

Павлова А. А.,  
Лагода А. Н.

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ РАЗБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

*Рассмотрены проблемы управления качеством разборки соединений с натягом для эффективного функционирования ремонтного производства. Предложены структурно-параметрический принцип для создания нормативно-технического обеспечения и математическая модель теплового процесса ремонтных технологий на примере разборки соединений с натягом.*

**Ключевые слова:** параметры качества, унификация, классификация, ремонтные технологии, лимитирующие параметры, разборка.

### 1. Введение

Условием эффективного использования машин и оборудования является высокий уровень их технического обслуживания и ремонта, от которого зависит качество продукции и затраты в производстве. В настоящее время для выполнения ремонта оборудования номенклатура и объем запасных частей и деталей, поставляемых в ремкомплекты, значительно уменьшились, а их стоимость возросла. Поэтому условием качественной разборки узлов является сохранение детали ремонтируемого изделия для чего, в большинстве случаев, необходимо использование новых технологий.

Особенно сложна разборка соединений с натягом, если они крупногабаритные или их конструкция не позволяет применить простые механические съемники, а также соединений, которые, вследствие тяжелых условий эксплуатации, стали неразъемными. Качественная и производительная разборка таких соединений происходит только с использованием индукционного нагрева. Однако нормативно-техническое обеспечение (НТО) таких технологий практически отсутствует, что делает их применение не эффективным по энергетическим затратам. Поэтому технологический процесс (ТП) разборки соединений с использованием индукционного нагрева в подавляющем большинстве являются опытными.

### 2. Анализ исследований и публикаций и постановка проблемы

В ремонтном производстве элементарным объектом является соединение деталей, которое было в производстве получено с использованием тех или иных технологических методов. Поэтому, чтобы унифицировать ТП ремонта изделия, необходимо в первую очередь унифицировать операции по разъединению соединений, для чего необходимо классифицировать соединения и детали, входящие в них. Кроме того, необходимо провести структурно-параметрический анализ операций разборки соединений с натягом при индукционном нагреве, получение зависимостей для определения лимитирующих параметров нагрева соединения под разборку (оценки напряженно-деформированного состояния детали ступенчатого профиля).

Основные исследования в области НТО и технологической подготовки ремонта соединений с натягом

велись в направлениях разработки инструкций по использованию технических средств ремонта и частных ТП. При этом (за исключением) не использовалась классификация, и унификация конструктивных элементов, не учитывался такой важный фактор в ТП как схема базирования и т. д. [1–3]. ТП строились, в основном, на основе экспериментальных исследований и расчеты, с ними связанные, велись по различным методикам.

В публикациях в области классификации соединений просматриваются разные подходы. В основу классификации кладут разделение всех деталей на базовые и присоединяемые, по конструктивным особенностям деталей, по их массам и габаритам, материалам, видам сопрягаемых поверхностей и типам соединений и посадок [4, 5].

Большое внимание классификации соединений для сборки, уделялось в работах [6, 7]. Разработкой классификации соединений с последующей цифровой шифровкой их признаков, в целях создания типовых схем сборки, занимался Сошников Б. М. Им, на основе выбранных классификационных признаков соединений, разработана конструкторско-технологическая классификация сборочных операций, охватывающая основные технические параметры сборочного процесса и собираемых изделий. Сборочные операции классифицируются по составу собираемого объекта и по структуре операции. Такой подход может быть использован для разборочных операций.

Имеющиеся разработки по унификации ТП сборки [8, 9] основываются на групповой технологии, основой которой, как известно, является технологическая общность. Для сборки технологической общностью считают тип соединения, в частности соединения с натягом. Это бесспорно важный фактор но, поскольку можно иметь неразъемное соединение для разборки, которое стало таковым, вследствие тяжелых условий эксплуатации, представляется, что ТП для разборки с нагревом следует разрабатывать на основе типовой технологии.

### 3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследований является нормативно-техническое обеспечение технологий машиностроительного производства.

Целью работы является определение и обоснование принципа создания основ НТО для качественной, энергосберегающей и производительной технологии

ремонтного производства на примере разборки соединений с натягом при использовании индукционного нагрева.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. На основании анализа документации на технологии, используемые в машиностроительном производстве, теоретических и экспериментальных исследований, предложить принцип создания основ НТО разборки соединений с натягом.

2. Разработать инструментарий реализующий НТО, позволяющий разрабатывать производительные, обеспечивающие сохранность деталей, и экономичные технологические процессы разборки соединений с натягом при использовании индукционного нагрева.

3. Предложить инженерные решения для определения параметров, определяющих качество разборки соединений с натягом при использовании термовоздействия.

#### 4. Повышение эффективности функционирования ремонтного производства за счет унификации операций разборки с нагревом

В ремонтном производстве элементарным объектом является соединение деталей, которое было в производстве получено с использованием тех или иных технологических методов. Поэтому, чтобы унифицировать ТП ремонта изделия, необходимо в первую очередь унифицировать операции по разъединению соединений, для чего необходимо классифицировать соединения и детали входящие в них.

Осуществление разъединения деталей и, неразрушаемость деталей в процессе разборки соединения с использованием термовоздействия зависит от таких параметров режима нагрева, как температура и скорость ее нарастания — время нагрева. То есть они, являются лимитирующими параметрами. Режим определяется конструкцией соединения и нагреваемой детали. Создать нужный режим, и при этом обеспечить его экономичность, можно только с помощью нагревателя, по своей конструкции так же наиболее соответствующего конструкции изделия.

Разрабатываемые классификаторы соединений с натягом и деталей, входящих в них, предназначены для использования в ремонтном производстве с применением типовых технологий, использующих термовоздействие. Их технологический код должен применяться для подбора и группирования соединений по технологическому подобию и соотношения их с унифицированными ТП и типами оборудования ИНУ. Он также должен позволять выбрать подъемно-транспортные средства и вспомогательную технологическую оснастку.

Классификатор соединений, для технологической задачи разборки с применением индукционного нагрева, определяется рядом классификационных признаков, включая и те от которых зависит качество. Лимитирующими качеством получаемых деталей параметрами соединений являются диаметр посадки и величина относительного натяга. От них зависит требуемая температура нагрева охватывающей детали для разборки.

При построении классификатора деталей так же необходимо рассматривать несколько признаков. Лимити-

рующими параметрами и, соответственно, признаками должны быть — масса и материал детали. Масса детали определяет возможный расход энергии, а материал — допустимую температуру нагрева. Следует так же выделить признаки, необходимые для назначения зоны нагрева детали. Связано это с возможной локализацией термовоздействия на деталь при индукционном нагреве и, значит, экономией энергии.

Унифицированная технологическая операция нагрева деталей соединений собственно и определяет качество процесса разборки через температуру, длительность и локальность нагрева. Она должна включать технологические признаки: базирование, расположение в пространстве и т. д. Температура, как было показано ранее, является лимитирующим параметром. Под унифицированные операции выполняется группирование соединений на основании их классификации.

На основе классификации соединений, деталей и унификации операций производится типизация индукционных нагревателей. Выполнить ее необходимо по признакам, определяющим концепцию теплоты генерируемой электромагнитной энергией и конструкцию индуктора, а так же его управление.

Соединения с натягом входят в ту или иную специфицированную сборочную единицу или они сами могут ею являться. Классификация соединений, которые могут быть представлены одним из двух типов (рис. 1) строится по фасетному методу с параллельным разделением множества видов соединений на независимые классификационные группировки, и методически строится аналогично технологическому классификатору деталей [10].

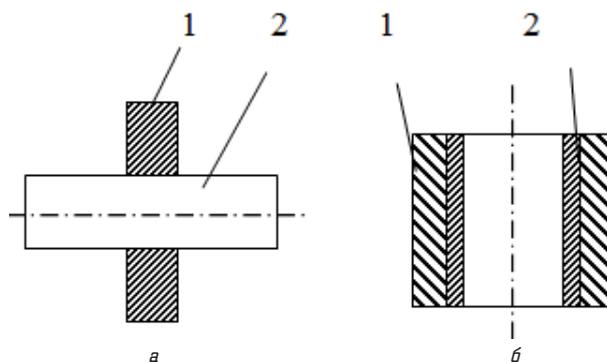


Рис. 1. Соединения, разбираемые с использованием теплового воздействия: а — вал — втулка; б — втулка корпус; 1 — охватывающий элемент; 2 — охватываемый элемент

С точки зрения технологии разборки значение имеют следующие признаки: размерная характеристика — диаметр посадки, величина относительного расчетного натяга, максимальный наружный диаметр (или ширина) сборочной единицы, длина сборочной единицы, далее — соотношение материалов деталей, масса сборочной единицы, характеристика положения деталей в соединении, положение соединения в сборочной единице, доступ к нагреваемой детали в соединении.

Проектирование ТП разборки соединений с натягом при нагреве в настоящее время ведется каждым предприятием, опираясь на свой, или других предприятий, производственный опыт. Поэтому, часто качество процесса разборки невысокое: большой расход энергии,

неправильный нагрев, состоящий в том, что детали перегреваются и в них возникают высокие термические напряжения и (или) происходит, пережог металла. Кроме того, оснастка сложна. Исключения составляют выпускающие предприятия железнодорожного транспорта, где вследствие крупно-серийности производства технологии более или менее отлажены, хотя и не всегда они оптимальны.

Для рассматриваемой технологии, использующей нагрев деталей, систематизация технологических решений, состоит в выборе порядка расчленения многоэлементных сборочных единиц на несколько соединений. Оптимизация ТП при проектировании должна вестись по затратам или по производительности или, в лучшем варианте, по тому и другому.

Унифицированные операции характеризуются законченным циклом. Они могут различаться в зависимости от того, какая из деталей является базовой (охватываемая или охватываемая), как расположена ее ось в пространстве, какое направление детали при ее движении, какая используется сила для разъединения деталей (тяжести или специальная), а также по характеристикам нагрева. С учетом этих технологических особенностей можно классифицировать типовые операции разборки с соответствующим кодированием по следующим шести основным отличительным признакам: базирование деталей (базовой деталью является вал или втулка); расположение оси базовой детали (вертикальное или горизонтальное); направление демонтажа (сверху, снизу, боковое); вид силового воздействия для разъединения деталей соединения (сила тяжести или от привода); тип нагрева снимаемой детали (по полноте, длительности и по непрерывности); изменяемостью температуры нагрева. Последний признак связан с качеством охватываемой детали и с функциональностью управления нагревом в ИСУ.

Таким образом, схем типовых операций разборки соединений с натягом будет достаточно много. Для многоэлементных сборочных единиц имеет значение и последовательность разборки элементов. Поэтому целесообразно сгруппировать их в несколько схем.

Предложенные принципы проектирования позволяют разрабатывать типовые ТП для различных соединений с термовоздействием. Следует только стандартизировать методы расчета, что позволит снизить время проектирования и повысить его качество.

Лимитирующий параметр операции — время  $\tau$  определяет производительность, а лимитирующий параметр — температура  $T$  определяет качество разобранных деталей.

Оценка параметров технологии обеспечивающей неразрушаемость деталей соединения при разборке с нагревом это оценка уровня напряжений в охватываемой детали при ее нагреве под разборку соединения, что необходимо для определения возможности выполнения сохранной разборки. Расчеты выполняются на основании зависимостей по термоупругому состоянию материала детали [11].

Температурное поле при индукционном нагреве изделий по всей наружной поверхности, имеющих осевую симметрию, является функцией радиуса. Изменением температуры вдоль радиуса можно пренебречь, если рассматриваемые точки нагреваемого элемента находятся в зоне, несущественно превышающей удвоенную глубину проникновения электромагнитного поля. Тогда, если осесимметричная деталь нагревается не по всей

наружной поверхности, а только по части, температурное поле будет функцией длины [12].

Дифференциальное уравнение равновесия диска переменной толщины  $h(r)$  имеет вид:

$$\frac{d}{dr}(\sigma_r h) + (\sigma_r - \sigma_\theta) \frac{h}{r} = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma_r(r)$ ,  $\sigma_\theta(r)$  — напряжения в радиальном  $r$  и окружном  $\theta$  направлениях;  $h(r)$  — толщина диска;  $r$  — текущий радиус.

Из выражений для относительных деформаций:

$$\varepsilon_0 = du/dr, \quad \varepsilon_\theta = u/r, \quad (2)$$

и закона Гука с учетом температурных деформаций:

$$\varepsilon_r = (\sigma_r - \nu \sigma_\theta) / E + \alpha(T - T_0); \quad (3)$$

$$\varepsilon_\theta = (\sigma_\theta - \nu \sigma_r) / E + \alpha(T - T_0),$$

получаем:

$$\frac{du}{dr} = \frac{1-\nu^2}{E} \sigma_r - \frac{\nu}{r} u + (1+\nu)\alpha(T - T_0), \quad (4)$$

где  $u(r)$  — радиальное перемещение точки диска с координатой  $r$ ;  $E$ ,  $\nu$  — модуль упругости и коэффициент Пуассона;  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала детали;  $T(r)$  — закон изменения температуры по радиусу;  $T_0$  — температура окружающей среды.

Таким образом, получили достаточно простые аналитические зависимости, которые с некоторым запасом, дают оценку напряженно-деформированного состояния материала охватываемых деталей трех форм при различных вариантах их нагрева по радиальным  $\sigma_r$ , окружным  $\sigma_\theta$  и суммарным  $\tau$  напряжениям для заданных перемещений посадочной поверхности  $u(r_1)$ .

Используя эти зависимости, можно решить вопрос применения скоростного индукционного нагрева для разборки соединений с натягом, без ухудшения качества деталей. На основании этих зависимостей, которые могут быть включены в НТО по технологическим процессам разборки с индукционным нагревом. Зависимости дают несколько завышенные значения напряжений вследствие принятого допущения, состоящего в том, что для деталей ступенчатой формы температуры по ступеням приняты равномерными.

## 5. Проверка достоверности оценки напряженно-деформированного состояния материала деталей соединений с натягом при нагреве

Целью экспериментальных исследований являлось проверка достоверности полученных аналитических зависимостей по оценке напряженно-деформированного состояния материала деталей. В качестве исследуемой детали выбрали зубчатое колесо редуктора по форме, представляющее собой трехступенчатый диск. Исследованию

подлежало напряженно-деформированное состояние колеса при индукционном нагреве ступицы. Как было сказано выше, в такой конструкции детали при локальном нагреве возникают наибольшие напряжения по сравнению с деталями типа гладкий диск и двухступенчатый диск.

Размеры колеса в соответствии со схемой трехступенчатого диска:  $r_1 = 0,029$  м;  $r_2 = 0,045$  м;  $r_3 = 0,045$  м;  $r_4 = 0,115$  м;  $r_5 = 0,13$  м;  $h_1 = h_3 = 0,06$  м;  $h_2 = 0,01$  м. Свойства материала — сталь 45:  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $\nu = 0,3$ ;  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ .

Окружные и радиальные температурные напряжения определяли с помощью высокотемпературных привариваемых тензодатчиков. Характеристика тензодатчиков: коэффициент тензочувствительности: 1,93; омическое сопротивление  $99 \pm 1$  Ом.

Поскольку характер напряженного состояния колеса определялся путем замера деформаций тензодатчиками, то с целью разделения радиальных  $\sigma_r$  и окружных  $\sigma_\theta$  напряжений они приваривались по линиям действия этих напряжений — в окружном и радиальном направлениях. Исключение составил один тензодатчик на посадочной поверхности — только для окружных напряжений. Тензодатчики группировали в розетки.

С каждой из розеток размещали одну термопару. Схема расположения датчиков на зубчатом колесе приведена на рис. 2 тензодатчики указаны цифрами, а расположение термопар — буквами.

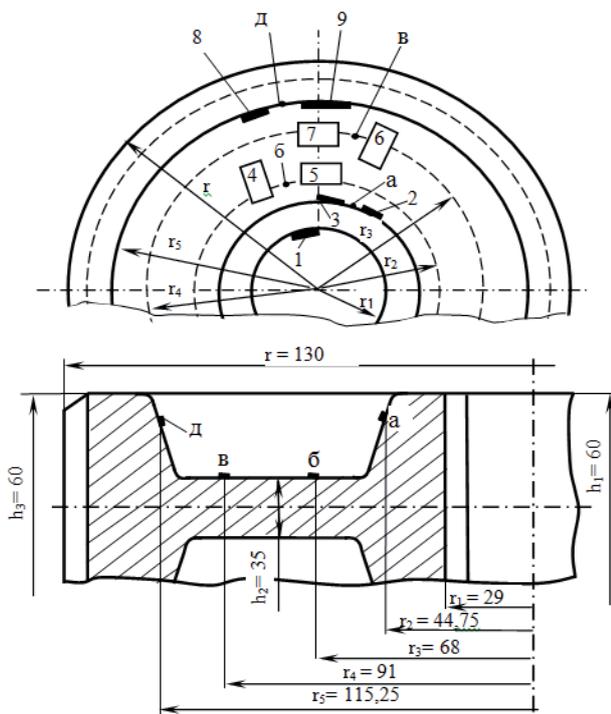


Рис. 2. Схема расположения термопар и тензодатчиков на зубчатом колесе (проекции даны в разном масштабе): 1, 3, 5, 7, 9 — датчики окружные; 2, 4, 6, 8 — радиальные; а, б, в, д — термопары

В соответствии с требуемым расширением посадочного отверстия зубчатого колеса для осуществления процесса разборки соединения  $\Delta = 0,09$  мм максимальная температура будет меньше 300 °С. Максимальная величина ошибки вторичного (регистрирующего) прибора была не более 3 °С.

В качестве индукционного нагревателя использовался индуктор, нагревающий ступицу. Такой характер нагрева оказывается наиболее целесообразным во-первых, вследствие своей экономичности из-за локальности и во-вторых из-за гарантии сохранения, как физико-математических свойств материала зубьев, так и их геометрии. При таком типе индукционного нагрева (когда нагревается ступица зубчатого колеса) его температурное поле является неравномерным — температура от ступицы уменьшается в радиальном направлении. Минимальная температура — на зубчатом венце.

При экспериментальном и расчетном исследованиях радиальные напряжения сжатия имеют наибольшее значение в диске.

На рис. 3 показаны кривые распределения окружных напряжений, в колесе полученные при экспериментальном и расчетном испытаниях в момент времени окончания нагрева — 60 с.

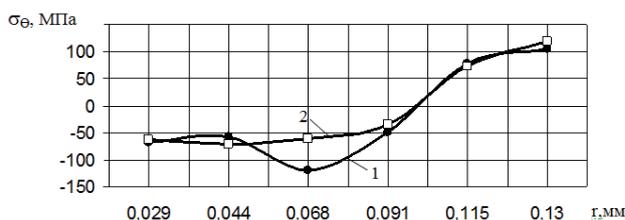


Рис. 3. Окружные напряжения, в колесе полученные экспериментальным и расчетным путем: 1 — экспериментальные напряжения; 2 — расчетные напряжения

По данным графика рис. 3 видно, что окружные напряжения сжатия достигают максимума в диске колеса, а окружные напряжения растяжения максимальны в венце колеса.

Сравнение полученных расчетом и в эксперименте значений напряжений  $\sigma_r$  и  $\sigma_\theta$  показывает их хорошее совпадение по характеру распределения, и несколько завышенные теоретические значения (что и ожидалось).

## 6. Выводы

Сформулированы принципы создания основ нормативно-технического обеспечения технологических систем разборки соединений, основанные на использовании структурно-параметрических связей между качеством получаемых изделий, качеством технологического процесса, производительностью и энергозатратами с помощью системного подхода.

Предложена система классификаций конструкций соединений с натягом, подлежащих разборке с использованием нагрева, деталей в них входящих, унифицированных операций основанные на учете параметров, лимитирующих качество изделий.

Для практики ремонтного машиностроительного производства полученные расчетные зависимости для оценки напряженно-деформированного состояния материала при нагреве могут использоваться для управления качеством ремонтного производства в схемах разборки для любых многоэлементных соединений с натягом.

## Литература

1. Зенкин, А. Побудова комплекту нормативних документів для інтегрованих систем якості на основі обмеження різ-

- номанітності [Текст] / А. Зенкин, Г. Хімичева, Б. Барей // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2003. — № 2. — С. 22–25.
2. Чепурко, И. П. Многопараметрическая модель сборки соединений с использованием термовоздействия [Текст] / И. П. Чепурко, А. В. Куприянов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Новые решения в современных технологиях. — Харьков: ХГПУ, 1999. — Вып. 44. — С. 35–37.
  3. Чепурко, И. П. Базирование деталей при сборке соединений с термовоздействием [Текст]: тез. докл. / И. П. Чепурко, Т. В. Макушенко // Материалы междунауч.-техн. конф. «Прогрессивная техника и технологии машиностроения». — Донецк: ДГТУ, 1995. — С. 260–261.
  4. Арпентьев, Б. М. Типизация технологических процессов сборки с термовоздействием на основе технологического классификатора соединений [Текст] / Б. М. Арпентьев, А. Г. Зильбер // Стандарты и качество. — 1988. — № 11. — С. 33–34.
  5. Базров, Б. М. Унификация в машиностроении с позиций системного подхода [Текст] / Б. М. Базров // Стандарты и качество. — 1997. — № 3. — С. 16–19.
  6. Арпентьев, Б. М. Основные принципы технологической классификации и кодирования сборочных единиц [Текст] / Б. М. Арпентьев, А. Г. Зильбер // Стандарты и качество. — 1986. — № 8. — С. 33–34.
  7. Захаров, М. В. Конструкторско-технологическая классификация сборочных единиц [Текст] / М. В. Захаров, В. П. Яременко // Вестник Сумского национального аграрного университета. — 2001. — № 7. — С. 86–92.
  8. Арпентьев, Б. М. Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки с нагревом на базе технологического классификатора [Текст] / Б. М. Арпентьев, А. Г. Зильбер // Стандарты и качество. — 1989. — № 7. — С. 60–62.
  9. Зенкин, А. С. Сборка неподвижных соединений термическим методом [Текст] / А. С. Зенкин, Б. М. Арпентьев. — Москва: Машиностроение, 1987. — 128 с.
  10. Классификатор ЕСКД. Детали общемашиностроительного применения [Текст]. — Москва, 1986.

11. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел [Текст] / Г. Карслоу, Д. Егер. — Москва: Наука, 1964. — 326 с.
12. Арпентьев, Б. М. Новый метод определения составляющих тепловой проводимости [Текст] / Б. М. Арпентьев, А. К. Дунка, А. Н. Куцын // Сборник научных трудов ХИСП. — Харьков, 1997. — № 2. — 186 с.

#### УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИ РОЗБИРАННІ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ

Розглянуто проблеми управління якістю розбирання з'єднань з натягом для ефективного функціонування ремонтного виробництва. Запропоновано структурно-параметричний принцип для створення нормативно-технічного забезпечення і математична модель теплового процесу ремонтних технологій на прикладі розбирання з'єднань з натягом.

**Ключові слова:** параметри якості, уніфікація, класифікація, ремонтні технології, лімітуючі параметри, розбирання.

*Павлова Анна Алексеевна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій в машиностроєнні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна, e-mail: pavlova\_aa@mail.ru.*  
*Лагода Анна Николаевна, асистент, кафедра інтегрованих технологій в машиностроєнні і зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.*

*Павлова Ганна Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.*

*Лагода Ганна Миколаївна, асистент, кафедра інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.*

*Pavlova Anna, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine, e-mail: pavlova\_aa@mail.ru.*

*Laгода Anna, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkov, Ukraine*

УДК 621.002

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47862

Рузметов А. Р.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИОННО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

В статье представлена методика решения задачи повышения эффективности технологических операций механической обработки резанием при учете изменения трудоспособности основных рабочих. Возможность точного прогнозирования затрат вспомогательного времени имеет целью повышение уровня точности изготовления деталей в условиях мелкосерийного производства.

**Ключевые слова:** обработка резанием, вспомогательное время, машинно-ручная работа, много-станочный производственный комплекс.

### 1. Введение

Исследования относятся к области технологического обеспечения системы оперативного планирования работы производственного участка.

Низкий уровень автоматизации и концентрации операций в условиях мелкосерийного производства, приводит к тому, что значительную часть рабочего времени (около

40%) занимают вспомогательные операции с использованием машинно-ручной работы. Из-за сложности и не детерминированности ручных операций невозможно установить с достаточной точностью объем штучного времени.

Эту проблему можно решить внедрением дорогих обрабатывающих центров, что, далеко не всегда доступно отечественному производителю. Перспективным