

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ CAD-SYSTEMS

УДК 658.62.018.012

Р. Р. Загидуллин, д-р техн. наук, проф., e-mail: polysoft@list.ru,
Уфимский государственный авиационный технический университет

Автоматизация разработки альтернативных технологических процессов

Рассмотрены вопросы использования и автоматизации разработки альтернативных технологических процессов (АТП) в системах классов САПР ТР/АСТПП с помощью встроенных библиотек программирования скриптов. Предложенный метод формализации АТП как симбиоз традиционной линейной технологической структуры операционной технологии с операторами управления при использовании в системах классов САПР ТП/АСТПП встроенных средств программирования скриптов (сценариев) позволяет создавать в одной записи базового технологического процесса (ТП) несколько различных АТП, что в дальнейшем позволяет автоматизировать процесс активации того или иного АТП в качестве текущего в зависимости от конкретных условий и использовать его в любых системах планирования классов MES (Manufacturing Execution System), APS (Advanced Planning System).

Ключевые слова: технологический процесс, альтернативный технологический процесс, скрипт, сценарий, САПР ТП, АСТПП, планирование, MES, APS

Введение

Повышение производительности оборудования является одной из ключевых задач отечественного машиностроения. Производительность станочного парка напрямую связана с плотностью составленных расписаний. Чем меньше простоев, тем выше производительность и фондоотдача. Составление расписаний на сегодняшний день является прерогативой таких информационных систем, как APS, формирующих общий план выпуска для всего предприятия, и MES, отвечающих за построение и пересчет цеховых расписаний при их выполнении. Одним из вариантов решения этой задачи является использование определенным образом структурированных альтернативных технологических процессов (АТП) с последующей активацией необходимого варианта в зависимости от сложившейся производственной ситуации.

Постановка задачи

Наибольший эффект, выраженный пропускной способностью станочной системы (участок, цех, предприятие) как на стадии построения расписания APS, так и на стадии их пересчета MES, достигается в том случае, если каждая деталь, по возможности, имеет более одного технологического процесса, т. е. речь идет о наличии АТП. В этом случае, несмотря на усложнение задачи построения расписания с точки зрения комбинаторики и вычислительной сложности, повышается ее степень свободы и гибкость планирования [1, 2], появляется возможность повысить как производительность отдельных станков, так и увеличить пропускную способность в пределах всей станочной системы. Рассмотрим влияние наличия АТП на следующем примере.

Допустим, что некая деталь представлена двумя АТП, которые различаются числом операций. При этом положим, что первый вариант технологического процесса (ТП), построенный по принципу концентрации операций, имеет на одну операцию меньше, чем второй вариант ТП, т. е. мы имеем два множества ТП — $ТП_1\{e_1^1, e_2^1, e_3^1, e_4^1\}$ и $ТП_2\{e_1^2, e_2^2, e_3^2, e_4^2, e_5^2\}$, для которых справедливы выражения $e_i^1 \equiv e_i^2$, $i\{1, 2, 3\}$ и $e_4^1 = e_4^2 \vee e_5^2$, т. е. последняя операция $ТП_1 e_4^1$ может быть представлена двумя операциями $ТП_2 e_4^2$ и e_5^2 без потери точности при смене установочных баз при обработке.

В процессе выполнения цеховой программы может возникнуть случай, когда оборудование, через которое проходит $ТП_1$, находится в состоянии отказа (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент диаграммы Гантта с вариантом пролеживания операции

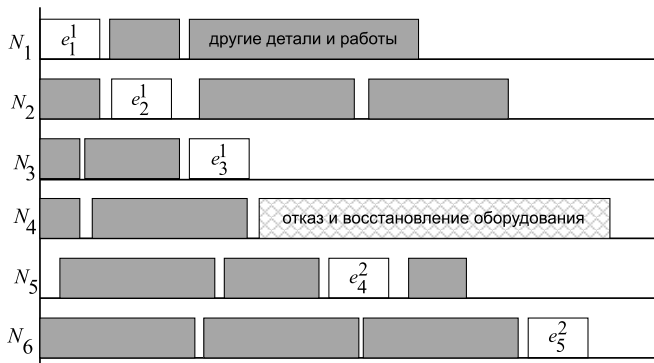


Рис. 2. Фрагмент диаграммы Гантта с вариантом использования АТП

При этом мы видим, что ожидание момента восстановления оборудования N_4 для ТП₁ приводит к пролеживанию детали на предстоящей операции e_4^1 и ее запаздыванию (показан случай ее выхода за горизонт планирования).

В то же время возможен вариант, который часто используется на практике (при наличии АТП), когда в подобных случаях при наличии свободного оборудования используется альтернативное продолжение ТП, что представлено на рис. 2.

Решение о переходе на АТП в этом случае должна принимать MES-система, которая на основе анализа текущей ситуации обязана пересчитать расписание. На практике, когда MES-система не используется, решение о переходе на АТП принимает либо мастер, либо специалист планово-диспетчерского бюро. Такой подход, как мы видим из диаграммы (см. рис. 2), часто позволяет выйти из положения, более плотно загрузить имеющееся оборудование и выпустить детали в указанные сроки.

Необходимость создания АТП оговорена в основах технологии машиностроения [3, 4]. Указывается, что при разработке ТП необходимо иметь несколько альтернативных вариантов технологических процессов с последующим расчетом их себестоимости и выбором наиболее экономичного варианта. Основной проблемой при таком классическом подходе является отсутствие связи между задачей разработки АТП и их последующим вы-

полнением, т. е. отсутствует связь с расписанием работы оборудования.

Вопросам разработки АТП с точки зрения декомпозиции и последующего синтеза операций, вариантного проектирования ТП на множестве сетевых и графовых структур, а также с использованием других подходов посвящено большое число работ как отечественных, так и зарубежных авторов [5–8]. Во всех случаях авторы, так или иначе, придерживались точки зрения, аналогичной классике технологии машиностроения [2, 3], т. е. на множестве АТП определялся ТП, оптимальный либо по частному критерию, либо по векторному, что можно отнести к проблеме адекватности оценки всего множества ТП на предприятии при выполнении во времени, с точки зрения эффективности функционирования станочной системы в целом, а не отдельно взятого ТП.

Второй проблемой является процесс формализации АТП и его отражение в системах АСТПП/САПР ТП.

В большинстве случаев разработчики систем проектирования технологической документации классов АСТПП/САПР ТП вопросы формализации АТП избегают ввиду сложности. В таких случаях обычно рекомендуется делать несколько копий ТП, отличающихся друг от друга в той или иной мере. В дальнейшем, в процессе производства, при переходе на тот или иной АТП распечатывается его документация, и процесс производства продолжается уже по документации АТП. Мало того, что это вносит существенную путаницу при расчете окончательной себестоимости, основная проблема состоит в том, что ни одна система планирования классов MES (*Manufacturing Execution System*) или APS (*Advanced Planning System*) не рассчитана на то, чтобы оперировать множеством АТП и выбирать тот, который актуален на текущий момент времени [9], поскольку потребность в АТП возникает до начала момента планирования, в процессе производства.

Вследствие указанных выше причин возникает задача создания методики, позволяющей в существующих на сегодняшний день системах АСТПП, САПР ТП создавать АТП в автоматизированном режиме с возможностью их использования в дальнейшем в MES-системах.

Предложения по автоматизации создания АТП

Любой АТП в любых системах САПР ТП, АСТПП всегда описывается линейно (рис. 3, а), как и основной ТП. Такой вариант возможен, но он требует того, чтобы некая система планирования "понимала", что есть вторая запись в базе данных (БД) ТП, представляющая собой АТП. Но здесь воз-

никает вопрос, с какого места, с какой точки продолжения этот АТП должен воспроизводиться, так как АТП, как было отмечено выше, создается, как и основной ТП, с первой операции до последней.

В большинстве случаев АТП представляет собой часть ТП, которая выполняется на другом оборудовании или при неких других условиях. При этом число операций в этой части может отличаться от аналогичной части основного ТП, так как основной ТП, например, может создаваться, с учетом концентрации операций, для оборудования с ЧПУ, а АТП — как для оборудования с ЧПУ, так и для универсального оборудования, где непроизвольно возникает дифференциация операций и их увеличение, а также изменение режимов обработки. При этом получается ветвящаяся структура (рис. 3, б).

Поэтому возникает необходимость эту ветвящуюся структуру сделать параллельно штатными средствами той или иной системы САПР ТП/АСТПП в одном процессе разработки ТП.

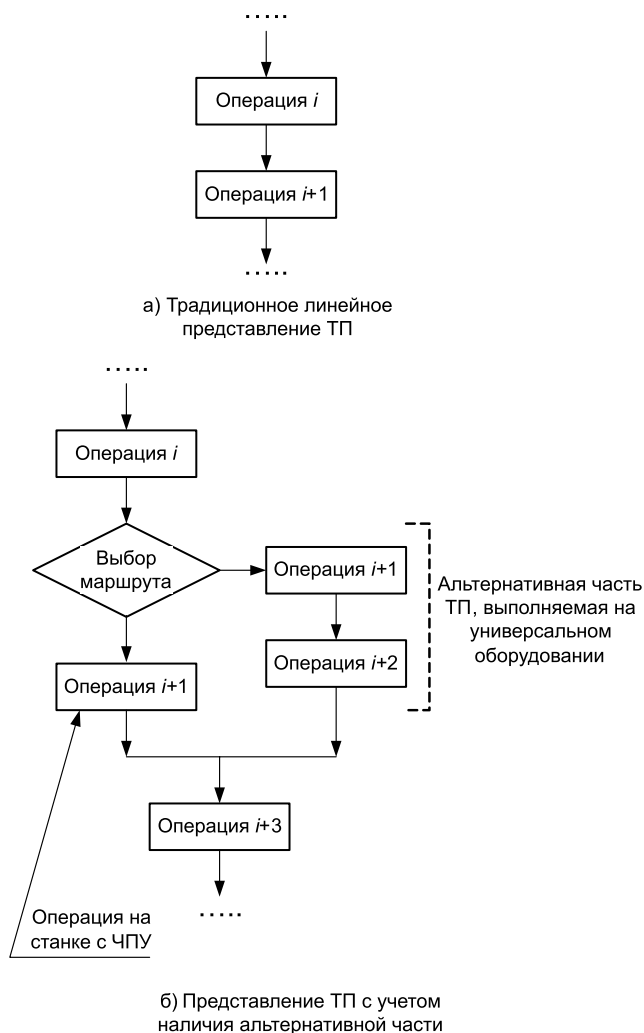


Рис. 3. Варианты учета альтернативных технологических процессов

Такая возможность появляется в том случае, если использовать стандартные методы программирования процессов, поскольку многие системы САПР ТП/АСТПП содержат в себе языковые средства, с помощью которых создаются скрипты (сценарии). В качестве таких встроенных языковых средств часто используется библиотека FastScript [10—12], которая написана полностью на 100 % на Object Pascal. Таким образом, можно программным методом получить параллельный вариант из последовательного (рис. 4) в необходимый момент времени (см. рис. 1, 2).

Это достаточно легко сделать, если ввести маркеры блоков в структуре ТП, как это делается при написании программы с условными переходами, поскольку практически любая система САПР ТП/АСТПП позволяет создавать в структуре ТП различные атрибуты — не только операции, но и другие записи. А поскольку ТП находится в БД, то маркер, по сути, представляет собой запись в БД, которую потом можно прочитать штатными средствами FastScript.

Тогда вид ТП, включающий часть АТП, будет выглядеть так, как это представлено на рис. 5. В качестве маркеров блоков можно использовать тради-

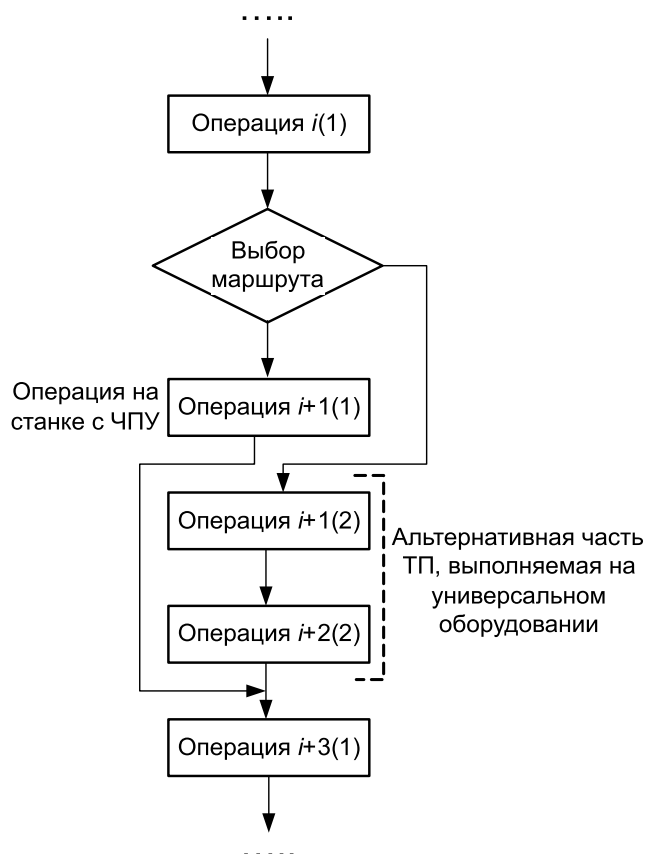


Рис. 4. Принципиальный вариант использования альтернативного ТП в виде отдельного блока при линейном представлении ТП

ционные для программирования операторы "begin" и "end". Таким образом, в одном базовом ТП можно разместить сколько угодно альтернативных частей. Единственное дополнение — это то, что должен присутствовать оператор выбора типа "If", который соотносил бы реальную обстановку (занятость оборудования или его поломку) с соответствующим блоком в зависимости от состояния некоего флага (возможность исполнения ТП на данном этапе или — невозможность). В рассматриваемом примере таких условных переходов, в силу специфики (количество оборудования), много быть не может, не больше одного, как правило.

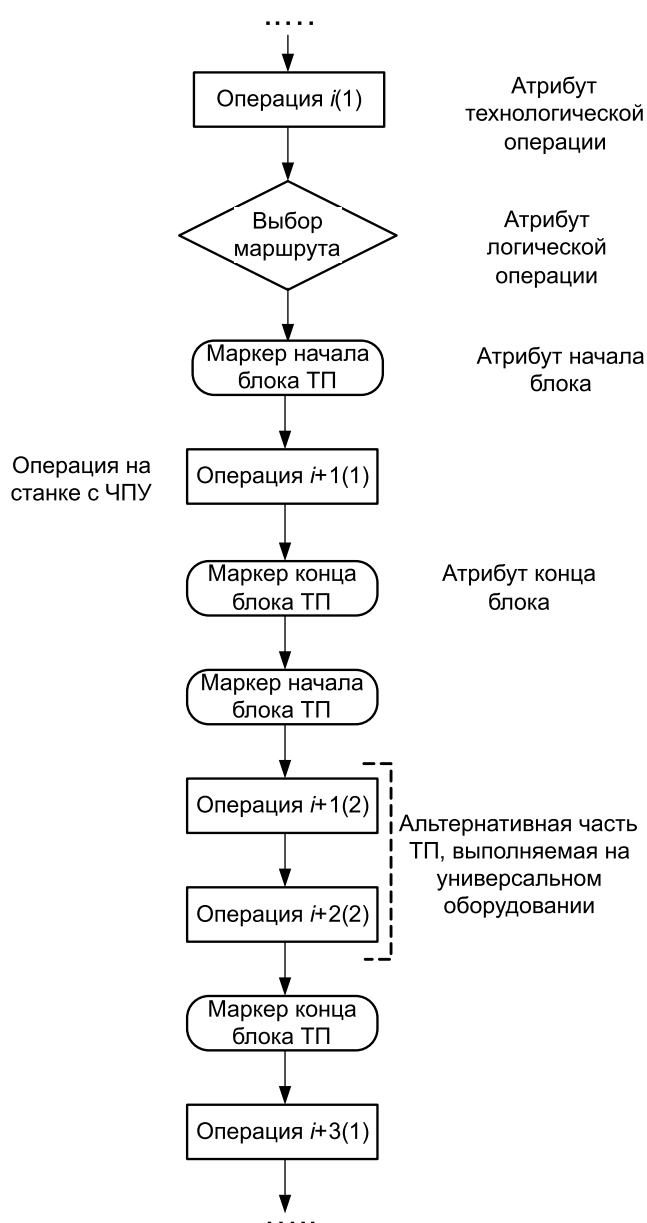


Рис. 5. Предлагаемый программный вариант использования АТП в виде отдельного блока при линейном представлении ТП

На рис. 6 приведен пример тестового ТП, включающего в себя альтернативную часть. Задача тестового примера следующая:

- 1) необходимо создать в некоей САПТ ТП технологический процесс, включающий альтернативную часть и флаги для условных переходов (см. рис. 6);
- 2) после этого, в зависимости от состояния флагов, распечатать штатными средствами Fast-

```
//Техпроцесс Example 1
//Флаг CNC {true, false}
CNC :=  Вводить true или false

05 Заготовительная
    10 Токарная
    15 Слесарная

    If CNC = false then
    {Возможный пропуск ближайшего
    блока , содержащего Begin End }
        Begin
        20 Операция ЧПУ  Пропускается
        операция ЧПУ , если false
        End
    If CNC = true then
    {Возможный пропуск ближайшего
    блока , содержащего Begin End }
        Begin
        25 Операция Универсал 1  Пропускается АТП,
        30 Операция Универсал 2  если true
        End
        35 Шлифование
        40 Промывка
```

Рис. 6. Схема реализации включения/исключения АТП

Общий вид ТП, включающий часть АТП

| № операции | Основной ТП | Альтернативная часть ТП |
|------------|-----------------|-------------------------|
| 05 | Заготовительная | |
| 10 | Токарная | |
| 15 | Слесарная | |
| 20 | Операция ЧПУ | |
| 25 | | Операция Универсал 1 |
| 30 | | Операция Универсал 2 |
| 35 | Шлифование | |
| 40 | Промывка | |

Таблица 2

Итоговый ТП без АТП

| № операции | Основной ТП |
|------------|--|
| 05 | Заготовительная Токарная Слесарная Операция ЧПУ |
| 10 | |
| 15 | |
| 20 | |
| 25 | |
| 30 | Шлифование Промывка |
| 35 | |
| 40 | |

Таблица 3

Итоговый ТП, использующий АТП

| № операции | Основной ТП |
|------------|--|
| 05 | Заготовительная Токарная Слесарная |
| 10 | |
| 15 | |
| 20 | Операция Универсал 1 |
| 25 | |
| 30 | Операция Универсал 2 |
| 35 | Шлифование Промывка |
| 40 | |

Script (поместить в любой документ или файл) три документа:

2.1) общий вариант ТП, включающий АТП (табл. 1);

2.2) два варианта ТП, в зависимости от состояния флага условного перехода (табл. 2, 3).

В данном случае использовалась конструкция программирования "If (условие) then (блок выполнения)". Если альтернативных блоков может быть несколько и если требуется реализовывать более сложный сценарий итогового ТП на основе базового, то можно ввести дополнительные атрибуты, такие как "Label <number label>" (метка с номером) и атрибут "Go to < number label >" (переадресация управления по номеру указанной метки). Таким образом, за счет использования дополнительных атрибутов можно получить очень гибкий вариант ТП как симбиоз программы и ТП.

При этом в БД хранится общий ТП (см. табл. 1), который является базовым. По сценарию перед активацией той или иной детали, в зависимости от ситуации (см. рис. 1, 2), можно получить, например, два варианта ТП, один из которых уйдет на планирование в MES или APS. Все действия по активации ТП (созданию рабочего ТП по отношению к базовому), инициатором которой является MES-система, должны проводиться непосредственно в системе САПР ТП/АСТПП.

Таким образом, можно достичь следующего:

- повысить гибкость используемой системы САПР ТП/АСТПП;

- добиться универсальности по отношению к любой системе планирования, при этом не требуется доработка MES- или APS-системы для учета АТП.

Заключение

В работе показано, что наличие АТП повышает эффективность производственных систем только в случае составления или коррекции расписания их работы, что позволяет повысить гибкость планирования и производительность станочных систем в целом.

Предложенный метод формализации АТП, как симбиоз традиционной линейной технологической структуры операционной технологии с операторами управления, при использовании в системах классов САПР ТП/АСТПП встроенных средств программирования скриптов (сценариев) позволяет создавать в одной записи базового ТП несколько различных АТП, что в дальнейшем позволяет автоматизировать процесс активации того или иного АТП в качестве текущего в зависимости от конкретных условий и использовать его в любых системах планирования классов MES, APS.

Список литературы

1. **Загидуллин Р. Р.** Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. 2-е изд., перераб. и доп. Старый Оскол: Изд-во ТНТ. 2015. 372 с.
2. **Загидуллин Р. Р.** Планирование машиностроительного производства. Старый Оскол: Изд-во ТНТ. 2013. 392 с.
3. **Балакшин Б. С.** Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. 358 с.
4. **Колесов И. М.** Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение. 1997. 592 с.
5. **Анферов М. А., Селиванов С. Г.** Структурная оптимизация технологических процессов в машиностроении. Уфа: Филем, 1996. 185 с.
6. **Логашев В. Г.** Технологические основы гибких автоматических производств. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985, 176 с.
7. **Долгов В. А.** Повышение производительности производственных участков в многоменклатурном производстве путем адаптации технологических процессов к их текущему состоянию. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГТУ СТАНКИН. 2012. 43 с.
8. **Sivakumar K., Balamurugan C., Ramabalan S.** Concurrent multi-objective tolerance allocation of mechanical assemblies considering alternative manufacturing process selection // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2010. Vol. 53, Iss. 5—8. P. 711—732.
9. **Горшков А. Ф., Евтеев Б. Т., Коршунов В. А., Титов В. А., Фролов Е. Б.** Компьютерное моделирование менеджмента. М.: Экзамен. 2007. 622 с.
10. **FastScript 1.9.** Библиотека скриптов. Руководство разработчика. http://www.fast-report.com/public_download/fs_ru.pdf
11. **Schambach M.-P.** Fast script word recognition with very large vocabulary. Logistics & Assembly Syst., Siemens AG, Konstanz, Germany, DOI: 10.1109/ICDAR.2005.111 Conference: Document Analysis and Recognition, 2005 // Proceedings. Eighth International Conference on Source: IEEE Xplore. 2005.
12. **FastScripts** Puts Your AppleScripts in Your Menubar and Lets You Assign Keyboard Shortcuts. Adam Dachis. URL: <http://lifehacker.com/5793851/fastscripts-puts-applescripts-in-your-menubar-and-lets-you-assign-keyboard-shortcuts>

Automated Development of Alternative Technology

The paper deals with automating the creation of alternative technological processes (ATP) in systems classes CAM using the built-in libraries of programming scripts. The proposed method of formalization of ATP as a symbiosis of the traditional linear technological structure of the operating technology with operators control when used in systems of classes CAM built-in programming scripts allows you to create one record base technological process (TP) several different ATP, which further automates the process of activation of or another ATP as a current depending on the particular circumstances and be used in any system scheduling classes MES (Manufacturing Execution System), APS (Advanced Planning System).

Keywords: technological process, alternative technological process, the script, CAM, planning, MES, APS

References

1. **Zagidullin R. R.** *Upravlenie mashinostroitelnyim proizvodstvom s pomosh'yu sistem MES, APS, ERP* (Management of machine-building production systems using MES, APS, ERP). 2-e izd., pererab. i dop. Sary Oskol: Izd-vo TNT. 2015. 372 p.
2. **Zagidullin R. R.** *Planirovanie mashinostroinelnogo proizvodstva* (Planning of engineering production). Sary Oskol: Izd-vo TNT. 2013. 392 p.
3. **Balakshin B. S.** *Osnovy tehnologii mashinostroeniya*. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 358 p.
4. **Kolesov I. M.** *Osnovy tehnologii mashinostroeniya* (Fundamentals of Manufacturing Engineering). M.: Mashinostroenie. 1997. 592 p.
5. **Anferov M. A., Selivanov S. G.** *Strukturnaya optimizatsiya tehnologicheskikh processov v mashinostroenii*. Ufa: Filem, 1996. 185 p.
6. **Logashev V. G.** *Tekhnologicheskie osnovy gibkikh avtomaticheskikh proizvodstv*. Leningrad: Mashinostroenie, 1985. 176 p.
7. **Dolgov V. A.** *Povyshenie proizvoditel'nosti proizvodstvennykh uchastkov v mnogomenklaturnom proizvodstve putem adaptatsii tekhnologicheskikh processov k ih tekushchemu sostojaniyu*. Avtoreferat

dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnikeskikh nauk. Moscow: STANKIN, 2012. 43 p.

8. **Sivakumar K., Balamurugan C., Ramabalan S.** Concurrent multi-objective tolerance allocation of mechanical assemblies considering alternative manufacturing process selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2010, vol. 53, Iss. 5–8, pp. 711–732.
9. **Gorshkov A. F., Evteev B. T., Korshunov V. A., Titov V. A., Frolov E. B.** *Kompjuternoe modelirovanie menedzmenta* (Computer simulation management). Moscow: Examen. 2007. 622 p.
10. **FastScript 1.9.** Biblioteka scriptov. Rukovodstvo razrabotchika — http://www.fasl-repoil.com/public_download/fs_ru.pdf
11. **Schambach M.-P.** Fast script word recognition with very large vocabulary. Logistics & Assembly Syst., Siemens AG, Konstanz, Germany, DOI: 10.1109/ICDAR.2005.111 Conference: Document Analysis and Recognition, 2005. *Proceedings. Eighth International Conference on Source: IEEE Xplore*. 2005.
12. **FastScripts** Puts Your AppleScripts in Your Menubar and Lets You Assign Keyboard Shortcuts. Adam Dachis. URL: <http://lele hacker.com/5793851/lastscripls-puts-applescripts-in-your-menubar-and-lets-you-assign-keyboard-shortcuts>

ИНФОРМАЦИЯ

Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Научная сессия ТУСУР-2016"

Конференция будет проходить с 25 по 27 мая 2016 г.
в корпусах Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

Секции конференции

1. Радиотехника и связь
2. Электроника и приборостроение
3. Информационные технологии и системы
4. Информационная безопасность
5. Экономика, управление, социальные и правовые проблемы современности

Контактная информация:

- 634050, г. Томск, пр. Ленина 40, ТУСУР, Научное управление (НУ), к. 205.
- Юрченкова Елена Анатольевна
- тел.: +7-(3822) 701-524; факс: 51-43-02 (с пометкой "НС ТУСУР 2016"),
- E-mail: nstusur@main.tusur.ru