

## ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА НОМЕНКЛАТУРЫ ИЗДЕЛИЙ ПО КРИТЕРИЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассматривается оперативная оценка эффективности использования высокоавтоматизированного производственного оборудования. Разработанная методика основана на использовании данных об изготавливаемых изделиях и параметрах производственной среды. Приводятся результаты программной реализации процедур автоматизированного принятия решений о выпуске изделий в виде подсистемы АСТПП.

**Ключевые слова:** оценка эффективности, производственное оборудование, номенклатура изделий, подсистема АСТПП.

### *Введение*

В современных экономических условиях важнейшим направлением модернизации промышленности и, прежде всего, машиностроения, является автоматизация производства. При этом простая замена оборудования на новое не дает ощутимого эффекта, из-за чего предприятия предпочитают приобретать современное высокоавтоматизированное оборудование с числовым программным обеспечением, обрабатывающие центры (ОЦ), гибкие производственные модули и системы (ГПС). Необходимость возврата использованных средств и сокращения сроков окупаемости дорогостоящего оборудования предполагает обеспечение максимально эффективной его эксплуатации.

В условиях рыночных форм хозяйствования, частой смены номенклатуры изделий актуальной становится проблема разработки и внедрения новых принципов и подходов к использованию современного высокоавтоматизированного оборудования.

Вопросам оценки эффективности производства, создания производственных систем, в том числе ГПС, а также вопросу моделирования их работы посвящены работы таких ученых, как: Борисов Е.Ф., Базылев Н.И., Блехерман М.Х., Вороненко В.П., Лищинский Л.Ю. и др. Проведенный анализ научных публикаций показал, что нерешенными остаются вопросы:

- определения эффективности функционирования высокоавтоматизированного оборудования при формировании портфеля заказов предприятия;
- выбор наиболее эффективной производ-

ственной системы, включающей оборудование с различным уровнем автоматизации.

Необходимость окупаемости дорогостоящего оборудования и максимальной его загрузки предполагает прогнозирование выходных технико-экономических производственных показателей на основе оперативной оценки эффективности выполнения того или иного заказа на имеющемся на предприятии оборудовании. Проведение натурных экспериментов не представляется возможным из-за большой стоимости станко-часа работы такого оборудования. Вследствие того, что задача нахождения оптимального технологического процесса является многовариантной, и на эффективность работы оборудования оказывают влияние многочисленные факторы, оценить эффективность выполнения заказа можно только с использованием современных информационных технологий.

Моделированию производственных систем посвящены работы Козырева Ю.Г., Лескина А.А., Назаретова В.М., Пономарева В.М., Сердюка А. И. В них рассмотрены теоретические вопросы и разработаны специализированные программные средства, позволяющие моделировать работу производственных систем. Однако отсутствуют методики их применения для оперативной оценки эффективности функционирования оборудования при изготовлении новых изделий.

В данной работе рассматривается определение номенклатуры изделий из портфеля заказов предприятия на основе разработанных автоматизированных средств подсистемы АСТПП, использующих оценку эффективности высокоавтоматизированного оборудования.

*Экспериментальные исследования  
производственных систем*

При оценке эффективности производства принято использовать множество общеэкономических показателей, основными из которых являются степень эффекта, общий доход, рентабельность производства, производительность труда, трудоемкость продукции, удельные капитальные вложения, срок окупаемости, экономия материальных затрат и другие показатели.

Однако при оценке эффективности высокоавтоматизированного производства, в том числе и гибких производственных систем, применение большинства из этих показателей не возможно. Высокоавтоматизированные производственные системы отличаются от ранее используемых производств и по принципу функционирования, и по количеству, и по составу оборудования, а функционирование таких систем невозможно описать законами, описывающими работу универсальных систем.

При проведении исследований выявлено, что для оценки эффективности производственных систем с высоким уровнем автоматизации используют три основных показателя:

$$ЭП = \{K_3, L_0, C\}, \quad (1)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки производственной системы;  $L_0$  – срок окупаемости;  $C$  – себестоимость обработки на данной производственной системе.

При организации производственных систем выделяют следующие три уровня автоматизации: I – гибкая производственная ячейка, включающая несколько станков типа обрабатывающий центр (ОЦ); II – гибкая производственная ячейка с автоматизированной транспортно-складской системой; III – гибкая производственная ячейка с автоматизированной транспортно-складской системой и автоматизированной системой инструментаобеспечения (гибкая производственная система – ГПС) [1].

На основе анализа чертежа и технологического процесса изготовления корпусной детали, технических характеристик технологического оборудования, параметров функционирования оборудования и уровня его автоматизации сформирован необходимый и достаточный набор входных параметров, позволяющий с помощью выбранных систем компьютерного моделирования рассчитать показатели эффективности производственной системы. Множество входных параметров включает:

$$X = \{X_T, X_{OP}, X_{OB}, A\}, \quad (2)$$

где  $X_T = \{t_{\text{маш}}, t_{\text{всп}}, m\}$  – множество параметров, связанных с технологией изготовления изделия;  $t_{\text{маш}}, t_{\text{всп}}$  – машинное и вспомогательное время каждого перехода;  $m$  – количество переходов в технологической операции;  $X_{OP} = \{N, R\}$  – множество параметров, связанных с организацией функционирования производственного оборудования;  $N$  – количество деталей одного наименования в партии запуска;  $R$  – число станков в системе;  $X_{OB} = \{t_{\text{смин}}, t_{\text{замин}}, t_{\text{смду}}\}$  – множество параметров, связанных с техническими характеристиками производственного оборудования;  $t_{\text{смин}}$  – время смены инструмента в шпинделе;  $t_{\text{замин}}$  – время замены инструмента в магазине;  $t_{\text{смду}}$  – время смены деталиустановки на столе станка;  $A$  – уровень автоматизации.

Для различных комбинаций значений параметров  $m, t_{\text{маш}}, t_{\text{всп}}, N, t_{\text{смин}}, t_{\text{замин}}, t_{\text{смду}}, R, A$ , число которых составило более 470 тысяч вариантов, выполнены прогоны систем компьютерного моделирования «Каскад» и «Srok», что позволило сформировать базу данных результатов вычислительных экспериментов. Обработка экспериментальных данных выполнена стандартными средствами.

Установлено, что существуют вполне определённые зависимости между количественными значениями исследованных параметров, по которым можно определить область эффективного использования оборудования по выбранному критерию.

Для упорядочивания в алгоритме процедур выбора наиболее рационального варианта производственной системы под конкретное изделие выполнено ранжирование входных параметров по степени их влияния на показатели эффективности производственной системы. Ранжированная оценка проведена по следующим этапам: формирование интервалов входных параметров; приведение полученных значений и определение весовых коэффициентов; определение влияния различных параметров на показатели эффективности.

Влияние параметров оценивалось при различных уровнях автоматизации. Как следует из полученных результатов, на коэффициент загрузки наибольшее влияние имеет машинное время, а на срок окупаемости – машинное время и количество станков. Влияние же параметров оборудования на оба показателя незначительное. Сделан вывод, что оценку эффективности конк-

ретной производственной системы по полученным математическим моделям необходимо осуществлять по машинному времени на технологических переходах и далее – в порядке убывания значений весовых коэффициентов по выбранному критерию эффективности.

#### Программная реализация

Для объектно-ориентированного моделирования на языке UML создаваемого программного обеспечения подсистемы АСТПП применена диаграмма компонентов. Она позволяет изобразить модель средства на физическом уровне, включающую модули средства и существующие между ними зависимости. Программное обеспечение включает следующие пять модулей (рис. 1):

– «Анализ заявки», предназначенный для идентификации поступающего изделия; в этом модуле определяются: выпускалось ли данное изделие ранее, имеются ли на него в базе данных записи;

– «Поиск модели», позволяет найти в базе данных локальные модели, построенные для конкретных диапазонов изменения входных параметров, или укрупненные модели, учитывающие влияние всех параметров и их взаимное влияние;

– «Расчет показателей эффективности», позволяющий определить такие показатели эффективности, как коэффициент загрузки оборудования и срок окупаемости;

– «Поиск оптимального варианта системы или технологии»;

– «Ведение баз данных».

Модуль «Анализ заявок» взаимодействует с модулем «Поиск модели», если рассматриваемое изделие не выпускалось. Затем осуществляется применение найденных моделей для расчета показателей эффективности и поиска оптимального варианта. Если данное изделие выпускалось, то сразу осуществляется обращение к модулю «Поиск оптимального варианта».

В процессе функционирования всех указанных модулей требуется работа с базой данных.

По результатам моделирования осуществлена программная реализация подсистемы в среде Delphi в виде трех программных средств: «Расчет показателей эф-

фективности при механообработке детали», «Программа для определения требований к изделию в условиях заданной производственной системы», «Программа для экспресс-оценки эффективности производства при изготовлении изделия».

Программа «Расчет показателей эффективности при механообработке детали» [2] предназначена для построения математических моделей методом полного факторного эксперимента и оценки коэффициента загрузки оборудования и срока окупаемости при механообработке деталей.

Программное средство «Программа для определения требований к изделию в условиях заданной производственной системы» [3] предназначено для расчета показателей эффективности производственной системы с различными уровнями автоматизации по математическим моделям, хранящимся в базе данных, и определения параметров технологии, организации работы, обеспечивающих требуемые значения коэффициента загрузки технологического оборудования и срока окупаемости.

Программное средство «Программа для экспресс-оценки эффективности производства при изготовлении изделия» [4] позволяет оценить коэффициент загрузки оборудования и срок окупаемости при изготовлении изделия в условиях производственной системы по локальным и укрупненным моделям. Входными данными для программы являются: наименование детали, количество выпускаемых изделий, параметры маршрутно-операционного технологического процесса, а также информация об оборудовании, на котором производится выпуск данной детали.

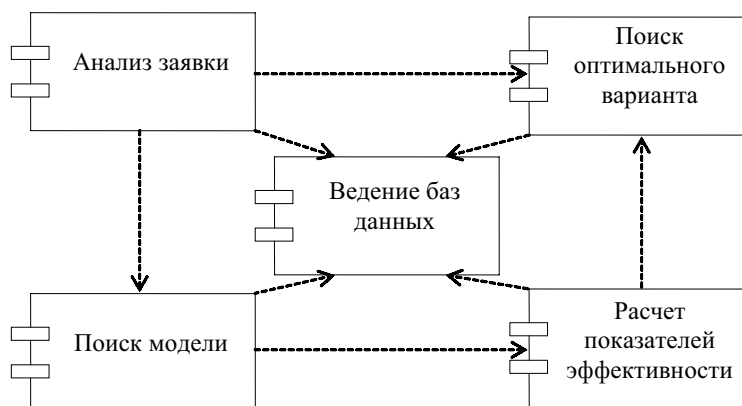


Рисунок 1. Диаграмма компонентов подсистемы АСТПП

В соответствии с решениями, принятыми на этапе объектно-ориентированного моделирования для работы программного комплекса реализовано четыре базы данных: «Изделие», в ней хранятся данные о полученных заказах на изделия и самих изделиях; «Документация», представляющая базу данных технологической, конструкторской и иной документации, однозначно определяющей изделие; «Оборудование», включающая данные об оборудовании, имеющемся на предприятии и используемом для обработки изделий; «Модели», содержащая данные о математических моделях изделий, используемых для расчета показателей эффективности. Для организации доступа к таблицам используется СУБД Paradox. Взаимосвязи между таблицами – «один-ко-многим».

#### *Алгоритмизация экспресс-оценки номенклатуры изделий*

Работа с подсистемой АСТПП включает пять последовательных этапов [5].

Этап 1. Начальная настройка на производственные системы (параметры  $t_{\text{смин}}$ ,  $t_{\text{замин}}$ ,  $t_{\text{смду}}$ ,  $R$ ,  $A$ ), которыми располагает предприятие – от отдельного станка типа ОЦ до ГПС из 10 станков с автоматизированной системой инструментообеспечения.

Ввод данных осуществляется в экранную форму «Производственная система». Пользователь задает уровень автоматизации, наименование производственной системы на предприятии, модель и тип обрабатывающего центра. Вид станка отображается в соответствии с введенной его моделью. Параметры (время смены инструмента в шпинделе  $t_{\text{смин}}$ , время замены инструмента в магазине  $t_{\text{замин}}$ , время смены деталиустановки на столе станка  $t_{\text{смду}}$ ) могут быть введены автоматически по техническим характеристикам оборудования или задаваться пользователем. Число единиц оборудования соответствует наличию на предприятии.

Введенные данные могут, как сохраняться в базе данных, так и извлекаться из нее, если запись о выбранном оборудовании имеется.

Этап 2. Ввод информации по текущей детали, включая данные из технологической документации  $m$ ,  $t_{\text{маш}}$ ,  $t_{\text{всп}}$  и объем выпуска  $N$ , в экранную форму «Изделие». Этот этап заключается в поиске записи об изделии в базе данных. Если запись отсутствует, то есть данная деталь ранее на предприятии не выпускалась, то происходит формирование записи о новой

детали с указанием данных, необходимых для расчета и точной идентификации. Для идентификации изделия предназначены вводимые конструкторско-технологические признаки изделия, то есть класс деталей, тип, группа, название, количество и другие.

На форме предусмотрены просмотры чертежа изделия, 3D-модели и технологической документации. На основании маршрутно-операционной карты вводятся по каждой операции машинное и вспомогательное время. По этим данным рассчитываются входные параметры, связанные с технологией изготовления изделия: количество переходов  $m$ , машинное время изготовления изделия  $t_{\text{маш}}$ , вспомогательное время  $t_{\text{всп}}$ . Эти данные служат исходными для расчета числа станков.

На форме ввода данных об изделии также предусмотрена возможность переноса информации из базы данных, если по изделию принимались ранее какие-то решения.

Этап 3. Автоматический поиск в базе данных локальных моделей, которыми аппроксимированы ранее полученные результаты вычислительных экспериментов.

При переходе к поиску моделей осуществляется проверка рассчитанного числа станков на соответствие имеющемуся на предприятии. При несоответствии возможна корректировка данных. На экранную форму поиска модели автоматически переносятся введенные ранее данные об изделии и оборудовании. Пользователь может выбрать типы моделей или задать поиск по всем имеющимся в базе данных.

Этап 4. В случае, если локальные модели имеются, с их использованием выполняется расчет показателей эффективности  $\{K_{\text{ПС}}, L_0\}$  при изготовлении детали в каждой из производственных систем предприятия.

Этап 5. На множестве кортежей значений  $\{K_{\text{ПС}}, L_0\}$  рассчитывается  $\min$  (для  $L_0$ ) или  $\max$  (для  $K_{\text{ПС}}$ ) значение показателя, используемого в качестве критерия эффективности  $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ . Производственная система, соответствующая  $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ , признается оптимальной для изготовления данной детали. В случае, если локальные модели в базе данных отсутствуют, выполняется поиск укрупненных моделей, полученных методом полного факторного эксперимента и пригодных для анализа промежуточных значений исследованных дискретных интервалов. Отсутствие в базе данных укрупненных моделей вызывает необходимость проведения экс-

периментов с последующей их обработкой в программе «Расчет показателей эффективности при механообработке детали».

При этом последовательность исследования новых комбинаций входных параметров выполняется в соответствии с полученными результатами ранжирования их влияния. Полученные таким образом новые математические модели накапливаются в базе данных, представляющей собой развиваемое хранилище данных предприятия.

*Применение методики в условиях единого информационного пространства предприятия*

Представим методику экспресс-оценки эффективности изделия при участии предприятия

в конкурсных торгах и определения номенклатуры выпускаемых изделий в виде диаграммы деятельности. Реализация методики возможна в едином информационном пространстве (ЕИП) при совместном применении имеющихся на предприятии АСУП, САПР, АСТПП. Использование ЕИП должно обеспечить быстрый и полный доступ к необходимой содержательной информации об изделии, ресурсах и процессах, который возможен при соблюдении единых правил взаимодействия и стандартов электронного обмена данными.

Диаграмма, представленная на рисунке 2, разбита на дорожки, соответствующие работе пользователя в определенных программных средствах применяемых подсистем и разработанного комплекса программ.

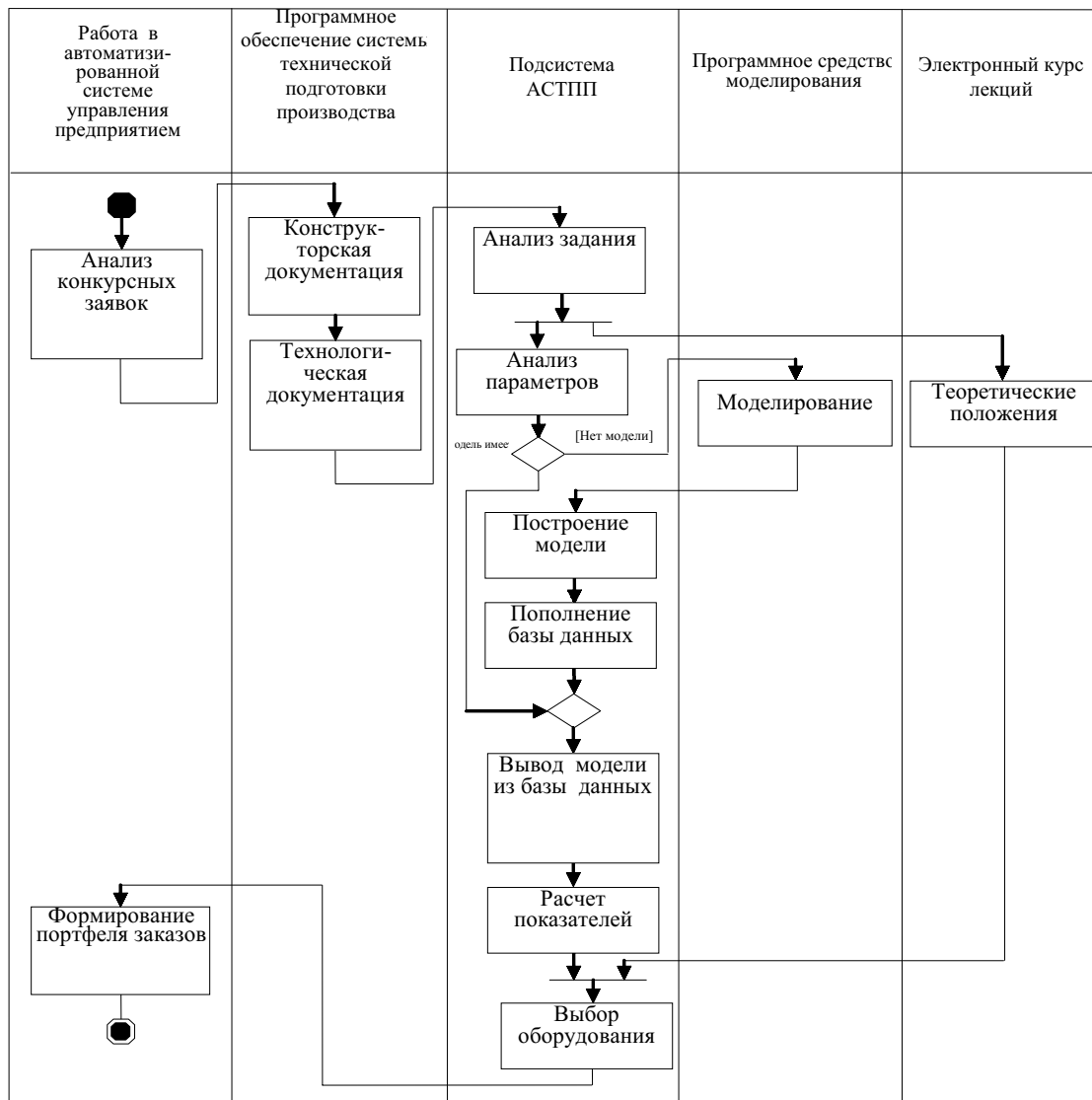


Рисунок 2. Содержание методики экспресс оценки изделия в виде диаграммы деятельности

Первоначально в подсистеме АСУП производится анализ конкурсных заявок на предмет отбора тех, которые соответствуют профилю предприятия. Заявка оформляется в соответствии с требованиями предприятия, в которых указываются ключевые характеристики заказа, например: тип изготавливаемого изделия, количество, сроки изготовления и другое, определяющее возможности предприятия. Заявка оформляется отделом продаж, либо отделом маркетинга, либо другим отделом, не связанным с основным производством и не имеющим возможности оценки технологии и организации производства данного изделия.

Далее заявка передается службам, определяющим технические, технологические и прочие аспекты производства.

Для новых изделий, отсутствующих в базе данных предприятия, в подсистемах САПР и АСТПП разрабатывается конструкторская и технологическая документация. Для изделий, которые уже выпускались предприятием, может использоваться имеющаяся документация или разрабатываться новая.

Данные о технологии обработки и производственных системах предприятия, передаются в разработанную подсистему АСТПП экспресс-оценки номенклатуры изделий. При соответствии диапазона входных параметров производится вывод модели из базы данных, расчет показателей эффективности и, в соответствии с полученными результатами, выбор производственной системы по заданному критерию эффективности.

При несоответствии диапазона входных параметров с помощью разработанного приложения производится моделирование для получения экспериментальных данных и построения математических моделей. Полученные модели вносятся в базу данных, после чего производится расчет показателей эффективности.

Поддержка данной методики осуществляется с помощью разработанного электронного справочника в виде теоретического курса лекций [6].

#### Выводы

1. В результате обработки экспериментальных данных получены математические модели, в исследованных интервалах входных данных описывающие закономерности влияния параметров оборудования, технологии, организации работы и уровня автоматизации производственного оборудования на эффективность его эксплуатации.

2. С использованием полученных моделей разработано формализованное описание процедур перехода от параметров изделия к требуемым параметрам производственной среды, представленное математическим, алгоритмическим и методическим обеспечением подсистемы АСТПП.

3. Исследование разработанного программного обеспечения подсистемы АСТПП показало, что применение методики позволит выбрать при заданных значениях входных параметров производственную систему, имеющую до 10 % больший коэффициент загрузки, и снизить срок окупаемости до 30 %.

28.03.2011 г.

### **Работа выполнена при поддержке гранта № 2.1.2/9289 «Исследование механизма и закономерностей перехода от технического задания к техническому предложению на создание гибких производственных ячеек» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)»**

Список использованной литературы:

- 1 Сердюк, А.И. Закономерности формирования производительности гибких производственных ячеек: монография / А. И. Сердюк, Р.Р. Рахматуллин, А.А. Корнипаева, Л.В. Галина. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. – 188 с.
- 2 Галина, Л.В. Расчет показателей эффективности при механообработке изделий / Галина Л.В., Арипов Н.Я., Черноусова А.М. / Свидетельство о регистрации программного средства № 582 в университетском фонде алгоритмов и программ от 18.06.2010. – Оренбург, 2010; Свидетельство о регистрации программного средства № 50201001649 во ВНИИЦ от 03.11.2010. – М., 2010. – 3051 Кбайт.
- 3 Галина, Л.В. Программа для определения требований к изделию для изготовления в условиях заданной производственной системы / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617495 от 13.11.2010. / Галина Л.В., Сердюк А.И., Арипов Н.Я., Черноусова А.М. – М. : Роспатент, 2010.
- 4 Галина, Л.В. Программа для экспресс-оценки эффективности производства при изготовлении изделия / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617229 от 29.10.2010. / Галина Л.В., Арипов Н.Я., Черноусова А.М. – М. : Роспатент, 2010.
- 5 Галина, Л.В. Программный комплекс для оценки эффективности изготовления изделия / Л.В. Галина, А.И. Сердюк, А.М. Черноусова // Программные продукты и системы. – 2010. – № 4. – С.128 – 131.

6 Галина, Л.В. Автоматизация машиностроительного производства: электронный курс лекций / Галина Л.В., Сердюк А.И., Гаврюшина Е.В. : Свидетельство о регистрации программного средства № 524 в Университетском фонде алгоритмов и программ от 9.11.2009. – Оренбург, 2009; Свидетельство о регистрации программного средства № 50201001364 во ВНТИЦ от 06.07.2010. – М., 2010. – 103383 Кбайт.

Сведения об авторах:

**Черноусова Антонина Михайловна**, доцент кафедры систем автоматизации производства  
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук  
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 2239, тел. (3532)372510, e-mail: chern@mail.osu.ru  
**Галина Любовь Владимировна**, ассистент кафедры систем автоматизации производства  
Оренбургского государственного университета  
460018, г. Оренбург, пр-т Победы 13, ауд. 2125, тел. (3532)372512, e-mail: lubov51@yandex.ru

#### UDC 004.4:621

**Chernousova A.M., Galina L.V.**

#### **RAPID ASSESSMENT OF PRODUCT RANGE ON CRITERIA EFFICIENCY OF INDUSTRIAL EQUIPMENT**

The article deals with a rapid assessment of the effectiveness of the use of highly automated production equipment. The developed method-ka based on the data of manufactured products and the parameters of the production environment. The results of software implementation of automated procedures for decision-making on the issue of products in the form of subsystem CAM.

Keywords: effectiveness evaluation, production equipment, product range, subsystem CAM.

#### Bibliography:

- 1 *Serdjuk, A.I.* Laws of formation of performance of flexible manufacturing cells: the monography / A.I. Serdjuk, R.R. Rahmatullin, A.A. Kornipaeva, L.V. Galina. – Orenburg: SEI OSU, 2008. – 188 p.
- 2 *Galina, L.V.* Calculation of efficiency indicators at processing products / Galina L.V., Aripov N.J., Chernousova A.M. / the Certificate on software registration № 582 in university fund of algorithms and programs from 18.06.2010. – Orenburg, 2010; the Certificate on software registration № 50201001649 in RSTIC from 03.11.2010. – М, 2010. – 3051 Kb.
- 3 *Galina, L.V.* Program for definition of requirements to a product for manufacturing in the conditions of the set industrial system / the Certificate about state the computer program register-tsii № 2010617495 from 13.11.2010. / Galina L.V., Serdjuk A.I., Aripov N.J., Chernousova A.M. – М: Rospatent, 2010.
- 4 *Galina, L.V.* Program for a production efficiency express-estimation at manufacturing a product / the Certificate on the state registration of the computer program № 2010617229 from 29.10.2010. / Galina L.V., Aripov N.J., Chernousova A.M. – М: Rospatent, 2010.
- 5 *Galina, L.V.* Program a complex for an estimation of efficiency of manufacturing products / L.V.Galina, A.I.Serdjuk, A.M.Chernousova // Software products and systems. – 2010. – № 4. – P.128 – 131.
- 6 *Galina, L.V.* Automation of machine-building manufacture: an electronic course of lectures / Galina L.V., Serdjuk A.I., Gavryushina E.V.: the Certificate on software registration № 524 in University fund of algorithms and programs from 9.11.2009. – Orenburg, 2009; the Certificate on software registration № 50201001364 in RSTIC from 06.07.2010. – М, 2010. – 103383 Kb.