

9. *Zadeh L.* From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. *IEEE Trans. // Circuits and Systems – Fundamental Theory and Applications*, vol. 45, №1, 1999, pp. 105-119.
10. *Бутенков С.А., Кривоша В.В., Бутенков Д.С.* Гранулированные вычисления в системах интеллектуального анализа пространственных данных // В сб. трудов Международной конференции "ИАИ-2005", Киев, 17-20 мая 2005. – С. 79-85.
11. *Walker E.* Perspectives on Fuzzy Systems in Computer Vision // *Proc. of the Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society [NAFIPS '98]*, August, 1998, pp. 296-300.
12. *Бутенков С.А.* Грануляция и инкапсуляция в системах эффективной обработки многомерной информации // *Искусственный интеллект, научно-теоретический журнал Национальной академии наук Украины*, №4, 2005. – С. 106-115.
13. *F. Klein.* *Elementarmathematik vom Hoheren Standpunkte Aus Erster Band.* Verlag von Julius Springer, Berlin, 1924.
14. *Бутенков С.А.* Семантическая сегментация в системах эффективной обработки многомерной информации // *Искусственный интеллект*, научно-теоретический журнал Национальной академии наук Украины, №6, 2006. – С. 124-131.
15. *Erwig M., Schneider M.* Vague Regions. 5th Int. Symp. on Advances in Spatial Databases (SSD), LNCS 1262, 298-320, 1997.
16. *Ullah S.* F-granular design information based Information axiom. In *Proc. of ICAD 2002*, Cambridge MA, June 2002, pp. 1202-1209.
17. *Бутенков С.А., Холоднов А.А., Ястребов В.С., Каркищенко А.Н.* Применение гранулированных вычислений в задачах САПР машиностроения // *Известия ТРТУ*. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, №3, 2004. – С. 66-73.
18. *Rosenfeld A.* Fuzzy plane geometry: Triangles. *Pattern Recognition Letters*, 15(12): 1261-1264, 1994.
19. *Бутенков С.А., Аль-Доуяни С.Х.С.* Применение нейронных сетей в задачах гранулированной обработки многомерной информации // В сб. трудов Всероссийской научной конференции "Нечеткие системы и мягкие вычисления" НСМВ-2006, Тверь, 20-22 сентября 2006. – С. 216-230.

УДК 658.5

Л.А. Кашуба, А.Д. Жаргалова

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САД/САМ

Введение. Последовательность проектирования технологии механической обработки можно представить последовательностью задач, выстроенных вдоль потока развития информации от исходных данных для проектирования к результату – информации, необходимой и достаточной для подготовки к исполнению производственного процесса.

Процесс проектирования многовариантен и имеет итерационный характер с обратными связями разной глубины. Современные САД-системы поддерживают этапы технического предложения, эскизного и рабочего проектов с полным комплектом конструкторской документации, содержащей информацию о номинальной (абстрактной) геометрии проектируемых изделий. САМ-системы связаны с разработкой программного обеспечения для станков с ЧПУ, рабочих технологий обработки деталей и сборки сборочных единиц, что позволяют создать полный комплект рабочих технологических документов.

Основной функцией САМ-систем в настоящее время является формирование команд для выполнения траекторий движения расчетных точек инструментов, режимов работы оборудования при выполнении переходов технологического процесса, а также такого важного технико-экономического показателя как определенное время обработки на каждом переходе и их совокупности, выполняемой последовательно. В САМ-систему по умолчанию заложена настройка начального положения расчетной точки инструментов в каждом переходе на середину поля допуска параметра формируемой поверхности.

В связи с тем, что модули технологического проектирования САД/САМ-систем основаны на существующих алгоритмах технологического проектирования, нельзя гарантировать качество продукции по таким параметрам, как ресурс изделия, вероятность приемки годной продукции, риск заказчика принятой продукции, вероятность исправления брака и т.д.

Существенным недостатком существующих САД/САМ-систем является невозможность допытной оценки влияния точности средств производства на вероятность выхода годной продукции, полностью соответствующей требованиям технической документации [1, 2].

При проектировании технологии обработки в САД/САМ-системах желательно еще на этапе подготовки производства на основании заданных допусков на геометрические параметры детали учесть как точность формирования параметров средствами производства, используемыми на заключительных этапах формирования параметров поверхностей детали, так и точность средств контроля, используемых при контроле параметров при приемке продукции по каждому контролируемому параметру, соразмеряя их с полем допуска.

Проблема состоит в том, что при настройке положения расчетной точки инструмента необходимо учесть как погрешность формирования параметра объекта производства выбранным средством производства, так и погрешность средства технического контроля, используемого при приемке продукции.

Исследование вероятности оценки принадлежности объектов производства полю допуска при однократном его контроле средством измерения с известной погрешностью. Исследование закономерности погрешности формирования параметра x в технологическом процессе показало, что в соответствии с одной из теорем К.Шеннона она подчиняется нормальному закону:

$$p_1(x, x_n) = e^{-\frac{(x-x_n)^2}{2\sigma_x^2}} / \sigma_x \sqrt{2\pi},$$

где x_n – положение настройки расчетной точки инструмента при формировании параметра; σ_x – параметр распределения формирования параметра в технологическом процессе.

При однократном измерении действительного значения параметра x по показанию аналогового прибора x_n вероятность положения x относительно показания x_n также подчиняется нормальному закону распределения:

$$p_2(x - x_n) = e^{-\frac{(x-x_n)^2}{2\sigma_{2n}^2}} / \sigma_{2n} \sqrt{2\pi},$$

где x_n – показание измерительного прибора; σ_{2n} – параметр распределения вероятности значения параметра x относительно измеренного значения.

Вблизи границы поля допуска x_1 вероятность $U_1 [x, (x_n-x_1)]$ того, что принадлежность действительного значения измеряемого параметра при однократном показании СИ окажется до границы x_1 в области A будет определяться соотношением:

$$U_1[x, (x_n-x_1)] = \int_{-\infty}^{+\infty} p_2[x, (x_n-x_1)] \cdot dx .$$

Вероятность $U_2 [x, (x_n-x_1)]$ того, что принадлежность действительного значения измеряемого параметра при однократном показании СИ окажется за пределами границы x_1 в области B будет определяться соотношением:

$$U_2 [x, (x_n-x_1)] = \int_{-\infty}^{+\infty} 1-p_2[x, (x_n-x_1)] \cdot dx .$$

При $x_n=x_1$ вероятность $P(x)$ принадлежности параметра объекта измерения областям A и B при погрешности измерения, подчиняющейся нормальному закону распределения имеет вид, представленный на рис. 1.

Большинство полей допусков на параметры объектов производства (ОП) имеет две границы $x_{min}=x_1$, $x_{max}=x_2$. Эти границы делят всю область значений параметра x на три области A , B и C . Объекты, принадлежащие полю допуска соответствующей области B , не принадлежащим ему – областям A и C соответственно исправимому и неисправимому браку. Если стандартный интервал рассеяния параметра ОП, равный 6σ , намного меньше интервала поля допуска (x_{min} , x_{max}), то при настройке процесса формирования параметра x_n на середину поля допуска вся продукция будет соответствовать области B и будет принята как годная.

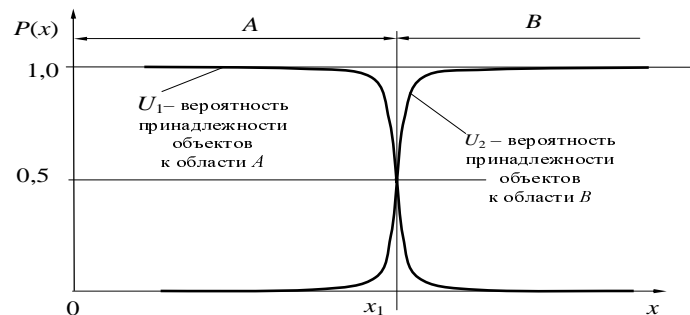


Рис. 1. Вероятность принадлежности параметра объекта измерения областям A и B при погрешности измерения, определяемой нормальным законом распределения

В случае, если стандартный интервал рассеяния параметра ОП, равный 6σ , больше поля допуска (x_{min} , x_{max}), то при настройке процесса формирования параметра x_n на середину поля допуска часть продукции окажется в области, соответствующей неисправимому браку, часть – в области значений параметра, соответствующей годной продукции и часть – в области значений параметра, соответствующей исправимому браку. При разделении продукции на принадлежность к каждой из областей средства контроля с их погрешностями окажут влияние на результат, приводя к неизбежным потерям ресурсов (времени, труда и средств). С этих позиций все технологические переходы (ТП) целесообразно разделить на *точные* и *неточные*, *стабильные* и *нестабильные*. Для неточных ТП при формировании параметра на некотором множестве ОП возникает проблема отделения годных ОП, формируемый параметр которых соответствует полю допуска, от брака, в котором формируемый параметр не соответствует полю допуска. Использо-

вание неточных и нестабильных ТП приводит к необходимости применения *сплошного технического контроля* формируемых параметров. Неотъемлемой составляющей обеспечения точности процесса формирования параметров ОП в процессе производства является технический контроль. Технический контроль при однократных измерениях будет искажать характер распределения погрешности формирования параметра, поэтому важно построить модель оценки принадлежности измеряемого параметра x областям ОП, принадлежащим полю допуска (области B) и не принадлежащим ему (областям A и C соответственно исправимому и неисправимому браку).

Для удовлетворения ограничениям, налагаемым на технологический процесс, необходимо с одной стороны уменьшить потери от неисправимого брака (*вероятность неисправимого брака* $P_{НБ}$) до приемлемого допустимого уровня $[P_{НБ}]$, с другой – обеспечить качество продукции, доведя приемлемой величины в составе принятой продукции *допустимую вероятность риска заказчика* $[P_{РЗ}]$ [3].

Как показали исследования, первую задачу можно решить, сместив настройку x_H в сторону области B , одновременно уменьшая вероятность оценки принадлежности объектов к ней и вероятности риска заказчика при однократных измерениях аналоговыми средствами.

Вторую задачу можно решить, вводя границу приемочного поля допуска x_2^T , смещая ее также в сторону области B и уменьшая, тем самым, вероятность риска заказчика в составе объектов, принятых по контролируемому параметру.

При контроле значений параметра ОП аналоговым средством измерения исходный характер распределения будет искажаться погрешностью измерения в соответствии с вероятностью оценки принадлежности к каждой соседней области слева и справа от границы поля допуска. Каждое значение параметра распределения объекта производства $p_1(x)$ следует умножить на вероятность определения $P(x)$ принадлежности к соответствующей области A или B .

$$p_1'(x) = p_1(x_H, \sigma_x) \cdot U_1(x_1); \quad (1)$$

$$p_2'(x) = p_1(x_H, \sigma_x) \cdot U_2(x_1), \quad (2)$$

где $p_1(x_H, \sigma_x)$ – центр группирования и параметр распределения погрешности формирования параметра в технологическом процессе; x_H – положение центра группирования формируемого параметра в технологическом процессе; σ_x – параметр распределения нормального закона распределения формируемого параметра; $p_1'(x)$ и $p_2'(x)$ – соответственно искаженные средствами контроля распределения объектов, принадлежащих по результатам приемочного контроля областям A и B .

Результаты сортировки при контроле по конструкторскому и приемочному допускам x_1 и x_2^T представлены на рис. 2.

В соответствии с рис. 3 вероятность неисправимого брака на границе между областями A и B слева на рис. 3 равна площади (S_3+S_4) . Величину смещения настройки в новую точку x_H' можно определить из условия $(S_3+S_4)=[P_B]$, решив которое относительно x_H' определим его положение.

Вероятность первой части принятых ОП с левой стороны рис. 3 равна сумме площадей S_1 и S_2 . Вероятность второй части принятых ОП с правой стороны равна сумме площадей S_5+S_6 . Вероятность общего количества объектов, принятых с первого предъявления по однократно измеряемому параметру объектов, принадлежащих по результатам однократных измерений области B , будет равна $S_B=(S_1+S_2+S_5+S_6)$.

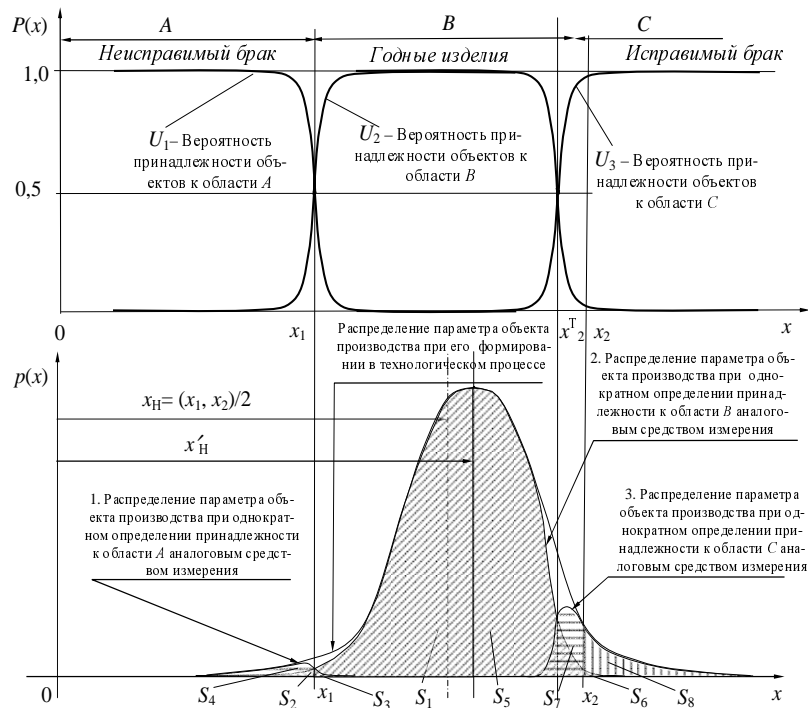


Рис. 2. Искажение средством измерения результатов оценки принадлежности объектов производства к областям A, B и C по измеряемому параметру при смещении настройки x_H со стороны неисправимого брака и введении новой приемочной границы поля допуска в сторону области B от середины поля допуска

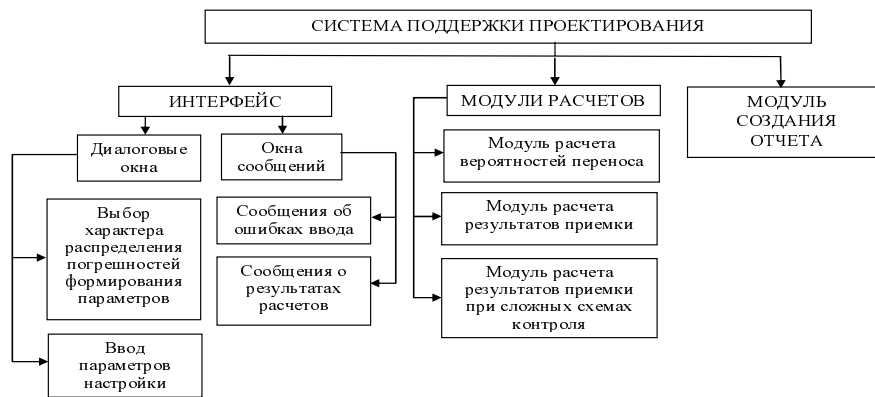


Рис. 3. Структурная схема автоматизированной системы поддержки проектирования

В составе принятых объектов будут объекты S_2 и S_6 , фактически принадлежащие областям A и C. Объекты, равные площади (S_2+S_6) представляют собой **вероятность риска заказчика m** . Важно обеспечить заданный риск заказчика $[m]=S_2+S_6$, где S_6 зависит от положения границы приемочного допуска x_2^T . Если вводится ограничение по риску заказчика $[m]$, то $S_6=[m]-S_2$. Решая последнее урав-

нение относительно x_2^T , получим значение положения границы приемочного поля допуска со стороны исправимого брака.

Объекты, отнесенные по контролируемому параметру к области A , характеризующие вероятность неисправимого брака, равны площади $S_A = S_3 + S_4$. Среди них будут объекты равные площади S_4 , принадлежащие фактически области B , являющиеся *частью вероятности риска производства n* . Объекты, отнесенные по контролируемому параметру к области C (исправимому браку), равны площади $S_C = S_7 + S_8$. Среди них будут объекты пропорциональные площади S_7 , принадлежащие фактически области B . Объекты, равные сумме площадей $S_4 + S_7$ представляют собой *вероятность риска производства n* .

Численные значения вероятностей $S_1 - S_8$ могут быть определены интегрированием уравнений (1) и (2) в соответствующих пределах.

Программная реализация исследований. Для обеспечения желаемой вероятности выхода принятой (годной) продукции при наложенных ограничениях на вероятность риска заказчика и неисправимого брака разработана автоматизированная система поддержки технологического проектирования.

Она связывает настройку начального положения расчетной точки инструментов в каждом переходе с допустимой вероятностью неисправимого брака при известной точности средств производства; определяет вероятности исправимого брака и приемки «с первого предъявления» при известной точности средств технологического контроля параметров, а также границы приемочных допусков с заданной вероятностью риска заказчика.

При разработке системы (см. рис. 3) следовало учесть следующие пользовательские требования, в соответствии с которыми система в процессе своего функционирования должна:

- ◆ принимать от пользователя вводимые исходные данные для расчета (номинальный размер параметра объекта производства, параметр распределения погрешности изготовления σ , λ , параметр распределения погрешности измерения δ , интервал значений параметра объекта производства x_{min} , x_{max} , границы конструкторского допуска x_{k_min} , x_{k_max} , границы технологического допуска x_{t_min} , x_{t_max} , допустимая вероятность неисправимого брака $P'б$ и т.д.);
- ◆ определять настройку рабочих точек инструмента; вероятности исправления брака, риска заказчика;
- ◆ формировать данные для автоматизированного расчета эффективности и трудоемкости различных технологических схем обеспечения точности продукции;
- ◆ представлять отчетность о результатах моделирования сортировки и приемки для последующего обоснованного планирования контрольных мероприятий.

В программном коде были реализованы несколько модулей (подпрограмм):

- ◆ Модуль расчета «функций переноса».
- ◆ Модуль расчета результатов приемки.
- ◆ Модуль расчета результатов контроля в различных схемах комплексов технологических переходов (КТП).
- ◆ Моделирование распределения измеряемого параметра и погрешности измерительных средств.

Выбор алгоритма расчета в зависимости от характера расположения допусков.

На рис. 4-9 представлены интерфейсы созданной системы поддержки проектирования.

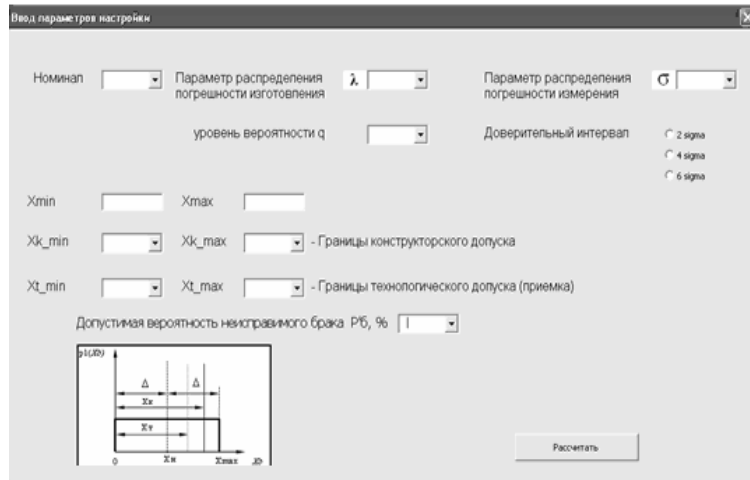


Рис. 4. Ввод исходных данных

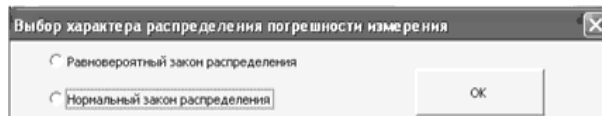


Рис. 5. Диалоговое окно «Выбор характера распределения погрешности измерения»

Параметры объекта производства						Параметры технологического процесса изготовления				
Наименование параметра	Обознач.	Размерн.	Номинал	Допуск	Xmin	Xmax	Наименование параметра	Обознач.	Размерн.	Значени
Риск заказчика	m	%	100		0	200	Закон распределения погрешности	RAV		
							Параметр распределения погрешности	Δ		100
Схема расположения границ НЕ-Г (неисправный брак - годные)										
Конструкторский допуск			Приемочный допуск							
Параметры технологического процесса измерения										
Для цифровых измерительных устройств										
Наименование параметра	Обознач.	Размерн.	Значени							
Закон распределения погрешности	RAV		Значени							
Параметр распределения погрешности	Δ		Значени							
Для аналоговых измерительных устройств										
Наименование параметра	Обознач.	Размерн.	Значени							
Закон распределения погрешности	NOR		Значени							
Параметр распределения погрешности	σ		Значени							
Параметры настройки										
Наименование параметра	Обознач.	Размерн.	Значени							
Настройка расчетной точки инструмента	Xh		77,5							
Нижняя граница приемочного допуска	Xtmin		0			Нижняя граница конструкторского допуска				
Верхняя граница приемочного допуска	Xtmax		150			Верхняя граница конструкторского допуска				
						Xkmax				
						Xkmin				

Рис. 6. Пример формирования и параметров контроля объектов производства

Таблицы результатов сортировки по параметру объекта производства						
N п/п	Наименование параметра	Конструкторский допуск		Приемочный допуск		
		Обознач.	Размерн./Значение	Обознач.	Размерн.	Значение
1	Вероятность приемы объектов производства как годных	Pг	0,8	P'г		0,785
2	Вероятность исправного брака	P'иб	-	P'иб		-
3	Вероятность неисправного брака	P'иб	0,2	P'иб		0,215
4	Вероятность годных в составе исправного брака	P'ги	-	P'ги		-
5	Вероятность годных в составе неисправного брака	P'ги	0	P'ги		0,0525
6	Вероятность исправного брака в составе годных	P'иг	-	P'иг		-
7	Вероятность исправного брака в составе неисправного	P'ин	-	P'ин		-
8	Вероятность неисправного брака в составе годных	P'нг	0,0475	P'нг		0,0375
9	Вероятность неисправного брака в составе исправного	P'ни	-	P'ни		-
10	Действительная вероятность годных в принятых объектах производства	P'гд	0,7525	P'гд		0,7475
11	Действительная вероятность неисправного брака в принятых объектах	P'ibd	0,0525	P'ibd		0,0625
12	Действительная вероятность исправного брака в исправном браке	P'ibd	-	P'ibd		-
13	Вероятность брака в принятых ОП	m	0,0475	m'		0,0375
14	Вероятность годных в принятых ОП	p	0	p'		0,0525

Рис. 7. Таблица результатов сортировки по параметру ОП

В текстовый отчет записываются основные данные о моделировании, такие как значение параметров настройки расчетной точки инструмента, рассчитанный риск заказчика и предприятия, схема расположения допусков и характер распределения погрешностей измерения и изготовления (рис. 8).

Таблица результатов приемки в разных схемах комплексов технологических переходов

Схемы комплексов технологических переходов, обеспечивающих: Результаты приемки по допуску

Схема 1	конструкторский		приемочный		
	Обознач.	Значение	Обознач.	Значение	
	Вероятность приемки	P_n	0,8	P'_n	0,785
	Вероятность брака	$P_б$	0,2	$P'_б$	0,215
	Вероятность исправления брака	$P_и$		$P'_и$	
	Вероятность риска заказчика	m	0,0475	m'	0,0375
	Вероятность риска производства	n	0	n'	0,0525
	Коэффициент умножения на входе в КТП	$K_{вх}$	1,25	$K'_{вх}$	1,27389
	Относительное количество брака в КТП	$K_б$	0,25	$K'_б$	0,27389
	Относительный объем контроля ОП	$K_{оп}$	1,25	$K'_{оп}$	1,27389
	Относительный объем измерений ИБ	$K_{иб}$	-	$K'_{иб}$	-
	Относительный объем измерений ИВ	$K_{ив}$	-	$K'_{ив}$	-
	Относительный объем исправлений	$K_и$	-	$K'_и$	-
	Относительный объем контроля ИБ	$K_{иб}$	-	$K'_{иб}$	-

Рис. 8. Таблица результатов приемки (схема КТП)

Параметры настройки

Настройка расчетной точки инструмента: 10
 нижняя граница конструкторского допуска: 0
 верхняя граница конструкторского допуска: 120
 нижняя граница приемочного допуска: 0
 верхняя граница приемочного допуска: 60
 допустимая вероятность брака: 1
 расчетная вероятность брака: 0,0049999999999998
 Риск предприятия: 0
 Риск заказчика: 0
 Схема расположения границ: Г – ИБ
 распределение параметра изготовления: равновероятное
 распределение погрешности средства измерения: равновероятное

Рис. 9. Отчет о результатах моделирования

Заключение. Разработанная автоматизированная система поддержки проектирования технологии механической обработки позволяет решать следующие задачи, связанные с повышением точности в многономенклатурном машиностроительном производстве:

- ◆ уменьшает затраты на сбор и обработку статистической информации;
- ◆ позволяет определять трудоемкость изделия еще на стадии конструкторско-технологической подготовки производства, позволяя судить о достаточности выбранных средств производства и контроля для обеспечения требуемого выхода годной продукции, увеличивает оперативность и точность оценки трудоемкости;
- ◆ позволяет оценивать эффективность производства изделия еще на этапе принятия решения о его постановке в производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашуба Л.А., Жаргалова А.Д. Особенности проектирования технологии механической обработки деталей конкурентоспособных изделий // Сборник материалов 1-ой международной научной конференции / Под ред. В.И. Якунина. – М.: МГИУ, 2008. – С. 192-197.
2. Тарасов В.А., Кашуба Л.А. Теоретические основы технологии ракетостроения: учеб. пособие / Под ред. В.А. Тарасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 352 с.
3. Марков Н.Н., Кайнер Г.Б., Сацердотов П.А. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях. – М.: Машиностроение, 1967. – 392 с.