

Рациональное использование станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства

77-30569/362086

02, февраль 2012

Волчкевич И. Л.

УДК 658.512

МГТУ им. Н.Э. Баумана

vil@bmstu.ru

Актуальность проблемы

Широкое, но, подчас, «точечное» и «бессистемное» распространение на отечественных машиностроительных предприятиях современных высокопроизводительных станков с ЧПУ остро ставит проблему их рационального использования. В настоящее время целесообразность внедрения подобного оборудования определяется тремя группами причин.

Первая группа – причины социальные, резкое сокращение и практически полное отсутствие «воспроизводства» высококвалифицированных станочников-универсалов, «мастеров-золотые руки», при безусловном повышении требований к качеству деталей практически во всех отраслях машиностроения.

Вторая группа – необходимость обработки сложных, подчас – уникальных деталей с минимальными сроками изготовления. Даже при наличии высококвалифицированных станочников сокращение числа операций и установов, обеспечиваемое использованием многокоординатных станков с ЧПУ, позволяет получать более высокие и стабильные параметры качества, в особенности – в части отклонений формы и взаимного расположения поверхностей. Концентрация технологических возможностей дает существенный эффект с точки зрения производительности благодаря сокращению несовмещенных вспомогательных времен и «межоперационных пролеживаний». Проведенные автором исследования [1] показывают, что сокращение штучных времен обработки деталей на станках с ЧПУ по сравнению с суммой штучных времен «замещаемых» операций составляет 3-4 раза, как для токарных станков, так и для фрезерных. Производственный цикл порой сокращается от недель до нескольких часов.

Наконец, третья группа — факторы технико-экономические. Возможные технико-экономические факторы целесообразности внедрения технологических комплексов (ТК) на основе станков с ЧПУ взамен участков из универсальных станков в условиях серийного производства:

- сокращение общей длительности партионной обработки деталей и поставки их на сборку или заказчику;
- повышение производительности (количества выдаваемой продукции в единицу времени);

- удешевление процесса производства по всем составляющим, окупаемость затрат на более дорогое оборудование.

Именно в области технико-экономических факторов наиболее часто отмечается несоответствие реальных результатов внедрения дорогостоящего высокопроизводительного оборудования ожидаемым и прогнозируемым. В то же время отметим, что повышение мобильности отдельных компонентов производства (то есть, ускорение полной комплектации сборки) способно принести общий экономический эффект производства в целом, несмотря на удорожание процессов изготовления некоторых деталей и узлов.

Проблемы использования станков с ЧПУ в современном отечественном машиностроении

В настоящее время наибольшее число станков с ЧПУ и технологических комплексов на их основе в нашей стране эксплуатируются на предприятиях «уникального машиностроения» (ракетно-космическое производство, атомная промышленность, тяжелая энергетика). Здесь растущая конструктивная сложность, весовые характеристики, сложность формы и требования к геометрической точности уникальных деталей делают практически невозможным обеспечение требований к их качеству без наличия рабочих-станочников уникальной квалификации. Это поколение стареет и уходит, достойная замена не подготовлена, поэтому изготовление сложной и уникальной продукции возможно только на станках с ЧПУ, какой бы высокой ценой они не обладали. Как видно, здесь определяющие факторы внедрения станков с ЧПУ и ТК на их основе есть факторы социально-экономические.

С точки зрения технико-экономических факторов опыт внедрения станков с ЧПУ, полученный на отечественных предприятиях, показывает наличие на различных предприятиях схожей проблемы. С одной стороны, программы выпуска, закрепленные за цехами и участками станков с ЧПУ, не выполняются. С другой – отмечается низкая загрузка станков (в понимании руководителей предприятий под загрузкой понимается доля общего фонда времени работы, в течение которого станок занят непосредственно обработкой деталей).

Мы полагаем, что названная проблема является неизбежным следствием ошибок, совершенных при проектировании технологических комплексов из станков с ЧПУ и планировании для них производственных программ. Причин этих ошибок несколько:

- отсутствие в научной и технической литературе обоснованных рекомендаций о рациональных областях применения станков с ЧПУ;
- отсутствие методик расчета необходимого количества станков с ЧПУ, учитывающих специфику их функционирования в составе технологических комплексов и структуру затрат времени функционирования;
- Отсутствие достоверных данных о фактической работоспособности станков с ЧПУ.

В ряде литературных источников (в том числе [2]-[3]) утверждается, что станки с ЧПУ работают едва ли 100 % действительного фонда времени, а наладка и переналадка выполняются за минимальное время. Между тем, исследования, проведенные автором на ряде ведущих предприятий показали [1], что в условиях многономенклатурного часто переналаживаемого производства коэффициент экстенсивного использования оборудования с ЧПУ составляет от 0,3 до 0,5. Типичная диаграмма распределения фонда времени работы участка из фрезерных станков с ЧПУ приведена на рис. 1.

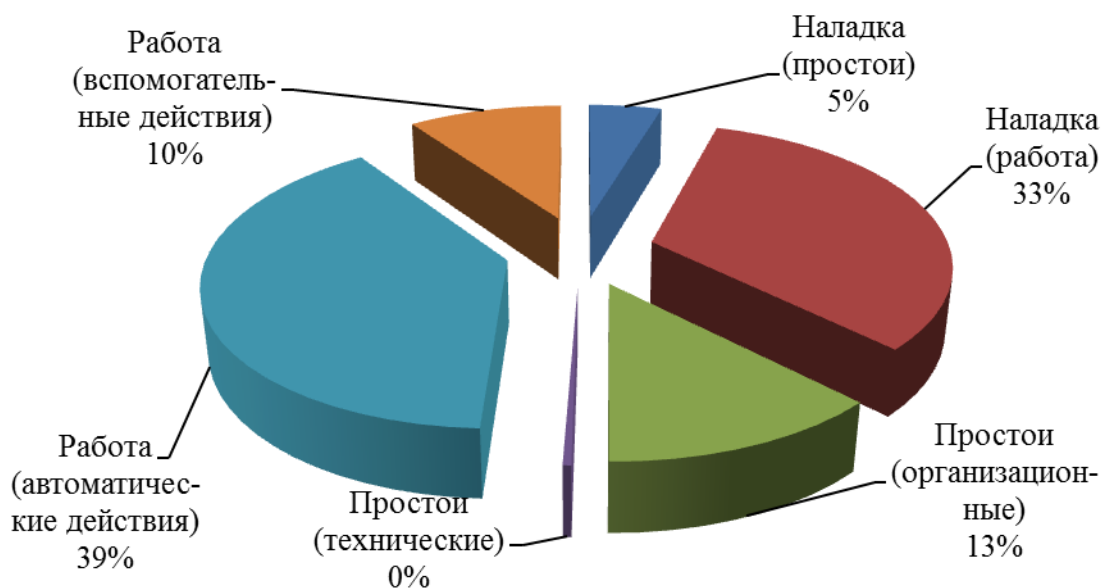


Рис. 1. Распределение фонда времени участка фрезерных станков с ЧПУ по данным производственных исследований

Как видно из рис. 1, суммарное время работы оборудования (39 %) сопоставимо с суммарным временем на отладку новых деталей (38 %), что характерно именно для тех ситуаций, когда на станках с ЧПУ изготавливают уникальные, сложные и высокоточные детали, программы выпуска которых невелики.

При этом длительность отладки новой детали, по нашим данным [4], составляет от 10 до 12 времен цикла обработки для фрезерных станков и от 20 до 22 времен цикла для станков токарных.

Таким образом, создание технологических комплексов из станков с ЧПУ требует радикального пересмотра многих сложившихся канонов, разработки специальных методик и математического обеспечения. Прежде всего – потому, что в таких комплексах одними из ключевых являются вопросы отладки на новые детали и возвратных переналадок. Это диктуется серийным характером изготовления комплектов деталей с регламентацией поставки их на сборку, частым обновлением объектов производства. В итоге простои для наладок и переналадок неизбежно становятся сопоставимы с длительностью межналадочных периодов функционирования. А если учесть неизбежные отказы в работе, подналадки, организационные и технические простои, то, согласно некоторым заводским данным, оборудование технологических комплексов работает не более 20-25 % действительного фонда времени. Это самым непосредственным образом влияет на количество оборудования, необходимого для выполнения заданных масштабов выпуска продукции, что не учитывается в существующих методиках расчета.

Критерии и методика сравнения вариантов состава оборудования проектируемого ТК

Любой ТК представляет собой целенаправленную систему, объединяющую технологические системы, основой каждой из которых является технологическое оборудование. Эффективность использования оборудования в значительной мере

определяется долей времени его производительной работы в его действительном фонде времени. В [5] показано, что использование номинальных значений действительного фонда времени оборудования для определения необходимого количества оборудования ТК ведет к существенным ошибкам. Это является очевидным следствием фактора эмерджентности при представлении ТК, как системы [6]. Вместе с тем, в соответствии с принципом вариантности, возможен альтернативный выбор.

Собственно выбор оборудования ТК и оценивание его результатов являются многокритериальными задачами [7], не сводимыми к единственному критерию. Наиболее рациональным путем решения этих задач является сравнительный анализ, использование критериев предпочтения и проведение расчетов, подтверждающих преимущество того или иного варианта.

В частности, условиях переналаживаемого многономенклатурного производства, когда значимым является время исполнения заказа или поставки комплекта деталей на сборку, для сравнения вариантов предлагается использовать расчет цикла изготовления партии деталей. Поскольку основное внимание в данной работе уделяется проектированию ТК из станков с ЧПУ, расчет направлен на сравнение цикла изготовления партии деталей на станке с ЧПУ с альтернативными вариантами.

В качестве альтернативных вариантов рассмотрены:

- а) Участок из универсальных станков, построенный по предметному принципу, на котором та же партия деталей изготавливается на ряде последовательных операций;
- б) Автоматическая линия, на которой те же детали изготавливаются на ряде последовательных позиций; возможны варианты автоматической линии с жесткой связью (АЛ) или переналаживаемой автоматической линии (ПАЛ).

Каждый из вариантов имеет свои особенности, которые определяют методику расчета цикла изготовления партии деталей.

Поскольку обработка на станке с ЧПУ принята в качестве базы для сравнения, рассмотрим вариант использования его в составе участка с технологической специализацией. Детали на оборудовании данных группы и типа оборудования в составе технологически-специализированных участков изготавливаются партиями. Время цикла изготовления партии деталей будет включать в себя время первичной наладки и сумму времен изготовления всех деталей партии с учетом технической и организационной надежности. Тогда:

$$\sum \Theta_{1(\text{чпу})} = \frac{T_{(\text{чпу})}}{\eta_{\text{ис}(\text{чпу})}} \cdot N, \quad (1)$$

где $\sum \Theta_{1(\text{чпу})}$ - суммарное время изготовления деталей партии на станке с ЧПУ [5]; $T_{(\text{чпу})}$ - время цикла изготовления данной детали на станке с ЧПУ; $\eta_{\text{ис}(\text{чпу})}$ - коэффициент использования времени межналадочных периодов станка с ЧПУ; N - размер изготавливаемой партии.

$$\sum \Theta_{2(\text{чпу})} = T_{(\text{чпу})} \cdot K_2, \quad (2)$$

где $\sum \Theta_{2(\text{чпу})}$ - время первичной отладки станка с ЧПУ на изготовление детали партии [5]; K_2 - коэффициент пропорциональности между временем первичной отладки и временем цикла изготовления детали на станке с ЧПУ.

Суммарное время изготовления партии деталей составит:

$$\sum \Theta_{(\text{ЧПУ})} = \sum \Theta_{1(\text{ЧПУ})} + \sum \Theta_{2(\text{ЧПУ})} = \frac{T_{(\text{ЧПУ})} \cdot Z}{\eta_{\text{ИС}(\text{ЧПУ})}} + T_{(\text{ЧПУ})} \cdot K_2, \quad (3)$$

или:

$$\sum \Theta_{\text{ЧПУ}} = \frac{T_{(\text{ЧПУ})}}{\eta_{\text{ИС}(\text{ЧПУ})}} \cdot (Z + K_2 \cdot \eta_{\text{ИС}(\text{ЧПУ})}). \quad (4)$$

В качестве объекта сравнения принят предметно-специализированный участок из универсальных станков. В пределах данного участка заготовка проходит последовательно через q операций. Оборудование данного участка, с точки зрения организации изготовления партии деталей, характеризуется следующими особенностями:

1. Детали изготавливаются партиями; обработке партии заготовок на каждом из i станков, $i=1, \dots, q$ предшествует наладка.
2. Универсальные станки налаживаются на изготовление одной детали, реже – группы деталей; при этом МТП изготовления разных деталей могут различаться.
3. Во время наладки любого из станков на другую деталь или группу деталей все остальные станки на участке работают, поскольку время наладки сопоставимо со временем изготовления партии деталей на любой из операций.
4. Наладку каждого из станков осуществляет «собственный» оператор, поэтому наладки друг от друга независимы.

Время изготовления партии деталей на предметно-специализированном участке из универсальных станков состоит из:

- а) суммы времен первичных отладок по операциям;
- б) суммы времен изготовления партии на каждой из q операций;
- в) суммы времен межоперационного пролеживания.

Сумма времен изготовления партии на q последовательных операциях ($\sum \Theta_{1(\text{унив})}$):

$$\sum \Theta_{1(\text{унив})} = \frac{1}{\eta_{\text{ИС}(\text{унив})}} \cdot N \sum_{i=1}^q t_{\text{оп}i}, \quad (5)$$

где $t_{\text{оп}i}$ – оперативное время изготовления детали на i -ой операции; N – размер партии деталей; $\eta_{\text{ИС}(\text{унив})}$ – коэффициент использования времени межналадочных периодов универсального станка.

В первом приближении общий объем необходимых технологических воздействий распределен по q операциям равномерно, то есть, все $t_{\text{оп}i} = \frac{t_{\text{оп}}}{q}$, где $t_{\text{оп}}$ – необходимое оперативное время изготовления детали.

Суммарное время необходимых технологических воздействий на универсальных станках и станках с ЧПУ не равны. Для сопоставления времен циклов изготовления партий деталей необходим пересчет оперативных времен с использованием коэффициентов прогрессивности ($K_{\text{пр}}$):

$$\sum_{i=1}^q t_{\text{оп}i} = T_{(\text{ЧПУ})} \cdot K_{\text{пр}}. \quad (6)$$

Отсюда:

$$\sum \Theta_{1(\text{унив})} = \frac{1}{\eta_{\text{ис(унив)}}} \cdot N \cdot T_{(\text{чпу})} \cdot K_{\text{пр}}. \quad (7)$$

Времена первичных отладок универсальных станков не зависят от оперативного времени, поскольку в данном случае нет необходимости полностью изготавливать и контролировать пробные детали. Данное время называется подготовительно-заключительным ($T_{\text{п.з.}}$). Суммарное время первичных отладок при прохождении партии деталей по МТП составит:

$$\sum \Theta_{2(\text{унив})} = \sum_{i=1}^q T_{\text{п.з.}i}. \quad (8)$$

Предположив равномерность дифференциации необходимого технологического воздействия по операциям, получим:

$$\sum \Theta_{2(\text{унив})} = T_{\text{п.з.}} \cdot q. \quad (9)$$

Время межоперационного пролеживания ($T_{\text{ож}i}$) для участков из универсальных станков чаще всего пропорционально времени изготовления партии деталей. Тогда:

$$T_{\text{ож}i} = K_{\text{ож}} \cdot N \cdot t_{\text{оп}i}, \quad (10)$$

где $K_{\text{ож}}$ - коэффициент пропорциональности.

Выражая $t_{\text{оп}i}$ через $T_{(\text{чпу})}$ и суммируя по числу операций, получим:

$$\sum T_{\text{ож}} = K_{\text{ож}} \cdot N \cdot T_{(\text{чпу})} \cdot K_{\text{пр}} \cdot q. \quad (11)$$

Таким образом, полное время цикла изготовления партии деталей на универсальном станке составит:

$$\sum \Theta_{(\text{унив})} = \sum \Theta_{1(\text{унив})} + \sum \Theta_{2(\text{унив})} + \sum T_{\text{ож}}. \quad (12)$$

Подставляя выражения для составляющих и упрощая, получим:

$$\sum \Theta_{(\text{унив})} = \frac{N \cdot T_{(\text{чпу})} \cdot K_{\text{пр}}}{\eta_{\text{ис(унив)}}} \cdot (1 + K_{\text{ож}} \cdot q \cdot \eta_{\text{ис(унив)}}) + T_{\text{п.з.}} \cdot q. \quad (13)$$

Объект сравнения – АЛ или ПАЛ включает q последовательных позиций, на каждой из которых возможно разное число позиций параллельных p_i , $i = 1 \dots q$. Это оборудование, с точки зрения организации изготовления партии деталей, характеризуется следующими особенностями:

1. Заготовки с позиции на позицию линии передаются поштучно.
2. Линия налаживается на изготовление одной детали (АЛ) или группы деталей (ПАЛ)
3. Во время наладки на другую деталь (АЛ) или другую группу деталей (ПАЛ) вся линия не работает, поскольку время наладки много больше времени прохождения одной детали на любой из позиций.
4. Наладку осуществляет бригада наладчиков, последовательно от позиции к позиции. При этом на одной и той же последовательной позиции наладку параллельных позиций тоже осуществляют последовательно.

Величина q определяется первичной и вторичной дифференциацией. Основные времена на каждой позиции линии t_{oi} (они могут быть разными) равны или кратны такту выпуска (t_d). Для проектируемой новой линии:

$$p_i = \frac{t_{oi}}{t_d \cdot \eta_{ис(АЛ)}}, \quad (14)$$

где $\eta_{ис(АЛ)}$ – коэффициент использования времени межналадочных периодов АЛ [8]; p_i – число параллельных позиций; t_d – такт выпуска деталей. Времена наладок при проектировании АЛ и ПАЛ не учитывают.

Если необходимый объем обработки распределен между последовательными позициями равномерно, все t_{oi} одинаковы и равны $\frac{t_o}{q}$, значения p_i тоже получаются равными. При проведении сравнительного расчета использовано это предположение. Считая технический уровень современных станков с ЧПУ и современных ПАЛ равным, принято, что суммарное время необходимых технологических воздействий (времена циклов) для этих типов оборудования равно: $T_{(ЧПУ)} = \sum_{i=1}^q T_{i(АЛ)}$.

Время изготовления новых деталей на АЛ или ПАЛ будет состоять из:

- а) времени отладки;
- б) времени прохождения первой детали во всем позициям;
- в) суммарного времени нахождения на лимитирующей позиции остальных деталей партии (если партия состоит из N деталей, считается время нахождения на лимитирующей позиции $N-1$ деталей).

Время первичной отладки АЛ или ПАЛ состоит из времен отладки каждой позиции и времен отладки межпозиционной передачи. В отношении времен отладки каждой из позиций принята гипотеза [5] о пропорциональности времени отладки и времени цикла через коэффициент K_2 . Тогда доля времени отладок АЛ, затрачиваемая на отладки каждой из q позиций, может быть вычислена, как:

$$\sum \Theta_{21(АЛ)} = K_{2(АЛ)} \sum_{i=1}^q T_{i(АЛ)} \cdot p_i. \quad (15)$$

Если все t_{oi} , а, следовательно, и все p_i равны и с учетом принятого предположения о равенстве необходимых времен технологических воздействий на АЛ и станке с ЧПУ, формула (15) упрощается:

$$\sum \Theta_{21(АЛ)} = K_{2(АЛ)} \cdot T_{(ЧПУ)} \cdot p. \quad (16)$$

Значение данной величины не зависит от q , поскольку, в рамках выдвинутой гипотезы каждое из $T_{i(АЛ)}$ будет равно $T_{(ЧПУ)}/q$, и при суммировании по q в результате получится $T_{(ЧПУ)}$.

Доля времени наладок, затрачиваемая на наладку механизмов передачи между позициями, не зависит от времени нахождения детали на позиции. Суммарное время, затрачиваемое на эти наладки, будет пропорционально числу позиций q :

$$\sum \Theta_{22(АЛ)} = t_{м.н.} \cdot q, \quad (17)$$

где $t_{м.н.}$ – время единичной межпозиционной наладки.

Общее время наладки АЛ на изготовление новой детали или группы деталей:

$$\sum \Theta_{2(АЛ)} = K_{2(АЛ)} \cdot T_{(ЧПУ)} \cdot p + t_{м.н.} \cdot q. \quad (18)$$

Время прохождения первой детали по всем q позициям линии равно сумме времен нахождения одной детали на каждой из позиций с учетом надежности линии:

$$\Theta_{11(АЛ)} = \frac{1}{\eta_{ис}} \cdot K_1 \cdot \sum_{i=1}^q t_{oi}. \quad (19)$$

При равномерной дифференциации общего необходимого основного времени изготовления деталей t_o на q позиций все $t_{oi} = \frac{t_o}{q}$, тогда:

$$\Theta_{11(АЛ)} = \frac{1}{\eta_{ис(АЛ)}} \cdot \frac{T_{(ЧПУ)}}{q} \cdot q = \frac{T_{(ЧПУ)}}{\eta_{ис(АЛ)}}. \quad (20)$$

Из (20) видно, что время изготовления первой детали при выдвинутых приближениях не зависит от числа последовательных позиций q . Это время не зависит и от числа параллельных позиций p , поскольку первая деталь проходит только через одну из параллельных позиций.

Время прохождения $(N-1)$ деталей через лимитирующую позицию:

$$\Theta_{12(АЛ)} = \frac{(N-1)}{\eta_{ис(АЛ)}} \cdot K_1 \cdot \left(\frac{t_{oi}}{p_i}\right)^{max}, \quad (21)$$

где $\left(\frac{t_{oi}}{p_i}\right)^{max}$ - время нахождения деталей на лимитирующей позиции.

Если все t_{oi} равны $\frac{t_o}{q}$, и, все p_i тоже равны, то:

$$\Theta_{12(АЛ)} = \frac{(N-1)}{\eta_{ис(АЛ)}} \cdot \frac{T_{(ЧПУ)}}{p \cdot q}. \quad (22)$$

Очевидно, что время нахождения деталей на лимитирующей позиции зависит и от p и от q .

Суммируя затраты времени на изготовление партии деталей по всем трем составляющим, получим:

$$\sum \theta_{(АЛ)} = K_{2(АЛ)} \cdot T_{(ЧПУ)} \cdot p + t_{м.н.} \cdot q + \frac{T_{(ЧПУ)}}{\eta_{ис(АЛ)}} + \frac{(N-1)}{\eta_{ис(АЛ)}} \cdot \frac{T_{(ЧПУ)}}{p \cdot q}. \quad (23)$$

Упрощая, получим:

$$\sum \theta_{(АЛ)} = \frac{T_{(ЧПУ)}}{\eta_{ис(АЛ)}} \left(K_{2(АЛ)} \cdot p \cdot \eta_{ис(АЛ)} + 1 + \frac{(N-1)}{p \cdot q} \right) + t_{м.н.} \cdot q. \quad (24)$$

Пример определения рациональной области применения станка с ЧПУ

Выполнен сравнительный расчет времен цикла изготовления партий деталей на станках с ЧПУ, АЛ, универсальных станках. Целью расчета было установление критических значений размеров партий, разграничивающих области рационального применения каждого из типов оборудования.

Рассмотрены варианты изготовления партий деталей:

- на станке с ЧПУ;
- на АЛ из 5 последовательных позиций с дифференциацией времени обработки по позициям;
- на последовательности универсальных станков из 5 операций, с равномерной дифференциацией времени изготовления по операциям.

Варьируемые в расчете параметры:

1. Основное время обработки на станке с ЧПУ $t_{o(ЧПУ)}$, принятое за базу для расчетов. Данная величина принимает значения: $t_{o(ЧПУ)}=0,1$ час; $t_{o(ЧПУ)}=1$ час; $t_{o(ЧПУ)}=10$ час.
2. Размер обрабатываемой партии N . Данная величина принимает значения: 1; 25; 50; 75; 100; 125; 150 шт.

Используемые в расчете значения эмпирических коэффициентов и других величин получены из [8], [9] (табл. 1).

Таблица 1.

Значения величин, используемых в расчетах

№	Наименование величины, размерность	Обозначение	Значение для		
			Станки с ЧПУ	АЛ	Универсальные станки
1	Коэффициент использования времени межналадочных периодов оборудования	$\eta_{ис}$	0,8	0,6	0,85
2	Коэффициент пропорциональности между основным временем и временем цикла изготовления детали на станке	K_1	1,4	1,2	3
3	Коэффициент пропорциональности между временем цикла изготовления детали на станке и временем первичной отладки	K_2	14	40	нет
4	Коэффициент прогрессивности оборудования	$K_{пр}$	1	1,2	1
5	Коэффициент пропорциональности между временем цикла изготовления партии деталей на станке и временем межоперационного пролеживания	$K_{ож}$	нет	нет	0,1
6	Подготовительно-заключительное время, час	$T_{п.з.}$	нет	нет	0,3
7	Время единичной межпозиционной наладки АЛ, час	$t_{м.н.}$	нет	10	нет

Кроме времени цикла изготовления партии деталей для каждого из типов оборудования при каждом из сочетаний исходных данных вычислялись коэффициенты экстенсивного использования оборудования ($K_{эи}$), как отношение суммы оперативных времен к времени цикла изготовления партии. Для каждого из сочетаний исходных данных вычислялись отношения времен циклов изготовления партий деталей на универсальном оборудовании и АЛ к времени цикла изготовления партии деталей на станке с ЧПУ. Результаты расчетов иллюстрируют рис. 2 и рис. 3.

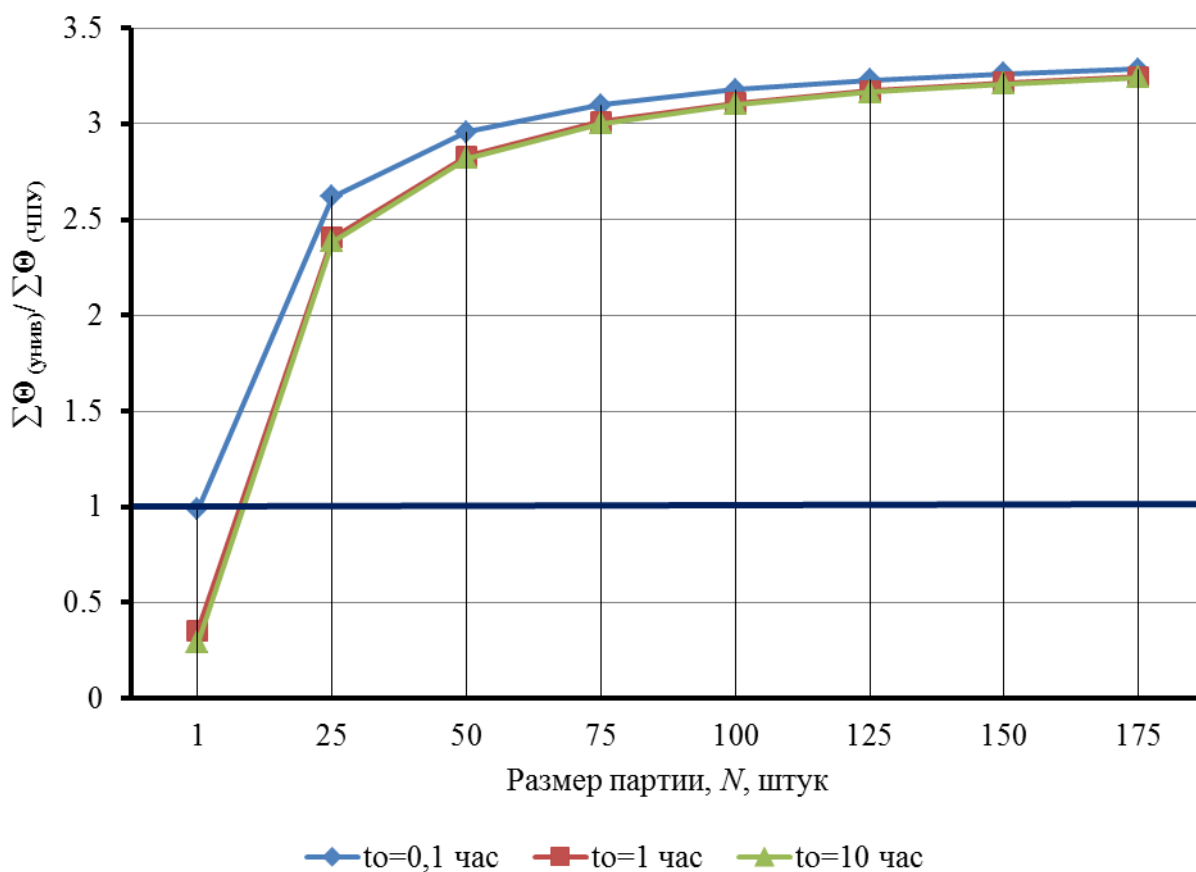


Рис. 2. Отношение расчетного времени изготовления партии деталей на последовательности универсальных станков и на станке с ЧПУ в зависимости от размера партии и основного времени обработки (t_o)

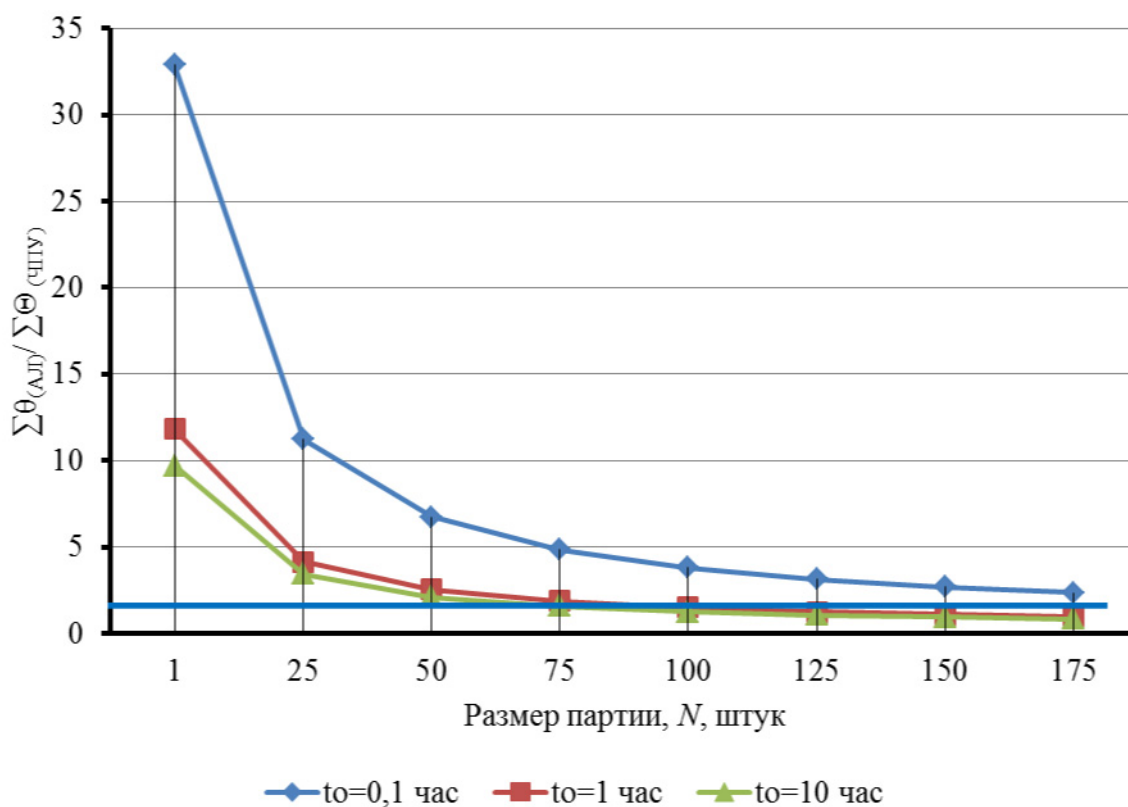


Рис. 3. Отношение расчетного времени изготовления партии деталей на АЛ и на станке с ЧПУ в зависимости от размера партии и основного времени обработки (t_o)

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. Время цикла изготовления партии деталей на станках с ЧПУ становится меньшим, чем время обработки той же партии на последовательности универсальных станков при размерах партии, не превышающих 25 деталей. Это означает, что, с точки зрения производительности обработки, применение станков с ЧПУ оправданно в условиях многономенклатурного, часто переналаживаемого производства, даже с учетом значительного времени, затрачиваемого на отладку процесса изготовления.
2. С учетом различия в стоимости минуты эксплуатации (коэффициента машино-часа) универсальных станков и станка с ЧПУ, область рационального применения последних начинается примерно с программы в 100 деталей.
3. Время цикла изготовления партии на АЛ становится меньшим, чем время цикла изготовления той же партии на станке с ЧПУ при программах, превышающих 150...200 деталей. Однако, это справедливо лишь в том случае, если наладка АЛ на новую деталь или группу деталей проводится без изменения структуры линии и ее конструкции. В противном случае время, необходимое для отладки, будет значительно бóльшим. Конкурировать со станками с ЧПУ в условиях переналаживаемого производства могут только переналаживаемые автоматические линии.
4. С учетом различия в стоимости станка с ЧПУ и ПАЛ, на сегодняшний день достигающей десятков раз, область рационального применения ПАЛ начинается с программ выпуска в несколько тысяч деталей.

Выполненный расчет позволил также оценить ожидаемое использование рассматриваемого оборудования в составе ТК. Для каждого из типов оборудования и каждого из сочетаний исходных данных вычислялись значения коэффициентов экстенсивного использования ($K_{\text{эл}}$) и выявлялись необходимые зависимости (рис. 4 – рис. 6).

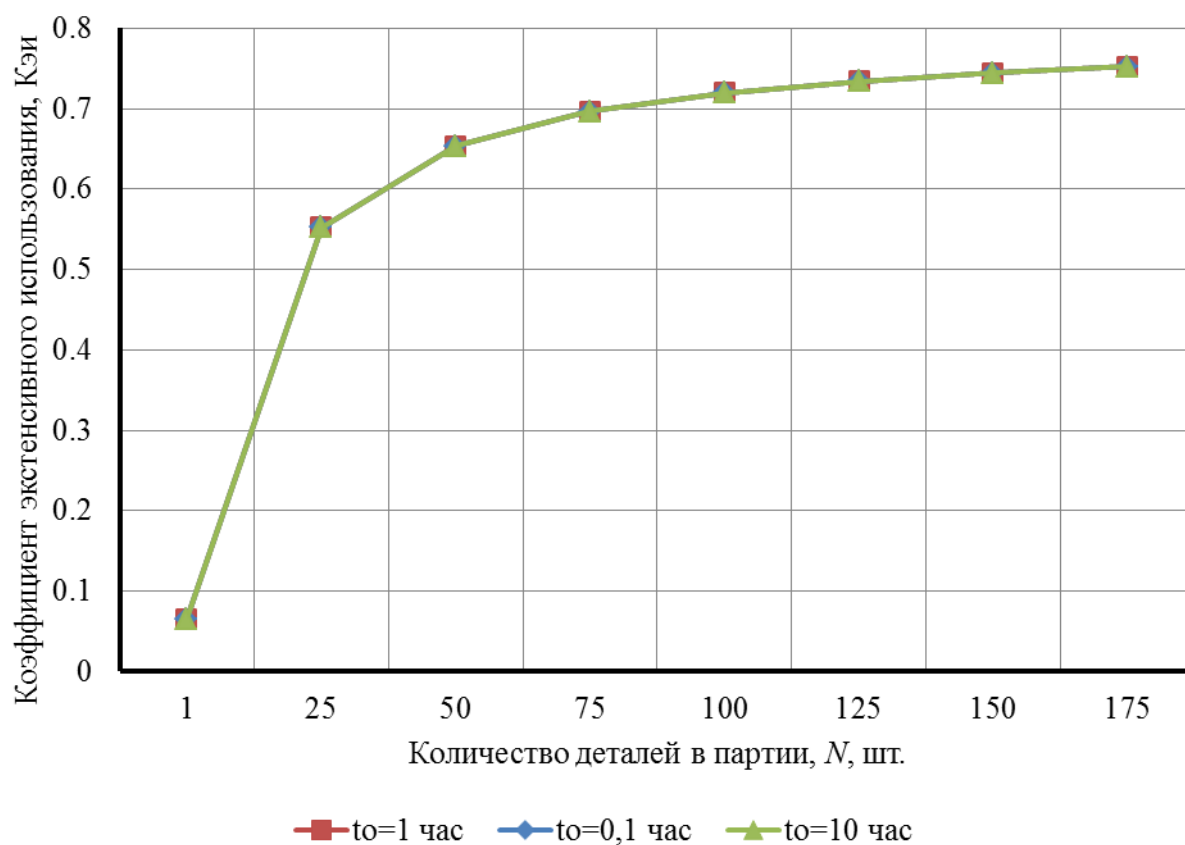


Рис. 4. Зависимость коэффициента экстенсивного использования станков с ЧПУ от количества деталей в партии и основного времени изготовления детали (t_o)

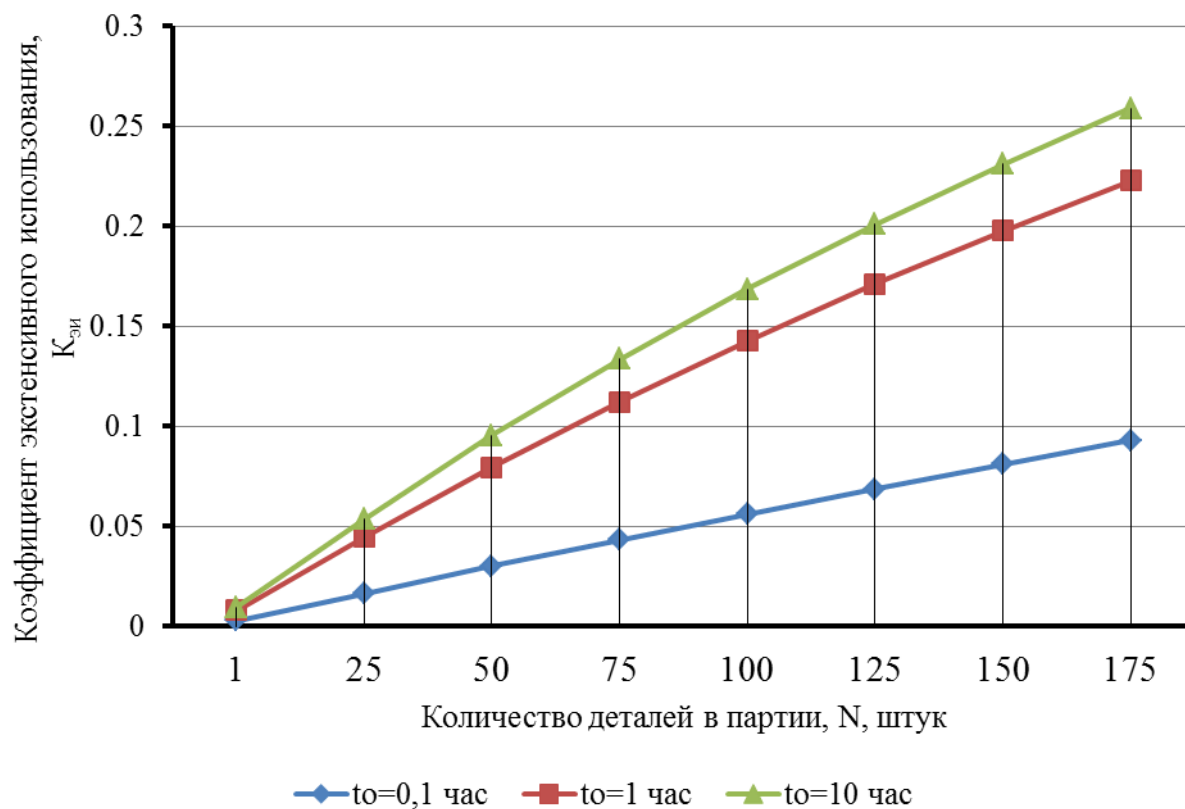


Рис. 5. Зависимость коэффициента экстенсивного использования универсальных станков от количества деталей в партии и основного времени изготовления детали (t_o)

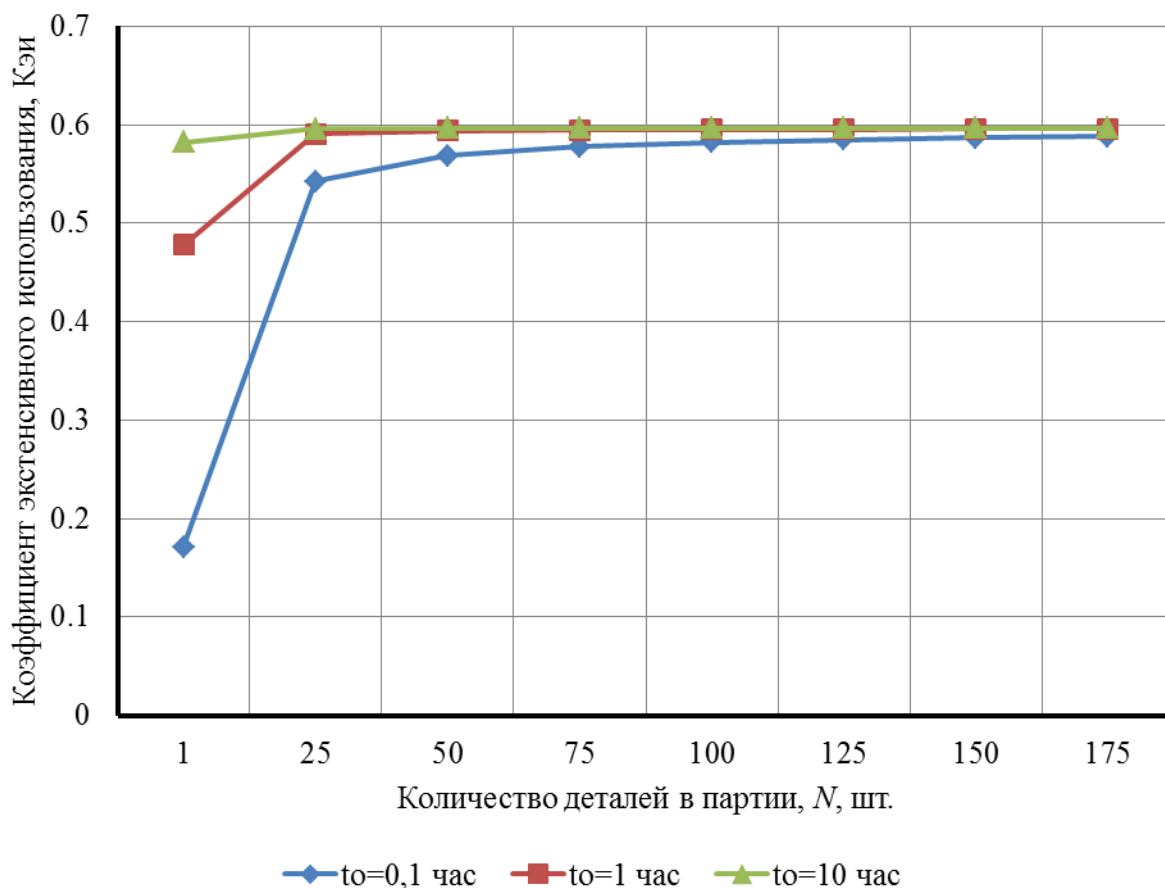


Рис. 6. Зависимость коэффициента экстенсивного использования АЛ от количества деталей в партии и основного времени изготовления детали (t_o)

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. В рамках принятой математической модели определения составляющих затрат времени при работе на станках с ЧПУ значения коэффициента экстенсивного использования оборудования не зависят от величины основного времени обработки. Для универсальных станков и АЛ подобная зависимость существует.
2. Коэффициент экстенсивного использования станка с ЧПУ (см. рис. 4) приближается к значению $K_{эи(ЧПУ)}=0,8$ уже при размерах партий $N=200$ штук.
3. Коэффициент экстенсивного использования универсальных станков при увеличении размера партии стремится к предельному значению (см. рис. 5), определяемому затратами подготовительно-заключительного времени и, в особенности, межоперационным пролеживанием. Эти виды затрат времени в условиях реального производства полностью устранить невозможно.
4. Коэффициенты экстенсивного использования АЛ в рассмотренных пределах размеров партий не превышают значений $K_{эи(АЛ)}=0,3$. Для того чтобы мера использования АЛ во времени превысила величину $K_{эи(АЛ)}=0,8$ необходимы (по расчетам) размеры партий деталей, превышающие 2000 штук.
5. Причина одновременного невыполнения плана и низкой «загрузки» станков - в неправильном выборе состава оборудования, типа и количества. Одна из главных причин этого неправильного выбора – в отсутствии знаний и понимания фактической работоспособности и факторов, на нее влияющих.

В целом, проблема рационального использования станков с ЧПУ на сегодняшний момент является актуальной и требует дополнительных исследований.

Список литературы.

1. Волчкевич И.Л. Исследование фактической работоспособности современного высокопроизводительного оборудования с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века.: Сборник докладов XVII международной научно-технической конференции. Донецк, 2011. С. 144-145.
2. Технология машиностроения: в 2 т. Т 2. Производство машин: Учебник для вузов / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; под. ред. Г.Н. Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 640 с.
3. Борисов С.Р. , Васильев В.Н. Основы предпринимательства и организации производства. Учеб.пособие/ Под ред. В.Н.Васильева. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2000. 752 с.
4. Волчкевич И.Л. Минимизация времен отладок станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 5 в 3-х ч. Ч. 3. С. 16-21.
5. Волчкевич И.Л. Расчет количества оборудования в условиях переналаживаемого производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 5 в 3-х ч. Ч. 3. С. 41-47.
6. Сысоев В.В. Моделирование технологических систем // Математическое моделирование технологических систем. 1995. № 1. С. 10-39.
7. Брахман Т.Д. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. М.: Радио и связь, 1984. 288 с.
8. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2005. 380 с.
9. Мельников Г.Н., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов: учебник для вузов / под ред. А.М.Дальского. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

Efficient use of NC machines under conditions of multiproduct manufacturing

77-30569/362086

02, February 2012

Volchkevich I.L.

Bauman Moscow State Technical University

vil@bmstu.ru

The article covers the data on actual functionality of NC machines as part of multiproduct manufacturing facilities; the data is based on the author's production research. The main categories of fund consumption were analyzed. The main problems of introducing up-to-date high-performance NC machines at domestic machine building plants were considered. The results and recommendations presented in the article can be used to solve design problems or for technical re-equipment and upgrading machining process.

Publications with keywords: [designing machinery manufacturing](#), [NC machinery](#), [equipment utilization](#), [versatile manufacturing](#)

Publications with words: [designing machinery manufacturing](#), [NC machinery](#), [equipment utilization](#), [versatile manufacturing](#)

References

1. Volchkevich I.L. Issledovanie fakticheskoi rabotosposobnosti sovremennogo vysokoproizvoditel'nogo oborudovaniia s ChPU [Investigation of the actual efficiency of modern high-performance CNC equipment]. *Mashinostroenie i tekhnosfera 21 veka: Sbornik dokladov 17 mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Mechanical Engineering and Technosphere of the 21st Century: Proc. of the 17th International Scientific-Technical Conference]. Donetsk, 2011, pp. 144-145.
2. Burtsev V.M., Vasil'ev A.S., Deev O.M., Kodakov A.I., Maksimovich B.D., Mel'nikov G.N., Nikadimov E.F., Solov'ev A.I., Tavrov V.I., Tikhonov V.P., Iastrebova N.A. *Tekhnologii mashinostroeniia. V 2 t. T. 2. Proizvodstvo mashin* [Technology of machine building. In 2 vols. Vol. 2. Manufacture of machinery]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1998. 640 p.
3. Borisov S.R., Vasil'ev V.N. *Osnovy predprinimatel'stva i organizatsii proizvodstva* [Foundations of entrepreneurship and organization of production]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2000. 752 p.

4. Volchkevich I.L. Minimizatsiia vremen otladok stankov s ChPU v usloviikh mnogonomenklaturnogo proizvodstva [Minimization of debugging time of CNC machine tools in the conditions of multinomenclature production]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Tula State University. Ser. Technical sciences], 2011, iss. 5, ch. 3, pp. 16-21.
5. Volchkevich I.L. Raschet kolichestva oborudovaniia v usloviikh perenalazhivaemogo proizvodstva [Calculation of the amount of equipment in conditions of the resetting production]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Tula State University. Ser. Technical sciences], 2011, iss. 5, ch. 3, pp. 41-47.
6. Sysoev V.V. Modelirovanie tekhnologicheskikh sistem [Modelling of technological systems]. *Matematicheskoe modelirovanie tekhnologicheskikh system: Sb. nauch. tr.* [Mathematical modeling of technological systems: Collection of Scientific Papers]. Voronezh, VGTA Publ., 1995, no. 1, pp. 10-39.
7. Brakhman T.D. *Mnogokriterial'nost' i vybor al'ternativ v tekhnike* [Multicriteriality and selection of alternatives in engineering]. Moscow, Radio i sviaz', 1984. 288 p.
8. Volchkevich L.I. *Avtomatizatsiia proizvodstvennykh protsessov* [Automation of production processes]. Moscow, Mashinostroenie, 2005. 380 p.
9. Mel'nikov G.N., Voronenko V.P. *Proektirovanie mekhanosborochnykh tsekhov* [Design of mechanical assembly shops]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 352 p.