

**РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРОКА  
ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ SLA И SLS**

У статті розглянуто питання статистичного прогнозування при аналізі тимчасових ланцюгів повного циклу виготовлення виробів генеративними технологіями макрорівня. Наведено рекомендації по визначенню строку виконання проектів виготовлення виробів з використанням технологій лазерної стереолітографії (SLA) і селективного лазерного спекання (SLS).

В статті розглянуто питання статистичного прогнозування при аналізі часових ланцюгів повного циклу виготовлення виробів генеративними технологіями макрорівня. Наведено рекомендації по визначенню строку виконання проектів виготовлення виробів з використанням технологій лазерної стереолітографії (SLA) і селективного лазерного спекання (SLS).

In article questions of statistical forecasting are considered at the analysis of time chains of a full cycle of manufacturing of products by generative technologies of macrolevel. Recommendations about definition of performance term of manufacturing projects of products with use of technologies of laser stereolithograph (SLA) and selective laser sintering (SLS) are resulted.

Обобщенная модель времени полного цикла изготовления изделий генеративными технологиями макроуровня

Полный цикл создания изделий ТΣ (TSigma) генеративными технологиями макроуровня можно представить в виде линейной последовательности периодов:

$$T_{\Sigma} = T_{3Dmod} + T_{Form} + T_{PP1} + T_{PP2} + T_{PP3},$$

где  $T_{3Dmod}$  - время создания электронных 3D моделей изделий;  
 $T_{Form}$  - время формообразования изделий (непосредственно на установке послыного выращивания);  
 $T_{PP1}, T_{PP2}, T_{PP3}$  - времена различных этапов постобработки.  
Применительно к технологиям лазерной стереолитографии (SLA) и избирательного лазерного спекания (SLS) могут использоваться следующие постпроцессы:

- $T_{PP1}$  - постпроцесс № 1: SLA - окончательная фотополимеризация изделия в специальной ультрафиолетовой камере мод. PCA 500; SLS - очистка изделий от остаточного порошка;
- $T_{PP2}$  - постпроцесс № 2: SLA - выдержка изделия в специальном низкотемпературном термощафе (для повышения температуры плавления полимера); SLS - выжигание полимера, спекание основного материала

ла и инфильтрация оловянистой бронзы при использовании инкапсулированных в полимер частиц металлических порошков (неражавеющая или углеродистая сталь);

$T_{PP3}$  - постпроцесс № 3 (слесарная шлифовка, полировка, окраска и пр.).

В каждом периоде имеет место процедура эволюции изделия и на каждом ее этапе достигается определенный эволюционный результат:  $T_{3Dmod}$  - файл (или система файлов) триангуляционного описания 3D моделей изделий (в STL-формате);  $T_{Form}$  - послыная материализация 3D моделей, т. е. прямой переход от электронного образа изделия в твердотельное состояние;  $T_{PP1}, T_{PP2}, T_{PP3}$  - придание изделиям требуемых эксплуатационных свойств и необходимого потребительского качества.

Полный цикл создания изделий интегрированными генеративными технологиями макроуровня состоит из ряда закономерно расположенных и находящихся во взаимосвязи периодов (звеньев), представляющих временную цепь. Понятие временных цепей по аналогии с размерными цепями при решении технологических задач введено Б.М. Базровым [3].

Основной особенностью временных цепей создания изделий интегрированными генеративными технологиями макроуровня является высокий уровень неопределенности значений составляющих звеньев. Это связано с большим числом факторов, влияние которых практически учесть не представляется возможным. Таким образом, попытки использования только детерминированного подхода обречены на неудачу. Одним из перспективных современных подходов к решению задач при системной неопределенности исходных данных является использование нечетких экспертных оценок на базе интервальных, треугольных, трапециевидных и др. чисел [2, 8, 9, 10].

В настоящей работе расчет временных цепей производился методом статистического прогнозирования [1, 5, 6, 7]. Предлагаемый метод объединяет в себе возможности как полной, так и неполной взаимозаменяемости с оценкой достоверной вероятности нахождения значений замыкающего звена в заданном интервале или риска выхода за его границы.

При прогнозировании использовались обобщенные модели полного цикла изготовления изделий [4] и технологического времени генеративных технологий макроуровня [11].

Практическая реализация статистического прогнозирования времени полного цикла изготовления изделий должна выполняться, как правило, не по часам, а по календарным дням. Для реализации такой возможности в пользовательскую функцию определения времени полного цикла изготовления изделий необходимо ввести продолжительность рабочего дня для каждого из звеньев временной цепи. Для этого в процедурной модели были введены следующие коэффициенты:  $KhT3Dmod$  - время создания электронных 3D моделей изделий ( $KhT3Dmod = 8$  час.);  $KhTForm$  - время формообразования изделий (непосредственно на установке послыного выращивания,

$KhTForm = 24$  час.);  $KhTPP1, KhTPP2, KhTPP3$  - продолжительность постпроцессов соответствовала 8 час.

Приведенные значения коэффициентов отражают структуру работ, сложившуюся в ЧАО "Конструкторско-технологическое бюро верификационного моделирования и подготовки производства" при кафедре "Интегрированные технологии машиностроения" им. М.Ф. Семко НТУ "Харьковский политехнический институт" (могут при необходимости изменяться).

Статистическое прогнозирование времени полного цикла изготовления изделий в системе моделирования рабочих процессов интегрированных технологий обеспечивалось вариантом расчетов с определением набора абсолютных и относительных характеристик (вариант расчетов соответствует значению субпараметра в процедурной модели  $nSub = 5$ ):  $TSigmaDay$  - время полного цикла, дн.;  $TForm$  - общее время формообразования на установке, час;  $TForm / KhTForm / TSigmaDay$  - относительное общее время формообразования на установке;  $T3Dmod / KhT3Dmod / TSigmaDay$  - относительное время создания электронных 3D моделей изделий;  $TPP1 / KhTPP1 / TSigmaDay$  - относительная продолжительность постпроцесса № 1;  $TPP2 / KhTPP2 / TSigmaDay$  - относительная продолжительность постпроцесса № 2;  $TPP3 / KhTPP3 / TSigmaDay$  - относительная продолжительность постпроцесса № 3.

Примеры использования разработанной методология статистического прогнозирования при анализе временных цепей полного цикла изготовления изделий при единичных заказах представлены ниже. К ним относятся по одному примеру использования лазерной стереолитографии (SLA) и селективного лазерного спекания (SLS).

Рекомендации по определению срока выполнения проектов изготовления изделий с использованием технологии SLA

Рассмотрим на примере корпуса видеомодуля по заказу ООО «Экта-Лиметед» (г. Житомир). Данная фирма занимается проектированием и изготовлением крупногабаритных видеопанно.

При прогнозировании полного цикла изготовления корпуса видеомодуля параметры имели следующие типы и значения, представленные в табл. 1.

Результаты статистического прогнозирования полного цикла создания изделий представлены на рис. 1. Полный цикл создания изделий для заданных условий расчета находится в исходном интервале значений 3.87-8.21 дн. и имеет среднеарифметическое значение 5.798 дн. Установка нового доверительного интервала показывает, что интервал исследуемого

Таблица 1 - Параметры при прогнозировании полного цикла изготовления корпуса видеомодуля (SLA)

Об.	Типы и значения параметров
$T_{3Dmod}$	время создания электронных 3D моделей изделий - стохастический нечеткий параметр Par1: распределение $Triang(x, X_{min} = 1.600 E1, X_{mod} = 1.800 E1, X_{max} = 3.200 E1)$
$T_{PP1}$	продолжительность постпроцесса № 1 - стохастический нечеткий параметр Par3: распределение $Trapez(x, X_{min} = 1.000 E0, X_{mod1} = 2.000 E0, X_{mod2} = 4.000 E0, X_{max} = 5.000 E0)$
$T_{PP2}$	продолжительность постпроцесса № 2 - детерминированный параметр Par4: значение 0.000 E0
$T_{PP3}$	продолжительность постпроцесса № 3 - стохастический нечеткий параметр Par5: распределение $Rand(x, X_{min} = 9.000 E0, X_{max} = 2.400 E1)$
$T_{Home}$	подготовительные операции - стохастический параметр Par6: распределение $Rand(x, X_{min} = 1.000 E1, X_{max} = 0.200 E0)$
$T_{End}$	заключительные операции - стохастический параметр Par7: распределение $Rand(x, X_{min} = 1.000 E1, X_{max} = 0.200 E0)$
$Y_A$	ширина рабочей области, занимаемой изделиями по оси Y - детерминированный параметр Par8: значение 3.500 E2
$H_B$	высота рабочей области, занимаемой изделиями по оси Z - детерминированный параметр Par9: значение 7.000 E1
$S_A$	площадь рабочей области, занимаемой изделиями - детерминированный параметр Par10: значение 1.575 E5
$K_{\Sigma}$	вероятностный коэффициент заполнения рабочей области изделиями - стохастический параметр Par11: распределение $Rand(x, X_{min} = 0.500 E1, X_{max} = 0.200 E0)$
$K_T$	вероятностный коэффициент размера сечения по оси Y - стохастический параметр Par12: распределение $Rand(x, X_{min} = 0.600 E0, X_{max} = 0.700 E0)$
$D_L$	диаметр пятна лазерного луча - стохастический параметр Par13: распределение $Rand(x, X_{min} = 0.230 E0, X_{max} = 0.270 E0)$
$V_L$	скорость луча лазера - стохастический параметр Par14: распределение $Rand(x, X_{min} = 3.000 E3, X_{max} = 5.000 E3)$
$h_C$	толщина формируемого единичного слоя - детерминированный параметр Par15: значение 0.150 E0

продолжение табл. 1

Об.	Типы и значения параметров
$K_{WR}$	коэффициент проходов луча при построении изделий - стохастический параметр Par16: распределение $Rand(x, X_{min} = 2.000 E0, X_{max} = 2.000 E0)$
$H_d$	высота (по координате Z) дополнительных технологических элементов - стохастический параметр Par17: распределение $Rand(x, X_{min} = 8.000 E0, X_{max} = 9.000 E0)$
$K_{AB}$	коэффициент заполнения дополнительных технологических элементов - стохастический параметр Par18: распределение $Rand(x, X_{min} = 0.300 E0, X_{max} = 0.500 E0)$
$K_{LR}$	коэффициент проходов луча при построении дополнительных технологических элементов - детерминированный параметр Par19: значение 1.000 E0
$h_{WP}$	глубина дополнительного опускания платформы при построении изделий - стохастический нечеткий параметр Par20: распределение $Triang(x, X_{min} = 1.000 E2, X_{mod} = 0.150 E0, X_{max} = 0.200 E0)$
$h_{AP}$	глубина дополнительного опускания при построении технологических элементов - стохастический параметр Par21: распределение $Rand(x, X_{min} = 8.000 E0, X_{max} = 1.000 E1)$
$V_p$	скорость опускания рабочей платформы - стохастический нечеткий параметр Par22: распределение $Triang(x, X_{min} = 1.000 E0, X_{mod} = 2.000 E0, X_{max} = 3.000 E0)$
$L_C$	длина подвода-перебега выравнивающего элемента установки - стохастический нечеткий параметр Par23: распределение $TriangRight(x, X_{min} = 5.000 E0, X_{max} = 7.000 E0)$
$V_C$	скорость перемещения выравнивающего элемента установки - стохастический нечеткий параметр Par24: распределение $TriangLeft(x, X_{min} = 1.200 E1, X_{max} = 1.500 E1)$
$K_{WC}$	коэффициент числа проходов выравнивающего элемента установки при построении изделий - стохастический нечеткий параметр Par25: распределение $TriangLeft(x, X_{min} = 1.000 E0, X_{max} = 2.000 E0)$
$T_{WD}$	время выдержки при построении изделий - стохастический нечеткий параметр Par26: распределение $Triang(x, X_{min} = 1.000 E1, X_{mod} = 1.200 E1, X_{max} = 1.500 E1)$
$T_{AD}$	время выдержки при построении технологических элементов - стохастический нечеткий параметр Par27: распределение $Triang(x,$

57

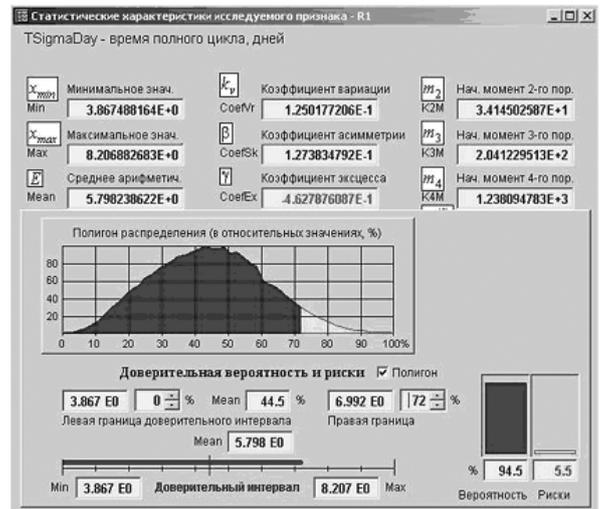


Рисунок 1 – Экранная форма с результатами прогнозирования времени полного цикла создания корпуса видеомодуля



Рисунок 2 – Общее время формообразования на установке SLA корпуса видеомодуля

58

признака можно уменьшить до 72% от исходного - 3.87÷7 дн. При этом риски того, что полный цикл создания изделий выйдет за границы установленного интервала, соответствуют 5.5%.

Результаты статистического прогнозирования общего времени формообразования на установке SLA представлены на рис. 2. Общее время формообразования изделий для заданных условий расчета находится в исходном интервале значений 7.01÷29.7 час. и имеет среднеарифметическое значение 14.66 час. Установка нового доверительного интервала показывает, что интервал исследуемого признака можно уменьшить до 62% от исходного - 7.01÷21.07 час. При этом риски того, что полный цикл создания изделий выйдет за границы установленного интервала, соответствуют 5.4%.

На базе проведенного статистического прогнозирования был заключен договор на создание этих изделий. В табл. 2 приведены результаты статистического прогнозирования временной цепи полного цикла создания изделий.

Корпус видеомодуля в ЧАО "Конструкторско-технологическое бюро верификационного моделирования и подготовки производства" изготавливался по технологии лазерной стереолитографии на установке SLA-5000 с точностью ±0.1 мм на максимальных размерах, а в отдельных местах (координаты отверстий) с точностью ±0.05мм, что при такой ажурной конфигурации изделия являлось проблемой для традиционных способов обработки.

Таблица 2 – Сравнительные результаты по определению срока выполнения проекта создания корпуса видеомодуля (SLA)

Обозн	Ед.	Наименование	Статистическое прогнозирование	Факт
T3D mod	час	3D модель	$Triang(x, X_{min} = 16, X_{mod} = 18, X_{max} = 32)$	24
TForm	час	формобр. SLA	7÷21 при уровне риска 5.4%	16
TPP1	час	постпроцесс 1	$Trapez(x, X_{min} = 1, X_{mod} = 2, X_{mod} = 4, X_{max} = 5)$	3
TPP2	час	постпроцесс 2	0	-
TPP3	час	постпроцесс 3	$Rand(x, X_{min} = 9, X_{max} = 24)$	16
TSigma	дн.	полный цикл	3.9÷7 при уровне риска 5.5%	7.1

Время изготовления при использовании традиционных технологий составляло около двух месяцев при отсутствии гарантий по качеству и точности изготовления, а также при крайне низком коэффициенте использования материала.

Применение лазерной стереолитографии позволило снять проблемы точности и скорости изготовления, однако у заказчика осталась проблема достаточно высокой стоимости.

Рекомендации по определению срока выполнения проектов изготовления изделий с использованием технологии SLS

Рассмотрим на примере прессформы для изготовления турбинных лопаток. Работы проводились с ЧФ «АЗОТМАШСЕРВИС», специализирующимся на восстановлении работоспособности газотурбинных насосных установок импортного производства. Предполагали создание прессформы предназначенной для получения карбамидной модели с последующим переходом к стальному литью по выплавляемым моделям.

Планировалось решение следующих задач:

- 3D проектирование прессформы;
- построение одноместной прессформы с применением технологии селективного лазерного спекания порошка нержавеющей стали с последующей пропиткой бронзой;
- механическая обработка поверхностей смыкания и ручная полировка пера лопатки.

Создание данной прессформы выполнялось по технологии селективного лазерного спекания. Использовался материал ST-100 (нержавеющая сталь с последующей пропиткой бронзой).

При прогнозировании времени полного цикла создания данной прессформы параметры имели следующие типы и значения представленные в табл. 3.

Результаты статистического прогнозирования полного цикла создания изделий представлены на рис. 4. Полный цикл создания изделий для заданных условий расчета находится в исходном интервале значений 12.63÷21.85 дн. и имеет среднеарифметическое значение 16.49 дн. Установка нового доверительного интервала, показывает, что интервал исследуемого признака можно уменьшить до 71% от исходного - 12.63÷19.18 дн. При этом риски того, что полный цикл создания изделий, выйдет за границы установленного интервала, соответствуют 5.4%.

Результаты статистического прогнозирования общего времени формообразования на установке SLS представлены на рис. 5. Общее время формообразования изделий для заданных условий расчета находится в исходном интервале значений 9.891÷20.76 час. и имеет среднеарифметическое значение 13.91 час. Установка нового доверительного интервала, показывает, что интервал исследуемого признака можно уменьшить до 65% от исходного - 9.891÷16.95 час. При этом риски того, что полный цикл создания изделий, выйдет за границы установленного интервала, соответствуют 5.2%.

На базе проведенного статистического прогнозирования был заключен договор на создание этих изделий. В табл. 4 приведены результаты

59

60

Таблица 3 - Параметры при прогнозировании полного цикла изготовления прессформы для изготовления турбинных лопаток (SLS)

Об.	Типы и значения параметров
$T_{3Dmod}$	время создания электронных 3D моделей изделий - стохастический нечеткий параметр Par1: распределение $Trapez(x, X_{min} = 2.000 E1, X_{mod1} = 2.800 E1, X_{mod2} = 3.200 E1, X_{max} = 4.000 E1)$
$T_{PP1}$	продолжительность постпроцесса № 1 - стохастический параметр Par3: распределение $Rand(x, X_{min} = 4.000 E0, X_{max} = 8.000 E0)$
$T_{PP2}$	продолжительность постпроцесса № 2 - стохастический нечеткий параметр Par4: распределение $Trapez(x, X_{min} = 2.000 E1, X_{mod1} = 2.400 E1, X_{mod2} = 2.800 E1, X_{max} = 3.200 E1)$
$T_{PP3}$	продолжительность постпроцесса № 3 - стохастический нечеткий параметр Par5: распределение $TrapezRight(x, X_{min} = 4.800 E1, X_{mod} = 6.400 E1, X_{max} = 9.600 E1)$
$T_{Home}$	подготовительные операции - стохастический параметр Par6: распределение $Rand(x, X_{min} = 2.500 E0, X_{max} = 4.500 E0)$
$T_{End}$	заключительные операции - стохастический параметр Par7: распределение $Rand(x, X_{min} = 1.000 E1, X_{max} = 0.200 E0)$
$Y_A$	ширина рабочей области, занимаемой изделиями по оси Y - детерминированный параметр Par8: значение 2.600 E2
$H_W$	высота рабочей области, занимаемой изделиями по оси Z - детерминированный параметр Par9: значение 7.000 E1
$S_A$	площадь рабочей области, занимаемой изделиями - детерминированный параметр Par10: значение 6.760 E4
$K_S$	вероятностный коэффициент заполнения рабочей области изделиями - стохастический параметр Par11: распределение $Rand(x, X_{min} = 0.700 E0, X_{max} = 0.800 E0)$
$K_T$	вероятностный коэффициент размера сечения по оси Y - для SLS не учитывается
$D_L$	диаметр пятна лазерного луча - стохастический параметр Par13: распределение $Rand(x, X_{min} = 0.230 E0, X_{max} = 0.270 E0)$
$V_L$	скорость луча лазера - стохастический параметр Par14: распределение $Rand(x, X_{min} = 6.000 E3, X_{max} = 8.000 E3)$

продолжение табл. 3

Об.	Типы и значения параметров
$h_C$	толщина формируемого единичного слоя - детерминированный параметр Par15: значение 1.000 E1
$K_{PR}$	коэффициент проходов луча при построении изделий - стохастический нечеткий параметр Par16: распределение $TriangRight(x, X_{min} = 1.000 E0, X_{max} = 2.000 E0)$
$H_A$	высота (по координате Z) дополнительных технологических элементов - стохастический параметр Par17: распределение $Rand(x, X_{min} = 2.500 E0, X_{max} = 3.500 E0)$
$K_{AB}$	коэффициент заполнения дополнительных технологических элементов - детерминированный параметр Par18: значение 1.000 E0
$K_{AR}$	коэффициент проходов луча при построении дополнительных технологических элементов - детерминированный параметр Par19: значение 1.000 E0
$h_{WP}$	глубина дополнительного опускания платформы при построении изделий - детерминированный параметр Par20: значение 0.000 E0
$h_{AP}$	глубина дополнительного опускания при построении технологических элементов - детерминированный параметр Par21: значение 0.000 E0
$V_P$	скорость опускания рабочей платформы - стохастический параметр Par22: распределение $Rand(x, X_{min} = 1.000 E0, X_{max} = 3.000 E0)$
$L_C$	длина рабочего хода выравнивающего элемента установки - детерминированный параметр Par23: значение 1.200 E3
$V_C$	скорость перемещения выравнивающего элемента установки - стохастический параметр Par24: распределение $Rand(x, X_{min} = 1.600 E2, X_{max} = 1.900 E2)$
$K_{PC}$	коэффициент числа проходов выравнивающего элемента установки при построении изделий - для SLS не учитывается
$T_{WD}$	время выдержки при построении изделий - стохастический нечеткий параметр Par26: распределение $TriangRight(x, X_{min} = 4.000 E0, X_{max} = 6.000 E0)$
$T_{AD}$	время выдержки при построении технологических элементов - стохастический нечеткий параметр Par27: распределение $TriangRight(x, X_{min} = 4.000 E0, X_{max} = 6.000 E0)$

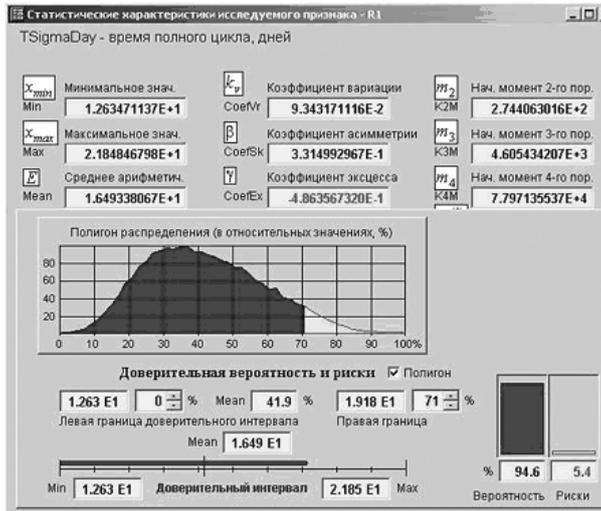


Рисунок 3 – Экранная форма с результатами прогнозирования времени полного цикла создания прессформы для изготовления турбинных лопаток



Рисунок 4 – Общее время формообразования прессформы для изготовления турбинных лопаток (SLS)

статистического прогнозирования временной цепи полного цикла создания изделий.

Таблица 4 – Сравнительные результаты по определению срока выполнения проекта создания прессформы для изготовления турбинных лопаток

Обозн	Ед.	Наименование	Статистическое прогнозирование	Факт
$T_{3D mod}$	час	3D модель	$Trapez(x, X_{min} = 20, X_{mod1} = 28, X_{mod2} = 32, X_{max} = 40)$	32
$T_{Form}$	час	формобр. SLS	9.9±17 при уровне риска 5.2%	12
$T_{PP1}$	час	постпроцесс 1	$Rand(x, X_{min} = 4, X_{max} = 8)$	6
$T_{PP2}$	час	постпроцесс 2	$Trapez(x, X_{min} = 20, X_{mod1} = 24, X_{mod2} = 28, X_{max} = 32)$	26
$T_{PP3}$	час	постпроцесс 3	$TrapezRight(x, X_{min} = 48, X_{mod} = 64, X_{max} = 96)$	80
$T_{Sigma}$	дн.	полный цикл	12.6±19.2 при уровне риска 5.4%	17

Проведенные исследования показали, что использование статистического прогнозирования для решения задач расчета временных цепей при создании изделий методами лазерной стереолитографии и селективного лазерного спекания является эффективным инструментом анализа существующих и проектируемых рабочих процессов. Разработанная система статистического моделирования обеспечивает возможность разработки рекомендаций по определению срока и оценки рисков выполнения проектов изготовления изделий в заданные сроки.

Список использованных источников: 1. Аверченко В.И., Федоров В.П., Хейфец Б.Я. Основы математического моделирования технических систем: Учеб. пос. - Брянск: БГТУ, 2004. - 271 с. 2. Алтухин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. - Тюмень: Изд-во Тюменского гос. университета, 2000. - 352 с. 3. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 2005. - 736 с. 4. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Чернышов С.И., Абдураимов Л.Н. Обобщенная модель времени полного цикла изготовления изделий генеративными технологиями макроуровня // Високи технологии в машинобудуванні: 36. наук. пр. - Харків: НТУ "ХПІ", - 2006. - Вип. 1(12). - С. 3-16. 5. Джексон П. Применение методов Монте-Карло в финансах: Пер. с англ. - М.: Интернет-трейдинг, 2004. - 256 с. 6. Дубров А.М., Лагоша Б.А., Хрусталева Е.Ю. Моделирование рисков ситуации в экономике и бизнесе: Учеб. пособие / Под ред. Б.А. Лагоши. - М.: Финансы и статистика, 2000. - 176 с. 7. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. - М.: Наука, 1982. - 296 с. 8. Неосексин А.О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. - Л.: Санкт-Петербург, 2002. - 181 с. 9. Орлов А.И. Высокие статистические технологии // Заводская лаборатория. - 2003. - Т. 69. - № 11. С. 55-60. 10. Орлов А.И. Экспертные оценки // Заводская лаборатория. - 1996. - Т. 62. - № 1. - С. 54-60. 11. Чернышов С.И., Доброскок В.Л., Витязев Ю.Б., Гаращенко Я.Н. Обобщенная модель технологического времени генеративных технологий макроуровня // Високи технологии в машинобудуванні: 36. наук. пр. - Харків: НТУ "ХПІ", - 2006. - Вип. 1(12). - С. 537-551.

Поступила в редакцию 04.06.2012.