Таким образом, количество шагов, которое требуется для определения функции какого-либо искомого параметра, равно числу независимых переменных. Применительно к использованию в имитационной модели сборочного производства пошаговое интерполирование обладает существенными преимуществами:

- не ограничивает количество рассчитываемых параметров и исходных факторов при условии, что они имеют числовое выражение;
- ранжирует факторы по степени их влияния на значение параметра;
- позволяет обоснованно выбрать требуемую номенклатуру и количество факторов по заданной точности результатов расчетов;
- дает возможность на каждом шаге вычислений применять различные функции, обеспечивающие большее приближение к описанию статистических данных;
- позволяет получить требуемую точность значений параметров технологического процесса и сборочного оборудования при относительно небольшом объеме статистической информации.

Эти преимущества делают пошаговое интерполирование достаточно универсальным и удобным средством для использования в качестве основы математического аппарата имитационной модели.

Особенность решаемой задачи заключается в том, что в ней разрабатываются и анализируются только такие технические решения, которые обеспечивают сборку изделий с требуемым качеством. Это дает возможность при создании оптимизационной модели использовать метод выбора оптимального варианта по двум критериям: величине экономического эффекта и производительности оборудования.

В случаях, когда рассматриваемые технические предложения различаются только величинами составляющих затрат (единовременных и текущих), в качестве экономического критерия используется их суммарный минимум, (1):

$$\min_j Z_r^j \quad (1)$$

где: Z_r - годовые суммарные затраты,

j - индекс рассматриваемого варианта.

Годовые суммарные затраты Z_r можно представить в виде двух статей расходов, текущих и капитальных:

$$Z_r = Z_1 + Z_2 = I + (\kappa_p + E_n) \cdot K, \quad (2)$$

где: $Z_1 = I$ – годовые текущие издержки при производстве продукции, без учета амортизации отчислений на реновацию;

$Z_2 = (\kappa_p + E_n) \cdot K$ – годовые затраты, зависящие от капитальных единовременных затрат;

κ_p – коэффициент реновации;

E_n – банковский кредит;

K – капитальные затраты на приобретение оборудования.

Опуская большое количество промежуточных этапов исследований, каждый из которых может являться предметом специального рассмотрения [1, 2, 3], ниже приводится обобщенная формула (3) расчета суммарных затрат на сборку годового объема выпуска изделий.

$$Z_r = (\delta + \beta)(1 - K_{авт}) \frac{a_1 + a_2 \ln K_d}{K_m^{\alpha_1}} K_{ти} S_{мин} N + \\ + (\kappa_p + E_n) \frac{K_\phi K_{об} R^{\alpha_2}}{K_m^{\alpha_3} K_d^{\alpha_4}} (a_3 + a_4 N) e^{\alpha_5 K_{авт} N^{\alpha_6}} \quad (3)$$

Формула (3) учитывает тип изделия $K_{ти}$, его массу K_m , количество сборочных соединений K_d , величину заданной программы выпуска N , заработную плату рабочих $S_{мин}$, накладные расходы β , фирму – изготовитель K_ϕ , тип оборудования $K_{об}$, уровень автоматизации $K_{авт}$ и ряд других факторов.

Значения коэффициентов типов изделий $K_{ти}$ разработаны применительно к большой номенклатуре сборочных единиц автомобилей и помещены в базу данных имитационной модели. В табл. 1 в качестве примера приводится выборка из этой базы данных.

При заказе сборочного оборудования определение требуемой величины коэффициента автоматизации является наиболее важной и сложной задачей. Именно этот фактор оказывает решающее влияние практически на все основные технические и экономические параметры технологического процесса и сборочного оборудования.

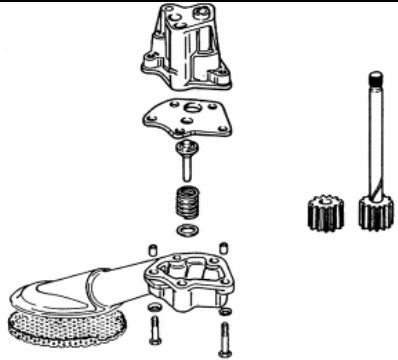
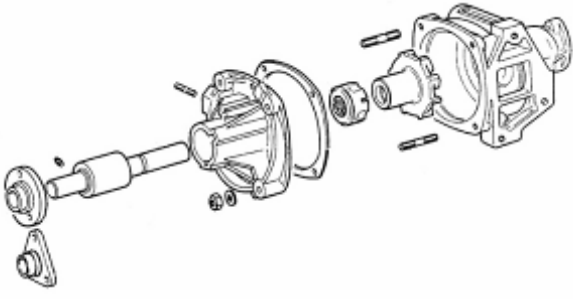
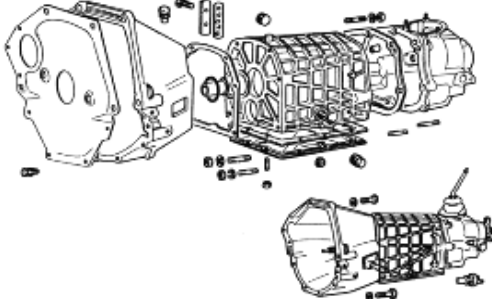
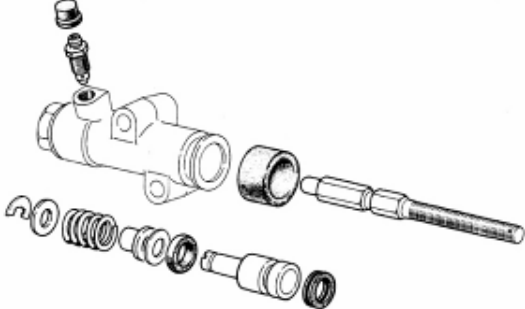
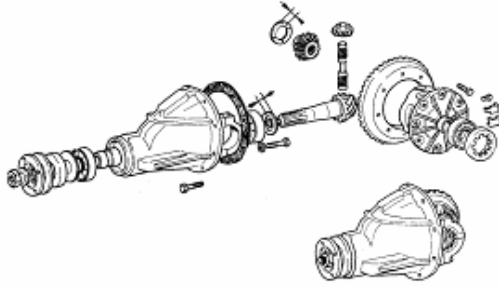
Анализ зависимостей 2 и 3 показывает, что текущие издержки на сборку годового объема выпуска изделий Z_1 с увеличением коэффициента автоматизации уменьшаются. Зависимость этих затрат от коэффициента автоматизации имеет линейный характер. Это объясняется тем, что с увеличением коэффициента автоматизации трудоемкость сборки уменьшается и, как следствие, сокращается численность производственных рабочих и затраты на заработную плату.

Затраты Z_2 при увеличении коэффициента автоматизации монотонно возрастают, т.к. при этом увеличивается стоимость оборудования. Как показали проведенные исследования, эта зависимость подчиняется экспоненциальному закону (3).

На рис. 1 показана структура годовых затрат на сборку условного изделия, рассчитанных по формуле (3), в зависимости от коэффициента автоматизации. Значения затрат приводятся здесь в относительных величинах с целью показать тенденции их изменения. Расчеты проведены для трех годовых программ выпуска.

На рис. 1 текущие затраты Z_1 показаны штрихпунктирными линиями, затраты Z_2 изображены пунктирными линиями, а суммарные годовые затраты Z – сплошной линией. Затраты, соответствующие большей программе выпуска, имеют дополнительное обозначение.

Выборка из базы данных значений коэффициентов типов изделий.

Код	Наименование сборочной единицы	Схема сборки	$K_{ти}$
0117	Масляный насос		0,049
0123	Водяной насос		0,081
0301	Коробка перемены передач		0,046
0948	Рабочий цилиндр сцепления		0,069
0734	Редуктор заднего моста		0,075

Таким образом, годовые затраты Z , получаемые в результате сложения двух зависимостей линейного и экспоненциального характера, представляют кривую, имеющую одну точку экстремума – минимум. Естественно предположить, что значение коэффициента автоматизации, соответствующее минимуму затрат, является наиболее целесообразным для заказываемого сборочного оборудования. Именно эта величина коэффициента автоматизации обеспечивает получение максимального экономического эффекта.

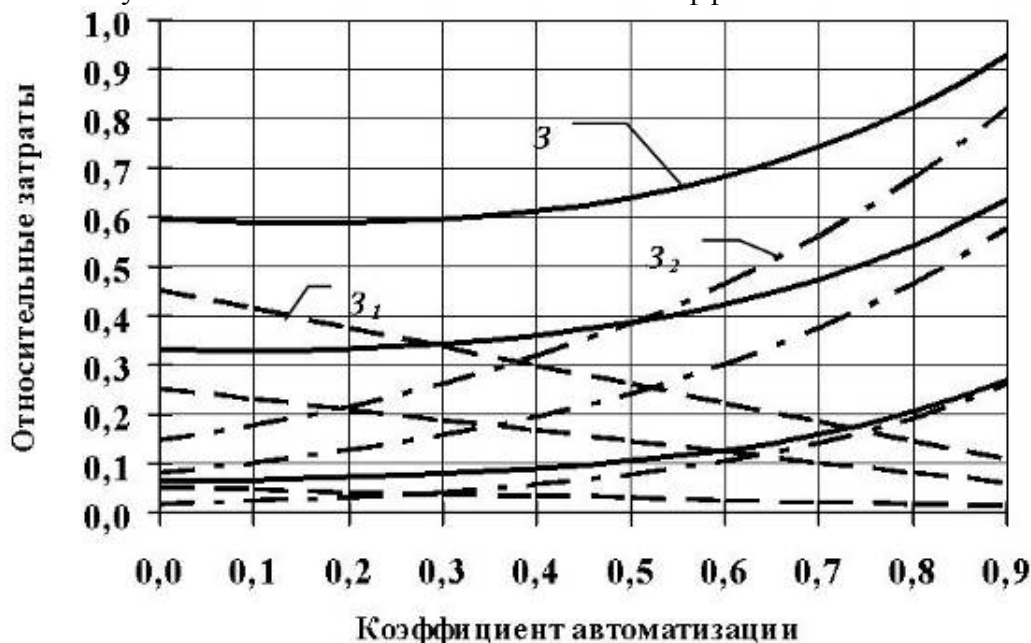


Рис. 1. Зависимость годовых относительных затрат от коэффициента автоматизации.

Для расчета оптимального значения коэффициента автоматизации технологического процесса достаточно взять частную производную от функции затрат (3) по $K_{авт}$ и приравнять ее нулю.

Заменив в функции (3) факторы, имеющие конкретные числовые значения, коэффициентами a_i и продифференцировав ее по $K_{авт}$, получим:

$$\frac{dZ}{dK_{авт}} = -a_6 + a_7 a_8 e^{a_8 K_{авт}} \quad (4)$$

Приравняв выражение (4) нулю, получаем значение коэффициента автоматизации технологического процесса сборки конкретного изделия, обеспечивающее минимуму затрат:

$$[K_{авт}] = \frac{1}{a_8} \ln \frac{a_6}{a_7 a_8} \quad (5)$$

Разработанный метод расчета важнейшего для сборочного производства параметра дает возможность значительно сократить затраты при подготовке задания на заказ оборудования и на предварительном этапе проектирования, т.к. в этом случае количество необходимых для оценки вариантов технологических процессов резко сокращается. Одновременно возрастает достоверность полученного значения уровня автоматизации с точки зрения его соответствия критерию оптимизации.

На основе полученного оптимального значения коэффициента автоматизации появляется возможность рассчитать очень важные параметры технологического процесса и сборочного оборудования.

Так, например, расчет количества позиций сборочного оборудования P можно выполнить с дифференциацией на автоматические P_a и выполняемые вручную P_p . Разработанная на основе специальных исследований формула расчета количества позиций имеет вид:

$$P = P_p + P_a = \frac{t_0(1 - K_{авт})}{K_{з,р}\tau} + \frac{t_0 K_{авт} K_M^\delta}{K_{ти} K_{з,а}} \quad (6)$$

Кроме ранее принятых обозначений, в формулу (6) в качестве основных факторов входят: коэффициент концентрации сборочных переходов на автоматической позиции $K_{ко}$, коэффициенты загрузки ручных и автоматических позиций $K_{зр}$ к $K_{за}$, общая трудоемкость сборки изделия t_0 и ряд других.

На рис. 2 приводится график соотношения количества автоматических и ручных позиций на линии сборки условного изделия в зависимости от коэффициента автоматизации.

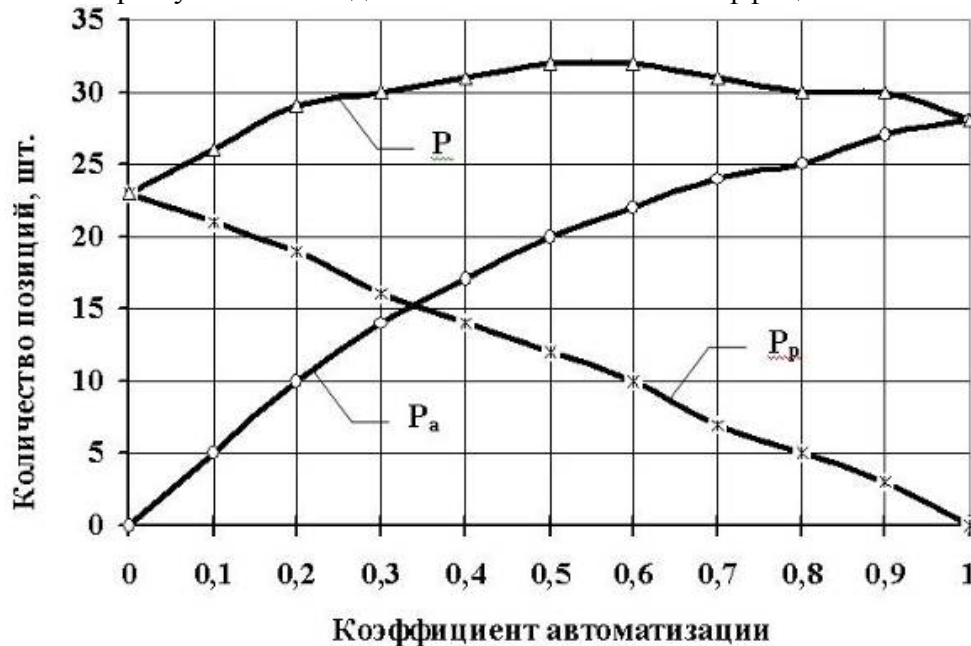


Рис. 2. Соотношение в количестве автоматических и «ручных» позиций в зависимости от коэффициента автоматизации.

Проведенные исследования позволили получить зависимости для предпроектного расчета основных параметров технологического процесса и сборочного оборудования применительно к любому типу изделия механосборочного производства. Например, таких как размеры транспортных механизмов, количество рабочих сборщиков и наладчиков, фактическую производительность работы оборудования с учетом надежности, стоимость и количество оборудования и т.д.

На основе этих исследований разработана программа работы имитационной модели, осуществляющая расчет и оптимизацию параметров технологического процесса и сборочного оборудования. Подготовка исходных данных для ввода в программу не вызывает затруднений, так как их объем и номенклатура не выходят за рамки обычного анализа технологичности конструкции изделия и предварительного наброска маршрута его сборки [4]. После ввода данных результаты расчетов автоматически появляются в таблице.

Здесь в качестве примера приводятся табл. 2 и 3 расчетов параметров технологического процесса и сборочного оборудования для условного изделия.

Табл. 2 иллюстрирует перечень исходных факторов, вводимых в программу расчетов. В табл. 3 приводятся результаты расчетов.

Для заказчика полученные из табл. 3 сведения вполне достаточны для составления обоснованного задания на проектирование технологического процесса и сборочного оборудования.

Исходные данные (факторы)

№	Название фактора	Значение (наименование)
1	Заказчик	Автозавод N
2	Наименование изделия	Сборочная единица, D
3	Количество модификаций, шт.	1
4	Базовая модель	-
5	Масса базового изделия, кг.	72,0
6	Количество сборочных переходов, шт.	63
7	Коэффициент типа изделия	0,091
8	Коэффициент совмещения сборочных переходов	0,92
9	Количество групп совмещенных переходов, шт.	3
10	Концентрация переходов в группе	6
11	Программа выпуска (заданная), шт./год	100 000
12	Тип заказываемого оборудования	Линия сборки со спутниками
13	Требуемый уровень автоматизации	0,30
14	Наличие моечной машины, 1 - есть, 0 - нет.	0
15	Количество автоматических позиций контроля, шт.	0
16	Количество ручных позиций контроля, шт.	1
17	Количество автоматических позиций регулировки и смазки, шт.	0
18	Количество ручных позиций регулировки и смазки, шт.	0
19	Срок эксплуатации оборудования, год.	10
20	Количество смен работы, шт.	2
21	Цеховые накладные расходы, в долях.	3,50
22	Начисления на зарплату, в долях.	1,26
23	Средняя заработная плата рабочих, руб./месяц.	18000
24	Банковский кредит	0,17

Таблица 3.

Технико-экономические параметры технологического процесса и сборочного оборудования

№	Наименование параметра	Значение (название)	
1	Фирма поставщик оборудования	Станкозавод M	
2	Тип оборудования	Автоматизированная линия сборки, со спутниками, с горизонтально замкнутым конвейером, несинхронного типа.	
3	Ширина конвейера, мм.	630	
4	Скорость конвейера, м./мин.	10	
5	Масса спутника, кг.	45,62	
6	Темп выпуска, мин./шт.	2,40	
	Варианты расчетов	По заданию заказчика	Рекомендуемое значение
7	Коэффициент автоматизации	0,300	0,143
8	Коэффициент технического использования оборудования	0,8338	0,9102
9	Фактическая производительность, шт./год	112 000	123 000

Раздел 6. Материалы международного научного семинара «Современные технологии сборки».

10	Трудоемкость сборки, мин./шт.	6,003	7,353
11	Общее количество позиций, шт.	11	7
12	Количество автоматических позиций, шт.	5	2
13	Наличие моечной машины	нет	нет
14	Количество рабочих сборщиков в смену, человек	6	5
15	Количество наладчиков в смену, человек	1	1
16	Себестоимость сборки изделия, руб./шт.	32,20	26,22
17	Стоимость оборудования, руб.	8 700 000	3 100 000
18	Годовые затраты на сборку изделий, руб.	5 030 000	3 250 000

Получив от станкостроительной фирмы техническое предложение, заказчик оборудования вводит его данные в качестве исходных факторов в программу расчета. В результате заказчик получает возможность провести сравнение варианта, разработанного им в задании на проектирование, с вариантом технического предложения станкостроительной фирмы. На основе сравнения заказчик принимает решение о подписании контракта, его корректировке или отказе от предложения фирмы.

Фирма-изготовитель, используя предлагаемый метод расчета, может подготовить контракт на поставку оборудования без дорогостоящей процедуры разработки стадии "Техническое предложение".

Литература

1. Ламин И.И. "Оптимизация параметров сборочного оборудования на основе имитационной модели автомобильного и тракторного производств". М., «Сборка в машиностроении, приборостроении», № 7, 2005 г.
2. Ламин И.И. "Оптимизация парка и параметров сборочного оборудования". М., "Автомобильная промышленность", № 3, 2005 г.
3. Ламин И.И. "Предпроектный расчет и оптимизация параметров сборочных производственно-технологических комплексов автомобильного производства". Учебное пособие. М., МГТУ "МАМИ", 2007 г.
4. Ламин И.И. "Проектирование технологических процессов сборки изделий автотракторостроения". Учебное пособие. М., МГТУ "МАМИ", 2008 г.

Диагностическое обеспечение операций сборки резьбовых соединений

Ланшиков А.В., д.т.н., Селиверстов А.А.

Пензенская государственная технологическая академия,

В современных конструкциях машин должное внимание следует уделять вопросам их надежной работы в самых неблагоприятных условиях. Резьбовые соединения являются одним из наиболее распространенных средств сопряжений, поэтому обеспечение их надежности является актуальным из-за возможного преждевременного усталостного разрушения или самоотвинчивания в процессе эксплуатации.

Ослабление резьбовых соединений может быть двух видов: с взаимным вращением болта и гайки и без вращения. Разгрузка резьбового соединения происходит в результате относительных перемещений и касательных контактных деформаций между боковыми поверхностями витков резьбы, а также между стягиваемыми изделиями и крепежными деталями. Ослабление может также наступить в результате выравнивания неровностей и шероховатостей поверхности, уменьшения толщины прокладок, усадки поверхности детали под головкой болта или гайки. Среди причин ослабления следует указать на влияние температуры, при которой работает соединение и влияние различных температурных коэффициентов расширения материалов сопрягаемых деталей и резьбовых элементов /1, 2/.